

Sumfleth, Elke; Kleine, Evelyn

Analogien im Chemieunterricht - eine Fallstudie am Beispiel des "Balls der einsamen Herzen"

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 5 (1999) 3, S. 39-56



Quellenangabe/ Reference:

Sumfleth, Elke; Kleine, Evelyn: Analogien im Chemieunterricht - eine Fallstudie am Beispiel des "Balls der einsamen Herzen" - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 5 (1999) 3, S. 39-56 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-315136 - DOI: 10.25656/01:31513

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-315136>

<https://doi.org/10.25656/01:31513>

in Kooperation mit / in cooperation with:



IPN

Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik

<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS

DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung

E-Mail: pedocs@dipf.de

Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

ELKE SUMFLETH UND EVELYN KLEINE

Analogien im Chemieunterricht - eine Fallstudie am Beispiel des „Balls der einsamen Herzen“

Zusammenfassung:

Die Analogie vom Ball der einsamen Herzen (Olney 1988) soll das Lernen der grundlegenden Zusammenhänge des chemischen Gleichgewichts erleichtern. An diesem Beispiel wird die Hypothese, daß Analogien ermöglichen, chemische Sachverhalte auch mit geringem Vorwissen zu verstehen, überprüft (Kleine 1998). Die Analyse der Analogienutzung durch Lernende mit und ohne Vorwissen macht Vor- und Nachteile des Einsatzes dieser Analogie deutlich und ermöglicht prinzipielle Hinweise zum individuellen Lernen mit Analogien vor dem Hintergrund der Theorien von Gentner, Holyoak und Keane.

Abstract:

The Dance Hall analogy (Olney 1988) shall facilitate learning of basic connections in the field of chemical equilibrium. The following hypothesis is verified: Analogies enable persons with low pre-knowledge to understand chemical contents (Kleine 1998). The analyse of learners' use of analogies clarifies advantages and disadvantages caused by analogies and gives principal hints for individual learning with analogies with regard to the theories of Gentner, Holyoak and Keane.

1. Einleitung

Analogien bieten eine Möglichkeit, die Kluft zwischen dem, was der Lernende bereits weiß, und neuen Inhalten zu überbrücken (Thiele und Treagust 1995). Allerdings sollte man Analogien mit Bedacht nutzen, da sie ein 'doppelschneidiges Schwert' darstellen (Glynn et al. 1991, 1995). Analogien können falsche Assoziationen suggerieren oder verstärken und zu Fehlvorstellungen beitragen (Curtis und Reigeluth 1984, Kircher 1984, Duit 1991, Thiele und Treagust 1991, 1994, Zook und Vesta 1991). Sie können auch ineffektiv sein, wenn der Analogbereich für den Lernenden unbekannt ist oder wenn der Lernende noch nicht den Entwicklungsstand hat, um analoge und korrelative Wissensbestandteile zu verstehen (Friedel et al. 1990, Gabel und Sherwood 1980, 1984). Auch Otzen (1992) sieht die Analogienutzung im Chemieunterricht sehr kritisch. Die Auswahl einer Analogie ist schwierig, und die Umstände, unter denen Analogien zum Lernen beitragen, müssen untersucht werden:

„However, although analogies have been used in chemistry teaching in a variety of contexts (see for example Gabel und Sherwood 1980), little research has been conducted in regular classroom set-

tings about how chemistry teachers use analogies or how written materials which involve analogies are used by teachers and students.“ (Thiele und Treagust 1995, S.783)

2. Lernen mit Analogien

2.1 Syntaktischer Structure-Mapping Ansatz nach Gentner

Structure-Mapping (Gentner 1980, 1982, 1983, Gentner und Gentner 1983, Collins und Gentner 1987) beschreibt das Herstellen einer Beziehung zwischen den Strukturen des Analog- und Zielbereichs. Analog- und Zielbereich werden als Systeme von Objekten (s.a. Weber 1994), Objekt-Attributen und Relationen zwischen diesen Objekten gesehen. Attribute sind Prädikate mit einem Argument, Relationen Prädikate mit zwei oder mehreren Argumenten. Außerdem wird zwischen Prädikaten erster Ordnung (Objekte als Argumente) und Prädikaten zweiter oder höherer Ordnung (Propositionen als Argumente) unterschieden. Beim Transfer werden also Relationen von Relationen beschrieben. Der erfolgreiche Transfer vom Analog- zum Zielbereich hängt zum einen von den Relationen zwischen den Elementen in einem

bekannten Analogbereich und zum anderen von den Relationen zwischen den Elementen in einem neuen Zielbereich ab und wird durch eine hohe Transparenz der relationalen Strukturen erleichtert (Gentner und Toupin 1986, Schuhmacher und Gentner 1988). Transparenz beschreibt die Leichtigkeit, mit der entschieden werden kann, welche Prädikate vom Analog- auf den Zielbereich übertragen werden können. Die Transparenz ist hoch, wenn oberflächliche Ähnlichkeit mit struktureller Ähnlichkeit verbunden ist. Grundvoraussetzung sind eindeutige Korrespondenzen zwischen den Objekten im Analog- und Zielbereich. Ähnlichkeiten in nicht-relationalen Objekt-Attributen sind so lange irrelevant, wie sie nicht durch gemeinsame Relationen angesprochen werden.

Das Systematizitätsprinzip stellt ein mögliches Auswahlkriterium für geeignetes Mapping dar: Von den vielen möglichen Prädikaten in Analog- und Zielbereich werden diejenigen favorisiert, die ein kohärentes System von untereinander verknüpften Relationen bilden (Gentner und Clement 1988). Empirische Studien belegen die Effektivität dieses Prinzips (Gentner 1980, 1983, Landers und Gentner 1985), denn Relationen werden erinnert, nicht die Attribute (Gentner und Block 1983). Urteile über Stimmigkeit und Angemessenheit des Bereichsvergleichs stehen in hoher positiver Korrelation zur Systematizität (Gentner 1983, Landers und Gentner 1985, Rattermann und Gentner 1987). Aufgrund der Systematizität können auch Mapping-Fehler erkannt und behoben werden (Gentner und Toupin 1986), während ohne diese nur unverknüpfte Prädikate kritiklos übertragen werden können. Wichtig sind übergeordnete Relationen, die untergeordnete Relationen verknüpfen. Analogien, in denen einzelne oder ad hoc Relationen transferiert werden, sind weniger systematisch als solche, in denen eine Menge von zusammenhängenden, sich gegenseitig bedingenden Relationen verknüpft werden. Ein Mapping ist in dem Maße systematisch, in dem ein gegebenes Prädikat von den anderen vorhergesagt oder aus ihnen abgeleitet werden kann.

Der Einfluß der Semantik zeigt sich bei Gentner (1983) daran, daß nur identische Konzepte und Relationen innerhalb der Bereiche in Beziehung gesetzt werden (Gentner 1983), pragmatische Aspekte beeinflussen das Denken vor und nach dem Mapping, aber nicht während des Prozesses.

Die Aussagekraft einer Analogie hängt von der Spezifität des Analogbereichs ab, weil dieser die im Zielbereich zu findenden Relationen widerspiegelt und die Menge der transferierbaren Relationen bestimmt. Der Analogbereich muß verständlich sein und an das Vorwissen anknüpfen, so daß eine Analyse des Analogbereichs möglich ist, denn die Prädikatstruktur im Zielbereich kann in der Regel nicht besser spezifiziert sein als im Analogbereich. Die Klarheit einer Analogie ist von der Präzision abhängig, mit der die Objektverbindungen definiert werden. Eine Störung tritt auf, wenn ein Objekt des Analogbereichs auf zwei oder mehrere verschiedene Zielbereichsobjekte übertragen wird oder wenn zwei oder mehrere relativ unterschiedliche Objekte des Analogbereichs mit dem gleichen Zielbereichsobjekt korrespondieren (Gentner 1980).

2.2 Pragmatischer Ansatz nach Holyoak

Der pragmatische Ansatz nach Holyoak läßt sich anhand von drei Mapping-Bedingungen beschreiben: der strukturellen Widerspruchsfreiheit, der Semantik und der namensgebenden Pragmatik (Holyoak und Thagard 1990). Holyoak betrachtet Analogien in einem Problemlösekontext. Ein bereits bekanntes, gelöstes Problem repräsentiert den Analogbereich, das neue, zu lösende den Zielbereich (Holyoak und Gick 1980). Mapping wird hier als Schema-Induktion verstanden (Holyoak 1985). Die bedeutenden gemeinsamen Inhalte beider Bereiche können in ein übergeordnetes, abstrakteres Schema integriert werden. Damit besitzen sowohl Analog- wie auch Zielbereich je ein eigenes und ein gemeinsames, übergeordnetes Schema (Novick und Holyoak 1991). Bei der Schema-Induktion werden die Unterschiede zwischen den Bereichen eliminiert und die Gemeinsamkeiten hervorgehoben. Diese Abstrak-

tion geht einher mit einer Taxonomie der Relationen nach erfolgreichen und potentiell problematischen. Erfolgreiche Relationen sind übertragene Identitäten. Diese bilden den Kern der Bedeutungskomponenten beider Bereiche und korrespondieren zum Schema. Die Identität entspricht dem impliziten Schema. Andererseits gibt es strukturerhaltende Differenzen, die mit den gemappten Identitäten verbunden sind. Potentiell problematische Relationen sind entweder strukturstörende Unterschiede oder unbestimmte Korrespondenzen. Strukturstörende Unterschiede verhindern die Konstruktion von korrespondierenden Operatoren, wenn z.B. das Schema eines Bereichs inkonsistent zum übergeordneten Schema ist. Normalerweise führt ein strukturstörender Unterschied zur Ablehnung der Analogie. Andererseits erreichen Analogien aber auch im Zuge der Wissensentwicklung irgendwann einen Punkt, an dem sie einen Sachverhalt nur noch unzureichend repräsentieren. Die Analogie „bricht zusammen“.

