

Aus der Schulpraxis

Herbstlaubfärbung und Blattfall Vorstellungen von Schülern der Grundschule

Svenja Gruden¹ & Manfred Hesse

Zusammenfassung

Es wird eine empirische Studie (Fragebogen und halbstrukturierte Interviews) vorgestellt, in welcher Kenntnisse und Vorstellungen in der 4. Jahrgangsstufe zu den herbstlichen Veränderungen an Bäumen ermittelt wurden.

Die Erhebung hat sowohl häufiger vorkommende Vorstellungen zu einzelnen Aspekten aufgezeigt als auch solche von großer Heterogenität. Aufgrund der Interviews werden drei unterschiedliche, besonders markante Konzepte vorgestellt.

Abschließend wird erörtert, wie man die Vorstellungen zu Blattfall und Verfärbung im Unterricht ausdifferenzieren könnte. Schwerpunkte sind zunächst die Beobachtung der Phänomene, dann die Erarbeitung von Ursache und Wirkung (z.B. bei Vorbereitung und Bedeutung des Blattfalls; die endogene Komponente), des Zusammenhanges zwischen Nährstoffrücktransport und der Verfärbung.

Keywords

Phänomene, Blattfall, Herbstfärbung, Schülervorstellungen, empirische Untersuchung

1 Einleitung

Über die Vorstellungen von Schülern der Primar- und der Sekundarstufe I von den Veränderungen der Pflanzen im Herbst gibt es keine Untersuchungen. Auch erschöpfen sich die entsprechenden didaktischen Vorschläge zum Thema „Herbst“ sehr oft in Artenkenntnis, Sammeln und Verwerten von Beeren und Früchten (auch Basteln) und Vorbereitung der Tiere auf den Winter. (Vgl. das Themenheft „Herbst“, RÜTHER 1997, das ohne ein sog. „Modell“, also ohne konkrete Anregung zum Thema „Blattfärbung und Blattfall“, erschienen ist.) Die wenigen Entwürfe zur Bearbeitung dieses Pflanzenthemas im Unterricht beziehen sich auf die Sekundarstufe I (z.B. KLAHM 1981, OEHMIG 1990, MÜLLER 1993) oder auch II (vgl. RÜTHER 1997). Es stellt sich somit die Frage, ob das Thema für Grundschüler

¹ Auszug aus der schriftlichen Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung (Lehramt der Primarstufe)

zu schwierig ist. Herbstlaubfärbung und Blattfall sind beeindruckende Naturphänomene. Welche Phänomene können diese Schüler wahrnehmen und beschreiben? Wie erklären Schüler sich diese? Und wie wissenschaftlich sind diese Erklärungen? Ziel ist es, mit empirischen Methoden einen repräsentativen Eindruck darüber zu bekommen, wie Schüler am Ende der Grundschulzeit die Blattverfärbung und den Blattfall erklären.

Untersuchungen zur Entwicklung des kindlichen Denkens über Phänomene aus Natur und Technik zeigen typische Denkstrategien auf. In Anlehnung an Piaget wird zwischen präkausalem (Animismus, Finalismus und Artifizialismus) und kausalem Denken unterschieden (MÖLLER 1991, 53ff.):

Animismus bedeutet, dass das Kind „leblose Körper als mit Bewußtsein und Absichten ausgestattet“ betrachtet; hierbei werden menschliche Eigenschaften auf nichtmenschliche Dinge der Natur übertragen: z.B. „Das Gewicht will nach unten“ (BIESTER 1991, 32). Finalistische Erklärungen stützen sich auf Erwägungen der Nützlichkeit und des Zweckes von Erscheinungen; typisch ist die Konjunktion „damit“: So scheint die Sonne, „damit es warm ist“. Beim artifizialistischen Denken steht die Fabrikation der Dinge im Vordergrund. Kinder sehen Naturphänomene als vom Menschen, von Gott oder von der Natur „gemacht“ an.

Das Kind kann oft nicht zwischen wichtigen (bzw. ursächlichen) und nebensächlichen Faktoren unterscheiden. ZIETZ beschreibt dieses Phänomen folgendermaßen: „Was irgendwie in anschaulichem Gesamtzusammenhang des Geschehens auftritt, das gehört mit zu den verursachenden Gegebenheiten ...“ (1969, 31, zit. n. MÖLLER 1991, 61).

Beim Übergang zum Kausaldenken werden Konzepte realistischer und sachlicher. Allerdings stehen oft die Bedingungen im Vordergrund (formuliert mit „wenn-dann“) und nicht der Zusammenhang von Ursache und Wirkung. Nach Wagenschein gehört diese Stufe aber schon zum Kausaldenken, da das Kind Regelmäßigkeiten erkennen kann (MÖLLER 1991, 63ff.). Das Kausaldenken von 11 bis 13jährigen Schülern weist Besonderheiten auf, z.B. Denken in Kausalzirkeln: „Es regnet, wenn es schlechtes Wetter ist“ (MÖLLER 1991, 225), und das Denken in Analogien: Ein neues Phänomen wird auf eine bereits bekannte Situation zurückgeführt. Das Kind bewegt sich schrittweise auf ein wissenschaftliches Konzept zu. So übernimmt es Fachbegriffe der Erwachsenen, die es u.U. nicht richtig verstanden hat, assimiliert diese, d.h. setzt sie in seine Denkweise um (ZIETZ 1969, 14).

Da ein Fragebogen (lediglich mit kognitiven Items) für eine derartige Erhebung

nicht ausreicht, wurde zusätzlich die Aufgabe gestellt, ein Herbstblatt zu zeichnen; ein Interview schließt sich der Befragung an, um die erhaltenen Erkenntnisse zu vertiefen.

2 Fachliche Grundlagen

Die Vorgänge bei Blattfall und Herbstlaubverfärbung sind von großer Komplexität und können bei unterschiedlichen Baumarten sehr unterschiedlich verlaufen. Neben den grundsätzlichen Sachverhalten gibt es weitere physiologische Vorgänge, die nicht allgemein bekannt sind, deren Kenntnisse aber für ein Verständnis des Gesamtphänomens notwendig sind. Stichwortartig werden daher die wichtigsten Grundlagen dargelegt, um die Argumentation der Schüler sachgerecht einordnen zu können.

2.1 Der Blattfall als Anpassung an ungünstige Umweltbedingungen

- Im Winter würden durch Sonnenbestrahlung Blätter erwärmt werden, so dass eine erhebliche Transpiration stattfinden würde; Gefahr eines Vertrocknens der Pflanze.
- An klaren Wintertagen ist die Luft oft sehr trocken (erhöhte Transpiration).
- Kein ausreichender Wassernachschub im Winter (Boden ist evtl. gefroren).
- Gefrierendes Wasser in und zwischen den Blattzellen kann diese zerstören.

2.2 Der Blattfall als circannualer Rhythmus

NULTSCH 2001, 539; LARCHER 1984, 90; KREMER 2002, 319f.; SCHOPFER & BRENNICKE 1999, 489; die Autoren nennen verschiedene Regulationsmechanismen.

- Die Seneszenz ist genetisch programmiert; endogener Rhythmus, den „der Organismus von innen heraus kontrolliert“; Periodenlänge von ungefähr 12 Monaten, d.h. „circannual“.
- Auf endogene Rhythmen wirken Zeitgeber ein: Bei Holzpflanzen, die weit nach Norden vordringen (Birken, Buchen, Eichen, Ahorn), sollen die kürzer werdenden Tage den Abschluss der Wachstumsperiode induzieren, bei denjenigen, die in den Süden vordringen (Rosskastanie, Kirsche), die sinkenden Nachttemperaturen.
- Die abnehmende Tageslänge gilt vielen Autoren als der wesentliche Zeitgeber für den Blattfall.
- Unter künstlichen Langtagbedingungen (Zweige von Straßenbäumen im Lichtkegel von Laternen) bleiben Blätter länger grün (Tageslänge als Zeitgeber).
- Temperatur beeinflusst den Ablauf: niedrigere Nachttemperaturen verbunden mit relativ hohen Tagestemperaturen bewirken rasche Blattalterung und intensive Herbstfärbung.

2.3 Physiologische Prozesse bei der Seneszenz (ohne die Verfärbung)

ESCHRICH 1995, 197, 219; BRAUN 1998, 94ff.; SCHOPFER & BRENNICKE 1999, 489; MATILE & KRÄUTLER 1995, 302ff.; TAIZ & ZEIGER 2000, 659.

- Der Baum lagert Reservestoffe (Stärke und Fette) zunächst in der Wurzel ein, dann schreitet die Speicherung nach oben über den Stamm in die Zweige fort (nur Parenchymzellen!).
- Bei sehr niedrigen Temperaturen werden durch Aktivierung von Enzymen Reservestoffe in Zucker überführt, so dass der Gefrierpunkt herabgesetzt wird.
- Phloemmobile Elemente (Schwefel, Eisen, Phosphor, Kalium, Magnesium) werden aus den Blättern in Speichergewebe zurückgeführt; besonders wichtig ist Stickstoffrückgewinnung, z.B. aus Chlorophyll und Chlorophyll-bindenden Proteinen.
- Bevor die Blätter abgeworfen werden, werden ihnen überschüssige Mineralien zugeführt („Entschlackungsprozess“; z. B. werden in Birnenblättern Calcium, Mangan und Zink angereichert), ebenso Umweltgifte.
- Der Abwurf von Blättern geschieht durch zelluläre Veränderungen in einer bestimmten Zellschicht, der Abscissionszone; durch Phytohormone reguliert.
- Diese Trennzone besteht aus einer Trennschicht (aus kurzen, weichwandigen Zellen) und einer Schutzschicht (korkähnlich, an der Narbe des Zweiges); die Wände lockern sich, die Zellen trennen sich voneinander bis auf einige Leitbündelstränge.
- Es gibt auch Bäume, bei denen die Blätter vom Stoffwechsel des Baumes abgetrennt werden, aber nicht abfallen (z.B. bei Eichen).

