

IZ-Arbeitsbericht Nr. 21

**Integration von Ansätzen neuronaler  
Netzwerke in die Systemarchitektur  
von ViBSoz und CARMEN**

Jürgen Krause

Oktober 2000



InformationsZentrum  
Sozialwissenschaften

Lennéstraße 30  
D-53113 Bonn  
Tel.: 0228/2281-0  
Fax.: 0228/2281-120  
email: krause@bonn.iz-soz.de  
Internet: <http://www.gesis.org>

ISSN: 1431-6943

Herausgeber: Informationszentrum Sozialwissenschaften der Arbeits-  
gemeinschaft Sozialwissenschaftlicher Institute e.V. (ASI)

Druck u. Vertrieb: Informationszentrum Sozialwissenschaften, Bonn  
Printed in Germany

Das IZ ist Mitglied der Gesellschaft Sozialwissenschaftlicher Infrastruktureinrichtungen e.V. (GESIS), einer  
Einrichtung der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL)

---

Inhalt	
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Vagheitsbehandlung durch neuronale Netze im Information Retrieval</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Information Retrieval und Modellierung der Vagheit</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Einschnitt- versus Zweischnitt-Verfahren</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Integration der Ergebnisse der Vagheitsbehandlung durch die Transfermodule</b>	<b>9</b>
2.3.1 ELVIRA: gerichteter Transfer	10
2.3.2 Transfer zwischen heterogenen Textbeständen	13
<b>3 COSIMIR</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Tests zu COSIMIR</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Fazit COSIMIR</b>	<b>16</b>
<b>4 Transformationsnetzwerke</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Evaluationsstudien zum Transformationsnetzwerk</b>	<b>18</b>
4.1.1 Transferrichtung, Grenzhäufigkeit und Vergleichsmaßstab	18
4.1.2 Transformation IZ-Thesaurus zu IZ-Klassifikation	19
4.1.3 Transformation USB-Thesaurus zu IZ-Klassifikation	21
4.1.4 USB-Thesaurus zu IZ-Thesaurus	22
<b>4.2 Einsatzmöglichkeiten der Transformationsnetzwerke</b>	<b>23</b>
<b>5 Literatur</b>	<b>24</b>

# 1 Einleitung

Die Frage, wie die Heterogenität verschiedener Inhaltserschließungsverfahren, die bei virtuellen Fachbibliotheken und Informationsverbänden durch den Zusammenschluss von Informationsquellen verschiedenen Typs (z. B. WWW-Quellen, Bibliothekskataloge und Fachdatenbanken) adäquat zu handhaben ist, steht im Zentrum zweier Projekte des IZ:

- Die vom DFG geförderte virtuelle Fachbibliothek Sozialwissenschaften (ViBSoz, s. Kluck et al. 2000) behandelt u. a. die Heterogenität zwischen Dokumenten aus den Fachdatenbanken SOLIS/FORIS und denen aus Bibliothekskatalogen.
- Bei der vom BMBF geförderten Sonderfördermaßnahme CARMEN (<http://www.mathematik.uni-osnabrueck.de/projects/carmen/>) geht es u. a. um die Integration von WWW-Quellen mit Fachdatenbanken.

Beide Projekte befassen sich mit unterschiedlichen Aspekten der Heterogenitätsbehandlung; die zugrunde liegende prinzipielle Vorgehensweise entspricht sich jedoch, schon um einen späteren Zusammenschluss der Projektergebnisse miteinander und mit weiteren IZ-Projekten wie GESINE (Marx et al. 1995) zu erleichtern.

Neben Crosskonkordanzen, qualitativ-deduktiven Methoden und statistischen Verfahren der Heterogenitätsbehandlung gehört zu den Grundstrategien auch der Einsatz neuronaler Netze in Transfermodulen zwischen Dokumentenbeständen mit unterschiedlicher Inhaltserschließung. Sowohl die Frage, welches Netzwerkmodell am erfolgversprechendsten ist, als auch die Frage, ob neuronale Netze im Kontext integrierter Fachinformationssysteme in der Praxis einen Mehrwert erbringen können, ist bisher in der Forschung kaum behandelt worden. Deshalb wurde diese Thematik in einer Kooperation vom IZ mit der Universität Hildesheim im Rahmen eines Promotionsvorhabens erforscht (Mandl 2000a, Mandl 2000b).

Im folgenden geht es um die Konsequenzen aus diesen Ergebnissen für integrierte sozialwissenschaftliche Informationssysteme – und damit konkret für die Arbeiten in CARMEN und ViBSoz. Die theoretischen und empirischen Schlussfolgerungen von Mandl 2000a werden in den Abschnitten 3 und 4 zusammenfassend dargestellt, in ihrer Relevanz für ViBSoz und CARMEN beurteilt und daraus konkrete Folgerungen für die Realisierung von Transfermodulen zur Auflösung von Heterogenität abgeleitet. Davor wird in Abschnitt

2.2 die in allen IZ-Projekten zu integrierten Informationssystemen zugrunde liegende Architektur der Transfermodule gegenüber den bisherigen Darstellungen präzisiert und weiterentwickelt. Sie führt zu entscheidenden Unterschieden gegenüber der traditionellen Art der Vagheitsbehandlung im Information Retrieval (IR), die sich besonders deutlich beim Einsatz und der Beurteilung von Transformationsnetzwerken zeigen.

## **2 Vagheitsbehandlung durch neuronale Netze im Information Retrieval**

Neuronale Netzwerkmodelle entstanden aus Beobachtungen der Gehirnforschung und den Kognitionswissenschaften. Die Arbeitsweise der Nervenzellen bei der Informationsverarbeitung legte ein Modell nahe, bei dem keine deduktiven Regeln für die Ableitung von Informationen aus Eingangssignalen verantwortlich waren, sondern eine Reihe einfacher lokal arbeitender Prozessoren zu einem Netz zusammengeschlossen werden und über komplexe Aktivierungsketten zur Zielinformation führen (s. als Einleitung Scherer 1997, Zell 1994, Mandl 2000a: Abschnitt 3).

Neuronale Netzwerke im Information Retrieval (IR) modellieren nichtsdestotrotz keine kognitiven Denkprozesse des Menschen. Sie haben z. B. wenig zu tun mit „cognitive viewpoint“-Ansätzen, wie sie von Belkin 1996 und Ingwersen 1996 vertreten werden. Es sind abstrakte mathematische Modelle mit speziellen Modelleigenschaften, die sie für viele Aufgaben im Bereich der Informationsverarbeitung interessant machen. Neuronale Netzwerke modellieren sehr erfolgreich Vagheit – allerdings ohne die „warum“-Frage zu stellen und ohne dass ihre Ergebnisse im kognitiven Sinn interpretierbar wären –, sind lernfähig und gegenüber Fehlern tolerant; all die Eigenschaften, die das IR nach den ersten Erfahrungen mit intellektueller Indexierung und Booleschen Rechercheverfahren seit Jahrzehnten einfordert.

