

Stefan HENNEMANN, Gießen
Ingo LIEFNER, Gießen
Hao WANG, Gießen

Netzwerke in der Grundlagenforschung in den Optischen Technologien Chinas¹

Summary

This paper aims to analyse basic research activities and cooperation in the optical technology sector in China. Cooperation is operationalized by co-authored scientific papers. With methods rooting in complex network sciences, the integration of Chinese knowledge-producing organizations into national as well as international knowledge networks is assessed. Further, the contribution of the provinces in terms of collaboration and relevance for the whole knowledge creation system is measured. This regional aspect for the network topology was largely underrepresented in the relevant empirical research, although it is important in terms of regionalized science- and technology-policy initiatives. Therefore, this contribution not only is scientifically relevant, but delivers also tangible policy recommendations that may also be also of interest for German policy makers.

1 Einführung

Die Interaktionen von Netzwerkakteuren entziehen sich oft einer direkten Beobachtung. Allerdings haben sich sowohl in Bezug auf die Datenverfügbarkeit als auch von methodischer Seite in den letzten Jahren enorme Fortschritte ergeben, die eine Analyse der Struktur von Netzwerken erlauben. Dieser Beitrag diskutiert dies am Beispiel der Optischen Technologien (OT) in China.

China verfolgt seit mehr als 30 Jahren eine systematische Öffnungspolitik und sorgt so für die Einbindung heimischer Akteure in verschiedenste globale Netzwerke. Sehr umfassend wird dies bei der Integration in globale Wertschöpfungsketten deutlich. Aber auch im wissenschaftlichen Umfeld sind intensive Kooperationen chinesischer Forschungseinrichtungen und Universitäten mit ausländischen Organisationen mittlerweile völlig normal. Wie stark diese Einbindung in internationale Forschungsnetzwerke ist und welche Auswirkungen diese Einbindung auf die chinesische Wirtschaftsentwicklung hat, ist bislang nur ansatzweise geklärt.

¹ Die Autoren danken den Teilnehmern des jährlichen Treffens der AAG 2009, der NetSci09, des DIME Workshops 2009 sowie den Organisatoren, Matthias Kiese und Daniel Schiller, und Teilnehmern der Fachsitzung 20 des Deutschen Geographentags 2009 für wertvolle Kommentare und Anregungen zu Präsentationen früherer Versionen dieses Beitrags. Des Weiteren danken wir Eike W. Schamp, Dieter Ernst und Koen Frenken für hilfreiche Kritik.

Die empirischen Erkenntnisse dieses Artikels basieren auf der Analyse von Ko-Autorenschaften, die über publizierte Artikel zum Thema OT im ISI Web of KnowledgeSM (Thompson Reuters) erfasst wurden. Diese Vorgehensweise hat zwei bedeutsame Konsequenzen. Zum einen wird damit nur der Bereich der Grundlagenforschung erfasst. Produktionsnetzwerke, Wertschöpfungsketten oder Handelsströme werden nicht abgebildet. Zum anderen werden innerhalb des Forschungsnetzwerkes nur diejenigen Organisationen berücksichtigt, die Ergebnisse ihrer Forschungstätigkeit auch international veröffentlichen. Diese Faktoren begrenzen zwar die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse für den gesamten Industriesektor. Allerdings ermöglicht die Vorgehensweise sehr wohl einen tieferen Einblick in die Strukturen der Wissensentstehung im Bereich optischer Technologien (OT). Dieser stark querschnittsorientierte Technologiezweig ist aus folgenden Gründen für eine Betrachtung ausgewählt worden:

1. Der OT-Sektor in China ist durch einen vergleichsweise raschen technologischen Aufholprozess gekennzeichnet. Als Schlüsseltechnologie steht das Feld der OT im Fokus der Politik.
2. Aufgrund der extrem heterogenen Struktur des Technologiefeldes, die von der Nutzung im Anlagenbau bis hin zur Entwicklung und Produktion von LED-Panels oder Lichtleiterkabeln reicht, sind keine systematischen Marktstrukturen erkennbar. Es herrschen weder monopolartige Strukturen vor, noch gibt es eine ausgeprägte Abhängigkeit von multinationalen Unternehmen. Auch in der Grundlagenforschung ist weder für China noch weltweit eine ausgeprägte Zentrierung auf wenige Institute erkennbar.
3. Innovationszyklen verlaufen schnell und die Technologieentwicklung ist relativ forschungsintensiv. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse, etwa in der optischen Speichertechnologie, erreichen schnell eine Marktrelevanz und verändern somit kontinuierlich die Strukturen des Technologiefeldes.

2 Akteure, Regionen und Entwicklungen in Chinas Optischen Technologien

Eine Vielzahl theoretisch-konzeptioneller und zunehmend auch empirischer Veröffentlichungen aus sehr unterschiedlichen Disziplinen betont die Bedeutung von Kooperationen, die Teilnahme an Netzwerken und den Wissensaustausch für Innovationen (FAGERBERG u. VERSPAGEN 2009). Eine gelungene Übersicht über zentrale Argumente der Netzwerktheorien liefern beispielsweise BELL und ZAHEER (2007) sowie SAMMARRA und BIGGIERO (2008). Zugunsten der Erläuterung der methodischen Basis dieses Beitrags wird hier auf eine umfassende Aufarbeitung dieser Theorien verzichtet. Die empirischen Ausführungen dieses Beitrags orientieren sich stattdessen an drei erkenntnisleitenden Annahmen.

Annahme 1: Der Zugang zu entfernten Wissensbeständen verbessert die Fähigkeit von Netzwerken zur Neukombination von Wissen und zum Lernen. Der Begriff der Entfernung bezieht sich hierbei sowohl auf räumliche Distanz als auch auf kognitive Distanz (BOSCHMA 2005). Die Bedeutung des Zugangs zu entfernten Wissensbeständen für Innovationsprozesse erläutern z.B. BATHELT et al. (2004) und MALECKI (2002). Im empirischen Abschnitt wird kein Nachweis der Bedeutung dieser Wissensbestände geführt; im Vordergrund steht die Veranschaulichung des Zugangs zu entfernten Netzwerkakteuren.

Annahme 2: Eine hierarchische Netzwerkstruktur ist effizient. Zu den zentralen Aussagen der Netzwerkforschung gehört, dass sich Beziehungen in Realweltnetzen nicht zufällig verteilen, sondern starke Konzentrationen auf bestimmte Knoten aufweisen. Der Zugang zu zentralen Knoten hilft, die Weglängen im Netzwerk zu minimieren.

Annahme 3: Die unterschiedliche Bedeutung von Regionen für Netzwerke lässt sich analytisch und visuell darstellen. Die in der Netzwerkforschung entwickelten Maße lassen sich auf die räumliche Ebene übertragen. Dies ermöglicht eine analytische und visuelle Beurteilung der Bedeutung von einzelnen Regionen für ein überregional verteiltes Netzwerk.

