

Axel Ziemke

Das Auge als Apparat und Organ

Drei Phänomene aus dem Biologie-Unterricht der 9. und 10. Klasse

Altersgemäßes Lernen – entsprechend den Erkenntnissen der anthroposophischen Entwicklungspsychologie – gehört zu den Grundprinzipien der Waldorfschule. Stoff und Methode des Unterrichts sollen den spezifischen Entwicklungsanforderungen einer bestimmten Altersstufe entsprechen. Im Übergang von der 8. zur 9. Klasse wird man diesen Anforderungen unter anderem dadurch gerecht, daß der Epochenunterricht nicht mehr, wie in den Jahren zuvor, durch den Klassenlehrer, sondern durch mehrere Fachlehrer gegeben wird. Die besondere fachliche Qualifikation dieser Lehrer soll der altersgemäßen Entwicklung einer eigenen Urteilsfähigkeit der Schüler dienen. Die Inhalte, die der Fachlehrer im Epochenunterricht der 9. Klasse zu vermitteln hat, sind den Empfehlungen Rudolf Steiners gemäß in vielen Fächern die gleichen wie die, die der Klassenlehrer in der 8. Klasse bereits unterrichtet hat. Auch im Biologieunterricht werden Bewegungsapparat und Sinnesorgane in beiden Klassenstufen zum Thema. Sollen diese Inhalte nun lediglich wiederholt und aus der Fülle des »Fachwissens« des neuen Lehrers ergänzt werden? Keineswegs. Die im Übergang von der Klassenlehrerzeit zur Oberstufe auftretenden, mit der Pubertät des Jugendlichen einhergehenden körperlich-seelischen Veränderungen bringen Entwicklungsanforderungen mit sich, die eine ganz andere Perspektive in der Behandlung der Unterrichtsinhalte verlangen. Gerade in der Behandlung ähnlicher Inhalte kann dieser Perspektivenwechsel gemeinsam mit den Schülern am deutlichsten herausgearbeitet werden.¹ Ich möchte in diesem Beitrag versuchen, anhand dreier Experimente zu zeigen, wie diese neue Perspektive am Beispiel des Auges mit Leben erfüllt werden kann.

1 Da ich dieses Problem hier nur andeuten kann, möchte ich verweisen auf seine ausführliche Behandlung in: Wolfgang Schad (Hg.), Zur Menschenkunde der Oberstufe, Stuttgart 1981 (Manuskriptdruck); Erhard Fucke, Grundlinien einer Pädagogik des Jugendalters. Zur Lehrplankonzeption der Klassen 6 bis 10, Stuttgart 1993

Manfred von Mackensen gab mir in meiner berufsbegleitenden Ausbildung zum Waldorflehrer ein prägnantes Bild für den Biologieunterricht mit auf den Weg: In der 8. Klasse behandeln wir den Menschen so, wie er von Gott in die Welt gestellt wird. In der 9. Klasse behandeln wir den Menschen, wie er sich selbst in die Welt stellt.

Apparat und Organ

Der Schüler begegnet dem Auge als Unterrichtsthema zuerst in den Physikepochen der Mittelstufe. Hier wird ihm deutlich gemacht, daß sein Wissen über Linsen und ihre Abbildungseigenschaften auch für ein Verständnis des menschlichen Auges von Nutzen sein kann. Im Biologieunterricht der 8. Klasse wird dieses Verständnis vertieft. Das Auge wird zum Objekt der Betrachtung gemacht und daraufhin untersucht, wie es als optisches System biologisch realisiert ist. Man kann hierzu ein vom Schlachthof besorgtes Rinderauge präparieren, behandelt die Abbildungseigenschaften der Augenlinse und ihre Störungen und geht auf die Regulation des Lichteinfallendes durch die Regenbogenhaut (die Pupillenadaptation) sowie das Scharfstellen der Abbildung auf der Netzhaut durch die Wölbung und Abplattung der Linse mit Hilfe der Ziliarmuskeln ein (die Akkomodation). Der Mensch erscheint so ausgestattet mit einem perfekten optischen Apparat, mit dem die Umwelt in das Innere des Menschen »abgebildet« werden kann.