### **2.1 Information Retrieval und Modellierung der Vagheit**

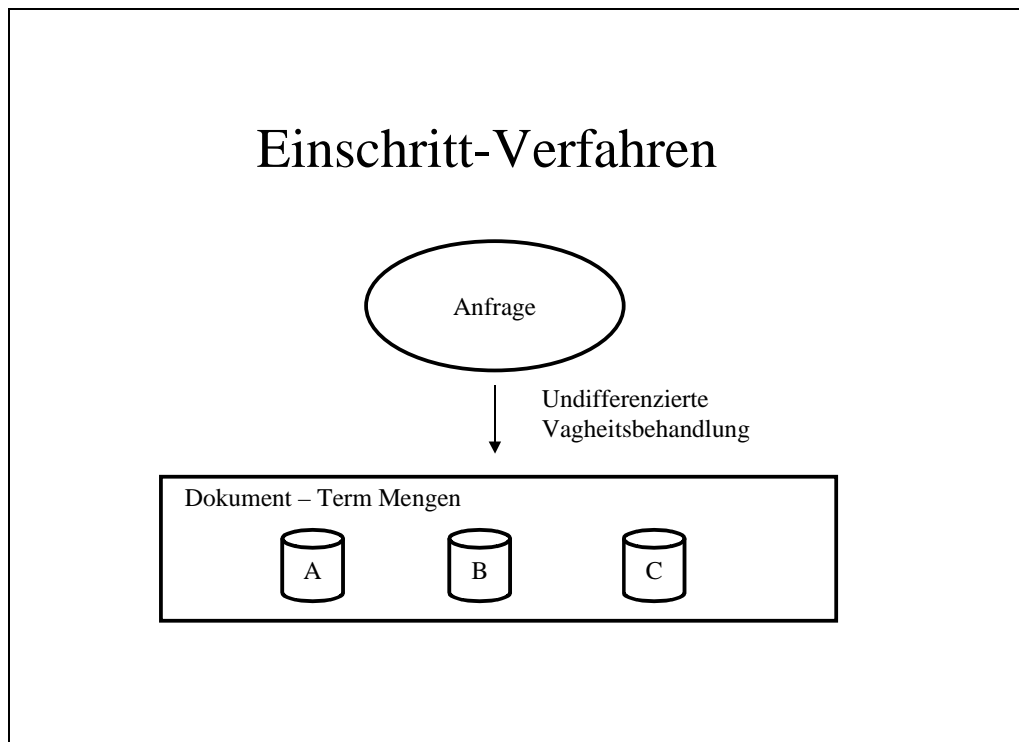
Der Vagheit im IR wird in der Regel durch statistische Ansätze begegnet, wobei die Vagheit zwischen Benutzeranfrage und Dokumentenbestand modelliert wird. Eher am Rande stehen Versuche, statt statistischer Verfahren (probabilistisches Modell und Vektorraummodell) neuronale Netze einzusetzen. Hier ist das in Mandl 2000a vorgestellte COSIMIR-Modell einzuordnen.

Es baut auf dem bekannten Backpropagation-Ansatz auf, entwickelt diesen jedoch im Sinne eines „**CO**gnitive **SIM**ilarity Learning in **IN**formation **RE**trieval“ (S. 4) weiter. COSIMIR ist als Ansatz zur Behandlung von Vagheit im IR zu sehen, der über den State-of-the-Art hinausgeht. In der vorgelegten Ausprägung wurde er bisher noch nicht in der Literatur behandelt. Der Grundidee nahestehende Ansätze (Jong et al. 1996, Barnden 1994) wurden für deutlich abweichende Anwendungsfälle vorgeschlagen (case-based-reasoning und Gedächtnisforschung).

Als Weiterentwicklung ist auch der Vorschlag zum Einsatz von Transformationsnetzwerken zur Behandlung der Heterogenität bei Recherchen über mehrere Dokumentenbestände zu sehen, die mit unterschiedlichen semantischen Inhaltserschließungsverfahren bearbeitet wurden. Im Gegensatz zum Einsatz der Transformationsnetzwerke als Transfer zwischen Anfrageebene und Dokumentenebene integriert Mandl 2000a sie jedoch in ein anderes Architekturmodell des IR, das im folgenden als „Zweischritt“-Verfahren erläutert wird und die Basis der IZ-Projekte im Bereich integrierter Informationssysteme bildet.

## **2.2 Einschnitt- versus Zweischritt-Verfahren**

Die traditionelle Form der Vagheitsbehandlung im IR bezieht sich auf den Vergleich der Anfrageterme mit denen der Inhaltserschließung, wobei man die Dokumentenebene als einheitlich zu modellierend versteht. Am deutlichsten wird dies, wenn alle Dokumente z. B. mit Freitext erschlossen oder automatisch indexiert wurden. Auch wenn es zu einer doppelten Indexierung von Stichworten (aus der automatischen Freitextanalyse) und intellektuell ermittelten Deskriptoren kam, folgt die Modellierung im Prinzip dieser Homogenitätsforderung. Der Benutzer kann entweder über eine der beiden Termgruppen suchen und seine Suchstrategie dann an dem kontrollierten Vokabular der intellektuellen Erschließung ausrichten oder aber über die Freitextterme mit einer anderen Strategie suchen. Wählt er die Suche über beide Termfelder, wird die Differenzierung beim Match nicht auseinandergehalten, d. h. so behandelt, als ob die semantischen Unterschiede der beiden Inhaltserschließungsverfahren nicht existieren würden.

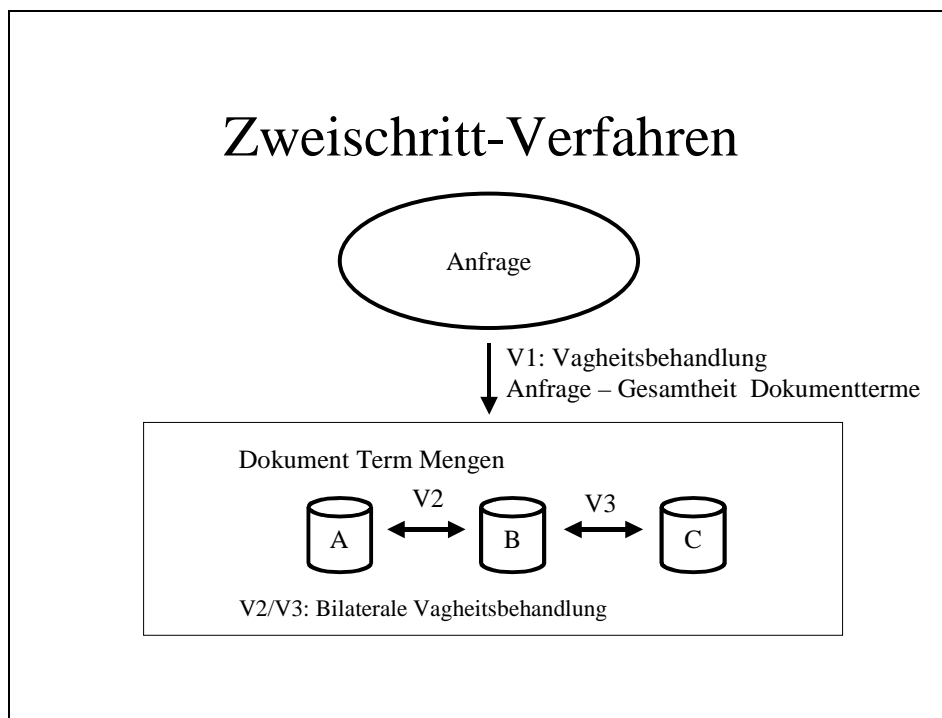


**Abb. 1: Einschritt-Verfahren**

Noch deutlicher wird die Problematik, wenn wir bei digitalen Bibliotheken versuchen, z. B. eine sozialwissenschaftliche Literaturdatenbank wie SOLIS mit ihrem eigenen kontrollierten Vokabular (IZ-Thesaurus und IZ-Klassifikation) mit Bibliothekskatalogen, z. B. im Projekt ViBSoz mit den Dokumenten der Universitätsbibliothek Köln zu verbinden (USB-Thesaurus), die intellektuell nach der Schlagwortliste der Deutschen Bibliothek Frankfurt erschlossen werden. Vergleicht man zwei solche Thesauri oder Klassifikationen, wird deutlich, dass die Vagheit hier bereits auf der semantischen Beschreibungsebene zweier in die Suche zu integrierender Dokumentenbestände entsteht, nicht erst bei der Benutzeranfrage. Terme einer Bibliotheksklassifikation bilden mit ihrem kontrollierten Vokabular eine Beschreibungsebene, die nicht einfach 1:1 in die Terme einer anderen Klassifikation z. B. aus dem Bereich der Fachinformationssysteme umgesetzt werden kann. Die Bedeutung eines Deskriptors A der Bibliotheksklassifikation ist eine andere als die Bedeutung des gleichen Terms in einer anderen Klassifikation oder auch in einem Thesaurus wie der IZ-Thesaurus zur sozialwissenschaftlichen Literaturdatenbank SOLIS, wenn auch ein - eben „vager“ - Zusammenhang besteht. Man kann diese Vagheitsrelationen undifferenziert in die Modellierung des IR-Prozesses einfließen lassen und die Vagheit zwischen Benutzeranfrage und Dokumenten modellieren, ohne die Differenzen auf der Dokumentenebene

zwischen jeweils zwei heterogen erschlossenen Dokumentenbeständen explizit durch Transformationsmodule gesondert zu behandeln. Genau dies tut Mandl 2000a in seinem Experiment in Abschnitt 7.4.3 (heterogene Werkstoffdaten). COSIMIR in diesem Sinn als „Einschritt“-Verfahren einzusetzen, wird dadurch ermöglicht, dass COSIMIR „keine Annahmen über die Gleichförmigkeit der Eingangsdaten“ erfordert. Die Transformationsnetzwerke spielen hierbei keine Rolle.

