

Markus Rehm/Markus Vogel:

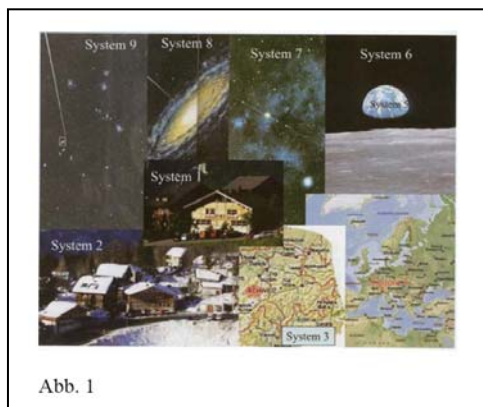
Ein Unterrichtsbeispiel

(ausführliche Fassung zu Abb. 1 im Beitrag „Sprung in die ‚Andersweltlichkeit der Atome‘“ in PÄDAGOGIK 7-8/2013)

Unser Unterricht beginnt im Stuhlkreis, so dass man sich gegenseitig ins Gesicht schauen kann. In der Mitte ist es leer, aber außerhalb des Stuhlkreises können die Schülerinnen und Schüler Teile meines Fahrrades sehen: In dieser Ecke ein Rad, in einer anderen den Sattel: unter der Tafel liegt das andere Rad und der Fahrradrahmen nochmals woanders. Wir begrüßen uns und ich hole die Fahrradklingel aus meiner Hosentasche hervor. Was ist das überhaupt und wo gehört es hin? *Gibt es* denn überhaupt ein Fahrrad in diesem Raum, oder gibt es das streng genommen gar nicht? Ich habe noch keine Klasse unterrichtet, in der nicht die Schülerinnen und Schüler an dieser Stelle in eine lebhaftige Diskussion darüber gerieten, ob das, was wir eine Ansammlung von „Teilen eines Fahrrads“ nennen, bereits „das Fahrrad“ ist oder noch nicht. „Aber dieses Ding, hier – Ist meine Klingel?“ »Natürlich!« Und darüber gibt es keinen Streit, denn ihre Zusammensetzung ist „vollständig“. Und dieses Klassenzimmer? Ja es ist auch zusammengesetzt. Es ist also ein eigenes „System“ und gleichzeitig doch auch „Teil“, „Komponente“ eines größeren Systems – der Schule. Das Schulgebäude ist ja selbst Teil der Stadt und die Stadt ist Teil von Deutschland – je nach dem wo man gerade ist. Wir schauen aus dem Fenster: Wir sehen die Berge, gigantische Massen, aber auch am Meer werden die Schülerinnen und Schüler sicher den Sand problemlos als markante Komponente ihres Landes akzeptieren.

Es macht den Jungen und Mädchen Spaß, sich einen Überblick davon zu verschaffen, was sie bis dahin gelernt haben. Wir fangen jetzt an, über „Verschachtelung“ und „Ebenen“ zu sprechen. Das Klassenzimmer nennen wir die „Verschachtelungsebene null“. Dann ist die Schule die Ebene +1, die Stadt die Ebene +2, das Land die Ebene +3, Europa die Ebene +4, die Erde die Ebene +5, das Paar Erde und Mond sind Systemebene +6, unsere Sonnensysteme Ebene +7, unser Spiralnebel, den wir als Milchstraße wahrnehmen die Ebene +8, unsere sogenannte „Lokale Gruppe“ die Ebene +9. Wie weit wird das gehen? Wie viele Stufen liegen noch vor uns?

[Geben Sie ein Zitat aus dem Dokument oder die Zusammenfassung eines interessanten Punkts ein. Sie können das Textfeld an einer beliebigen Stelle im Dokument positionieren. Verwenden Sie die Registerkarte 'Zeichentools', wenn Sie das Format des Textfelds 'Textzitat' ändern möchten.]



