

Schriftliche Prüfungsarbeit im Rahmen der 2. Staatsprüfung
für das Amt des Studienrats

Formale Sprachen

Darstellungsschwerpunkt:

Erprobung des EIS-Prinzips nach Bruner zur Förderung der Kompetenz „Informatiksysteme verstehen“

Eine Unterrichtseinheit im Fach Informatik in einem Grundkurs
im 3. Kurshalbjahr des Rheingau-Gymnasiums

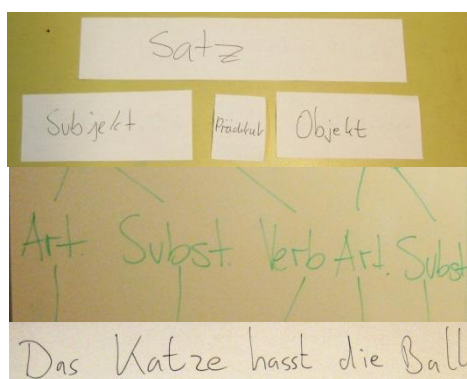


Abbildung 1: Zusammenstellung von Schülerprodukten

Paul Hendrik Voß
Berlin, den 17.04.2012

Paul Hendrik Voß
Ebersstraße 66
10827 Berlin
vossref@arcor.de

4. Schulpraktisches Seminar Neukölln (S)
Wildhüterweg 5
12353 Berlin

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Theoretische Überlegungen	5
2.1	Das EIS-Prinzip	5
2.2	Leitfrage und Hypothesen	9
3	Planung der Unterrichtssequenz	10
3.1	Darstellung der Unterrichtsvoraussetzungen	10
3.2	Kompetenzen und Standards	11
3.3	Sachanalyse	13
3.4	Analyse bezüglich der Repräsentationsebenen	16
3.5	Synopse.....	23
4	Analyse ausgewählter Aspekte	25
4.1	Die Analyseinstrumente	25
4.2	Die dritte Unterrichtsstunde	26
4.3	Die fünfte Unterrichtsstunde	29
4.4	Die achte Unterrichtsstunde	33
4.5	Darstellung der Kompetenzentwicklung	37
4.6	Überprüfung der Leitfrage und der Hypothesen.....	41
5	Fazit	46
6	Quellenverzeichnis	47
7	Eidesstattliche Erklärung	49
8	Anhang	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenstellung von Schülerprodukten (enaktiv, ikonisch, symbolisch).....	1
Abbildung 2: Darstellungsübergänge (vgl. Zech, 2002, S. 106).....	7
Abbildung 3: Syntaxregeln	14
Abbildung 4: Eine Alternative.....	14
Abbildung 5: Ein Syntaxbaum.....	19
Abbildung 6: EBNF und Syntaxdiagramm.....	22
Abbildung 7: Das Katze hasst Die Ball	27
Abbildung 8: 29.05.678	27
Abbildung 9: Syntaxkarten, die eine Übersicht bilden.....	28
Abbildung 10: "Syntax-Spalten" von Luis	28
Abbildung 11: Gegenüberstellung der „Ebenen“ einer deutschen und einer formalen Grammatik.....	29
Abbildung 12:Ausschnitt der Übersicht von Luis	31
Abbildung 13: Überblick zur Grammatik von Saide	32
Abbildung 14: Syntaxbaum von Saide.....	33
Abbildung 15: Erweiterte Syntaxkarte zur Wiederholung von Einzelzeichen von Lukas.....	35
Abbildung 16: Syntaxdiagramm und EBNF zu einem Teil der Syntax der deutschen Sprache	36
Abbildung 17: Ausschnitt des Vergleichs von natürlichen und formalen Sprachen zum Abschluss der Einheit von Mitra	38
Abbildung 18: Ein Syntaxdiagramm aus dem Abschlusstest.....	40
Abbildung 19: Dem Alter nicht angemessen.....	42
Abbildung 20: Ohne Basteleien schneller erlernt	43
Abbildung 21: Beim Lernen hilfreich.....	44
Abbildung 22: Bearbeitete Zusammenstellung der Ankreuzbogen von Mitra, Luis und Saide	50

1 Einleitung

„Erzähle mir und ich vergesse. Zeige mir und ich erinnere mich. Lass es mich tun und ich verstehe!“
(Konfuzius 551-479)

Informatik ist die Wissenschaft der automatischen Verarbeitung von Informationen. Diese wird in der Regel durch Rechenmaschinen verwirklicht, welche durch Strom gesteuert werden. Verschiedene Stromspannungen zu bestimmten Zwecken eingesetzt ergeben gemeinsam eine Sprache wie den Maschinencode. Damit Menschen diese Sprache sprechen können, werden die Wörter durch die Zeichen Null und Eins symbolisiert. Solche abstrakten Zeichen finden sich vielfach in der Informatik, so auch bei höheren Computersprachen wie Java oder bei der formalen Beschreibung der Grammatik solcher Sprachen.

Dieser hohe Abstraktionsgrad der symbolischen Schreibweise erschwert es vielen Schülerinnen und Schülern¹ die dahinterstehenden Konzepte zu erlernen. Häufig ist beispielsweise das Programmieren von Versuchen geprägt, welche ein Fehlverständnis der Syntax offenbaren. Besonders die mathematischen Elemente der Informatik wie etwa das schriftliche Rechnen im binären Zahlensystem sind – nur anhand der Symbole erklärt – für einige Schüler eine Hürde. Auch in der allgemeinen Didaktik wird beobachtet, dass das Lernen „auf der abstrakt-symbolischen Stufe geradezu verhindert wird, weil man zu früh und zu ausschließlich auf dieser Ebene ansetzt“ (Klafki, 2007, S. 159).

Vielfach werden bereits Skizzen und Diagramme verwendet, um die Prinzipien der Informatik verständlicher zu machen, und auch im Alltag finden sich oft gegenständliche Übertragungen. Die Mathematikdidaktik nutzt solche Veranschaulichungen schon länger und beruft sich dabei auf den Kognitionspsychologen Jerome Bruner. Dessen Theorie, enaktive, ikonische und symbolische Darstellungen zu nutzen, findet als das EIS-Prinzip langsam auch im Informatikunterricht Einzug. Eine aktuelle Studie zeigt jedoch, dass in Berlin kaum nach diesem Prinzip gearbeitet wird (vgl. Kalbitz, et al., 2011). Ein Drittel der befragten Informatiklehrerinnen und Informatiklehrer² kennt das Lehrprinzip, wendet es aber wohl vor allem aus Ermangelung an Ideen für enaktive Repräsentationen kaum an. So verwendet bei dem Thema *formale Sprachen* keiner der Befragten die Methode Basteln. In der vorliegenden Arbeit möchte ich genau dazu eine Idee beisteuern.

Die enaktive Ebene lässt dabei das Informatiksystem Compiler zum Verarbeiten von formalen Sprachen im wahrsten Sinne des Wortes begreifen, wodurch eine Förderung der Kompetenz *Informatiksysteme verstehen* ermöglicht wird. Zu dieser gehört auch der Vergleich zwischen natürlichen und formalen Sprachen, deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede anhand der Verarbeitung eines Rechners erarbeitet werden können. Das mit Schere durchgeführte Zerlegen der grammatikalischen Struktur und plastisch dargestellte Anwenden der Regeln fokussiert dabei auf einzelne Aspekte.

¹ Der Begriff *Schüler* wird im Folgenden geschlechtsneutral verwendet.

² Der Begriff *Lehrer* wird im Folgenden geschlechtsneutral verwendet.

2 Theoretische Überlegungen

*„Der Anfang der Kenntnis muß immer von den Sinnen ausgehen, denn nichts befindet sich in unserem Verstande, das nicht zuvor in einem der Sinne gewesen wäre.“
(Comenius, 2007, Org.: 1657)*

2.1 Das EIS-Prinzip

Der amerikanische Entwicklungspsychologe Jerome Bruner nennt in seinem „Entwurf einer Unterrichtstheorie“ aus dem Jahre 1974 drei Repräsentationsebenen, durch welche Informationen dargestellt werden können. Sie sind für die Didaktik interessant, da jede Ebene eines Lerngegenstands zum Verständnis beitragen kann und insbesondere durch einen Wechsel zwischen den Ebenen eine zum Lernen vorteilhafte Förderung stattfinden kann. Den gezielten Einsatz der Ebenen und den Wechsel zwischen ihnen nennt man das EIS-Prinzip (vgl. Zech, 2002, S. 117).

Die Anfangsbuchstaben der drei Ebenen ergeben den Namen. Die enaktive Ebene ist ein Teil der haptisch erfahrbaren Wirklichkeit, zu welcher Handlungsschemata erlernbar sind. Beispielsweise kann das Fahrradfahren erlernt werden, obwohl dies viele Handlungen erfordert, die weder durch Bilder noch durch Worte gelehrt werden können. Die Ebene besticht durch die Möglichkeit der eigenen Manipulation und der Erfahrbarkeit von direkten authentischen Rückmeldungen. Deswegen kann die Arbeit am Rechner mit Lernumgebungen oder interaktiven Programmen als virtuell-enaktiv bezeichnet werden (vgl. Hartmann, et al., 2006, S. 117). „Paradebeispiel ist die Simulation von elektronischen Schaltungen auf dem Rechner anstelle realer Experimente“ (Schwill, 2009, S. 14). Denn auch hier können – mit klaren Grenzen – Handlungen frei ausprobiert werden und Auswirkungen beobachtet werden. Im Unterricht kann bei Materialmangel außerdem semi-enaktiv gelernt werden. Dies bezeichnet das Zuschauen einer Handlung ohne das eigene Erproben (vgl. Hartmann, et al., 2006, S. 117).

Die ikonische Ebene umfasst bildliche und graphische Repräsentationen sowie „geistig vorgestellte“ Bilder. Sachverhalte werden hier durch die Art und die Komposition der Elemente nur für das (geistige) Auge wahrnehmbar dargestellt. „Bilder können [...] dazu verwendet werden, Zustände, Handlungen oder – in symbolischer Weise – Beziehungen darzustellen“ (Bruner, et al., 1971, S. 29). Dadurch bieten sie einen Überblick, welcher „besonders nützlich zur simultanen Erfassung verschiedener Alternativen“ (Zech, 2002, S. 108) ist. Weder Bruner noch der Mathematikdidaktiker Zech befinden eine Unterscheidung von Bildern und Grafiken für nötig. Man muss sich dabei bewusst sein, dass der Abstraktionsgrad einer Grafik höher ist, da sie einen Sachverhalt durch wenige Elemente darstellt. Dies kann aber gerade dann von Vorteil sein, wenn der Lernende sich schnell von unwesentlichen Elementen eines Bildes ablenken lässt.

Die dritte Repräsentationsebene ist die symbolische. Sie umfasst Symbole und Regelsysteme wie etwa das schriftliche Rechnen. Symbole sind innerhalb einer formalen Sprache (siehe

Abschnitt 3.3.1) eindeutig und können verbalisiert werden. Reguläre Schreibweisen auf der symbolischen Ebene sind wegen des hohen Abstraktionsgrades selten intuitiv zu erlernen, denn Symbole sind willkürlich gewählt (vgl. Bruner, 1974, S. 17). Allerdings wird sich zum besseren Verständnis häufig gerade in der Informatik zum Beispiel um ein gutes Sprachdesign bemüht (Wagenknecht, et al., 2009, S. 7). Zur symbolischen Ebene zählt Bruner auch Worte und die natürliche Sprache. Sie gehören zu „einem symbolischen System [...], in dem nach Regeln oder Gesetzen Sätze formuliert und transformiert werden“ (Bruner, et al., 1971, S. 49).

Die angegebene Reihenfolge der Ebenen verläuft vom Konkreten zum Abstrakten. Sie ist abgeleitet von der kognitiven Entwicklung eines Menschen, deren drei Hauptstadien der Schweizer Entwicklungspsychologe Piaget in seiner Stadientheorie beschreibt. Eine kurze Zusammenfassung der Stadien bietet hier ein Beispiel für die drei Repräsentationsebenen.

Ein Kind von etwa zwei bis sechs Jahren ist im präoperatorischen Stadium an konkrete Handlung und unmittelbare Anschauung gebunden. Es kann Holzstäbchen nach ihrer Länge sortieren, indem es paarweise die Stäbchen miteinander vergleicht. Dabei kann es noch nicht den Schluss der Transitivität ziehen, dass aus $A < B$ und $B < C$ folgt: $A < C$. Folglich kann es keine Sortierung an gezeichneten, verschieden langen Streifen durchführen. Denn es kann sie nicht (im Geiste) anfassen, paarweise vergleichen und Stück für Stück sortieren. Dies wird erst mit etwa sieben Jahren im anschließenden Stadium der konkreten Operationen möglich. Dann wird die Denkleistung des Gehirns kompositionsfähig und reversibel, wodurch die ikonische Ebene erschlossen wird. Anfangs werden im Kopf die Handlungen der enaktiven Ebene oder daraus abgeleitete Strategien aktiviert. Die Streifen können dann durch bloßes Hinschauen von Klein nach Groß genannt werden. Erst mit ungefähr elf Jahren im Stadium der formalen Operationen sind dem Kind sprachlich-symbolische Handlungen möglich (vgl. Piaget, 1971, S. 151 ff. und 168 f.). Bruner spricht von der symbolischen Ebene als eine „neue und wirksame Methode [...], die sowohl Handlung wie Bild in die Sprache übersetzt“ (Bruner, et al., 1971, S. 21). So werden sich Personen von aufsteigender Größe vor dem geistigen Auge vorgestellt, wenn Aufgaben wie „Alice ist größer als Maria; Elsa ist kleiner als Maria: Ist Elsa größer als Alice?“ gelöst werden (vgl. ebd., S. 30).

Häufig findet sich die Reihenfolge von enaktiv zu symbolisch auch in der Unterrichtsplanung wieder. Enaktive Darstellungen sollten als Einstieg in ein Thema gewählt werden. „Der Stoff wird für die Lernenden zugänglicher und besser im Gedächtnis verankert“ (Hartmann, et al., 2006, S. 116). Auch sollte einem Schüler mit Schwierigkeiten im Abstrakten „ein Zurückgehen auf eine konkretere Stufe“ (Zech, 2002, S. 117) angeboten werden. Glöckel weist darauf hin, dass dies „gegen die Bequemlichkeit der Schüler, die ihrerseits die Neigung haben, sich mit den Bildern oberflächlich berieseln zu lassen“ (2003, S. 285), geschehen müsse.

Denn nach Bruner ist ein solcher Wechsel zwischen den Darstellungsebenen, also auch etwa von der symbolischen zur enaktiven, besonders entscheidend. Ein Erwachsener zeichnet sich dadurch aus, dass er jeden möglichen Wechsel zwischen den Ebenen flexibel vollziehen kann

(vgl. Bruner, et al., 1971, S. 21). Es ist dem Lernen förderlich, da jede Ebene je nach Problemlage auch Hindernisse bergen kann. Beispielsweise hat die Abstraktion von binären Zahlen – also Zahlen durch Einsen und Nullen repräsentiert – manche meiner Schüler einen falschen Übertrag bei der Addition von drei Zahlen notieren lassen. Durch ein anschließendes Handeln mit dem Stellenwert entsprechend großen Häufchen von Steinen hätten sie selbst erkannt, dass ihr symbolisch notierter Übertrag nicht die tatsächliche Menge repräsentierte.

Dass auch die Anschauung auf der ikonischen Ebene hinderlich sein kann, belegt der Versuch zur Invarianz von Flüssigkeiten. Schüttet man eine Wassermenge von einem Glas in ein anderes, schmaleres Glas, so meinen die meisten unter sieben Jahre alten Kinder wegen des höheren Wasserstandes, dass in dem zweiten Glas nun mehr Wasser enthalten sei. Erst wenn die Gläser zunächst durch einen Schirm verdeckt werden, „zwingt“ man fast alle Kinder dazu, ein Argument für den Erhalt der Wassermenge zu finden. Entfernt man nun den Schirm, so ändern hauptsächlich nur Vierjährige (Jüngere waren nicht beteiligt) ihre Meinung und lassen sich wieder von dem Anblick des Wasserstandes täuschen. Die älteren Kinder erfahren durch diesen Konflikt zwischen der ikonischen und sprachlich-symbolischen Ebene eine kognitive Fortentwicklung (vgl. ebd., S. 223 ff.).

