

„Sonnenstrahlung wird in Nahrung umgewandelt“

Biologie verstehen: Energie in Ökosystemen

Mathias Trauschke & Harald Gropengießer

trauschke@idn.uni-hannover.de

Institut für Didaktik der Naturwissenschaften (Biologiedidaktik)

Am Kleinen Felde 30, 30167 Hannover

Zusammenfassung

Biologische Phänomene lassen sich oftmals erst auf der Ebene energetischer Betrachtungen erklären. So können etwa die endliche Anzahl von Trophieebenen in Nahrungsketten oder die Wirkung einer vegetarisch orientierten Ernährung auf die Welternährung mithilfe von Energieflüssen verstanden werden. Der Energiebegriff von Lernenden und Wissenschaftlern ist im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion Gegenstand dieser Forschung. Der Fokus richtet sich dabei auf Vorstellungen über Energie in Ökosystemen. Während Lerner ökologische Sachverhalte wie etwa Nahrungsbeziehungen oftmals ohne Bezüge zu energetischen Aspekten erklären, verstehen Wissenschaftler Energie häufig metaphorisch als Substanz, die von Lebewesen aufgenommen, gespeichert und innerhalb von Nahrungsketten weitergegeben werden kann. Mit dem Mini-Ökosystem ECOSPHERE® werden Lernangebote gestaltet und in Vermittlungsexperimenten auf ihre Lernwirksamkeit überprüft. Fachlich geklärte Vorstellungen über Energieflüsse beruhen auf den Grundsätzen von Energiedissipation und -erhalt. Die Begriffe Exergie und Anergie werden genutzt, um eine für biologische Phänomene dienliche und für Lernende verständliche Vorstellung von Energie zu entwickeln.

Abstract

A thermodynamic approach can give further insights into biological phenomena. For instance, in order to understand the limited amount of trophic levels students need to be enabled to comprehend energy flows in ecosystems. Thereby, students can be taught how a more vegetarian diet can help to counterbalance malnutrition on a global level.

Using the Model of Educational Reconstruction (MER) students' and scientists' conceptions of energy in ecosystems are analysed. When trying to explain ecological interactions students seldom refer to energy. In contrast, scientists often use metaphorical concepts to

understand energy. They conceive energy as a certain kind of matter that can be stored in organic matter or passed along food chains. Contrasting students' and scientists' concepts, learning environments can be developed and tested in teaching experiments. The Ecosphere – a closed biological system – is used as an accessible material to generate learning environments. Dissipation and conservation of energy are central concepts for the teaching of energy in biological contexts. Additionally, the concepts of exergy and anergy might be a fruitful approach to understand energy-related phenomena in biology education.

1 Einleitung

Der Energiefluss in Ökosystemen ermöglicht Leben auf der Erde. Aus produktionsbiologischer Sicht wird Solarenergie für die Primärproduktion genutzt und auf verschiedenen Trophieebenen verwertet – und entwertet. Die über Licht zugeführte Energie verlässt Ökosysteme hauptsächlich als Wärme.

Gesellschaftlich relevant ist eine energetische Betrachtung der globalen Ernährungssituation mit Blick auf die Bevölkerungszunahme. Eine vegetarisch orientierte, weniger fleischbasierte Ernährung könnte der Unterernährung entgegenwirken (CASSIDY ET AL., 2012), weil Energieflüsse suffizienter für humane Lebensprozesse nutzbar würden.

Ziel der Forschungsarbeit ist die Entwicklung didaktisch rekonstruierter Lernangebote, mit denen Energie in Ökosystemen und somit auch energetische Aspekte der Welternährung fachlich angemessen verstanden werden können.

2 Theorie

Das theoretische Fundament dieser Untersuchung besteht aus drei Säulen: Lernprozesse werden erkenntnistheoretisch auf konstruktivistischer Basis betrachtet (DUIT, 1995; RIEMEIER, 2007). Mithilfe des Conceptual Change-Ansatzes lassen sich Bedingungen für Lernen formulieren und für die Erstellung von Lernarrangements nutzen (POSNER ET AL., 1982; KRÜGER, 2007). Mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (TeV) (LAKOFF & JOHNSON, 1980, 1999; GROPENGIEßER, 2003, 2007) werden Vorstellungen von Lernern und Wissenschaftlern analysiert. Letzteres ist Gegenstand der aktuellen Projektphase, weshalb die TeV nachfolgend im Überblick erläutert wird. Vorangestellt sind kurze Ausführungen über den in dieser Arbeit angenommenen Vorstellungsbegriff.

2.1 Vorstellungen

Vorstellungen werden als subjektive, gedankliche Prozesse verstanden (GROPENGIEßER, 2003). Das Ergebnis des Denkprozesses ist das Vorgestellte, also beispielsweise ein Begriff wie Baum, Licht, Haus oder Katze. Man kann sich auch einen Zusammenhang vorstellen wie „Die Katze sitzt auf dem Baum“ oder noch komplexere Zusammenhänge wie die verschiedenen Vorgänge der Fotosynthese. Der Prozess des Vorstellens geschieht weitgehend unbewusst. Bewusst wird nur das Ergebnis, das Vorgestellte. Das aber lässt sich nicht an die Tafel schreiben – und Vorstellungsforscher können es auch nicht erfassen. Denn das Vorgestellte kann nur kommuniziert werden, indem es bezeichnet wird, d.h. wir können Zeichen verwenden wie Wörter oder Sätze, Gesten oder Gebärden, Bilder oder Symbole. Ausgehend von solchen geäußerten Zeichen kann interpretativ auf das Vorgestellte und die Vorstellungen geschlossen werden. In dieser Untersuchung zur Vorstellungsforschung erfolgt die Interpretation der sprachlichen und anderen Zeichen schrittweise und methodisch kontrolliert (s. 3.2) sowie theoriegeleitet (s. 2.2).

