

HORST SCHNEEWEISS UND HARALD GROPENGIESSER

Schülerkonzepte zu Mikroben

Students' notions of microbes

Zusammenfassung

Ein großer Teil der lebendigen Welt ist so klein, dass er unserer Wahrnehmung entgeht. Lebensweltlich ist die Welt des Kleinen einerseits nicht erfahrbar, andererseits ist privat und auch massenmedial die Rede von Keimen, Bazillen und Bakterien. Der Artikel beschäftigt sich mit Lernervorstellungen zur Gestalt, Größe, Ernährung, Beweglichkeit und zum Wachstum der Mikroben. Analysiert und theoriegeleitet reinterpretiert werden zum einen empirisch erhobene Lernervorstellungen aus der Literatur und zum anderen in Vermittlungsexperimenten erhobene eigene Befunde. Die erfassten Lernerkonzepte werden durch vier Denkfiguren strukturiert: *Mikroben als kleine Behälter*, *Mikroben als Tiere*, *Mikroben als Pflanzen* sowie *Mikroben als unbelebter Schmutz*.

Schlüsselwörter: Mikroben, Lernervorstellungen, Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Abstract

A large part of the living world is so small that it is imperceptible. On the one hand the microcosm is beyond everyday experience, on the other hand we talk about germs, bacteria or bacilli and even the mass media report on them. This paper deals with students' conceptions related to the structure, size, nutrition, locomotion and growth of microbes. Both empirically identified learners' conceptions in the literature as well as our own study conducted by means of teaching experiments were analysed and subsequently reinterpreted according to theoretical principles. Based on these results four figures of thought were reconstructed: microbes as small containers, microbes as animals or people, microbes as plants, microbes as inanimate muck.

Keywords: Microbes, Conceptions, Experiential realism

1 Einführung

Ich finde, ein Pilz ist eher eine Pflanze und ein Bakterium ist mehr so ein Lebewesen, ein Tierchen. (Katja)

Das Zitat aus der Interviewstudie (Schnee-weiß, 2008) wirft Licht auf die Vorstellungen zu Mikroben¹ von Katja (10. Klasse, 15 Jahre). Mit ihren Vorstellungen steht Katja nicht allein – wie die auf Mikroben bezogene

Vorstellungsforschung der letzten fünf Jahrzehnte belegt (z. B. Nagy, 1953; Hilge, 1999; Hörsch, 2007). Zwar verfügen die meisten Lernenden ab der Grundschule über Vorstellungen zu Mikroben, hauptsächlich gestützt auf Hörensagen und Medien. Sie haben aber große Schwierigkeiten, mikrobiologische Unterrichtsinhalte zu verstehen. Aufgrund der geringen Größe und der daraus resultierenden Unsichtbarkeit verfügen Lerner über

1 Der Terminus „Mikroben“ (gr. micros = klein, bios = Leben) wird hier anstelle von „Mikroorganismen“ verwendet, weil dessen Wortsinn nahelegen könnte, es handele sich um Lebewesen, die Organe aufweisen (vgl. Dreyfus & Jungwirth 1989). Beide Termini verstehen wir bedeutungsgleich: Mikroskopisch kleine Lebewesen, die aus einer einzelnen Zelle oder Zellgruppe bestehen, einschließlich der Viren (vgl. Madigan, Martinko & Parker 2001, 2). Mit den Termini „Bakterien“, „Bazillen“ oder „Keime“ zitieren wir lediglich Ausdrücke von Interviewern oder Befragten, deren Bedeutung jeweils kontextuell und interpretativ erschlossen wird.

keine alltäglichen, erfahrungsbasierten Vorstellungen zu Mikroben.

Mikroben und mikrobiologische Prozesse sind weit über den engeren fachwissenschaftlichen Bereich hinaus für den Menschen von Bedeutung (vgl. z.B. Fuchs, 2006): für die Gesundheit und Krankheit von Menschen und anderen Lebewesen, für die Herstellung von Lebens-, Genuss- und Arzneimitteln, für die Landwirtschaft sowie für die Bereiche Energie und Umwelt.

Mikroben werden auch unterrichtlich in das Blickfeld der Lerner gerückt:

Überwiegend als Krankheitserreger beim Thema Immunbiologie, als Stoffproduzenten und Destruenten in der Ökologie und Biotechnologie, sowie in der Evolution als erste und heute noch dominierende Lebensform (Whitman, Coleman & Wiebe, 1998; Gould, 1999; Kattmann, 2004). Für die erfolgreiche Vermittlung solcher Lehrplanthemen ist die Kenntnis der auf Mikroben bezogenen vorunterrichtlichen Lernervorstellungen notwendig, da diese einerseits Ansätze für förderliche Lernprozesse bieten, andererseits aber auch hinderlich sein können. Daher erscheint es lohnend, theoriegeleitet und empirisch fundiert Inhalt und Struktur der Lernervorstellungen zu Mikroben aus verschiedenen Quellen geordnet darzustellen. Dabei werden zum einen empirisch erhobene Befunde aus der Literatur berücksichtigt, die bislang weit verstreut vorlagen und nicht theoriegeleitet miteinander in Beziehung gesetzt wurden. Zum anderen werden Lernervorstellungen in Vermittlungsexperimenten erhoben. Die Lernerkonzepte aus verschiedenen Quellen werden mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens in Beziehung gesetzt und in neue Sinnzusammenhänge gestellt. Dieses methodische Vorgehen ermöglicht es, grundlegende Verständnisschwierigkeiten und Lernhürden rund um das Thema Mikroben zu erkennen.

2 Fragestellung

Die Fragestellung zielt auf Lernervorstellungen zur Größe, Gestalt, Ernährung, Beweglichkeit und zum Wachstum der Mikroben. Die Rolle der Mikroben in der Geschichte des Lebens auf der Erde oder ihre Bedeutung für den Menschen sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Gefragt wird, was sich Lerner verschiedenen Alters unter dieser Gruppe sehr kleiner Lebewesen vorstellen.

3 Theoretischer Rahmen

3.1 Vorstellungen

Unter Vorstellungen verstehen wir subjektive gedankliche Prozesse (Gropengießer, 2003; Baalman, Frerichs, Weitzel, Gropengießer & Kattmann, 2004). Vorstellungen beziehen sich immer auf etwas. Dieser Referent ist für die Befragten unserer Untersuchung eine Gruppe von Lebewesen, die Mikroben. Generell können Referenten Personen, Dinge, Ereignisse oder auch – und damit schließt sich ein Kreis – Vorstellungen sein.

Gegenstand unserer Untersuchung sind die Vorstellungen der Lerner zu Mikroben. Vorstellungen lassen sich nicht an die Tafel oder auf ein Papier schreiben. Was sich schreiben lässt, sind Äußerungen. Das Vorgestellte kann mitgeteilt, bezeichnet, ausgedrückt oder dargestellt werden. Die geäußerten Zeichen, mit denen dies geschieht, sind nicht das Vorgestellte. Denn genauso wenig, wie die Landkarte das Territorium ist, ist auch das Wort nicht der Begriff und schon gar nicht der Referent.

Ein Gesprächspartner oder Beobachter ist darauf angewiesen, die Äußerungen des Sprechers zu interpretieren. Dabei schließt man von den Äußerungen mehr oder weniger kontrolliert auf das, was sich der Sprecher vorgestellt hat. Ergebnis ist ein Interpretament, ein Nachempfinden der Ideen, Gedanken und Verständnisse des Sprechers. Diese Interpretamente werden in diesem

Artikel auf der Ebene der Konzepte und Denkfiguren dargestellt. Konzepte enthalten mindestens zwei Begriffe und deren Relation, die sich als Aussagen versprachlichen lassen (z. B. Mikroben sind Pilze). Konzepte werden aber von uns oft kürzer benannt. In einer Denkfigur werden mehrere Konzepte gedanklich in Zusammenhang gebracht (z. B.: Pilze weisen Wurzeln, einen Stiel und einen Hut auf). Auf einer Skala steigender Komplexität unterscheiden wir die folgenden Kategorien des Vorgestellten: Begriff, Konzept, Denkfigur und Theorie. Konzepte stehen darin auf der zweiten Stufe. Diese Konzepte schreiben wir den Lernern empirisch fundiert zu. Sie sind zumindest für einige der von uns oder anderen Forschern befragten Lerner verfügbar in dem Sinne, dass sie in bestimmten Situationen hervorgebracht werden können. Ein bestimmtes Konzept als Ergebnis einer Vorstellung ist nicht immer vorhanden, wohl aber zuhänden. Wir haben oder besitzen bestimmte Vorstellungen also nicht, noch weniger existieren sie fortwährend, aber wir können über sie verfügen, sie also jeweils neu denken. Dabei spannt sich ein Kontinuum auf von situativ erzeugten, relativ kurzlebigen Vorstellungen bis hin zu langfristig relativ stabilen Vorstellungen.

3.2 Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Die Interpretation der Befunde und Äußerungen nehmen wir im Rahmen einer Theorie des Verstehens vor. Dabei stellen wir Verstehen dem Auswendiglernen gegenüber und das Verständnis dem Faktenwissen. Verstehen ist dann das inhaltliche Begreifen, das gedankliche Erfassen eines Zusammenhangs, bzw. eine kognitive Aneignung. Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson, 1980; 1999; 2004; Gropengießer, 2003; 2007) beschreibt sowohl die Genese als auch die Funktion unseres kognitiven Systems. Danach entwickeln sich unsere Begriffe aus unseren – hauptsächlich frühkindlichen –

Interaktionen mit der physischen, sozialen und kulturellen Umwelt. Wiederkehrende ähnliche Interaktionen mit der Umwelt, d.h. unsere Erfahrungen, bringen unsere Begriffe hervor. Dabei spielen sowohl unsere Interaktionsmöglichkeiten als zweibeiniges, zweihändiges und zweiäugiges Wesen mit Bauch- und Rückenseite eine Rolle, als auch das Sein und die Eigenschaften der Umwelt. Die darin gründenden verkörperten Begriffe sind eng verbunden mit dem Funktionieren unseres sensomotorischen Systems (Lakoff & Johnson, 1999, 20). Die als erfahrungsbasiert (engl.: experiential) gekennzeichnete Theorie macht Voraussetzungen über Wissens- und Gegenstandsbereiche, in denen wir direkt verstehen: Es fällt uns leicht zu verstehen, was *greifen*, *laufen* und *springen* bedeutet oder was mit *Baum*, *Haus* und *Hund* gemeint ist oder dass ein Behälter ein Innen, ein Außen und eine Grenze dazwischen hat. Dagegen haben wir Verstehensschwierigkeiten in Bereichen, in denen wir lebensweltlich keine Erfahrungen machen, beispielsweise im Mikrokosmos.