Zech ordnet die Sprache als eigenständige, der symbolischen gleichgestellte Ebene ein. Dadurch gibt es zwölf mögliche Übergänge zwischen den vier Ebenen. Die Darstellungswegwechsel, die in der Abbildung 2 durch nach unten hin verlaufende Pfeile repräsentiert sind, heißen Abstraktionen, und diejenigen nach oben hin Konkretisierungen. Dabei sollte klar sein, dass Schüler nicht alle Übergänge zu einem Lerngegenstand vollziehen zu brauchen (vgl. Zech, 2002, S. 106 f.). Dennoch ist festzuhalten: „Nur im Wechsel von Sinneswahrnehmung und geistiger Verarbeitung, von Konkretion und Abstraktion wächst Erkenntnis“ (Glöckel, 2003, S. 283).

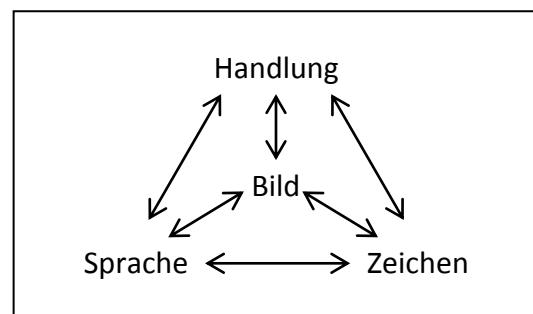


Abbildung 2: Darstellungswegwechsel
(vgl. Zech, 2002, S. 106)

Die Mathematikdidaktik verwendet das EIS-Prinzip schon lange. Friedrich Zech schreibt bereits drei Jahre nach Bruners Publikation in seinem Standardwerk „Grundkurs Mathematikdidaktik“, dass der Wechsel zwischen den Ebenen „vielfältige Anregungen für intellektuell fördernde Aufgabenstellungen“ (1978, S. 107) biete. Während die enaktive Ebene schon lange vor Bruner in der Grundschule genutzt werde, habe die ikonische eine besondere Stellung, „weil [sie] in Schulbüchern die einzige Möglichkeit darstellt, abstraktere Inhalte zu veranschaulichen“ (Zech, 2002, S. 107 f.). Nicht zuletzt wird das EIS-Prinzip sicherlich auch wegen des Lebensweltbezugs vieler enaktiver Repräsentanten von mathematischen Inhalten genutzt. Dies ist beispielsweise in der populärwissenschaftlichen Sendung des RB-alpha „Mathematik zum Anfassen“ von Albrecht Beutelspacher (2012) zu sehen.

Im Informatikunterricht arbeitet das Projekt Computer Science Unplugged daran, Methoden auf der enaktiven und ikonischen Ebene – ohne den Einsatz von Elektronik – zu entwickeln und didaktisch aufzubereiten (vgl. Bell, et al., 2006). Weitere Ideen finden sich in dem Buch „Abenteuer Informatik. IT zum Anfassen – von Routenplaner bis Online-Banking“ von Jens Gallenbacher (2008) und in dem LOG-IN-Magazin Nr. 160/161 von 2009.

In letzterem (und noch ausführlicher bei Schubert und Schwill (2011, 192 ff.)) bezieht sich Andreas Schwill auf Piaget – ein Zeichen dafür, dass seit den 1970er Jahren keine prägende Studie zu dem EIS-Prinzip geleistet wurde. So bedauert er: „Für die Informatik gilt die Aussage beinahe uneingeschränkt, denn wo findet man hinreichend gesicherte Aussagen zum Einsatz von [...] „handfesten“ Hilfen, wie sie hier vorgestellt werden?“ (Schwill, 2009, S. 15 f.). Auch stellt Glöckel fest: „Eine [...] Theorie der Unterrichtsmittel blieb eigenartigerweise lange Zeit wenig entwickelt“ (2003, S. 38). Er nennt zwar zahlreiche Studien zum Thema, doch viele untersuchen lediglich die Wirkung einzelner Medien wie etwa den Fernseher – nicht das EIS-Prinzip an sich. Dennoch sprechen diese Studien tendenziell für das EIS-Prinzip (vgl. ebd., S. 44 ff.). Guski kommt zu dem Ergebnis, dass visuell mehr Information aufgenommen werden kann als auditiv (vgl. 1989, S. 167 f.). Roth bestätigt, dass Erleuchtungen oder Einsichten, die Erwachsene oft haben, nichts anderes als das Ergebnis von „abtastenden Versuchen“ (1969 S. 260) auf der Vorstellungsebene sind. Und Correll sieht sogar einen Zusammenhang zwischen der unangemessenen Darbietung von Lernstoff und Lernstörungen (vgl. 1989, S. 50). Dennoch, bezogen auf die Lernpsychologie ist „Bruners Beitrag zur Entwicklung der zeitgenössischen kognitiven Psychologie mit der wichtigste“ (Lefrançois, 1994, S. 109).

Doch trotz dieser Ergebnisse der Theorie, die sich schon seit Comenius (vgl. Eingangszitat) für die Anschauung ausspricht, wird in der Praxis hauptsächlich auf der symbolischen und sprachlichen Ebene gearbeitet. Zwar bemühen sich Schulbücher der neueren Zeit vermehrt um die Einbindung von enaktiven und ikonischen Veranschaulichungen. Dennoch hat sich die eingangs genannte Beobachtung von Klafki in einer von mir mit durchgeführten Studie (Kalbitz, et al., 2011) zum Einsatz des EIS-Prinzips widerspiegelt: viele Lehrer unterrichten hauptsächlich mithilfe der symbolischen Ebene. Nur etwa die Hälfte aller Befragten setzte regelmäßig ikonische Darstellungen für ein Themengebiet ein. Und unter den enaktiven Repräsentationen wurde nur der programmierbare Roboter regelmäßig von elf der vierzig befragten Lehrkräfte eingesetzt. Der Eindruck entstand, dass hauptsächlich die am weitesten etablierten Methoden verwendet wurden. Eine bewusste Arbeit nach dem EIS-Prinzip scheint damit die Ausnahme zu sein.

2.2 Leitfrage und Hypothesen

Nach meinen Beobachtungen werden entsprechende Materialien in naturwissenschaftlichen Fächern wesentlich häufiger in unteren Klassenstufen eingesetzt als in höheren. Die ikonischen finden zwar durchaus noch in der Sekundarstufe II Verwendung, allerdings nur in Form von regulären Grafiken aus der Wissenschaft. Das oben erwähnte Projekt Computer Science Unplugged wirbt gar damit, für Kinder im Grundschulalter gedacht zu sein (vgl. Bell, et al., 2006).

Zwar sind die Schüler der Sekundarstufe II in dem Alter, dass sie recht schnell ein Verständnis für symbolische Darstellungen erwerben können. Außerdem empfinden sie eine Methode wie das Basteln vielleicht als nicht altersgemäß (gerade weil es hauptsächlich in der Grundschule durchgeführt wird). Dennoch denke ich, dass das EIS-Prinzip gewinnbringend im Unterricht eingesetzt werden kann.

Leitfrage

Hilft der Einsatz des EIS-Prinzips Schülern in der Sekundarstufe II beim Verstehen von Informatiksystemen sowie bei Operationen auf der symbolischen Ebene?

Da die Leitfrage allgemein zu beantworten ist, halte ich einen zweiten, differenzierten Blick für nötig. Natürlich wird nicht jeder Schüler im gleichen Maße von dem Prinzip profitieren. Daher möchte ich eine Aussage dazu treffen können, wie unterschiedlich einzelne Schülergruppen durch das EIS-Prinzip gefördert werden.

Differenzieren möchte ich zum einen nach der Leistungsstärke der Schüler. Zu vermuten ist, dass die leistungsschwächeren Schüler durch die Anschauung und die kognitiven Fortschritte bei den Darstellungswechseln gut gefördert werden. Aber auch die leistungsstarken Schüler sollten vergleichbare Fortschritte auf höherem Niveau machen können, da sie in jeder Repräsentationsebene vertiefende Überlegungen anstellen können.

Hypothese 1

Der Einsatz des EIS-Prinzips fördert gleichermaßen leistungsschwache sowie leistungsstarke Schüler.

Zum anderen lässt sich vermuten, dass mathematisch begabte Schüler schneller abstrakte Sachverhalte und symbolische Operationen erlernen können. Daher könnte ihnen die enaktive und ikonische Ebene als unnötig erscheinen.

Hypothese 2

Der Einsatz des EIS-Prinzips fördert gleichermaßen mathematisch weniger sowie mathematisch eher begabte Schüler.

3 Planung der Unterrichtssequenz

*„... das beste Gefühl (sic!) für einen spitzen Winkel bekommt man, wenn man sich mit einem Geodreieck [...] in die Hand piekt.“
(Spitzer, 2009, S. 419)*

3.1 Darstellung der Unterrichtsvoraussetzungen

3.1.1 Allgemeine Unterrichtsvoraussetzungen

An der Rheingau-Schule ist das Fach Informatik ab der 10. Klassenstufe als Wahlpflichtfach vertreten und wird danach als Grund- sowie als Leistungskurs angeboten. Trotz der zurzeit noch geringen, aber wachsenden Anzahl an interessierten Schülern erreichen die Kurse durch die Kooperation mit der benachbarten Paul-Natorp-Schule eine angemessene Größe.

Der Grundkurs im dritten Qualifikationssemester (in-3) besteht wegen des doppelzügigen Abiturjahrgangs nur aus Schülern der Rheingau-Schule. Von den zwei Mädchen und sechs Jungen befinden sich sieben im zwölf- und drei im dreizehnzügigen Abitur. Dennoch besuchen alle den Informatikunterricht im dritten Jahr. Ich unterrichte den Kurs seit Beginn des Schuljahres. Die drei Stunden in der Woche finden allesamt am Nachmittag statt, wobei die Leistungsfähigkeit und die Einstellung bezüglich des Unterrichts dennoch üblicherweise hoch beziehungsweise positiv sind.

Der Kellerraum bietet zum Sitzen im Innenkreis genügend Platz. An den Wänden des Raumes sind ausreichend viele Rechner vorhanden. Eine einfache Whiteboard-Tafel ist zentral angebracht, während die Leinwand nicht für alle Schüler ideal einsehbar ist. Der dazugehörige Projektor ist fest angebracht und zeigt das Ausgabebild eines der Rechner.

3.1.2 Spezielle Unterrichtsvoraussetzungen

Vom Kenntnisstand zu informatischen Inhalten bilden die Schüler eine recht homogene Gruppe. Unter ihnen beschäftigt sich niemand privat mit Programmier- oder ähnlichen Tätigkeiten. Allerdings zeigt sich deutlich eine unterschiedliche Leistung im Verständnis von mathematischen Aspekten. Während Lukas und Luis, die beiden Teilnehmer des Mathematik-Leistungskurses, schnell und gern entsprechende Anforderungen angehen, betonen andere, dass sie dafür mehr Zeit und ausführlichere Erklärungen benötigen. Lediglich Mads bewältigt auf vergleichbare Weise Aufgaben mit mathematischem beziehungsweise hochgradig formalem Gehalt.

Die Schüler haben beim Kompilieren von Quellcode mit dem Java-Editor Syntaxprobleme kennengelernt. Datenstrukturen wie der Baum oder der Stapel, welche für die Einheit wichtig sein werden, sind ihnen unbekannt.

3.1.2.1 Unteres Leistungsniveau

Saide beteiligt sich im Vergleich zu den anderen sieben Kursteilnehmern am wenigsten durch mündliche Beiträge. Nicht immer weiß sie auf Nachfragen eine passende Antwort. An manchen Tagen ist sie sehr wortkarg, wobei sie an anderen sehr aktiv sein kann. Ich sehe hier einen Zusammenhang mit dem Abstraktionsgrad der gerade behandelten Themen. Saide ist im dreizehnten Schuljahr und belegt die Leistungskurse in Deutsch und Geschichte. Sie scheut mathematische Inhalte. Besonders der Umgang mit formalen Sprachen wie dem Dualsystem oder Java-Quellcode fällt ihr schwer. So hat sie beide Klausuren des Schuljahres frühzeitig abgegeben und die Aufgaben zu den eben genannten Bereichen, in denen auf der symbolischen Ebene operiert werden musste, nicht einmal versucht zu lösen. Interessanterweise hat sie durch die restlichen Aufgaben dennoch Noten im befriedigenden Bereich erlangt. Da sie den Deutschleistungskurs besucht, erwarte ich von ihr in dieser Einheit insbesondere Beiträge zur natürlichen Sprache.

3.1.2.2 Mittleres Leistungsniveau

Luis ist sehr strebsam, leistet viele mündliche Beiträge und bearbeitet Aufgaben gewissenhaft und mit Erfolg. Dabei wählt er nach Möglichkeit den für ihn leichtesten Weg und verzichtet manchmal darauf, die Hausaufgabe zu machen. Bei erhöhtem Anspruch zeigt er manchmal Schwächen. Zugute kommen ihm häufig seine vielfältigen Kompetenzen, die er aus seinen Leistungskursen Mathematik und Politische Weltkunde in den Unterricht mit einbringt. Er ist, wie auch Mitra, im zwölften Schuljahr.

3.1.2.3 Oberes Leistungsniveau

Mitra hebt sich gegenüber ihren Mitschülern durch die Qualität ihrer Beiträge und Produkte ab. Sie ist sehr aufmerksam und hinterfragt kritisch Diskussionsgegenstände. Sie scheut keine Verständnisfragen und zeigt ein außerordentliches Engagement. So überprüft sie ihre Lösungen zu Hausaufgaben, wenn möglich, mit dem Rechner, auch wenn das nicht gefordert ist. Ihre Texte sind sehr ausführlich und dadurch nicht immer präzise auf die Aufgabenstellung bezogen. Auf der symbolischen Ebene achtet sie sehr auf die reguläre Schreibweise. Mit den mathematischen Aspekten der Informatik hat sie meist keine großen Schwierigkeiten beim Reproduzieren, hält sich aber bei entsprechenden Erarbeitungen zurück. Ihre Leistungskurse belegt sie in Chemie und Geschichte. Sie sitzt neben Saide, der sie bereitwillig bei Schwierigkeiten hilft.

3.2 Kompetenzen und Standards

„Der Einsatz von formalen Sprachen ist wesentlich für die Informatik“, betont die Gesellschaft für Informatik e. V. (2008, S. 34). Ohne formale Sprachen ist die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine nicht möglich. Allein das Kommunizieren mit einer Maschine verrät allerdings wenig darüber, wie die Maschine die Eingabe verarbeitet und die Antwort

produziert. Daher trägt der Unterrichtsgegenstand *formale Sprachen* besonders zur Förderung des Kompetenzbereichs *Informatiksysteme verstehen* bei.

Heutzutage verlangt fast jedes technische Gerät des Alltags eine Kommunikation. Zum Teil geschieht diese über natürliche Sprachen, daher besteht die Gefahr der Übergeneralisierung der natürlichen Sprache auf die formale. Die Folge ist die Irritation über ein unerwünschtes Ergebnis der Kommunikation oder über die unerwartet eingeschränkte Funktionalität der Maschine. Andererseits sind sich viele Menschen nicht bewusst, wie selbstverständlich sie bereits mit formalen Sprachen operieren. Das Datumsformat, die E-Mail-Adresse, ein Kfz-Kennzeichen, all das sind Zeichenfolgen, welche bestimmte, formal beschreibbare Kriterien (Syntaxregeln) erfüllen müssen und schon fast als Bestandteil der natürlichen Sprachen angesehen werden. Daher ist es wichtig, dass ein informatisch gebildeter Mensch natürliche und formale Sprachen vergleichen beziehungsweise unterscheiden kann. Dieser im Rahmenlehrplan festgesetzte Standard (vgl. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport, 2006, S. 15) leistet somit einen Beitrag zur Förderung des Kompetenzbereichs *Informatiksysteme verstehen*. Er steht in der vorliegenden Arbeit im Fokus.