Umgangssprachlich wird selten zwischen „Begriff“ und „Wort“ unterschieden. Für Lehrende und Fachdidaktiker ist jedoch die Unterscheidung des sprachlichen und gedanklichen Bereichs bedeutsam. Denn Wörter – wie auch Zeichen und Sprachen allgemein – verweisen keineswegs eindeutig auf einen Begriff oder auf das Vorgestellte und Gemeinte. So wird etwa im Alltag häufig das Wort *Energie* genutzt, damit können aber sehr unterschiedliche Energiebegriffe gemeint sein.

Außerdem bezieht sich eine Vorstellung noch auf einen Gegenstand oder Vorgang, d.h. es ist ein weiterer Bereich, der referentielle Bereich, zu beachten. Demnach sind also gedanklicher, sprachlicher und referentieller Bereich zu scheiden. Sie sind aber auch in Beziehung zu setzen, wobei der gedankliche Bereich eine zentrale Stellung einnimmt. Die Beziehung vom Gegenstand zum Wort oder umgekehrt kann nur über den Begriff hergestellt werden (GROPENGIEßER, 2001).

Aus analytischen Gründen ist es zudem hilfreich, Vorstellungen entsprechend ihrer Komplexität zu ordnen. Nach GROPENGIEßER (2001) werden diesbezüglich nach steigender Komplexität des Vorgestellten Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien unterschieden. Im entsprechenden sprachlichen Bereich sind dies Termini, Sätze oder Aussagen und Aussagengefüge (GROPENGIEßER, 2001) (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Komplexitätsebenen von Vorstellungen

Ebene	Beispiel
Begriff	Lichtenergie, Wärmeenergie
Konzept	Lichtenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt.
Denkfigur	Viele Energieformen sind ineinander umwandelbar.
Theorie	Thermodynamik, Statistische Physik

2.2 Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens bietet die Möglichkeit, Denken durch Interpretation von Sprache zu analysieren. Es wird möglich, von den erfassten Äußerungen der Lernenden oder Wissenschaftler auf deren Vorstellungen zu schließen und diese bezüglich ihrer Genese zu deuten.

Basis aller Vorstellungen ist nach LAKOFF und JOHNSON (1980) Erfahrung. Unter Erfahrung wird die unmittelbare Begegnung mit der physischen und sozialen Umwelt verstanden. Wiederholte Erfahrungen formen den Kern unseres kognitiven Systems. Der besteht aus verfügbaren *Basisbegriffen* und *Schemata* (LAKOFF & JOHNSON, 1980). GROPENGEIßER (2007) bezeichnet diese als verkörperte Kognitionen, weil sie in der Interaktion des Körpers mit der Umwelt gründen. Das Verstehen der Basisbegriffe und Schemata erfolgt *direkt*.

Wenn das Thema eines Fachtextes abstrakt ist, also für den jeweiligen Verfasser nicht direkt erfahrbare, dann werden Metaphern und Analogien genutzt, wie die von Organismen *aufgenommene* oder durch Ökosysteme *fließende* Energie. Nach LAKOFF und JOHNSON (1980) haben metaphorische Elemente des Denkens keinen ausschmückenden Charakter für Sprache. Sie gehen vielmehr davon aus, dass Metaphern das Denken strukturieren. Metaphorisches Denken überträgt die Struktur verkörperter Kognitionen aus direkt erfahrbaren Quellbereichen auf abstrakte Zielbereiche. Verstehen erfolgt in diesen Fällen *metaphorisch* (GROPENGIEßER, 2007).

Energie begreifen Physiker als eine abstrakte Rechengröße, um quantitative Aussagen über die Beziehungen physikalischer Systeme zu formulieren (FEYNMAN & MEHL, 1969; WARREN, 1982). Solche Vorstellungen über Energie sind nicht (oder kaum) direkt zu erfahren. So erfolgt Verstehen über energetische Vorgänge in Ökosystemen weitgehend metaphorisch: Energie *fließt* durch trophische *Ebenen*, wird in ATP *gespeichert* oder wird von Lebewesen *verbraucht*. Der Zusammenhang von direktem und metaphorischem Verständnis zeigt sich auch im folgenden Beispiel: Lerner stellen sich mitunter vor, dass

alle Energie innerhalb einer Nahrungskette zum kräftigsten Individuum geleitet wird (MUNSON, 1994). Alltägliche Vorstellungen über Hierarchien oder Rangverhalten werden hier genutzt, um einen nur teilweise erfahrbaren Zielbereich metaphorisch zu begreifen.

3 Stand der Forschung

Physikdidaktische Studien belegen, dass Lernende Energie metaphorisch (LANCOR, 2013) und zudem fachlich wenig angemessen verstehen (WATTS, 1983; GAYFORD, 1986; MILLAR, 2005). Biologiedidaktische Untersuchungen zeigen, dass Lernende von sich aus nicht oder nur vage auf eine energetische Ebene rekurren, um ökologische Phänomene zu erläutern (u.a. BARMAN et al., 1995; EILAM, 2002). Wenn Lerner ökologische Sachverhalte (z.B. Nahrungsketten) energetisch deuten, verstehen sie Energie oftmals als substanziellen Bestandteil von Nahrung, der entweder in Lebensvorgänge umgewandelt oder durch Lebensprozesse wie Atmung, Bewegung oder Verdauung verbraucht werden kann (z.B. BURGER & GERHARDT, 2003; ÖZKAN ET AL., 2004; MARMAROTI & GALANOPOULOU, 2006). Nach SCHAEFER (1983) assoziieren Lerner mit Energie häufig Attribute wie Mut, Tatkraft, mentale Stärke, Aktivität oder Bewegung.