Das durch die »objektive« Betrachtungsweise bewirkte Vertrauen des pubertierenden Jugendlichen in seinen Körper, dem er in diesem Alter zunächst kritisch und »fremdelnd« gegenübersteht, soll nun auch in der 9. Klasse nicht enttäuscht werden. Es soll aber deutlich werden, daß nicht die Optik des Auges diese bewundernswerte Perfektion bewirkt, sondern die Einbindung des Auges in den ganzen Menschen, der sich aktiv handelnd in die Welt stellt. Bereits Helmholtz, der Ende des vorigen Jahrhunderts zu den Wegbereitern einer experimentellen Erforschung der Sinne des Menschen wurde, verwies in sehr eindrücklichen Worten darauf, daß das Auge schon auf Grund seiner erheblichen chromatischen und sphärischen Aberration, also der farbigen Ränder und der Verzerrungen des Netzhautbildes, optisch gesehen eine Fehlkonstruktion sei: »Nun ist es nicht zuviel gesagt, daß ich einem Optiker gegenüber, der mir ein Instrument verkaufen wollte, welches die letztgenannten Fehler hätte, mich vollkommen berechtigt glauben würde, die härtesten Ausdrücke über die Nachlässigkeit seiner Arbeit zu gebrauchen und ihm sein Instrument mit Protest zurückzugeben.«² Zumindest ein »Konstruktionsfehler« des Auges, nämlich der »blinde Fleck«, ist dem Neuntkläßler in der Regel aus der 8. Klasse deutlich in Erinnerung.

Die moderne Sinnesphysiologie und Hirnforschung hat heute den Eindruck immer klarer bestätigen können, den schon Helmholtz und seine Zeitgenossen hatten: Das Auge ist in seinem Zusammenhang mit den Sehzentren des Gehirns nicht in erster Linie ein Instrument der passiven Weltabbildung, sondern der aktiven Weltkonstruktion.³ Betrachten wir das Auge aus physikalischer Sicht als

2 Hermann v. Helmholtz, Populäre wissenschaftliche Vorträge, Heft 2, Braunschweig, Wiesbaden 1871; zit. nach Christoph v. Campenhausen, Die Sinne des Menschen, Stuttgart, New York 1993

3 Als Beleg dieser Behauptung verweise ich auf: Axel Ziemke und Olaf Breidbach (Hg.), Repräsentationismus. Was sonst? Eine kritische Auseinandersetzung mit dem repräsentationistischen Forschungsprogramm in den Neurowissenschaften, Braunschweig, Wiesbaden 1996

»Apparat«, so würde es nun darum gehen, das Auge aus biologischer Sicht als »Organ« zu sehen, also als Glied des sich aktiv in seiner Umwelt orientierenden und diese Umwelt verändernden menschlichen Organismus.⁴

Diese andere Betrachtungsweise gilt es nun dem Schüler nicht gewissermaßen »philosophierend«, sondern phänomenal erlebbar zu vermitteln. Allerdings wird jetzt auch die Art, wie man zu solchen Phänomenen gelangt, eine andere sein müssen als die »objektivierende« Arbeitsweise der 8. Klasse, in der man das Auge überwiegend »von außen« untersucht hat. Um das Auge in seiner welt-schöpfenden Aktivität zu erleben, muß der Schüler sich selbst sehend erleben, muß er die Aktivität seines Auges »von innen« betrachten. Dem Wechsel der Perspektive in der Behandlung des Auges entspricht so ein ganz realer Perspektivenwechsel in der phänomenologischen Herangehensweise. Aus der Fülle der zu diesem Zwecke anzustellenden psychophysischen Experimente seien hier drei sicher weniger bekannte in den Mittelpunkt gestellt: das Druckphosphem, das Purkinje-Geflecht und der Emmert-Effekt.

Das Druckphosphem

Man blicke mit einem Auge auf die Nasenwurzel und drücke mit einem Finger vorsichtig am äußeren Augenwinkel dieses Auges durch das Augenlid auf den Augapfel.