Ein Vergleich kann nur gezogen werden, wenn man sich in beiden Sprachen auskennt. So lautet der einleitende Satz des Rahmenlehrplans zu den „Sprachen und Automaten“: „Das Themenfeld dient der Vernetzung zum Kompetenzerwerb in den natürlichen Sprachen“ (ebd., 2006, S. 22). Die Analyse der deutschen Grammatik bietet sich in diesem Zusammenhang an, da besonders an ihr Ähnlichkeiten und Unterschiede zur formalen Sprache aufgezeigt werden können. Insofern ist auch die Analyse formaler Sprachen notwendig, um die Kompetenz des Vergleichs fördern zu können. Sie ist zwar im Rahmenlehrplan als Standard für den Leistungskurs verortet (ebd., 2006, S. 15), dies schließt aber eine Behandlung im Grundkurs nicht aus. Eine sachgerechte Darstellung des Themenbereichs scheint mir ohne eine gewisse Analyse der Syntax von formalen Sprachen kaum möglich zu sein.

So dürfte es für Schüler schwer vorstellbar sein, dass einfache Syntaxregeln die Grammatik einer gesamten Programmiersprache beschreiben können. Sie erinnert viel mehr an die Vielfalt der deutschen Grammatik als etwa eine E-Mail-Adresse. Um dafür Verständnis zu schaffen, ist es notwendig, unter anderem Alternative und Wiederholungen zu untersuchen. Diese werden bei den Syntaxregeln formaler Sprachen durch Metazeichen beschrieben. Die dadurch erzielten Einsparungen an gewöhnlichen Syntaxregeln sind enorm. Selbst große Teile einer natürlichen Sprache lassen sich durch wenige Syntaxregeln übersichtlich beschreiben, da die „Strukturen“ Alternative und Wiederholung auch wesentliche Elemente der deutschen Grammatik sind.

Ein zweiter Schwerpunkt der Einheit soll darstellen, dass die Kommunikation mit einer Maschine nicht so flexibel ist wie die Kommunikation mit natürlichen Sprachen. Auch wenn manche Informatiksysteme wie Chatbots oder textbasierte Adventurespiele einen anderen Eindruck hinterlassen. Deutlich ist dies beim Kompilieren von Quellcode zu erkennen, bei welchem jedes falsch gesetzte Zeichen eine Fehlermeldung auslöst. Hartmann et. al. sagen,

Neulinge „sollten deshalb ein Grundverständnis der Funktionsweise eines Compilers haben“ (2006, S. 55). Um dieses Informatiksystem zu verstehen, führen die Schüler drei wesentliche Schritte des Kompilierens selber durch. Dies kann im Rahmen der Arbeit aber nur am Rande dargestellt werden.

3.3 Sachanalyse

Im dritten Kurshalbjahr eines Grundkurses (in-3) sieht der Berliner Rahmenlehrplan unter anderem den Aspekt „Vergleich natürlicher und formaler Sprachen“ des Gebiets „Sprachen und Automaten“ vor und bietet das Vertiefungsgebiet „V9 Theoretische Informatik“ an, zu welchem das Thema *formale Sprachen* gehört. Da der Inhalt „Syntax und Semantik (Syntaxdiagramme)“ im ersten Kurshalbjahr nicht vermittelt wurde, wird er in die Einheit integriert (vgl. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport, 2006, S. 26 f.). All diese Inhalte werden im Folgenden ausführlicher analysiert.

3.3.1 Formale Sprachen

Zur Kommunikation zwischen Mensch und Maschine dienen formale Sprachen. Dazu gehören beispielsweise E-Mail-Adressen, Rechenausdrücke oder Programmiersprachen. Theoretisch kann jede endliche, nicht leere Menge ein Alphabet Σ einer formalen Sprache sein. Die Zeichen (auch Buchstaben oder Symbole genannt) des Alphabets können sowohl Zeichen, Zeichenketten, Ziffern, Buchstaben als auch Wörter natürlicher Sprachen etc. sein. Eine endliche (eventuell leere) Folge von Zeichen aus Σ nennt man Wort oder auch Zeichenkette. Ein Wort ist beispielsweise eine bestimmte E-Mail-Adresse, kann aber auch ein deutsches Wort oder ein ganzer Satz sein. Bei Programmiersprachen versteht sich ein ganzer Quelltext als ein Wort. Σ^* bezeichnet die Menge aller Wörter, die über Σ gebildet werden können, und per Definition ist eine Teilmenge davon eine formale Sprache (vgl. Hromkovič, 2011, S. 33 ff.).

In der Automatentheorie sind neben diesen Begriffen auch *Eingabealphabet* und *Eingabezeichen* üblich. Der Begriff *Wort* wird in der technischen Informatik für eine Gruppe von Bytes verwendet und der Ausdruck *Zeichenkette* bei der Beschreibung des Datentyps *String* (vgl. Gumm, et al., 2006, S. 8 und S. 392). All diese Begriffe sind den Schülern bereits bekannt, wobei zuletzt das *Wort* aktuell war.

Eine formale Sprache wird durch eine Grammatik beschrieben. Letztere ist ein geordnetes Vier-tupel $(\Sigma_N, \Sigma_T, P, s)$. Sie umfasst nicht nur das Alphabet der Sprache Σ_N , sondern auch eine Syntax, bestehend aus Syntaxregeln, mit denen jedes Wort der Sprache erzeugt werden kann. Zur Beschreibung der Syntax dient das Alphabet sogenannter Nichtterminalsymbole Σ_T . Von dem Startsymbol s – eines der Nichtterminalsymbole – ausgehend kann durch Ersetzungen der Nichtterminalsymbole nach bestimmten Syntaxregeln P ein Wort erzeugt werden. Dieses besteht dann aus Zeichen, die nicht weiter ersetzt werden können. Wegen dieser Terminierung nennt man diese Zeichen auch Terminalsymbole des Alphabets Σ_N (vgl. Hromkovič, 2011, S. 353).

Für die Erzeugung eines Wortes wird jede einzelne Ersetzung wie in folgendem Beispiel nach einem Rechtspfeil notiert.

$$A \rightarrow B C D \rightarrow ich C D \rightarrow ich bin D \rightarrow ich bin da$$

Bei der kürzeren Notation wird jedes Nichtterminalsymbol in einem Schritt ersetzt.

$$A \rightarrow B C D \rightarrow ich bin da$$

Die beiden Alphabete Σ_T und Σ_N müssen disjunkt sein, da ein Rechner sonst nicht entscheiden kann, ob er ein Zeichen als Terminalsymbol oder Nichtterminalsymbol interpretieren soll. Die Syntaxregeln sind geordnete Paare (α, β) , geschrieben $\alpha = \beta$ oder auch $\alpha \rightarrow \beta$. Da bei der Erzeugung eines Wortes ein Rechtspfeil verwendet wird, halte ich das Gleichheitszeichen zur Darstellung einer Syntaxregel zwecks einer besseren Unterscheidbarkeit für geeigneter. α sowie β bestehen aus einer Folge von Nicht- und/oder Terminalsymbolen (vgl. ebd., S. 353). Allerdings ist es auch üblich, sich auf lediglich ein Nichtterminalsymbol für α zu beschränken (vgl. (Hedstück, 2004, S. 30) und (Wagenknecht, et al., 2009, S. 11)). Dadurch wird das Ersetzen mit den Syntaxregeln vereinfacht und deswegen hier bevorzugt. Da beim Umgang mit den Regeln die rechte und die linke Seite für gewöhnlich nicht mit α und β bezeichnet werden, wird diese abstrakte Bezeichnung innerhalb der Einheit nicht verwendet.

$A = B C D$
$B = ich$
$C = bin$
$D = weg$
$D = da$

Abbildung 3:
Syntaxregeln

Für die Syntaxregeln hat sich die Backus-Naur-Form (BNF) etabliert. Sie kennzeichnet bei β die Aneinanderreihung von Zeichen, sowie durch einen senkrechten Strich alternative Ersetzungen. Die erweiterte Backus-Naur-Form (EBNF) ermöglicht die Darstellung von Gruppierungen, Optionen und Wiederholungen von Zeichenfolgen (vgl. ebd., S. 11). Diese Begriffe sowie die Alternative fasse ich im Folgenden unter dem Oberbegriff *Struktur der Grammatik* zusammen. Durch sie können Grammatiken „mit Hilfe der EBNF in einer sehr kompakten aber immer noch maschinenlesbaren Form dargestellt werden“ (Hedstück, 2004, S. 43). Die regulären, ikonischen sowie ergänzend die symbolischen Schreibweisen sind unter Kapitel 3.4.2 nachzulesen. Die längste Notation einer Sprache wäre die Auflistung aller zugehörigen Wörter.

$D = weg \mid da$

Abbildung 4:
Eine Alternative

Ein besonderes Wort ist das leere Wort, geschrieben ε . Es besteht aus keinem Zeichen. Es kann dazu benutzt werden, ein Nichtterminalsymbol, beispielsweise A , zu „löschen“, indem die Syntaxregel $A = \varepsilon$ zugelassen wird (vgl. Hromkovič, 2011, S. 34 und S. 352).

Zur Verständigung mit einer Maschine muss jedes Zeichen einer formalen Sprache eine eindeutige Bedeutung haben, zum Beispiel bedeutet das @-Zeichen bei einer E-Mail-Adresse die Trennung von Benutzernamen und Domain und darf daher nicht Teil des Benutzernamens sein. Die Semantik einer formalen Sprache – die Lehre der Bedeutung von Zeichen und Wörtern – muss folglich innerhalb einer Sprache ohne Zweideutigkeiten auskommen.

Die Grammatik ist zwar als Inhalt im Rahmenlehrplan dem Leistungskurs zugeordnet, allerdings findet sich unter dem Grundkurs neben dem Vergleich von formalen und natürlichen Sprachen auch der Inhalt „Syntax und Semantik (Syntaxdiagramme)“ (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport, 2006, S. 22). Folglich werden die bis hier vorgestellten Inhalte nach dem Rahmenlehrplan einem Grundkurs gerecht. Unter Grammatik als Themengebiet ist insbesondere die Klassifizierung von Grammatiktypen nach Chomsky (siehe auch Kapitel 3.3.2) zu verstehen, auf welche in der Einheit nicht eingegangen wird und die bei Goos (2005, S. 33 ff.) nachgelesen werden kann.

Während die bisherigen Ausführungen dem Bereich der theoretischen Informatik zuzuordnen sind, gehört das Kompilieren zu der praktischen Informatik (vgl. Wagenknecht, et al., 2009). Da ich mich in vorliegender Arbeit auf die Darstellung des Standards, die natürliche und die formale Sprache zu vergleichen, konzentriere, stelle ich hier die Arbeitsweise des Compilers in gebotener Kürze dar.

Hartmann formuliert als ein Lernziel für den Informatikunterricht: die Schüler „kennen und wissen, [...] welche Stationen der Quelltext bis zur Umwandlung in Maschinencode durchläuft, beispielsweise die Analysephase mit der lexikalischen, syntaktischen und semantischen Analyse“ (Hartmann, et al., 2006, S. 55). Genau diese Phase wird in der Einheit dargestellt. Die Schüler kennen den Maschinencode und die Assemblersprache bereits und sollen nun noch erfahren, wie der Rechner mit dem Quellcode einer Hochsprache operiert.

Die Übersetzung eines Quellcodes in Assemblersprache führt ein *Compiler* genanntes Programm aus. Seine Analysephase besteht aus drei wesentlichen Schritten. Ein *Lexer* identifiziert die einzelnen Zeichen. Die gesamte Zeichenfolge wird dann von einem *Parser* auf die korrekte Syntax hin überprüft und ein Parsebaum (Syntaxbaum) erzeugt. An diesem wird die Semantik analysiert und in der Synthesephase beispielsweise in Assemblercode übersetzt. Für das Gelingen der Codegenerierung ist die syntaktische Korrektheit des Quelltextes unerlässlich.

Ein Top-Down-Parser ersetzt vom Startsymbol ausgehend das jeweils am weitesten links stehende Nichtterminalsymbol (zu Beginn das Startsymbol) gemäß der Syntaxregeln. Ein Bottom-Up-Parser beginnt stattdessen mit dem ersten Zeichen der Eingabe. Dieses und die weiteren Zeichen speichert er in die Datenstruktur *Stapel*, welcher sogleich versucht, sie „nach oben“ hin, also mit den Syntaxregeln zum Startsymbol hin zu ersetzen (vgl. Aho, et al., 2008, S. 233 ff.).

3.3.2 Deutsche Grammatik

Die Grundkenntnisse der deutschen Grammatik werden hier vorausgesetzt. Sie besteht aus der Wortgrammatik (Morphologie), der Lehre von kleinsten bedeutungstragenden Einheiten und deren Verknüpfung zu Wörtern, und der Syntax, der Lehre von Wörtern und deren Verknüpfung zu Sätzen. Zuweilen zählt auch die Phonetik und Semantik dazu. Die Bereiche sind nicht trennscharf, werden aber gerne „zur besseren Orientierung“ so behandelt (vgl. Alt-

mann, 2007, S. 19 f.). Daher vermittele ich sie ebenfalls auf diese Weise. Von den Bereichen ist nur die Syntax einer, welcher auch bei der Theorie zu formalen Sprachen betrachtet wird.

Die Syntaxregeln verwenden unter anderem die Oberbegriffe *Wortart* für eine gemeinsame grammatikalische Merkmalszuordnung wie Substantiv, Verb, Artikel, etc., sowie *syntaktische Funktion* für Satzglieder wie Subjekt, Prädikat, Objekt, etc. (vgl. ebd. S. 28 ff. und S. 69 ff.). Andererseits kann die Syntax durch Phrasenkategorien beschrieben werden. Die Phrasen bestehen aus einem Kopf wie einem Nomen oder Verb, welcher den Namen der Phrase (z. B. Nominal- und Verbalphrase) vorgibt und vielfach durch andere Wörter ergänzt werden kann. So kann dem Verb der Verbalphrase wieder eine Nominalphrase (als Objekt) angehängt werden (vgl. Engel, 2009, S. 79 ff.).

Diese Eigenschaften formulierte der Linguist Noam Chomsky (*1928) in den 50er Jahren in seiner Theorie zur Generativen Transformationsgrammatik, auch Erzeugungsgrammatik genannt. Dabei führte er in die Linguistik Syntaxbäume („phrase-marker“) ein. Dies überrascht nicht, schließlich hat er auch die Theorie der formalen Sprachen unter anderem durch die Chomsky-Hierarchie entschieden vorangetrieben (vgl. Goos, 2005, S. 33 ff.).

Abschließend sei erwähnt, dass es in der deutschen Grammatik wie bei den formalen Sprachen „Strukturen“ wie eine Wiederholung von Satzteilen gibt, von optionalen und alternativen Einsetzungen ganz zu schweigen. Als eine Gruppierung von Satzteilen kann zum Beispiel die Verbindung mit einem *Oder* verstanden werden (Zur Verdeutlichung: In dem Satz „Bist du vier oder fünf Jahre alt?“ ist „vier oder fünf“ als Gruppierung zu verstehen). Eine Ellipse ist eine „Ersparung eigentlich erwartbarer Teilausdrücke“. Sie kann auf viele Teilausdrücke angewandt werden (vgl. Engel, 2009, S. 142 ff.).