Viele Forschungsbefunde fokussieren in erster Linie auf Defizite von Lernervorstellungen („misconceptions“). In dieser Arbeit werden vor allem die verfügbaren Vorstellungen der Lerner untersucht und als deren Lernpotenzial betrachtet. Daraus erwächst die Frage, wie Schülerinnen und Schüler ein fachlich angemesseneres Verständnis über Energie in biologischen Kontexten erlangen können. Dazu bietet die TeV einen analytischen Zugriff, um den Ursprung der Lernervorstellungen interpretativ zu erschließen und theoriegeleitet Lernangebote zu entwickeln. Ferner ist im Zuge dieser Forschungsarbeit zu klären, welche grundlegenden fachlichen Ideen für die Vermittlung relevant sind. Somit wird auch die Analyse der wissenschaftlichen Perspektive notwendig.

4 Fragestellung

- (I) Welche Kernideen über Energie im ökologischen Kontext lassen sich unter Vermittlungsabsicht mit Hilfe der Fachlichen Klärung entwickeln?

- (II) Welches Lernpotenzial wohnt den Schülervorstellungen über Energie in Ökosystemen inne?
- (III) Welche Lernangebote ermöglichen Lernern ein wissenschaftsorientierteres Verstehen energetischer Vorgänge in Ökosystemen?

5 Untersuchungsdesign und Methoden

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (KATTMANN ET AL., 1997) bietet einen passenden Rahmen, um aus einer rekursiven Untersuchung von wissenschaftlichen und Schülervorstellungen Lernangebote zu generieren und deren Lernwirksamkeit zu untersuchen. Ausgewählte Methoden der qualitativen Datenerhebung und -auswertung sollen individuelle Verstehensprozesse nachvollziehbar machen.

5.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen

Das Forschungsmodell der Didaktischen Rekonstruktion leitet die Planung, Durchführung und Evaluation fachdidaktischer Forschung und ermöglicht die Gestaltung nachhaltiger, fruchtbarer Lehr- und Lernprozesse (KATTMANN ET AL., 1997). Die Gestaltung von Lernangeboten ist als rekursiver Prozess zu betrachten. Die unter Vermittlungsabsicht kritische Untersuchung fachlicher Perspektiven wird in stetem Rückbezug zur Erhebung und Analyse individueller Lernvoraussetzungen durchgeführt und ermöglicht die Planung von Lernarrangements (Abb. 1).

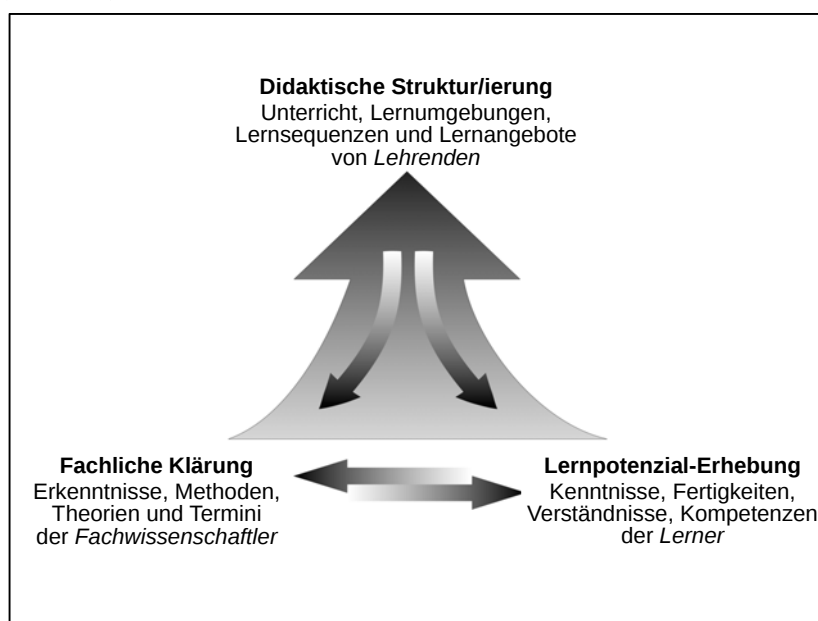


Abbildung 1: Modell der Didaktischen Rekonstruktion
(GROPENGIEßER & KATTMANN, 2013)

5.2 Methodisches Vorgehen

Die Didaktische Rekonstruktion untersucht fach- und themenspezifische Denkweisen. Im Fokus stehen Struktur und Qualität wissenschaftlicher und lebensweltlicher Vorstellungen. Das systematische Fremdverstehen legt die Nutzung qualitativer Forschungsmethoden nahe (KATTMANN, 2007).

Sieben Mädchen und vier Jungen im Alter von 16 oder 17 Jahren aus den 11. Jahrgängen zweier hannoverscher Gymnasien wurden einzeln interviewt. Die Gespräche fanden im Lehr- und Lernforschungsraum des Instituts für Didaktik der Naturwissenschaften statt. Äußerungen von Lernenden zu inhaltstragenden Vorstellungen über Energie in Ökosystemen werden mithilfe leitfadengestützter Interviews (NIEBERT & GROPPENGIEßER, 2014) erfasst.

Der Interviewer nimmt dabei bewusst eine Perspektive zweiter Ordnung (MARTON, 1981) ein und versucht so, das Denken der Befragten über ein fachliches Phänomen methodisch kontrolliert zu rekonstruieren. Dabei bietet eine Problemzentrierung (WITZEL, 1989) dem Interviewer die Möglichkeit, kontextspezifisch den Fokus auf Erfahrungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen zu richten. Die Nahrungsbeziehungen in Ecosphere[®] lassen sich diesbezüglich in dienlicher Weise problematisieren. Dem geschlossenen System kann kein Futter zugeführt werden, dennoch bleibt das Ökosystem bei sichtbar gleichen Populationsgrößen von Algen und Garnelen über Jahre intakt.

Die Probanden neigen in Einzelgesprächen dazu, erst das Vorgestellte abzuwägen, dies aber nicht zu äußern. So bleiben wesentliche Denkvorgänge verborgen. Die Testpersonen werden daher zu Beginn des Interviews über die Möglichkeit des Lauten Denkens (SANDMANN, 2014) informiert und während des Gespräches ggf. erneut darauf hingewiesen, um eine lückenlosere Äußerung der Vorstellungen anzuregen.