2.4 Die Herbstlaubfärbung

- Nach Abbau der Chlorophylle werden die gelben, orange(-roten) oder auch braunen Pigmente sichtbar.
- Carotine färben die Blätter gelb bis rot, Xanthophylle gelb bis braun. Dieses “Braun“ muss unterschieden werden von braunen Farbstoffen, die beim Absterben auftreten (Oxidation von Gerbstoffen).
- Leuchtendes Rot stammt von Anthocyanen, die im Herbst synthetisiert werden (angereichert in Vakuolen). In vielen Arten, z.B. in Blutbuche und Bluthasel, überdecken sie schon im Sommer das Chlorophyll, so dass die Blätter dunkelrot erscheinen.

2.4.1 Funktion der Farbstoffe im Herbst

SCHOPFER & BRENNICKE 1999, 489, 588; SCHAEFER & WILKINSON 2004, 616f.

- In den Chloroplasten kann es bei Lichtsättigung leicht zu einem Elektronentransfer

vor allem auf Sauerstoff kommen. So entstehen Reaktive Sauerstoff-Spezies (ROS), die fast alle organischen Moleküle angreifen. Die Carotinoide verhindern diese Bildung und unterbinden als „Antioxidantien“ eine „photooxidative Schädigung der Chlorophyllmoleküle.“

- Zur Bedeutung der Anthocyane gibt es verschiedene Theorien. Die Produktion von Anthocyanen könnte lediglich ein Nebeneffekt der Blattalterung sein, „ein Nebenprodukt des auf hohen Touren laufenden klimakterischen Stoffwechsels“.
- Die herbstliche Färbung könnte auch durch Koevolution zwischen Pflanzen und Insekten zu erklären sein: Pflanzen investieren in leuchtende Farben (Warnsignal), so dass die Belastung durch Pflanzenfresser verringert, der Baum vor Insektenbefall geschützt wird.
- Anthocyane sollen, wie die Carotinoide, eine lichtschützende Wirkung haben und die Entstehung von ROS blockieren. Anthocyan-Synthese gewährleistet intaktes Chlorophyll und somit Photosynthese bis zum Blattfall (s. Kap. 2.4.2: Rücktransporte).

2.4.2 Zeitlicher Vorgang der Herbstlaubfärbung

ESCHRICH 1995, 219; MEIER 2005, 77ff.; GROSSMANN 1992.

- Die Verfärbung vollzieht sich oft streng abgegrenzt in einzelnen Intercostalfeldern (z.B. zunächst nur am Blattrand), während die Blattadern grün bleiben.
- Chlorophyllhaltige Gewebe entlang der Adern liefern durch Photosynthese Saccharose, wodurch der Rücktransport wichtiger Stoffe erhalten bleibt.
- Es gibt allerdings Blätter, bei denen das Chlorophyll von der Mittelrippe, also von innen nach außen, abgebaut wird, z.B. beim Feldahorn: Carotinoide sind an den Mittelrippen schon freigelegt, während die Randbereiche noch grün sind.

3 Empirische Methoden

3.1 Voraussetzungen der Schüler im Hinblick auf das Thema

Die Erhebung wurde in vierten Klassen im Kreis Gütersloh vorgenommen ($n_{4a} = 24$, $n_{4b} = 25$, $n_{4c} = 24$, $n_{4d} = 17$; $N = 90$). In allen Klassen waren typische Baumarten wie Rosskastanie, Rotbuche sowie Vertreter von Ahorn und Eiche durchgenommen worden. Ein Herbar wurde in keiner Klasse angelegt, in den Klassen 4a und 4c wurde allerdings ein Baumbuch mit verschiedenen Steckbriefen erstellt.

In den Klassen 4a und 4d wurde bereits im 2. Schuljahr ein Text zum

Thema Blattfall gelesen. In der 4c wurden im 3. Schuljahr Blattfall wie auch Blattverfärbung (kurz) thematisiert; Ziel des Unterrichts war zu vermitteln, wie der Baum überwintert. In der 4b wurden Blattfall und Blattverfärbung noch nicht durchgenommen.

3.2 Die schriftliche Befragung - der Fragebogen

Da die Schüler nicht durch vorgegebene Antworten beeinflusst werden sollten, wurden fünf offene Fragen gestellt. Außerdem war ein Blatt zu zeichnen. Die Zeichnung kann als „ikonisches Wissen“ (BIESTER 1991, 43) bezeichnet werden. REIß beschreibt die Zeichnung auch als „Niederschlag des Vorstellungs- und Wahrnehmungsvermögens“ (2000, 231). In ihr spiegelt sich dementsprechend das Wissen des Kindes und seine Wahrnehmung eines Herbstblattes wider.

Der Aufbau des Fragebogens

Item 1: Warum verlieren Bäume im Herbst ihre Blätter?

Item 2: Warum verfärben sich die Blätter im Herbst?

Item 3: Welche Blattfarben kommen im Herbst vor? Versuche für jede Farbe, die du genannt hast, auch einen Baum zu nennen.

Item 4: Welcher Baum hat deiner Meinung nach die schönste Herbstfärbung?

Item 5: Erkläre, wie die Färbung im Blatt vor sich geht!

Item 6: Zeichne ein buntes Herbstblatt!

Die Versuchsleiterin hat die Schüler darauf hingewiesen, dass der Fragebogen alleine ausgefüllt werden solle, dass es sich um keinen Test handle und dass auch Vermutungen aufgeschrieben werden dürfen. Zu der Zeichenaufgabe wurde erklärt, dass das Blatt möglichst naturgetreu gezeichnet werden sollte. Verständlichkeit des Fragebogens und Zeitbedarf für das Ausfüllen (ungefähr eine halbe Stunde) wurden zuvor getestet.

3.3 Die mündliche Befragung - Das Interview

Zusätzlich zum Fragebogen wurden Einzel-Interviews durchgeführt. Hierzu wurden 10 Schüler aus der Klasse 4b ausgewählt, da hier vorher weder Blattfall noch Blattverfärbungen behandelt worden waren.

Es wurde das halbstrukturierte Interview gewählt, da so der Interviewer auf

nicht verstandene Items des Fragebogens, auf Unklarheiten in den Antworten eingehen kann; er kann vertiefende Fragen zu einzelnen Aspekten stellen. Ein Interviewleitfaden gibt die Inhalte des Gesprächs vor.

Der Aufbau des Interviewleitfadens

Der Leitfaden baut auf dem Fragebogen auf und enthält insgesamt neun Punkte (u.a. Was passiert mit dem Grün, woher kommt die bunte Farbe, verfärbt sich alles gleichzeitig, wann tritt die Verfärbung, der Blattfall auf?) Anschließend sollen vorgelegte Herbstblätter beschrieben werden (areolierte Verfärbung bzw. Blätter mit grünen Inseln).

3.4 Auswertung der Fragebögen

Die Antworten wurden Kategorien zugeordnet, die sich an Begriffen aus Klimatologie und Botanik orientieren. Teilweise wurden Antworten mehreren Kategorien zugewiesen, wenn sie mehrere, verschiedene Aspekte enthielten.

Bei den Zeichnungen wurde ausgewertet, ob das gezeichnete Blatt einer Art zugeordnet werden kann, ob wichtige Elemente des Blattes bekannt sind und wie komplex diese zeichnerisch umgesetzt werden, außerdem wie die Verfärbung dargestellt wird.

4 Ergebnisse aus der schriftlichen Befragung

4.1 Vorstellungen über die Ursachen des Blattfalles

Auf Item 1 haben nur drei Schüler keine Antwort gegeben. 56 Antworten beziehen sich auf die physiologischen Vorgänge in einem Baum. 47 Schüler nennen in ihrer Antwort einen klimatologischen Faktor, davon 20 Schüler sogar mehr als einen Faktor.

4.1.1 Klimatologische Faktoren

Generalisierend kann gesagt werden, dass auffallend viele Schüler, nämlich 29 den Blattfall allein auf äußere Faktoren zurückführen.

Temperatur

Von den 28 Schülern, welche die Temperatur angeben, nennen 21 Schüler die *Kälte* als Ursache. 12 dieser Schüler erklären aber nicht weiter, worin der

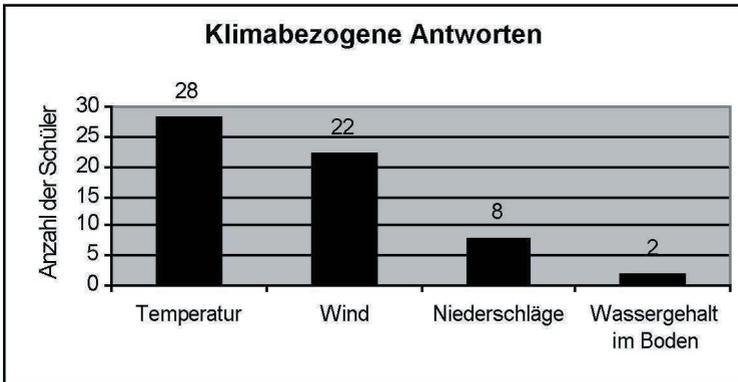


Abb. 1: Aufgliederung der klimabezogenen Antworten (n=47) bei Item 1: „Warum verlieren Bäume im Herbst ihre Blätter?“ auf vier Klimafaktoren (Mehrfachzuordnungen sind möglich). Als Faktor wird auch der Wassergehalt im Boden berücksichtigt, obwohl letzterer streng genommen nicht zu den klimatologischen Faktoren gehört.