Die Anwendung dieser drei Annahmen auf das Beispiel der OT in China verlangt eine Analyse der Bedeutung der jeweiligen Akteure und ihrer räumlichen Verortung, aus der sich die Bedeutung von Regionen sowie der Zugang zu entfernten Wissensbeständen ableiten lassen.

Die Bedingungen bei der Wissensproduktion und der Schaffung von Innovationen in China sind in den letzten Jahren häufig thematisiert, aber nur selten systematisch analysiert worden (SCHWAAG SERGER u. BREIDNE 2007; ZHOU 2007; SUN 2003; SU 2000; HENNEMANN u. KROLL 2008). Unter den Wissensproduzenten sind die Institute der chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS) sehr relevant. Nachdem die CAS einen umfassenden Umstrukturierungsprozess vollzogen hat, steht die Produktion von Forschungsergebnissen und deren Publikation wieder im Zentrum. Dies äußert sich auch in einer quantitativ stark steigenden Veröffentlichungstätigkeit in international renommierten Fachzeitschriften (ZHOU u. LEYDESDORFF 2006). Dabei gelten die meisten CAS-Institute als die Spitzenforschungseinrichtungen Chinas in Bezug auf Grundlagenforschung. Gleichzeitig werden aber auch viele Anstrengungen unternommen, neue Technologien in marktfähige Produkte umzusetzen. Insbesondere in diesem Bereich der Technologiekommerzialisierung aber auch im Grundlagenforschungsbereich sind in den letzten Jahren auch vermehrt die Spitzenuniversitäten aktiv. Der Wettbewerb um Forschungsmittel und Publikationen hat also auch diesen Teil des chinesischen Innovationssystems erreicht (ZHAO u. GUO 2002; BAARK 2001). Gleichzeitig erhöhen auch chinesische Unternehmen ihre F&E-Aktivitäten (ERNST 2008), sind aber im Zugang zu finanziellen Ressourcen beschränkt. Besonders kleine Privatunternehmen sind hier benachteiligt und können keine teure Forschung und Entwicklung durchführen. Und anders als in anderen Ländern sind staatliche Einrichtungen, Ministerien und Intermediäre in die Kooperationen der Forschungsakteure wesentlich direkter eingebunden bzw. initiieren diese (LIEFNER u. ZENG 2008, 254–255). Kooperationsrelevantes Wissen gelangt über vielfältige Wege nach China (z.B. durch internationale Forschungsk Kooperationen, Studenten und Dozentenmobilität, wissenschaftliche Artikel oder Forschungsdatenbanken). Der Zugang zu internationalen Wissensbeständen ist also selbst in China umfassender als in einem eng definierten Nationalen Innovationssystem.

Die Arbeiten zu Regionalen Innovationssystemen (RIS) betonen die räumliche Nähe als Möglichkeit, enge Kontakte zu pflegen, Lernprozesse zu kultivieren und damit Innovationsprozesse zu unterstützen. Die diesbezüglich führenden Regionen in China sind räumlich leicht abzugrenzen (HENNEMANN u. KROLL 2008, 17).

Beijing und Teile der umgebenden Bohai-Region (inkl. Tianjin) sind im nationalen Maßstab weit enteilt. Hier befinden sich die stärksten Institute der CAS und eine Vielzahl an Spitzenuniversitäten. Der monetäre und personelle Aufwand für Forschung und Entwicklung, die Anzahl der Universitätsabsolventen oder die Dichte großer Wissenschaftsparks wie Zhongguancun sind in Beijing außergewöhnlich (ZHOU 2007; LIEFNER, HENNEMANN u. LU 2006). Shanghai mit dem Yangtze Delta folgt Beijing mit einigem Abstand in Bezug auf die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit, weist aber einen großen Vorsprung bei F&E-Aktivitäten multinationaler Unternehmen auf.

Im Vergleich zum allgemeinen Wissenschafts- und Technologiesystem ist die räumliche Struktur der OT-Forschung bislang nur ungenau beschrieben, da geeignete Daten aufgrund des Querschnittscharakters des Feldes nicht vorliegen. Die Standorte der nationalen und regionalen Schlüssellaboratorien können als Anhaltspunkt dienen. Die meisten Institute befinden sich in Beijing (8 Labore), Shanghai (5) und Wuhan (4). Sie repräsentieren das Rückgrat der öffentlichen OT-Forschung Chinas (Wang 2008, 22). Institute in Changchun (2), Chengdu (2), Guangzhou, Xi'an, Taiyuan, Tianjin, Jinan, Nanjing und Hangzhou komplettieren die Liste der OT-Labore in China. Manche dieser Institute sind der CAS angegliedert, manche sind Teil einer Universität oder großer (Staats-)Unternehmen.

Die Zentren der OT in China sind in Wuhan und Changchun verortet und haben ihren Ursprung in frühen technologiepolitischen Initiativen, die Telekommunikationsunternehmen in Wuhan förderten und Lasertechnologie in Changchun etablieren halfen. Dies führte im Fall von Wuhan zu der Entwicklung eines nationalen OT-Zentrums, an dessen Ausrichtung sich auch die große lokale Huazhong Universität orientierte. Zwei der bekanntesten Unternehmen, die für die Entwicklung in Wuhan stehen, sind die FiberHome Technologies Group und YOFC (DTI 2005, 27; WANG 2008, 26). Durch diese Konzentration relevanter öffentlicher und privater Akteure wird die Region in China auch als „Optical Valley“ bezeichnet.

Die gezeigte Struktur basiert im Wesentlichen auf Belegen aus der Literatur und der Verortung relevanter Forschungseinrichtungen. Die Belege reflektieren die Reputation, die sich im Zeitablauf verändern kann und eventuell kaum noch ein reales Abbild der OT-Struktur in China ist. Insbesondere der Aspekt des Wissenstransfers bleibt dabei unberücksichtigt vor oder basiert auf anekdotenhaften Belegen.

3 Vorteile und Grenzen der Analyse komplexer Netzwerke

In diesem Beitrag werden wissenschaftliche Publikationen analysiert, die gemeinsam von mehr als einer Organisation veröffentlicht wurden. Die Koautorenschaft dient als Indikator für den Wissensaustausch und Kooperation. Als Datengrundlage dienen Datenbanken im ISI Web of KnowledgeSM von Thompson Reuters (SCI-expanded, SSCI, A&HCI)². Die OT-bezogenen Artikel wurden mittels eines Klassifikationsschemas identifiziert, das zentrale Begriffe zur Basis nimmt und daraufhin die Nähe eines Artikels zu diesen Begriffen ermittelt. Zu den relevanten Begriffen gehören u.a. Laser, Imaging, Imaging and Testing, Surface Coating and Filming,

² <http://apps.isiknowledge.com> (25.05.2010).