Bei der Informatik spielen natürliche Sprachen besonders als Chatbots, welche einen menschlichen Gesprächspartner vorgeben, eine Rolle. Textbasierte Adventurespiele aus früheren Zeiten, bei denen ebenfalls beliebige Texteingaben möglich sind, dürften den Schülern weniger bekannt sein. Da sie aber aktuelle Adventurespiele kennen, sollten ihnen die textbasierten schnell zugänglich sein.

3.4 Analyse bezüglich der Repräsentationsebenen

In diesem Abschnitt werden enaktive, ikonische und symbolische Darstellungen zum Thema vorgestellt und anschließend auf ihr Potential, zum Kompetenzerwerb beizutragen, untersucht. Die enaktive Repräsentation ist selbst erdacht, während ich für die ikonischen und symbolischen Darstellungen reguläre Schreibweisen wähle. Damit erfüllen letztere zwei Funktionen. Sie sind einerseits ein Inhalt des Informatikunterrichts und andererseits ein didaktisches Werkzeug des EIS-Prinzips.

3.4.1 Das Erzeugen von Wörtern

3.4.1.1 Symbolische und enaktive Ebene

Eine Syntaxregel gibt an, durch welche Symbole ein Nichtterminalsymbol ersetzt werden kann. Sie wird mit einem Gleichheitszeichen gekennzeichnet, von welchem auf der linken Seite das Nichtterminalsymbol steht und auf der rechten die damit zu ersetzenden Zeichen. Ein Rechner „sieht“ allerdings die Beziehung nicht, sondern kann zunächst nur nach der einen Seite suchen, um dann die andere Seite aufzurufen. Diese Eigenschaften werden enaktiv durch einen Papierstreifen repräsentiert, indem das Nichtterminalsymbol auf der einen Seite als solches gekennzeichnet ist und die zu ersetzenden Symbole auf der anderen Seite stehen. Eine Ersetzung geschieht durch das Wenden des Papiers. Einen solchen Papierstreifen nenne ich Syntaxkarte.

Ein Wort entsteht, indem solange alle Nichtterminalsymbole der Zeichenkette ersetzt werden, bis keine solchen mehr in der Kette vorkommen. Die Regel, wie ein Nichtterminalsymbol zu ersetzen ist, muss zunächst gefunden werden. Unter den gesamten Regeln muss eine passende ausgewählt werden. Da es alternative Regeln geben kann, können unterschiedliche Worte erzeugt werden. Beinhaltet ein Zwischenschritt bei der Arbeit mit den Syntaxkarten ein Nichtterminalsymbol, so muss nach einer Syntaxkarte mit diesem Symbol gesucht werden. Liegen alle zu einer Grammatik gehörenden Syntaxkarten in mehrfacher Ausführung auf einem Tisch, ist das Suchen nach passenden Karten ein natürlicher Prozess. Da die Rückseiten der Karten nicht bekannt sind, geschieht das Erzeugen eines Wortes – wie bei einer Rechenmaschine – nicht zielgerichtet auf ein erwünschtes Ergebnis hin. Dies ist ein Vorteil gegenüber einer symbolischen Auflistung der Syntaxregeln, bei welcher stets die Ersetzung zu sehen ist.

Nach der Auswahl einer Karte ist diese lediglich auf das zu ersetzende Nichtterminalsymbol zu legen, sodass keine Veränderung auftritt. Die darunter liegende Karte muss daher an dieser Stelle genug Platz für die daraufzulegende Karte bieten, sodass keine anderen Symbole überdeckt werden. Dann wird die Karte umgedreht, also das Nichtterminalsymbol ersetzt. Das Verwenden von Syntaxkarten zum Erzeugen eines Wortes bezeichne ich als das Baukastensystem. Dies drückt aus, dass mehrere „Bausteine“ (Syntaxkarten) aus verschiedenen „Fächern“ (Syntaxregel) passend zusammengesetzt ein erwünschtes Konstrukt (Wort / Folge an Terminalsymbolen) ergeben.

Wenn vom Startsymbol an jeder Zwischenschritt, den der „Baukasten“ zeigt, notiert wird und jeweils auf den nächsten Schritt mit einem Rechtspfeil verwiesen wird, so erzeugt man das Wort in symbolischer Schreibweise.

Das leere Wort kann als Syntaxkarte durch eine unbeschriebene Seite des Papierstreifens dargestellt werden. Der Nutzen dieser Syntaxkarte kann schnell erkannt werden als Ausblendung („Löschung“) des Nichtterminalsymbols. Wird diese Ausblendung verbalisiert, kann

zwecks Nachvollziehbarkeit die Notwendigkeit für eine eindeutige symbolische Darstellung (ϵ) des leeren Wortes erarbeitet werden.

3.4.1.2 Didaktische Analyse des Baukastensystems

Wird das Baukastensystem zum Erzeugen eines einfachen Satzes der deutschen Sprache durchgeführt, können damit verschiedene Aspekte der Unterscheidung von natürlichen und formalen Sprachen erarbeitet werden. Dabei ist kein Wissen über Nichtterminalsymbole und Terminalsymbole erforderlich, denn kein Schüler wird die Unterbegriffe der syntaktischen Funktion und der Wortarten (wie den Begriff *Nomen*) als Wörter des zu erzeugenden Satzes interpretieren.

Erzeugt man nach dem Baukastensystem einen deutschen Satz sowie beispielsweise ein Datum, wofür entsprechende Syntaxkarten vorgelegt werden, so fällt dabei das gleiche Vorgehen auf. Es werden Papierstreifen nach dem gleichen Prinzip aufeinandergelegt. Ihr Produkt ist aber unterschiedlich. Während der Satz aus Wörtern und einem Punkt zusammengesetzt ist, besteht das Datum aus Ziffern und Punkten. Auf eine Syntaxkarte darf also als Terminalsymbol ein Wort, eine Ziffer oder ein Zeichen geschrieben werden. Im Sinne einer einheitlichen Verständigung über diese Seite der Syntaxkarte sollte man sich auf einen Begriff einigen. Die Einigung auf den Begriff *Wort* ist unwahrscheinlich, da er auch auf die Ziffern angewendet werden müsste. Früher oder später sollte die Lehrkraft den regulären Oberbegriff *Zeichen* oder *Buchstabe* verbindlich machen. Durch die Aneinanderreihung der einzelnen Karten mit je einem Zeichen/Buchstaben kann dann der Begriff *Zeichenkette/Wort* – auch für einen deutschen Satz – anschaulich erarbeitet werden. Der Vorteil gegenüber anderen Darstellungsweisen ist, dass kein Metazeichen zur Kennzeichnung eines Zeichens benötigt wird, da auf jeder der Karten lediglich ein Zeichen steht. (Zur besseren Anschauung siehe Abbildung 7 auf Seite 27.)

Die gedankliche Verknüpfung einer Seite mit dem Begriff *Zeichen* ist nicht allgemeingültig. Denn es gibt Syntaxkarten, auf denen mehrere Zeichen stehen. Die Verallgemeinerung des Begriffs sollte daher mündlich oder beim Wechsel der Repräsentationsebene zum Syntaxbaum veranschaulicht und überprüft werden.

Ein deutscher Satz muss, um ihn verstehen zu können, in seine einzelnen Bestandteile zerlegt werden. Das gilt bei der Kommunikation zwischen Menschen sowie mit Maschinen. Steht der Satz auf einem langen Papierstreifen kann er mit der Schere in einzelne Wörter zerschnitten werden. Diese Wörter haben bei der Kommunikation mit einer Rechenmaschine den Zweck, eine Handlung von der Maschine ausführen zu lassen (z. B. eine Antwort geben). In dem Sinne bewirkt jedes Schlüsselwort des Satzes (z. B. „gehe“) eine bestimmte Ausführung. Jedes Schlüsselwort muss eindeutig mit einem Befehl belegt sein; die anderen Wörter (z. B. „der“) haben vielleicht keine Auswirkung. Die Befehle können auf die Rückseite der Karte geschrieben werden. Da es sich dabei nicht um Syntaxkarten handelt, seien sie

Semantikkarte³ genannt und zur optischen Unterscheidung farbig. Dabei ist zu beachten, dass das Modell an sich Doppeldeutigkeiten, also alternative Befehle zu einem Terminalsymbol, zulässt, da mehrere Semantikkarten zu einem Wort geschrieben werden können. Dass dies bei formalen Sprachen unzulässig ist, muss auf andere Weise erarbeitet werden.

Dennoch verdeutlichen die Semantikkarten, dass die Betrachtung von Wortgrammatiken, also etwa von Wörtern mit gleichem Präfix, keinen Nutzen für die Rechenmaschine hat. Der Singular eines Wortes bewirkt etwas anderes als dessen Plural – z. B. bezeichnet er ein Element der Menge, während der Plural die Menge selbst meinen kann –, genauso wie ein völlig anderes Wort für einen anderen Befehl steht. Schaut man sich nur die Seiten mit den Befehlen an – schirmt also im Sinne des EIS-Prinzips den deutschen Satz ab –, so ist als Zeichen für die Befehle nur relevant, dass sie verschieden sind. Eine Wortgrammatik hat für die Sprache des Rechners keinen Nutzen.

Bildet man mit Syntaxkarten einen deutschen Satz, so entsteht wahrscheinlich ein grammatikalisch falscher Satz. Beispielsweise passt der Artikel nicht zu dem Nomen. Hier muss darauf hingewiesen werden, dass mit einer sehr simplen Syntax gearbeitet wird, welche lediglich die Satzstellung der Wortarten vorschreibt. Zudem dürfte die Aussage des Satzes Interpretationsschwierigkeiten bereiten. Dadurch wird die Semantik der Syntax gegenübergestellt. Ein Satz kann semantisch keine Aussage haben, wurde aber dennoch syntaktisch korrekt gebildet. Dass dies auch bei formalen Sprachen gelten muss, kann mithilfe der Semantikkarten vermittelt werden und entsprechenden Beispielen wie der Funktion des @-Zeichens in der E-Mail-Adresse.

3.4.1.3 Ikonische Ebene

Zeichnerisch wird ein Wort mithilfe eines Syntaxbaumes erzeugt. Er sei hier in gebotener Kürze vorgestellt. Ein Baum ist in der Informatik eine Datenstruktur. Sie besteht aus Knoten, die Träger eines Datums (zum Beispiel eines Zeichens) sind und auf eine Folge von Knoten verweisen. Ein Verweis wird durch einen Strich von einem zum anderen Knoten (meist von oben nach unten) gekennzeichnet. Es gibt einen Knoten namens Wurzel, auf den kein anderer Knoten verweist. Die Wurzel kann auf eine endliche Folge von Knoten verweisen – wie jeder Knoten. Verweist ein Knoten auf keine weiteren Knoten, so nennt man ihn Blatt. Alle Knoten des Baumes sind über eine Folge von Verweisen mit der Wurzel verbunden. Damit kann der Baum als planarer, zyklener Graph aufgefasst werden (vgl. Ottmann, et al., 2012, S. 259 f.).

Die Metapher Baum bietet bereits ein geistiges Bild der Datenstruktur. Allerdings steht die Wurzel für gewöhnlich zuoberst und der Baum verläuft nach unten hin. Der Syntaxbaum zeigt die sogenannte Ableitung eines Wortes, das heißt, er bietet eine Übersicht darüber, wie das Wort

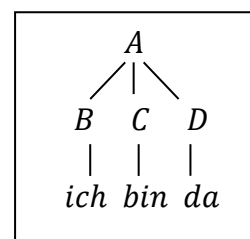


Abbildung 5:
Ein Syntaxbaum

³ Die Idee zur eigenständigen, farbigen Semantikkarte wurde erst nach Durchführung der Einheit entwickelt.

erzeugt wurde.

Auch die Schulmathematik nutzt Bäume entweder bei dem Wahlthema diskrete Mathematik oder als Wahrscheinlichkeitsbaum. Letzterer ist meinen Schülern bekannt.

3.4.1.4 Didaktische Analyse des Syntaxbaums

Eine Ersetzung beim Zeichnen eines Syntaxbaums geschieht dadurch, dass an dem zu ersetzenden Nichtterminalsymbol Striche nach unten gezeichnet werden, an deren Ende je ein erzeugtes Zeichen unter Beachtung der Reihenfolge geschrieben wird. Bei dem Übergang vom Baukastensystem oder von der symbolischen Schreibweise zum Syntaxbaum ist es naheliegend, nur einen Strich von einem Nichtterminalsymbol zu der erzeugten Zeichenkette zu ziehen. Er symbolisiert damit den Wechsel von der einen Seite zur anderen. Dies hat den Nachteil, dass die einzelnen Zeichen der Zeichenfolge nicht immer als solche identifiziert werden können. Beispielsweise könnte es sich bei GH um ein Zeichen oder um die beiden Zeichen G und H handeln. Diese Eigenschaft hat auch die Syntaxkarte und die symbolische Darstellung, weswegen der Begriff *Zeichen* falsch verstanden werden könnte (siehe oben). Da aber beim regulären Syntaxbaum auf jedes der Zeichen verwiesen wird, bietet er sich besonders zum Vertiefen beziehungsweise Überprüfen des Begriffsverständnisses an.

Der Übergang von einem bereits gebildeten Syntaxbaum zur enaktiven oder symbolischen Ebene wird vollzogen, indem die Ersetzungen von der Wurzel an in die andere Ebene übersetzt werden. Dabei ist von einem Nichtterminalsymbol allen Strichen nach unten hin zu folgen, um die Folge der erzeugten Zeichen zu erhalten. Beim Wechsel zur symbolischen Ebene bräuchte nicht die ganze Folge in einem notiert werden. Es könnte jedes einzelne Zeichen, auf das ein Strich verweist, nacheinander notiert werden. Am besten markiert man die Striche, welche bereits „übersetzt“ wurden. Alternativ könnte man gleichzeitig mit dem Syntaxbaum und einer anderen Repräsentation ein Wort erzeugen. Im Prozess des Entstehens dürften die einzelnen Schritte besser vergleichbar sein. Insgesamt sind diese Wechsel aber weniger übersichtlich als die zwischen der enaktiven und symbolischen Ebene.

In den Blättern des Baumes stehen die Zeichen, welche das Wort bilden. Sie als Terminalsymbole, also als „Endsymbole“ zu bezeichnen, wird dadurch leicht nachvollziehbar. Die Nichtterminalsymbole sind folglich alle übrigen Zeichen.

Ein Vergleich zwischen der deutschen und der formalen Grammatik kann ebenfalls durch eine Übersicht mit dem Baum unterstützt werden, wenn er die Erzeugung eines einfachen deutschen Satzes darstellt. Wie weiter unten in der Abbildung 11 zu sehen sein wird, stehen dann die syntaktischen Funktionen, die Wortarten und die Wörter der deutschen Sprache im Syntaxbaum auf einer Ebene. Dadurch können diese Oberbegriffe gebildet werden und den Bezeichnungen der formalen Sprache gegenübergestellt werden.

3.4.2 Die Grammatik und ihre Strukturen

Symbolisch wird die Grammatik als Viertupel dargestellt. Eine explizite Darstellung der Elemente des Tupels – also von Mengen – auf anderen als der symbolischen Ebene ist aufwendig und unnötig. Zudem werden von der Grammatik häufig lediglich die Syntaxregeln angegeben. Wie die Nichtterminalsymbole und Terminalsymbole mithilfe von Syntaxkarten oder dem Syntaxbaum erarbeitet werden können, wurde oben erklärt. Daher beschränke ich mich, abgesehen vom Startsymbol, auf die Syntaxregeln.

3.4.2.1 Didaktische Analyse des Baukastensystems

Bei einer symbolischen Auflistung an Syntaxregeln kann fälschlicherweise der erste Eintrag als Startsymbol angesehen werden. Liegen hingegen mehrere Syntaxkarten vor einem, ist das Auswahlproblem gegeben, mit welcher Syntaxkarte zu beginnen ist. Dadurch kann das Festlegen eines Startsymbols als notwendig erfahren werden.