Was der Schüler als erstes bemerkt, ist zumeist das »Verwackeln« der Welt, das durch die passive Bewegung des Auges ausgelöst wird (und bei aktiven Bewegungen nicht bemerkbar ist). Es bedarf eines genaueren Hinsehens, das dem Neuntkläßler nicht immer leicht fällt, um das mit der Überschrift gemeinte Phänomen zu entdecken: An der Nasenwurzel – also gerade dem Druckpunkt gegenüber – taucht ein dunkler Fleck mit einem hellen Ring darum auf. Oft werden Fleck und Ring von den Schülern farbig beschrieben, seltener sieht ein Schüler die Umkehrung: einen hellen Fleck mit einem dunklen Ring. Auch dieses verschiedenartige Erleben gehört zu dem typisch Individuellen, das in dieser Art von Erscheinungen sichtbar wird. Man kann dieses Experiment in eine Reihe anderer einbinden, in denen man Adaptation, Akkomodation, den blinden Fleck und die Sehgrube als Ort des schärfsten Sehens wiederholend erlebbar macht. Die Beschreibung der Beobachtungen kann zur Hausaufgabe werden. Die Betrachtung dieses und der anderen Phänomene verschiebt man, wie im naturwissenschaftlichen Unterricht an der Waldorfschule üblich, auf den nächsten Tag.

4 Man mißversteht die wissenschaftstheoretischen Zusammenhänge, wenn man die Betrachtung des Auges als Organ seinem Verständnis als Apparat einfach als die »wahre« gegenüberstellt. Für den Augenoptiker kann es völlig hinreichend sein, das Auge als (korrekturbedürftigen) optischen Apparat zu sehen, der Augenarzt oder auch der bildende Künstler muß es hingegen als Organ im Bewußtsein haben. Ebenso ist die Betrachtung des Auges als Apparat in der Mittelstufe zweifelsohne angemessen und seine Behandlung als Organ der altersgemäße Perspektivenwechsel in der Oberstufe.

Den Sinn dieses Aufschubs kann wohl jeder Mensch erahnen, der über ein Problem grübelnd in den Schlaf gesunken und am Morgen mit der Lösung aufgewacht ist. Die schöpferische Wirkung dessen, was nachts geistig mit dem Menschen vorgeht, soll mit dieser Vorgehensweise gewissermaßen in den Unterricht einbezogen werden.⁵

Nicht wenige Schüler werden auf diese Verschiebung der Erklärung mit schiefer Verzweiflung reagieren, denn es beunruhigt den »durchschnittlichen« Neuntkläßler nicht wenig, das Druckphosphem gerade auf der dem Druck des Fingers gegenüberliegenden Seite zu sehen. Diese Verzweiflung und auch die am nächsten Morgen präsentierten Erklärungsversuche zeigen recht deutlich, wie wenig der Schüler die spätestens seit der 8. Klasse bekannte »Umkehrwirkung« der Augenlinse mit seinem eigenen Sehen in Beziehung setzt. Die häufigste Erklärung der Schüler besteht bezeichnenderweise darin, einen optischen Prozeß für das Phänomen verantwortlich zu machen: Der Druck auf das Auge wird »irgendwie gespiegelt«. Es wird einiges didaktisches Geschick erfordern, die Konsequenz dieser Umkehrwirkung für die subjektive Perspektive der 9. Klasse zu verdeutlichen: Der Umkehreffekt der Augenlinse bewirkt, daß Dinge, die in der Welt »oben« sind, auf dem unteren Bereich der Netzhaut des Auges abgebildet werden und umgekehrt. Dinge, die in der Welt »links« sind, werden auf der rechten Seite der Netzhaut des Auges abgebildet und umgekehrt. Die Abbildung der Welt auf der Netzhaut des Auges steht also »auf dem Kopf« und ist »seitenverkehrt«. Das auf diese Weise in das Auge projizierte Licht bewirkt also eine Erregung der Netzhaut, die durch das Gehirn der gegenüberliegenden Seite der Welt zugeordnet werden muß. Auch durch den Druck des Fingers auf den Augapfel wird die Netzhaut des Auges gereizt. Und nun kommt die schwierige Stelle: Wenn diese Erregung, wie es sich für das Auge gehören würde, von dem Licht eines Dinges in der Welt ausgelöst worden wäre, dann müßte sich dieser Gegenstand gerade auf der dem Druckpunkt gegenüberliegenden Seite in der Welt befinden. Das durch den Fingerdruck auf den äußeren Augenwinkel bewirkte Druckphosphem wird von unserem Gehirn also gerade gegenüber, auf der Nasenwurzel gesehen. Im Zusammenhang mit einer optischen Eigenschaft der Linse unseres »Augenapparates« wird hier also ein höchst diffiziler Zuordnungsprozeß des Gehirns im organismischen Prozeß des Sehens zugänglich, in dem die Rolle des Auges als Organ deutlich wird.