Die Gütekriterien nach MAYRING (2010) sichern die Validität der Datenerhebung. Neben der Verfahrensdokumentation ist auch eine Datendokumentation obligat. Alle Einzelinterviews werden durch Tonaufnahmen fixiert. Ferner werden in dieser Untersuchung nonverbale Daten (Skizzen) von Befragten angefertigt und aufgenommen. Die Interviews werden ferner so gestaltet, dass an mehreren Stellen auf ähnliche Aspekte eingegangen wird (interne Triangulation): Licht, Wärme und Nahrungsaufnahme stellen unterschiedliche Kontexte dar, um Äußerungen über energetische Aspekte hervorzurufen.

Als Quellen für wissenschaftliche Vorstellungen eignen sich u.a. Originalveröffentlichungen, Essays oder Lehrbuchtexte (KATTMANN, 2007). Die Fachliche Klärung basiert auf der Analyse von zwei gängigen akademischen Lehr-

büchern, die Zugriff auf einen fundierten, mehrfach begutachteten und redigierten Stand der aktuellen wissenschaftlichen Perspektive gewährleistet.

Ein theoriebasierter Vergleich von Lernerperspektiven und wissenschaftlichen Perspektiven erfordert eine methodisch kontrollierte Auswertung erhobener Daten. Diese erfolgt durch die Qualitative Inhaltsanalyse (GROPENGIEßER, 2008; KRÜGER & RIEMEIER, 2014) sowie die Systematische Metaphernanalyse (SCHMITT, 2005). Daran anschließend können die jeweiligen Vorstellungen vor dem Hintergrund der TeV unter Vermittlungsabsicht analysiert werden.

6 Vergleichende Analyse der erfassten Äußerungen

Tabelle 1: Vorstellungen über Energie im Ökosystem – Ankerbeispiele

Denkfiguren	Wissenschaftleraussagen	Lerneräußerungen
Tatkräftige Energie (Energie wird als Vermögen zum Initiieren von Vorgängen verstanden).	„Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu leisten“ (ODUM, 1999).	„Energie schafft einen Beitrag dazu, dass der Körper etwas erledigt. Zum Beispiel Bewegung oder Verdauung“ (John, 17).
Substanzielle Energie (Energie wird als stoffliche Entität gedacht).	„Zucker ist konzentrierte Energie“ (ODUM, 1999). „Photonen sind energiereiche Bausteine der Solarstrahlung“ (SMITH & SMITH, 2009).	„Getreide enthält Energie“ Anni-Frid (16). „Zucker ist Energie“ (John, 17).
Wandelbare Energie (Energie – als stoffliche Entität gedacht – lässt sich in Prozesse transformieren).	„Licht ist eine Form von Energie, die in Wärme oder Arbeit umgewandelt werden kann“ (ODUM, 1999).	„Energie kommt aus dem Essen. Sie wird in Bewegung umgewandelt“ (George, 18).
(Stoffe und Energie sind ineinander wandelbar).	„Gase der Atmosphäre werden in andere Energieformen überführt“ (SMITH & SMITH, 2009).	„Sonnenenergie wird in ATP umgewandelt“ (Agnettha, 18)
Übertragbare Energie Geber-Gabe-Nehmer-Schema, Behälter-Schema	„Energie wird in Form Nahrung aufgenommen und in Nahrungsketten weitergegeben“ (SMITH & SMITH, 2009).	„Ein Löwe bekommt Energie vom Zebra und Zebras kriegen Energie vom aufgenommenen Gras. Gras bezieht Energie aus dem Boden und der Sonne“ (Georg, 18).
Fluss-Metapher, Behälter-Schema	„Energie fließt durch die verschiedenen Trophiestufen eines Ökosystems“ (SMITH & SMITH, 2009).	
Verbrauchbare Energie (Lebensvorgänge reduzieren den Bestand an Energie im Organismus)	„Energie wird von fotoautotrophen Organismen zur Atmung im Rahmen des Bau- und Betriebsstoffwechsels verbraucht“ (Smith & Smith, 2009).	„Durch Denken oder Bewegung wird Energie dann wieder verbraucht. Muskeln brauchen auch Energie“ (Ringo, 17).

Nachfolgend sollen interpretativ erschlossene Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern über Energie im ökologischen Kontext aufgeführt und im Lichte der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens analysiert werden.

Tatkräftige Energie: Energie wird in den untersuchten akademischen Lehrwerken als Fähigkeit zum Verrichten von Arbeit bezeichnet.

Auch alle befragten Lerner verstehen im Kontext von Nahrungsbeziehungen in Ökosystemen unter Energie ebenfalls ein Vermögen, Lebensvorgänge im Körper (Atmung, Verdauung, Bewegung, Denken) zu initiieren.

Substanzielle Energie: Simultan zur Vorstellung über Energie als ein Vermögen etwas zu bewirken verstehen sowohl ODUM (1999) wie auch SMITH und SMITH (2009) Energie substanziell. Energie wird als eine Entität verstanden, die von Lebewesen aufgenommen, gespeichert und zwischen Lebewesen bzw. innerhalb von Nahrungsketten weitergegeben werden kann (Denkfigur **Übertragbare Energie**). Die zitierten Autoren nutzen dabei verkörperte Kognitionen aus der Lebenswelt, um die abstrakte, nicht erfahrbare Ebene der Energetik imaginativ zu verstehen. Prominente Schemata, die hier Verständnis formen, sind das *Behälter*-Schema (Organismen als energieaufnehmende Depots), das *Geber-Gabe-Nehmer*-Schema (Weitergabe von Energie zwischen Lebewesen und Trophieebenen). Die zitierten Wissenschaftler stellen sich die Weitergabe von Energie in Nahrungsketten außerdem als Energieflüsse vor. Energiereiches Licht fließt in Ökosysteme, energiereiche Biomasse wird darin über Nahrungsketten weitergegeben und Energie wird in Form von Wärme von den Lebewesen an die Umgebung abgegeben. Hier lässt sich das metaphorische Verständnis vom Fluss aus lebensweltlichen Erfahrungen mit Fließgewässern ableiten. Beim Spielen oder Baden in Flüssen oder Bächen erleben Menschen Wasserströmung als dynamisch, kraftvoll und in eine Richtung bewegt. Physisch erfahrbar ist das Vermögen eines Flusses, Objekte (z.B. Laub, Boote) zu bewegen.