Ein hierzu alternatives „Zweischritt“-Verfahren spielt in den Projekten ELVIRA (Krause/Stempfhuber 2000), ViBSoz und CARMEN des IZ eine entscheidende Rolle. Es basiert auf der These, dass heterogene Dokumentenbestände zuerst durch Transfermodule miteinander verbunden werden sollten (Vagheitsmodellierung auf Dokumentenebene), bevor sie in den übergeordneten Prozess der Vagheitsbehandlung zwischen Dokumenten und Anfrage (das klassische IR-Problem) eingefügt werden.



**Abb. 2 Zweischritt-Verfahren**

Beispiele für ein Integrationsbedürfnis heterogener Dokumentenbestände sind Literaturdatenbanken, deren Inhaltserschließung mit verschiedenen Thesauri, Klassifikationen oder im Freitextverfahren erfolgte, oder auch die Ergänzung von Zeitreihendaten (Fakten) durch textuelle Informationen, wie sie die Benutzer des Verbandsinformationssystems ELVIRA forderten. Ein sozialwissenschaftlicher Anwendungsfall wäre die Integration von Literaturdaten mit Zeitreihen zu Umfragen wie ALLBUS oder ISSP, der in



Zeitreihen zu Umfragen wie ALLBUS oder ISSP, der in GESINE vorgeschlagen wurde (s. Marx et al. 1995). Sind z. B. drei heterogene Dokumentenbestände zu integrieren, behandeln Transfermodule zwischen A - B, B - C, C - D jeweils bilateral die Vagheit zwischen zwei verschiedenen Inhaltsverfahren. Die Hoffnung hinter dieser – von der traditionell im IR praktizierten Vorgehensweise deutlich abweichenden Form der Vagheitsbehandlung – ist, dass sich durch die Trennung des Vagheitsproblems eine größere Flexibilität und Zielgenauigkeit des Gesamtverfahrens ergibt. Verschiedene Formen der Vagheit fließen nicht unkontrolliert ineinander, sondern können nahe an der verursachenden Schnittstelle (z. B. den Unterschieden zweier verschiedener Thesauri) behandelt werden. Dies erscheint zum einen kognitiv plausibler und ermöglicht zum anderen die Kombination verschiedenster Module zur Vagheitsbehandlung, die gemeinsam beim Retrieval über heterogene Datenbestände wirksam werden können.

Gerade vor dem breiten Hintergrund der empirischen Hinweise, dass sich die IR-Verfahren stärker in der Ergebnismenge als in der Güte der Evaluationsparameter wie Recall und Precision unterscheiden, scheint dieses Vorgehen vielversprechend. So kann z. B. ein probabilistisches Verfahren beim Match zwischen Benutzeranfrage und Dokumenten mit neuronalen Transformationsmodulen verbunden werden oder letztere auch mit IR-Verfahren auf der Basis der Booleschen Algebra. Aber auch wenn die Transformationsmodule zwischen den heterogenen Dokumentenbeständen die gleichen Ähnlichkeitsfunktionen einsetzen wie auf der IR-Ebene zwischen Benutzeranfrage und Dokumenten, dürften sich die Ergebnisse zwischen „Einschritt“- und „Zweischritt“-Verfahren unterscheiden.

Im Rahmen dieses Ansatzes, der im Projekt ELVIRA des IZ, an dem Herr Mandl bis 1997 beteiligt war (danach Kooperationsprojekt IZ Bonn mit Universität Hildesheim), erstmals für die Text-Fakten-Integration eingesetzt wurde, bearbeitete Mandl 2000a die Fragestellung, welche mathematischen Verfahren prinzipiell für die Transfermodule in Frage kommen. In diesem Kontext stieß er auf die Transformationsnetzwerke, die er in den Abschnitten 4.6.3 und 5.3.3. einführt und ihre Wirksamkeit in den Experimenten von Abschnitt 7.2 und 7.3 belegt.

### **2.3 Integration der Ergebnisse der Vagheitsbehandlung durch die Transfermodule**

Die in Abschnitt 2.2 als „Einschritt“-Verfahren eingeführten Architekturen, die die Vagheit unspezifiziert zwischen Anfragetermen und Dokumenttermen

modellieren, haben keinerlei Integrationsprobleme, da die Anfrageterme die Eingabeschicht des neuronalen Netzwerks belegen und die Dokumente die Zielstruktur.

Beim Zweischritt-Verfahren entstehen jedoch an mehreren Stellen Vagheitsbeziehungen. Schon bei zwei heterogenen Dokumentenbeständen ist die Frage zu beantworten, wie die Vagheitsbehandlung aus der Anfrage zu dem Dokumentenbestand mit der zwischen den Dokumentenbeständen zusammenzuführen ist.

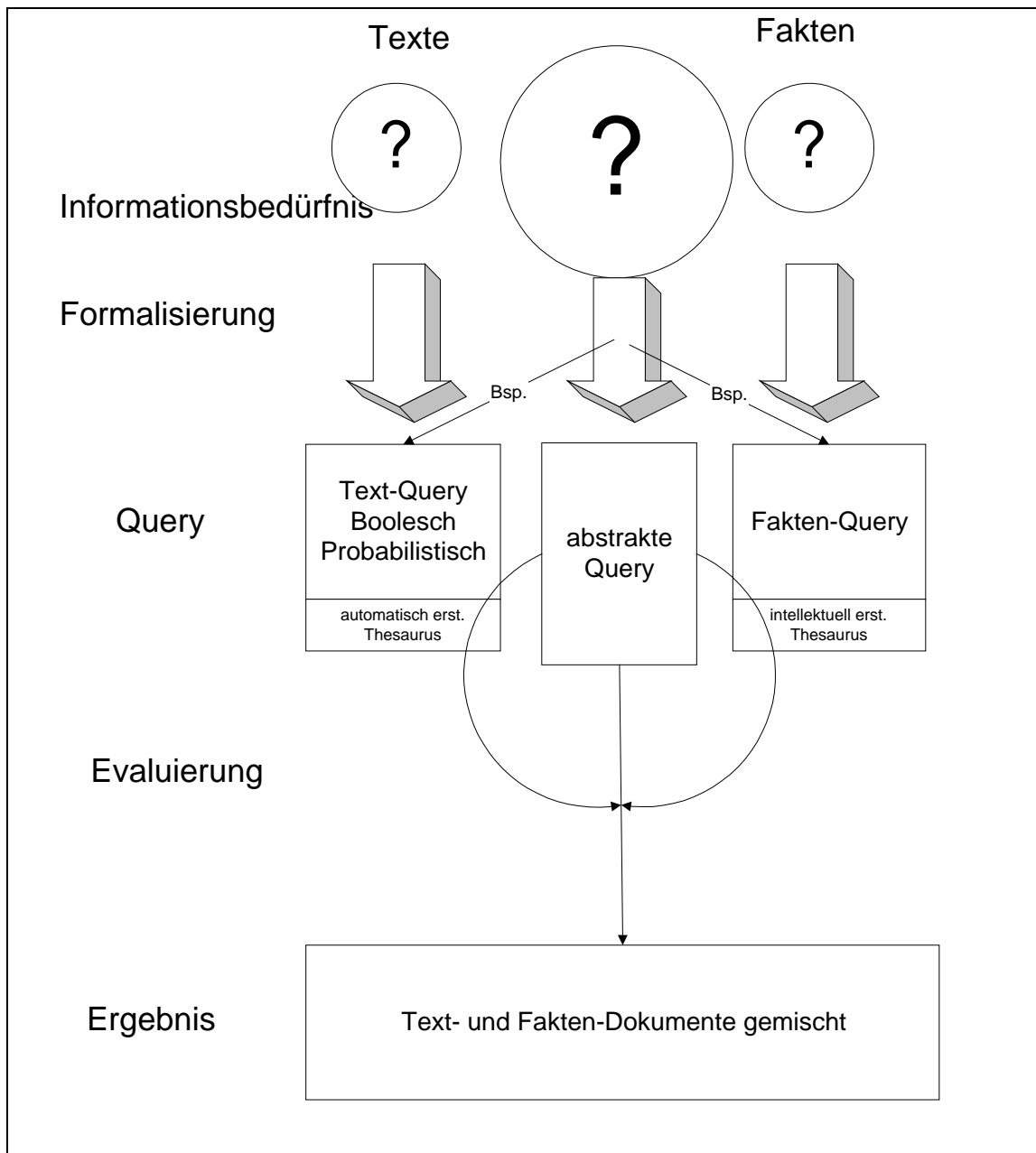
### **2.3.1 ELVIRA: gerichteter Transfer**