Zusammenhang zwischen der Kälte und dem Blattfall besteht: „Weil es im Herbst kalt wird und dann fallen² die Blätter ab.“

Insgesamt 12 Schüler beziehen sich nicht nur auf die Kälte, sondern erklären den Blattfall mit dem *Frost*: „Weil im Winter ist es kalt und die flussigkeit in den blättern gefriert und der Baum kann sie dann nicht mehr halten.“ oder, dass die Blätter „den Frost nicht abkönnen.“ Allerdings ist nicht eindeutig, ob sie die Vorstellung haben, dass der Blattfall eine Folge des Frostes oder eine Schutzmaßnahme vor dem Frost darstellt.

Bei anderen Antworten (bei sechs der zwölf Schüler, die das Stichwort Frost erwähnen) ist erkennbar, dass der *Blattfall als eine Schutzmaßnahme* angesehen wird: „Weil im Winter friert es und wenn der Baum dann noch Blätter hat und die Blätter brauchen Wasser und wenn er sie verliert der Baum die Blätter weil der Baum sonst erfriert.“ oder eine ähnliche Vorstellung: „Der Baum zieht das Wasser aus den Blättern um nicht einzufrieren.“

Wind

22 Schüler geben den Wind als Begründung an, davon elf als einzigen Faktor. Ein Schüler geht im Zusammenhang mit dem Wind auf das Trenngewebe ein: „Wegen dem Wind und Regen und weil die Blätter nicht mehr so fest sitzen.“

Ein weiterer Schüler drückt ähnliches aus, aber kombiniert mit der Fehlvor-

² Es wurde den wörtlichen Zitaten der Schüler - in der Originalschreibweise - ein größerer Raum gegeben, um eine authentischere Darstellung zu erzielen. Korrektur von Schreibfehlern erfolgte in [] nur dann, falls das Wort unverständlich erschien.

stellung, dass die Blätter krank sind: „Sie wird alt und kank und wenn der Wind dann weht fallen sie runter.“

Niederschläge

Sechs Schüler nennen den Regen. Mehrere Schüler sind der Ansicht, dass es im Winter mehr regnet, andere, dass es weniger regnet: „Im Winter gibt es nicht viel Regen, und der Baum krigt niks ab.“ Aus dieser Äußerung ist nicht ersichtlich, ob der Schüler weiß, dass ein Baum das Regenwasser nicht direkt über die Oberfläche der Blätter aufnimmt, sondern über die Wurzeln. Ein weiterer Schüler geht auf das Wasserproblem im Boden während des Winters ein: „Weil in der Erde nicht so viel Wasser ist.“ Er nennt als Konsequenz: „da grigen die Bleter gein wasser.“

Den Faktor Schnee nennen zwei Schüler als Ursache (s. auch S. 127).

4.1.2 Physiologische Faktoren

Etlliche Schüler haben die Vorstellung, dass beim / vor dem Blattfall physiologische Vorgänge im Baum ablaufen (Abb. 2). Bei mehreren Schülern ist auch das Wissen vorhanden, dass es sich beim Blattfall um „Vorbereitungen für den Winter“ handelt.

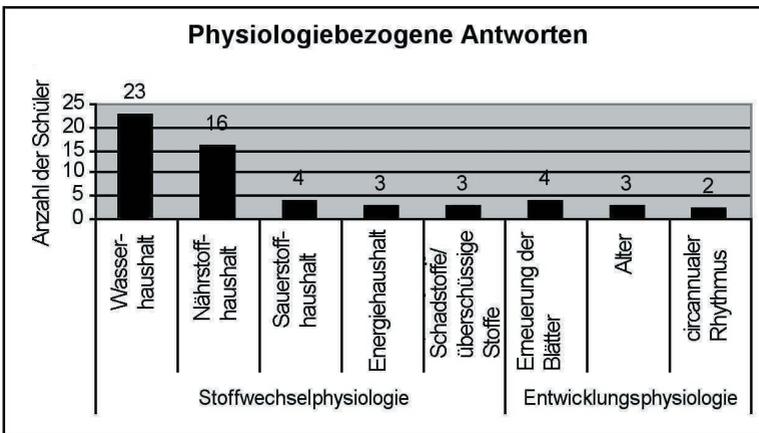


Abb. 2: Aufgliederung der auf die Physiologie bezogenen Antworten (n=56) bei Item 1: „Warum verlieren Bäume im Herbst ihre Blätter?“ auf Kategorien aus Stoffwechsel- und Entwicklungsphysiologie (Mehrfachzuordnungen sind möglich).

Wasserhaushalt

Fünf Schüler führen den Blattfall auf einen *Wassermangel im Baum* zurück: „Weil die Bäume auch flüssigkeit in sich haben, und die geht im Herbst aus“,

zwei weitere Schüler auf äußere Faktoren. Sie beschreiben aber auch noch einen Zusammenhang mit dem Blattfall: „Sie verlieren ihre Blätter im Winter Weil die Bäume Wasser brauchen ... der Baum gibt die Blätter Wasser als erstes“ oder eine weitere, sehr ähnliche Antwort: „Weil sie Feuchtigkeit brauchen und die Blätter sorgesagt nicht fersorgen können. Der Baum brauch selbst flüssigkeit.“

Sechs Schüler argumentieren, dass das Wasser aus den Blättern *in den Baum zurücktransportiert* wird: „Der Baum ziet das Wasser aus den Blättern und dann fahlen sie ab.“ Dieser Rücktransport sei nötig, damit der Baum den Herbst übersteht: „Die Flusichkeit würt der Baum an sich nehmen So kann der Baum den Herbst überstehen.“

Neun weitere Schüler geben nur an, dass die *Blätter austrocknen*. Es gibt die Ansicht, dass die Kälte die Blätter austrocknen lässt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine größere Anzahl der Schüler weiß, dass es im Baum im Winter zu einem Wasserdefizit kommt.

Bei einem Schüler findet sich schon eine Vorstellung vom Transpirationsstrom, denn er erklärt, dass die Blätter zuerst mit Wasser versorgt werden: „Weil er nach Dem Herbst im Winter kein Wasser aufnehmen weil die Bläter fiel wasser brauchen deshalb ferlirt der Baum Bläter weil der Baum sonst austrocknen würde.“

Nährstoffhaushalt

16 Antworten beziehen sich auf Nährstoffe, obwohl der Terminus „Nährstoffe“ nicht immer benutzt wird (insgesamt 11mal), stattdessen die Formulierung „Wirkstoffe“, „wichtige Sachen“, „Saft“. Die Antworten weisen zwei Hauptrichtungen in der Argumentation auf. Sie wurden meistens von Schülern der Klasse 4c gegeben.

Mindestens sechs Schüler haben die Vorstellung, dass der Baum im Herbst unter Nährstoffmangel leidet und die *Blätter deswegen nicht mehr versorgt werden* können: „Weil sie nicht genügend Nahrung auch für die Blätter haben.“ Eine weitere, ähnliche Vorstellung lautet: „Die Bäume brauchen jetzt selbst die Nährstoffe [...], also er kann die Blätter nicht mehr versorgen.“

Sechs Schüler sind der Meinung, dass der Baum *den Blättern die Nährstoffe entzieht*. Vier der Schüler betonen, dass die Nährstoffe aus den Blättern lebensnotwendig für den Baum sind: „Weil der Baum brauch die Narungs Stofe zum über Leben und ziet den Blättern die Narungs Stofe weg.“ Andere Schüler benutzen den Ausdruck Saft: „Weil der Baum ziet den Saft aus den Blättern bevor

der Winter beginnt und er hat eine Vorkammer in dem er den Saft behält und nach der Zeit verliert er die Blätter weil sie keinen Saft mehr haben.“

Sauerstoff, Energiehaushalt, Schadstoffe

Bei diesen drei Begriffen ist eine Art „Schlagwortwissen“ zu vermuten.

Der Blattfall soll eine Folge von *Sauerstoffmangel* sein oder die Blätter werden abgeworfen, „weil der Baum im Winter den Sauerstoff für sich braucht“; ein anderer vermutet, dass der gefallene Schnee dafür sorgt, dass die Blätter keinen Sauerstoff mehr bekommen.

Drei Schüler beziehen sich auf den *Energiehaushalt*: „Weil sie sonst die Ganze ennergi in die Blätter liefern müssen“, „Weil der Baum ihre Energie braucht um in Herbst zu überleben.“

Ein Schüler stellt eine Verbindung her zwischen der Verfärbung und *Schadstoffen*, die der Baum an die Blätter abgibt: „Weil der Baum entzieht den Blättern die Nährstoffe und gibt den Blättern Schadstoffe deswegen die Verfärbung.“ Eine weitere Vorstellung ist, dass der Baum den Blättern überschüssige Stoffe zukommen lässt: „Darum wirft er die Blätter ab mit den Stoffen die er nicht braucht zum Beispiel Kohlendioxid.“

Entwicklungsphysiologische Aspekte

Es finden sich weitgehend keine entwicklungsphysiologischen Erklärungen zum Blattfall, sondern nur die Beschreibungen einer jahreszeitlichen Entwicklung: „... die Herbst[-]Blätter fallen und dann wachsen wieder neue Blätter heraus“ oder auch: „Weil die Bäume eine Zeit blühen und eine Zeit nicht blühen. Darum verlieren die Bäume ihre Blätter.“ Ein Schüler beschreibt, dass der Baum alt wird: „Weil es Herbst ist und Bäume immer alt werden dafür ...“, zwei Schüler, dass die Blätter alt werden: „Sie werden alt und krüppelich und braun dann fallen sie ab.“

4.2 Vorstellungen über die Ursachen der Herbstlaubverfärbung

Auf Item 2 haben 13 Schüler nicht geantwortet. Auffällig ist, dass die Antworten oft denjenigen zum Item 1 ähneln, teilweise sogar identisch sind. Das zeigt, dass viele Schüler diese beiden Phänomene beim Erklären nicht differenzieren.