Alle Schüler stellen sich Energie als stoffliche Entität vor und bezeichnen Energie durchgehend als Bestandteil oder Zutat von Nahrung. Die Aufnahme von Nahrung wird daher mit der Zufuhr von Energie gleichgesetzt. Zwei Lerner äußern die Idee, dass Energie durch Nahrungsketten von Lebewesen zu Lebewesen weitergegeben wird und nutzen somit – analog zu den angeführten Wissenschaftlern – identische erfahrungsbasierte Kognitionen zum metaphorischen Erlangen von Verständnis.

Wandelbare Energie: In den untersuchten wissenschaftlichen Quellen finden sich Vorstellungen, nach denen Energie durch Umwandlungen verschiedene Formen einnehmen kann. Auch stellen sich die zitierten Wissenschaftler

vor, dass Energie – materiell gedacht – umwandelbar ist in Prozesse (Bewegung, Wärme¹). Hier werden alltägliche Erfahrungen über gestaltliche Umwandlungen (z.B. Wasser in Eis bzw. Dampf, Teig in Kuchen, Holz in Asche) herangezogen, um energetische Vorgänge imaginativ zu begreifen. Umgewandelte Energie wird quasi als in neue Gewänder gekleidete Person begriffen (vgl. auch DUIT, 1987).

Auch Lernende haben alltägliche Erfahrungen mit Umwandlungen und nutzen diese als ursprüngliche Kognitionen, um eine Idee von Umwandlung in energetischen Kontexten zu generieren. Neun der befragten Lerner denken im Zusammenhang mit Energie im Ökosystem an Umwandlung. Dabei wird Energie allerdings als eine Entität begriffen, die sich in Vorgänge umwandeln lässt.

Verbrauchbare Energie: Sowohl ODUM (1999) als auch SMITH und SMITH (2009) beschreiben das Prinzip der Energieerhaltung. Simultan dazu finden sich gleichwohl Vorstellungen, nach denen Energie von Lebewesen bzw. durch Lebensprozesse verbraucht und somit im Bestand reduziert werden kann. Das äquivalente Auftreten von Wärme wird dabei nicht beachtet und der Energieerhalt somit vernachlässigt. Lebensweltliche Erfahrungen mit Konsum (u.a. Verzehr/Genuss von Nahrungsmitteln) sind als ein möglicher Quellbereich anzugeben, um Energieübertragungen imaginativ im Sinne von Verbrauch zu verstehen.

Mehrfach findet sich auch bei Lernern die Vorstellung, dass Energie von Lebewesen einer Nahrungskette genutzt und dabei verbraucht wird, die Energienutzung also mit einer Abnahme des Gesamtbestandes einhergeht.

7 Diskussion und Ausblick

7.1 Interpretation der Vorstellungen unter Vermittlungsabsicht

Energie als Potenzial: Die zitierten Wissenschaftler bezeichnen Energie als ein Vermögen zum Anregen von Lebensprozessen in Organismen. Dies erscheint fachlich plausibel, wenngleich der Arbeitsbegriff nicht kompatibel für biologische Kontexte erweitert wird und eine begriffliche Verknüpfung von Wärme und Energie unterbleibt. Fundierter ließen sich die Zusammenhänge von Arbeit und Wärme mit der Statistischen Physik als Vorgänge der Energieübertragung erklären (vgl. ATKINS & DE PAULA, 2010).

¹ Wärme wird physikalisch als ein Vorgang der Energieübertragung verstanden und ist vom Terminus Wärmeenergie zu scheiden (ATKINS & DE PAULA, 2010).

Auch Lernende verstehen Energie als ein Vermögen, Vorgänge zu veranlassen. Diese Vorstellung kann sich als durchaus fruchtbar für weiteres Lernen erweisen, weil Energie als Potenzial und weniger stofflich verstanden wird. Vermittlungsinterventionen können hier ansetzen, um das Konstruieren wissenschaftsorientierter Vorstellungen zu fördern.

Energie als Substanz: Ein stofflicher Energiebegriff steht einem angemessenen Verständnis über energetische Prozesse in Ökosystemen entgegen. Es wird mitunter der Eindruck erweckt, Energie sei struktureller Bestandteil von Nahrung bzw. die Aufnahme von Nahrung könne mit der Zufuhr von Energie gleichgesetzt werden. Diese Form geäußerter Vorstellungen ist fachlich unzureichend. Vielmehr muss die oxidative Umwandlung von Nährstoffen als Vorgang der Energiebereitstellung in den einzelnen Zellen bezeichnet werden.

Energie als mengenartige Größe: Physiker verstehen Energie als Verrechnungseinheit. Energie ist demnach eine abstrakte wissenschaftliche Rechengröße, die quantitative Aussagen über die Interaktion von Systemen ermöglicht (FEYNMAN & MEHL, 1969; WARREN, 1982; MILLAR, 2005; Floyd, 2007). Im biologischen Kontext sollte Energie als Bilanzierungsgröße für den Umfang von Lebensprozessen verstanden werden. Ökologische Aspekte (Begrenztheit von Trophieebenen, globaler Nutzen einer vegetarisch orientierten Ernährungsweise) können auf dieser Basis sinnstiftend repräsentiert und geklärt werden.