Was den Schüler zunächst nicht allzusehr in Verwunderung versetzt, ist die Beobachtung, daß ein mechanischer Reiz eine Sehempfindung hervorruft. Zu alltäglich sind die Erfahrungen, daß man bei einem Stoß gegen das Auge »Sterne« sieht oder Druck auf das Auge eine Helligkeitsempfindung hervorruft. Aus dieser Alltäglichkeit gilt es diese Erfahrung nun herauszuheben: Es ist gerade die

5 Zum Nachlesen sei hier empfohlen: Stefan Leber, *Der Schlaf und seine Bedeutung. Geisteswissenschaftliche Dimensionen des Un- und Überbewußten*, Stuttgart 1996, oder Ernst-Michael Kranich (Hrsg.), *Der Rhythmus von Schlafen und Wachen. Seine Bedeutung im Kindes- und Jugendalter*, Stuttgart 1992

wesentliche Eigenschaft unserer Sinnesorgane im organismischen Zusammenhang des Nervensystems, jeden beliebigen Reiz in die spezifische Empfindung dieses Organs zu verwandeln. Es entspricht der objektivierenden Betrachtungsweise der 8. Klasse, von »adäquaten« Reizen zu reden, für die unser Auge als Apparat »gebaut« ist. In der 9. Klasse sollte deutlich werden, daß nicht der Reiz, sondern die Art, wie sich unser Organismus mit dem Auge als Organ dem Reiz entgegenstellt, bestimmt, was wir sehen: Nicht nur ein Lichtreiz, sondern auch ein chemischer, ein starker akustischer oder eben ein mechanischer Reiz lösen eine Helligkeitsempfindung aus. Johannes Müller formulierte dieses Prinzip schon 1826 in seinem »Gesetz der spezifischen Energien der Sinnesorgane«: »Es ist ganz gleichgültig, von welcher Art die Reize auf den Sinn sind, ihre Wirkung ist in den Energien des Sinnes.«⁶

Erst in der 10. Klasse, wenn man das Gehirn als inneres Organ in seinem psychophysischen Zusammenhang studiert, wird man zu tieferehenden Erklärungen dieses Gesetzes vordringen können. Der ganze Reichtum unserer Sinnenwelt beruht physisch betrachtet auf den monotonen elektrochemischen Entladungen von Nervenfasern. Was wir empfinden, wird – physisch betrachtet – durch den Ort im Gehirn bestimmt, an dem diese elektrochemische Aktivität auftritt. Hier wird man den Bezug zu Hirnreizungsexperimenten herstellen können, die eben zeigen, daß eine Reizung des Sehzentrums zur Empfindung von Lichtblitzen, eine Reizung der somatosensorischen Zentren zu Berührungsempfindungen und eine Reizung der Hörzentren zu Geräuschempfindungen führt. Hier kann dann auch der Anknüpfungspunkt sein, die Drogenwirkung auf das Gehirn naturwissenschaftlich zu behandeln.

Mit diesen Betrachtungen ist das Druckphosphem natürlich noch längst nicht ausgedeutet: Wieso nehmen wir den Fleck dunkel und nicht hell wahr? Wieso ist er von einem hellen Schein umgeben? Um diese Fragen beantworten zu können, müßte man die Verschaltung der Ganglienzellen der Netzhaut untersuchen, das Prinzip der »lateralen Hemmung« kennenlernen und die Organisation der rezeptiven Felder von Ganglienzellen und Nervenfasern studieren. Diese Aufgaben müssen wohl einem Abiturskurs vorbehalten bleiben. Dem Weltinteresse des Neuntkläßlers kann dieser offene Horizont unbeantworteter Fragen aber nur förderlich sein, so daß man ihn beruhigt in diesem Punkt intellektuell unbefriedigt sich selbst überlassen sollte.