In weiten Bereichen – und Wissenschaft bildet da keine Ausnahme – ist Verstehen imaginativ. Wir nutzen dabei vor allem Metaphern. Das sind gedankliche Werkzeuge, mit denen die gedankliche Struktur eines verstandenen Ursprungsbereichs auf einen zu verstehenden Zielbereich projiziert wird. Die gedankliche Seite einer Metapher ist dabei vorgängig, die sprachliche abgeleitet. Die sprachlichen Äußerungen bieten dabei ein Fenster auf unser Denken.

4 Untersuchungsaufgabe Literaturbefunde

Untersucht werden Literaturbefunde zu empirisch erhobenen mikrobiologischen Lernervorstellungen. Die Auswahl der Quellen wurde auf Grundlage der Bibliographie von Duit (2008) vorgenommen, zusätzlich wurden weitere uns bekannte Veröffentlichungen in deutscher und englischer

Tab. 1: Zusammenfassung der analysierten Veröffentlichungen (geordnet nach dem Alter der Befragten)

Quelle	Erhebungsmethode	Alter, Anzahl der Befragten
Teixeira, 2000	Interviews	4-10 Jahre, 45 Lerner
Nagy, 1953	Interviews	5-11 Jahre, 350 Lerner
Russel & Watt, 1990	Interviews	5-11 Jahre, 60 Lerner
Leach et al., 1995; 1996	Fragebogen, Interviews	5-17 Jahre, 200 Lerner
Helldén, 1999	Interviews	9-15 Jahre, 23 Lerner
Bandiera, 2007	Fragebogen	11-14 Jahre, 502 Lerner
Zamora & Guerra, 1993	Fragebogen	7.-9. Jahrgang, 150 Lerner
Hörsch, 2007	Interviews	7.+11. Jahrgang, 5 Lerner
Riemeier, 2005	Interviews	9. Jahrgang, 14 Lerner
Jones et al., 2003	Fragebogen, Interviews	9.-11. Jahrgang, 50 Lerner
Dreyfuß & Jungwirth, 1988; 1989	Fragebogen, Interviews	15 Jahre, 219 Lerner
Prout, 1985	Interviews	15 Jahre, 54 Lerner
Simonneaux, 2000	Interviews	10. Jahrgang, 10 Lerner
Barenholz & Tamir, 1987	Fragebogen	10.-12. Jahrgang, 16 Klassen
Flores, 2003	Interviews, Fragebogen	15-18 Jahre, 50 Lerner
Bayrhuber & Stolte, 1997	Interviews	11. Jahrgang, 10 Lerner
Hilge, 1999	Interviews	11.-13. Jahrgang, 10 Lerner
Brumby, 1984	Fragebogen, Interviews	Studenten, 150 Lerner
Helman, 1978	Interviews	Erwachsene, unbestimmt viele

Sprache berücksichtigt (Zusammenfassung, s. Tab. 1).

Die mehr oder weniger umfangreichen Quellentexte werden aus der Perspektive der übergreifenden Fragestellungen gesichtet. Zentrale Sätze werden zitiert, zusammengefasst und mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2003) interpretiert.

5 Untersuchungsaufgabe Interviewstudie

In Vermittlungsexperimenten (engl.: teaching experiments, s. Steffe & D'Ambrosio, 1996) werden zunächst auf Bakterien bezogene Vorstellungen von 36 Hamburger Gymnasiasten der 10. Klasse (15–16 Jahre) in Interviews erhoben. Vor den Befragungen haben die Lerner ein mikrobiologisches Praktikum absolviert. Sie haben Tümpelwasserproben mit Nähragar vermischt und 24 Stunden in Petrischalen bebrütet (Gussplattenverfahren, s. Bast 2001; Schneeweiß 2003). Danach hatten sich in einigen der Schalen Bakterienkolonien entwickelt.

In Folgenden geht es allein um den Ermittlungsteil der Vermittlungsexperimente;

Untersuchungsgegenstand sind die in den Interviews erhobenen Lernervorstellungen. Die Interviews werden in Dreiergruppen durchgeführt und videographiert, anschließend transkribiert, und redigiert (vgl. Gropengießler, 1997; 2005). Das Aussagenmaterial wird mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2003) aus der Perspektive der übergreifenden Fragestellungen interpretiert. Um individuelle Bedeutungsstrukturen in ihrer Diversität erfassen zu können, werden also qualitative Erhebungs- und Auswertungsmethoden angewendet.

In Kapitel 6.2 werden hauptsächlich solche Konzepte aufgeführt, die in den Literaturbefunden (Kapitel 6.1) fehlten. Zu Lernervorstellungen, die bereits in Kapitel 6.1 als Konzepte erfasst sind, werden nur dann weitere Befunde aufgeführt, wenn dies zu einem besseren Verständnis beiträgt.

6 Ergebnisse

Empirisch erfasste mikrobiologische Lernervorstellungen aus verschiedenen Quellen werden geordnet dargestellt. Dabei werden zum einen weit verstreute Befunde aus der

Literatur berücksichtigt und miteinander in Beziehung gesetzt. Zum anderen werden Lernervorstellungen in Vermittlungsexperimenten erhoben. Dieses methodische Vorgehen ermöglicht es, grundlegende Verständnisschwierigkeiten und Lernhürden rund um das Thema Mikroben zu erkennen. Die erfassten Lernervorstellungen werden als Konzepte vorgelegt, die mit einem treffenden Namen versehen sind.

6.1 Lernervorstellungen zu Mikroben: Literaturbefunde

Größe der Mikroben

*Ich stelle sie [die Keime]² mir wie kleine, winzige Stücke Dreck vor, die wir in der Luft nicht sehen können (J.K.³; Nagy, 1953, übers.). Bakterien sind Mikroorganismen, die man nicht sehen kann, aber die da sind. Bakterien sind Mikroorganismen, weil sie Organismen sind, die so klein sind wie die Maßeinheit Mikro (Karl; Hörsch, 2007, 188). Bakterien sind furchtbar klein... Beim Mikroskopieren kann man sie erkennen und unterscheiden (Peter; Hilge, 1999, 249). J.K., Karl und Peter stellen sich Mikroben als sehr klein vor, weil sie nicht mit bloßem Auge wahrgenommen werden können. Peter denkt, Bakterien könnten mithilfe eines Mikroskops wahrgenommen werden. Wir nennen dieses Konzept *Mikroskopische Bakterien*.*

Der Pilz im Wald weist eine komplexere Form gegenüber dem Pilz auf, der sich mikroskopisch klein ausbreitet. Der Pilz in seiner kleinen Form gehört zu den Bakterien und der große Pilz [Champignon] zu den Pflanzen (Mark; Hilge, 1999, 185). Mark ordnet mikroskopisch kleine Pilze den Bakterien, sichtbare, große Pilze hingegen den Pflanzen zu. Mikroskopische biologische Gegenstände

werden somit zu einer Kategorie zusammengefasst: Konzept *Mikroben*.

Der Lerner M1 ordnet Bakterien sowohl die mikroskopische Größenebene als auch die Größenebene von Atomen zu, wie das folgende Zitat belegt: *Es [Bakterium] ist so mikroskopisch, es ist eine Art von Atom (M1; Simonneaux 2000). 72 % der von Flores (2003) Befragten sind der Meinung, dass die Größe einer Zelle derjenigen eines Moleküls oder eines Atoms entspricht. 51 % der von Dreyfus & Jungwirth (1988) Befragten stimmen der Aussage zu, dass ein Protein kleiner als ein Bakterium ist, weil eine Zelle aus Proteinen strukturiert ist. Jones, Andre, Superfine & Taylor (2003) stellen fest, dass 40 % der von ihnen Befragten über kein Wissen bezüglich der Einheiten Nanometer und Mikrometer des metrischen Systems verfügen: Nanometergröße wird Hautfollikeln, Zellen und Bakterien zugewiesen. Mikroskopische Gegenstände werden klein vorgestellt, aber es ist ungewiss, wie klein. Dies ist das Konzept *Unklar klein*.*

Gestalt der Mikroben

Nach Keimen befragt, nennen Lerner im Alter zwischen 5–11 Jahren (Nagy 1953) Mikroben, Bakterien oder Bazillen. Aufgefordert, Keime zu zeichnen, verweigern dies fast die Hälfte der 350 Befragten. Andere zeichnen abstrakte geometrische Figuren, z. B. Sternchen oder Punkte. Diese Darstellungsschwierigkeiten verweisen darauf, dass diese Befragten sich keine Vorstellungen zur Gestalt von Keimen machen.

Bakterien werden mit Schmutz assoziiert: *Keime sind sehr schmutzige Dinge. Es sind Dinge, die wie kleine runde Punkte aussehen (Ch.B.; Nagy, 1953). Mikroorganismen sind aus Dreck erschaffen (Bandiera, 2007,*

2 Eckige Klammern umfassen Kommentare der Interpreten oder synonym verwendete Ausdrücke der Befragten.

3 Initialen oder Vornamen, denen – durch Semikolon abgetrennt – Autorennamen folgen, kennzeichnen die Befragten, deren redigierte Aussagen zitiert werden.