Crystals, Optics and Telecommunication sowie Applied Physics. In die Analyse wurden alle Veröffentlichungen einbezogen, die zwischen 2005 und 2007 erschienen sind und bei denen zum Zeitpunkt der Publikation mindestens ein Koautor bei einer chinesischen Organisation registriert war. Obwohl die Datenbank vornehmlich englischsprachige Zeitschriften beinhaltet, findet ein Großteil der Ko-Autorenschaften zwischen chinesischen Organisationen statt.

Bibliometrische Analysen werden kontrovers diskutiert (vgl. LAUDEL 2002), bieten aber unbestrittene Vorteile bei der Messung von Wissenstransfers.

1. Die Analyse von Daten zu Ko-Autorenschaften berührt einen Kernbereich des Wissensaustauschprozesses, da bei gemeinsamen Publikationen zumeist ein gemeinsames Forschungsprojekt o.ä. zugrunde liegt. Die beteiligten Wissenschaftler oder Organisationen haben im Verlaufe der Zusammenarbeit umfassend Ideen ausgetauscht und Schwierigkeiten diskutiert. In Bezug auf das eng abgegrenzte inhaltliche Feld der Publikationen haben sie ihre Wissensbestände abgeglichen, um auf dieser Basis zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Die Schaffung neuer Erkenntnisse darf unterstellt werden, weil es sich bei den verzeichneten Zeitschriften um international anerkannte Publikationen handelt, die einen hohen Grad an wissenschaftlicher Originalität fordern. Simultan zu dieser qualitativen Komponente können Massendaten und solide quantitative Verfahren zum Einsatz kommen.
2. Dieser Indikator erfasst den Anteil des kodifizierten Wissens, aber auch den verbalisierten Teil des impliziten Wissens, der im Verlaufe von Diskussionen „verhandelt“ wird. Im Gegensatz dazu sind häufig gebrauchte Ko-Zitationsdaten nur in der Lage, den im Artikel kodifizierten Wissensanteil zu erfassen, da in der Regel unklar bleibt, in welcher Beziehung der oder die Autoren der Ursprungspublikation und der oder die Autoren der zitierenden Publikation stehen.
3. Insgesamt zeigt dieses Vorgehen die Verbindungen zwischen verschiedenen Autoren aus unterschiedlichen Organisationen.

Neben diesen Vorzügen gibt es zwei offensichtliche Nachteile dieser Analysevariante.

1. Im Falle Chinas sind Teile der Veröffentlichungstätigkeit unberücksichtigt, weil nur wenige chinesische Zeitschriften in den untersuchten Datenbanken verzeichnet sind. Generell sind graue Publikationskanäle oder andere Wege des Wissenstransfers ebenfalls ausgeblendet. Aus diesem Grund ist der Anteil der nationalen Wissensweitergabe unterrepräsentiert, während der internationale Anteil überzeichnet ist.
2. Das hier gewählte Vorgehen blendet den Kommerzialisierungsschritt und damit die Innovation i.e.S. sowie den damit verbundenen Wissensaustausch weitgehend aus. Dies überschätzt den Anteil der Grundlagenforschung und unterschätzt den Teil der marktorientierten Wissensbestände und -flüsse. Für den Forschungsteil sind die Aussagen dennoch von hoher Validität für den Wissensaustausch.

Die Daten wurden auf der Basis der vier folgenden vereinfachenden Annahmen zusammengestellt.

1. Die primäre Ebene der Aggregation ist die Organisationsebene und nicht der individuelle Autor. Daher werden Autoren gruppiert, die zu einer Organisation

(z.B. Universität, Unternehmen) gehören. Folglich wird damit ein optimaler und barrierefreier Wissensfluss zwischen den organisationsinternen Untereinheiten unterstellt.

2. Jede Zusammenarbeit, die in eine Publikation mündet, wird in gleichem Maße berücksichtigt, selbst wenn es sich um wiederholte Publikationen desselben Autorenteam handelt.
3. Artikel mit mehr als 10 Koautoren wurden von der Analyse ausgenommen.
4. Grundsätzlich wurde der gegenseitige Wissensaustausch als ungerichtet und symmetrisch angenommen. Zudem wurde weder eine Relevanzunterscheidung auf der Basis der Autorenreihenfolge vorgenommen noch die Autorenherkunft bewertet.

Auf der Basis dieser Annahmen wurde ein Netzwerk erstellt, dessen Knoten forschungsaktive Organisationen und dessen Kanten die gemeinsame Publikation der zwei verbundenen Knoten repräsentieren. Die 3.134 Knoten und 25.293 Kanten ergeben sich auf der Basis von 16.156 als relevant identifizierten Artikeln. Die methodologische Grundlage für die Repräsentation als Netzwerk liefert die Graphentheorie, die im jungen Forschungszweig der komplexen Netzwerke ein zentraler Baustein ist. Seit kurzem beschäftigen sich verschiedene Autoren mit der räumlichen Analyse von Netzwerken (interessante empirische Studien sind BRANDT et al. 2009; CANTNER u. GRAF 2006 sowie die Beiträge im Themenheft 43/3 2009 der Zeitschrift *The Annals of Regional Science* sowie im Heft 42/6 2008 der Zeitschrift *Regional Studies*).

Während die herkömmliche Analyse von Kooperationen stets nur auf die Betrachtung der direkten Zusammenarbeit zweier Akteure beschränkt war, kann auf der Basis eines komplexen Netzwerks auch der indirekte Einfluss von Nachbarn zweiten oder dritten Grades berücksichtigt werden. Die soziale Netzwerkanalyse kennt drei grundlegende Maße, um die Zentralität eines Knotens im Netzwerk zu charakterisieren. Die Anzahl der direkten Verbindungen zu anderen Knoten wird als *Degree* bezeichnet und kann als Maß der Kooperationsaktivität eines Knotens und des potenziellen direkten bzw. netzwerk-lokalen Wissenszugang interpretiert werden. Im Beispielnetzwerk (vgl. Abb. 1) lässt sich für den Knoten A1 auf diese Weise ein Degree von $2/8=0,25$ errechnen. Die kürzeste mittlere Distanz von einem Knoten zu allen anderen Knoten im Netzwerk wird mit *Closeness* bezeichnet. Die *Closeness* eines Knotens ist ein Maß für die netzwerkweite Zentralität. Im Beispiel ergibt sich für den Knoten A2 eine mittlere Distanz zu allen acht anderen Knoten von $8/14=0,571$. Der Wert 14 ergibt sich aus der Summe der kürzesten Verbindungen ausgehend von A2 (A2–A1: 1, A2–B3: 2, usw.). Aus der Sicht von Wissensflüssen ist der Durchfluss im Netzwerk von Interesse. Die *Betweenness* misst die Zentralität eines Knotens in der Form, dass alle kürzesten Verbindungen zwischen allen Knoten durch den analysierten Knoten ermittelt werden. Im Beispielnetzwerk lässt sich das für den Knoten A1 nachvollziehen. Von Interesse sind einzig die Pfade, die von B3 ausgehend zu den anderen Knoten verlaufen. Da A1 den Knoten B3 mit dem Rest des Netzwerks verbindet, verlaufen alle Pfade durch A1. Dies sind die Verbindungen zu A2, B4, B5, C6, C8, D6 und D9, also sieben Pfade. Der Betweenness-Wert lässt sich daraus mit $7/(n-1)*(n-2)$ berechnen ($=0,125$). Durch den Knoten B3 selbst führen überhaupt keine Verbindungen zwischen zwei anderen

Knoten im Netzwerk, da B3 am Rand des Netzwerks liegt. Somit beträgt der Betweenness-Wert „0“. In der Regel handelt es sich um normalisierte Maße, die eine theoretische Spannweite zwischen 0 und 1 haben. Die Normalisierung wird meist über die Gesamtzahl der Netzwerkknoten abzüglich des betrachteten Knotens ($n-1$) vorgenommen.