Die Schüler erklären die Verfärbung der Blätter, im Gegensatz zum Blattfall (Item 1), häufiger über einen physiologischen Sachverhalt (53mal); klimabezogene Erklärungen (18mal) sind wesentlich seltener; hinzu kommen auch präkausale Denkstrategien (7mal) und ästhetische Aspekte (3mal).

4.2.1 Klimatologische Faktoren

Von den vier Kategorien (Abb. 3) werden hier nur die vorrangig genannten ausführlich erläutert. Es gibt insgesamt 17 Schüler, welche die Blattverfärbung allein auf klimatologische Faktoren zurückführen.

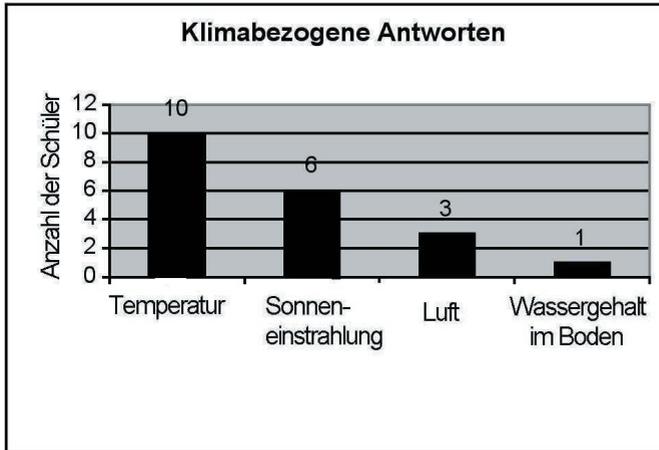


Abb. 3: Aufgliederung der klimabezogenen Antworten (n=18) zu Item 2: „Warum verfärben sich die Blätter im Herbst?“ auf vier Klimafaktoren (Mehrfachzuordnung ist möglich)

Temperatur

Acht Schüler erwähnen den Faktor Kälte, erklären allerdings nicht genauer, welcher Zusammenhang zwischen Kälte und Farbe besteht: „Die kalte Luft kühlt den Baum und deswegen färben sich die Blätter!“ Ein Schüler vermutet, dass die Temperaturunterschiede für die Verfärbung verantwortlich sind: „Weil es im Herbst manchmal kalt ist und manchmal warm ist.“

Sonneneinstrahlung

Die Sonneneinstrahlung wird von sechs Schülern erwähnt: „Weil die Sonne da drauf strahlt mehr und die Blätter verfärben sich [...]“. Ein Schüler hat (evtl.) den Eindruck, dass die Blätter sich erst nach dem Herunterfallen verfärben würden: „Wenn die Blätter herunter fallen werden sie bunt. Von der Sonne.“

Der Gedanke, dass die Farben nur vorhanden sind, wenn die Blätter nass sind, tritt zweimal auf: „Weil die Blätter nass sind und wenn die Sonne darauf scheint dann färbt sich das Blatt so wie beim Regenbogen.“

4.2.2 Physiologische Faktoren

53 Schüler nennen einen physiologischen Aspekt, im Wesentlichen den Wasserhaushalt (33mal) und den Nährstoffhaushalt (14mal).

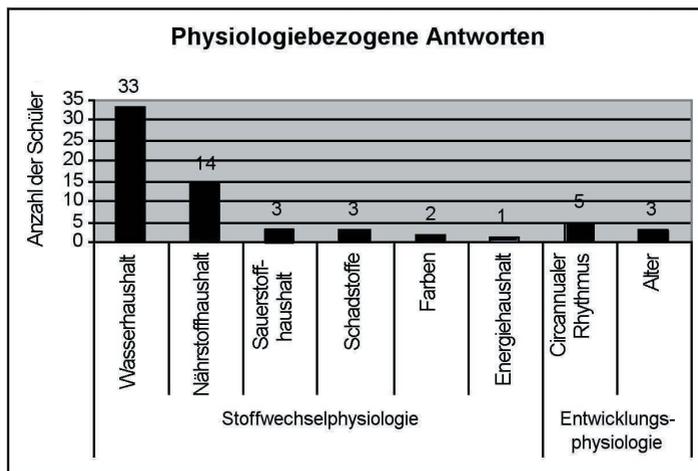


Abb. 4: Aufgliederung der auf die Physiologie bezogenen Antworten (n=53) bei Item 2: „Warum verfärben sich die Blätter im Herbst?“ auf Kategorien aus Stoffwechsel- und Entwicklungsphysiologie (Mehrfachzuordnungen sind möglich).

Wasserhaushalt

Insgesamt sind 18 Schüler der Ansicht, dass die Blätter sich färben, weil sie nicht mehr ausreichend mit Wasser versorgt werden; 15 Schüler benutzen hier den Ausdruck „vertrocknen“ oder „austrocknen“: „Weil sie keinen Saft mehr haben dadurch trocknen sie und werden Bunt.“

Ein Schüler scheint der Ansicht zu sein, dass die Blätter sich erst nach dem Blattfall (vgl. S. 44 unten#; Kap 4.2.1) verfärben: „Wenn die Blätter auf den Boden liegen greifen sie kein Wasser mehr und sie trocknen aus. Darum verfärben sich die Blätter.“

Nährstoffhaushalt

Fünf Schüler haben die Vorstellung, dass die Blätter nicht mehr mit Nährstoffen (Termini „Nährstoffe“, „Nahrung“, „Wirkstoff“, „Saft“) versorgt werden, fünf andere, dass der Baum die Nährstoffe aus den Blättern zieht. Die meisten Schüler, die auf den Nährstoffhaushalt eingehen, stammen aus der Klasse 4c, in der im Unterricht im Zusammenhang mit der Blattverfärbung auf den Nährstofftransport eingegangen wurde.

Generell wird nicht näher erklärt, welcher Zusammenhang zwischen dem Fehlen der Nährstoffe und der Verfärbung im Blatt besteht, außer bei folgender Äußerung: „Die grüne Farbe ist nur so eine art Decke die aus den Nährstoffen entsteht. Wenn die Blätter im Herbst keine Nährstoffe [haben,] haben sie eine andere Farbe und fallen ab“ (vgl. auch Farbstoffe s.u.).

Sauerstoff, Energiehaushalt, Schadstoffe

Die Antworten ähneln denjenigen zu Item 1: Ein Schüler behauptet, dass das Blatt sich färbt, weil es mit Sauerstoff gefüllt ist, zwei Schüler führen die Blattverfärbung auf Sauerstoffmangel zurück; ein Schüler verknüpft die Blattverfärbung mit einem Mangel an Energie. Einen Zusammenhang zwischen Schadstoffen und der Färbung sehen drei Schüler: dass „die Schartschtofe die Blätter ferben.“

Alle Schüler kommen aus der Klasse 4c, in der das Thema bereits besprochen wurde; so versuchen sie, Begriffe aus dem Unterricht zueinander in Beziehung setzen.

Farbstoffe

Ein Schüler erklärt die herbstliche Blattverfärbung mit dem Verlust der grünen Farbe, allerdings bleibt seine Erklärung sehr allgemein: „weil die Blätter im Herbst ihre grüne Farbe verlieren.“ Zwei Schüler wissen, dass es sich um einen Farbstoff handelt, der sich schon das ganze Jahr über im Blatt befindet, und stellen auch einen Zusammenhang zum Nährstoffhaushalt her: „Die Blätter bekommen keine Nährstoffe mehr, deshalb wird ein Farbstoff freigesetzt, der schon das Ganze Jahr darin ist.“

Entwicklungsphysiologische Aspekte

Acht Schüler gehen auf die Entwicklung des Baumes ein, wobei drei Schüler den jahreszeitlichen Bezug betonen: „Weil es sich in der Jareszeit ändert“ und „Vielleicht weil sich ja die Tage ändern.“ Diese Schüler verbinden die Verfärbung mit dem Einbruch des Herbstes, ihre Antworten bleiben aber sehr allgemein. Sie ähneln präkausalen Erklärungen (s. Kap. 4.2.3).

4.2.3 Präkausale Antworten

Sieben Schüler geben Antworten, die als präkausal beschrieben werden können. Ein Schüler gibt zwei präkausale Antworten: „Weil die Nartuhe so gemacht hat“ ist eine artifiziellistische Antwort (ein Phänomen ist „gemacht“ worden). Die zweite Antwort ist finalistisch: „Das Mann sit das es Winter ist“ (Herbstfärbung

als Zweck für den Menschen). Finalistisch ist auch: „Ich glaube, das sie bunt werden weil man damit was gutes basteln kann.“

Ein weiterer Schüler gibt in einer anthropomorphen Erklärung den Blättern einen Willen: „Im Sommer ist es sehr warm, und dan wollen sie nicht vertrocknen. Aber im Herbst da ferben sie sich.“

4.2.4 Ästhetische Aspekte

Drei Schüler verbinden den Blattfall mit einem ästhetischen Aspekt: „Damit sie schön aussehen“, „Weil sie ja auch bald abfallen und deswegen sind sie bei der letzten Zeit noch in den schönsten Farben.“ Im Prinzip handelt es sich bei dieser Antwort auch um eine typische präkausale Vorstellung.