Mit den Syntaxkarten haben die Schüler eine Grammatik vor sich liegen. Zu jeder Syntaxregel ist eine Karte vorhanden. Dass eine Karte als Regel interpretiert werden kann, dürfte den Schülern nach etwas Erfahrung mit den Karten klar sein. Daher können Sie den Wechsel zur symbolischen Ebene vermutlich selbst vollziehen. Sie brauchen lediglich jede Regel einmal herauszusuchen und zu notieren. Wahrscheinlich finden Sie hierfür eine eigene Schreibweise, welche anschließend auf die reguläre hin reduziert werden kann. Wesentlich ist die Gegenüberstellung der einen Seite mit der anderen.

Die EBNF mit Syntaxkarten darzustellen, erfordert Fantasie. Mit ausreichendem Büromaterial sind viele Repräsentationen denkbar. Da ich die Schüler selbst zum kreativen Basteln auffordern werde, sei hier lediglich auf die Schülerlösung in Abbildung 15 weiter unten verwiesen.

3.4.2.2 Ikonische und symbolische Ebene

Ikonisch wird die Syntax durch ein Syntaxdiagramm repräsentiert. Die linke Seite einer Syntaxregel steht jeweils als Überschrift bei der Darstellung der rechten Seite. Die Bezeichnungen der Nichtterminalsymbole werden in Kästchen geschrieben und die der Terminalsymbole in Kreise. Die Reihenfolge und die Strukturen der Grammatik werden durch Pfeile dargestellt. Die rechte Seite einer Syntaxregel ist in Abbildung 6 (folgende Seite) einmal in EBNF und in der fünften Spalte als Syntaxdiagramm dargestellt.

Die kompakte Schreibweise der symbolischen Form ist vorteilhaft. Allerdings ist sie sehr abstrakt, da die Klammertypen nicht auf ihre Funktion hindeuten, sondern scheinbar beliebig festgelegt wurden. Lediglich das Zeichen für die Alternative kennen die Schüler vom Programmieren mit Java. Das Erzeugen eines Wortes ist nun anspruchsvoller als zuvor. Die linke Seite der Syntaxregel wird nicht einfach durch die rechte Seite ersetzt. Man muss sich beispielsweise für eine Alternative entscheiden, und eine Optionsklammer sowie eine Wiederholungsklammer können, brauchen aber nicht berücksichtigt zu werden. Falls ein mit

Wiederholungsklammern geschachtelter Ausdruck vorkommt, muss auf eine korrekte Wiederholung der Zeichenfolge geachtet werden.

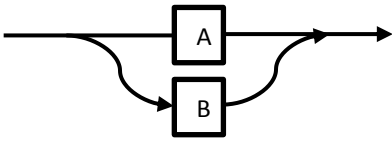
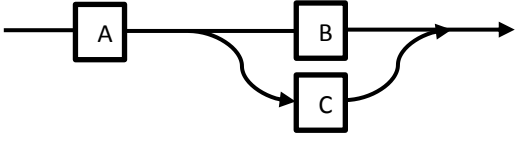
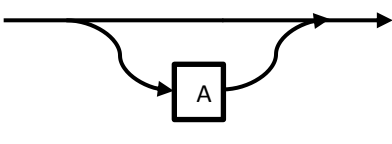
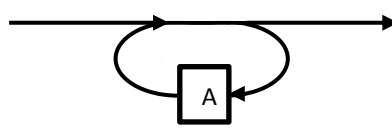
Begriff	Zeichen	Beispiel	Bedeutung	Syntaxdiagramm
Alternative		$A B$	A oder B	
Gruppierung	()	$A(B C)$	AB oder AC	
Option	[]	$[A]$	A oder nicht A	
Wiederholung	{}	$\{A\}$	nicht A oder A, AA, \dots	

Abbildung 6: EBNF und Syntaxdiagramm

3.4.2.3 Didaktische Analyse des Syntaxdiagramms und der EBNF

Das Syntaxdiagramm ist wesentlich intuitiver verständlich, da man lediglich den Pfeilen zu folgen braucht. Dies bewirkt von selbst eine Option oder eine Wiederholung. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 16 weiter unten. Zu beachten ist allerdings, dass beim Erreichen eines Nichtterminalsymbols zu der entsprechenden Regel gesprungen werden muss. Der Sprung stellt die Ersetzung dar, wobei man nach dem Durchlaufen der Regel wieder zurückspringen muss, um an der ersetzten Stelle weiterzugehen. Dies ist nicht für jedermann intuitiv verständlich. Daher bietet es sich zum Vormachen sowie zur Überprüfung der korrekten Anwendung der Regeln an, beim Erzeugen eines Wortes mit einem Bleistift ohne abzusetzen den Pfad im Syntaxdiagramm aufzuzeichnen.

Die deutsche Grammatik und die EBNF können gemeinsam zum Kompetenzerwerb beitragen. Die Aufteilung der Grammatik in Morphologie und Syntax kann dadurch thematisiert und verdeutlicht werden, dass beide Teile einmal in EBNF oder als Syntaxdiagramm dargestellt werden. Dies begünstigt umgekehrt, dass alle Syntaxstrukturen in den Fokus genommen werden können. Während bei der Wortgrammatik vermehrt die Auslassungen am Wortende sowie Gruppierungen als alternative Wortenden vorkommen, sind zur Beschreibung der Syntax vor allem Wiederholungen nötig.

3.5 Synopse

Folgende, über zwei Seiten verlaufende Synopse bietet eine Übersicht über die geplante Einheit. Die blau hinterlegten Stunden werden in Kapitel 4 ausführlicher dargestellt und analysiert. Details wie Hefterführung und kürzere Phasen wie das Besprechen von Hausaufgaben werden nicht angegeben. Die Doppelstunden sind durch gestrichelte Linien gekennzeichnet und die Abkürzung gUg steht für geführtes Unterrichtsgespräch.

Std.	Thema	Methoden / Materialien	Konkretisierung des Beitrags zum Kompetenzerwerb Die Schülerinnen und Schüler ...
	Inhalte		
1	Natürliche Sprachen Die Stationen Sprachen, Grammatik und Semantik sind zu besuchen. Fragen und Fachbegriffe zu Sprachen werden geklärt und in Sicherungsbogen festgehalten.	Stationenlernen / Informationszettel, Sicherungsbogen	... schreiben die Bedeutung von ihnen unbekanntem Begriffen zur deutschen Sprache auf. ... stellen anhand von vorgegebenen Begriffen zur deutschen Sprache Vermutungen auf, inwiefern sich natürliche und formale Sprachen unterscheiden.
2	Wörter erzeugen: Enaktiv Die Analysephase des Compilers wird durch einen Vergleich mit der Analyse einer Fremdsprache erarbeitet. Sie wird genutzt, um das Baukastensystem zu einem einfachen, deutschen Satz zu basteln. Anhand dessen werden die Syntax, die Wortgrammatik sowie die Semantik untersucht.	Basteln, gUg / Papierstreifen, Schere, Baukastensystem zum Datum, Sicherungsbogen	... nennen Kriterien zum Vergleich, wie ein Mensch einen gesprochenen Text einer Fremdsprache übersetzen kann, mit der Herangehensweise eines Rechners beim Verarbeiten eines Textes im Rahmen eines Textadventures. ... erzeugen nach dem Baukastensystem mit selbst erstellten Syntaxkarten deutsche Sätze. ... begründen, weswegen es keine Wortgrammatik bei formalen Sprachen gibt. ... erzeugen nach dem Baukastensystem mit vorgegebenen Syntaxkarten jeweils ein Datum. ... unterscheiden Syntax und Semantik, indem sie semantisch nicht verständliche Sätze als syntaktisch korrekt bewerten.
3	Wörter erzeugen: Ikonisch Das Baukastensystem wird genutzt, um die Begriffe <i>Zeichen</i> und <i>Wort</i> zu erarbeiten. Anschließend wird es übertragen zum Syntaxbaum, mit dem die Begriffe <i>Wortart</i> , <i>syntaktische Funktion</i> und <i>Wörter</i> mit <i>Nicht- und Terminalsymbol</i> verglichen werden.	Basteln, Diskussionsrunde / Baukastensystem, Tafel, Sicherungsbogen	... begründen ihre bevorzugte Bezeichnung für die Zeichen/Buchstaben, indem sie Syntaxkarten zur deutschen Sprache und zum Datumsformat als Kriterium verwenden. ... zeichnen einen Syntaxbaum zu einem deutschen Satz. ... schreiben „Syntax-Ebenen“ des Deutschen und die von formalen Sprachen in eine Übersicht.
4	Wörter erzeugen: Symbolisch Nach einer Wiederholung (da mehrere Schüler fehlten) wird die Bildung des Syntaxbaums geübt. Das Baukastensystem wird zur symbolischen Schreibweise übertragen und deren Anwendung geübt.	Partnerarbeit, gUg / Baukastensystem zum Datum, Tafel	... erklären sich untereinander, wie ein Wort mit dem Baukastensystem und dem Syntaxbaum erzeugt wird. ... zeichnen einen Syntaxbaum zu einem Datum mit vorgegebenen Syntaxregeln. ... erzeugen Wörter nach symbolischer Schreibweise (deutscher Satz, Datum).
5	Grammatik: BNF Die Schüler probieren selbst eine Darstellung der Syntaxregeln und vergleichen mit der regulären Darstellung. Die Komponenten der Grammatik formaler Sprachen werden erarbeitet und geübt.	Einzelarbeit, gUg / Baukastensystem, Aufgabenblatt	... schreiben eine selbst gestaltete Übersicht zur Darstellung von Syntaxregeln. ... schreiben die Syntaxregeln der Grammatik von der formalen Sprache Datum auf. ... nennen die Bestandteile der Grammatik zu der vorgegebenen Sprache Autokennzeichen. ... erzeugen ein Wort (Kfz-Kennzeichen) nach symbolischer Schreibweise.

6	<p>Grammatik: EBNF Die Stationen EBNF, Syntaxdiagramm und erweiterte Syntaxkarte sind zu besuchen, letztere freiwillig. Jeweils ist die eigene E-Mailadresse zu bilden. Die Schreibweisen werden im Übersichtsbogen notiert, abschließend besprochen und eingeübt.</p>	Stationenlernen, gUg / Informationszettel, Papier, Büromaterial, Übersichtsbogen	<p>...schreiben die Darstellungsmöglichkeiten (ikonisch, symbolisch und ggf. sprachliche Beschreibung der enaktiven Repräsentation) der EBNF in eine Übersicht. ...bilden am Syntaxdiagramm unter Aufzeichnen des Weges ihre eigene E-Mail-Adresse. ...erzeugen nach Syntaxregeln in EBNF ihre eigene E-Mail-Adresse in symbolischer Schreibweise. ...basteln eine „erweiterte“ Syntaxkarte, welche eine Syntaxregel in EBNF zur Grammatik der formalen Sprache E-Mail-Adresse enaktiv darstellt.</p>
7	<p>Grammatik: Syntaxdiagramm Schreibweisen und Eselsbrücken zur EBNF werden besprochen. Die Morphologie wird als eigene Sprachebene neben der Syntax benannt und ein Syntaxdiagramm zu vorgegebenen Syntaxregeln gezeichnet. Mit wahlweise Syntaxdiagramm oder EBNF wird die Syntax des Deutschen mit Phrasen und die Syntax von Java arbeitsteilig dargestellt.</p>	gUg, Einzelarbeit / Erweiterte Syntaxkarten, Informationszettel	<p>...nennen eine Eselsbrücke zur Klammerschreibweise (eckig, geschwungen, rund) anhand der selbst gebastelten „erweiterten“ Syntaxkarte. ...zeichnen ein Syntaxdiagramm zu den Syntaxregeln einer simplen Wortgrammatik. ...zeichnen in einem Syntaxdiagramm oder schreiben in EBNF wichtige Regeln der deutschen Grammatik oder von Java.</p>
8	<p>Grammatik: EBNF schreiben Die Syntaxdiagramme aus Stunde Sieben werden vereint und einer anderen Gruppe zur Kontrolle übergeben. Verbesserungen werden zunächst in der Gruppe und dann in Partnerarbeit geklärt. Schließlich werden Fragen und Anmerkungen im Plenum geklärt.</p>	Gruppenarbeit, Partnerarbeit / Erweiterte Syntaxkarten, Informationszettel	<p>...vergleichen und ergänzen Syntaxdiagramme in der Gruppe. ...schreiben das Syntaxdiagramm zu der deutschen Grammatik oder zu Java in EBNF. ...vergleichen ihre Lösungen in EBNF und ihre Rückmeldungen innerhalb der Gruppe. ...geben sich Rückmeldungen zum Entwurf der anderen Gruppe.</p>
9	<p>Compiler: Bottom-Up-Parser enaktiv Die Analysephase des Compilers wird detailliert besprochen, indem Syntaxfehler von SQL-Anweisungen betrachtet werden. Dazu werden die (didaktisch reduzierten) Operationen des Lexers und eines Bottom-Up-Parsers im Rollenspiel nachgestellt. Der Stapel ist als nützliche Datenstruktur eingesetzt.</p>	gUg, Rollenspiel / Tafel, Papierstreifen, Schere, Stapel Papier, Syntaxkarten (SQL)	<p>...nennen die Bedeutung eines Syntaxfehlers. ...nennen einzelne Zeichen einer SQL-Anweisung. ...schneiden SQL-Anweisung auf Papier in einzelne Zeichen (lexikalische Analyse). ...spielen Rollen (Eingabe, Syntaxregel, Stapel, Zeichner) beim Ablauf eines Bottom-Up-Parsers oder kontrollieren sie.</p>
10	<p>Compiler: Top-Down-Parser ikonisch Wieder im Rollenspiel wird diesmal die Arbeitsweise eines Top-Down-Parsers mit Hilfe eines Syntaxbaums an der Tafel nachgestellt. Ein Rechenausdruck wird akzeptiert. Der Stapel wird ikonisch dargestellt. Anhand der Übersetzung des Syntaxbaumes in Assembler wird die semantische Analyse besprochen.</p>	Rollenspiel, Einzelarbeit, gUg / Tafel, Magnet	<p>...nennen einzelne Zeichen eines Rechenausdrucks. ...spielen Rollen (Eingabe, Syntaxregel, Stapel, Syntaxbaum) beim Ablauf eines Top-Down-Parsers oder kontrollieren sie. ...zeichnen einen Syntaxbaum als Ablauf des Top-Down-Parsens zu einem anderen Rechenausdruck.</p>

4 Analyse ausgewählter Aspekte

„... eine Handlung, die auf Grund von Zeichen ausgeführt wird, die von der Wirklichkeit losgelöst sind, [ist] etwas ganz anderes [...] als eine Handlung, die sich auf die Wirklichkeit als solche stützt oder auf die gleichen Zeichen, die mit ihr verbunden sind.“
(Piaget, 1971 S. 169)

4.1 Die Analyseinstrumente

Die Erprobung des EIS-Prinzips nach Bruner zur Förderung des Kompetenzbereichs *Informationssysteme verstehen* werde ich durch mehrere Analyseinstrumente auf ihren Erfolg hin untersuchen. Sie seien kurz vorgestellt.

Ein unangekündigter Eingangstest von etwa zehn Minuten bezüglich der Vergleichsfähigkeit eines deutschen Textes mit einem Java-Quelltext wird vor der Einheit durchgeführt. Freieraus können die Schüler ihre Vorstellungen über Gleiches und Ungleiches zu den beiden Texten beschreiben. Dadurch kann ich zum Teil direkt auf den Stand der Vergleichsfähigkeit vor der Einheit schließen.

Während des Unterrichts helfen mir allen voran die Schülerprodukte, eine (oder keine) Entwicklung festzustellen und deren Ursache am Einsatz von Repräsentationen auf verschiedenen Ebenen auszumachen. Dabei versuche ich, speziell diejenigen Lernprozesse oder Hindernisse zu identifizieren, welche durch den Wechsel der Ebenen erzeugt wurden.