Das zentrale Problem beim Mapping ist das Auffinden geeigneter Korrespondenzen zwischen Analog- und Zielbereich. Dazu muß der Analogienutzer über semantisches Wissen bezüglich der Propositionen verfügen. Die Propositionen werden auf der Basis von Ähnlichkeiten zwischen korrespondierenden Relationen übertragen, wobei Ähnlichkeit nicht Identität impliziert, das Besitzen gemeinsamer Eigenschaften reicht aus. Das Urteil über semantische Ähnlichkeiten zweier analoger Bereiche stützt sich nicht nur auf das Auffinden identischer Prädikate, sondern auch auf das Identifizieren ähnlicher Konzepte (Thagard et al. 1989). Semantische Ähnlichkeit vereinfacht zwar den Wissenstransfer, macht aber eine Analogie gleichzeitig uninteressanter.

Die Nützlichkeit einer Analogie wird pragmatisch bestimmt (Holyoak 1985, Holland et al. 1986, Cheng und Holyoak 1985, Cheng et al. 1986). Analogien werden immer in den vorhandenen Kontext eingebettet, also zielgerichtet betrachtet. Es findet eine kontextabhängige Selektion der möglichen Mappings statt, die über übergeordnete Ziele, längerfristige Pläne und Vorwissen individuell gesteuert wird (Thagard et al. 1989).

2.3 Die Theorie des Inkrementellen Schließens nach Keane

Keane (1990) konstatiert, daß sowohl der syntaktische, der pragmatische wie auch der inkrementelle Ansatz dieselben strukturellen Bedingungen aufzeigen. Die Theorie des inkrementellen Schließens wird durch die folgenden Bedingungen näher beschrieben: „Structural constraints“ garantieren das einzu-eins-Mapping zwischen den Bereichen und erlauben das Transferieren von verschiedenen Relationstypen. „Similarity constraints“ betreffen das Übertragen von Elementen: Die Zuordnungen zwischen identischen und semantisch ähnlichen Elementen sind gegenüber unähnlichen bevorzugt. „Pragmatic constraints“ sichern die Ziele des Analogienutzers. Sie bestimmen die geeignetste Verknüpfung (Holyoak 1985). „Behavioral constraints“ beinhalten Einflüsse des Arbeitsgedächtnisses und des Langzeitgedächtnisses (Keane et al. 1994). Da das Arbeitsgedächtnis eine limitierte Kapazität hat, ist die Menge der Information, die während des Analogieschlusses genutzt werden kann, auch limitiert. Diese Verringerung an Inputs verkleinert dementsprechend die Outputs des Mapping-Prozesses. Keane (1990, 1991) zeigt, daß ein Mehr an konzeptuellem Wissen in den Bereichen zu mehr Zuordnungsfehlern führt. Bei einer Überforderung des Arbeitsgedächtnisses nutzen die Analogienutzer Untersysteme, die den Prozeß des analogen Schließens reduzieren (Forbus und Oblinger 1990). Hieraus können systematische Fehler entstehen.

Keane (1991) zeigt, daß Mapping-Aufgaben schneller gelöst werden, wenn das System der Korrespondenzen mit dem Hintergrundwissen konsistent ist. Jedesmal, wenn ein Informationstransfer vom Analogbereich zum Zielbereich erfolgt, wird überprüft, ob diese Information für diesen Bereich geeignet ist, ob also die Analogie nützliche neue Konzepte in den Zielbereich transferiert. Die Verifikation hängt vom Vorwissen ab. Dieses Wissen führt zu unterschiedlichen individuellen Inferenzen.

3. Untersuchungsdesign und Testverfahren

3.1 Hypothese und Aufbau der Untersuchung

Die Kernhypothese lautet:

Analogien ermöglichen es, chemische Sachverhalte auch mit geringem Vorwissen zu verstehen. Im Vergleich zu herkömmlichen Schulbuchtexten bewirken Analogien eine bessere Behaltensleistung. Sie erleichtern vor allem Lernenden mit geringem Vorwissen das Erschließen komplexer Sachverhalte.

Bei vorgegebenen Objektkorrespondenzen übertragen Lernende mit geringem Vorwissen ein System von Prädikaten vom Analog- auf den Zielbereich. Verfügen die Lernenden über größeres Vorwissen, so lenkt die Analogie die Aufmerksamkeit vor allem auf das gemeinsame Prädikatenystem. Der Einfluß des Vorwissens zeigt sich auch bei der Zuordnung von nur semantisch ähnlichen Relationen und bei der Bedeutung der Verifikationskomponenten. Aufgrund der angestrebten Systema-

tizität von Strukturen können fehlerhafte Zuordnungen erkannt und korrigiert werden. Aufgrund der Theoriediskussionen zwischen Gentner auf der einen und Holyoak und Keane auf der anderen Seite ist der Einfluß der Pragmatik auf den Analogiekonstruktionsprozeß fraglich.

24 Probanden, davon 12 mit geringem Vorwissen und 12 mit mehr Vorwissen, lesen entweder einen Analogietext oder einen Schulbuchtext der gleichen Thematik. Um sicherzustellen, daß die Probanden die jeweiligen Texte verstanden haben, machen sie eine Inhaltsangabe. Hieran schließt sich bei den Nutzern des Analogietextes die Analogiekonstruktion an, d.h. der chemische Sachverhalt wird mit Hilfe der Analogie erklärt. Die Schulbuchtextleser interpretieren den Text. Anschließend bearbeiten alle dieselbe weiterführende Aufgabe. In einer weiteren Untersuchung eine Woche später erhalten alle Probanden dieselbe Transferaufgabe. Ein abschließender Test überprüft das frei verfügbare Wissen, das zur Lösung der Aufgaben herangezogen wurde.

Der Ball der einsamen Herzen

Willkommen im Tanzpalast zum Ball der einsamen Herzen, ein außergewöhnlicher Ball in einer seltsam altmodischen Umgebung. Vieles gibt es dort für den heimlichen Beobachter zu erspähen. Durch die Eingangstür fällt der Blick zunächst auf einen Eingangsbereich, der durch vielfältige Sitzmöglichkeiten und große, rotierende Ventilatoren besticht. Erstaunt stellt der Betrachter fest, daß es in diesen altmodischen Räumen eine Klimaanlage gibt.

Läßt man den Blick weiterschweifen, stellt man fest, daß die Tanzpaare, die die Tanzfläche betreten wollen - man tanzt hier natürlich paarweise - kurioserweise eine Drehtür passieren müssen. Die Tanzfläche ist mit Parkett ausgelegt. Die Paare wiegen sich im Takt der Musik direkt vor den Augen des Orchesters, das auf einer Bühne Platz genommen hat. Je nach Orchestergröße kann die Bühne ein- und ausgefahren werden. Wenn bei ausgefahrener Bühne die Tanzfläche kleiner wird, müssen die einzelnen Paare aufpassen, daß sie sich nicht gegenseitig behindern. Neben der Bühne befindet sich eine Notausgangstür, die gegebenenfalls geöffnet wird; sie führt in einen kleinen parkähnlichen Garten. Zum Ball der einsamen Herzen waren 60 junge Damen und 80 junge Herren gekommen, die als Singles den Eingangsbereich betraten. Nach einiger Zeit füllte sich die Tanzfläche, und die Kapazität von 45 Tanzpaaren war erreicht. Es herrschte ein Gleichgewicht zwischen tanzenden Paaren und sitzenden Singles. Man kann währenddessen ein dynamisches Kommen und Gehen der Tanzpaare bzw. der verschiedenen Partnerkombinationen beobachten.

Auch in der Chemie finden immer wieder Bälle der einsamen Herzen statt. Dort treffen sich Teilchen A und Teilchen B und bilden zusammen ein Tanzpaar C. Die Regeln, nach denen sich die Paare finden und wieder auseinandergehen, sind die gleichen wie bei unserem Ball der einsamen Herzen.

Abb. 1: Analogietext: Der Ball der einsamen Herzen

3.2 Untersuchungsmaterial

Als Themenbereich wurde das chemische Gleichgewicht gewählt, weil es zu den schwierigen Themen gehört (Finley et al. 1982). Die täglichen Erfahrungen mit Gleichgewichten erschweren das Verstehen des dynamischen chemischen Gleichgewichts (Johnstone et al. 1977, Wheeler und Kass 1978, Hackling und Garnett 1985, Gussarsky und Gorodetsky 1986, 1988, 1990, Cachapuz und Maskill 1989, Hameed et al. 1993, Skelly 1993). Die Dance Hall Analogie (Olney 1988) wurde ausgewählt, weil sie auch eine Hilfe bei Überlegungen zur Beeinflussung des chemischen Gleichgewichtes nach Le Chatelier sein kann. Der Analogbereich erscheint etwas altmodisch, ist jedoch als Klischee Allgemeingut. Erste Objektkorrespondenzen zum Zielbereich werden vorgegeben, so daß von diesem Ausgangspunkt weitere Aussagen gebildet werden können. Die Objektzuordnungen von Analog- und Zielbereich zeigen semantische Ähnlichkeiten, die anhand von Zuordnungen identischer Relationen oder auch nur ähnlicher Relationen miteinander in Beziehung gesetzt werden (Tab. 1). Mehrfache Zuordnungen sind häufiger als eindeutige. Die Begriffe in Klammern sind semantisch ähn-

lich, werden aber nicht explizit im Analogietext angesprochen. Der zum Vergleich herangezogene Schulbuchtext entstammt auszugsweise dem Schulbuch von Jäckel und Risch (1988, S. 91) (Abb. 2). Er enthält bestimmte Kernbegriffe, die teilweise denen des Analogietextes ähnlich sind. Inhaltlich wird die Bildung und Zersetzung von Wasser behandelt. Das Volumenverhältnis von Edukten zu Produkten beträgt 2:3, so daß die Reaktion druckabhängig ist. Die Zersetzung findet erst bei 2000 K statt und ist somit endotherm. Der Text spricht mehrmals die Parameter Druck, Temperatur und Konzentration an.