Regelmäßig kommt an dieser Stelle eine interessante Diskussion auf, wie wir mit der Situation umgehen sollen. Und regelmäßig kommt auch der Vorschlag, ein Fragezeichen (?) an den äußeren Rand unserer Systemverschachtelung zu setzen. Wir gehen den Weg auch zurück – das ist in der Abb. 1. dargestellt und wenn wir wieder im Klassenzimmer angekommen sind, bitte ich die Schülerinnen und Schüler eine Skizze zu zeichnen, was sie bis jetzt gelernt haben. Normalerweise gibt es jetzt auch Hausaufgaben: Nimm irgendein System, beschreibe seine Besonderheiten und Eigenschaften und beschreibe auch seine Teile und deren Besonderheiten und Eigenschaften. – Es ist ratsam, an diesem ersten Tag nicht mehr weiter zu gehen.

Die Hausaufgaben: Einige Schülerinnen und Schülern bringen ihre Handys, ihren Computer ... ins Spiel, andere Bäume, Möbelstücke, Mofas.

Bin es auch etwas das kein System ist? frage ich. Aber die Schülerinnen und Schüler finden nichts. Ein leeres Blatt Papier? Bald schon haben wir die Papierfasern mit dem Mikroskop entdeckt. Was lernen wir:

- Ein System hat neue (andere, zusätzliche) Eigenschaften, Beschaffenheiten im Vergleich zu ihren Einzelkomponenten.
- Die Komponenten können Eigenschaften und Beschaffenheiten haben, die das System nicht zeigt,
- Ein System besteht einerseits aus Komponenten,
- es kann aber zugleich auch Komponente eines größeren Systems sein.
- lebendige und technische Systeme unterscheiden sich in ihrer Qualität: die einen können sich selbst reproduzieren und wachsen durch eigenständige Materialaufnahme, die anderen können das prinzipiell nicht.

Für letztere Einsicht haben wir diskutiert, dass ein Fahrrad, ein Kugelschreiber, ein Bleistift technische Systeme sind, Erfindungen der Menschen und Kulturprodukte. Ein Ei, eine Zimmerlinde, die Fliege am Fenster dagegen sind lebendige, "organische" Systeme. Zu den technischen Systemen kann man Konstruktionspläne anfertigen, organische Systeme entwickeln sich anders: sie wachsen, sie können (oder konnten) sich fortpflanzen, sie sind (meist) Stadien in einer Kette von Formänderungen (Metamorphosen).

Es ist auch sinnvoll zu überlegen, welche Handlungen

- zu Zerstörungen des Systems führen;
- zu veränderten Systemen führen: ein Kugelschreiber kann auseinander genommen werden und mit der Mine kann man noch schreiben, aber das System 'Kugelschreiber' ist dabei zerstört. Häufig lassen sich essentielle, unverzichtbare Komponenten und zusätzliche (häufig: entbehrliche) Komponenten unterscheiden;
- zu verkleinerten, aber isomorphen (selbstähnlichen) Systemen führen: Ein Blatt DIN A4-Papier kann in zwei gleichgroße, isomorphe Blätter zerschnitten werden.

Bei diesen Diskussionen ergibt sich oft, dass man unterschiedliche Standpunkte einnehmen und dementsprechend die Sachlage unterschiedlich beurteilen kann.

Nachdem wir die Situation unter Verwendung der Hausaufgaben gründlich besprochen haben, wechseln wir jetzt die Richtung. Wir kommen zu den Ebenen, die wir mit Minuszeichen bezeichnen; diese „Reise nach innen“ ist gerade so interessant, wie die Reise an den Rand des Universums. Auch Jede und Jeder von uns ist als Körper ein System – Ebene -1; wir haben alle Kopf, Rumpf und Gliedmaßen. Und auch der Kopf ist Komponente und System (Ebene -2) zugleich, dessen Komponenten „die Haare“ das System -3 bilden. Ein Einzelhaar (Ebene -4) kann nicht wie ein Haarschopf (Ebene -3) „nett aussehen“ oder „den Kopf wärmen.“