übers.). Mikroben werden als unbelebte Dinge vorgestellt (Konzept *Mikroben = Dreck*). Jüngere Lerner können sich Mikroben aber auch als kleine Tiere (R.S.; Fliege, Ameise, Wasserfloh) vorstellen (*Mikroben = Tierlein*), wie das folgende Zitat zeigt: *Die Fliege ist ein sehr schlechter Keim, der eine Menge Krankheiten umberträgt. Eine Ameise ist ein anderer dreckiger Keim. Ein Wasserfloh ist eine andere dreckige Sache* (R.S.; Nagy, 1953). Ältere Lerner (11.–13. Jahrgangsstufe) wie Kai und F2 hingegen denken Mikroben einerseits unbelebt und aus chemischen Verbindungen (Atome, Stoffe, Staubteilchen) bestehend – ähnlich einem Puzzle. Das Konzept *Zusammengesetzte Mikroben* wird in den folgenden Zitaten deutlich. Solche unbelebten Bakterien können dann auch als für alle Zeiten beständig gedacht werden (Konzept *Ewig beständige Bakterien*). *Bakterien sind wahrscheinlich keine Tiere, sondern sie sind aus Atomen [Molekülen, Material] zusammengesetzt, also chemische Verbindungen... Wie Bakterien in der Luft entstehen weiß ich nicht. Sie sind wahrscheinlich ursprünglich da und immer verbunden* (Kai; Hilge, 1999, 236). *Ein Stück Dreck, ein Staubteilchen... Ein Bakterium ist all das, was aneinander kleben bleibt* (F2, Simonneaux 2000).

Die Begriffsabgrenzungen zwischen Mikroben, Bakterien, Viren, Roten Blutzellen oder Antibiotika sind fließend. Bayrhuber und Stolte (1997) berichten davon, dass Lerner einerseits nicht zwischen Bakterien und Viren und andererseits nicht zwischen Bakterien und Pilzen (die Lerner reden von Schimmelpilzbakterien) unterscheiden (vgl. Helman, 1978; Brumby, 1984; Prout, 1985). *Virus bedeutet für mich auch immer Bakterie, denn Virus und Bakterie sind für mich meistens dasselbe* (Cara; Hörsch, 2007, 266). *Schimmel besteht aus Bakterien, die sich auf liegengelassenem Essen entwickeln* (Bandiera, 2007, übers.). *Blut ist eigentlich nichts anderes als winzig kleine Bakterien* (Gereon; Hörsch, 2007, 157). *Wenn man Medikamente nimmt, dann sind das die guten Bakterien. Gute Bakterien für das Immunsy-*

stem (Maria; Hörsch, 2007, 181). Wir nennen dieses Konzept *Mikroben = Bakterien*. Mikroben können auch als Zellen gedacht werden. Bakterien (Viren) können dann einen Zellkern enthalten (Anne, F2). Der Lerner F2 stellt sich Mikroben ähnlich wie eukaryotische Zellen vor (Konzept *Eukaryotische Zellen*). *Eine Bakterie ist ganz normal und eigenständig wie eine Zelle; mit einem Zellkern, weil sie gesteuert werden muss* (Anne; Hilge, 1999, 143). [Ein Virus ist] *eine kleine lebende Zelle, die stirbt, wenn sie nicht einer anderen lebenden Zelle anhaftet. Es ist der Zellkern, der es [das Virus] am Leben hält, bis es dorthin gelangt...* (F2; Simonneaux, 2000). Kai denkt Bakterien als uniform (Konzept *Uniforme Bakterien*): *Bakterien haben unter dem Mikroskop alle das gleiche Aussehen und den gleichen Aufbau, deshalb sind sie auf jeden Fall gleich. Ich wüsste nicht, warum sie verschieden sein sollten* (Kai; Hilge, 1999, 236). Wie das folgende Zitat zeigt, denkt Anne Bakterien strukturell einfacher als eukaryotische Zellen (Konzept *Klein = Einfach*): *Sie können von außen irgendwie geriffelt und kreisrund sein und Härchen zur Fortbewegung oder zum Filtern haben, aber dann sind es wahrscheinlich keine Bakterien mehr* (Anne; Hilge, 1999, 159).

Bakterien weisen eine Umgrenzung auf, die das Innen vom Außen scheidet. Die Umgrenzung einer bakteriellen Zelle wird kontextabhängig als Hülle (Ina), Membran oder Zellwand (Mark) gedacht. Dieses Konzept nennen wir *Bakterien als Behälter*. *Die Bakterien saugen die Zellen aus, indem sie mit ihrer äußeren Hülle an die Zelle herangehen, ein Loch hinein machen und die nahrhafte Zellflüssigkeit aufnehmen (herausziehen), die sich um den Zellkern herum befindet* (Ina; Hilge, 1999, 170). *Die Zellwand wirkt wie eine halbdurchlässige [semipermeable] Membran* (Mark; Hilge, 1999, 184).

Ernährung der Mikroben

Mikroben essen z. B. pflanzliche Produkte (Anne), Zellen (Maria) oder Dreck (Con-

ny), Bakterien verdauen und scheiden auch aus (Conny). Mikroben werden auch als tierlich und damit essend vorgestellt (Konzept *Essen*). Gedanklich verknüpfen Lerner die mikrobielle Nahrung mit Dreck (vgl. Leach, Driver, Scott & Wood-Robinson, 1995; 1996; Helldén, 1999; Simonneaux, 2000), Conny denkt, dass sich Bakterien durch Dreck fressen, dreckige Bakterien sind für den Menschen entzündlich (Konzept *Kontamination*). *Wenn ein Pfirsich [Apfel] fault, kommen weiße Pilze oder Bakterien darauf, die sich da langsam hineinfressen* (Anne; Hilge, 1999, 144). *Vielleicht essen sich die schlechten und die guten Bakterien auch gegenseitig auf* (Maria; Hörsch, 2007, 178). *Dann verdauen [verwenden, benutzen] sie das, was sie brauchen, und scheiden den Stickstoff und vielleicht Bestandteile [Moleküle und Proteine] der alten Zellwand wieder aus. Die Stoffwechselendprodukte der Bakterien riechen modrig. Aber wenn die Bakterien dreckig sind, sind sie entzündlich. Mit dreckig meine ich, dass die Bakterien sich durch Dreck fressen, mit ein bisschen Erde und mit so kleinen Molekülen umgeben sind* (Conny; Hilge, 1999, 210).

Wachstum der Mikroben

Bakterien sind immer scharf darauf, sich zu vermehren. Wo sie sich wohlfühlen, tun sie das auch... Vielleicht werden die Bakterien durch feuchtwarme Luft besonders teilungsfreudig (Silke; Hilge, 1999, 224). Silke stellt sich das Wachstum der Mikroben (Bakterien) als *Mehr-Werden* durch Teilung vor. Dies ist das Konzept *Behälterteilung*. Der Lerner F2 kombiniert die beiden Ideen *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* miteinander, um das Wachstum der Mikroben (Viren) zu erklären. Das ist dann das Konzept *Wachsen und Teilen*. Die mikrobielle Wachstumsgeschwindigkeit ist dem Lerner F2 unklar (Konzept *Unklare Wachstumsgeschwindigkeit*). *Manchmal wird es langsam gehen... in zwei Tagen [eine Teilung]...*

Es hängt davon ab, wie es vorwärts geht, ob es seine Zeit braucht, [bis] es [das Virus] dick genug ist... (F2; Simonneaux, 2000). Lars hingegen schließt ein *Größer-Werden* der Mikroben (Bakterien) aus, während er sich das Wachstum makroskopischer Lebewesen (Pilze, Pflanzen, Tiere) als *Größer-Werden* vorstellen kann. *Sie [die Bakterien] zählen nicht zu den Pflanzen oder Tieren, weil sie viel kleiner sind und auch nicht so wachsen können... Schimmel ist etwas Lebendes, irgendwie so etwas wie ein Pilz; keine Champignons, aber wie Lebewesen, die immer größer werden [wachsen]* (Lars; Hilge, 1999, 260).

Der vierjährige J.G. verfügt über die Vorstellung, dass Wachstum von Bedingungen abhängt (Konzept *Wachstum braucht Bedingungen*): *Das Essen kommt [vom Magen] von hier* (J.G. berührt sein Bein vom Oberschenkel bis zum Schienbein) *dort hin* (J.G. berührt sein Schienbein runter bis zu den Zehen). *Mein Fuß wird groß und stark* (Teixeira 2000). Zum Wachstum benötigt der Körper Nahrung, um diese in Blut umzuwandeln: *Der Magen wandelt das Essen in Blut* (I., 10 Jahre; Teixeira 2000). 14 von 18 Befragten (elf Jahre alt) meinen, dass tierliche Lebewesen (Raupen) Nahrung zum Wachstum benötigen (Ruszel & Watt, 1990, 62). Barenholz & Tamir (1987) berichten, dass „viele“ Lerner nicht wissen, welche Bedeutung Stoffe (Kohlenstoff, Stickstoff, Wasser) für das Wachstum von Mikroben haben (vgl. Helldén, 1999; Flores, 2003). Die Schülerin Cara denkt, dass Bakterien Stoffe benötigen, aus denen sie sich – ähnlich einem Puzzle – neu zusammensetzen (Konzept *Zusammengesetzte Mikroben*). *Vielleicht vermehren sie [die Bakterien] sich, indem sie sich durch irgendwelche Stoffe irgendwie neu zusammensetzen* (Cara; Hilge, 1999, 160).

Mark stellt sich vor, dass Bakterien Kolonien bilden. Eine Kolonie wächst wie eine Pflanze in die Höhe (Konzept *Pflanzliche Kolonien*), Bakterienkolonien können wie Pflanzen auf dem Acker kultiviert werden, die Bakterien werden dann stillstehend ge-

dacht (Konzept *Sessile Bakterien*). *Bakterien bilden auf einem Nährboden Kolonien (Bakterienkulturen), dabei lagern sie sich in mehreren Etagen übereinander [kreuz und quer] und können so zum Teil Häufchen bilden, also auch in die Höhe wachsen* (Mark; Hilge, 1999, 184).