Die Lehrerbeobachtung bezüglich des Verhaltens der Schüler, ihrer mündlichen Beiträge und Herangehensweisen an eigene Produkte sollen einen weiteren Aufschluss über die Kompetenzentwicklung und die Wirksamkeit des EIS-Prinzips geben. Insbesondere werde ich die Schüler auffordern, sich für bestimmte Lerngegenstände Namen zu überlegen. Darüber drücken sie in kurzer Form ihr Verständnis von den Eigenschaften des Lerngegenstandes aus, welches sie bis zu diesem Zeitpunkt erworben haben.

Direkt nach der Unterrichtseinheit wird zum einen der Eingangstest unangekündigt wiederholt, um die Entwicklung der Vergleichskompetenz mit den Eingangsvoraussetzungen vergleichen zu können. Zum anderen werden die Schüler in einem nicht angekündigten und nicht bewerteten Abschlusstest mit kurzen Aufgaben konfrontiert, in denen sie auf der ikonischen und symbolischen Ebene operieren müssen.

Abschließend frage ich die Schüler durch einen Ankreuzbogen nach ihrer subjektiven Einschätzung der enaktiven und ikonischen Ebene (siehe Anhang). Darüber möchte ich besonders die Eignung des EIS-Prinzips für die Sekundarstufe II aus Sicht der Schüler erfragen. Zu beachten ist aber, dass die Schüler vermutlich eher inhaltlich denken und nicht die Kompetenzentwicklung als Bewertungskriterium heranziehen.

Zunächst stelle ich drei exemplarische Stunden der Unterrichtseinheit ausführlicher dar und werte sie mit den Analyseinstrumenten Schülerprodukte, Lehrerbeobachtung und der Be-

griffsfindung aus. Da ich eine Progression im Kompetenzerwerb belegen möchte, tragen alle drei Stunden zum Vergleich zwischen den natürlichen und formalen Sprachen bei.

4.2 Die dritte Unterrichtsstunde

4.2.1 Planung

Hier wird ein Teil einer Doppelstunde vorgestellt, welcher zeitlich etwa der dritten Stunde entspricht. Vorausgegangen ist die zufällige Erzeugung eines Wortes nach dem Baukastensystem einmal mit der selbst erstellten deutschen Grammatik und einmal mit vorgegebenen Syntaxkarten zur Erzeugung eines Datums. Es wird der Vergleich des Datums mit dem deutschen Satz angeregt. Die Karten liegen gerade mit den Nichtterminalsymbolen zuoberst. Ich weise darauf hin, dass jede der Karten bei dem deutschen Satz ein Wort und bei dem Datum Ziffern und Punkte zeigt. Die Wörter, Ziffern und Punkte wurden auf die gleiche Weise erzeugt und sind also vergleichbar. Im Sinne einer Theorie über formale Sprachen müssten wir uns auf einen einheitlichen Oberbegriff einigen. Es wird abgestimmt.

Über den Begriff *Eingabealphabet* werden die Zahlen, Punkte und auch die Wörter als Elemente eines Alphabets identifiziert. Der Begriff, den die Schüler gewählt haben, wird aufgegriffen und der Begriff *Buchstabe* als Synonym dazu benannt. Die Folge an Buchstaben, die die Schüler vor sich zu liegen haben, sollten sie nun konsequenter Weise als *Wort* benennen können. Dass auch Zeichen und Zeichenfolge Synonyme sind, wird nicht verschwiegen, sondern für eine erneute Abstimmung genutzt, um sich auf eine der drei Optionen für den weiteren Verlauf zu einigen. Die Ergebnisse werden zur Sicherung zusammen mit einer Begründung in die Übersicht aus der ersten Stunde geschrieben, in der die Begriffe der deutschen Sprache mit denen der formalen verglichen werden.

Nun wird der Wechsel von der enaktiven Ebene zum Syntaxbaum vollzogen. Ich gebe den Impuls, aus den Syntaxkarten, die momentan einen Satz bilden, eine Übersicht zu legen. Die SuS legen vermutlich die Ebenen in Zeilen untereinander. Wenn ein Schüler diese Übersicht an die Tafel schreibt, ist der Syntaxbaum schon fast gebildet. Nun weise ich darauf hin, dass nicht nachvollziehbar ist, welche Zeichen von welchen erzeugt wurden. Die Lösung der Schüler wird auf ihr Verständnis von dem Begriff *Zeichen* hin überprüft und auf die Schreibweise mit den Strichen übertragen.

Neben den Syntaxbaum an der Tafel werden in die entsprechende Ebene die Oberbegriffe *syntaktische Funktion*, *Wortart* und *Wort* geschrieben. Zu den Wörtern in den Blättern wird deren Eigenschaft als Endglied erfragt und darüber die Begriffe *Terminalsymbol* und *Nichtterminalsymbol* der deutschen Syntax gegenübergestellt.

4.2.2 Durchführung und Auswertung

In dieser Doppelstunde waren wegen einer Exkursion und zwei Krankheitsfällen lediglich Luis, Mitra und Saide anwesend. In der anschließenden Stunde wurde die Situation dadurch

kompensiert, dass die drei ihren Mitschülern die enaktive und die ikonische Darstellung zur Syntax in kleinen Gruppen erklärten.

Die folgenden Abbildungen 7 und 8 zeigen die beiden Wörter, die Luis in der Stunde zuvor mit dem Baukastensystem erzeugt hat.

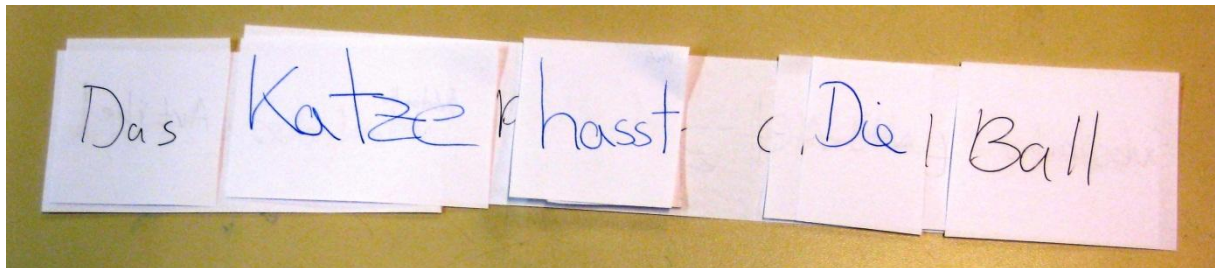


Abbildung 7: Das Katze hasst Die Ball

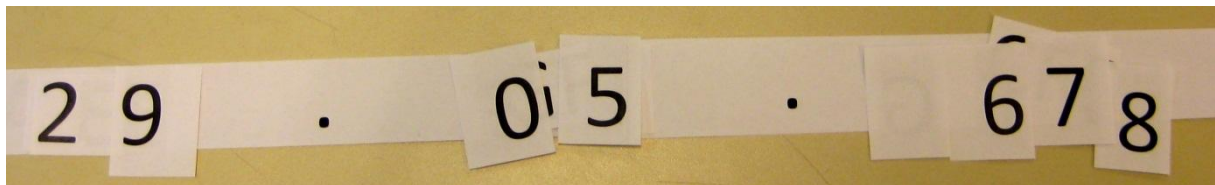


Abbildung 8: 29.05.678

Als ich die Vergleichbarkeit der Syntax ansprach – beide Wörter wurden auf die gleiche Weise erzeugt –, schienen die Schüler etwas irritiert zu sein. Denn auf die Bitte hin, einen Unterschied zwischen Satz und Datum zu nennen, dauerte es länger als üblich, bis sich jemand zu Wort meldete. Vielleicht dachten sie über die Semantik beider Wörter nach, welche zuvor thematisiert wurde. Die Semantik eines Datums im Rahmen eines Adventurespiels könnte ihnen unklar gewesen sein. Luis konnte jedenfalls sagen, dass der Satz aus Wörtern besteht und das Datum aus Zahlen. Ich nannte zudem die Punkte, welche zum Datum gehören. Ein Hinweis, der, wie noch zu sehen sein wird, kaum wahrgenommen wurde. Jedenfalls sieht Luis die Wörter als eine Einheit an. Dazu trägt sicherlich das Material bei. Auf der symbolischen Ebene wäre auch die Antwort naheliegend gewesen, dass der Satz aus Buchstaben und Leerzeichen besteht.

Dass hier im Sinne einer formalen Beschreibung von Sprachen eine einheitliche Bezeichnung angebracht ist, dem stimmten die Schüler zu. Allerdings dauerte es etwas, bis Saide die Begriffe *Wortschatz* und *Eingabemöglichkeit* als Oberbegriff vorschlug. Letzteren konnte ich nutzen, um von dem Eingabealphabet und allgemein vom Alphabet zu sprechen. Daraufhin wurde von Luis Element und von Mitra *Zeichen* als Begriff für ein Element des Alphabets vorgeschlagen. In einer kurzen Umfrage bevorzugten die Schüler den Begriff *Zeichen*. Ich stellte anschließend den Begriff *Buchstabe* vor, womit sich der Begriff *Wort* – welchen die Schüler schon kannten (s. o.) – schnell erarbeiten ließ. Erneut wurde für den Begriff *Zeichen* abgestimmt, da ihnen *Buchstabe* zu „speziell“ (Luis) war. Dies notierten sich die Schüler auf dem Sicherungsbogen. Da ich über den Begriff *Zeichenkette* nicht abstimmen ließ, etablierte sich

stattdessen – auch durch mein Zutun – der Begriff *Wort*, was keine Schwierigkeiten bereitete.

Der Impuls, aus den Syntaxkarten eine Übersicht zu legen, funktionierte bei allen Schülern wie erwartet. Luis erklärte sich bereit, seine Übersicht und auch den von ihm zufällig erzeugten Satz „Das Katze hasst Die Ball“ an die Tafel zu schreiben.

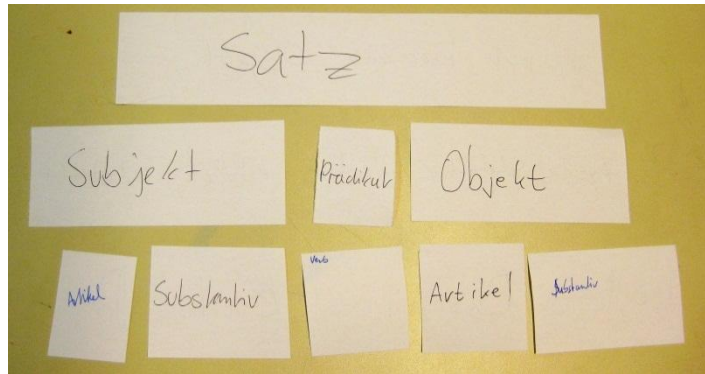


Abbildung 9: Syntaxkarten, die eine Übersicht bilden

Auf meinen oben genannten Impuls zur Nachvollziehbarkeit der Herkunft eines Zeichens hin, zeichnete er Spalten, wie sie in Abbildung 10 zu sehen sind. Dieses Denken in Spalten wird wahrscheinlich dadurch gefördert, dass die ersetzenden Karten des Baukastensystems aneinandergelegt genau auf den ersetzten Karten liegen und dadurch einmal entstandene Spalten von nebeneinanderliegenden Karten dauerhaft sichtbar bleiben. Dies ist ein schönes Indiz dafür, dass die Vorstellung der enaktiven Ebene Auswirkungen auf die ikonische hat. Hätte er den Begriff *Zeichen* als Zeichenfolge missverstanden, so hätte er an dieser Stelle die Spalten erst in der dritten Zeile zu zeichnen begonnen. Subjekt, Prädikat und Objekt wären dann als eine Einheit zu verstehen. Der Begriff bereitete im Weiteren keine Probleme.

Dennoch wurde die Notationsweise inkonsequent durchgeführt. Während Subjekt, Prädikat und Objekt je eine eigene Spalte zugewiesen bekommen haben, hat Luis keine nach unten verlaufenden, roten Linien jeweils zwischen Artikel und Substantiv gezeichnet. Interessant dabei ist, wie in der fünften Stunde noch zu sehen sein wird, dass genau diese Inkonsequenz auch bei der regulären Schreibweise des Syntaxbaums von mehreren Schülern durchgeführt wurde. Ich hatte dies leider nicht sofort bemerkt und erklärte lediglich, dass die reguläre Schreibweise Striche anstelle der Spalten vorsieht. Diese konnte Luis jetzt – vermutlich mithilfe der Spalten – richtig anzeichnen. Das Schaubild wurde ohne die Striche für die Spalten gesichert.

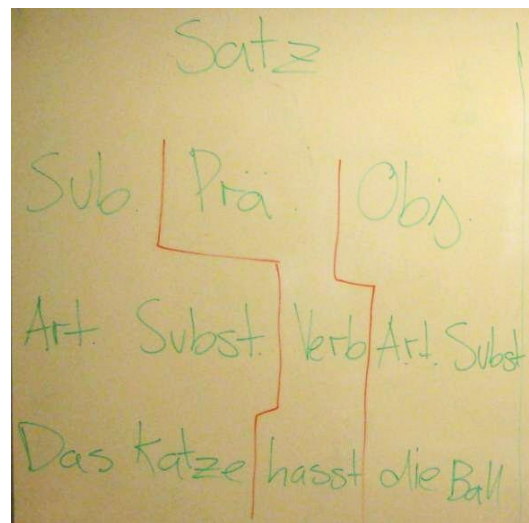


Abbildung 10: "Syntax-Spalten" von Luis

Bezüglich der Ebene der deutschen Grammatik kannten die Schüler den Oberbegriff *syntaktische Funktion* nicht, sondern nannten stattdessen den Begriff *Satzteil*, welcher im Sinne von *Satzglied* ebenfalls korrekt ist. Daher habe ich beide Begriffe an die Tafel geschrieben. Auch zu den Wortarten wussten die Schüler zwar, dass sie zu einer Kategorie gehören, aber der Oberbegriff war ihnen neu.

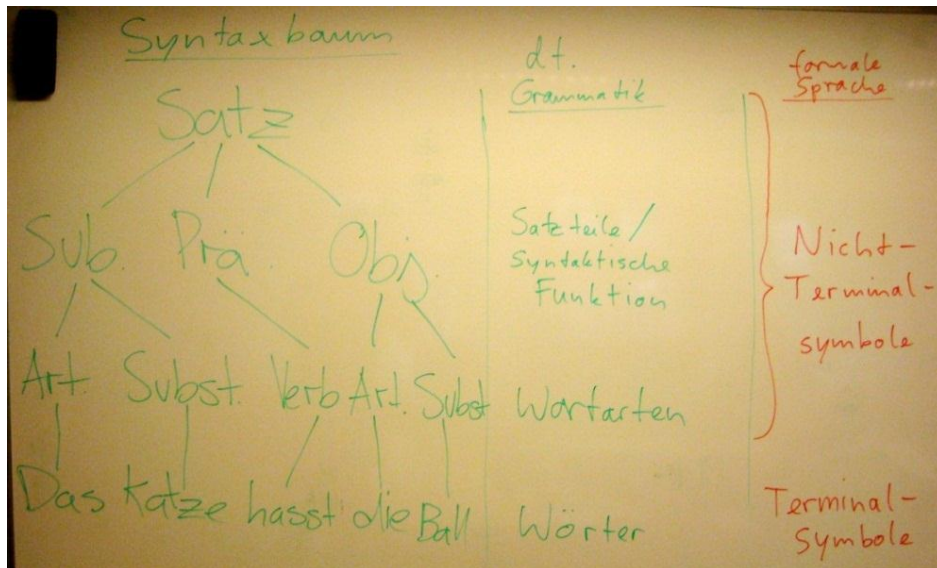


Abbildung 11: Gegenüberstellung der „Ebenen“ einer deutschen und einer formalen Grammatik

Bei der Befragung, wie die Ebene, in der die Wörter stehen, bei den formalen Sprachen genannt werden könnte, dachten die Schüler zunächst wieder an den vorhin gebildeten Begriff *Zeichen* oder *Buchstabe*. Ich betonte hier, dass sie den regulären Begriff vermutlich nicht erraten werden, es mir aber diesmal wichtig sei, dass die Eigenschaft der Elemente in dem Namen mit einfließe. Daraufhin sagte Saide wieder ihr zuvor schon eingebrachtes Wort „Eingabemöglichkeit“, womit sie gleich die wichtigste Unterscheidung zwischen den Terminalsymbolen und den Nichtterminalsymbolen benannte. Sie erklärte ihr Verständnis von den Wortarten und den syntaktischen Funktionen als Begriffe, die die Grammatik beschreiben. Luis ging mehr auf die an der Tafel zu sehende Rangfolge der Ebenen ein und sprach von „Unterbegriff“ und „Kleinstes Symbol der Kette“. In der Folgestunde konnte ich auch noch Manuel befragen, welcher die Worte „Endprodukt“ und „Endsymbol“ nannte. Den Begriff *Terminalsymbol* konnte Mitra mit der Eigenschaft, die Luis bereits für seine Begriffe gegeben hatte, begründen. Daher scheint mir der Syntaxbaum für die Begriffsbildung förderlich zu sein.