ELVIRA (**E**lektronisches **V**erbandsinformati**o**nssystem- **R**echerche- und **A**nalyse-System) ist ein Fakteninformationssystem für die Firmen der Elektronikindustrie, das einen benutzerfreundlichen Zugang zu Produktions-, Außenhandels-, Konjunktur- und Strukturdaten ermöglicht. Die Zeitreihen-Faktentabellen werden nicht über ihre Zellenwerte und den Tabellennamen angesprochen, sondern indirekt über intellektuell vergebene Deskriptoren zu den drei Kategorien betroffenes Thema (z. B. Export), Branche/Produkt (z. B. Mikrowellengeräte) und dem Land. Das System wird mittlerweile bei den Firmen des ZVEI, HBV und VDMA in über 350 Installationen eingesetzt (s. Scheinost et al. 1998, Krause/Stempfhuber 2000).

Benutzertests zeigten trotz hoher Akzeptanz rasch, dass die Verbandskunden neben den Zeitreihen auch textuelle Informationsquellen zur Lösung ihrer Problemstellungen fordern. Das Transferproblem entsteht dadurch, dass bei Zeitreihen und Texten unterschiedliche Indexierungsverfahren eingesetzt werden. Die Zeitreihen sind intellektuell indiziert, die verwendeten Deskriptoren nach Art einer Klassifikation oder eines Thesaurus hierarchisch geordnet (z.B. durch Nomenklaturen des Statistischen Bundesamtes). Texte werden dagegen z. T. auch automatisch indiziert, womit nicht nur normierte Thesaurusbegriffe, sondern jedes Wort, das in einem Text auftritt, ein gültiger Suchbegriff ist. Des weiteren scheinen sich Texte nicht so stark auf einzelne Produkte zu beziehen, wie dies z. B. bei Zeitreihen der tiefgegliederten Produktionsstatistik der Fall ist. Oft lassen sich nur zu höheren Aggregationsstufen (z. B. zur Antriebstechnik oder zu Elektromotoren insgesamt) Texte finden, und nicht zu speziellen Motorenarten wie z. B. Gleichstrommotoren.

In ELVIRA gingen wir ursprünglich von zwei Anfrageklassen aus:

- Der Benutzer sucht zuerst nach Fakten, und in einem iterativen Suchschritt (bzw. von Anfang an) möchte er die zugehörigen Texte nachgewiesen bekommen (und umgekehrt),
- Er fordert auch eine “echte” Integration der unterschiedlichen Suchtypen (abstrakte Query in Abb. 3). Sie liegt dann vor, wenn der Benutzer sein Informationsbedürfnis völlig abstrakt, also unabhängig von den recherchierbaren Ergebnistypen formuliert.



**Abb. 3: Hypothesen der Suchtypen in ELVIRA**

Nach den bisherigen Erfahrungen spricht vieles dafür, dass in ELVIRA bei der Suchformulierung bereits in Beispielen gedacht wird und damit die abstrakte "echte" Integration auf der Ebene der Suchformulierung dem Benutzerverhalten nicht entspricht. Für den Transfer in ELVIRA bedeutet dies, dass immer entweder vom Text oder der Faktenkonzeptualisierung ausgegangen werden kann und die Transferleistung hinzukommt.

Es wird somit z. B. zuerst mit den Anfragetermen des Benutzers, der über die Faktenmaske in die Anfrageformulierung einsteigt, nach den Zeitreihen gesucht, danach intern der Transfer Faktendokumente → Textdokumente angestoßen. Die Fakten-Anfrageterme werden entsprechend der Transfermatrix in textuelle Anfrageterme umgesetzt, und mit diesen wird im Textbestand gesucht. Wollte man dagegen die übliche Termerweiterungsstrategie der Anfrage im Rahmen des „Einschritt“-Verfahrens anwenden, würde auch im Faktenbestand mit Termen der textuellen Ebene gesucht, was wenig Sinn macht.

Bei einer einfachen Text-Fakten-Integration scheint der gerichtete Transfer der Regelfall zu sein. Er stellt im Rahmen der „Zweischritt“-Architektur keine speziellen Anforderungen an die Integration der beiden Module zur Vagheitsbehandlung. Schon hier wird jedoch der Unterschied in der Wirkungsweise der beiden Architekturkonzepte sichtbar. Deshalb ähneln Termerweiterungsstrategien, wie sie z. B. AIR/PHYS einsetzte, zwar den hier angesprochenen Transfermodulen, haben jedoch, da sie im Sinne der „Einschritt“-Verfahren wirken, andere Konsequenzen, auch wenn die gleichen mathematischen Verfahren verwendet würden. Dies wird noch deutlicher und in den Auswirkungen gravierender bei der Integration mehrerer heterogener Textbestände.

### **2.3.2 Transfer zwischen heterogenen Textbeständen**

Die Parallele zu 2.3.1 ergibt sich im Textretrieval, wenn z. B. ein IZ-Benutzer, der den IZ-Thesaurus genau kennt und seine Suchstrategie danach ausrichtet, zusätzlich die Texte der USB Köln nachgewiesen bekommen möchte. Dies dürfte jedoch eher die Ausnahme als die Regel sein.

Bei heterogenen Textrecherchen ist einerseits mit mehr als zwei Dokumentbeständen verschiedener Inhaltserschließungssysteme zu rechnen und gleichzeitig mit Benutzern, die in keines der zu integrierenden Inhaltserschließungsverfahren so eingearbeitet sind, dass sie seine Suchstrategien nach einer Norm ausrichten.

Beim „Einschritt“-Verfahren spielt dies keine Rolle, da zwischen bilateralen Transfers nicht unterschieden wird. Das Zweischritt-Verfahren muss jedoch sicherstellen, dass die Vorteile, die Vagheit differenziert zwischen zwei Erschließungssystemen zu messen, nicht durch die Art, wie diese Werte in die interne Rechercheausführung eingebracht werden, verloren gehen. Deshalb genügt der einfache Weg einer Termerweiterung der Anfrageterme nicht mehr. Ergänzt man die Anfrage z. B. um einen Term aus der Vagheitsbestimmung  $B \rightarrow C$ , soll dieser nur in C wirksam werden, nicht jedoch z. B. in A. Dies macht es nötig - statt einer global wirksam werdenden Strategie der Termer-

weiterung -, die Anfrageterme differenziert zu erweitern und dabei auf unterschiedlichen Teilmengen der heterogenen Dokumentenbestände zu operieren.

### 3 COSIMIR

Mandl 2000a: Abschnitt 6.5 zeigt praktische Schwierigkeiten der bisherigen Vorgehensweise im IR auf und gibt Hinweise auf aus den jeweiligen Modellen ableitbare Unplausibilitäten. Zwei von ihnen sollen näher besprochen werden.

- Mathematische Ähnlichkeitsfunktionen wie die Kosinus-Funktion gehen von einer symmetrischen und transitiven Ähnlichkeitsbeurteilung aus, was empirisch nicht zutrifft. Bei COSIMIR spielt dies keine Rolle. Symmetrische und nicht transitive Funktionen lassen sich realisieren. COSIMIR macht dagegen keine Annahmen über formale Eigenschaften der zu lernenden Funktion und ist damit nach Ansicht des Verfassers „kognitiv adäquater“ (Mandl 2000a: 187).