Danach gefragt, wie Bakterien abgetötet werden, nennt der Lerner M9 Herbizide. *Ich weiß nicht... giftige Substanzen, Herbizide zum Beispiel* (M9; Simonneaux, 2000). Bakterien werden als eine Art von Unkraut gedacht (Konzept *Bakterien als Unkraut*), bakteriellern Wachstum kann mit *Gift* beige- kommen werden.

Beweglichkeit der Mikroben

Einerseits werden Bakterien von Insekten oder Flüssigkeiten bewegt (Conny, Konzept *Mitbewegte Bakterien*). *Sie [Bakterien] werden durch Fliegen oder Insekten mit herumgeschleppt... Bakterien können auch durch eine Flüssigkeit mitgespült werden* (Conny; Hilge, 1999, 211). Nach den Befunden von Nagy (1953) stellen sich 70 von 208 jüngeren Befragten Mikroben als eigenbewegliche, kleine Tiere vor (Konzept *Eigenbewegliche Mikroben*). Anne und Silke (Oberstufenschülerinnen) denken, dass Bakterien laufen oder schwimmen und Amöben kriechen: *Bakterien laufen im Gegensatz zu den Pflanzen, sie haben eine Geißel, ähnlich wie Schwimfflossen, oder sonst etwas zur Fortbewegung... Die Amöbe bewegt sich durch fließende Bewegung und verändert ihre Form* (Anne; Hilge 1999, 144). *Bakterien können sich mit kleinen Flimmerbärchen um die Zellwand herum bewegen* (Silke; Hilge, 1999, 224).

Anne hat Bakterien mithilfe des Mikroskops beobachtet, sie verfügt über die Vorstellung, dass Bakterien flitzen, sie denkt die bakte-

rielle Fortbewegungsgeschwindigkeit als schnell (Konzept *Mikroschnelle Bakterien*). *Unter dem Mikroskop sind die Bakterien total schnell langgeföhzt* (Anne; Hilge, 1999, 144). Lerner können sich die Bewegung von Bakterien zielgerichtet vorstellen (Konzept *Zielgerichtete Bakterien*). Anziehend (vgl. das Schema⁴ *Anziehung* bei Johnson, 1992, 47) wirken Nahrung (Anne) aber auch andere Bakterien (Ina). Die zielgerichtete bakterielle Fortbewegung kann als intentional gedacht werden (Konzept *Person*): Bakterien erkennen, ob sie an dem Ort sind, wo sie hin wollen (Conny). *Ist irgendwo Nahrung vorhanden, kommen immer mehr [Bakterien], nach vier oder fünf Tagen ganz viele* (Anne; Hilge 1999, 144). *Bakterien müssen sich zusammenfinden, um sich vermehren zu können, damit sie als Kolonie beisammen sind* (Ina; Hilge 1999, 170). *Bakterien können sich zurechtfinden, indem sie durch Kontakt tasten können, vielleicht mit Hilfe von Föhlpoteinen [-molekülen], die erkennen können, wo sie sind und ob sie an dem Ort sind, wo sie hin wollen* (Conny; Hilge, 1999, 211).

Anne denkt, dass Bakterien aufgrund ihrer Beweglichkeit und Fähigkeit zur Vermehrung überall anzutreffen sind (Konzept *Ubiquitäre Bakterien*). Ob damit aber auch die Vorstellung verknüpft wird, dass Mikroben die an Zahl und Biomasse dominierende Lebensform auf der Erde repräsentieren (s. Gould, 1999; Whitman, Coleman & Wiebe, 1998) darf bezweifelt werden, Mikroben sind sprichwörtlich „überall und nirgendwo“. *Bakterien sind eigentlich überall [immer verfügbar], im Boden, im Flusswasser oder überall, alles ist voll von Bakterien* (Anne; Hilge, 1999, 147).

Bakterien, so denkt Maria, konkurrieren untereinander um Lebensraum bis hin zum *Kampf*. *Die schlechten Bakterien wollen nicht untergehen. Die konkurrieren um*

4 Der Terminus »Schema« bezeichnet verkörperte Muster sinnvoll organisierter Erfahrungen. Diese Erfahrungen sind schon vorbegrifflich durch ihren wiederholten Ablauf strukturiert. Die in ihnen gründenden Begriffe erhalten ihre Bedeutung aus diesen Erfahrungen und sind direkt verständlich.

Platz. Aber die Guten wollen selber nicht umkommen... Die schlechten Bakterien dringen in unseren Körper ein und können die guten Bakterien bekämpfen (Maria; Hörsch, 2007, 176, 178).

Aufgrund ihrer Beweglichkeit versammeln sich Mikroben zu Kolonien (Silke, Konzept *Versammlung*). *Pilze im Darm entstehen durch Bakterien, die da nicht hingebören, indem diese sich als eine Art Pilz ansammeln. Vielleicht ergeben viele kleine Bakterien auf einer Stelle einen Pilz* (Silke; Hilge, 1999, 225).

6.2 Lernervorstellungen zu Bakterien: Befunde aus der Interviewstudie

Größe der Bakterien

Die Nährstoffmoleküle sind vielleicht so breit wie ein Bakterium, auf jeden Fall kleiner als die Bakterien, ein Mikrometer, vielleicht ein bisschen kleiner, einen halben Mikrometer (Lina). Lina stellt sich Zellen zwar größer als Moleküle vor, die Abmessungen, die sie mithilfe der Einheiten des metrischen Systems benennt, lassen beide biologischen Gegenstände aber auf einer Größenebene auftreten (Konzept *Unklar klein*). Lisa hat die experimentelle Erfahrung gemacht, dass Wasserproben mithilfe eines Filters frei von Bakterien sind. Darin gründet die Vorstellung, dass Bakterien so groß sind, dass sie die Poren des Filters nicht passieren können (Konzept *Filtrierbare Bakterien*). Dies bedeutet aber noch längst nicht, dass sie sich über die tatsächliche Größe der Bakterien im Klaren wäre: *Wenn der Durchmesser eines Haares 0,1 Millimeter beträgt, Bakterien nicht durch ein Filter gehen, das eine Porengröße von 0,2 Mikrometern hat, liegt die Größe von Bakterien zwischen 0,2 Mikrometer und ein ganzes Stück weniger als 0,1 Millimeter. Da ich nicht weiß, wie viele Mikrometer ein Millimeter sind, sind es, ganz grob geschätzt, 500 Bakterien, die in den Durchmesser eines Haares passen* (Lisa).

Gestalt der Bakterien

Über die Vorstellung von Bakterien als Zellen und als eine Art von *Behälter* verfügen 12 von 36 Befragten. Die Umgrenzung eines Bakteriums wird beispielsweise als Haut, Hülle, Schale, Gitter, Zellwand oder Membran gedacht (Marlies, Lilli, This). This denkt Bakterien als doppelt umgrenzt und führt diese Vorstellung darauf zurück, dass bei einem Einreißen der Zellwand das Erbgut immer noch von der Membran umschützt ist. Dem Inneren einer bakteriellen Zelle misst This eine größere Bedeutung zu als ihrer Umgrenzung (vgl. das Schema *Peripherie-Zentrum*; Lakoff, 1987, 274). *Dass die Nährstoffe sich an die Bakterien ran hängen oder eben anders herum und, dass die dann ihre Haut außen um die Nährstoffe rum bilden und dann könnten die Bakterien sich ihr Fressen essen* (Marlies). *Wenn Penicillin nicht die Nährstoffe vergiftet, könnte es von außen angreifen, die Hülle eines Bakteriums ist eine harte Schale, ein Gitter, die Zellwand... Ich glaube, der Kern lebt und die Schale ist nur zum Schutz da* (Lilli). *Gerhard meinte, wenn die Zellwand einreißt, dann sei das Erbgut in Gefahr. Aber da noch eine Membran da drüber ist, stelle ich mir die Frage, ob es immer noch in Gefahr ist, wenn die Zellwand reißt* (This).

Luka weiß, dass Penicillin auf Zellwände einwirkt und dass ein Antibiotikum (Penicillin) nur bei Bakterien wirkt, nicht aber bei Pilzen. Er führt das auf die dünnere bakterielle Zellwand der Bakterien zurück (Konzept *Behälterzerstörung*). *In Petrischale 2 sind keine Bakterienkolonien. Dass Penicillin beim Pilz nicht viel bringt, könnte daran liegen, dass die Zellwand des Pilzes dicker ist, Penicillin zerstört die Zellwände der Bakterien* (Luka).

Ernährung der Bakterien

Kristina denkt, dass sich die Bakterien einer Kolonie in den Nähragar hineinfressen.

Aus diesem Grund sind Bakterienkolonien hohl (Konzept *Hohlkugel*). Im Inneren einer Kolonie sind die Bakterien aufgrund von Nährstoffmangel abgestorben. *Die Bakterien einer Kolonie im Agar müssen sich nach außen fressen können, deswegen ist es ein bisschen komisch... Vielleicht sterben die Bakterien in der Mitte einer Kolonie im Nähragar auch einfach ab, Bakterien sind dann nur noch außen* (Kristina).

Lisa denkt, dass Bakterien Nährstoff zum Wachstum benötigen (Konzept *Wachstum braucht Bedingungen*). Diese Vorstellung gründet in der experimentellen Erfahrung, dass Bakterien in Petrischalen mit Agar (ohne Nährstoffe) nicht zu Kolonien aufwachsen. Lisa verfügt über die Vorstellung, dass die äußeren Bakterien einer Kolonie Nährstoffe an Bakterien im Inneren einer Kolonie weiterreichen. Dabei nutzt sie das *Geber-Gabe-Nehmer-Schema* (Gropengießer, 2007) und kann sich somit Bakterienkolonien gefüllt vorstellen (Konzept *Kugel*). *Die äußeren Bakterien einer Kolonie können sich immer weiter entwickeln, die Inneren sterben irgendwann mal ab. Die Inneren kriegen gar keine Nährstoffe mehr, vielleicht können die Bakterien von außen Nährstoffe nach innen weiter reichen* (Lisa). Die Vorstellung, dass Bakterien auf Nährstoffe angewiesen sind, wird auch als Erklärung für die Wirkung des Antibiotikums Penicillin herangezogen (Lilli, s.o. Gestalt der Bakterien): Penicillin vergiftet die Nährstoffe (Konzept *Gift*).