Hervorzuheben ist die Leistung von Saide, welche sich durch auffällig viele Wortbeiträge beteiligte. Offensichtlich wurde die Teilnehmerin am Deutsch-Leistungskurs von dem Kontext stark motiviert. Zudem begriff sie das Baukastensystem sehr schnell und half Luis sogar bei der Erzeugung eines Wortes.

4.3 Die fünfte Unterrichtsstunde

4.3.1 Planung

Ich leite die Stunde mit dem Hinweis ein, dass bisher zwar Wörter erzeugt wurden, aber die dahinterstehende Grammatik noch nicht genauer betrachtet wurde. Die Syntaxkarten zur Datumsschreibweise liegen den Schülern vor. Ich entscheide mich gegen diejenigen zur deutschen Grammatik, weil die verwendeten Zeichen nach und nach abstrakter werden sollen. Der Auftrag, aus den Syntaxkarten eine Übersicht über die Grammatik zu erstellen, soll

die Schüler aktiv und kreativ werden lassen. Sie müssen die Verbindungen, die eine Syntaxkarte ausdrückt, auf einer anderen Ebene darstellen. Ob sie eine ikonische oder symbolische wählen, ist ihnen selbst überlassen. Die Produkte sollen anschließend untereinander verglichen und in einer Pro-Kontra-Liste bewertet werden. Die wichtigsten Ergebnisse werden im Plenum vorgestellt. Falls sich, wie zu erwarten, daraus nicht die reguläre symbolische Schreibweise entwickelt, wird sie von mir vorgestellt und von den Schülern mithilfe der Kriterien aus ihren Pro-Kontra-Listen bewertet.

Danach lasse ich anhand des Sicherungsbogens die Schüler noch einmal die Bestandteile der deutschen Grammatik nennen. Bisher wurde erarbeitet, dass lediglich die Syntax bei formalen Grammatiken eine Rolle spielt. Dass sich diese aus vier Bestandteilen zusammensetzt, wovon zwei Alphabete sind, ist im Vergleich zum Deutschen eine ungewohnte Definition. Allerdings sind die Terminalsymbole und die Nichtterminalsymbole bereits unter dem Aspekt der Grammatik erarbeitet worden und daher als Bestandteil der Grammatik nachvollziehbar.

Unter der Überschrift *Grammatik* stehen nun die Syntaxregeln und die beiden Alphabete. Diese werden – wie ich sage – durch die Syntaxkarten dargestellt. Damit kann man bereits alle möglichen Wörter der Sprache bilden. Ich erfrage, welche Information noch fehlt und prüfe damit ab, wie gut sich die Schüler noch daran erinnern, dass sie ein Startsymbol benötigen, um das Datum erzeugen zu können. Es wird auch an die Tafel geschrieben.

Nun wird ein Blatt ausgeteilt, auf dem die Bestandteile einer Grammatik noch einmal erklärt werden. Eine Aufgabe besteht darin, aus einer Menge an vorgegebenen Syntaxregeln zunächst alle Terminalsymbole und alle Nichtterminalsymbole zu identifizieren. Da die Nichtterminalsymbole in Hochkommata geschrieben sind – dies wird auf dem Zettel erklärt –, dürften sie leicht zu erkennen sein. Dabei fällt auf, dass bei den Nichtterminalsymbolen und den Terminalsymbolen gleiche Buchstaben Verwendung finden. Daher lautet die nächste Frage, weshalb die Symbole unterschieden werden müssen. Dann soll exemplarisch zweimal ein Wort ikonisch sowie symbolisch erzeugt werden und die Vermutung angestellt werden, um was für eine Sprache es sich handelt. Während die Wörter erstellt werden, schreibe ich von jedem Schüler eines an die Tafel, damit es leichter fällt, die Autokennzeichen als solche zu erkennen. Anhand dessen wird noch einmal die Unterscheidung zwischen Syntax und Semantik besprochen für die Schüler, welche in der letzten Doppelstunde nicht anwesend waren. Zunächst werden die Lösungen mit dem Sitznachbarn, dann im geführten Lehrergespräch verglichen.

4.3.2 Durchführung und Auswertung

Der Auftrag zur Gestaltung der Übersicht bereitete den Schülern Freude. Sie wühlten sich durch die Syntaxkarten und prüften systematisch, ob sie auch tatsächlich alle Regeln beachteten. Die Übersichten selbst boten einige Überraschungen. Alle Schüler haben erstaunlicherweise dasselbe Modell gewählt: eine Art Syntaxbaum, welcher beim Startsymbol beginnt und dann konsequent alle möglichen Ableitungen darstellt. Dass die Schüler die formale Ebene hätten wählen können, hatte ich deutlich gemacht, indem ich nicht nur von

einer Übersicht sprach, welche vielleicht zu sehr an eine ikonische Darstellung erinnert, sondern insbesondere von einer Darstellung der Grammatik in ihrem Hefter.

Hieraus schließe ich, dass ihnen die ikonische Ebene mehr zusagt als die symbolische. Zudem halten sie die Ebene als geeigneter, eine Übersicht zu bieten. Dabei nehmen sie es in Kauf, eine Regel mehrmals darstellen zu müssen: überall dort, wo ein Nichtterminalsymbol vorkommt, muss seine Ableitung nach unten hin aufgeschrieben werden – auch wenn dies bereits an anderer Stelle geschah. Keiner verwendete Striche, welche auf solche anderen Stellen verweisen, sodass sie einen Baum mit Rückwärtspfeilen entworfen hätten.

Interessant an der Version von Luis ist, dass er in der zweiten und dritten Ebene des Baumes Punkte setzt, auf die aber kein Strich verweist (siehe Abbildung 12). Bei den Produkten von vier anderen Schülern wurden die Punkte gar nicht dargestellt. Zum einen ist indirekt das Baukastensystem Ursache dafür. Denn die Punkte standen bei den vorgegebenen Syntaxkarten auf der Rückseite der Syntaxkarte mit dem Startzeichen. Sie hatten keine „eigene“ Syntaxkarte wie die anderen Terminalsymbole. Dadurch wurden sie nicht als solche wahrgenommen. Hätte es für die Punkte eine weitere Syntaxkarte gegeben, sagen wir mit P als verbindendes Nichtterminalsymbol, dann wäre sicherlich der Strich zu dem P und dann einer von dem P zu dem Punkt gezogen worden. In der vierten Unterrichtsstunde wurde – da für die fünf zuvor fehlenden Schüler manches wiederholt werden musste – der Syntaxbaum zum Datum offensichtlich zu kurz abgehandelt. In der Stunde davor (siehe oben) wurde der Begriff *Zeichen* mitunter anhand der Syntaxkarten zum Datum gebildet. Dabei nannte ich auch die Punkte als Zeichen des Datums. Dennoch lag nun der Begriff *Zeichen* unter anderem bei Luis und Saide untergeneralisiert vor.

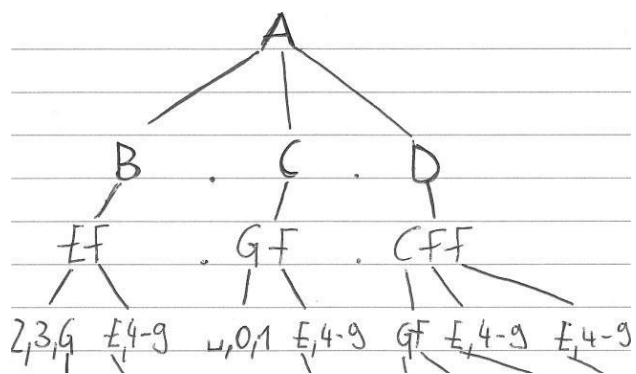


Abbildung 12: Ausschnitt der Übersicht von Luis

Sie hatten keine „eigene“ Syntaxkarte wie die anderen Terminalsymbole. Dadurch wurden sie nicht als solche wahrgenommen. Hätte es für die Punkte eine weitere Syntaxkarte gegeben, sagen wir mit P als verbindendes Nichtterminalsymbol, dann wäre sicherlich der Strich zu dem P und dann einer von dem P zu dem Punkt gezogen worden. In der vierten Unterrichtsstunde wurde – da für die fünf zuvor fehlenden Schüler manches wiederholt werden musste – der Syntaxbaum zum Datum offensichtlich zu kurz abgehandelt. In der Stunde davor (siehe oben) wurde der Begriff *Zeichen* mitunter anhand der Syntaxkarten zum Datum gebildet. Dabei nannte ich auch die Punkte als Zeichen des Datums. Dennoch lag nun der Begriff *Zeichen* unter anderem bei Luis und Saide untergeneralisiert vor.

Die sprachlich-symbolische Ebene half in diesem Fall auch nicht. Ich halte die symbolische Schreibweise der Zeichenfolge sogar für den Hauptgrund für die Missachtung der Punkte. Schließlich werden die unscheinbaren Punkte, welche zumeist eine trennende oder beendende Funktion haben, zwischen den Großbuchstaben A, B und C nicht als „eigene“ Zeichen wahrgenommen. Und das, obwohl sie fester Bestandteil eines Datums sind. Mildernd lässt sich allerdings argumentieren, dass die Missachtung des Punktes als Satzzeichen bei der Syntax zur deutschen Grammatik meinerseits inkonsequent war. Wenn auch nicht gleich zu Beginn nötig, hätte ich den Punkt doch im weiteren Verlauf der Einheit explizit als (Satz-)Zeichen thematisieren können.

Festzuhalten ist, dass sich der Wechsel der Repräsentationsebenen zur Diagnose eignet. Weder auf der enaktiven noch auf der symbolischen (außer der sprachlichen) Ebene bestand

bis hierhin die Möglichkeit, die Eigenschaft des Punktes als Zeichen zu überprüfen – so wurde das Datum ja enaktiv sowie symbolisch korrekt (mit den Punkten in jedem Zwischenschritt) erzeugt.

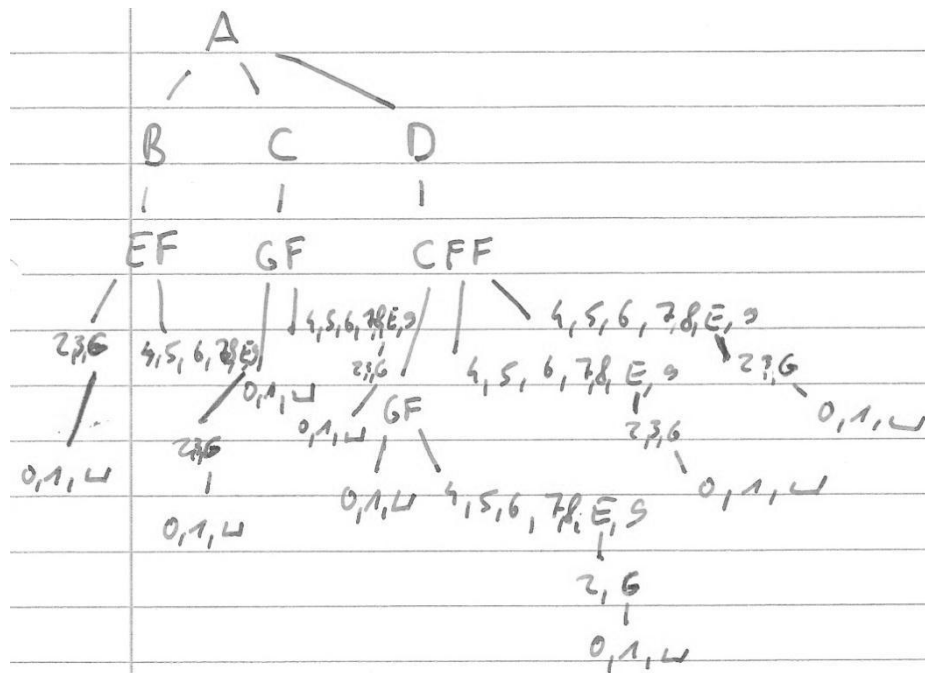


Abbildung 13: Überblick zur Grammatik von Saide

Anstelle des geplanten Vergleichs ließ ich die Blätter lediglich tauschen, damit die Schüler anhand der fremden Übersicht ein Wort erzeugten und sie somit überprüft wurde. Da sie der eigenen Übersicht sehr ähnlich war, hatten die Schüler mit der Aufgabe keine Schwierigkeiten und konnten sich keine objektive Rückmeldung geben. Dennoch wurden dadurch die fehlenden Punkte identifiziert und im anschließenden gelenkten Unterrichtsgespräch thematisiert.

Den Schülern fiel nicht auf, dass sie anfangs die Striche von einem Knoten zu allen seinen Kindern gezeichnet hatten, schon in der zweiten Ebene aber nicht mehr. Lediglich ein Strich verweist auf die folgenden Kinder, immerhin aber stets von jedem Nichtterminalsymbol aus. Als ich die Schüler darauf anspreche und andeute, dass es dadurch Probleme mit der eindeutigen Zuordnung gibt, können sie begründet widersprechen. Ist eine Auswahl zu treffen, welche Symbolfolge erzeugt werden soll, so haben tatsächlich alle Schüler die Auswahlmöglichkeiten durch Kommata getrennt. Dies macht den Baum eindeutig lesbar und wesentlich übersichtlicher als die Verwendung der vielen Striche, die bei der regulären Schreibweise nötig sind. Nur die drei Striche vom Startsymbol aus waren inkonsequent. Diese deutlich wahrzunehmenden Striche sind wohl aus der gestrigen Sicherung in Erinnerung geblieben, nicht aber die grundsätzliche Schreibweise.

Mein anschließender Versuch, die Schülern Ideen für eine symbolische Schreibweise von Syntaxregeln formulieren zu lassen, gelang zunächst nicht. Dies empfand ich als Kommunikationsproblem, schließlich sagt der Begriff *symbolische Ebene* den Schülern kaum etwas. Von

einer Auflistung von Gleichungen zu sprechen, hätte die Lösung bereits verraten. Ich verwies auf die Art, wie die Schüler ein Wort formal erzeugt hatten, womit aber ebenfalls die reguläre Lösung sehr naheliegend war und mit Rechtspfeilen anstelle der Gleichheitszeichen genannt wurde. Daher werde ich diese Leistung nicht auswerten. Die korrekte Schreibweise wurde gesichert.

Ich teilte den Arbeitsbogen aus, den die Schüler schnell bearbeiten konnten. Sie konnten – obwohl sie die symbolische Schreibweise der Syntaxregeln eben erst kennengelernt hatten – mit den Regeln problemlos per Syntaxbaum und formal ein Wort erzeugen. Wie an Saides Syntaxbaum in Abbildung 14 zu sehen ist, hat sie daran gedacht, die Leerzeichen aufzuschreiben und mit Strichen darauf zu verweisen. Inzwischen verbindet sie also auch die unscheinbaren Zeichen mit Strichen. Dabei erleichtert aber vor allem die symbolische Kennzeichnung der Nichtterminalsymbole mit Hochkommata den Wechsel zur ikonischen Ebene.