4.3 Wissen und Vorstellungen über Blattfarben im Herbst

Viele Schüler nennen Mischttöne, wie „Rotbraun“ oder „Gelbbraun“, drei Schüler auch die Farbe „bunt“. Dieses zeigt, dass oft die Vorstellung besteht, dass bei Herbstblättern keine reinen Farbtöne auftauchen. Ein Schüler, der beispielsweise den Mischton „Rotbraun“ beschreibt, nennt streng genommen zwei Farben, die daher separat gezählt werden (Abb. 5).

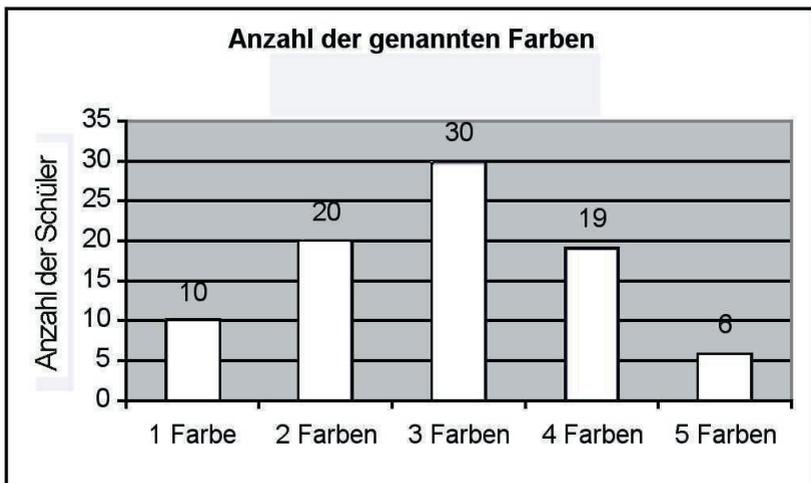


Abb. 5: Anzahl der von Schülern (n=87) genannten herbstlichen Blattfarben (Item 3)

Von den Schülern werden als typische Herbstfarben „Braun“, „Rot“ und „Gelb“ am häufigsten genannt (Abb. 6): 25 Schüler zählen (mindestens) diese drei Farben auf.

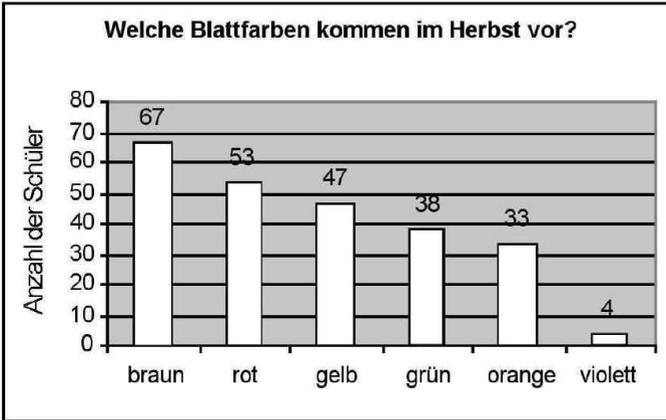


Abb. 6: Farben, die nach Meinung der Schüler (n=87) im Herbst vorkommen (Item 3)

Dass die Farbe „Braun“ an erster Stelle steht, könnte sich dadurch erklären lassen, dass alle Blätter im Endstadium der Blattverfärbung durch Oxidation von Gerbstoffen braun werden. Die Farbe „Rot“ wird etwas öfter als „Gelb“ genannt, obwohl sie in der Natur im Vergleich zur Farbe „Gelb“ nicht so häufig vorkommt; eine Erklärung könnte sein, dass die rote Herbstfärbung auffälliger ist.

Nur 59 Schüler ordnen Baum„arten“ mehr oder weniger unabhängig von der tatsächlichen Herbstfärbung den einzelnen Farben zu. Es ist zu vermuten, dass diese Aufgabe für eine Reihe von Schülern zu anspruchsvoll ist, so dass auf eine weitere Analyse verzichtet wird³. Abbildung 7 zeigt, welche Bäume die Schüler nennen.

Besonders oft nennen die Schüler die Kastanie und die Eiche. Bei diesen „Arten“ mag der Bekanntheitsgrad auch aufgrund der Bastelmöglichkeiten im Herbst entscheidend für die Nennung gewesen sein.

Es gibt aber auch Schüler, die für die drei typischen Herbstfarben jeweils einen passenden Baum nennen können:

³ Vgl. hierzu die Angaben zu Item 4: „Welcher Baum hat deiner Meinung nach die schönste Herbstfärbung?“. Die genannten Bäume sowie deren Häufigkeit ähneln den Angaben bei Item 3, allerdings wird hier die Eiche am häufigsten genannt (31mal; Kastanie 29mal, Apfelbaum 12mal, übrige Bäume 6mal und weniger). Auch hierdurch bestätigt sich die Vermutung, dass den Schülern eine Zuordnung von Baum„art“ und Farbe zumeist nicht möglich war.

- „Braun für Eichen, Oka für Buchen, Rot für Ahorn.“
- „Rot - Eiche, Braun - Kastanie, Gelb - Buche“
- „rotbraun zu Ahorn, braun für Eiche, gelbbraun für Kastanie.“
- „Kastanienbaum: Braun, bisschen gelb + Grün[;] Buche: bisschen braun, gelb, grün[;] Eiche: bisschen braun, bisschen gelb, Rot.“

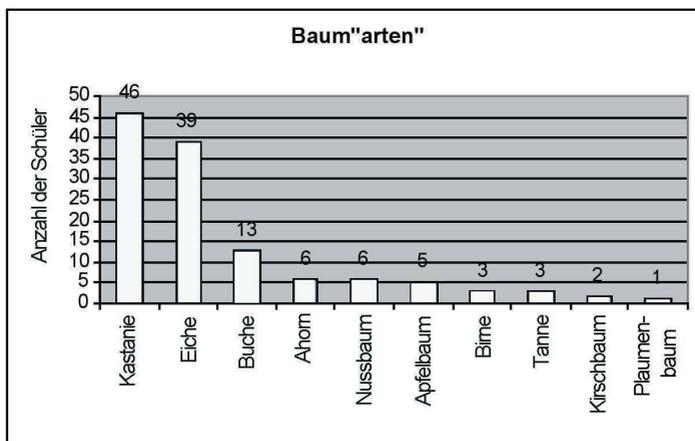


Abb. 7: Baum“arten“, die Schüler bei dem Item 3 nennen (n=59)

4.4 Vorstellungen über den Vorgang der Herbstlaubfärbung

25 Schüler haben das Item 5 nicht beantwortet. Viele Schüler geben eine Antwort, die ihren Formulierungen bei den vorhergehenden Items sehr ähnlich ist. D.h., sie geben oft eher eine *Begründung* für die Blattverfärbung an als eine Beschreibung des *Vorganges*. Daher sollen nur neue Sachverhalte kurz dargestellt werden.

15 Schüler beschreiben, dass ein Blatt *ein oder mehrere Farbstadien* durchmacht, bevor es schließlich braun wird: „Erst sind sie grün dn gelb dan Rötlich und dan erst braun.“ Auch wenn solch eine Farbabfolge nicht bei jeder Baumart zu finden ist, haben diese Schüler das Prinzip einer Farbabfolge (von grün über gelb/rot nach braun) erkannt.

Mehrfach wird eine *abschnittsweise Entwicklung* des Blattes angesprochen: „Erst vertrocknet das obere vohm Blatt und dann der Rest“ (s. Abb. 12, D17). Für zwei Schüler verfärbten sich nur die Blattadern: „Das bunte sind nur die Adern.“

Drei Schüler gehen auf die *Farbstoffe* der Herbstfärbung ein (vgl. S. 130): Ein Schüler äußert, dass „die Farbzellen plazen und [sich] vermischen.“ Präziser ist

folgende Antwort: „Die Farbstoffe waren vorher schon da wurden aber immer vom grünen Farbstoff bedeckt und haben erst jetzt Möglichkeit gesehen zu werden.“

Mehrere Schüler beziehen sich auf das *Verschwinden der grünen Farbe* (vgl. auch S. 140): „Der Baum zieht die Nährstoffe aus dann werden die Blätter trocken ihnen wird die grüne Farbe entzogen und sie fallen ab.“ „Als erstes wird die Nahrung ausgesaugt dann geht die grüne Farbe weg und sie werden Bunt.“

4.5 Ikonische Darstellungen eines Herbstblattes

Die meisten Schüler (n=44) haben ein Rotbuchenblatt gezeichnet oder ein Blatt, welches der eiförmigen bis verkehrt-eiförmigen, oben zugespitzten Form sehr ähnlich ist (Abb. 9). Diese Blattform scheint für Kinder typisch zu sein, obwohl sie bei Item 3 und 4 häufiger Kastanie und Eiche genannt haben. 21 Schüler haben ein Eichenblatt gezeichnet, fünf ein Rosskastanienblatt. Bei weiteren Zeichnungen fällt eine Zuordnung zu einer Art oft schwer.

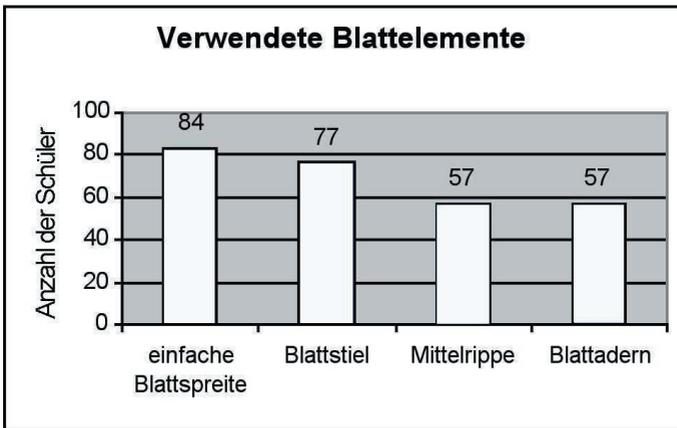


Abb. 8: Verwendete Blattelemente in den Zeichnungen zu Item 6 (n=88); zwei Schüler haben einen Baum gezeichnet, zwei weitere - aus Zeitgründen - nur eine schwarz-weiße Strichzeichnung

Die Komplexität der Zeichnungen ist sehr unterschiedlich: Z.B. besitzen das jeweils rechts abgebildete Buchen- bzw. Eichenblatt (Abb. 9 und 10) im Gegensatz zu den links abgebildeten alle wesentlichen Elemente und darüber hinaus auch noch eine charakteristische Färbung.