Wachstum der Bakterien

Die Zellsubstanz teilt sich in der Zellmembran und dazwischen teilt sich dann das Bakterium und so entsteht dann ein weiteres. Die Zellsubstanz wird immer weniger, irgendwann kann sich dieses Bakterium nicht mehr weiter teilen, weil es selbst nicht mehr genügend Zellsubstanz hat (Alex). Alex stellt sich vor, dass Bakterien beim Erreichen einer bestimmten Mindestgröße aufhören sich zu teilen, weil sie bei jedem

Teilungsvorgang kleiner werden (Konzept *Behälterteilung*). Die Vorstellung *Behälterteilung* ermöglicht es Maja, Bakterien als unsterblich zu denken. Da Bakterien bei der Teilung in zwei Bakterien, also „zwei neue Leben“ aufgehen, denkt sie, dass Bakterien altersbedingt nicht sterben (Konzept *Unsterbliche Bakterien*). Maja bezeichnet ein in Teilung begriffenes Bakterium als „die Alte“, sie denkt es als *Mutter* (s. Lakoff, 1987, 74–76). Damit überträgt sie Vorstellungen, die in Erfahrungen mit Familie gründen, auf Bakterien. *Aber wenn die Alte zu fressen hat, würde sie auch noch in 100 Jahren leben. Meinetwegen teilt sie sich auch, aber es ist ja immer noch die alte Bakterie, man kann ja nicht sagen, das Leben hört für eine Bakterie auf, wenn sie sich geteilt hat, das sind dann zwei neue Leben* (Maja).

Albert verfügt über die Vorstellung, dass eine Bakterie größer wird, er überträgt *Größer-Werden* auf die bakterielle Zellwand (Konzept *Behältervergrößerung*). Gerhard denkt, dass auf der bakteriellen Zellwand Nährstoffe abgelagert werden und auf diese Weise eine neue Bakterie entsteht (Konzept *Sprossen*). *Die Bakterie muss irgendwas fressen oder irgendwelche Mineralien aufnehmen, so dass sich die Zellwand überhaupt vergrößern kann* (Albert). *Ich habe in einem Buch gelesen, dass sich auf dieser Zellwand Nährstoffe ablagern und da eine neue Bakterie entsteht* (Gerhard).

Monika stellt sich die Wachstumsgeschwindigkeit der Bakterien schneller als die von Pilzen vor. Sie hat aber keine klare Vorstellung von der Geschwindigkeit (Konzept *Unklare Wachstumsgeschwindigkeit*): *Unser Argument war, dass sich die Bakterien schneller teilen und schneller Kolonien aufbauen und dadurch dem Pilz, der auch im Wasser ist, den Platz wegnehmen* (Monika). Den Beginn einer Bakterienkolonie führen 8 der befragten 36 Lerner auf ein einzelnes mikroskopisches Bakterium zurück, das wächst. Die Wachstumsphase schließt mit dem Sichtbarwerden einer Kolonie ab. Margot führt Bakterienkolonien darauf zurück,

dass ein einzelnes Bakterium durch *Größer-Werden* auf makroskopische Größe heranwächst (Konzept *Kolonie = Bakterium*). *Wenn wir davon ausgehen, dass es nur ein Bakterium ist, das sich durch das Essen vergrößert hat, nimmt es dann so einen Raum [den Raum einer mit bloßem Auge wahrnehmbaren Kolonie] ein* (Margot).

Anngrit erklärt Kolonien mit Bakterien, die sich fortwährend teilen und mehr werden (Konzept *Teilen*). Luka führt Kolonien auf das *Größer-Werden* und *Mehr-Werden* der Bakterien zurück: Bakterien vermehren sich fortwährend, indem sie heranwachsen und sich dann teilen (Konzept *Wachsen und Teilen*): *Wahrscheinlich war es erst eine Bakterie, dann waren es zwei, und die können sich dann jeweils wieder teilen. Und dadurch werden es viel schneller mehr Bakterien, als wenn immer nur die Mutter sich teilen würde* (Anngrit). *Zur Koloniebildung kommt es dadurch, dass die Bakterien die Nährstoffe haben, die sie aufnehmen und dadurch wachsen und teilen sie sich. Die Geteilten machen das gleiche und dadurch werden es immer mehr.* (Luka)

Lerner können Bakterien, die eine Kolonie bilden, auch ein Motiv unterstellen. Sie versehen Bakterien mit menschlichen Attributen (Konzept *Person*). Bakterien mögen sich (Katja) oder wollen sich nah sein (Lisa), die Organisation einer Kolonie ist vorteilhaft für die Bakterien, weil sie mehr bewirken können (Lina) oder sicherer (Benno) sind. *Wenn die Bakterien nicht aneinander kleben, dann müssten sie sich verteilen. Und das tun sie nicht, die Bakterien mögen sich viel zu sehr, die nehmen sich vielleicht an die Hand* (Katja). *Die Bakterien wollen möglichst nah sein oder sie drücken sich nicht gegenseitig weg* (Lisa). *Vielleicht können die Bakterien mehr bewirken, wenn sie zusammen bleiben* (Lina). *Es gibt ein Kernbakterium, das teilt sich immer in alle Richtungen, damit es sicherer ist, damit der Kern, die Steuerzentrale, im Inneren und sicherer ist* (Benno).

Beweglichkeit der Bakterien

Bakterien leben auch in Flüssen oder Seen..., da sind ja auch teilweise Strömungen drin, und wenn da eine Strömung drin ist, bringt die Bewegung relativ wenig, die Bakterien bewegen sich ja so langsam (Harry). Harry denkt Bakterien als eigenbeweglich (Konzept *Eigenbewegliche Bakterien*), aber im Vergleich zur Strömungsgeschwindigkeit eines Gewässers langsam (Konzept *Klein = langsam*) und daher mitbewegt (Konzept *Mitbewegte Bakterien*).

Die Fähigkeit zur Fortbewegung wird als ursächlich für die Koloniebildung angesehen. Margot stellt sich komplexe soziale Interaktionen vor: Zwei Bakterien schließen sich zusammen, sie werden von anderen Bakterien bemerkt, diese Bakterien gehen dann zu den beiden bereits Zusammengeschlossenen (Konzept *Versammlung*). Damit wird Bakterien eine Orientierungsfähigkeit zugeordnet, Bakterien merken, dass sich andere Bakterien zusammengeschlossen haben, sehen darin eine Bedeutung und handeln. Kurz: Bakterien werden als *Person* gedacht. *Aber wenn die Bakterien dann alle merken, zwei Bakterien schließen sich zusammen und sind dann größer, gehen sie da hin und haben da Unterkunft. Sie bilden dann eine Kolonie, die wir erst mit den bloßen Augen sehen können* (Margot).

Monika stellt sich vor, Bakterien könnten schneller und aggressiver als Pilze sein. Lina denkt sich Bakterien als Angreifer, Pilze (Schimmel) als Verteidiger und *Penicillin als Waffe*, um Bakterien damit abzuwehren (Konzept *Kampf*). *Vielleicht sind die Bakterien aggressiver und schneller als Pilze* (Monika). *Penicillin kommt aus dem Schimmel. Vielleicht hat der Schimmel Penicillin, um die Bakterien abzuwehren, damit sie ihn nicht angreifen* (Lina).

7 Zusammenführung und Verallgemeinerung

Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer, 2003; Lakoff & Johnson, 2004) werden alle Befunden zu mikrobiologischen Lernervorstellungen zusammengeführt und verallgemeinert. Unser kognitives System nutzt zum Verstehen verkörperte Vorstellungen, die in Interaktionen unseres Körpers mit der physischen und sozialen Umwelt gründen. Die Theorie unterscheidet zwischen direkten und imaginativen Verständnissen. Anhand der Befunde aus verschiedenen Quellen konnten keine verkörperten Vorstellungen, die in lebensweltlichen Erfahrungen mit Mikroben und mikrobiellen Prozessen gründen, erfasst werden. Mikroben und mikrobiologische Phänomene sind zwar allgegenwärtig, man denke nur an Joghurt, Zahnbelag oder Infektionskrankheit, aber ihre Rolle wird aufgrund ihrer geringen Größe nicht deutlich. Mikroben liegen außerhalb der lebensweltlich erfahrbaren Welt. Aus diesem Grund sind lebensweltliche – aus fachlicher Sicht mikrobiologische – Phänomene nicht vorstellungsbildend bezüglich Mikroben.

Die befragten Lerner haben vor den Interviews im Rahmen eines Praktikums Bakterien kultiviert. Nach der Bebrütung konnten sie kleine Flecken in ihren Petrischalen wahrnehmen, nicht hingegen in Petrischalen mit Antibiotikum, filtriertem Tümpelwasser oder ohne Nährstoffe. Die befragten Lerner verfügen also über mikrobiologische Erfahrungen und darin gründende Vorstellungen. Demgegenüber scheinen die Lerner, von deren Vorstellungen in der Literatur berichtet wird, über so gut wie keine mikrobiologischen Erfahrungen und darin gründende wissenschaftsorientierte Vorstellungen zu verfügen. Vor diesem unterschiedlichen Erfahrungshintergrund werden die Lernerkonzepte in den Blick genommen.