Alle Maße liegen in verschiedenen nicht-räumlichen Varianten vor. In diesem Beitrag wird zusätzlich ein räumliches Zentralitätsmaß verwendet, das eine aggregierte Variante der Closeness ist. Die *Regional Closeness* einer Region berechnet sich aus dem mit dem Degree gewichteten Mittelwert der Closeness aller Knoten aus einer bestimmten Region. Eine umfassende und leicht verständliche technische Einführung in nicht-räumliche Netzwerkmaße gibt JANSEN (2006).

Im Folgenden wird die regionale Closeness näher mithilfe eines Beispielnetzwerks erläutert. Ein Netzwerk bestehe aus neun Knoten, die sich in vier unterschiedlichen Regionen verorten lassen. Abbildung 1 zeigt die nicht-räumliche Variante des Netzwerks (links) und die an ihrer tatsächlichen Raumposition angezeigten Knoten (rechts). Für jeden Knoten wird unabhängig von seiner räumlichen Zuordnung die Netzwerkzentralität (hier Closeness) ermittelt. Um die unmittelbare Relevanz eines Knotens zu berücksichtigen, wird der regionale Mittelwert der Closeness mit dem Degree gewichtet.

Region	Knoten	Nachbarn	Closeness	regClose
A	1	2	0,421	$0,421 * 2/5$
A	2	3	0,571	$0,571 * 3/5$
ΣA		5		0,511
B	3	1	0,307	$0,307 * 1/6$
B	4	2	0,400	$0,400 * 2/6$
B	5	3	0,533	$0,533 * 3/6$
ΣB		6		0,451
C	7	1	0,296	$0,296 * 1/2$
C	8	1	0,308	$0,308 * 1/2$
ΣC		2		0,302
D	6	1	0,364	$0,364 * 1/3$
D	9	2	0,421	$0,421 * 2/3$
ΣD		3		0,402

Tab. 1: Zentralitätsberechnung für das Beispielnetzwerk (vgl. Abb. 1)

Aus den gewichteten Mittelwerten für die einzelnen Teilräume (z.B. für Region B = 0,451) lassen sich über eine einfache Standardisierung nach Formel 1 für die Region A=0,782, B=0,563, C=0,021 und D=0,384 errechnen. Diese zusammengefassten Regionalwerte lassen nun Rückschlüsse zur Relevanz des Teilraumes für das Gesamtnetzwerk zu. Im Beispiel kann die Erkenntnis gewonnen werden, dass der Teilraum A im Vergleich zum Teilraum B besser in das Gesamtnetzwerk integriert ist. Damit ist davon auszugehen, dass zum einen ein guter Zugriff auf Netzwerkressourcen vorhanden ist und zum anderen regionsinterne Ideen sehr effektiv verbreitet werden können. Der Einfluss der Region auf das Gesamtnetzwerk ist also vergleichsweise hoch.

$$\frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}$$

Formel 1: Standardisierung der regionalen Closeness (1)

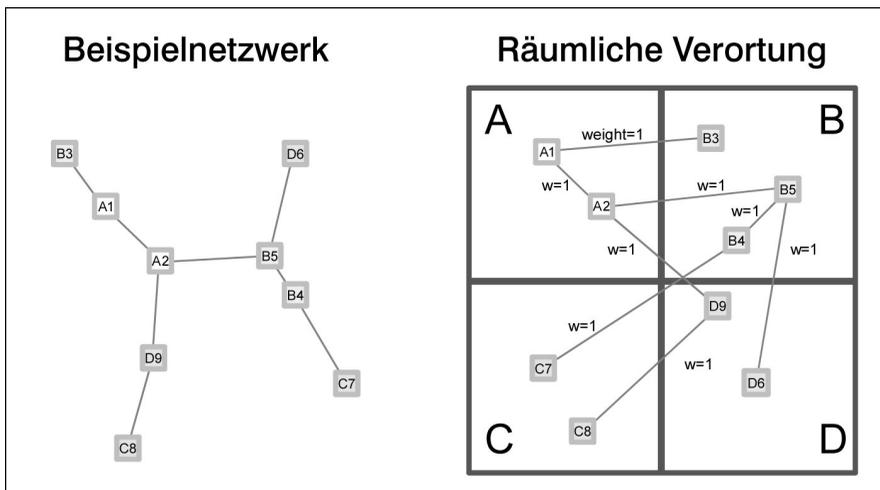


Abb. 1: Raumlose und verortete Variante eines Beispielnetzwerks

4 Schlüsselakteure im Wissenstransfer

Tabelle 2 zeigt die oben beschriebenen Kennzahlen für die 20 zentralsten Akteure im OT Netzwerk Chinas³ sortiert nach dem Degree. Wenig überraschend liegen die großen CAS Institute und die forschungsstarken Universitäten aus Beijing und Shanghai weit oben in der Rangfolge. Mit teilweise mehr als 1.000 Kanten weisen sie eine überaus hohe direkte Vernetzung auf. Viele der ersten 20 Akteure sind

³ Beispielhafte Interpretation: Die Tsinghua Universität in Beijing (#1) hat 736 Kanten, d.h. direkte Verbindungen zu anderen Akteuren. Als normiertes Maß drückt der Degree den prozentualen Anteil der benachbarten Knoten aus. Im Fall der Tsinghua Universität liegen 10,5% aller Knoten des Netzwerks in ihrer direkten Nachbarschaft. Die Zahl der Kanten differiert vom Degree aufgrund der Möglichkeit mehr als eine Verbindung zwischen zwei Knoten aufzubauen (multiple Kanten).

nicht im Speziellen für ihre Leistungsfähigkeit im OT-Bereich bekannt, sondern allgemein starke Forschungseinrichtungen. Die Betweenness fällt stärker ab als der Degree. Damit lassen sich nur wenige *Structural Holes*-Positionen ermitteln.⁴ Die Tsinghua Universität oder das Institut für Physik der CAS dominieren dieses stark hierarchisch organisierte Wissensproduktionssystem. Obwohl Organisation im hinteren Bereich der Rangfolge durchaus über eine hohe Zahl direkter Verbindungen verfügen, zeigt die Betweenness, dass sie im Netzwerk in Bereichen positioniert sind, die ohnehin über viele redundante Verbindungen verfügen. Diese Knoten nehmen keine strategischen Positionen ein, die vermittelnde Bereiche zwischen unterschiedlichen Wissenspools anzeigen.