Das Purkinje-Geflecht

Dieses Experiment muß man schon am vorangehenden Tage mit der Bitte angehen, daß jeder Schüler eine Taschenlampe mitbringen möchte, die möglichst einen hellen und stark gebündelten Strahl hervorbringen soll. Die Ankündigung, daß sich die Schüler damit »ihr Auge von innen ansehen« sollen, führt bisweilen

6 Johannes Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes der Menschen und Tiere, Leipzig 1826, S. 45

zu etwas Mißtrauen, besonders wenn der Lehrer sich in einer vorangegangenen Chemieepoche nicht als sonderlich sensibel im Umgang mit den Sinnen der Schüler erwiesen hat. Doch klingt diese Ankündigung spannend genug, damit ein hinreichend großer Teil der Schüler seine Vergeßlichkeit oder die mangelnde häusliche Geräteausstattung zu überwinden bereit ist.

Zur Durchführung des Experimentes versetzt man den Raum in ein angenehmes Halbdunkel. Die Schüler sollen auf eine weiße Wand schauen und den gebündelten Strahl der Taschenlampe von der Seite (in einem Winkel von 90° zur Sehrichtung) in ihr Auge richten. Dabei sollen sie mit der Lampe kleine rasche Drehbewegungen ausführen und schauen, was passiert. Es kommt bei diesem Versuch sehr darauf an, daß der richtige Einstrahlwinkel getroffen wird und die Bewegungen klein, aber ausreichend sind. Doch wird es nicht lange dauern, bis die ersten Schüler den gewünschten Effekt bemerken, ihn optimalerweise mit einem altersgemäßen »eh – geil« oder »cool« quittieren und damit die anderen Schüler motivieren, ihre Bemühungen fortzusetzen. Was zumeist als ein charakteristisches »Innenerleben« des Auges sichtbar wird, ist ein Geflecht dunkler »Kanäle« in einer rosa gefärbten »Landschaft«, das sich in immer kleinere Seitenarme verzweigt oder, andersherum betrachtet, von allen Seiten in einige kräftige Hauptarme »zusammenfließt«, um in einem nebulösen »Nichts« zu verschwinden. Auch mit dieser Beobachtung wird der Schüler über Nacht allein gelassen.

Zumeist kommt den Schülern bereits der Verdacht, daß dieses Gewirr von Kanälen Blutgefäße sein könnten. Und so offenbart sich bei einigem Nachdenken recht schnell ein weiterer gigantischer »Konstruktionsfehler« des Auges, wenn man es als optischen Apparat betrachtet. Die Blutgefäße verlaufen auf der dem Licht zugewandten Seite der lichtempfindlichen Oberfläche unseres Auges, der Netzhaut. Wir haben es sozusagen mit einer »Kamera« zu tun, bei der die Versorgungsleitungen für das Blitzlicht über dem Film verlaufen! Das Purkinje-Geflecht entsteht durch den Schatten, den das Netz unserer Blutgefäße im Licht der Taschenlampe auf die Netzhaut wirft. In diesem Blutgefäßmuster zeichnet sich der Bau der Netzhaut recht eindrucksvoll ab: In der Mitte des Geflechtes erkennt man eine mandelförmige Zone, die das Ziel von vielen feinen Blutgefäßen ist, ohne von ihnen durchdrungen zu sein: die Sehgrube. Immerhin der Ort des schärfsten Sehens des Menschen ist optisch »sinnvoll« konstruiert. Das »nebulöse Nichts«, in dem die Gefäße erster Ordnung verschwinden, ist selbstverständlich der »blinde Fleck«, an dem nicht nur der Sehnerv, sondern auch die Blutgefäße in das Auge eintreten. Die genauere Besprechung der Netzhaut zeigt dann, daß sich die optisch sinnlose Konstruktionsweise, »Leitungen« über dem »Film« zu verlegen, auch im Feinbau der Netzhaut fortsetzt: Von den drei Schichten, die bei grober Betrachtung feststellbar sind, ist die Sinneszellenschicht wiederum die dem Licht abgewandte, während Ganglienzellschicht und Nervenfaserschicht »ihren Schatten« auf die erstere werfen.