3.3 Untersuchungsmethoden

Eine Überprüfung der Hypothesen erfordert detaillierte Informationen über die Gedankengänge der Probanden. Hierzu eignen sich besonders mündliche Verfahren, die zur besseren Vergleichbarkeit teilstandardisiert werden. Ein Beispiel hierfür sind offene leitfadenorientierte Interviewverfahren (Witzel 1989, Mayring 1990, Hopf 1991). Zur Überprüfung des frei verfügbaren Wissens werden Verknüpfungstests eingesetzt, die sich auf die Schlüsselbegriffe der Materialien beziehen (Sumfleth 1988).

Analogbereich	Zielbereich
Singles, Damen, Herren (Mann, Frau, Junge, Mädchen)	Edukte, Teilchen A und B
Paar, Tanzpaar	Produkte, Teilchen C
Gleichgewicht	Gleichgewicht
Musik, Takt der Musik	Aktivierungsenergie
Drehtür, Musik	Katalysator, Reaktionsbeschleunigung
Orchestergröße in Relation zum Raum, Bühnengröße, Tanzflächengröße	Druck
60 Damen, 80 Herren, Kapazität von 45 Tanzpaaren	Konzentration der unterschiedlichen Teilchensorten
Ventilator, Klimaanlage (Heizung)	Temperatur
Notausgangstür, Park, Garten	offenes System

Tab. 1: Objektzuordnungen

Das chemische Gleichgewicht

Die Bildung von Knallgas aus Wasserdampf läuft erst bei sehr hohen Temperaturen erkennbar ab. Die Reaktion verläuft jedoch nicht vollständig. Man erhält ein Gemisch, in dem sich auch nach längerer Wartezeit das Verhältnis von Edukten und Produkten nicht verändert. So werden bei 2000 K lediglich 4% der Wassermoleküle zerlegt. Läßt man bei 2000 K Wasserstoff und Sauerstoff miteinander reagieren, so verläuft auch diese Reaktion nicht vollständig; sie führt zu dem gleichen Mischungsverhältnis wie bei der Zerlegung von Wasser. In solchen Fällen spricht man von einem chemischen Gleichgewicht, bei gleichem Druck und gleicher Temperatur führen Hin- und Rückreaktion zu dem gleichen Zustand. Im Gleichgewichtszustand sind insgesamt keine Konzentrationsänderungen mehr feststellbar. Trotzdem sind die Reaktionen nicht zum Stillstand gekommen; Hinreaktion und Rückreaktion laufen bei gleicher Geschwindigkeit ab. Man muß sich daher ein chemisches Gleichgewicht als einen dynamischen Gleichgewichtszustand vorstellen.

Abb. 2: Schulbuchtext: Das chemische Gleichgewicht

Das offene leitfadenorientierte Interview eignet sich „hervorragend für eine theoriegeleitete Forschung, da es keinen rein explorativen Charakter hat, sondern die Aspekte der vorrangigen Problem-analyse in das Interview Eingang finden. Überall dort, wo dezidierte, spezifischere Fragestellungen im Vordergrund stehen, bietet sich diese Methode an“ (Mayring 1990, S. 49). Der Interviewer agiert autonom. Er entscheidet selbst, wann er vom Frageleitfaden abweicht, um intensiver nachzufragen. Der Leitfaden ist einerseits Orientierungsrahmen und Gedächtnisstütze für den Interviewer und andererseits Hilfe zur Ausdifferenzierung von Erzählsequenzen des Interviewten. Er strukturiert das Thema, schreibt aber die Fragenabfolge nicht verbindlich vor. „Für die Entwicklung des Gesprächs selbst ist der Begriff Leitfaden unzutreffend, weil hier der Gesprächsfaden des Interviewten im Mittelpunkt des Interesses steht, und der Leitfaden diesen lediglich als eine Art Hintergrundfolie begleitet“ (Witzel 1989, S. 237).

Die Datenerhebung läuft in mehreren Phasen ab (Abb. 3). In der ersten Phase werden biographische Daten zur Schullaufbahn, zum Chemieunterricht und zu Begriffen aus der Chemie erhoben. In der zweiten Phase lesen und bearbeiten die Probanden den Schulbuch- bzw. den Analogietext beliebig lange. Bei der Textwiedergabe kann der Text von den Probanden eingesehen werden. Der Interviewleitfaden dient an dieser Stelle als Kontrollinstrument, um zu gewährleisten, daß alle wichti-

gen Aspekte wiedergegeben werden. Die Textinterpretation bzw. die Analogiekonstruktion folgt in der dritten Phase. Die Textinterpretation des Schulbuchtextes ist nicht immer von der Textwiedergabe zu trennen, so daß sich Phase 2 und 3 bei den Schulbuchtextlesern überschneiden. Danach folgt in Phase vier die Diskussion über die Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts. Phase fünf findet eine Woche später statt. Alle Probanden erhalten die Aufgabe, das Iod-Wasserstoff-Gleichgewicht zu diskutieren. Die verbale Formulierung dieser Aufgabe, also der Verzicht auf die Formelschreibweise hat Vor- und Nachteile. Einerseits werden die mit Formeln verbundenen Interpretationsschwierigkeiten vermieden, andererseits legt sie eine Druckabhängigkeit nahe, die nicht gegeben ist. Probanden mit Vorwissen können aufgrund ihres Vorwissens das Abstraktionsniveau der Wortgleichung verlassen und die stöchiometrische Umsetzung herleiten. Sie müssen bemerken, daß in diesem Fall aufgrund der unveränderten Teilchenzahl auf der Edukt- und der Produktseite keine Druckabhängigkeit vorliegt. Dies erlaubt eine Überprüfung von Verifikationskomponenten. In der letzten Phase bearbeiten die Analogie- bzw. die Schulbuchtextleser einen spezifischen Verknüpfungstest. Da verbal in der Regel nachlässiger formuliert wird, erhalten die Probanden durch den Methodenwechsel die Chance, ihr frei verfügbares Wissen schriftlich zu fixieren.

Untersuchungsmethode		Phase
Biographische Daten: - Schullaufbahn - Chemieunterricht - chemische Begriffe		1
<i>Analogietext</i>	<i>Schulbuchtext</i>	2
Textwiedergabe	Textwiedergabe	
Textinterpretation Analogiekonstruktion	Textinterpretation	3
Diskussion zur Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts		4
Transfer: Diskussion zur Beeinflussung des Iod-Wasserstoff-Gleichgewichts		5
Verknüpfungstest	Verknüpfungstest	6

Abb. 3: Aufbau der Untersuchung

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse zum Konzept chemisches Gleichgewicht

Probanden mit Vorwissen besitzen eine qualitative Rahmenvorstellung und nutzen alle Informationen sowohl aus dem Schulbuchtext als auch aus der Analogie zur Problemlösung. Fachlich falsche Aussagen entstehen durch die Verwendung von Alltagssprache. Die Analogienutzer ordnen zunächst Edukten und Produkten entsprechende Objekte zu. Bei den weiteren Aussagen nehmen Vernetzungsgrad und Komplexität zu (Gentner 1980, 1983, Gentner und Block 1983, Gentner und Stuart 1984, Landers und Gentner 1985). Keane beschreibt dieses Vorgehen als Identifizieren der „base objects“, von denen ausgehend weitere Aussagen erreicht werden (Keane 1990). Da die Probanden über Wissen in beiden Bereichen verfügen, belegen sie die Objektknoten direkt mit Konzepten der Chemie. Dadurch dient die Analogie nicht zur Vermittlung neuen Wissens, sondern zur Fokussierung der Aufmerksamkeit auf ein gemeinsames System der Prädikate.

Probanden mit geringem Vorwissen, die den Schulbuchtext bearbeiten, haben Verständnis-

probleme, weil der Schulbuchtext ihnen kaum Hinweise bietet, die an ihre kognitive Struktur anknüpfen. Sie geben oberflächliche Textelemente (Maichle 1981) wieder, ohne sie zu verstehen. Die Ausdrucksform mit vielen Konjunktiven und Vermutungen drückt die Schwierigkeiten und Unsicherheiten der Probanden aus (s.a. Camacho und Good 1989). Ihnen wird nicht bewußt, daß sich das chemische Gleichgewicht vom statischen unterscheidet (Gussarsky und Gorodetsky 1990). Die alltagsweltliche, statische Vorstellung führt dazu, daß die Anzahl der Edukte und Produkte, die Energiemenge für Hin- und Rückreaktion und das Mischungsverhältnis als gleich betrachtet wird, obwohl sie bei dem Reaktionsbeispiel im Schulbuchtext nicht gleich sind (s.a. Hackling und Garnett 1985, Gussarsky und Gorodetsky 1986, Cachapuz und Maskill 1989, Hameed et al. 1993). Demgegenüber beginnen die Analogienutzer mit geringem Vorwissen ohne Nachfragen mit der Interpretation, weil sie über einen qualitativen Rahmen im Analogbereich verfügen. Auch hier zeigt sich der Einfluß des Vorwissens, denn sie beginnen bewußt mit Berechnungen im Analogbereich mit dem Ziel, gleichviel Tanzende wie Sitzende im

Probanden- gruppen	Σ	Analogbereich	Zielbereich	Analogbereich Zielbereich	Zielbereich Analogbereich
Experten	11,8	3,5	2,5	3,3	2,5
Laien	13,5	8,5	2,8	1,1	1,1

Tab. 2: Durchschnittliche Zahl der Sinneinheiten bezogen auf Analog- und Zielbereich

Tanzpalast (Analogbereich) bzw. gleichviel Edukte wie Produkte (Zielbereich) auszumachen. Da dies nicht gelingt, kommt es zu kognitiven Konflikten. Dann beginnt eine erneute Strukturierung des subjektiven Problemraums. Was macht das Gleichgewicht im chemischen Gleichgewicht aus? Die vorgegebenen Objektkorrespondenzen ermöglichen den Transfer eines Systems von Prädikaten vom Analog- zum Zielbereich. Dieser Transfer erfolgt langsam, nicht zuletzt weil diese Probanden im Zielbereich nicht über die entsprechende Terminologie verfügen. Letztendlich erhalten sie durch die Analogie die Möglichkeit, problemlösend zu arbeiten.