Bei den in Tabelle 2 versammelten mikrobiologischen Lernerkonzepten fällt zunächst

einmal auf, dass lediglich das Literaturkonzept *Mikroschnelle Bakterien* und die beiden erhobenen Konzepte *Filtrierbare Bakterien* und *Wachstum braucht Bedingungen* auf mikrobiologische Erfahrungen zurückgeführt werden können. Die übrigen Konzepte gehen auf imaginative Verständnisse zurück. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens übertragen Lerner beider Gruppen in der Hauptsache Vorstellungen auf Mikroben, die in anderen als mikrobiologischen Erfahrungen gründen aber passend erscheinen: Der Mikrokosmos stellt für Lerner einen weißen Fleck auf der Landkarte ihrer Wissens dar, der metaphorisch gefüllt und verstanden wird. Die Ursprungsbereiche der metaphorischen Verständnisse, die an Mikroben herangetragen werden, entspringen körperlichen Erfahrungen mit unserer Wahrnehmung, Körperbewegung, unserer physischen und sozialen Umwelt. Es sind verkörperte Vorstellungen (embodiment, s. Lakoff, 1987, 206), die durch Imagination vom verstandenen Ursprungsbereich auf einen zu verstehenden Zielbereich übertragen werden können.

Hier kann man sich nun fragen, welche verkörperten Vorstellungen die Befragten als Ursprungsbereiche für das metaphorische Verstehen von Mikroben heranziehen. Wir haben vier Ursprungsbereiche identifiziert: Es sind die verkörperten Vorstellungen vom Behälter, von Tieren bzw. Menschen, von Pflanzen und von Schmutz. Diese verkörperten Vorstellungen erweisen sich als die Ursprungsbereiche all der vielen erfassten, aus unterschiedlichen Untersuchungen stammenden Konzepten der Befragten. Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens werden mit einem gemeinsamen Ursprungsbereich auch Sinnzusammenhänge hergestellt. Deshalb bezeichnen wir die Gesamtheit der metaphorischen Vorstellungen, die durch Facetten eines gemeinsamen Ursprungsbereichs verstanden werden, als Denkfiguren. Im Folgenden werden die erfassten Konzepte in den Sinnzusammenhang der

Tab. 2: Zusammenschau der erfassten (*) Lernerkonzepte zu Mikroben

Bereich	Bezeichnung der Konzepte	Quelle	
		Literatur	Eigene
Größe	<i>Mikroskopische Bakterien</i>	*	*
	<i>Mikroben</i>	*	
	<i>Unklar klein</i>	*	*
	<i>Filtrierbare Bakterien</i>		*
Gestalt	<i>Mikroben = Dreck</i>	*	
	<i>Mikroben = Tierlein</i>	*	*
	<i>Mikroben = Bakterien</i>	*	
	<i>Bakterien als Behälter</i>	*	*
	<i>Eukaryotische Zellen</i>	*	*
	<i>Zusammengesetzte Mikroben</i>	*	
	<i>Ewig beständige Bakterien</i>	*	
	<i>Klein = einfach</i>	*	
	<i>Uniforme Bakterien</i>	*	
	<i>Behälterzerstörung</i>		*
Ernährung	<i>Essen</i>	*	*
	<i>Kontamination</i>	*	
	<i>Hohlkugel</i>		*
	<i>Kugel</i>		*
	<i>Gift</i>		*
Beweglichkeit	<i>Eigenbewegliche Bakterien</i>	*	*
	<i>Ubiquitäre Bakterien</i>	*	
	<i>Sessile Bakterien</i>	*	
	<i>Zielgerichtete Bakterien</i>	*	*
	<i>Mitbewegte Bakterien</i>	*	*
	<i>Mikroschnelle Bakterien</i>	*	
	<i>Klein = langsam</i>		*
	<i>Versammlung</i>	*	*
	<i>Person</i>	*	*
	<i>Kampf</i>	*	*
	<i>Penicillin als Waffe</i>		*
Wachstum	<i>Behälterteilung</i>	*	*
	<i>Unsterbliche Bakterien</i>		*
	<i>Mutter</i>		*
	<i>Behältervergrößerung</i>		*
	<i>Sprossen</i>		*
	<i>Wachsen und teilen</i>	*	*
	<i>Wachstum braucht Bedingungen</i>	*	*
	<i>Unklare Wachstumsgeschwindigkeit</i>	*	*
	<i>Pflanzliche Kolonien</i>	*	
	<i>Zusammengesetzte Mikroben</i>	*	
	<i>Bakterien als Unkraut</i>	*	
	<i>Gift</i>	*	
	<i>Kolonie = Bakterium</i>		*
	<i>Teilen</i>		*
<i>Person</i>		*	

Denkfiguren gestellt. Die Häufigkeit des Auftretens der erfassten Konzepte wird an dieser Stelle nicht weiter beachtet.

7.1 Denkfigur *Mikroben als kleine Behälter*

Lerner können sich Bakterien als umgrenzte Gebilde vorstellen, sie denken Bakterien als *Behälter*. Das Schema *Behälter* (Johnson, 1992, 21) wird von den Elementen *Außen-Grenze-Innen* strukturiert. Mit einer Grenze ist eine Unterscheidung von innen und außen möglich. Wird die bakterielle Umgrenzung beispielsweise vom Antibiotikum Penicillin zerstört, bedeutet dies eine Gefahr für das Bakterium (*Behälterzerstörung*). Innerhalb eines Bakteriums befindet sich ein Zellkern, Bakterien werden eukaryotischen Zellen ähnlich gedacht (*Eukaryotische Zellen*), aber einfacher als diese und uniform vorgestellt (*Klein = einfach, Uniforme Bakterien*). Bakterien werden als mikroskopische Gegenstände gedacht (*Mikroskopische Bakterien, Filtrierbare Bakterien*). Lerner stellen sich Bakterien unklar klein vor (*Unklar klein*). Für Bakterien fehlt uns eine erfahrungsbasierte Größenvorstellung, wie wir sie im Bereich von der Haaresbreite bis zum Horizont kennen. Nur an diesen Mesokosmos (Vollmer, 2002) ist der menschliche Anschauungs- und Denkapparat angepasst. Auch die Geschwindigkeit mikrobieller Prozesse ist schwierig vorzustellen (*Klein = langsam, Mikroschnelle Bakterien, Unklare Wachstumsgeschwindigkeit*).

Alle nicht sichtbaren biologischen Gegenstände wie Bakterien, Viren, Rote Blutzellen oder Antibiotika werden der mikroskopischen Größenebene zugeordnet und summarisch als Mikroben (Bakterien) gedacht (*Mikroben, Mikroben = Bakterien*). Verstanden werden sie metaphorisch, wobei Pflanzen, Pilze und Tiere bevorzugte Ursprungsbereiche sind (s. Tab. 3). Lerner können das *Mehr-Werden* der Bakterien als *Behälterteilung* denken, Bakterienkolonien

werden auf das bakterielle *Mehr-Werden* durch Teilung zurückgeführt (*Teilen*). Ein mikroskopisches Bakterium kann auf makroskopische Größe heranwachsen (*Kolonie = Bakterium*). Mikroben können auch auf eine bestimmte Größe heranwachsen und sich dann teilen (*Wachsen und teilen*). Bakterienkolonien können auf dieses Konzept zurückgeführt werden.

7.2 Denkfigur *Mikroben als Tiere*

Kinder aus Kindergarten und Grundschule stellen sich Mikroben (Keime) als kleine Tiere vor (*Mikroben = Tierlein*). Auf Grundlage des publizierten empirischen Materials ist nicht zu klären, ob die von Nagy (1953) befragten Kinder Mikroben tatsächlich für kleine Tiere halten oder sie imaginativ als Tiere vorstellen (Gropengießer, 2003, 83). Aber bei Schülern tritt das metaphorische Verständnis tierlicher Mikroben deutlich hervor. Verständnis von mikrobiellen Prozessen erlangen sie unter Rückgriff auf verkörperte Vorstellungen von der tierlichen Ernährung (*Essen, Gift, Hohlkugel, Kugel, Wachstum braucht Bedingungen*), der Fortbewegung (*Eigenbewegliche Bakterien, Ubiquitäre Bakterien, Zielgerichtete Bakterien, Versammlung*) und dem Kampf (*Kampf, Penicillin als Waffe*). Ein Bakterium kann auch als *Mutter* gedacht werden, bei der Geburt gehen aus der *Mutter* zwei neue Leben hervor, der Geburtsvorgang wird als Verjüngung gedacht. Bakterien sterben aus diesem Grund nicht altersbedingt (*Unsterbliche Bakterien*). Ein Bakterium als *Mutter* zu denken macht deshalb Sinn, weil – lebensweltlich gedacht – das Kind aus dem Fleisch und Blut der Mutter besteht (Lakoff & Johnson, 2004, 90). Personifizierung (Lakoff & Johnson, 2004, 45; Gropengießer, 2003, 22; Riemeier, 2005, 30f) ermöglicht es Lernern z. B. die bakterielle Fortbewegung als zielgerichtete zu verstehen (*Person*).

7.3 Denkfigur *Mikroben als Pflanzen*

Ein einzelnes Bakterium kann sprossend gedacht werden (*Sprossen*). Bakterien können wie Unkraut auf dem Acker mit Herbiziden abgetötet werden (*Bakterien als Unkraut, Gift*). Bakterienkolonien wachsen wie Pflanzen in die Höhe (*Pflanzliche Kolonien*), die Kolonie bildenden Bakterien werden als stillstehend gedacht (*Sessile Bakterien*). Lerner dürften Bakterienkolonien imaginativ als *Pflanzen* denken, weil sie diese wie Pflanzen sessil und ihr Wachstum als *Größer-Werden* vorstellen. Lebensweltlich ordnen Lerner auch makroskopische Pilze (z. B. Schimmel) den Pflanzen zu. Selbst Mikrobiologen verwenden das Fachwort „Bakterienflora“ (Fuchs, 2006, 580). Möglicherweise trägt dies auch dazu bei, dass Lerner verkörperte Vorstellungen von *Pflanzen* auf Bakterien übertragen.