Nun stellt sich aber natürlich die Frage: Wieso sehen wir die Schatten der Blutgefäße nicht immer, wenn sie doch über der Netzhaut verlaufen? Eng verbunden

damit ist die Frage, wieso wir denn die Taschenlampe immer in leichter Bewegung halten müssen, wenn das Purkinje-Geflecht sichtbar werden soll? Die meisten Schüler haben die Beobachtung gemacht, daß das Geflecht innerhalb von wenigen Sekunden verschwindet, wenn man mit der Bewegung aufhört. Beantworten läßt sich diese Frage erst nach einem genaueren Studium der Netzhautphysiologie: Die Erregung der Sinneszellen der Netzhaut (oder »eines Teils der Netzhaut«, wenn man den Zellbegriff der 11. Klasse vorbehalten will) ist keineswegs proportional dem Lichteinfall. Die Zunahme des Lichteinfalles führt zunächst zu einer starken Erregung der Netzhaut, die dann aber rasch abklingt und auf einem sehr geringen Niveau »hängenbleibt«. Diesen Prozeß nennt man – wie im Falle der Pupillenregulation – »Adaptation«, also »Gewöhnung«. Wir bemerken diesen Prozeß jedesmal, wenn wir in starkes Licht treten und geblendet werden: Nach einer Weile verschwindet der Blendeffekt, und unser Auge »gewöhnt sich« an das Licht, eben weil die Netzhaut »adaptiert«. Die Adaptation der Pupille ist dabei nur eine sehr beschränkte »Grobregulation« innerhalb der ersten drei Sekunden. Umgekehrt sehen wir im Dunkeln zunächst nichts, weil unser Auge an das Licht gewöhnt war, unsere Netzhaut also adaptiert war. Auch hier leistet die Pupillenadaptation nur die »Grobarbeit« der ersten sieben Sekunden. Was wir alltäglich im großen Maßstab beobachten, geschieht beim Verschwinden des Purkinje-Geflechts im kleinen: Die Sinneszellen »gewöhnen sich« an das Schattenmuster der Blutgefäße, so daß es für uns innerhalb weniger Sekunden unsichtbar wird. Die belichteten Sinneszellen adaptieren, die beschatteten adaptieren nicht und bleiben hochempfindlich, so daß das gebeugte und gestreute Licht »unter« den Gefäßen zu der gleichen Erregung führt wie das direkte Licht im unbeschatteten Bereich. Durch die Bewegung der Taschenlampe werden nun immer andere Sinneszellen belichtet bzw. beschattet, so daß diese Adaptationsprozesse nicht auftreten und das Muster in der Bewegung sichtbar bleibt.

Sofort stellt sich natürlich eine weitere Frage: Wieso verschwindet dann aber die Welt, die wir wahrnehmen, nicht ebenso innerhalb weniger Sekunden? Die Antwort ist verblüffend einfach: Weil unser Auge ständig in Bewegung ist! Es ist ein lohnendes Unterfangen, mit den Schülern die Augenbewegungen des Menschen zu studieren: die Sakkaden (Sprungbewegungen), die gleichmäßigen Augenfolgebewegungen, die Vergenzbewegungen, den Vestibulo-Okular-Reflex und den optokinetischen Nystagmus. Aber selbst wenn die »augenfälligen« Augenbewegungen nicht »in Betrieb« sind, führt unser Auge noch eine Fülle kleiner »Zitterbewegungen« aus, die verhindern, daß unsere Netzhaut adaptiert, die also dafür sorgen, daß unser Auge sich nicht »an die Welt gewöhnt«. Mißt man beim Betrachten eines Dias auf einer Leinwand die Augenbewegungen des Menschen, was mit eigens dafür konstruierten »Meßbrillen« möglich ist, und führt den Diaprojektor so mit dieser Bewegung mit, daß ein »stabilisiertes Netzhautbild« entsteht, so bricht die Wahrnehmung des noch so farbenprächtigen Bildes innerhalb weniger Sekunden in ein monotones Grau zusammen. Einen bescheideneren Eindruck dieses Phänomens können wir uns verschaffen, wenn wir

zwei sehr kleine Papierschnipsel auf eine Seite unserer Nase kleben und eine Ecke des einen Schnipsels »anstarren«. Rasch löst sich der andere Schnipsel in der Hautfarbe unserer Nase auf, und bei geduldigem Starren folgt ihm kurz danach der andere. Die Erklärung: Die Kanten der Schnipsel werden so unscharf auf der Netzhaut abgebildet, daß unsere »Zitterbewegungen« nicht mehr für eine hinreichende Veränderlichkeit der Belichtung ausreichen, und die Netzhaut adaptiert an dieser Stelle.