Bei den Analogie-Probanden mit Vorwissen verteilen sich die Aussagen nahezu gleichmäßig auf die vier Kategorien (Tab. 2). Bei den Probanden mit geringem Vorwissen liegt der Schwerpunkt eindeutig auf den Äußerungen im Analogbereich. Diese Probanden haben zunächst auch keine andere Chance, da sie nur über Wissen im Analogbereich verfügen und dieses Wissen auf einen neuen Bereich übertragen müssen. Sie verfügen nicht über eine Fachsprache im Zielbereich, so daß die Artikulation überwiegend im Analogbereich stattfindet. Korrespondenzen zwischen den Bereichen werden von ihnen insgesamt in 2,2 Sinneinheiten hergestellt. Es fällt auf, daß der Transfer in beiden Richtungen, also vom Analog- zum Zielbereich und vom Ziel- zum Analogbereich, erfolgt.

4.2 Ergebnisse zur Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts

Durchschnittlich formulieren die Analogienutzer mit 13,1 bzw. 14 Sinneinheiten deutlich mehr als die Schulbuchtextnutzer mit 7,8 bzw. 9. Dabei unterscheiden sich die beiden Probandengruppen mit und ohne Vorwissen nicht.

Die Schulbuchtextnutzer mit Vorwissen können aufgrund ihrer spezifischen Kenntnisse Bedeutungen konstruieren, während die Probanden mit geringem Vorwissen nur auf das externe Hilfsmittel Schulbuchtext zurückgreifen können. Zwei Probanden mit Vorwissen wiederholen zum Teil stichwortartig ihre Erinnerungen. Zwei andere versuchen, ihre Aussagen zu begründen, was nicht immer gelingt. Ein weiterer formuliert zunächst allgemeine Gesetzmäßigkeiten, bevor er sie auf das Reaktionsbeispiel anwendet. Demgegenüber greifen diejenigen mit geringem Vorwissen auf besonders auffällende Einzelaussagen des Schulbuchtexts zurück. Dies wird besonders bei den Parametern Druck und Temperatur deutlich, die sie aufgrund einer Textaussage zusammen nennen. Zudem sprechen sie allgemein von Veränderungen der Parameter, selten von einer Erhöhung bzw. Erniedrigung und geben keine Gründe für die Veränderungen an.

Bei den Analogienutzern liegt in beiden Gruppen der Schwerpunkt eindeutig auf

Probanden- gruppen	Σ	Analogbereich	Zielbereich	Analogbereich Zielbereich	Zielbereich Analogbereich
Experten	13,1	5,7	4	2,8	0,6
Laien	14	9,8	2,2	1,8	0,2

Tab. 3: Durchschnittliche Zahl der Sinneinheiten bezogen auf Analog- und Zielbereich

Äußerungen im Analogbereich, bei den bereichsübergreifenden Aussagen auf denjenigen, die im Analogbereich beginnen (Tab. 3). Während die Probanden mit Vorwissen die Chance haben, aus beiden Richtungen bereichsübergreifende Zusammenhänge zu konstruieren, übertragen die Probanden mit geringem Vorwissen Aussagen des Analogbereichs auf den Zielbereich. Allerdings können sie die Gültigkeit dieser Aussagen im Zielbereich nicht überprüfen.

Die Analogie beschreibt im Analogbereich aufgrund der getrennten Räumlichkeiten (Eingangsbereich, Tanzfläche) eine Situation, die bei der Interpretation des Parameters Druck im Zielbereich zu fachlich falschen Aussagen führen kann. Ein übergeordnetes Schema kann zu diesen unterschiedlichen Ausprägungen im Analog- und Zielbereich nicht mehr gebildet werden, die Analogie wird inkonsistent. Sie „bricht zusammen“, da sie den Sachverhalt nur unzureichend repräsentiert (Holyoak 1985). Selbst von den Probanden mit Vorwissen erkennt nur einer diese Inkonsistenz und korrigiert seine Aussagen. Für diesen Inhaltsbereich ist die Analogie ungeeignet.

Der Temperatur steht im Analogbereich die Klimaanlage gegenüber. Den Probanden mit Vorwissen fällt diese Zuordnung schwer. Zwei nennen Musik bzw. den Takt der Musik an Stelle der Klimaanlage. Ein Proband kritisiert diese Objektzuordnung. Einem anderen erscheint es widersinnig, daß *„wenn man es wärmer macht dann tanzen .. jedenfalls weniger wenn's wärmer wird dann gehen auch weniger tanzen weil es denen sonst auch zu warm wird .. in der Chemie ist es ja eher so daß wenn es zu warm wird die eher reagieren von mal zu mal wenn man Energie zuführt“*¹. Die Probanden mit geringem Vorwissen haben keine Schwierigkeiten mit dieser Objektzuordnung. Vier Probanden beschreiben ausdrücklich, daß für Reaktionen in der Chemie bestimmte Temperaturen notwendig sind. Auch für diese Thematik erweist sich die Analogie nicht als erklärungs mächtig, sondern als verwirrend.

Die Probanden mit Vorwissen beschreiben offene und geschlossene Systeme, indem im Analogbereich die Tanzpaare die Tanzfläche verlassen und im Zielbereich das Produkt dem System entzogen wird. Die Singles sowie die Edukte bleiben unberücksichtigt. Alle Probanden mit geringem Vorwissen äußern sich zum Parameter Konzentration. Im Analogbereich wird die Notausgangstür vornehmlich als Ausweichmöglichkeit im Sinne eines offenen Systems gedeutet. Zudem beschreiben sie vielfältige Möglichkeiten im Analogbereich, die im Zielbereich nicht immer eine Entsprechung finden.

4.3 Ergebnisse zur Transferaufgabe (Iod-Wasserstoff-Gleichgewicht)

Durchschnittlich formulieren die Analogienutzer mit 9,5 bzw. 10 Sinneinheiten mehr als die Schulbuchtextnutzer mit 8,6 bzw. 6,6, besonders deutlich ist dieser quantitative Unterschied bei den Probanden mit geringem Vorwissen (6,6 gegenüber 10 Sinneinheiten). Von den Schulbuchtextnutzern zeigen diejenigen mit Vorwissen im Vergleich zu den entsprechenden Analogienutzern in ihren Bedeutungskonstruktionen eine relativ hohe Komplexität. Die Probanden ohne Vorwissen unterscheiden sich unter diesem Aspekt kaum, nur daß die Analogienutzer mehr Bedeutungen konstruieren.

Die Probanden mit Vorwissen unter den Schulbuchtextnutzern lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Drei von ihnen verfügen nicht über geeignete kognitive Strukturen zur Problemlösung (Holyoak und Gick 1980, 1983), denn sie erinnern lediglich einzelne Parameter, die sie unreflektiert auf die neue Problemsituation übertragen. Fachlich falsche Aussagen sind die Folge, z.B. im Kontext Druck. Demgegenüber können zwei andere Probanden ihre Thesen begründen. Einer von ihnen erkennt als einziger, daß das Iod-Wasserstoff-Gleichgewicht nicht druckabhängig

¹ Die Audiokassetten sind wörtlich transkribiert worden, wahrgenommene Pausen werden durch Punkte angedeutet. Im übrigen wurde auf jede Interpunktion verzichtet, um Interpretationen beim Transkribieren zu vermeiden.

ist und sich vom Wasserstoff-Sauerstoff-Gleichgewicht unterscheidet. Er vergleicht die jetzige Problemstellung also mit der bereits erörterten (s. a. Landers und Gentner 1985, Gentner 1988). Der andere Proband formuliert allgemeine Gesetzmäßigkeiten, die er auf das Reaktionsbeispiel bezieht. Er nutzt rein strukturelle Erinnerungen (Schank 1982, Faries und Reiser 1988), die teilweise zu fachlich falschen Äußerungen führen.