An diesem Punkt können schon einige vorsichtige räumliche Implikationen des Wissensnetzwerks aufgezeigt werden. Aufgrund der Literaturrecherche wären Organisationen aus Wuhan in vorderen Positionen zu erwarten gewesen, es findet sich aber tatsächlich nur die Huazhong Universität (18) mit einer mittleren direkten Vernetzung und einem sehr geringen Betweennesswert.

Ausländische Forschungseinrichtungen finden sich hingegen überhaupt nicht in der Liste der 20 zentralsten Akteure. Auf Position 35 befindet sich mit der Nanyang Technology University aus Singapur die erste nicht-chinesische Organisation. Es folgen nur wenige weitere Einrichtungen aus dem Asiatischen Raum (#43 National University of Singapore, #44 Tohoku University, Japan), während außerasiatische Akteure völlig fehlen. Das lässt den Schluss zu, dass das chinesischen OT Netzwerk sich weitgehend um die nationalen Spitzeninstitute herum entwickelt. Dies könnte auf den nach wie vor unterentwickelten Zustand des chinesischen Wissenschafts- und Technologiesystems hindeuten, da vergleichbare Analysen in Industrieländern gezeigt haben, dass ausländische Akteure auch in zentralen Positionen des nationalen Netzwerks zu finden sind (HENNEMANN 2009). Allerdings bedeutet das Fehlen ausländischer Akteure auf den vorderen Plätzen nicht, dass es keine Verbindungen zum globalen Wissensnetzwerk gibt. Die hier präsentierten Daten deuten auf eine starke Brokeringposition der Organisationen aus Hongkong hin. Sie ermöglichen den Zugang zu ausländischen Wissensbeständen mit einem in Relation zum Degree recht hohen Betweennesswert. Die historische Rolle Hongkongs als „entrepot“ in den Bereichen Handel, Logistik und Finanzen lässt sich also zu einem gewissen Grad auch auf den Wissenstransfer erweitern.

Alternativ zu Messung über Zentralitätsmaße lassen sich Netzwerke auch grafisch darstellen. Aus der Abbildung 2 lässt sich jedoch, anders als in den Berechnungen, keine schwache Position des Auslands nachweisen. Die hohe Dichte des nach wie vor vergleichsweise kleinen OT-Netzwerks lässt die Räume Asien, Europa und Amerika in ihrer Bedeutung homogen erscheinen. Einzig durch die Knotengrößen, die den Betweenness-Wert repräsentieren, kann der geringe Stellenwert ausländischer Akteure im Vergleich zu China erahnt werden.

⁴ Mit der Betweenness wird ausgedrückt, dass fast 9% aller kürzesten Verbindungen zwischen den Knoten im Netz durch den Knoten der Tsinghua Universität verlaufen. Normalerweise werden Structural Holes mittels Flussindikatoren (z.B. Betweenness als Maß der Durchflussstärke) und Clustering-Indikatoren (z.B. Triangles als Maß der Redundanz) in Kombination ermittelt. Allerdings besteht vielfach eine starke Korrelation zwischen der Betweenness und einem kombinierten Struktural-Hole-Indikator, sodass aus Gründen der Klarheit lediglich das Betweenness-Maß interpretiert wird.

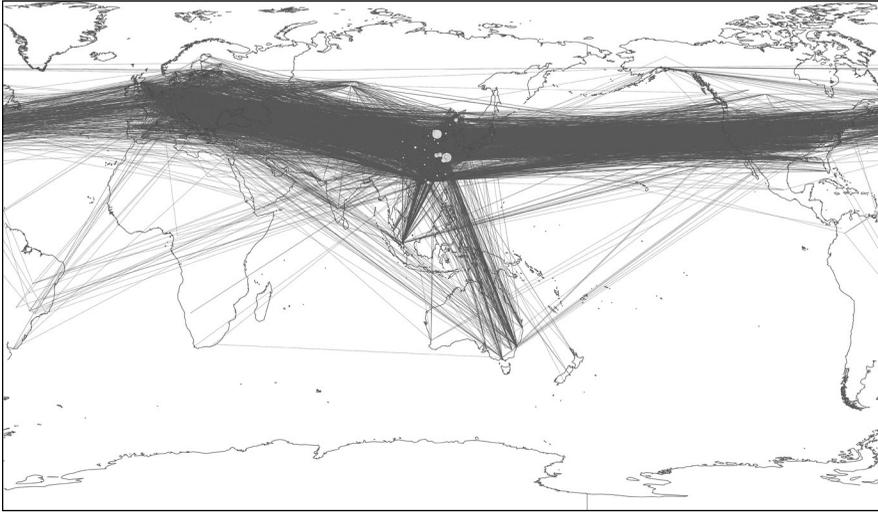


Abb. 2: Visualisierung der globalen Vernetzung des wissenschaftlichen Teils des OT-Sektors Chinas

5 Die räumliche Struktur des Netzwerks

In diesem Abschnitt werden nicht einzelne Knoten bzw. Akteure betrachtet, sondern die Wirkung der regionalen (provinzbezogenen) Teilnetzwerke auf die Wissensproduktion. Räumliche Konzentrationen im OT Netzwerk lassen sich ebenso deutlicher nachweisen wie die Gateway-Funktionen einzelner Provinzen. Die Provinzteilnetze in Tabelle 3 bestehen aus den Akteuren der Provinz und den direkt mit ihnen verbundenen nicht-lokalen Akteure. Anschließend wurden die Berechnungen analog zum übergeordneten Netzwerk vorgenommen. Mit dieser Form der Zusammenstellung der Teilnetze ergeben sich gewisse Überschneidungen der verschiedenen Provinznetzwerke, da die Akteure in mehreren Teilnetzen vorkommen können.