Was besagt das? Eigentlich nur, dass das weiterhin kognitiv unvollständig bleibende Verfahren zwei offensichtliche argumentativ nachvollziehbare Abweichungen nicht mehr besitzt. Es wäre jedoch eine Illusion zu glauben, dass daraus zwingend eine Verbesserung der Systemleistung folgen müsste. Sie ist nicht einmal plausibel. Auch COSIMIR modelliert weitab von jeglicher Simulation menschlicher Prozesse und will dies auch gar nicht. Die Frage, ob gerade die beiden genannten Systemeigenschaften auf die Retrievalqualität durchschlagen – im Kontext einer Fülle weiterer Abweichungen –, lässt sich argumentativ nicht sinnvoll weiterverfolgen. Was zählt, ist letztlich nur die empirische Plausibilität. Nur durch sie lässt sich das Potential der vorgeschlagenen Lösung COSIMIR im Sinne eines wissenschaftlichen Diskurses bestimmen (s. Abschnitt 3.1).

- Bisherige neuronale Netze im IR nutzen im Gegensatz zu COSIMIR die Stärken dieses Modells in Bezug auf die Lernfähigkeit und Mächtigkeit durch die Integration subsymbolischer Repräsentationen zu wenig aus. Der eingesetzte Backpropagation-Algorithmus und das ausschließliche Lernen anhand von Benutzerurteilen wirken dem in COSIMIR entgegen.

Was ist die Konsequenz aus dieser Konzentration auf das Lernen durch Benutzerurteile? Mandl 2000a: Abschnitt 7.1 macht dies sehr deutlich: Die Anforderungen an die Testkollektion sind so hoch, dass sie für realistische

Anwendungskontexte kaum zu erbringen sind. Für den wissenschaftlichen Diskurs heißt dies jedoch letztendlich, dass die notwendige und von Mandl 2000a auch akzeptierte Bestätigung der postulierten Vorteile kaum noch erbringbar ist, vor allem nicht im zeitlichen Rahmen einer Dissertation. Für Überlegungen zum praktischen Einsatz von COSIMIR bedeutet dies, dass die geforderte Lernphase nur unter sehr speziellen Ausgangsbedingungen nicht zu aufwendig ist, um dem Ansatz eine Chance zu geben.

Diese Überlegungen machen deutlich, wo die Grenzen von COSIMIR liegen. Es müssen ganz spezifische Kontextfaktoren zusammenkommen, damit sich COSIMIR in einer praktischen Nutzungssituation bewähren kann. Für die große Menge der IR-Anwendungen ist COSIMIR als erster durchaus innovativer und wertvoller Schritt zu sehen, sich mit den Möglichkeiten des Einsatzes neuronaler Netze wissenschaftlich zu befassen – nicht mehr und nicht weniger.

### **3.1 Tests zu COSIMIR**

#### **(Mandl 2000a: Abschnitte 7.1 und 7.4)**

Die Evaluation von COSIMIR auf der Grundlage der bekannten Cranfield Testkollektion scheitert in mehrfacher Hinsicht. COSIMIR liefert schlechtere Ergebnisse als das Baseline Vektorraummodell. „Das COSIMIR-Modell konnte ... nicht die Qualität eines Standardmodells erreichen“ (Mandl 2000a: 193). Auch methodisch zeigt die Beschreibung dieses Modells klar die inhärente Hauptschwierigkeit des Einsatzes neuronaler Netze im IR – und speziell die des COSIMIR-Verfahrens. Ohne LSI (Latent Semantic Indexing) ergaben sich nicht mehr beherrschbare Laufzeiten, was durch die Integration von LSI erfolgreich beantwortet wurde. Gleichzeitig zeigte sich deutlich, dass die für andere IR-Tests durchaus ausreichende Testgrundlage für COSIMIR faktisch unbrauchbar ist.

„COSIMIR ... erfordert mehr Daten für das Lernen als statistische Ansätze, da zusätzlich umfangreiche Relevanzbewertungen nötig sind. Aus diesen Gründen ist es schwierig, einen realen Datenbestand zu finden, mit dem alle Fragestellungen überprüft werden können“ (Mandl 2000a: 188).

Es ist Mandl 2000a hoch anzurechnen, dass er keinerlei Versuche macht, das Scheitern dieses Experiments herunterzuspielen. Gerade die Analyse des Scheiterns ist von hohem Wert für die Weiterentwicklung und die Einordnung von COSIMIR.

Empirische Stützung erfährt COSIMIR dann durch das WING-Experiment in Mandl 2000a: Abschnitt 7.4, wenn auch einschränkend anzumerken ist, dass es sich um ein sehr spezifische Situation handelt.

Es geht um einen speziellen Aspekt einer Werkstoffsuche, bei der unter anderem Nullantworten ein Problem sind. Sucht man auf der Basis bestimmter Eigenschaften (z. B. Reißfestigkeit) nach Werkstoffen, hätte man gerne auch „ähnliche“ Werkstoffe nachgewiesen, wenn auf der Basis der Testdaten der Datenbank kein Werkstoff gefunden wurde. WING zeigte jedoch, dass die von Experten beurteilte Ähnlichkeit von Werkstoffen sich nicht deduktiv aus den Eigenschaften ableiten lässt, sondern mit dem Anwendungsbereich des Werkstoffes zusammenhängt. Zwei Werkstoffe sind z. B. als ähnlich eingestuft worden, weil man sie beide für Wellen oder Ringe einsetzt (aus X kann man Ringe, Wellen usw. machen). Ähnlichkeit ergibt sich somit aus dem Anwendungsprofil der Werkstoffe, das jedoch in der Datenbank nicht zur Verfügung steht. Deshalb erstellten Experten für eine Trainingsmenge von etwa 70 Werkstoffen Anwendungsprofile. Ihre Anwendungsvektoren sind nur kurz (etwa 20 Anwendungen), weshalb die Fallmenge zum Training ausreicht. Das neuronale Netz COSIMIR leitet nun auf der Grundlage dieser Trainingsmenge die Ähnlichkeit der Werkstoffe aus dem Eigenschaftsvektor.

Der Test reicht meines Erachtens trotz seiner Spezifität aus, um die Grundidee von COSIMIR soweit zu bestätigen, dass eine weitere wissenschaftliche Auseinandersetzung mit diesem Ansatz sinnvoll und erfolgversprechend erscheint.

### **3.2 Fazit COSIMIR**

COSIMIR könnte im Rahmen von ViBSoz und CARMEN prinzipiell sowohl als „Einschritt“-Verfahren als auch in Verbindung mit Transfermodulen im Sinne der postulierten Architektur in Abschnitt 2 als IR-Verfahren zur Behandlung der Vagheit zwischen Benutzerabfrage und den durch Transfermodule verbundenen heterogenen Dokumentenbeständen eingesetzt werden. Sowohl seine inhärenten Eigenschaften als auch die erreichten Testergebnisse sprechen zum gegenwärtigen Zeitpunkt gegen eine solche Entscheidung:

- Lange Vektoren, die beschränkte Möglichkeit, Parallelkorpora zu erstellen und die Abhängigkeit von einer großen Menge von Relevanzurteilen als Basis führen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand für das Training der Netzwerke.



- Gleichzeitig fehlt noch die empirische Evidenz für das Modell. Die WING-Tests sind zu weit von der Recherche- und Anwendungssituation von ViBSoz und CARMEN entfernt, um diesen Weg zu rechtfertigen.

COSIMIR bleibt der bisher interessanteste Ansatz im Bereich des Einsatzes neuronaler Netze im IR. Für einen Transfer in konkrete Anwendungsumgebungen scheint es noch zu früh.

## 4 Transformationsnetzwerke

Transformationsnetzwerke sind ein spezielles Modell neuronaler Netze, das - wie COSIMIR - auf dem Backpropagation-Ansatz basiert (s. Mandl 2000a: Abschnitte 4.6.3 und 5.3.3). Mandl 2000a: 124 stuft es für das IR „als ungeeignet ein“, schreibt ihm jedoch für die Transfermodule zwischen heterogenen Dokumentenbeständen eine gute Einsatzfähigkeit zu.