Die Schulbuchtextnutzer mit geringem Vorwissen übertragen nur ihre Erfahrungen aus der Bearbeitung des Wasserstoff-Sauerstoff-Gleichgewichts (Anderson et al. 1984, Holyok und Koh 1987, Reed 1987, Ross 1987). So nehmen sie zwangsläufig an, daß dieses chemische Gleichgewicht ebenfalls druckabhängig ist, fachlich falsche Aussagen sind die Konsequenz. Nur ein Proband begründet eine Erhöhung des Druckes sowie der Temperatur aufgrund von Vorwissen, das eindeutig vor der Untersuchung vorhanden war und nun in diesem Kontext aktiviert wird. Die Angabe der Temperatur in der Aufgabenstellung führt dazu, daß sich die Probanden z.T. ausdrücklich auf die Aufgabenstellung beziehen und daraus schließen, daß eine weitere Temperaturerhöhung auch die Konzentration von Iodwasserstoff erhöht. Aus diesem Kontext entwickeln sie somit Beeinflussungsmöglichkeiten (Markham und Gentner 1993). Ein Proband erinnert den Erklärungsansatz zur Temperaturänderung aus dem Wasserstoff-Sauerstoff-Gleichgewicht und überträgt ihn unreflektiert und nicht fehlerfrei auf die neue Problemsituation. Beim Parameter Konzentration bezieht ein Proband seine Aussagen eindeutig auf den Begriff „Mischungsverhältnis“ aus dem Schulbuchtext. Alltagsweltliche Aspekte spielen bei den Äußerungen eines

anderen eine Rolle. Diese Probanden mit geringem Vorwissen erinnern Sachverhalte aufgrund verschiedenster Stimuli. Beispiele sind der Kontext, die Aufgabenstellung, strukturelle Betrachtungen oder auch oberflächliche Erinnerungen.

Die Analogienutzer mit Vorwissen könnten das Problem auch ohne Bezug zur Analogie bearbeiten, stellen aber trotzdem eine Beziehung zu ihr her und äußern sich nicht nur in einem fachlichen Kontext. Bei den Parametern Temperatur und Konzentration stellen zwei Probanden Objektkorrespondenzen zum Analogbereich her. Zudem bekunden zwei weitere, während der Problemlösung an die Analogie gedacht zu haben. Sie übernimmt eine Art Kontrollfunktion: *„da bin ich dann durch den Palast durchgegangen und hab überlegt hast du noch was vergessen oder so“* oder *„ich hab jetzt viele Sachen im Kopf von dem Tanzpalast in gewisser Art und Weise und übertrag das dann darauf eigentlich weil man rein bildhaftig sich das gut merken dadurch weil das dann weniger abstrakt ist“*. Im Kontext Druck allerdings äußert sich ein Proband ausschließlich im Analogbereich, während die übrigen Druckänderungen rein fachlich beschreiben, aber nicht erkennen, daß dieses Gleichgewicht nicht druckabhängig ist. Mit Blick auf diesen Inhaltsbereich ist die Analogie eindeutig gescheitert.

Die Analogienutzer mit geringem Vorwissen können nur aufgrund ihrer Erfahrungen mit der Analogie dieses Problem lösen. Sie vertrauen ihren Erfahrungen aus den vorherigen Untersuchungsphasen und verharren nicht mit ihren Aussagen im Analogbereich. Die durchschnittliche Zahl der Sinneinheitstypen ist durchaus mit der der Probanden mit Vorwissen vergleichbar (Tab. 4).

Probanden- gruppen	Σ	Analogbereich	Zielbereich	Analogbereich Zielbereich	Zielbereich Analogbereich
Experten	13,1	5,7	4	2,8	0,6
Laien	14,0	9,8	2,2	1,8	0,2

Tab. 4: Durchschnittliche Zahl der Sinneinheiten bezogen auf Analog- und Zielbereich

Ein Proband bemerkt ausdrücklich, daß er ohne das Vorwissen aus dem Bereich der Analogie dieses Problem nicht hätte lösen können. Ein anderer beschreibt die Analogie als etwas „Greifbares“, wohingegen die fachlichen Sachverhalte „wenig greifbar“ und dementsprechend auch wenig „begreifbar“ sind.

4.4 Ergebnisse des Verknüpfungstests

Die Schulbuchtextnutzer mit Vorwissen verknüpfen nahezu alle Begriffe, diejenigen mit geringem Vorwissen streichen einige. Durchschnittlich verknüpfen die Laien die Begriffe etwas häufiger als die Experten (11,5 gegenüber 9 Verknüpfungen), davon sind aber auch mehr Aussagen fachlich falsch. Die qualitativen Unterschiede sind deutlich. Die Probanden mit Vorwissen stellen zu fast allen Begriffen Verknüpfungen her, die überwiegend prägnant und korrekt sind. Es fällt jedoch auf, daß viele Aussagen entweder auf definitorischem Vorwissen beruhen oder aber recht allgemein sind. Fachlich falsche Aussagen betreffen vor allem den Einfluß eines Katalysators auf die Gleichgewichtslage. Die fachlich falschen Aussagen sind bei den Probanden mit geringem Vorwissen vielfältiger. Die Aussagen der Mehrheit der Probanden weisen auf unverständene Begriffe und eine alltagsweltliche Sichtweise des Gleichgewichts hin. Darüber hinaus sind die Aussagen wenig prägnant. Bei differenzierteren Aussagen nimmt die Fehlerwahrscheinlichkeit stark zu.

Im Vergleich zu den Schulbuchtextnutzern erhalten die Analogienutzer im Verknüpfungstest 7 weitere Begriffe aus dem Analogbereich. Die Probanden stellen erwartungsgemäß mehr Verknüpfungen her. Beide Gruppen ignorieren nur einige Begriffe. Die Analogienutzer mit Vorwissen formulieren überwiegend Aussagen im Zielbereich. Sie legen großen Wert auf Objektbeziehungen. Die Identifizierung der „base objects“ wie Ausgangsstoff/Singles und Endstoff/Tanzpaar ist besonders häufig. Von diesen Objektkorrespondenzen ausgehend werden weitere Verknüpfungen gebildet, die jedoch nur selten komplexe Inhalte beschreiben. Mängel der

Analogie, zum Beispiel beim Parameter Druck, bleiben unerkannt. Demgegenüber äußern sich die Analogienutzer mit geringem Vorwissen überwiegend im Analogbereich. Die Identifizierung der „base objects“ ist hier unausgewogen. 5 Probanden stellen die Objektkorrespondenz Singles/Ausgangsstoff her, jedoch ordnet nur ein Proband dem Endstoff die Tanzpaare zu. Fast alle Probanden rekapitulieren die Tanzpaarbildung im Analogbereich. In diesem Zusammenhang sprechen drei Probanden die Reaktionsparameter an. Im Bereich der Gleichgewichtsbeeinflussung diskutieren die Probanden mehrheitlich die Parameter Druck und Temperatur, der Parameter Konzentration wird vernachlässigt. Die Analogienutzer besitzen auch in dieser Untersuchungsphase gewisse Vorteile. Sprachlich wie inhaltlich drücken sie sich klar und prägnant aus. Die vielfältige Deutung einiger Begriffe zeigt das Interesse der Analogienutzer, sich mit der Thematik auseinanderzusetzen. In der Schulbuchtextgruppe sind die Probanden mit geringem Vorwissen denjenigen mit Vorwissen deutlich unterlegen. Diese Beobachtung trifft auf die Analogienutzer nicht zu.

4.5 Ergebnisse zum Einfluß von Semantik und Pragmatik

4.5.1 Semantik

Inhaltliche Ähnlichkeit (Winston 1980, Gentner und Toupin 1986, Ross 1987) zwischen Analog- und Zielbereich erleichtert die Zuordnungen zwischen beiden Bereichen, macht eine Analogie aber auch gleichzeitig für den Nutzer uninteressanter. Beim Mapping muß der Nutzer über semantisches Wissen bezüglich der zu transferierenden Propositionen verfügen. Deshalb werden bei Gentner (1983) nur identische Konzepte (Beispiel: Elektronen kreisen um den Atomkern, wie die Erde um die Sonne kreist), bei Holyoak und Gick (1980) aber auch semantisch ähnliche Konzepte in Beziehung gesetzt, weil der Nutzer durchaus in der Lage ist, Beziehungen zwischen nicht identischen Relationen herzustellen. Deshalb betont Holyoak gemeinsame Eigenschaften.

Die qualitative Inhaltsanalyse der Interviews zum Thema Gleichgewicht zeigt, daß auch semantisch ähnliche Konzepte in Beziehung gesetzt werden, nicht nur identische. Der Grad der für den Zuordnungsprozeß notwendigen semantischen Ähnlichkeit hängt vom Vorwissen ab: Je weniger Vorwissen zu den einzelnen Bereichen vorhanden ist, desto höher ist die Identität der in Beziehung gesetzten Propositionen.

Analogienutzer mit Vorwissen besitzen Kenntnisse in beiden Bereichen und wenden diese auch wechselseitig an. (Abb. 4 und Abb. 5). Sie sind in der Lage, auch nur ähnliche Konzepte miteinander in Beziehung zu setzen und aufgrund ihres Vorwissens weitere chemische Sachverhalte im Zielbereich zu ergänzen. In den folgenden Abbildungen charakterisieren Rechtecke Objekte, gestrichelte Rechtecke markieren latent geäußerte Objekte, die aufgrund weiterer Aussagen des Probanden mit in das Netzwerk einbezogen werden können. Kreise kennzeichnen Relationen und der Doppelpfeil das Mapping.

Die Äußerungen des Probanden im Analog- und Zielbereich sind symmetrisch zueinander, sie werden über eine identische Relation zwei-

ter Ordnung (keine Einflußnahme) miteinander in Beziehung gesetzt (Abb. 4). Von dieser Annahme ausgehend bildet der Proband top-down weitere Verknüpfungen. Die vollständige Symmetrie der Aussagen ist ein Zeichen dafür, daß der Proband die Zusammenhänge zwischen Analog- und Zielbereich erfaßt hat. Demgegenüber schlägt der zweite Proband die Brücke zwischen Analog- und Zielbereich über eine komplexe Relation zweiter Ordnung (ist unabhängig), die jedoch nur ähnliche nicht aber identische Strukturen verknüpft (Abb. 5). Er vergleicht mit Blick auf das Gleichgewicht die ungleiche Anzahl von Paaren und Singles im Analogbereich mit dem ständigen Austausch auf der submikroskopischen Ebene im Zielbereich.