Energieflüsse: Prozess- oder Übergangsgrößen, wie Licht, Wärme und Arbeit, sowie die Aufnahme energetisch nutzbarer Stoffe (Nährstoffe und Sauerstoff) können metaphorisch als Flüsse (Energie pro Zeit) dargestellt werden. Die gedachten Flüsse der für Lebensprozesse nutzbaren Energie versiegen über die jeweiligen trophischen Ebenen. Die Energieentwertungen durch Lebensvorgänge können als Flussabzweigungen (Wärmeströme) verstanden werden. Insbesondere der zweite Hauptsatz der Thermodynamik lässt sich auf diese Weise verständlich repräsentieren (Abb. 2).

Verbrauch von Energie: Diese Perspektive ist hinsichtlich der Vermittlung grundsätzlich nicht sinnvoll, weil es die Konstruktion thermodynamisch unangemessener Vorstellungen anregen kann und die beiden ersten Hauptsätze der Thermodynamik verletzt (a: Vernichten von Energie, b: Energieentwertung durch Auftreten von Wärme).

Dennoch scheint dieses Denkmuster für Lerner ebenso wie für Fachwissenschaftler bedeutungsvoll zu sein, so dass eine grundlegende Veränderung dieser Denkweise durch Lernangebote nicht zu erwarten ist (vgl. 2.1). Mit der Einfüh-

rung der nutzbaren Energie (Exergie, vgl. 7.2) wird daher ein Vermittlungsansatz gewählt, in dem der Verbrauch zu angemessenem Verständnis führt.

Umwandlung von Energie: Wie bereits WARREN (1982) kritisiert, fördert die Vorstellung von ineinander umwandelbaren Energieformen einen sehr wesentlichen Energiebegriff. Fachlich ebenfalls unscharf erscheinen Vorstellungen, nach denen Energie in Bewegung (Georg, 18) oder Sonnenenergie in Zucker (Odum, 1999) umwandelbar sind.

Wenn unter dem Terminus Energie ein Potenzial verstanden wird, so ist eine *Umwandlung* dieses Vermögens in einen Prozess (Arbeit, Wärme) aus ontologischer Sicht nicht möglich (vgl. auch WARREN, 1982). Licht kann demnach ebenso wenig in Wärme umgewandelt werden wie chemische Energie in Bewegung.

7.2 Ideen für die Vermittlung

Ecosphere[®] ist der Handelsname für geschlossene aquatische Mini-Ökosysteme. Sie enthält Grünalgen, Garnelen und Bakterien und bietet Lernenden die Möglichkeit, Ökosysteme in übersichtlicher Form zu erfassen. Für Betrachter ist es offensichtlich, dass kein Stoffaustausch mit der Umgebung möglich ist. Die Notwendigkeit des Lichteinfalles bzw. die auftretende Wärme im Ökosystem bieten jedoch Anknüpfungspunkte, um Vorstellungen über energetische Aspekte anzuregen und in Vermittlungsexperimenten darauf aufzubauen. Wesentliche Leitideen für die Vermittlung sollen an dieser Stelle im Überblick vorgestellt werden.

Energie als Verrechnungseinheit für Lebensvorgänge: Eine Betrachtung ökologischer Wechselwirkungen aus energetischer Perspektive soll letztlich darüber Aufschluss geben, in welchem Umfang Lebensprozesse ablaufen können. Energie soll als quantitative Bilanzierungsgröße genutzt werden. Der abstrakte, eher schwer verständliche Sachverhalt des Energieumsatzes pro Zeit wird mithilfe der Fluss-Metaphorik vereinfacht repräsentiert.

Transfer vor Transformation: Vorstellungen von *Energieumwandlung* sind für das Verständnis energetischer Aspekte in Ökosystemen allein wenig zielführend. Mit der Idee von aufeinander folgenden Energieumwandlungen lässt sich der versiegende Fluss nutzbarer Energie nicht klären. Entscheidender ist es, den Fokus auf Vorgänge von *Energieübertragungen* zwischen Systemen, eng gekoppelt an die Dissipation („Wärmeverluste“), zu richten.

Exergie und Anergie: Die Befunde über die verfügbaren Wissenschaftler- und Lernervorstellungen lassen Lernvorgänge hin zu einem angemessenen

Energiebegriff schwierig erscheinen. Diese Forschungsarbeit kann und soll keinen Anspruch darauf erheben, die physikdidaktische Diskussion über Energiebildung en passant zu lösen. Allerdings ist es notwendig, für das Verständnis biologischer Kontexte fachlich geklärte Zielvorstellungen zu formulieren. In Anlehnung an FLEISCHER (2008) ist zu bemerken, dass Energie zwar ein fundamentaler und die Physik strukturierender, doch gleichwohl auch ein metaphorisch überbeanspruchter Begriff ist – was sich deutlich in der Fachlichen Klärung widerspiegelt. Tatsächlich interessiert man sich weder im Alltag noch in Natur und Technik für Energie – vielmehr liege der Fokus hier auf den im Sinne von Arbeitsfähigkeit nutzbaren Energien (FLEISCHER, 2008). Bei der Interaktion von Systemen mit ihrer Umgebung wird eben diese nutzbare Energie als *Exergie* definiert (JØRGENSEN, 1997a). Nicht nutzbare Energieanteile werden als *Anergie* bezeichnet (BAEHR, 1988). Auch in der experimentellen Untersuchung von Ökosystemen wird der Begriff der Exergie verwendet (STEINBORN, 2000). Unter Berücksichtigung der beiden ersten Hauptsätze der Thermodynamik kann übertragbare Energie nach FLEISCHER (2008) als Summe von Exergie und Anergie verstanden werden.