Ein Blattstiel ist bei 77 Bildern vorhanden; demnach haben ihn die meisten Schüler als wesentliches Element des Blattes verinnerlicht. 57 Schüler zeichnen

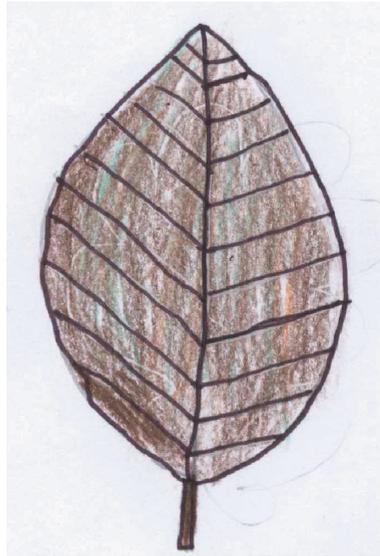


Abb. 9: Buchenblatt. links: einfach, rechts: komplex gezeichnet



Abb. 10: Eichenblatt. links: einfach, rechts: komplex gezeichnet

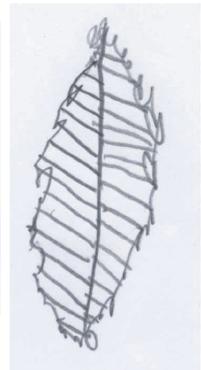
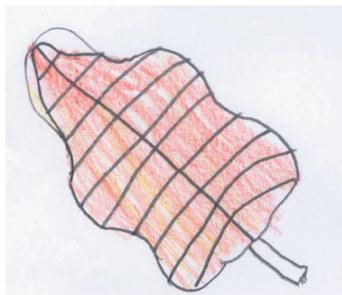
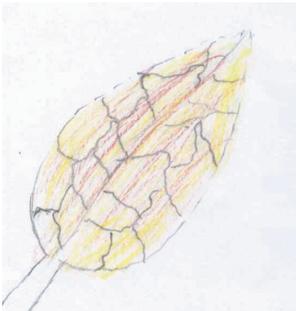


Abb.11: Verschiedene Realisierungen der Blattadern.

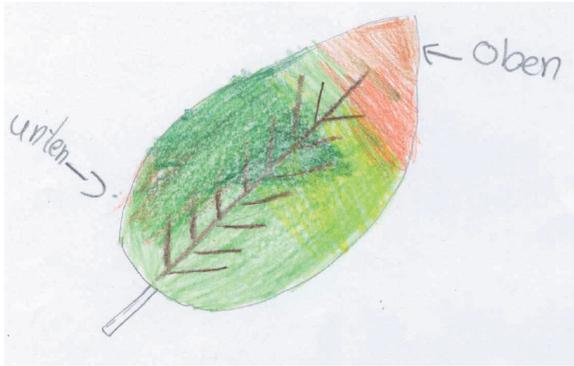
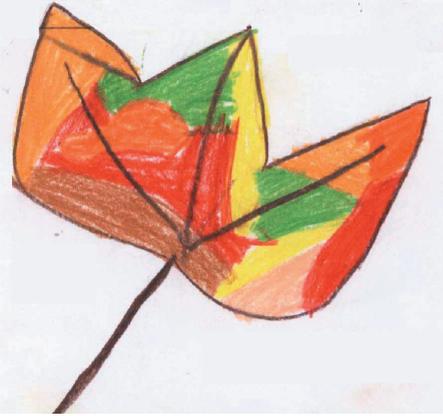


Abb. 12: Zeichnungen, bei denen die Farben in Farbfeldern angeordnet sind (D5/C22/D17)

Abb.13 (unten): Herbstblätter mit Farben gezeichnet, die in der Natur nicht vorkommen (Schüler A7/A5)



eine Mittelrippe ein, genau so viele Blattadern (Abb. 8, 9, 10). Bei 24 Schülern werden die Blattadern nicht von der Mittelrippe ausgehend gezeichnet, oder sie verlaufen parallel (Abb. 11).

33 Schüler zeichnen die Blattadern botanisch korrekt so, dass sie sich von der Mitte des Blattes aus bis zum Blattrand erstrecken und schräg nach oben verlaufen (Abb. 9, rechts).

Betrachtet man die *Farbgestaltung*, werden drei Methoden sichtbar. 15 Schüler malen ein einfarbiges Blatt, die Farbe braun dominiert. Werden mehrere Farben benutzt, sind diese entweder übereinander gemalt (Vermischung) oder die einzelnen Farben sind in Farbfeldern angeordnet (Tab. 1). Da die meisten Schüler mehrere Farben für die Gestaltung des Herbstblattes benutzen, besitzt das typische Herbstblatt in der Vorstellung der Schüler mehrere Farben.

Tab. 1: Anordnung der Farben bei den gezeichneten Herbstblättern (n=86)

	Mehrere Farben werden übereinander gemalt	Mehrere Farben werden in Farbfeldern angeordnet	Einfarbige Blätter
Anzahl an Schülern	53	23	15

Die Farbe „Braun“, die bei Item 3 am häufigsten genannt wurde, taucht auch in den Bildern am häufigsten auf (63mal). Auch „Rot“ (48mal) und „Gelb“ (41mal) entsprechen ungefähr der Verteilung der Farben bei Item 3 (Abb. 6), 34 Schüler verwenden „Grün“.

23 Schüler haben die Farben felderweise angeordnet (Tab. 1). In manchen Zeichnungen wirkt die *Anordnung der Farbfelder* zufällig (Abb. 12, D5; Abb. 13, A7), während sich der Schüler C22 den Vorgang der Verfärbung augenscheinlich so vorstellt, dass sie von außen nach innen (gelb – rot – grün) fortschreitet. Auch die Zeichnung D17 (Abb. 12) passt zu dem bei Item 5 beschriebenen Vorgang der Verfärbung: „Erst vertrocknen das obere vohm Blatt und dann der Rest.“ (vgl. S. 49#). Außerdem sind die verwendeten Herbstfarben für ein Rotbuchenblatt sehr typisch. In anderen Zeichnungen werden Formen und Farben verwendet, die in der Natur nicht vorkommen (Abb. 13, A7, A5).

5 Ergebnisse aus den Interviews

Im Folgenden soll auf die Interviews nicht ausführlich eingegangen werden, da viele Darstellungen aus den Fragebogen sich hier wiederholen.

Als bemerkenswertes, hervorzuhebendes Ergebnis stellte sich heraus, dass

- für die meisten Schüler die Kälte den Blattfall einleitet und die Tageslänge (=Sonneneinstrahlung) nicht als Faktor genannt wird,
- etliche Schüler das Trenngewebe mehr oder weniger deutlich beschreiben können,
- für das Verschwinden der grünen Farbe alle Schüler Vorstellungen darlegen können, eine korrekte Beschreibung aber zumeist nicht gegeben werden kann,
- alle Schüler ein gleichzeitiges Verfärben des gesamten Blattes verneinen und für den Ablauf der Verfärbung „Regelmäßigkeiten“ unterschiedlicher Art formulieren.

Bei drei Schülern fällt auf, dass ihre Argumente auf einem bestimmten Konzept aufbauen, auf das sie im Verlauf des Interviews immer wieder zurückkommen. Dieses Phänomen ist allerdings nur bei den leistungsstärkeren Schülern zu finden. Diese Konzepte sollen umfangreicher dargestellt werden.

5.1 Konzepte einzelner Schüler

5.1.1 Das Kältekonzept von Andreas⁴

Zunächst äußert Andreas die These, dass die Blätter im Herbst abfallen, weil sie erfrieren: „Vielleicht wegen der Kälte, dass die dann abfrosten.“ Er begründet dies: „[...] Weil wenn die anfrosten, dann weht der Wind die ab. Weil die hängt dann ja nur noch ein ganz klein bisschen am Baum.“

Seine Argumentation zum Blattfall:

**Kälte → Blätter erfrieren → Blätter sitzen nicht mehr so fest am Baum
→ Wind kann Blätter abwehen.**

Für die Herbstfärbung hatte Andreas im Fragebogen nur eine anthropomorphe Erklärung: „Weil die natur das so will.“ Im Interview gibt er hingegen einen Stoff an, „den die Blätter brauchen dann/das der dann trocknet und sich das dann verfärbt.“ Er ist in der Lage „den Stoff“ und den Zusammenhang mit der Verfärbung genauer zu beschreiben: „Also der Baum saugt ja das Wasser aus der Erde und dann reguliert der das und dann wird daraus ein Stoff und der geht dann in die Blätter rein und dann verfärben sich die Blätter, weil der Stoff hart wird.“ Er

⁴ Die Namen der Schüler wurden anonymisiert.

fügt hinzu, dass die Kälte die Ursache für das Hartwerden des Stoffes ist: „[...] und wenn das dann kalt wird/[...] dann wird das hart.“ Andreas beschreibt außerdem, wie der Stoff im Blatt verteilt wird: „Die Adern die gehen bis in die Spitze und dann reißen die und die verteilen sich dann richtig im Blatt und dann fließt der Stoff darein.“

Sein Gedankengang hinsichtlich der Blattverfärbung:

Baum saugt Wasser aus der Erde → Stoff entsteht
→ Stoff wird in die Blätter transportiert, verteilt sich
→ Stoff wird bei Kälte hart → Verfärbung.