Analogienutzer mit geringem Vorwissen erreichen kein vollständiges Mapping, so daß die resultierenden semantischen Netzwerke asymmetrisch sind (Abb. 6 und Abb. 7).

Der Proband (Abb. 6) wählt als Ausgangspunkt für das Mapping eine einfache Eigenschaft („ist beschränkt“) und bildet hiervon ausgehend weitere Aussagen (bottom-up). Auch ein anderer Proband (Abb. 7) konstruiert die beiden Teilnetze nicht top-down, son-

„Ja wahrscheinlich geben dann hm also wird vielleicht ein Mann raus und dafür kommt ein Mann wieder rein und hm das sind dann immer also die Mischung halt gleich bleibt aber die Teilchen sich austauschen so“

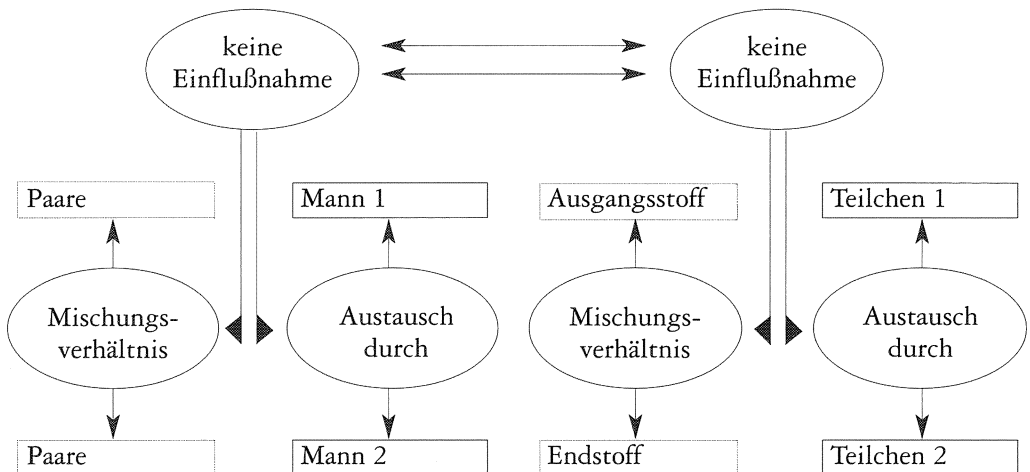


Abb. 4: Interviewaussage eines Probanden mit Vorwissen (1) dargestellt als semantisches Netzwerk

„Ja daß .. ahm nicht gleichviel auf beiden Seiten sein muß daß das mein ich jetzt nicht als Gleichgewicht also das wird hier auch nicht als Gleichgewicht gemeint offensichtlich ahm sondern daß die ja das Gleichgewicht ist hier gemeint daß ahm sozusagen die die Kapazität der Tanzfläche voll ausgefüllt ist und ahm und rundherum dann halt die übrigen sitzen so daß dieses Gleichgewicht dann jetzt auch jetzt auch nicht in sich gleich ist daß also nicht genauso viele Paare oder einzelne Leute tanzen wie rundherum sitzen daß kann jetzt ja meinetwegen 2 zu 3 sein aber wenn das immer gleich ist ist das halt auch ein Gleichgewicht und so ist das halt in der Chemie halt auch wenn es also nicht so und soviel Teilchen ahm .. binden können sag ich mal und herum sind dann noch ist auch ne gewisse Anzahl von Teilchen dann können die zwar auch alle noch dann hin und her reagieren aber es bleiben immer so viele frei wie gebunden“

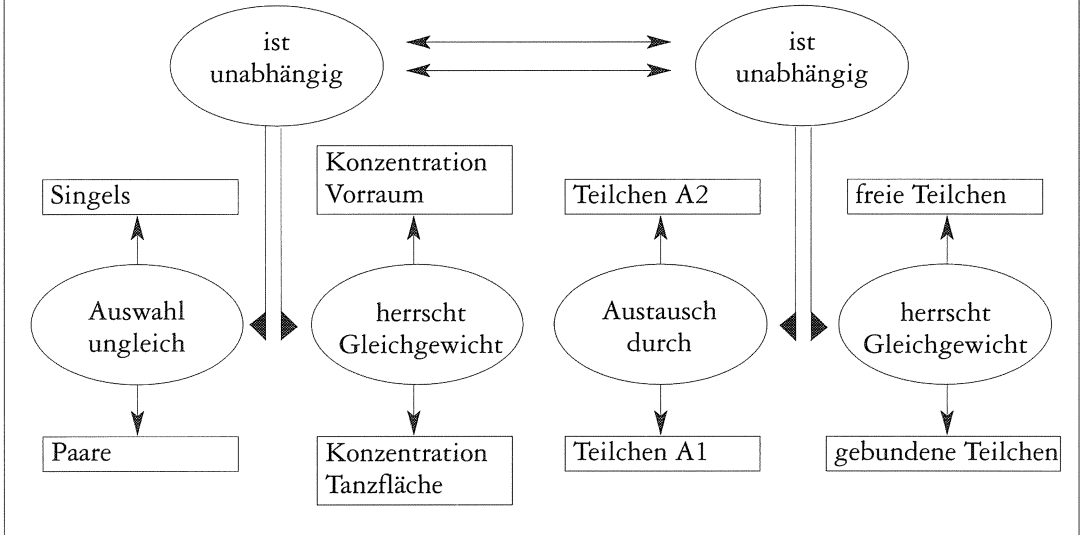


Abb. 5: Interviewaussage eines anderen Probanden mit Vorwissen (2) dargestellt als semantisches Netzwerk

dern ausgehend von einer einfachen Relation erster Ordnung, also sozusagen „middle-out“. Darauf aufbauend identifiziert er top-down die Objekte und kommt dann bottom-up zum Prozeß der Tanzpaarbildung und dem dynamischen Gleichgewicht. Darüber hinaus gelingt das Mapping der Objekte nur unvollständig („sitzende“ Teilchen). Hier werden ganz explizit Relationen über identische Eigenschaften (sitzend, tanzend) hergestellt. Es wird deutlich, daß Probanden mit geringem Vorwissen keine andere Wahl haben, als identische Propositionen zu übertragen.

4.5.2 Pragmatik

Die Pragmatik, die Orientierung auf das Nützliche, steht bei der Analogienutzung im Vordergrund. Es stellt sich die Frage, ob diese

Pragmatik Einfluß auf den Analogiekonstruktionsprozeß hat und bei weiteren Problemlösungsprozessen zur erneuten Anwendung der Analogie führt. Im untersuchten Beispiel geben die Aufgabenstellung und der Analogietext erste zielorientierte Hinweise. Alle Analogienutzer mit Vorwissen bilden zuerst die Objektkorrespondenzen, die die „base objects“ in Beziehung setzen, dann weitere Objektkorrespondenzen und arbeiten danach die gemeinsamen Strukturen der Bereiche heraus.

Von den Analogienutzern mit geringem Vorwissen setzen nur drei Probanden diese „base objects“ in Beziehung. Diese Probanden erkennen im Analogietext die Aussage „Gleichgewicht bedeutet gleichviel“ und wenden diese zielorientiert in Berechnungen an. Diese Betrachtungsweise führt zu einem kognitiven Konflikt, der die weitere Analogiekonstrukti-

„Also im Tanzpalast der nur eine begrenzte Kapazität hat herrscht immer ein Gleichgewicht und zwar immer 45 Paare immer diese Kapazitätsgrenze oder wie man dies auch immer nennen mag .. jetzt besteht auch ein Gleichgewicht zwischen den der Anzahl der tanzenden Paare im Tanzpalast und der Anzahl der Singles im Eingangsbereich dieses Gleichgewicht bezieht sich nicht darauf daß es die gleiche Anzahl ist die von Leuten die drinnen tanzen und von Leuten die draußen sitzen sondern nur daß das Verhältnis immer gleichbleibend ist obwohl zwischen den beiden Gruppen immer ein dynamischer Wechsel stattfindet.. steht die Regel nach dem sich diese chemischen Teilchen finden und sich wieder trennen sind die gleichen sind die gleichen wie auf dem Tanzpalast daß heißt es ist wieder .. es muß wieder irgendwie ne Restriktion sein daß nur so und soviel Teilchen zusammen gehen können es können auch immer nur ein Teilchen A und ein Teilchen B zusammen gehen um ein Teilchen C zu bilden aber dies Teilchen C kann sich dann auch wieder auflösen in A und B und die können dann auch wieder mit anderen As und Bs zusammen kommen und neue Cs bilden“

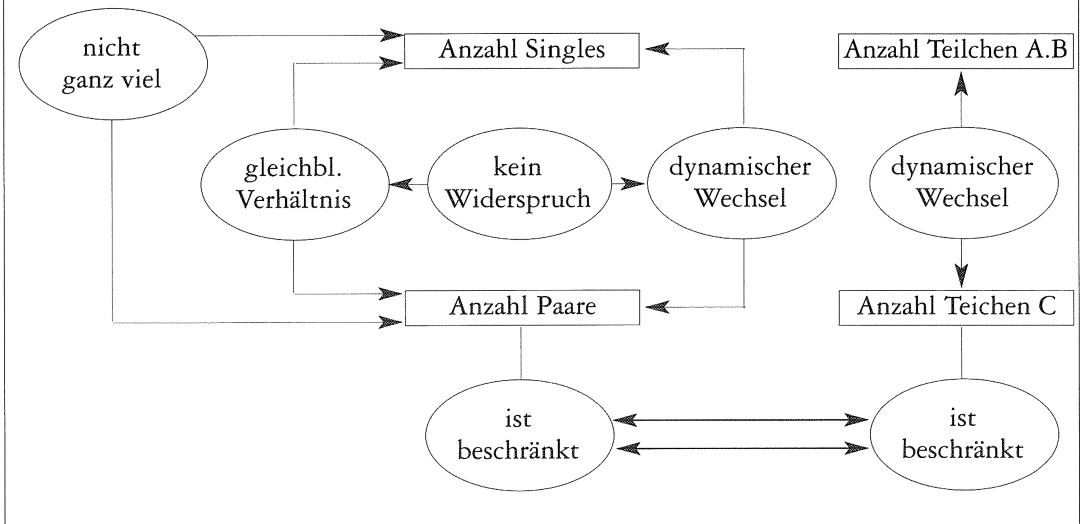


Abb. 6: Interviewaussage eines Probanden ohne Vorwissen (1) dargestellt als semantisches Netzwerk

on bestimmt. Abschließend versuchen die Probanden, die neuen Erkenntnisse über das dynamische Gleichgewicht auf den Zielbereich zu übertragen. Dies wird durch fehlendes Vokabular erschwert.