Was in der umständlichen Betrachtung dieses Phänomens offenbar wird, ist wohl der eindrucksvollste und phänomenologisch ergiebigste Unterschied zwischen dem Auge als Organ und seinem »Modell«, der Kamera als optischem Apparat: Während man eine Kamera schön still halten muß, um gescheitete Bilder zu erhalten, muß man das Auge bewegen, um überhaupt etwas zu sehen. Ein Auge, das man der Einbettung in die Bewegungsfähigkeit des Organismus beraubt, ist blind!

Der Emmert-Effekt

Schwarzweiße und farbige Nachbilder sind für ein Verständnis der Netzhautfunktion ausgesprochen ergiebig.

Starrt man etwa 20 Sekunden lang auf einen großen schwarzen Fleck auf weißem Grund, dann adaptiert der Teil der Netzhaut, auf den der Grund abgebildet wird, während der Bereich, auf den der Fleck fällt, kaum adaptiert. Schaut man danach auf eine weiße Fläche, dann werden durch das Licht, das von dieser Fläche ausgeht, die nicht adaptierten Sinneszellen viel stärker erregt als die adaptierten, und wir nehmen einen hellen Fleck auf dunklerem Grund wahr. Schauen wir so lange auf ein farbiges Stück Papier, dann adaptieren in diesem Bereich diejenigen Sinneszellen (Zapfen), die für diese Farbe (z. B. Rot) empfindlich sind, während diejenigen, die für die Gegenfarben empfindlich sind (hier also Grün und Blau), nicht adaptieren. Schauen wir auf eine weiße Fläche, dann werden von deren Licht die nicht adaptierten Zapfen stärker erregt als die adaptierten, und wir sehen ein Nachbild in der Gegenfarbe (hier also blaugrün). Daß diese Erklärung nicht »alles« sein kann, erkennt man daran, daß wir auch im Dunklen oder bei geschlossenen Augen Nachbilder sehen können. Auch diese Begrenztheit einer Erklärung darf man einem Neuntkläßler zumuten.

In dem dritten Experiment, das hier vorgestellt werden soll, nehmen wir ein Nachbild als Instrument, um eine Leistung des Gehirns zu demonstrieren, die uns den aktiven Charakter, mit dem der menschliche Organismus das Auge als Organ in die Welt stellt, sehr eindrucksvoll »vor Augen führt«. Da es hier eigentlich nicht mehr um eine Leistung des Auges, sondern um eine solche des Gehirns als »innerem Organ« geht, führe ich dieses Experiment zumeist erst in der 10. Klasse durch: Wir erzeugen ein Nachbild, indem wir etwa 20 Sekunden auf ein farbiges Papierstück starren und dann auf ein weißes Blatt Papier schauen. Wenn wir das Nachbild vor uns haben, nehmen wir das Papier in die Hand und

bewegen es langsam auf uns zu und dann wieder langsam und so weit es geht von uns weg. Was beobachten wir? Wenn wir das Blatt auf uns zu bewegen, wird das Nachbild rasch immer kleiner, wenn wir das Blatt von uns wegbewegen, wird es immer größer. Es ist wichtig, diese Bewegung langsam genug auszuführen und das Blatt wirklich »im Auge« zu behalten, da das Nachbild etwas Zeit braucht, um für jede Entfernung wieder scharf sichtbar zu sein. Ist uns die Beobachtung gelungen, können wir auch auf eine entferntere weiße Wand schauen. Wenn das Nachbild stark genug ist, werden wir es dort riesenhaft vergrößert sehen können. Es ist, als ob unser Auge ein Diaprojektor wäre, dessen Bild mit wachsendem Abstand immer größer wird, ein Vergleich, der vielen Schülern dabei in den Sinn kommt.

Wenn wir das Phänomen am nächsten Morgen erklären wollen, reichen die spontanen Vorschläge der Schüler zumeist nicht sonderlich weit, so daß man darüber zu sprechen beginnen muß, wie sich denn die Abbildung eines Gegenstandes auf der Netzhaut normalerweise mit dem Abstand verändert. Man wird aber leicht darauf kommen, daß diese Abbildung mit zunehmender Entfernung immer kleiner wird. Wie enorm dieser Effekt ist, kann man sich klarmachen, wenn man etwa die Tafel ganz vorn im Klassenzimmer zwischen zwei knapp vor die Augen gehaltene Finger nimmt und dann im Vergleich dazu ganz hinten. Trotzdem nehmen wir die Gegenstände immer in etwa der gleichen Größe wahr. Diese »Größenkonstanz« ist eine Leistung des Sehentrums unseres Gehirns.