Es erscheint sinnvoll, die Exergie/Anergie-Scheidung für die geplante Vermittlung aufzugreifen, im Sinne von jeweils nutzbarer/nichtnutzbarer Energie. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, ausschließlich die Bilanzierung von Arbeitsfähigkeit (im biologischen Kontext: Lebensvorgänge) zu betrachten, welche im Verlauf von Nahrungsketten abnimmt. Mit jedem realen Prozess (z.B. Lebensvorgänge in Organismen) wird also Exergie verbraucht und zugleich Anergie im energetischen Äquivalent erzeugt (FLEISCHER, 2008). Die von Lernern und Wissenschaftlern prominent genutzte Denkfigur vom Verbrauch steht nun im Dienste eines angemessenen Fachverständnisses. Gleichwohl soll in der Vermittlung das Prinzip von Dissipation und Energieerhalt aufgegriffen werden. Grafisch veranschaulicht lassen sich die erläuterten Zielvorstellungen wie folgt zusammenführen (Abb. 2).

Die bisherige Datenlage zu Vorstellungen von Lernenden (eigene Studie, Stand der Forschung) sowie über Vorstellungen von Wissenschaftlern erlaubt eine erste Formulierung grundlegender Leitgedanken für die Vermittlung. Im nächsten Schritt sollen Lernangebote erstellt und hinsichtlich möglicher Lernprozesse in Laborstudien evaluiert werden (vgl. VON AUFSCHNAITER, 2014). Als Untersuchungsdesign eignen sich Vermittlungsexperimente (STEFFE, 1996; NIEBERT, 2011), in denen weitere Lernervorstellungen interpretativ erschlossen werden können. Zudem können die fachlich geklärten Konzepte weiter entwickelt werden. Dieser iterative Prozess soll dazu führen, schließlich eine opti-

mierte Lernumgebung zu finden, die angemessenes Verständnis über Energie im Ökosystem ermöglicht.

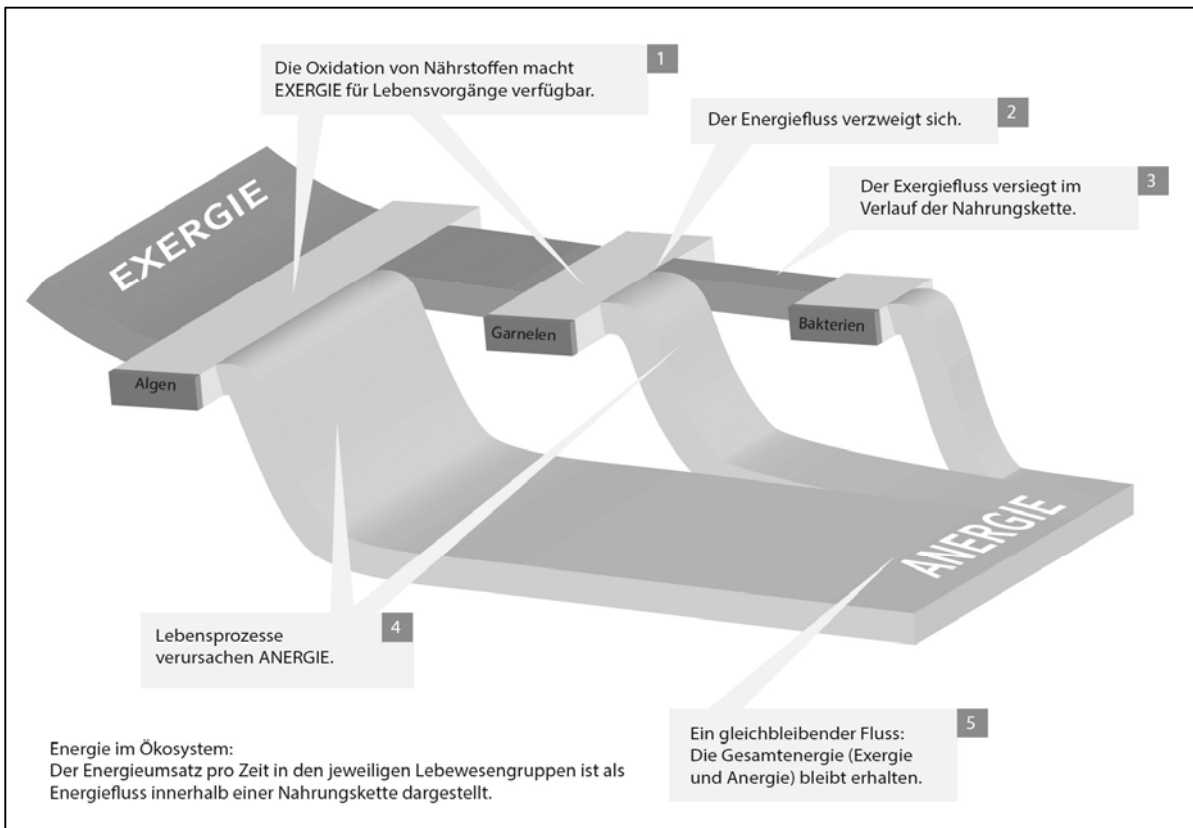


Abbildung 2: Bezeichnung von Energieflüssen in Ecosphere®

Zitierte Literatur

- ATKINS, P.W. & DE PAULA, J. (2010): Physikalische Chemie, 5. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim.
- VON AUFSCHNAITER, C. (2014): Laborstudien zur Untersuchung von Lernprozessen. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer Spektrum Verlag, Berlin/Heidelberg, 81-94.
- BARMAN, C.R., GRIFFITHS, A.K. & OKEBUKOLA, P.A.O. (1995): High school students' concepts regarding food chains and food webs: a multinational study. International Journal of Science Education, 17 (6), 775-782.
- BAEHR, H.D. (1988): Thermodynamik. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York.
- BURGER, J. & GERHARDT, A. (2003): Energie im biologischen Kontext I. MNU, 56 (6), 324-329.
- BURGER, J. & GERHARDT, A. (2003): Energie im biologischen Kontext II. MNU, 56 (7), 423-437.
- BURGER, J. & GERHARDT, A. (2003): Energie im biologischen Kontext III. MNU, 56 (8), 496-502.
- CASSIDY, E.S., WEST, P.C., GERBER, J.S. & FOLEY, J.A. (2013): Redefining agricultural yields: from tonnes to people nourished per hectare. Environmental Research Letters, 8 (3), 1-8.
- DUDEN (2002): Das Bedeutungswörterbuch. Mannheim: Duden.
- DUIT, R. (1987): Should energy be illustrated as something quasi-material. International Journal of Science Education, 9 (2), 139-145.
- DUIT, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr-Lernforschung. Zeitschrift für Pädagogik 41 (6), 905-926.