Andreas sieht den Blattfall als einen passiven Vorgang an, der allein durch äußere Faktoren eingeleitet wird: „[...] Das mit dem Stoff, das geht dann da einfach rein und dann wird das frostig und dann fallen die Blätter runter und da fühlt der Baum nichts von.“ Er betont, dass der Baum im Gegensatz zu den Blättern Frost aushält: „[...] Und der Baum kriegt dann auch Frost nen bisschen, aber die finden das nicht schlimm.“

5.1.2 Das Traubenzuckerkonzept von Manuel

Manuel kommt im Interview immer wieder auf den Traubenzucker zurück, z.B. beim Blattfall: „Der Traubenzucker bringt die ganze Zeit Leben in die Blätter und wenn die Blätter kein Leben mehr kriegen, dann sind die ja so was ähnliches wie ausgestorben.“ Er unterstützt seine Äußerung mit einer Analogie: „Das ist genauso, wie wenn Menschen, wenn sie noch leben, stehen und dann, wenn sie tot sind, kippen sie ja auch um.“

Er argumentiert somit folgendermaßen:

Traubenzucker bringt Leben → Traubenzucker fehlt
→ Blätter sterben → Blätter fallen ab.

Manuel zieht auch eine Verbindung zwischen dem Traubenzucker und der Verfärbung: „Vielleicht, weil eh der Traubenzucker die Farbe darein bringt? Also dass/und wenn der rausgesaugt wird, dann vertrocknet das so ähnlich und dann wird das braun.“ Die Antwort auf das Item 3 war ähnlich: „erst wider traubenzucker rausgezogen wird und [...] es] wird das grüne frische verschluckt.“

Im Hinblick auf die grüne Farbe antwortet er wie schon zuvor im Fragebogen: „Die kommt in den Stamm zurück.“ Er erklärt auch den Vorgang der Färbung: „Als erstes kommt ja das unten [...] Das kommt ja am schnellsten wieder in den Stamm zurück“.

**Traubenzucker färbt Blätter → im Herbst wird der Traubenzucker rausgesaugt → Blatt vertrocknet → das Grün kommt in den Stamm
→ Blatt färbt sich um.**

Manuel hat ein kindgemäßes Verständnis darüber, dass der Zucker Energie liefert. Er hat die Vorstellung, dass der Traubenzucker aus dem Boden kommt. Zur Funktion der Blätter sagt er Folgendes: „Darin speichert der [der Baum] eh das Traubenzucker ...“ Er erfasst anscheinend, dass z.B. Chlorophyll durch die Blattadern transportiert wird: „hier an den Blattadern ist ja auch überall noch so ein bisschen grün.“

5.1.3 Das Austrocknungs- und Wirkstoffkonzept von Vera

Bei Vera taucht sowohl „Austrocknen“ wie auch „Wirkstoffe“ mehrfach auf, so bei Item 5: „Die Blätter haben besondere Wirkstoffe in sich und die Blätter verfärben sich, wenn sie austrocknen.“

Im Interview bezieht sie sich zunächst nur auf das Austrocknen: „Im Sommer haben die Blätter mehr Wasser [...] und im Winter vertrocknen die dann und dann kriegen die auch ihre Farbe.“ Um den Zusammenhang zwischen Austrocknen und Verfärbung genauer zu erklären, benutzt sie eine Analogie: „Hm, wenn die Feuchtigkeit so vertrocknet, dann [...] färbt die sich so an, weil das passiert ja auch beim Holz. Da ist es ja auch innen drin im Sommer erst grün und dann wird's hinterher im Winter so richtig alt und wird dann richtig braun innen drin.“

Außerdem nennt sie „Wirkstoffe“: „Die Blätter haben im Sommer andere Sachen, anderes Wasser in sich drin, im Winter [...] da [sind] dann irgendwie auch andere Sachen mit darein kommen durch den Baum [...]“ Vera sieht auch einen Sinn dahinter: „... Die anderen Wirkstoffe sind nämlich etwas besser, als ein ganz normaler Wirkstoff.“ Und zu dem Vorgang der Verfärbung sagt sie: „dann vermischen die beiden Wirkstoffe sich und die grüne Farbe sieht man dann nicht mehr so dolle“.

Auch Vera meint, dass die Kälte den Blattfall einleitet: „Weil es hm, weil es kühler wird und dann wird der Baum auch etwas kühler und dann werden die Wirkstoffe die da drin sind nicht mehr so wirklich die Kälte aushalten und die fallen dann einfach ab und sterben ab.“

Vera stellt eigentlich zwei verschiedene Theorien auf, die sich zwar nicht widersprechen, aber ohne inneren Zusammenhang dargestellt werden:

1. Theorie:

**Winter: Baum hat weniger Wasser → Blätter trocknen aus
→ Verfärbung erfolgt.**

2. Theorie:

**Baum gibt Wirkstoffe an die Blätter
→ im Herbst gibt es bessere Wirkstoffe → a)/b)**

- a) Verschiedene Wirkstoffe vermischen sich → Blätter färben sich.**
- b) bei Kälte werden auch sie unwirksam → Blätter fallen ab.**

Vera kann mit ihrer Wirkstoff-Theorie folgerichtig erklären, warum sich nicht alle Blätter gleichzeitig verfärben und kann auf das Aussehen der mitgebrachten Blätter eingehen.

5.2 Zusammenfassung der Konzepte

Obwohl Herbstlaubfärbung und Blattfall noch nicht Unterrichtsinhalt waren (vgl. Klasse 4b in Kap. 3.3), haben alle drei Schüler zu bestimmten Aspekten schon wissenschaftliche Präkonzepte, die stringent und nachvollziehbar erklärt werden. Im Ablauf des Interviews wird deutlich, dass es ihnen auch Freude macht, sich mit den Inhalten auseinanderzusetzen und Erklärungen zu entwickeln.

6 Diskussion

Welche Vorstellungen sind bei den Schülern vorhanden? Wie könnte man im Unterricht auf bestimmte Vorstellungen eingehen und welche Auffassungen könnten noch wissenschaftlich ausdifferenziert werden?

Als wesentliche Erkenntnis aus der Erhebung ist festzuhalten, dass von den Schülern durchgängig nicht differenziert werden kann, welche Ereignisse ursächlich sind und welche eine Folge darstellen. Die endogene Entwicklung, die in der Pflanze abläuft und zusätzlich von außen gesteuert wird, insbesondere die Tageslänge als Zeitgeber⁵, wird nur in Ansätzen angesprochen. Sehr viele Phänomene werden jedoch erkannt.

Zu den Vorstellungen über den Blattfall

Vielen Schülern fehlt noch der Einblick in den Zusammenhang zwischen Blattfall und **Kälte**. Die Vorstellung, dass der Frost die Blätter schädigen könnte, ist offensichtlich.

⁵ Hier bietet sich die Beobachtung eines Phänomens bei Bäumen in der Nähe von Straßenlaternen an: Die dem künstlichen Licht besonders ausgesetzten Blätter mancher Arten (z.B. Platane) bleiben deutlich länger grün.

Allerdings müsste erarbeitet werden, dass der Blattfall eine Schutzmaßnahme vor dem Erfrieren und Vertrocknen ist und keine Folge des Frosts. Hierzu gehört, dass es für einen Baum im Winter schwierig ist, Wasser aufzunehmen. Auf die Vermutung, dass ein Laubbaum Wasser in fester Form (unter 0 °C gefroren) nicht aufnehmen kann, könnte ein Versuch in Gruppenarbeit erfolgen: Begonie in Wasser von etwa 20 °C stellen und parallel in eine Kältemischung (KLAHM 1981).

Der **Wind** ist ein typischer Faktor in der Vorstellung von Kindern, wissenschaftlich gesehen ist er jedoch nur ein sekundärer Faktor. Blattfall wird erst durch das Trenngewebe ermöglicht, was von wenigen Schülern erkannt wird. Im Unterricht könnte wie folgt vorgegangen werden: Nach der „Fragestellung: Welches Blatt fällt leichter ab, ein grünes oder ein bereits verfärbtes?“ wird die experimentelle Klärung versucht: Das Entfernen unterschiedlich gefärbter Blätter von einem ausgewählten Baum. Es folgt die „Fragestellung: Was ist die Ursache für das unterschiedlich leichte Abbrechen?“ Die Beantwortung wird durch das Betrachten der Blattnarbe am Spross mit einer Lupe erreicht. (Ein ähnlicher Versuch mit Hinweis auf die Korkschicht als Verdunstungsschutz wird bei KLAHM, 1981, vorgeschlagen, während MÜLLER, 1993, den Wundverschluss lediglich erläutert.)

Die von vielen Schülern notierte Beobachtung, dass die **Blätter austrocknen**⁶, ist eine gute Grundlage, um zu erarbeiten, dass die Blätter vom Baum abgetrennt werden (selbst, wenn sie wie z.B. bei der Eiche noch lange am Baum hängen bleiben), damit nicht der ganze Baum vertrocknet. Ein Schüler zeigt, dass es möglich ist, auf die Frosttrocknis einzugehen, indem er den Konjunktiv wählt: „er würde austrocknen.“

Beim **Nährstoff/Nährsalzhaushalt** kristallisiert sich als typisches Hauptproblem die Frage heraus, wer eigentlich wen versorgt. Die Blätter können nicht mehr mit Wasser und Salzen („Stoffen“) versorgt werden, denn die Leitgewebe werden verschlossen. Ein Baum muss jedoch nicht mit Nährstoffen „auch noch die Blätter versorgen“.