7.4 Denkfigur *Mikroben als unbelebter Schmutz*

Mikroben werden von Kindern mit Schmutz assoziiert oder als dreckige Gegenstände vorgestellt (*Mikroben = Dreck*). Schüler denken den Zusammenhang differenzierter: Bakterien verunreinigen sich mit Erde oder Schadstoffen (*Kontamination*). Gelangen sie dann in den menschlichen Körper, lösen sie Entzündungen aus. Möglicherweise klingen bei Schülern im Rahmen einer Hygieneerziehung vermittelte Vorstellungen nach, z. B. das Verbot, verdrecktes Essen – wegen der Keime – zu verzehren. Lerner können sich Bakterien als nicht selbst fortbewegungsfähig vorstellen (*Mitbewegte Bakterien*). Bakterien entstünden aus Staubteilchen, die aneinander kleben bleiben, aus Stoffen oder chemischen Verbindungen. Bakterien können sich aus Stoffen neu zusammensetzen (*Zusammengesetzte Mikroben*). Bakterien werden als nicht lebendig vorgestellt, weil sie immerwährend sind – und nur was stirbt, hat auch gelebt (*Ewig beständige Bakterien*).

Aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens existieren unsere Metaphern nicht unabhängig voneinander, vielmehr organisieren wir unser Wissen mithilfe von Rahmen (engl.: frames; s. Lakoff & Johnson 1999, 116). Am Beispiel des Satzes „Nachdem wir gegessen hatten, standen wir auf und gingen“ verdeutlichen die Autoren was damit gemeint ist. Bezieht sich die Aussage auf eine Situation in einem Restaurant oder auf eine private Feierlichkeit, ordnen wir ihr unterschiedliche Bedeutungen zu. Die Autoren sprechen von „framing“: In einem Restaurant bestellen wir bei einem Kellner, bekommen die Rechnung, zahlen und gehen. Anders hingegen verhält es sich im privaten Bereich. Durch Framing fügen sich Lernerkonzepte zu verschiedenen Denkfiguren. Stellen sich Lerner Bakterien als stillstehend, in die Höhe wachsend und herbizidempfindlich vor, denken sie Bakterien im Rahmen „Pflanze“. Stellen sie sie essend, verdauend und ausscheidend vor, nutzen sie den Rahmen „Tier“. Aufgrund unserer Erfahrungen verfügen wir alle über diese beiden Rahmen. Es hängt aber vom Kontext ab, in welchem Rahmen Lerner Bakterien denken. Bei den von uns befragten Lernern konnten keine Konzepte erfasst werden, die sich den beiden Denkfiguren „Pflanze“ und „Unbelebter Schmutz“ subsumieren lassen. Dieser Befund dürfte auf die experimentellen Erfahrungen dieser Lerner zurückzuführen sein: Bakterienkolonien konnten nur in Ansätzen wahrgenommen werden, denen Nährstoff beigegeben wurde. Darin gründet die Vorstellung „Essen“. Zudem wurden die Petrischalen in einem dunklen Brutschrank gehalten, Pflanzen aber benötigen Licht, um wachsen zu können.

8 Konsequenzen für die Vermittlung mikrobiologischer Inhalte

Offensichtlich nutzen Lerner die Denkfiguren *Mikroben als Behälter, Mikroben als Tiere und Menschen, Mikroben als Pflanzen*

Tab. 3: Vier Denkfiguren strukturieren die mikrobiologischen Lernerkonzepte

Denkfigur	Zugeordnete Konzepte
<p><i>Mikroben als kleine Behälter</i> Mikroben (Bakterien) werden als Behälter gedacht. Es sind unsichtbare biologische Gegenstände, die mithilfe eines Mikroskops wahrnehmbar werden und aufgrund ihrer Größe mit Filtern abgetrennt werden können. Mikroben sind unklar klein. Bakterien sind eukaryotischen Zellen ähnlich, aber von Gestalt einfacher als diese. Mikroben sind alle gleich. Bakterien sind Zellen, die eine besondere Begrenzung aufweisen. Der bakterielle Behälter wird größer oder teilt sich (oder beides). Die mikrobielle Wachstumsgeschwindigkeit ist unklar. Bakterien bilden Kolonien, die mit bloßem Auge wahrgenommen werden können. Kolonien entstehen dadurch, dass entweder ein einziges Bakterium größer wird, durch <i>Teilung</i> oder durch <i>Größer-Werden</i> und <i>Mehr-Werden</i> von Bakterien.</p>	<p><i>Bakterien als Behälter</i> <i>Mikroben</i> <i>Mikroben = Bakterien</i> <i>Mikroskopische Bakterien</i> <i>Filtrierbare Bakterien</i> <i>Unklar klein</i> <i>Eukaryotische Zellen</i> <i>Klein = einfach</i> <i>Uniforme Bakterien</i> <i>Behälterzerstörung</i> <i>Behältervergrößerung</i> <i>Behälterteilung</i> <i>Wachsen und teilen</i> <i>Unklare</i> <i>Wachstumsgeschwindigkeit</i> <i>Kolonie = Bakterium</i> <i>Teilen</i></p>
<p><i>Mikroben als Tiere (und Menschen)</i> Mikroben sind (wie) kleine Tiere (z. B. Ameisen), zum Wachstum benötigen sie Nährstoff. Bakterien (Pilze, Viren) essen und scheiden auch aus. Das Antibiotikum Penicillin vergiftet die bakteriellen Nährstoffe. Bakterien müssen mit der Nahrung in Kontakt kommen um zu essen. Deshalb sind Bakterienkolonien hohl, weil die Bakterien im Inneren verhungern. Geben die äußeren Bakterien allerdings Nährstoff weiter, leben auch im Inneren einer Kolonie Bakterien. Die Teilung von Bakterien kann als Mutter-Kind-Verhältnis verstanden werden. Da die Mutter dabei in zwei neuen Leben aufgeht, sind Bakterien unsterblich. Bakterien sind beweglich, deswegen sind sie auch überall anzutreffen. Die bakterielle Fortbewegungsgeschwindigkeit kann hoch oder gering sein. Bakterien können sich wie der Mensch zielgerichtet auf Gegenstände zu bewegen. Das befähigt sie, sich zu Kolonien zusammenzufinden. Bakterien haben ein Motiv Kolonien zu bilden. Bakterien kämpfen, Antibiotika sind Waffen gegen Bakterien.</p>	<p><i>Mikroben = Tierlein</i> <i>Wachstum braucht Bedingungen</i> <i>Essen</i> <i>Gift</i> <i>Hohlkugel</i> <i>Kugel</i> <i>Mutter</i> <i>Unsterbliche Bakterien</i> <i>Eigenbewegliche Bakterien</i> <i>Ubiquitäre Bakterien</i> <i>Mikroschnelle Bakterien</i> <i>Klein = langsam</i> <i>Person</i> <i>Zielgerichtete Bakterien</i> <i>Versammlung</i> <i>Kampf</i> <i>Penicillin als Waffe</i></p>
<p><i>Mikroben als Pflanzen</i> Bakterien stehen wie Pflanzen still. Bakterienkolonien wachsen wie Pflanzen in die Höhe. Einzelne Bakterien können sprossen. Bakterien können wie Unkraut auf dem Acker mit Herbiziden abgetötet werden.</p>	<p><i>Sessile Bakterien</i> <i>Pflanzliche Kolonien</i> <i>Sprossen</i> <i>Bakterien als Unkraut</i> <i>Gift</i></p>
<p><i>Mikroben als unbelebter Schmutz</i> Mikroben sind Dreck. Dreckige Bakterien machen Entzündungen. Mikroben können mitbewegt werden. Sie sind aus Staubteilchen (Atomen, Stoffen) zusammengesetzt, Bakterien können sich aus Stoffen neu zusammensetzen. Bakterien leben nicht, sie sind immerwährend.</p>	<p><i>Mikroben = Dreck</i> <i>Kontamination</i> <i>Mitbewegte Bakterien</i> <i>Zusammengesetzte Mikroben</i> <i>Ewig beständige Bakterien</i></p>

oder Mikroben als unbelebter Schmutz (s. Tab. 3) um Verständnis an die Welt der Mikroben heranzutragen. Zwei unterrichtliche Möglichkeiten bieten sich hier auf dem Weg zu fachlich tragfähigen Vorstellungen an: Erfahrungen mit Mikroben stiften als Grundlage zur Bildung von Vorstellungen und Angebote machen zur Bearbeitung verfügbarer Vorstellungen. Erfahrungen mit Mikroben können einerseits durch Experimente zur Lebenstätigkeit von Mikroorganismen, durch Mikroskopieren und durch licht- oder elektronenmikroskopische Abbildungen von Mikroben erlangt werden (vgl. Schneeweiß, 2008; 2010).

Angebote zur Bearbeitung verfügbarer Vorstellungen können andererseits von den verwendeten Metaphern ausgehen und diese kritisch betrachten (vgl. Langlet 2004; Gropengießer, 2007). Die vorgelegten Ergebnisse aus der Interviewstudie belegen, dass die in mikrobiologischen Erfahrungen gründenden Lernervorstellungen in der Hauptsache auf metaphorische Projektion zurückgehen. Alle Lerner nutzen in der Regel Vorstellungen, die in nichtmikrobiologischen Erfahrungen gründen, um mikrobiologische Strukturen und Prozesse zu verstehen. Dies ist aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens auch zu erwarten. Es wird aber danach zu fragen sein, welche Metaphern geeignet sind, um fachlich tragfähige Verständnisse zu erreichen.