Die Verwendung der für die Behandlung des expliziten Transfers zwischen heterogenen Dokumentenbeständen wurden Transformationsnetzwerke bisher nicht benutzt. Bei den Transformationsnetzwerken von Crestani/van Rijsbergen 1997 und Cortez et al. 1995 (s. Abschnitt 5.3.3.1 in Mandl 2000a) geht es um die Abbildung von Anfragetermen zu Indextermen im Rahmen von Relevance-Feedback-Strategien. Das Verfahren betrifft somit nur homogene Ausgangs-/Zielmengen und ist nur an unzureichend kleinen Testdatenmengen getestet worden.

In WING, einem Werkstoffinformationssystem, bei dem die Ermittlung ähnlicher Werkstoffe aus einer Transformation der Merkmale von Eigenschafts- in Anwendungsprofile erfolgte, wurde dieses Modell erstmals erprobt (Ludwig/Mandl 1997) und in ELVIRA, einem Verbandsinformationssystem (s. Scheinost et al. 1998 und Krause/Stempfhuber 2000) für die Zusammenführung von Text- und Fakteninformationen vorgeschlagen (s. Mandl 1998). Wegen der Schwierigkeiten, einen ausreichend großen Parallelkorpus als Trainingsgrundlage zu erstellen, blieb es in ELVIRA jedoch bei den statistischen Transferverfahren zur Heterogenitätsbehandlung.

Das Transformationsnetzwerk verfügt über eine sub-symbolische Interpretationsschicht (s. Mandl 2000a: Abschnitt 4.6.3). Es wird im Testkontext der heterogenen Textgrundlagen von ViBSoz und CARMEN in Verbindung mit „Latent Semantic Indexing (LSI)“ benutzt, einem Komprimierungsverfahren, das versucht, unwichtige Dimensionen der Vergleichsmatrix zu tilgen, die den

Berechnungsaufwand und die Ähnlichkeitsberechnung stören können (s. Mandl 2000a: Abschnitt 2.1.2.4.3). Neu gegenüber früheren Ansätzen (Crestani/van Rijsbergen 1997, Cortez et al. 1995) ist der Einsatz von Transformationsnetzwerken zur Behandlung der Heterogenität bei Recherchen über mehrere Dokumentenbestände, die mit unterschiedlichen semantischen Inhaltserschließungsverfahren bearbeitet wurden. Bei Crestani/van Rijsbergen 1997 und Cortez et al. 1995 geht es um die Abbildung von Anfragetermen zu Indextermen im Rahmen von Relevance-Feedback-Strategien.

Wie bei allen Ansätzen zu neuronalen Netzwerken müssen Trainingsdaten zur Verfügung gestellt werden. Bei den Transfermodulen im Rahmen von CARMEN und ViBSoz sind dies Parallelkorpora von Dokumenten, die nach verschiedenen Normierungssystemen erfasst vorliegen.

## **4.1 Evaluationsstudien zum Transformationsnetzwerk**

Die Tests zu den Evaluationen in Mandl 2000a erfolgten auf der Basis folgender Regelwerke:

- IZ-Thesaurus mit etwa 10.500 Termen (davon 6.900 Deskriptoren)
- IZ-Klassifikation von Fachgebieten mit 159 Einträgen

Klassifikation und Thesaurus spiegeln keine allgemeine Norm versus einer detaillierteren wider, sondern verschiedene Blickwinkel auf das Dokument, die voneinander unabhängig sind.

- USB-Thesaurus, eingeschränkt auf den relevanten Ausschnitt für das Sondersammelgebiet Sozialwissenschaften der Universitäts- und Staatsbibliothek Köln mit etwa 10.400 Termen.

Der USB-Thesaurus entspricht der Deutschen Bibliotheksklassifikation (DBK, Deutsche Bibliothek Frankfurt, s. Kluck et al. 2000).

### **4.1.1 Transferrichtung, Grenzhäufigkeit und Vergleichsmaßstab**

Bei allen Transfers gilt, dass die Transferrelation sich nicht ohne weiteres umkehren lässt, da die LSI-Komprimierung nicht einfach „umgekehrt durchlaufen“ werden kann. So wurde ein Netz für den Transfer USB-Thesaurus zum IZ-Thesaurus modelliert und getestet. Ein zweites Netz, bei dem LSI am

IZ-Thesaurus ansetzt, müsste für den Transfer von Termen des IZ-Thesaurus zum USB-Thesaurus trainiert werden.

Testeinschränkung und Grenzhäufigkeiten (Mandl 2000a:195):

Der Einsatz von Transformationsnetzwerken setzt voraus, dass alle Terme der Testmenge auch trainiert werden, d. h. in den Dokumenten vorkommen. Deshalb wurden in Mandl 2000a nur Terme in das Netz miteinbezogen, die mehrfach in den Dokumenten vorkommen (untere sinnvolle Grenze 2 - 3 Mal in der Trainingsmenge). Terme der Suchanfrage, die nicht als Eingangsterme des neuronalen Netzes vorkommen, sind insofern unproblematisch, als für sie zwar das Verbesserungspotential der Transferkomponente nicht zum Tragen kommt, jedoch auch kein Einfluss auf die Terme des Netzes erfolgt. Letzteres trifft jedoch zu, wenn im Training z. B. nur einfach belegte Terme miteinbezogen werden. Der Effekt müsste empirisch gemessen werden, kann jedoch negativ sein. Deshalb sollten die Netze immer auf der Basis von Grenzhäufigkeiten modelliert werden. In der Realität werden nie alle Einträge eines Thesaurus Eingangsterme des Transfernetzwerkes sein können. Bei den statistischen Verfahren gilt diese Restriktion nicht, da die Ähnlichkeitsrelation auf alle Terme zugreift.

Vergleichsmaßstab:

Mandl 2000a: Abschnitt 5.3.1 setzt als Vergleichsmaßstab ein statistisches Verfahren ein, das aufgrund gemeinsamen Vorkommens Assoziationen zwischen Thesaurus und Klassifikation berechnet (Konkurrenzanalyse). Mandl 2000a verbindet dieses statistische Verfahren prinzipiell mit LSI, was nicht zwingend ist.

#### **4.1.2 Transformation IZ-Thesaurus zu IZ-Klassifikation**

Eine Motivation für den Einsatz dieser Transformation wäre: Der Benutzer ist mit der Klassifikation vertraut, aber nicht mit dem Thesaurus oder Dokumenten werden nur noch mit der Klassifikation indexiert. Als Nebeneffekt könnte für die Indexierer ein Werkzeug entwickelt werden, das Klassifikationen vorschlägt, nachdem die Indexterme zugewiesen wurden.

Parallelkorpus (Mandl 2000a: 195):

Verwendet wurde ein Ausschnitt der Datenbanken SOLIS und FORIS des IZ, die bei TREC 7 und den GIRT-Tests als Evaluationsbasis diente (12965 Dokumente mit Testfragen, deren zugehörige relevante Dokumente durch einen Juror ermittelt wurden (s. Kluck 1998, Knorz 1997).

12.000 Dokumente wurden zum Lernen und 965 als Testmenge benutzt.

Alle Dokumente der GIRT-Dokumente werden standardmäßig sowohl indiziert als auch klassifiziert. Im Durchschnitt ergaben sich 13 Indexierungsterme und 2,3 Klassifikationen.

- IZ-Thesaurus: etwa 22000 Einträge gesamt  
in Untermenge GIRT: 5.555  
mindestens 4 mal: 3.800
- Klassifikation: 157 Kategorien gesamt  
in Untermenge GIRT: 142  
Intellektuelle Kumulierung: 70
- LSI-Dimensionen IZ-Thesaurus: 51 - 300 getestet, 107 ausgewählt

Die Grenzhäufigkeit „4 Mal“ bezieht sich auf die Gesamtmenge der Dokumente vor ihrer Aufteilung in Trainings- und Testdaten.