Das Teilnetz Beijing besteht aus den meisten Knoten, gefolgt von Shanghai, Hongkong, Jiangsu, Anhui und Jilin. In jeder dieser Provinzen gibt es eine Vielzahl forschungsstarker Akteure im OT-Bereich, während in Hubei die starke Konzentration auf Wuhan und wenige Akteure deutlich wird. Die regionale Closeness zeigt, dass die Netzwerkzentralität der Akteure, die Teil der Netze in Hongkong, Tianjin, Beijing und Shanghai sind, deutlich vor den Binnenprovinzen und noch deutlicher vor den Westprovinzen liegen. Im Fall Beijings handelt es sich schlicht um die netzwerkweit am besten verbundenen Akteure (vgl. Tab. 2), die auch stark mit lokalen Akteuren zusammenarbeiten. Die Wissensproduktion basiert auf einer intensiven Zusammenarbeit eines „Clubs“ zentraler Akteure. Dieses Phänomen der bevorzugten Zusammenarbeit ähnlich leistungsfähiger Forschungseinrichtungen miteinander wurde auch in anderen Studien belegt (vgl. HENNEMANN 2008; MAGGIONI u. UBERTI 2008). In der Netzwerkforschung und der Soziologie ist dieses Verhalten als „homophily effect“ bekannt (vgl. MCPHERSON et al. 2001, 416).

	Organisation/ Knoten	Stadt	chinesische Provinz/ Ausland	Kanten	Zentralität	
					Degree	Betweenness
1	Tsinghua Univ.	Beijing	Beijing	736	0,105	0,089
2	CAS Inst. Phys.	Beijing	Beijing	1.104	0,095	0,089
3	Peking Univ.	Beijing	Beijing	821	0,094	0,077
4	Univ. Elect Sci. & Tech. China	Hefei	Anhui	764	0,093	0,085
5	Zhejiang Univ.	Hangzhou	Zhejiang	850	0,088	0,077
6	Nanjing Univ.	Nanjing	Jiangsu	971	0,085	0,081
7	CAS Grad Sch	Beijing	Beijing	1.442	0,083	0,079
8	Fudan Univ.	Shanghai	Shanghai	643	0,077	0,061
9	Jilin Univ.	Changchun	Jilin	712	0,072	0,062
10	Shandong Univ.	Jinan	Shandong	780	0,064	0,049
11	Nankai Univ.	Tianjin	Tianjin	578	0,060	0,044
12	CAS Inst. Chem	Beijing	Beijing	575	0,060	0,033
13	City Univ. Hong Kong	Hongkong	Hongkong	588	0,059	0,053
14	Shanghai Jiao Tong Univ.	Shanghai	Shanghai	404	0,056	0,034
15	CAS Inst. Opt & Fine Mech.	Shanghai	Shanghai	861	0,055	0,042
16	Tianjin Univ.	Tianjin	Tianjin	428	0,055	0,040
17	Harbin Inst. Tech.	Harbin	Heilongjiang	527	0,054	0,040
18	Huazhong Univ. Sci. & Tech.	Wuhan	Hubei	422	0,053	0,030
19	Hong Kong Univ. Sci. & Tech.	Hongkong	Hongkong	399	0,047	0,027
20	Xian Jiaotong Univ.	Xian	Shaanxi	303	0,043	0,030

Tab. 2: Zentralitätsmaße der 20 relevantesten Knoten

Quelle: Eigene Berechnungen; Reihenfolge absteigend nach dem Degreewert

Das Teilnetz Hongkong ist deutlich anders strukturiert als die anderen Teilnetze. Der Anteil der lokalen Knoten ist im Vergleich zur Gesamtzahl der Knoten sehr gering. Die nicht-lokalen Knoten sind sehr zentrale Akteure aus anderen chinesischen Provinzen sowie aus dem Ausland. In der Folge rückt das Teilnetz Hongkongs in eine sehr zentrale Position für das OT-Wissensnetzwerk.

Sub-Netzwerk	Größtes verbundenes Netzwerk (largest component)					
	Rang	Knoten	lokale Knoten (aus eigener Provinz)	Kanten	regionale Closeness	Anzahl ein- gebundener Länder
China		3.134	–	25.293	–	67
Hongkong	1	517	4%	2.788	0,823	38
Tianjin	2	349	12%	1.400	0,745	23
Beijing	3	1.360	24%	9.263	0,740	47
Zhejiang	4	361	16%	1.524	0,740	24
Shanghai	5	793	15%	4.457	0,734	36
Jilin	6	416	14%	2.457	0,729	26
Anhui	7	421	15%	1.826	0,714	26
Hubei	10	345	15%	1.456	0,689	21

Tab. 3: Grundlegende Netzwerkmaße des globalen Netzwerks und der regionalen Teilnetze

Quelle: Eigene Berechnungen, Reihenfolge absteigend nach der Regionalen Closeness

Abbildung 3 fasst die bisher dargestellten Ergebnisse zusammen und macht die zentralen Erkenntnisse noch einmal deutlich. Die Provinzflächen sind entsprechend ihrem Regional Closeness-Wert gefärbt, die Diagramme zeigen die Anteile der Akteursherkunft in den Teilnetzen. Die Städte und Provinzen, in denen Chinas leistungsstarke Organisationen beheimatet sind, gehören zu den dichten Bereichen im OT-Netzwerk (Wuhan/Hubei, Chanchun/Jilin, Hefei/Anhui). Die großen allgemeinen Forschungs- und Wirtschaftszentren Beijing und Shanghai sind aber deutlich relevanter für die OT-Wissensproduktion in China. Sekundäre Zentren beginnen erst langsam an Kontur zu gewinnen, sind aber aktuell weit davon entfernt eine wichtige Ergänzung zu den primären Akteuren im Innovationssystem zu sein. Aus diesem Grund ist die räumliche Struktur des OT-Netzwerks der des allgemeinen Wissenschaftssystems (Hochschulen und Forschungseinrichtungen) sehr ähnlich. Ein weiteres Merkmal ist die Dominanz chinesischer Akteure, während Verbindungen zu internationalen Knoten zwar vorhanden, aber nicht systemprägend sind. Hongkong nimmt dabei die Rolle des effizient vermittelnden Hubs ein, Beijing ist aufgrund seiner Größe in einer vermittelnden Position.

6 Zusammenfassung und Diskussion

Die quantitative Netzwerkforschung insbesondere mit großen Datenmengen ist ein recht neues Verfahren zur Beschreibung und Analyse räumlicher Phänomene in der Geographie. Die Verfahren basieren weder auf Fallstudien, wie bei Netzwerkstudien in der Vergangenheit üblich, noch dienen sekundärstatistische Indikatoren

zur Bewertung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Innovationssystemen unterschiedlicher Maßstabsebene. Mittels Beziehungsdaten bietet das Verfahren damit eine interessante Verknüpfung qualitativer und quantitativer Verfahren. Unter der Voraussetzung der Datenverfügbarkeit liefert die Netzwerkanalyse eine gute Ergänzung im Methodenset.