Wenn wir unser eigenes Haar im Mikroskop betrachten, sehen wir zwar, dass auch dieses ein System bildet, weil wir einige Komponenten, die schuppige Oberfläche zum Beispiel, erkennen können, kommen aber bald auch an die Leistungsfähigkeit des Lichtmikroskops. Dieses arbeitet ja noch nach dem gleichen Prinzip wie wir mit unserem Augen sehen, aber bei den „besseren“ Mikroskopen ist dies dann nicht mehr der Fall. Das Lichtmikroskop gibt bei 1 μm nur noch unscharfe Bilder (links unten in Abb. 2); bei dieser Größenordnung kommt es an seine Grenzen. Also hier gibt es irgendwie ein rätselhaftes Hindernis. Das Elektronenmikroskop und das Rastertunnelmikroskop arbeiten anders. Wie der Ausdruck *scanning* im Englischen Namen für das Rastertunnelmikroskop („Scanning Tunnelling Microscope“) schon andeutet entsteht bei ihm ein Bild auf der Basis von Tausenden und Tausenden Spannungsmessungen, die gemäß der automatischen Messsensorführung zu Bildern umgerechnet werden. Wer schon mal bei einer Aufnahme dabei war und dann gesehen hat, wie die Kontrollaufnahme (d.h. die zweite Messreihe unter beibehaltenen Randbedingungen) jedes Mal zu einem neuen Bild führt, das nicht mehr identisch ist mit dem ersten Bild, wohl aber die gleichen Muster erkennen lässt, lernt zu ahnen, dass wir hier die ewige Bewegung der atomaren Welt zu spüren bekommen – das, was Wagenschein auf ein „unheimliches Fiebern, ... auf eine ständige, stoßende Unruhe, ein Mikroieber, ein Unaufhörliches“ zurückführt, das immer da ist und das einfach zur Materie dazugehört“. (Wagenschein & Buck 1984, S. 10). Die „ewige Bewegung“, das *perpetuum mobile* ist hier am Werke und es ist deutlich, dass wir hier die andere Welt der Atome und Elementarteilchen bereits betreten haben.

Beim Rastertunnelmikroskop sind es Berechnungen, die zu *virtuellen* Bildern führen und die also nicht mehr auf einem Akt des Einfach-Hinsehens beruhen. Wir sind an einem heiklen Punkt unseres Unterrichts angekommen. Unsere didaktische Brücke, die von der Makrowelt der Dinge zur Mikrowelt der Teilchen führen soll, verlangt einen *Sprung* von der visuellen Vorstellungswelt der Brückenseite der Dinge aus hinüber zur Anderswelt der Atome und Elementarteilchen. Sind wir schon bereit für diesen Sprung?

Bis jetzt haben wir gelernt, dass jede neue Ebene Anlass gibt, neue Eigenschaften zu registrieren, oder aber auch, dass Eigenschaften irrelevant werden, „wegfallen“. Das System kann neue Wirkungen hervorrufen, deren Möglichkeiten die Komponenten, für sich genommen, noch nicht einmal andeuteten. Hier, beim Übergang vom Lichtmikroskop zum Rastertunnelmikroskop stoßen wir ja auf eine solche Situation. Und vom Hörensagen wissen wir auch, dass das Verschachtelungsprinzip noch weitergeht, uns also das Brückengeländer liefert, an dem wir uns fortorientieren können. Denn was wir über Moleküle und Atome in den Büchern lesen können, die diesen Sprung nicht leugnen, passt ins Bild. Setzen wir uns also an die Recherche, wie die Wissenschaftler das herausgefunden haben, schon zu Zeiten, als es *nur* Lichtmikroskope gab, die doch gar nicht dafür geeignet waren, etwas über die atomare Anderswelt herauszufinden. Wir finden dabei auch, dass das meist unvorhersagbare Hervorgehen neuer Eigenschaften („Emergenz“), ebenso wie der Systemgedanke mittlerweile auch in den Naturwissenschaften eine anerkannte Denkfigur darstellt (vgl. etwa Clayton 2008, Kapitel III).