Wenn wir Mikroben metaphorisch als *Behälter* vorstellen, dann sind bestimmte Verständnisschwierigkeiten zu erwarten, weil unser Leib vielzellig ist, der Zelleib hingegen Teil einer Zelle ist. Bakterien vermehren sich durch Teilung, deswegen sind sie im Vergleich zu vielzelligen, tierlichen und pflanzlichen Lebewesen einerseits potenziell unsterblich andererseits endet die Existenz eines individuellen Bakteriums mit der Zellteilung. Nehmen Mikroben Nahrung auf, befindet sich diese innerhalb der mikrobiellen Zelle. Demgegenüber befindet sich Nahrung, die wir gegessen und heruntergeschluckt haben, aus biologischer Perspektive noch außerhalb unseres Leibes. Mi-

kroben metaphorisch als essend, verdauend und ausscheidend zu denken ist deswegen eine fachlich anspruchsvolle Analogie. Lerner können hier die Vorstellung entwickeln, dass Mikroben und Menschen mithilfe von Exoenzymen komplexe Nährstoffe zerlegen und die Produkte dann aufnehmen.

Wenn Mikroben metaphorisch als Tiere oder Menschen und Pflanzen betrachtet werden, eröffnen diese widersprüchlichen Denkfiguren die Möglichkeit, sowohl etwas über die Eigenheiten der Mikroben als auch über die Eigenheiten der Tiere und Pflanzen zu lernen. Dazu sind die Begriffe »Leben« und »lebendig« so zu fassen, dass sie nicht nur auf Menschen und Tiere passen, sondern auch auf Mikroben, Pflanzen und Pilze. Aus dieser Perspektive ist es allerdings kaum sinnvoll Mikroben – wie es die Denkfigur *Mikroben als Tiere* impliziert – Ziele und Absichten zu unterstellen. Demgegenüber kann die Vorstellung entwickelt werden, dass Bakterien mithilfe der Chemotaxis (Fuchs, 2006, 518) treffen ohne zu zielen.

Lerner können sich Mikroben als *unbelebten Schmutz* vorstellen. Mithilfe mikroskopischer Erfahrungen können Lerner Vorstellungen von Mikroben als fortbewegungs- und vermehrungsfähige Lebewesen entwickeln. Wenn wir diese Lebenstätigkeiten der Mikroben beschreiben, sind wir geneigt, einerseits verkörperte Vorstellungen von »gehen«, »kriechen«, »schwimmen« und andererseits von »Geburt«, »Familie«, »Tod« metaphorisch zu verwenden. Diese Rede- und Denkweisen sind einfach für uns, aber es sollte immer geprüft werden, inwieweit die mikroskopischen Erfahrungen mit diesen Ausdrücken treffend beschrieben werden und inwieweit genau der Aspekt beleuchtet und hervorgehoben wird, der gemeint ist. Beispielsweise werden Bakterien, die eine Flagelle aufweisen, durch deren Rotation vorwärts getrieben. Änderungen der Bewegungsrichtung gehen auf eine Umkehrung der Rotationsrichtung der Flagelle zurück. Mit den Denkfiguren und den zugehörigen Lernerkonzepten werden die Vorstellungen zu Mikroben katalogisiert. Dies kann schon

bei der Planung von Unterricht mit mikrobiologischen Inhalten hilfreich sein, um z. B. Lernschwierigkeiten vorauszusehen. Im Unterricht können die Vorstellungen für die Diagnose verfügbarer individueller Lernervorstellungen sowie von Vorstellungsentwicklungen genutzt werden. Vermittlungsexperimente (Schneeweiß, 2010) zeigen, wie Lernprozesse durch mikrobiologische Erfahrungen und durch Angebote zur Bearbeitung verfügbarer Vorstellungen angesprochen und gestaltet werden können.

Wir danken den anonym gutachtenden Personen für weiterführende kritische Hinweise.

Literatur

- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *ZfDN*, 10, 7-28.
- Bandiera, M. (2007). Micro-organisms: everyday knowledge predates and contrasts with school knowledge. In R. Pinto & D. Couso (Eds.), *Contributions from science education research* (pp. 213-224). Berlin: Springer Verlag.
- Barenholz, H. & Tamir, P. (1987). The design, implementation and evaluation of a microbiology course with special reference to misconceptions and concept maps. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. International Seminar "Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics"*, 1, 32-45.
- Bast, E. (2001). *Mikrobiologische Methoden: eine Einführung in grundlegende Arbeitstechniken*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bayrhuber, H. & Stolte, S. (1997). Schülervorstellungen von Bakterien und Konsequenzen für den Unterricht. In H. Bayrhuber, u.a. (Hrsg.), *Biologieunterricht und Lebenswirklichkeit* (S. 311-315). Kiel: IPN.
- Brumby, M. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.
- Dreyfus, A. & Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10th graders: curricular expectations and reality. *International Journal of Science Education*, 10(2), 211-229.
- Dreyfus, A. & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23(1), 49-55.
- Duit, R. (2008). Bibliography STCSE. *Students` and teachers` conceptions and science education*. Abgerufen am 28. 12. 2008 unter: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse>.
- Flores, F. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: an integrated view. *International Journal of Science Education*, 25(2), 269-286.
- Fuchs, G. (Hrsg.) (2006). *Allgemeine Mikrobiologie*. Stuttgart: G. Thieme Verlag.
- Gould, S.J. (1999). *Illusion Fortschritt*. Frankfurt: Fischer Verlag.
- Gropengießer, H. (1997). *Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 1*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum der Universität.
- Gropengießer, H. (2003). *Lebenswelten / Denkwelten / Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 4*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum der Universität.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Glaeser-Zikuda, (Hrsg.), *Die Praxis der qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim* (S. 172-189): Beltz Verlag.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien der biologiedidaktischen Forschung* (S. 105-116). Berlin: Springer Verlag.
- Helldén, G. (1999). A longitudinal study of pupils` understanding of conditions for life, growth and decomposition. In M. Bandiera, S. Caravita, E. Torracca, M. Vicentini (Eds.), *Research in Science Education in Europe* (pp. 23-30). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Helman, C.G. (1978). "Feed a cold, starve a fever" – folk models of infection in an english suburban community, and their relation to medical treatment. *Culture, Medicine and Psychiatry*, 2, 107-137.
- Hilge, C. (1999). *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zu Mikroorganismen und mikrobiellen Prozessen – ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion*. Dissertation: Universität Oldenburg.
- Hörsch, C. (2007). *Biologie verstehen: Mikroorganismen und mikrobielle Prozesse im Menschen*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky.
- Johnson, M. (1992). *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning, Imagination, and Reason*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Jones, M.G., Andre, T., Superfine, R. & Taylor, R. (2003). Learning at the Nanoscale: the impact of students' use of remote microscopy on concepts of viruses, scale, and microscopy. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(3), 303-322.
- Kattmann, U. (2004). Bioplanet Erde: Erdgeschichte ist Lebensgeschichte. *UB*, 28(299), 4-14.
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakoff, L. & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh*. New York: Basic Book.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (2004). *Leben in Metaphern*. Vierte, korrigierte Auflage. Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag.
- Langlet, J. (2004). Wie leben wir mit Metaphern im Biologieunterricht? In H. Gropengießer, A. Janßen-Bartels & E. Sander (Hrsg.), *Leben fürs Leben*. Köln (S. 51-59): Aulis Verlag.
- Leach, L., Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. (1995). Children's ideas about ecology 1: theoretical background, design and methodology. *International Journal of Science Education*, 17(6), 721-732.
- Leach, L., Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. (1996). Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, (18)2, 129-141.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. & Parker, J. (2001). *Mikrobiologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Mayring, P. (2003). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz Verlag.
- Nagy, M.H. (1953). The representation of germs by children. *Journal of Genetic Psychology*, 83, 227-240.
- Prout, A. (1985). Science, health and everyday knowledge: a case study about the common cold. *European Journal of Science Education*, 7(4), 399-406.
- Riemeier, T. (2005). *Biologie verstehen: Die Zelltheorie*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.
- Russel, T. & Watt, D. (1990). *Growth. Primary Space Project Research Report*. Liverpool: University Press.
- Schneeweiß, H. (2003). Trinkwasser und Hygiene. *Praxis der Naturwissenschaften/Biologie in der Schule*, 7(52), 41-43.
- Schneeweiß, H. (2008). *Bakterien und ihre Lebensweise verstehen lernen. Lehr-Lernforschung zur Verständnisentwicklung durch Laborarbeit, Modelleinsatz und Gespräch*. Dissertation: Leibniz Universität Hannover.
- Schneeweiß, H. (2010, im Druck). *Biologie verstehen: Bakterien*. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität.
- Simonneaux, L. (2000). A study of pupils' conceptions and reasoning in connection with 'microbes', as a contribution to research in biotechnology education. *International Journal of Science Education*, 22(6), 619-644.
- Steffe, L.P. & D'Ambrosio, B.S. (1996). Using teaching experiments to understand students' mathematics. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 65-76). New York: Teacher College Press.
- Teixeira, F. M. (2000). What happens to the food we eat? Children's conceptions of the structure and function of the digestive system. *International Journal of Science Education*, 22(5), 507-520.
- Vollmer, G. (2002). *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Hirzel Verlag.
- Whitman, W.B., Coleman, D.C. & Wiebe, W.J. (1998). Prokaryotes: the unseen majority. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 95, 6578-6583.
- Zamora, S. E. & Guerra, M. (1993). *Misconceptions about cells. 3rd International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. New York: Cornell University.

Kontakt

Prof. Dr. Harald Gropengießer
 Institut für Didaktik der Naturwissenschaften (IDN),
 Naturwissenschaftliche Fakultät,
 Leibniz Universität Hannover
 Bismarckstr. 2
 D-30173 Hannover
gropengiesser@biodidaktik.uni-hannover.de

Autoreninformation

Dr. Dr. Horst Schneeweiß promovierte 1991 zu einem immunbiologischen Thema und 2008 in der Philosophischen Fakultät der Leibniz Universität Hannover zu einem biologiedidaktischen Thema. Er arbeitet als Lehrer an einem Hamburger Gymnasium.

Dr. Harald Gropengießer ist Professor für Didaktik der Biologie an der Leibniz Universität Hannover.