Wie verhält es sich nun aber mit dem von uns untersuchten Phänomen? In diesem Fall wird ja kein wirklicher Gegenstand abgebildet. Dem Nachbild entspricht vielmehr, wie die Schüler inzwischen wissen, die Erregung eines bestimmten Teiles der Netzhaut, und zwar eines Teiles von konstanter Größe. Und nun wird ein Erklärungsschritt erforderlich, der ähnlich diffizil wie im Falle des Druckphosphems unsere subjektive Perspektive berücksichtigen muß: Wenn diesem »Nachbild auf unserer Netzhaut« ein wirklicher Gegenstand entsprechen würde, dann müßte dieser Gegenstand sehr groß sein, wenn er weit weg wäre, oder aber sehr klein, wenn er nahe bei uns liegen würde. Um diesen scheinbaren Gegenstand in einer konstanten Größe zu sehen, muß das Sehzentrum des Gehirns das Nachbild also in Abhängigkeit von der Entfernung vergrößern oder verkleinern. Schauen die Augen also weit weg, dann vergrößert unser Sehzentrum das Nachbild, schauen unsere Augen auf das naheliegende Stück Papier, dann verkleinert es das Nachbild. In der Veränderung der Größe des Nachbildes mit der Entfernung, in die wir schauen, wird also jene Größenkonstanzleistung des Gehirns erlebbar, die sich sonst durch ihre Selbstverständlichkeit dem Erleben entzieht. Interessant ist auch, daß der Hinweis, wie weit weg wir gerade sehen, nicht aus der Auswertung des Bildes durch das Gehirn selbst stammt, wie man zunächst vermuten könnte, sondern von der Einstellung der Ziliarmuskeln »abgelesen« wird, die die Wölbung der Linse bestimmen.⁷ Es findet hier also

7 Francisco Varela, Principles of Biological Autonomy, New York, Oxford 1979, S. 255

keine »Bildverarbeitung« im computertechnischen Sinne statt, sondern auch hier »greift« der Organismus mit dem Auge als Organ aktiv in die Welt ein, damit das Gehirn größenkonstante Gegenstände konstruieren kann. Anschließend an diese Beobachtungen kann man gerade zum Thema räumliche Wahrnehmung eine Fülle von Illusionen und Effekten anschauen und besprechen, die in den üblichen Lehr- und Fachbüchern zu diesem Thema zu finden sind.

Das Auge nach dem Vorbild der Kamera als einen optischen Apparat zu betrachten ist gewiß eine angemessene erste Annäherung an dieses Sinnesorgan, die der objektivierenden Methode des Achtklaßunterrichts entspricht. Wagt man in den Menschenkundeepochen der 9. und 10. Klasse aber den Perspektivenwechsel in Richtung der Frage, wie der Mensch sich aktiv in die Welt stellt, werden die Grenzen dieser Betrachtungsweise offensichtlich. Gerade in der Abweichung von dieser Modellvorstellung wird das Wesen des Auges als Organ im menschlichen Organismus verständlich und, wie ich hoffe, mit den dargestellten Experimenten auch phänomenal erlebbar.⁸

Zum Autor: Axel Ziemke, geboren 1960 in Karl-Marx-Stadt (heute wieder Chemnitz), Berufsausbildung mit Abitur in der Landwirtschaft, Studium der Biochemie an der Martin-Luther-Universität Halle (1983-1988), Promotion zum Dr. phil. mit einer philosophischen Dissertation (1991), Postdoktorand am Graduiertenkolleg »Kognition, Gehirn, neuronale Netze« an der Ruhr-Universität Bochum (1991-1994), berufsbegleitende Ausbildung zum Oberstufenlehrer am Seminar für Waldorfpädagogik in Kassel (seit 1995), Oberstufenlehrer für Biologie, Chemie und Philosophie an der Rudolf-Steiner-Schule Remscheid (seit 1996).

⁸ Als eine reiche Quelle für psychophysische Experimente, die auch im Menschenkundeunterricht ihre Anwendung finden können, sei das in Fußnote 2 zitierte Buch von v. Campenhausen empfohlen.