Die intellektuelle Kumulierung auf 70 Terme entspricht konzeptuell der Definition einer weniger detaillierten Klassifikation. Sie erfolgte auf der Basis der vollständigen IZ-Klassifikation. Dieses Verfahren wurde gewählt, um den geringen Belegzahlen auf den Termvektoren, die das Training negativ beeinflussen, entgegenzuwirken.

Messwerte (Mandl 2000a: 197/198):

Gemessen wird mit Term-Recall und Term-Precision, die noch nichts über den Transformationseffekt auf das Retrieval aussagen. Sie wurden in Mandl 2000a parallel zum Recall/Precision (r/p) im IR entwickelt, wobei die Terme des Zielvokabulars die Anfragen ersetzen, auf die r/p bezogen sind. Das Ergebnis einer Anfrage und bei der Transformation die Wahl eines Terms ist eine Menge von Dokumenten. Eine Transformation bestimmt eine Menge von Dokumenten, denen der Term aus dem Zielvokabular zugeordnet ist. Diese Menge kann dann mit den tatsächlichen Zuordnungen verglichen werden.

Term-Recall =  $Re$  (= vom Transformationsmodul vorgeschlagen und indiziert) /  $Re + Rn$  (= von der Transformation nicht vorgeschlagen und indiziert).

D. h. z. B.: Wie viele der vorgeschlagenen Dokumente pro Termtransformation enthalten wirklich die Zielklassifikation?

Die zur visuellen Darstellung gewählte Recall-Precision-Grafik betont durch die (allgemein übliche) Belegung der Y-Achse mit dem Term-Recall die Precision-Unterschiede. Die Recall-Auswirkungen ergeben sich visuell besser, wenn man den Graphen dreht.

Ergebnis:

Die Qualität des Transformationsnetzwerkes ist dem der Baseline sehr ähnlich. Es ergeben sich aber deutlich unterschiedliche Ergebnismengen. Jedes Verfahren erbringt andere Treffer.

„Das gleiche Verfahren für die ersten 100 Dokumente führt zu einer durchschnittlichen Größe der Schnittmenge von 4,92 Dokumenten und zu 0,83 gemeinsamen relevanten Dokumenten“ (Mandl 2000a: 200).

### 4.1.3 Transformation USB-Thesaurus zu IZ-Klassifikation

Eine Motivation für den Einsatz dieser Transformation wäre: Der Benutzer ist mit dem USB-Thesaurus vertraut, aber nicht mit den IZ-Normen, will aber in SOLIS/FORIS suchen.

Parallelkorpus (Mandl 2000a: 201):

SOLIS enthält deutschsprachige Monographien, die auch im USB-Bestand vorkommen und somit sowohl nach USB indexiert als auch nach der IZ-Norm sowohl indexiert als auch klassifiziert sind. Ein erster Vergleich ergab 1.979 doppelt erfasste Dokumente, von den 1.779 als Trainings- und 200 als Testdaten verwendet wurden. Durchschnittlich wurden 2,2 Klassifikationsterme und maximal sieben USB-Terme vergeben. D. h., es stand nur wenig Material zur Verfügung.

- USB-Thesaurus: etwa 10.400 Einträge gesamt  
in Untermenge Parallelkorpus: 4.901
- Klassifikation: 157 Kategorien gesamt  
in Untermenge 138  
Intellektuelle Kumulierung: 70
- LSI-Dimensionen USB:51 - 300 getestet, 100 ausgewählt

Ergebnis:

Es zeigte sich eine höhere Term-Precision vor allem bei niedrigem Term-Recall; wegen der geringen Materialbasis sollte dieses Ergebnis jedoch nicht überbewertet werden.

#### **4.1.4 USB-Thesaurus zu IZ-Thesaurus**

Eine Motivation für den Einsatz dieser Transformation wäre: Der Benutzer ist mit dem USB-Thesaurus vertraut, aber nicht mit den IZ-Normen, will aber in SOLIS/FORIS suchen.

Parallelkorpus (Mandl 2000a: 201):

SOLIS enthält deutschsprachige Monographien, die auch im USB-Bestand vorkommen und somit sowohl nach der DBK indexiert als auch nach der IZ-Norm sowohl indexiert als auch klassifiziert wurden. Ein zweiter Vergleich der Datenbanken ergab 15000 doppelt erfasste Dokumente, von denen etwa 2.000 als Testdaten verwendet wurden. Dass beim Transfer USB-Thesaurus zur IZ-Klassifikation ein anderer, wesentlich kleinerer Parallelkorpus zugrunde gelegt wurde, hat nur historische Gründe.

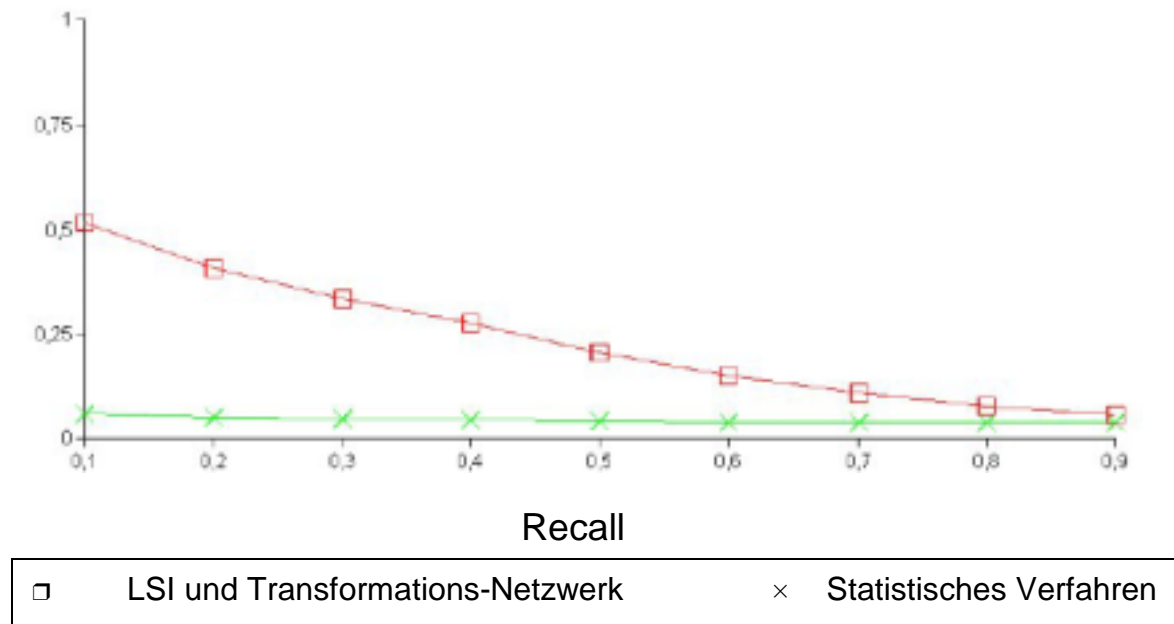
- USB-Thesaurus: etwa 10.400 Einträge gesamt  
in Untermenge Parallelkorpus: etwa 3.000
- IZ-Thesaurus: 22000 gesamt  
in Untermenge Parallelkorpus 4.450  
davon die 100 häufigsten
- LSI-Dimensionen USB: 160 ausgewählt

Die Reduzierung auf die 100 häufigsten Terme im Gesamtbestand von SOLIS/FORIS schränkt den Test auf die am besten trainierbaren Terme ein, was in Bezug auf den Gesamtbestand die besten Ergebnisse erwarten lässt. Ein zweites Motiv für die Einschränkung waren die langen Laufzeiten beim Aufbau des Netzwerkes (etwa zwei Tage bei 100 Termen).

Ergebnis:

Das Transformationsnetzwerk schnitt deutlich besser ab.

## Precision



**Abb. 4: Ergebnis der Transformation USB-Thesaurus zu IZ-Thesaurus als Recall-Precision-Grafik (aus Mandl 2000a: Abbildung 7-12, 206)**

## 4.2 Einsatzmöglichkeiten der Transformationsnetzwerke

Auf der Basis der von Mandl 2000a mit den IZ-Daten und IZ-Parallelkorpora durchgeführten Tests bietet sich die Verwendung der Transformationsnetzwerke für den Transfer zwischen USB- und IZ-Thesaurus an. Die erzielten Recall-/Precision-Messungen sind im Vergleich zu den statistischen Verfahren gut. Da gleichzeitig das auch bei TREC deutlich gewordene Phänomen auftritt, dass sich die Ergebnismengen nur geringfügig überschneiden, wird für CARMEN und ViBSoz eine Kombination beider Ansätze angestrebt.