Es findet also bei beiden Probandengruppen eine kontextabhängige Selektion der möglichen Zuordnungen statt, die durch übergeordnete Ziele und das Vorwissen individuell gesteuert wird (Thagard et al. 1989). Pragmatische Bedingungen werden genutzt, um aus Sicht des Probanden die geeignetste Zuordnung zu finden (Holyoak 1985, Holland et al. 1986, Keane 1987, 1990, Keane et al. 1994). Außerdem enthält der Zuordnungsprozeß oft eine Suche nach alternativen Sachverhalten in einem der Bereiche (Holyoak und Gick

1983). Drei Probanden mit Vorwissen wählen im Zielbereich Beispiele wie die Osmose als Teilchenbewegung, eine gesättigte Lösung als Beispiel eines Gleichgewichtszustandes, das Fließgleichgewicht sowie eine Übertragung der Sachverhalte auf andere Gasreaktionen. Im Analogbereich benutzt ein Proband das Bild eines Wasserkessels, das den Verhältnissen im Tanzpalast angepaßt wird. Diese Ergebnisse widerlegen die Aussagen des Structure-Mapping Ansatzes (Gentner 1983), daß Ziele und Pläne das Denken nur bei der Analogiefindung und bei weiteren Problemlösungen beeinflussen, aber nicht während des Zuordnungsprozesses. Auch zu weiterführenden Problemlösungsschritten nutzen die Probanden die Analogie z.B. als Kontrollinstrument

„Nee es tanzen mehr als eigentlich sitzen .. hm muß ja eigentlich so sein weil 20 sind ja über es müßten ja mehr tanzen als sitzen aber hier steht ja es herrschte ein Gleichgewicht zwischen Tanzenden und Paaren und sitzenden Singles und ahm das Gleichgewicht wird sicherlich dadurch hergestellt daß immer ausgetauscht werden die Partner.. ja das heißt es muß immer ein Austausch stattfinden ja also einmal gibt es Teilchen die ahm weiß ich nicht (lachen) sitzen sag ich jetzt mal die nicht in Bewegung sind und dann auf der Tanzfläche sind Teilchen die sich dort bewegen halt und ahm dann müssen die halt immer ausgetauscht werden damit ein Gleichgewicht besteht um halt das Ziel ein Paar zu sein zu erreichen so würde ich das sehen...“

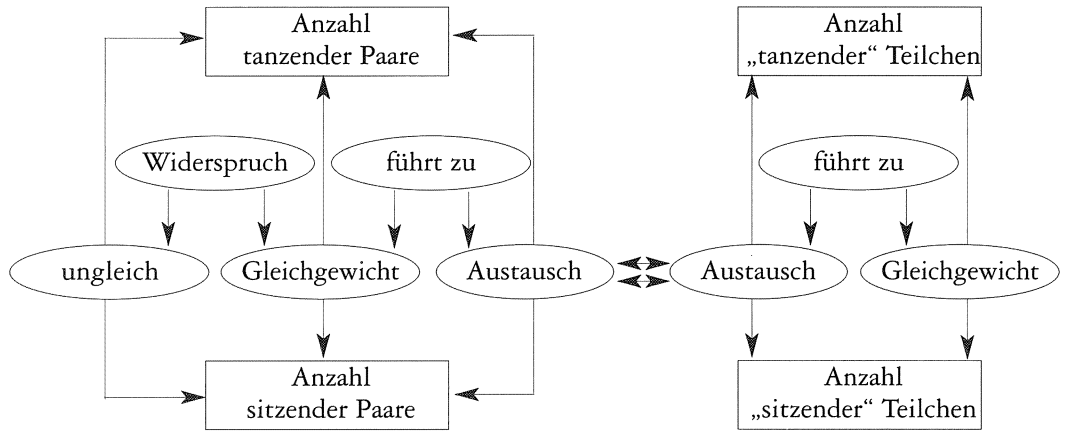


Abb. 7: Interviewaussage eines anderen Probanden ohne Vorwissen (2) dargestellt als semantisches Netzwerk

bei der Problemlösung zur Beeinflussung des Iod-Wasserstoff-Gleichgewichts.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Hypothese, daß Analogien es ermöglichen, chemische Sachverhalte auch mit geringem Vorwissen zu erarbeiten, wird bestätigt. Die Analogie „Der Ball der einsamen Herzen“ aktiviert mit Hilfe eines bekannten, bildhaften Analogbereichs bei den Probanden ein Vorwissen, das einen ersten geeigneten Einstieg in die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen des chemischen Gleichgewichts erlaubt. Die Lernenden gelangen eigenständig von zunächst oberflächlichen Merkmalen zu tiefergehenden Strukturen. Sie können selbstständig erfolgreich Probleme lösen. Aus dem Vergleich des alltagsweltlichen statischen Gleichgewichtskonzepts mit dem dynamischen entstehen kognitive Konflikte, die durch grundlegende Erkenntnisprozesse gelöst werden. Die Probanden transferieren ein

System von Prädikaten vom Analog- zum Zielbereich. Demgegenüber haben die Schulbuchtextnutzer mit geringem Vorwissen große Verständnisschwierigkeiten. Der Text bietet ihnen kaum Anknüpfungspunkte zum aktiven Mitdenken. Die Diskrepanz zwischen den beiden unterschiedlichen Gleichgewichtsmustern wird ihnen nicht bewußt.

Die Analogie wird aufgrund des bildhaften und gut verständlichen Analogbereichs von allen Probanden leicht erinnert und auf neue Problemsituationen übertragen. Den Probanden mit geringem Vorwissen dient die Analogie als Grundlage der Problemlösung, und die Probanden mit Vorwissen nutzen sie als Kontrollinstrument. Sie setzen auch solche Relationen in Beziehung, die nur semantisch ähnlich sind, aber nicht identisch. Analogienutzer mit geringem Vorwissen bleiben auf der syntaktischen Ebene nach Gentner: Sie benutzen fast ausschließlich Identitäten, um Brücken zwischen Analog- und Zielbereich zu schlagen. Dabei spielt im Gegensatz zu Gent-

ners Annahme Pragmatik durchaus eine Rolle. Die Probanden mit Vorwissen besitzen aktivierbare Schemata bzw. Werkzeuge zur Konstruktion adäquater Bedeutungen. In diesem Fall dient die Analogie nicht zur Vermittlung neuen Wissens, sondern zur Fokussierung der Aufmerksamkeit auf ein gemeinsames System der Prädikate.

Die Analogie ist gut geeignet, den Lernenden einen Zugang zu dem Charakteristikum Dynamik des chemischen Gleichgewichts zu ermöglichen. Sie wird inkonsistent, wenn man die Druckabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts betrachtet. Ähnliches gilt für die Temperaturabhängigkeit. Hier kann kein übergeordnetes Schema zu den unterschiedlichen Ausprägungen im Analog- und Zielbereich gebildet werden. Die Analogienutzer mit geringem Vorwissen stellen im Analogbereich eigenständig Thesen zur Beeinflussung des Gleichgewichtes auf, die sie dann auf den Zielbereich übertragen. Da sie keine Möglichkeit haben, die Validität dieser Aussagen im Zielbereich zu überprüfen, machen sie infolge der Inkonsistenz im Zielbereich im Kontext Druck vornehmlich fachlich falsche Aussagen. Die Schulbuchtextnutzer scheitern in der Regel auch an dieser Stelle. Die Analogienutzer mit Vorwissen verfügen über Wissen in beiden Bereichen, dennoch erkennen auch sie nur selten strukturstörende Relationen. Ähnliches gilt für die entsprechende Gruppe der Schulbuchtextnutzer. Die Analogie ist für diese Fragestellungen ungeeignet, weil die angedeuteten Relationen nicht eindeutig sind.