Vor dem Blattfall werden die im Blatt vorhandenen „Nährstoffe“ (i.w.S.) zurück in den Baum transportiert. Über diesen Prozess geben einige Schüler an, dass der Baum auf die Nährstoffe angewiesen ist. Die Verwendung des Wortes „Saft“ ist kindgerecht für eine Flüssigkeit, die noch weitere Stoffe enthält. Die Vorstellung einer Vorratskammer („der Saft wird in der Wurzel gespeichert“) trifft die physiologischen Gegebenheiten, auch wenn die Nährstoffe in den

⁶ Hierzu könnte man die oft mögliche Beobachtung treffen lassen, dass ein Blatt von außen nach innen vertrocknet.

lebenden Zellen (nur in diesen!) von Rinde und Holz gespeichert werden. Es sollte bearbeitet werden, dass der Nährstoffrücktransport nicht der Grund für den Blattfall ist, sondern ein Prozess, der vor dem Blattfall abläuft und den Baum auf den Winter vorbereitet. Der chemische Nachweis der Stärke in der Rinde und dem Holzparenchym (Iodkalium-Iodid, Lupe) könnte sodann im Sekundarstufen I-Unterricht ergänzt werden.

Zur **Entwicklungsphysiologie**: Die Erneuerung der Blätter ist nicht der Grund für den Blattfall. Weiterhin wichtig ist, dass im jahreszeitlichen Rhythmus nur die Blätter absterben und der Baum selber nicht von der Seneszenz betroffen ist.

Zu den Vorstellungen über die Herbstlaubfärbung

Ein typischer Faktor in der Vorstellung der Schüler ist die **Temperatur**. Es wird erkannt, dass die Temperatur Einfluss auf die Intensität der Verfärbung hat, insbesondere wenn tiefe Nachttemperaturen auf relativ hohe Tagestemperaturen folgen. Eine Verbindung zwischen dem Phänomen einer intensiven Herbstfärbung und sehr **sonnigen Herbsttagen** besteht. Für die Färbungen, die durch Carotinoide verursacht werden, spielt die Sonneneinstrahlung jedoch keine Rolle. Betrachten wir jedoch die Anthocyane, so fördert Licht deren Synthese und somit eine kräftigere Rotfärbung. Dieses Phänomen ist oft an Alleebäumen (Roteichen) zu sehen, die besonders stark rötlich im obersten Kronenbereich gefärbt sind (vgl. auch die „roten Bäckchen“ bei Äpfeln).

Der Gedanke, dass die Farben nur vorhanden sind, wenn die Blätter nass sind, kann widerlegt werden, indem man gefärbte Blätter zeigt, die nicht nass sind sondern trocken.

Die Beschreibung der **grünen Farbe** als „so eine art Decke“ stellt kindgemäß dar, dass Chlorophyll aufgrund der Menge die anderen Farbtöne verdeckt. Andererseits ist die Mehrzahl der Schüler der Meinung, dass die grüne Farbe sich verfärbt. Ein geeigneter Ausgangspunkt für exaktere Erörterungen sind z.B. Roteiche und Ahornarten, bei denen der **Abbau der Chlorophylle** gut zu beobachten ist. Eine wichtige Frage lautet: Wo bleibt die grüne Farbe? Der Hinweis eines Schülers, dass sie nicht einfach verschwinden kann, führt zu einer Lösungsmöglichkeit: Die Überprüfung des Zweiginneren könnte ergeben, dass im Holz kein Grün vorhanden ist. Das Chlorophyll muss also verändert, d.h. z.B. abgebaut worden sein. – Eine direkte Antwort/Beobachtung ist aber in einer Grundschule nicht möglich.

Beobachtungen zeigen, dass verfärbte Blätter **Wassermangel** aufweisen. Auch diese Beobachtung wurde von vielen Schülern notiert. Das Verfärben beim Vertrocknen führt zu einer gedanklichen Verbindung zwischen dem Verfärben, dem Wassergehalt und dem Nährstoffgehalt im Blatt. Es müsste verdeutlicht werden, dass das Vertrocknen nicht die Ursache für die Verfärbung ist, sondern genau wie die Verfärbung eine Folge von Prozessen ist, die ablaufen, weil der Baum sich auf den Winter „vorbereitet“.

Vorstellungen über den Vorgang der Verfärbung

Eine differenzierte Antwort zum Vorgang des Verfärbens könnte erreicht werden, wenn an verschiedenen Blättern die Verfärbung gezeichnet wird (zeitabhängig und artspezifisch; exakte Protokollführung der Entwicklung bzw. naturgetreue Zeichnung; optimal ist eine wiederholte Beobachtung eines Blattes direkt am Baum/Strauch). Auch könnten Schüler in Gruppen zwei bis drei Wochen lang alle zwei bis drei Tage einen bestimmten Baum aufsuchen, ein typisches Blatt abbrechen und zwischen saugfähigem Papier trocken (Datum!). Die Auswertung erfolgt durch Vergleich der verschiedenen Baumarten zu den einzelnen Fundtagen (ähnlich bei MÜLLER 1993).

Dies wäre auch besonders dann sinnvoll, wenn die These stimmt, dass „Phänomene des Herbstes nicht mehr so selbstverständlich erlebt und wahrgenommen [werden], wie dies noch vor drei bis vier Generationen der Fall war“ (MEIER 2005, 73; vgl. auch die Herbstfärbung bei Straßenbäumen bei BOGNER 1994). Insgesamt müsste die Zuordnung der Herbstfarben zu Baumarten bei vielen Schülern noch verbessert werden, z.B. durch das Anlegen eines Herbars mit grünen und mit herbstlich gefärbten Blättern.

Hervorragend für weitere Diskussionen geeignet ist, wenn Schüler erklären, dass die Farbstoffe, die für die Herbstfärbung verantwortlich sind, schon im grünen Blatt vorhanden sind. Ebenso, wenn beschrieben wird, dass der Baum den Blättern sowohl die Nährstoffe wie auch die grüne Farbe entzieht.

Die **ästhetische Komponente** sollte im Sachunterricht nicht ausgeklammert werden, jedoch sollte geklärt werden, dass hinter Naturphänomenen immer Ursachen und Gesetzmäßigkeiten verborgen sind.

Literatur

- BIESTER, W. (Hrsg., 1991): Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule. Klinkhardt, Bad Heilbrunn
- BOGNER, F. (1998): Warum hat eine Allee zwei verschiedene Herbstanfänge? UB **18** (195), 49
- BRAUN, H. J. (1998): Bau und Leben der Bäume. Rombach, Freiburg im Breisgau
- ESCHRICH, W. (1995): Funktionelle Pflanzenanatomie. Springer, Heidelberg
- GILSENBACH, H. (2001): Bäume. Ein Was ist was Buch. Tessloff, Nürnberg
- GROSSMANN, K. (1992): Wie lange bleibt ein Blatt grün? Praxis der Naturwissenschaften Biologie **41** (4), 8-11
- KLAHM, G. (1981): Herbstfärbung, Laubfall und Abbau des Falllaubes. Projektarbeit für das 6. Schuljahr. NiU-B **29** (11), 409-421
- KREMER, B. P. (2002): Bunter Abfall. Versuche mit (herbstlichen) Blattpigmenten. Biologie in unserer Zeit **32** (5), 319-326
- LARCHER, W. (1984): Ökologie der Pflanzen auf physiologischer Grundlage. Ulmer, Stuttgart
- MATILE, P. & KRÄUTLER, B. (1995): Wie und warum bauen Pflanzen das Chlorophyll ab. Molekulare Grundlagen der Blattvergilbung. Chemie in unserer Zeit **29** (6), 298-306
- MEIER, R. (2005): Phänomene des Herbstes kennen und verstehen lernen. In: MEIER, R. (Hrsg.): Sammelband „Grundschule Sachunterricht“. Natur erkunden. Durch's Jahr. Unterrichtsideen und Materialien. Kallmeyer, Seelze
- MÖLLER, K. (1991): Handeln, Denken und Verstehen. Untersuchungen zum naturwissenschaftlich-technischen Sachunterricht in der Grundschule. Naturwissenschaften und Unterricht, Bd. 9. Westarp-Wiss., Essen
- MÜLLER, S. (1993): Herbstlaub. Unterrichts Anregung für die Sekundarstufe 1. UB **17** (189), 21-23
- NULTSCH, W. (2001): Allgemeine Botanik. Thieme, Stuttgart
- OEHMIG, B. (1990): Herbstliche Farben. UB **14** (153), 24-27
- REISS, W. (2000): Zur Produktion und Analyse von Kinderzeichnungen. In: HEINZEL, F. (Hrsg.): Methoden der Kindheitsforschung. Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive, 231-244. Juventa, Weinheim
- RÜTHER, F. (1997; Hrsg.): Herbst. UB **21** (227), Themenheft 4-51
- SCHAEFER, M. H. & WILKINSON, D. (2004): Red leaves, insects and coevolution: a red herring? Trends in Ecology and Evolution **19** (12), 616-618
- SCHOPFER, P. & BRENNICKE, A. (1999): Pflanzenphysiologie. Springer, Berlin
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. (2000): Physiologie der Pflanzen. Spektrum, Heidelberg

ZIETZ, K. (1969): Kind und physische Welt. Psychologische Voraussetzungen der Naturlehre in der Volksschule. Kösel, München

Verfasser

Svenja Gruden, svenja.gruden@gmx.de

Prof. Dr. Manfred Hesse, Institut für Didaktik der Biologie, Fliednerstr. 21, 48149

Münster, Fax: 0251-83-31330; hessema@uni-muenster.de