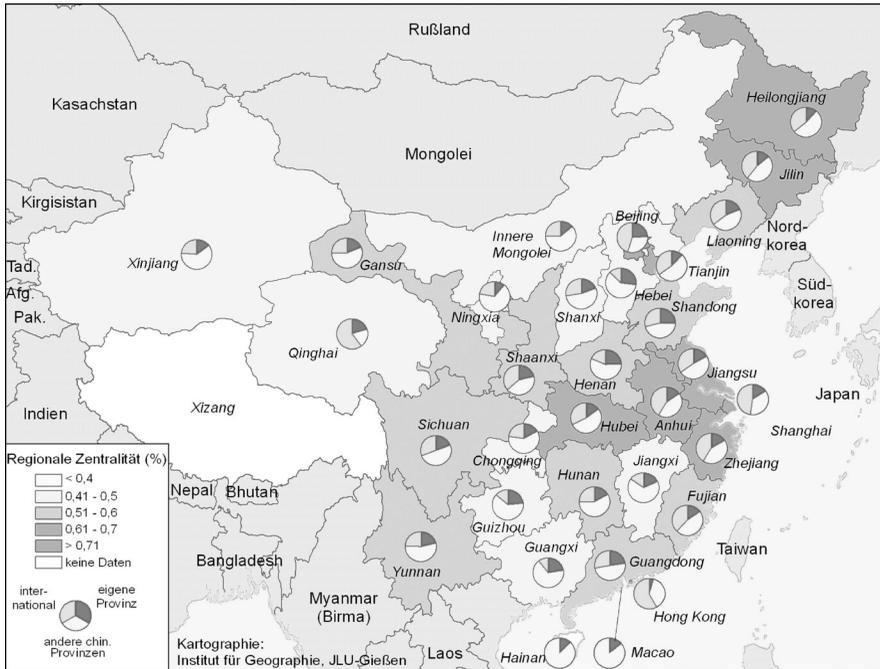


Abb. 3: Regionale Zentralität und Herkunft der Akteure in den regionalen Teilnetzen

In diesem Beitrag wurde die OT-Wissensproduktion betrachtet. Im Fokus standen der Austausch von grundlegenden Ideen und die Kooperation in der Grundlagenforschung. Aussagen über das Gefüge des Industrienetzwerks lassen sich mit den verwendeten Daten nicht treffen.

Die Art der vorliegenden Ergebnisse mag nicht vollständig unerwartet sein und ein ähnliches Bild entsteht bei der bloßen Betrachtung der Ressourceninputs im F&E-System. Der Detailgrad und die Tiefe der zugrundeliegenden Informationen lassen aber zusätzliche Aussagen über die Verbindungen zwischen den Regionen zu, die sonst nur auf spekulativer Basis getroffen werden können:

1. Die Relevanz verschiedener Organisationen für das Gesamtnetzwerk: Fallstudien haben in der Vergangenheit auf die herausragende Stellung der Forschungseinrichtungen in Wuhan und Changchun für die Wissensproduktion hingewiesen. Die Analyseergebnisse dieses Beitrags zeigen, dass die Institute in Beijing und Shanghai von größerer Relevanz sind.

2. Des Weiteren zeigt die Analyse, dass einige der führenden Akteure durchaus zwischen sonst schwach verbundenen Netzwerkbereichen Wissen vermitteln. In diesen Structural Holes profitieren die Akteure von der Heterogenität der Wissensbestände. Einige der Hongkonger Akteure besetzten diese Positionen.
3. Vom geographischen Standpunkt betrachtet, kann die Netzwerkanalyse verwendet werden, um räumliche Strukturen von Netzwerken sichtbar zu machen. Regionen können in ihrem Beitrag für die systemische Leistungsfähigkeit beurteilt werden, und zwar unabhängig von Größeneffekten. Im Fall Chinas existieren räumliche Konzentrationen in Beijing und Shanghai sowie in Zentral-, Ost- (Hubei, Anhui) und Nordostchina (Jilin). Guangdong und Fujian sind wenig relevant, obwohl Akteuren aus diesen Provinzen regelmäßig eine große Stärke im (kommerziellen) Bereich der Optoelektronik zugesprochen wird. Die Westprovinzen sind für die OT-Wissensproduktion weitgehend nicht relevant.

Im Folgenden werden einige wichtige Vorteile und Einschränkungen der Vorgehensweise bei der Analyse räumlicher Phänomene im OT-Sektor diskutiert. Die Betrachtung eines querschnittsorientierten Technologiesektors lässt keine detaillierten Rückschlüsse auf andere schnell wachsende Technologiebereiche in China oder in anderen Schwellenländern zu. Für qualifizierte Aussagen zu anderen Sektoren müssen diese separat analysiert werden. Die Auswahl eines Zeitpunkts schränkt die Übertragbarkeit der Erkenntnisse ebenfalls ein. Die Datenbasis schränkt die Aussagekraft in der Form ein, dass nur ein Teilbereich des Wissensproduktionssystems erfasst wurde. Während Kooperationen in Grundlagenforschung sehr umfassend enthalten sind, ist die Berücksichtigung von marktbezogenem Austausch sehr begrenzt. Mit der zusätzlichen Integration verschiedener Datenquellen könnte jedes dieser Probleme deutlich verringert werden. Allerdings ist die Zusammenstellung und Datenorganisation sehr aufwändig. Zukünftige Forschungsprojekte sollten sich dieser Kombination verschiedenster Datenquellen intensiver widmen. Längsschnittanalysen können für einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn sorgen.

Diesen Einschränkungen der Methoden stehen klare Erkenntnisvorteile in Bezug auf Generalisierbarkeit und Übertragbarkeit des Verfahrens gegenüber. Bei der Betrachtung verschiedener Sektoren treten keine Einschränkungen in der direkten Vergleichbarkeit der raumstrukturellen Erkenntnisse auf, da es sich um standardisierte Maße handelt, die auf der Basis des jeweiligen Netzwerks normiert werden. Skaleneffekte durch unterschiedlich große Netzwerke treten ebenfalls nicht auf, sofern die Netzwerke vollständig erfasst werden. Letzteres ist abhängig von Netzwerkdefinition und -abgrenzung. Probleme, die in der Beurteilung von Vernetzung in vergleichenden Innovationsstudien normalerweise auftreten, können mit der komplexen Netzwerkanalyse vermieden werden.

Einige mit Vorsicht zu interpretierende verallgemeinernde Schlussfolgerungen können auf Basis des OT-Beispiels dennoch für Länder mit ähnlichen Rahmenbedingungen wie sie in China herrschen gezogen werden. Dies gilt zum Beispiel für Russland, Indien, Brasilien und, mit stärkeren Einschränkungen, für Indonesien und Mexiko.

In großen Transformations- und Schwellenländern wie China weisen die Strukturen sektoraler Wissensnetzwerke eine hohe Übereinstimmung mit den Strukturen des Universitäts- und Forschungsnetzwerks auf. Die leistungsstarken Institute

besetzen Struktural Holes und sorgen für die Vermittlung unterschiedlicher (regionaler) Wissenspools. In einem ausdifferenzierten System wie es in bzw. zwischen Industrieländern anzutreffen ist, finden sich diese Positionen eher an sektoralen Schnittstellen als räumlich. Im Fall historisch gewachsener internationaler Verbindungen zeigen diese Regionen in frühen Entwicklungsphasen von Wissensnetzwerken auch eine Brückenkopffunktion in diesem Bereich. In Schwellenländern mit rasantem und räumlich unausgewogenem Wachstum bilden sie ein hierarchisches Wissenschafts- und Technologiesystem aus. Internationale Akteure sind schnell Teil des Systems, besitzen aber anders als in Industrieländern keine zentralen Positionen im Netzwerk. Im Netzwerksinn periphere Regionen sind im Durchschnitt weit entfernt von den wichtigen Wissenskanälen.