Literatur

- Anderson, J., Farell, R. & Sauers, R. (1984): Learning to program in LISP. *Cognitive Science*, 8, 87-129.
- Cachapuz, A. & Maskill, R. (1989): Using word association in formative classroom tests: Following the learning of Le Chatelier. *International Journal of Science Education*, 11(2), 235-246.
- Camacho, M. & Good, R. (1989): Problem solving and chemical equilibrium: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Cheng, P.W. & Holyoak, K. J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Cheng, P. W., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E., & Oliver, L. M. (1986). Pragmatic versus syntactic approaches to training deductive reasoning. *Cognitive Psychology*, 18, 293-328.
- Collins, A. & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In: Holland, D. (Ed.) *Cultural models in language and thought*, 243-265, Cambridge Massachusetts: Cambridge University Press.
- Curtis, R. V. & Reigeluth, C. M. (1984). The use of analogies in written texts. *Instructional Science*, 13, 99-117.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.
- Faries, J. & Reiser, B. (1988). Access and use of previous solutions in a problem solving situation. In: *Proceedings of the Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 433-439, Montreal: Lawrence Erlbaum.
- Finley, F. N., Stewart, J. & Yaroch, W. L. (1982). Teachers' Perceptions of important and difficult science content. *Science Education*, 66(4), 531-538.
- Forbus, K. D. & Oblinger, D. (1990). Making SME greedy and pragmatic. In: *Proceedings of the Twelfth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Montreal: Lawrence Erlbaum.
- Friedel, A. W., Gabel, D. L. & Samuel, J. (1990). Using analogs for chemistry problem solving: Does it increase understanding? *School Science and Mathematics*, 90, 674-682.
- Gabel, D. L. & Sherwood, R. D. (1980). Effect of using analogies on chemistry achievement according to Piagetian level. *Science Education*, 64(5), 709-716.
- Gabel, D. L. & Sherwood, R. D. (1984). Analyzing difficulties with mole concept tasks by using familiar analog tasks. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(8), 843-851.
- Gentner, D. (1980). *The structure of analogical models in science*. Cambridge, Massachusetts: Bolt Beronek and Newman.
- Gentner, D. (1982). Are scientific analogies metaphors? In: Miall, D. S. (Ed.) *Metaphor: Problems and perspectives*, 106-132. The Harvester Press.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.

- Gentner, D. (1988). Analogical inference and analogical access. In: Prieditis, A. (Ed.) *Analogica*, 63-84. Morgan: Kaufmann.
- Gentner, D. & Block, M. J. (1983). Analogical development and the novice-expert shift. Cambridge, Massachusetts: Bolt Beronek and Newman, 5478.
- Gentner, D. & Clement, C. (1988). Evidence for relational selectivity in the use of analogy and metaphor. *The Psychology of Learning and Motivation*, 22, 307-358.
- Gentner, D. & Gentner, D. R. (1983). Flowing waters of teeming crowds: Mental models of electricity. In: Gentner, D. & Stevens, A. L. (Eds.) *Mental Models*, 99-129. Montreal: Lawrence Erlbaum.
- Gentner, D. und Stuart, P. (1984). Metaphor as structure-mapping. University of Illinois, BBN-5479.
- Gentner, D. und Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogies. *Cognitive Science*, 10, 277-300.
- Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M. & Muth, C. (1991). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In: Glover, J. A., Ronning, R. R. & Reynolds, C. (Eds.) *A handbook of creativity: assessment, research and theory*, 383-398. Plenum.
- Glynn, S. M., Duit, R. & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. In: Glynn, S. M. & Duit, R. (Eds.) *Learning science in the schools: Research reforming practice*, 247-273. Mahwah New Jersey: LEA.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1986). Misconceptualization of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods. *European Journal of Science Teaching*, 8(4), 427-441.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1988). On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 319-333.
- Gussarsky, E. & Gorodetsky, M. (1990). On the concept of chemical equilibrium: The associative framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 197-204.
- Hackling, M. W. & Garnett, P. J. (1985). Misconceptions of chemical equilibrium. *European Journal of Science Education*, 7(2), 205-214.
- Hameed, H., Hackling, M. & Garnett, P. (1993). Facilitating conceptual change in chemical equilibrium using CAI strategy. *International Journal of Science Education*, 15(2), 221-230.
- Holland, J. H., Holyoak, K. J., Nisbett, R. E. & Thagard, P. W. (1986). *Induction; process of inference, learning, and discovery*. Cambridge Massachusetts: MIT Press.
- Holyoak, K. (1985). The pragmatics of analogical transfer. *The Psychology of Learning and Motivation*, 19, 59-86.
- Holyoak, K. & Gick, M. L. (1980). Analogical problem-solving. *Cognitive Science*, 12, 306-355.
- Holyoak, K. & Gick, M. L. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Science*, 15, 1-38.
- Holyoak, K. und Thagard, P. (1990). A constraint-satisfaction approach to analogue retrieval and mapping. In: Gilhooly, K., Keane, M., Logie, R. & Erdos, G. (Eds.) *Lines of thinking: Reflections on the psychology of thought*, 205-220. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley.
- Holyoak, K. J. & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, 15(4), 332-340.
- Hopf, C. (1991). Qualitative Interviews in der Sozialforschung. Ein Überblick. In: Flick, U., von Kardorff, E., Keupp, H., von Rosenstiel, L. & Wolff, S. (Hrsg.) *Handbuch Qualitative Sozialforschung: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, 148-177. München: Psychologie-Verlags-Union.
- Jäckel, M. & Risch, K. T. (1988). *Chemie heute - Sekundarbereich II*. Hannover: Schroedel.
- Johnstone, A., MacDonald, J. & Webb, G. (1977). Chemical equilibrium and its conceptual difficulties. *Education in Chemistry*, 14(6), 169-171.
- Keane, M. T. (1987). On retrieving analogues when solving problems. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 29-41.
- Keane, M. T. (1990). Incremental Analogizing: Theory and Model. In: Gilhooly, K., Keane, M., Logie, R. & Erdos, G. (Eds.) *Lines of thinking: Reflections on the psychology of thought*, 223-250. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley.
- Keane, M. (1991). The rule of background knowledge in analogical mapping. Dublin: Trinity College, Department of Computer Science, CS-TCD-91-06.
- Keane, M. T., Ledgeway, T. & Duff, S. (1994). Constraints on analogical mapping: A comparison of three models. *Cognitive Science*, 18, 387-434.
- Kircher, E. (1984). Analogies in the electric circuit. In: Duit, R., Jung, W. & von Rhoneck, C. (Hrsg.) *Aspects of understanding electricity: Proceedings of an international workshop*, 298-310. Kiel: IPN.
- Kleine, E. (1998). *Chemie lernen mit Hilfe von Analogien am Beispiel des chemischen Gleichgewichts*. Frankfurt/Main: Lang.
- Landers, R. & Gentner, D. (1985). Analogical reminding: a good match is hard to find. In: *Proceedings of the international conference on cybernetics and society*, 607-613.
- Maichle, U. (1981). Beiträge der kognitiven Psychologie zur Analyse von Vorstellungen. In: Duit, R., Jung, H. & Pfundt, H. (Hrsg.) *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*, 24-63. Köln: Aulis.

- Markham, A. B. & Gentner, D. (1993). Structural alignment during similarity comparisons. *Cognitive Science*, 25, 431-467.
- Mayring, P. (1990). Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zum qualitativen Denken. München: Psychologie Verlags Union.
- Novick, L. R. & Holyoak, K. J. (1991). Mathematical problem-solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17(3), 398-415.
- Olney, D. J. (1988). Some analogies for teaching rates / equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 65, 696-697.
- Otzen, C. (1992). Analogies in senior high school chemistry textbooks: A critical analysis. In: Schmidt, H. (Hrsg.) *Proceedings of the international symposium: Empirical research in chemistry and physics education*, 175-195. Hong Kong: Lofty.
- Rattermann, M. & Gentner, D. (1987). Analogy and similarity: determinants of accessibility and inferential soundness. In: *Proceedings of the ninth annual conference of the cognitive science society*, 23-35.
- Reed, S. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 124-139.
- Ross, B. (1987). This is like that: the use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Instruction*, 13, 629-639.
- Schank, R. (1982). *Dynamic memory*. Cambridge Massachusetts: Cambridge University Press.
- Schuhmacher, R. & Gentner, D. (1988). Transfer of training as analogical mapping. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18, 592-600.
- Skelly, K. M. (1993). The development and validation of a categorization of sources of misconceptions in chemistry. In: *The proceedings of the third international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, 1-40. Ithaca New York: Misconceptions Trust.
- Sumfleth, E. (1988). *Lehr- und Lernprozesse im Chemieunterricht*. Frankfurt/Main, Bern, New York, Paris: Lang.
- Thagard, P., Cohen, D., und Holyoak, K. J. (1989). Chemical analogies: Two kinds of explanation. In: *Proceedings of the eleventh international joint conference on artificial intelligence*, 819-824. Morgan: Kaufmann.
- Thiele, R. B. & Treagust, D. (1991). Using analogies in secondary chemistry teaching. *The Australian Science Teacher Journal*, 37, 4-14.
- Thiele, R. B. & Treagust, D. F. (1994). An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242.
- Thiele, R. B. & Treagust, D. F. (1995). Analogies in chemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 17, 783-795.
- Weber, G. (1994). Fallbasiertes Lernen und Analogien: Unterstützung von Problemlöse- und Lernprozessen in einem adaptiven Lernsystem. Weinheim: Beltz Psychologie.
- Wheeler, A. E. & Kass, H. (1978). Student misconceptions in chemical equilibrium. *Science Education*, 62(2), 223-232.
- Winston, P. (1980). Learning and reasoning by analogy. *Communications of the ACME*, 23, 689-703.
- Witzel, A. (1989). Das problemzentrierte Interview. In: Jüttemann, G. (Hrsg.) *Qualitative Forschung in der Psychologie: Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder*, 227-255. Heidelberg: Asanger.
- Zook, K. & Vesta, F. D. (1991). Instructional analogies and conceptual misrepresentation. *Journal of Reading Psychology*, 83, 246-252.
- Dr. Elke Sumfleth ist Professorin für Didaktik der Chemie an der Universität-GH Essen.
- Dr. Evelyn Kleine war dort wissenschaftliche Mitarbeiterin und ist jetzt Lehrerin am Mariengymnasium in Mönchengladbach.

Prof. Dr. Elke Sumfleth
 Institut für Didaktik der Chemie
 Fachbereich Chemie
 Universität-GH Essen
 Schützenbahn 70, D-45127 Essen
 E-mail: elke.sumfleth@uni-essen.de