- EILAM, B. (2002): Strata of Comprehending Ecology: the Prism of Feeding Relations. *Science Education*, 86, 645-671.
- FEYNMAN, A.E. & MEHL, R.F. (1969): Practice Teaching – Student View. *Peabody Journal of Education*, 46 (6), 346-349.
- FLEISCHER, L.G. (2008): Reflexionen zur Triade Energie-Entropie-Exergie – eine universelle Qualität der Energie. LIFIS-Online. http://www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer_21_10_08.pdf
- FLOYD, J. (2007): Thermodynamics, entropy and disorder in futures studies. *Futures*, 39 (9), 1029-1044.
- GAYFORD, C.G. (1986): Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology. *European Journal of Science Education*, 8 (4), 443-450.
- GROPENGIEßER, H. (2001): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. *Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Band 1*, Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- GROPENGIEßER, H. (2003): Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. *Lebenswelten, Denkwelten, Sprechwelten. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Band 4*, Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- GROPENGIEßER, H. (2007): Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Heidelberg, 105-116.
- GROPENGIEßER, H. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P. & GLÄSER-ZIKUDA, M. (Hrsg.): *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*, 2. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim/Basel, 172-189.
- GROPENGIEßER, H. & KATTMANN, U. (2013): Didaktische Rekonstruktion, In: GROPENGIEßER, H., HARMS, U. & KATTMANN, U. (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (S. 16-23). Hallbergmoos: Aulis Verlag, 9. Aufl.
- JØRGENSEN, S.E. (1997): *Integration of Ecosystem Theories: a Pattern*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London.
- KATTMANN, U. (2003): Vom Blatt zum Planeten – Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In: MOSCHNER, B., KIPER, H. & KATTMANN, U.: *PISA 2000 als Herausforderung*. Schneider Verlag, Hohengehren, 115-137.
- KATTMANN, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Heidelberg, 93-104.
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGIEßER, H. & KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (3), 3-18.
- KRÜGER, D. (2007): Die Conceptual Change-Theorie. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer Verlag, Heidelberg, 81-92.
- KRÜGER, D. & RIEMEIER, T. (2014): Die qualitative Inhaltsanalyse – eine Methode zur Auswertung von Interviews. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hrsg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum Verlag, Berlin/Heidelberg, 133-146.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980): *Metaphors We Live By*. The University of Chicago Press, Chicago/London.
- LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1999): *Philosophy in the Flesh. The Embodied Mind and Its Challenge To Western Thought*. Basic Books, New York.
- LANCOR, R. (2013): Using Student-Generated Analogies to investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 31 (1), 1-23.
- MARMAROTI, P., & GALANOPOULOU, D. (2006). Pupils' understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403.
- MARTON, F. (1981): Phenomenography – describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.

- MAYRING, P. (2010): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken, 11. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim.
- MILLAR, R. (2005): Teaching about energy. The University of New York.
www.york.ac.uk/media/educationalstudies/documents/research/Paper11Teachingaboutenergy.pdf
- MUNSON, B.H. (1994): Ecological Misconceptions. *Journal of Environmental Education*, 25 (4), 30-34.
- NIEBERT, K. (2011): Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Band 31, Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- NIEBERT, K. & GROPEGNIEßER, H. (2014): Leitfadengestützte Interviews. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer Spektrum Verlag, Berlin/Heidelberg, 121-132.
- ÖZKAN, Ö., TEKKAYA, C., & GEBAN, Ö. (2004). Facilitating Conceptual Change in Students' Understanding of Ecological Concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 95-105.
- ODUM, E.P. (1999): Ökologie. Thieme Verlag, Stuttgart/New York.
- POSNER, G.J. & STRIKE, K.A. (1982): Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 231-240.
- RIEMEIER, T. (2007): Moderater Konstruktivismus. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. (Hrsg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Springer Verlag, Heidelberg, 69-80.
- SANDMANN, A. (2014): Lautes Denken – die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. (Hrsg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Springer Spektrum Verlag, Berlin/Heidelberg, 179-188.
- SCHAEFER, G. (1983): Der Energiebegriff im ökologischen Kontext. *PdN (Biologie)*, 32 (7), 197-202.
- SCHMITT, R. (2005): Systematic Metaphor Analysis as a Method of Qualitative Research. *The Qualitative Report*, 10 (2), 358-394.
- SMITH, T.M. & SMITH, R.L. (2009): Ökologie, 6. Auflage, Pearson Studium, München.
- STEFFE, L.P. & D'AMBROSIO, B.S. (1996): Using teaching experiments to enhance understanding of students' mathematics. In: TREAGUST, D.F. & DUIT, R. & FRASER, B.J. (Hrsg.): Improving teaching and learning in science and mathematics. Teachers College Press, New York, 65-76.
- STEINBORN, W. (2000): Quantifizierung von Ökosystem-Eigenschaften als Grundlage für die Umweltbewertung. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- WARREN, J.W. (1982): The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 295-297.
- WATTS, D.M. (1983): Some alternative views of energy. *Physical Education*, 18 (5), 213-217.
- WITZEL, A. (1989): Das problemzentrierte Interview. In: JÜTTEMANN, G. (Hrsg.): Qualitative Forschung in der Psychologie. Grundfragen, Verfahrensweisen, Anwendungsfelder. Asanger Verlag, Heidelberg, 227-256