Zu beachten ist, dass das getestete Netzwerk nur für den Transfer von USB-Thesaurus nach dem IZ-Thesaurus gilt. Deshalb muss ein Netzwerk für die entgegengesetzte Transferrichtung aufgebaut werden.

Das Problem der Größe der Netzwerke, die vor allem zu langen Laufzeiten beim Aufbau führen, lässt sich durch die Mandl 2000a begonnene Partitionierung mildern. Er beschränkte die Tests - im Gegensatz zu den Transfers zur IZ-Klassifikation, bei denen mit Grenzwerten gearbeitet wurde - auf die 100 häufigsten Terme. Ein zweites Netz sollte für die nächsten 100 berechnet

werden usw., bis die Untergrenze von 3 - 4 nachgewiesenen Dokumenten pro Term erreicht ist. Ob die Partitionen vergrößert werden können (auf 200 oder 300 der häufigsten Terme) richtet sich vor allen nach den sich ergebenden Rechnerlaufzeiten. Der Aufbau und Test der weiteren Teilnetzwerke nach diesem Verfahren wird gleichzeitig zeigen, ob die guten Testergebnisse in Mandl 2000a nur für den Bereich der 100 häufigsten Terme gelten, was jedoch nicht erwartet wird.

Es ist nicht zu befürchten - gleichwohl zu beobachten - , dass die Partitionierung das Training der Terme negativ durch das Kappen semantischer Verbindungen beeinflusst. Einstiegspunkt ist immer die Gesamtmenge der Terme eines Thesaurus, die dann durch LSI komprimiert wird. Die Partitionierung betrifft die Ausgangsebene des Netzes, also den Zielpunkt des Transfers.

Die für den Transfer zu den Klassifikationen erreichten Werte reichen nicht für eine Einsatzentscheidung in einer der Anwendungsumgebungen von ViB-Soz und CARMEN aus. Gleichzeitig ist die Motivation für den Transfer von USB-Thesaurus bzw. IZ-Thesaurus zur IZ-Klassifikation eher gering. Da die IZ-Klassifikation als anderer Blickwinkel auf die Dokumente zu sehen ist, bleibt unklar, ob ein Transfer vom Benutzer als kognitiv plausibel akzeptiert wird.

Gute Einsatzchancen hätte dieser Transfer bei der Entwicklung eines Werkzeugs zur Erleichterung der Arbeit bei der Indexierung und Klassifizierung. Aber auch für diesen Einsatzbereich müssten weitere Tests die These erhärten, dass die Transformationsnetzwerke hier mit den traditionellen statistischen Verfahren konkurrieren können.

## 5 Literatur

Barnden, John (1994): On the Connectionist Implementation of Analogy and Working Memory Matching. In: Barnden, John; Holyoak, Keith (Hrsg.): Advances in Connectionist and Neural Computation Theory. vol. 3: Analogy, Metaphor, and Reminding. Norwood, NJ. S. 327 - 374.

Belkin, Nicolas J. (1996): Intelligent Information Retrieval: Whose Intelligence? In: Krause, Jürgen; Herfurth, Matthias; Marx, Jutta (Hrsg.): Herausforderungen an die Informationsgesellschaft. Konstanz 1996, p. 25 - 31.

CARMEN: Content Analysis, Retrieval and Metadata: Effective Networking <http://www.mathematik.uni-osnabrueck.de/projects/carmen/>; Stand: 04/2000.



- Cortez, Edwin; Park, Sang; Kim, Seonghee (1995): The Hybrid Application of an Inductive Learning Method and a Neural Network for Intelligent Information Retrieval. In: Information Processing and Management 31 (6). S. 789 - 813.
- Crestani, Fabio; Rijsbergen, Cornelis J. van (1997): A Model for Adaptive Information Retrieval. In: Journal of Intelligent Information Systems 8 (1). S. 29 - 56.  
<http://ir.dcs.gla.ac.uk/publications/papers/Postscript/crestani97a.ps.gz>
- Ingwersen, Peter (1996): The Cognitive Framework for Information Retrieval: A Paradigmatic Perspective. In: Krause, Jürgen; Herfurth, Matthias; Marx, Jutta (Hrsg.): Herausforderungen an die Informationswirtschaft. Konstanz 1996, p. 25 - 31.
- Jong, E. de; Keuken, H.; Pol, E. van der; Dekker, E. den; Kerckhoffs, E. J. (1996): Exergy Analysis of Industrial Processes Using AI Techniques. In: Computers and Chemical Engineering 20. S. S1631 - S1636.
- Kluck, Michael (1998): German indexing and retrieval test database: some results of the pre-test. In: Discovering new worlds of IR. Proceedings of the IRSG '98. Grenoble, France. 25. - 27.03.1998.
- Kluck, Michael; Krause, Jürgen; Müller, Matthias; in Kooperation mit Schmiede, R.; Wenzel, H.; Winkler, S.; Meier, W. (2000): Virtuelle Fachbibliothek Sozialwissenschaften: IZ-Arbeitsbericht Nr. 19, IZ Sozialwissenschaften, Bonn.  
<http://www.bonn.iz-soz.de/publications/series/working-papers/index.htm#Virtuelle>
- Knorz, Gerhard (1997): Testverfahren für intelligente Indexierungs- und Retrievalsysteme anhand deutschsprachiger sozialwissenschaftlicher Fachinformation (GIRT), Bericht über einen Workshop am IZ Sozialwissenschaften, Bonn, 12.09.97. In: LDV-Forum 14 (2). S. 43 - 56.
- Krause, Jürgen; Stempfhuber, Maximilian (2000): Integriertes Retrieval in heterogenen Daten. Text-Fakten-Integration am Beispiel des Verbandinformationssystems ELVIRA (Forschungsberichte, Bd. 4), Bonn: Informationszentrum Sozialwissenschaften (erscheint).
- Ludwig, Michaela; Mandl, Thomas (1997): Ähnlichkeit von Werkstoffen: Die Anwendung unterschiedlicher Wissensmodellierungstechniken für eine intelligente Komponente von WING. In: Krause, Jürgen; Womser-Hacker, Christa (1997) (Hrsg.): Vages Information Retrieval und graphische Benutzungsoberflächen - Beispiel Werkstoffinformation. Konstanz. S. 169 - 184.
- Mandl, Thomas (2000a) Tolerantes Information Retrieval: Neuronale Netze zur Erhöhung der Adaptivität und Flexibilität bei der Informationssuche. Dissertation. Universität Hildesheim, Version Juli 2000 (erscheint).
- Mandl, Thomas (2000b): Einsatz neuronaler Netze als Transferkomponente beim Retrieval in heterogenen Dokumentenbeständen. IZ-Arbeitsbericht Nr. 20, IZ Sozialwissenschaften (mit Informationswissenschaft der Universität Hildesheim), Bonn, November 2000.
- Mandl, Thomas (1998): Der Einsatz vager Verfahren für Transformationen. ELVIRA-Arbeitsbericht Nr. 13, IZ Sozialwissenschaften, Bonn.

Marx, Jutta; Mutschke, Peter; Schommler, Marcus (1995): Möglichkeiten der intelligenten Integration heterogener Datenbestände: das Projekt GESINE. IZ-Arbeitsbericht Nr. 2, 44 S.

Scheinost, Ulrich; Haas, Hansjörg; Krause, Jürgen; Lindlbauer, Jürg (Hrsg.) (1998): Marktanalyse und Marktprognose. Das ZVEI Verbandsinformationssystem ELVIRA. Bonn: Informationszentrum Sozialwissenschaften [= IZ Forschungsberichte 2].

Scherer, Andreas (1997): Neuronale Netze: Grundlagen und Anwendungen. Braunschweig, Wiesbaden.

Zell, Andreas (1994): Simulation neuronaler Netze. Bonn et al.