Diese allgemeinen Einschätzungen haben vorläufigen Charakter und müssen durch zukünftige Studien bestätigt werden.

Trotz der Vorläufigkeit sollten an dieser Stelle einige politische Handlungsempfehlungen formuliert werden. Wenn Regierungen in Transformations- und Schwellenländern hauptsächlich die internationale Integration des Wissensnetzwerks forcieren wollen, sollten sich die Maßnahmen auf die Stärkung von Struktural Holes Positionen konzentrieren. International bereits eingebundene Akteure können mit gezielter Forschungsförderung, der Einstellung von nationalen Top-Wissenschaftlern sowie von Remigranten und der Förderung forschungsorientierter in- und ausländischer Unternehmen einen großen Effekt erzielen. Sollte die Regierung eine auf Wissensverbreitung konzentrierte Entwicklungsstrategie verfolgen, sollten periphere Akteure an die führenden nationalen Forschungsakteure angebunden werden. Direkte Maßnahmen zur Förderung von Innovationen und Technologie in peripheren Regionen sind nachzeitigem Stand weder effizienter noch effektiver. Direkte Wissenstransferkanäle von der (Netzwerk-)Peripherie in die (Netzwerk-)Zentren sind in frühen Entwicklungsphasen relevanter für Erweiterung der regionalen Wissensbasis in peripheren Regionen als die Errichtung großer Forschungseinrichtungen und Unternehmen.

Literatur

- BAARK, E. 2001: Technology and Entrepreneurship in China: Commercialization Reforms in the Science and Technology Sector. In: *Review of Policy Research*, 18, S. 112–129.
- BATHELT, H., A. MALMBERG u. P. MASKELL 2004: Clusters and Knowledge: Local Buzz, Global Pipelines and the Process of Knowledge Creation. In: *Progress in Human Geography*, 28, S. 31–56.
- BELL, G.G. u. A. ZAHEER 2007: Geography, Networks, and Knowledge Flow. In: *Organization Science*, 18, S. 955–972.
- BOSCHMA, R. 2005: Proximity and Innovation: A Critical Assessment. In: *Regional Studies*, 39, S. 61–74.
- BRANDT, A., C. HAHN, S. KRÄTKE u. M. KIESE 2009: Metropolitan Regions in the Knowledge Economy: Network Analysis as a Strategic Information Tool. In: *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 100, S. 236–249.
- CANTNER, U. u. H. GRAF 2006: The Network of Innovators in Jena: An Application of Social Network Analysis. In: *Research Policy*, 35, S. 463–480.

- DTI (Department of Trade and Industry) 2005: Developments in Electronic and Photonic Packaging Research and Manufacturing – A Scoping Mission to China. Global Watch Mission Report. London.
- ERNST, D. 2008: The New Geography of Knowledge – Asia's Role in Global Innovation Networks. Paper presented to the Sixth Interdisciplinary Symposium on Knowledge and Space, 17–20 September 2008. Heidelberg.
- FAGERBERG, J. u. B. VERSAPEN 2009: Innovation Studies – The Emerging Structure of a New Scientific Field. In: *Research Policy*, 38, S. 218–233.
- HENNEMANN, S. 2008: Evolution of Scientific Knowledge Networks in Transition Economies. Paper presented to NetSci08, 27 June 2008. Norwich, UK.
- HENNEMANN, S. 2009: Vernetzung in der Grundlagenforschung. In: *Planungsverband Frankfurt/Rhein-Main (Hrsg.): Wissensatlas der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main*. Frankfurt, S. 32–34.
- HENNEMANN, S. u. H. KROLL 2008: Wissensmacht China. In: *Geographische Rundschau*, 60, 5, S. 12–19.
- JANSEN, D. 2006: Einführung in die Netzwerkanalyse. Grundlagen, Methoden, Forschungsbeispiele. Wiesbaden.
- LAUDEL, G. 2002: What do we Measure by Co-authorships? In: *Research Evaluation*, 11, S. 3–15.
- LIEFNER, I., S. HENNEMANN u. X. LU 2006: Cooperation in the Innovation Process in Developing Countries: Empirical Evidence from Zhongguancun, Beijing. In: *Environment and Planning A*, 38, S. 111–130.
- LIEFNER, I. u. G. ZENG 2008: Cooperation Patterns of High-Tech Companies in Shanghai and Beijing: Accessing External Knowledge Sources for Innovation Processes. In: *Erdkunde*, 62, S. 245–258.
- MAGGIONI, M. A. u. T.E. UBERTI 2008: Knowledge Networks Across Europe: Which Distance Matters? In: *The Annals of Regional Science*, 43, S. 691–720.
- MALECKI, E.J. 2002: Hard and Soft Networks for Urban Competitiveness. In: *Urban Studies*, 39, S. 929–946.
- MCPHERSON, M., L. SMITH-LOVIN u. J.M. COOK 2001: Birds of a Feather: Homophily in Social Networks. In: *Annual Review of Sociology*, 27, S. 415–444.
- SAMMARRA, A. u. L. BIGGIERO 2008: Heterogeneity and Specificity of Inter-Firm Knowledge Flows in Innovation Networks. In: *Journal of Management Studies*, 45, S. 800–829.
- SCHWAAG SERGER, S. u. M. BREIDNE 2007: China's Fifteen-Year Plan for Science and Technology: An Assessment. In: *Asia Policy*, 2, S. 135–164.
- SU, J. 2000: The Comparative Study of Regional Innovation Systems of Japan and China. Tokyo. (= NISTEP Study Material 74).
- SUN, Y. 2003: Geographic Patterns of Industrial Innovation in China During the 1990s. In: *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 94, S. 376–389.
- WANG, H. 2008: A Study on the Development of China's Laser & Optoelectronic Technology and Industry. Gießen. (= Giessen Working Papers in Economic Geography 2008-03).
- ZHAO, J. u. J. GUO 2002: The Restructuring of China's Higher Education: An Experience for Market Economy and Knowledge Economy. In: *Educational Philosophy and Theory*, 34, S. 207–222.
- ZHOU, P. u. L. LEYDESDORFF 2006: The Emergence of China as a Leading Nation in Science. In: *Research Policy*, 35, S. 83–104.
- ZHOU, Y. 2007: The Inside Story of China's High-Tech Industry: Making Silicon Valley in Beijing. Lanham.