In diesen früheren Zeiten hätten die Wissenschaftler Skizzen gezeichnet. Heutzutage gibt es Computerprogramme, mit denen virtuelle Bilder gezeichnet werden können. Sie haben seinerzeit Modelle erfunden und das können wir ja auch tun. Wir können z.B. eine Skizze wie einer schematischen Zeichnung des Systems „Menschenhaar“ auf der Ebene –4 anfertigen. Darin wird festgehalten, was man über dieses System „weiß“. Und so können auch wir das auch auf den anderen Eben tun. Wir wissen, dass wir einen „Sprung“ machen müssen. Nämlich dann wenn wir unsere Wissen nicht mehr aus Bildern schöpfen können. Durch die

Verschachtelung der Welt in Systeme können wir festhalten, was wir inzwischen über die Welt gelernt haben, einschließlich der Situation, dass wir ganz außen und ganz innen Fragezeichen setzen müssen.

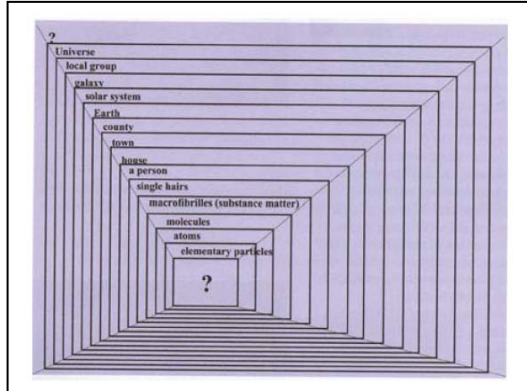


Abb. 2

Was ist es, was wir dabei über die „submikroskopische Welt“ gelernt haben?

- Atome sind sowohl Komponenten „höherer“ Systeme als auch selbst Systeme.
- Ihre Eigenschaften und Beschaffenheiten sind anders, verschieden von den Eigenschaften und Beschaffenheiten, die wir von den Dingen her kennen, welche wir in die Hand nehmen können.
- Auch die Naturgesetze, die dort gelten können anders sein (etwa die Einstein-Beziehung).
- Atome sind letztlich Gedankenkonstrukte, jedenfalls keine Dinge wie Tassen und Löffel.
- Alle materiellen Systeme auf der Erde bestehen aus Atomen.

Was wir gelernt haben ist auch mehr: Wir haben nun ein Orientierungsprinzip zur Hand. Wir „verstehen“ mit seiner Hilfe anders: wir verstehen durch *Verorten* und nicht durch Erklären. Wenn wir, zum Beispiel, die eindrucksvollen Farbänderungen beobachtet haben, die Schwefel beim langsamen Erwärmen zeigt, dann können wir sofort sagen: Die Farbe ist keine Eigenschaft auf der Ebene der Atome, sondern, „weiter oben“, der Stoffportionen. Oder wir finden (indem wir in Tabellenbüchern schauen und etwas rechnen), dass die Masse von 1 mol Kohlenstoff *nicht* die Summe der Massen von je sechs Mol Protonen, Neutronen und Elektronen ist. Klar! – Hier gilt ja nicht mehr das Gesetz von der Erhaltung der Masse, sondern die Einstein-Beziehung. Und wir verstehen ziemlich schnell, warum ganz genau 12,00 Gramm Diamant *nicht* genau so viele Kohlenstoffatome enthält wie genau 12,00 Gramm Graphit (Dobbelaere, Lutgerink & Buck, 2006).

Barke, Hans Dieter & Wanjek, Jörg (1999): *Strukturorientierte Einführung in die Allgemeine und Anorganische Chemie*, Band 2. Münster: Schöningh Verlag

Barke, Hans-Dieter (1998): *Strukturorientierte Einführung in die Allgemeine und Anorganische Chemie*, Band 1. Münster: Schöningh Verlag

Clayton, Philip (2008): *Emergenz und Bewusstsein*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Dobbelaere Jan de, Lutgerink, Jan & Buck, Peter (2006): Goochelen met de constante van Avogadro [Zauberei mit der der Avogadrokonstanten]. In: *NVOX* [Zeitschrift der niederländischen Vereinigung der Lehrpersonen der Naturwissenschaften], Jg. 31, Heft 8, S. 384-386