Das vorherige Gespräch über die Missachtung der Punkte leistet in Saides Fall wahrscheinlich nur einen geringen Beitrag. Schließlich zeichnet sie immer noch lediglich einen Strich zu einer Folge an Zeichen, obwohl auch dies besprochen wurde. Für sie wäre es am besten gewesen, wenn sie die Notwendigkeit dieser Schreibweise selbst erkannt hätte. Dafür bietet sich aber lediglich ein Beispiel an, bei welchem etwa die Zeichen G und H von dem Zeichen GH unterschieden werden müssten (vgl. Abschnitt 3.4.1.4). Allerdings gibt es auf der enaktiven und der symbolischen Ebene keine entsprechende Schreibweise außer der Verwendung von Leerzeichen oder Anführungszeichen um ein einzelnes Zeichen herum. Daher ist es wenig verwunderlich, dass die Schüler, welche zuerst die Schreibweise auf der enaktiven Ebene kennengelernt haben, auch Leerzeichen beim Syntaxbaum verwenden.

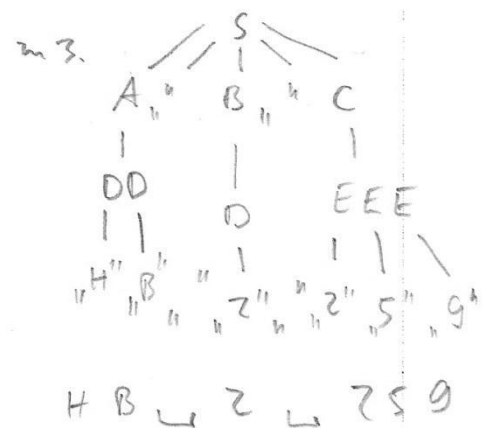


Abbildung 14: Syntaxbaum von Saide

Anzumerken ist noch ihr Bedürfnis, alle Nichtterminalsymbole auf einer Ebene des Baumes zu schreiben. Diesen Vorteil der guten Lesbarkeit des erzeugten Wortes, den das Baukastensystem und die symbolische Schreibweise hatten, versucht sie (neben zwei weiteren Schülern) im Syntaxbaum zu übernehmen.

4.4 Die achte Unterrichtsstunde

4.4.1 Planung

In der vorherigen Stunde wurde ein kleines Projekt gestartet, in dem die eine Hälfte der Schüler einen Ausschnitt der deutschen Grammatik und die andere Hälfte einen Teil der Syntax von Java in einer Übersicht durch Syntaxdiagramme oder formal durch Syntaxregeln darstellen soll. Dabei arbeiteten sie einzeln. Dennoch haben sich alle für die ikonische Variante

entschieden. Zu ihren Themengebieten lagen ihnen Informationstexte vor. Zur deutschen Grammatik wurde das Konzept der Phrasen beschrieben.

Die Stunde beginnt wie die zwei letzten Stunden auch: Ich frage die Schüler ab, welche Klammer der EBNF was bedeutet. Dabei habe ich die Produkte der Schüler bereit liegen, die bei dem Stationenlernen an der enaktiven Station selbst erstellt wurden. Es handelt sich um Syntaxkarten, die nach Belieben durch Büromaterial so gestaltet wurden, dass sie eine der grammatikalischen Strukturen repräsentieren. Diese erweiterten Syntaxkarten zeige ich zur Erinnerung an die Funktion der entsprechenden Klammer hoch. Es wurden bereits Eselsbrücken gefunden, wie das Material mit der Form der Klammer in Verbindung gebracht werden kann.

Die Syntaxdiagramme der letzten Stunde werden nun in zwei Gruppen untereinander verglichen, irreguläre Schreibweisen angemerkt und daraus wird gemeinsam ein erweitertes oder neues Syntaxdiagramm erstellt. Ich kopiere die beiden Gruppenprodukte für alle Schüler.

Sie sollen nun in Einzelarbeit die Syntaxdiagramme der anderen Gruppe in die EBNF übersetzen und damit ein Wort erzeugen. So prüfen sie zuerst, ob die Diagramme lesbar und zu übersetzen sind. Dann testen sie durch das Erzeugen eines Wortes die Syntax. Da es hier mehrere Möglichkeiten einer Ableitung gibt, habe ich mich dafür entschieden, mehrere Schüler in Einzelarbeit daran arbeiten zu lassen.

Innerhalb der Gruppen werden die Lösungen in EBNF sowie die Verbesserungsvorschläge verglichen. Daraufhin setzen sich zwei Schüler aus je einer Gruppe zusammen. Jedes Pärchen tauscht sich über die Schreibweisen und Verbesserungsvorschläge ihrer Produkte aus. Dabei informieren sie sich auch über ihre Informationstexte, welche ich anschließend allen Schülern austeile.

Im Plenum wird der Lernzuwachs durch ein paar Fragen zur Syntax der beiden Sprachen abgeprüft und abschließend werden Fragen geklärt. Je nach der Qualität der Produkte sollen sie von zwei Schülern als Hausaufgabe überarbeitet und in eine finale Fassung gebracht werden.

4.4.2 Durchführung und Auswertung

Gestern konnten die Schüler kaum noch die Eigenschaft nennen, die eine Klammer der EBNF repräsentiert. Lediglich jeweils die Erfinder einer erweiterten Syntaxkarte konnten ihr Produkt und somit die Bedeutung der repräsentierten Klammer erklären. Beispielsweise ist in Abbildung 15 eine Syntaxkarte drehbar an eine andere angebracht. Das Zeichen *Einzelzeichen* kann also mehrmals hinter dem anderen Zeichen erscheinen. Somit ist eine Wiederholung dargestellt. Der Schweif, den die Rotation gedanklich hinterlässt, dient als Eselsbrücke für die geschweifte Klammer. Heute konnte Mitra diese Eigenschaft wiederholen, obwohl das Produkt nicht von ihr stammt.

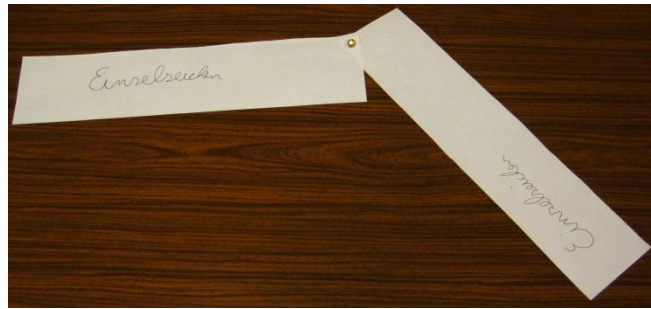


Abbildung 15: Erweiterte Syntaxkarte zur Wiederholung von Einzelzeichen von Lukas

Dass wieder alle Schüler in der vorherigen Stunde das Syntaxdiagramm zur Beschreibung der Syntaxregeln gewählt hatten, war eine erneute Überraschung. Denn diesmal hatten manche von ihnen zuerst mit der symbolischen Form Kontakt gehabt, als sie in der sechsten Stunde die entsprechende Station als erstes besucht hatten. Unabhängig davon, auf welcher Ebene sie einen Lerngegenstand zuerst kennengelernt haben, bevorzugten sie also eindeutig die konkretere Repräsentationsform.

Die Syntaxdiagramme waren von den meisten Schülern fehlerfrei erstellt worden und konzentrierten sich zum Teil auf verschiedene Syntaxregeln. Nur Daniel, der zuvor gefehlt hatte, konnte die Syntaxdiagramme nicht korrekt aufschreiben. Hier musste die Gruppe ihm manche zusätzliche Erklärungen geben. Außerdem diskutierten sie darüber, wie ein Attribut und ein Personalpronomen in das Syntaxdiagramm einzubringen sei. Ein Schüler hatte letzteres in seinem Diagramm falsch verwendet (er meinte vermutlich das Progressivpronomen). Obwohl ich bewusst die beiden Teilnehmer am Deutsch-Leistungskurs in die Gruppe eingeteilt habe, begannen die Schüler eine Internetrecherche zu den Begriffen. Da das zu viel Zeit in Anspruch nahm, kopierte ich für die Folgephase das Gruppenprodukt wie es in Abbildung 16 in schwarzer Schrift auf der linken Seite zu sehen ist. Die Internetrecherche hätte ich besser bereits in der letzten Stunde für die Einzelarbeit zulassen sollen. Die Hausaufgabe bot allerdings noch die Gelegenheit, das Attribut und das Personalpronomen in das Diagramm einzubinden.

Schon zu Beginn der Einheit merkte ein Schüler an, dass ein einfacher Satz kein Objekt benötige, sondern lediglich aus Subjekt und Verb bestehen müsse. Der Informationstext der letzten Stunde bot den Schülern Hintergrundwissen zur deutschen Grammatik an. Das Konzept der Phrasen war allen neu, aber verständlich. Die Form der Ellipse kannten viele nach eigenen Angaben bereits. Allerdings wird sie in der Übersicht nur auf die Nominalphrase angewendet, vermutlich weil die Auslassung auch im Beispiel des Informationsblattes das Nomen betraf. Die Ellipse hätte auch als Pfeil ohne Zeichen symbolisiert werden können. Den Schülern ist aber anscheinend die explizite Darstellung durch ein Nichtterminalsymbol lieber gewesen. Andererseits lassen sie bei der Regel zur Nominalphrase die Auslassung des Nomens zu. Unklar ist mir, ob dies bewusst geschah oder, weil sie nicht wussten, wie sie die Wiederholung sonst hätten aufschreiben sollen. Da die Wiederholung sowieso falsch eingesetzt wurde (siehe unten), wurde dies nicht mehr geklärt.

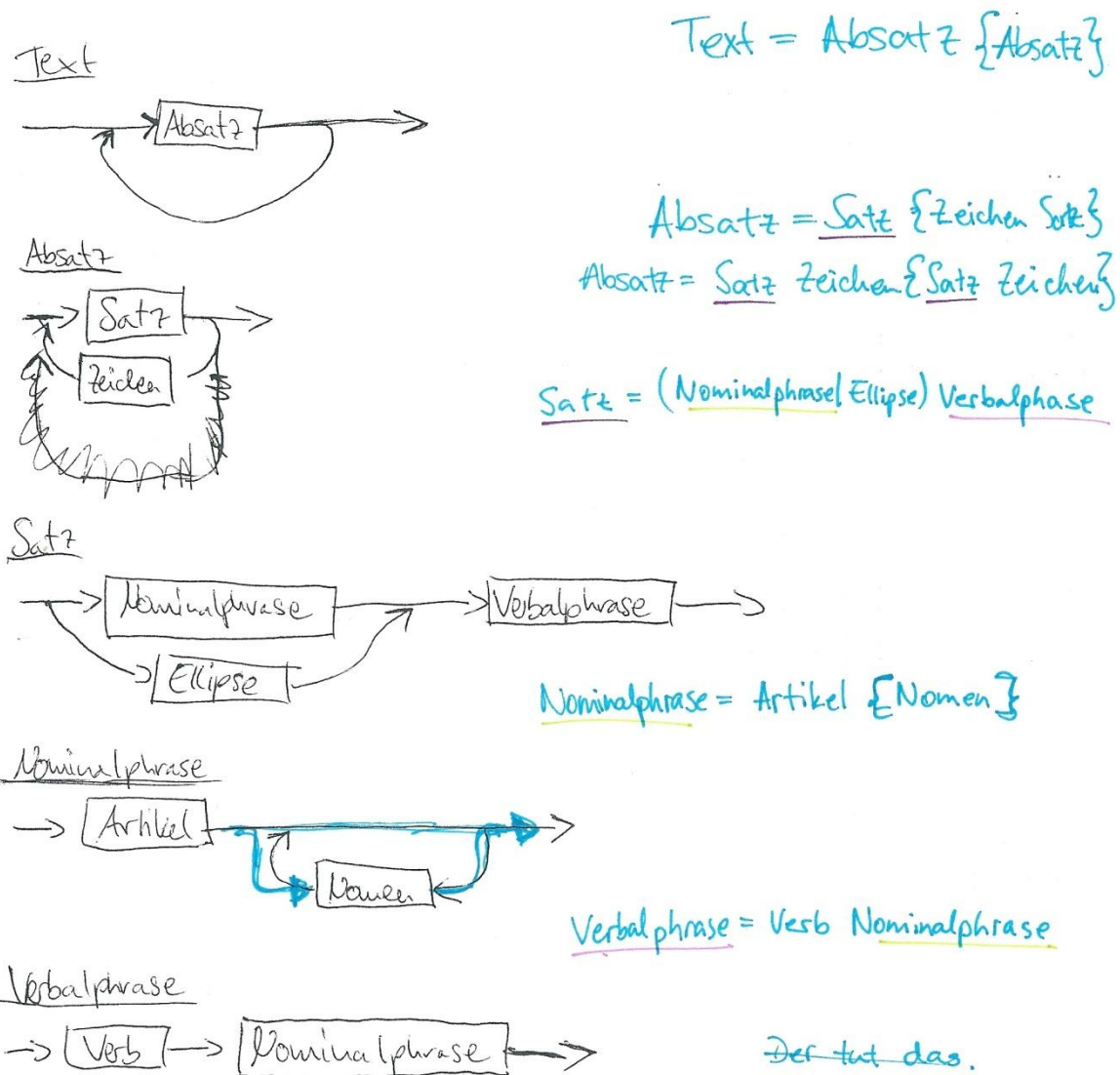


Abbildung 16: Syntaxdiagramm und EBNF zu einem Teil der Syntax der deutschen Sprache

Das Produkt zu der Syntax von Java war weitestgehend fehlerfrei. Positiv ist bei beiden Produkten zu bewerten, dass die Strukturen Alternative, Wiederholung und Gruppierung eingebracht wurden. Die Option hätte eine Ellipse darstellen können.

Die Übertragung von dem Syntaxdiagramm zur EBNF verlief nach meinen Beobachtungen bei fast allen Schülern problemlos. In der Abbildung 16 ist auf der rechten Seite in blauer Schrift eine Lösung von Mads zu sehen, welcher die Nichtterminalsymbole sogar mit verschiedenen Farben unterstreicht. Damit verschafft er sich einen besseren Überblick bei dem Erstellen eines Wortes. Dabei ist ihm aufgefallen, dass der Satz ohne Satzzeichen enden kann. Er schreibt unter die entsprechende Syntaxregel eine bessere Variante. Allerdings vergisst er dann selbst nach dem vierten Ersetzungsschritt das Nichtterminalsymbol für das Satzzeichen. Hier zeigt sich wieder, wie gerne das unscheinbare Zeichen – ob Punkt oder Komma – vernachlässigt wird.

Seine zweite Entdeckung ist die falsche Zeichnung im Syntaxdiagramm für die Ersetzung der Nominalphrase. Das Nomen kann beliebig oft ohne Kommata wiederholt werden. Mads verbessert dies in der Zeichnung sowie an der symbolischen Syntaxregel, indem er aus der Wiederholung eine Option macht. Seine Mitschüler haben diese Entdeckungen auch gemacht und rufen sie aufgeregt durch den Raum.

Die Auswertungen in den Partnerarbeiten waren entsprechend fruchtbar. Es schien mir, als hätten die Schüler die Produkte noch gerne ausgearbeitet. Gegen die Hausaufgabe, die Übersicht mit den Verbesserungen noch einmal ordentlich aufzuschreiben, gab es von den betroffenen Schülern keine Einwände. Die abschließende kurze Befragung zu der neuen Syntaxform im Deutschen und den Begriffen der Syntax von Java bereitete ihnen keine Probleme.

4.5 Darstellung der Kompetenzentwicklung

In diesem Abschnitt werte ich zusammen mit den Analyseinstrumenten Eingangstest, Wiederholung des Eingangstests und Ausgangstest die Entwicklung des Standards zum Vergleich der natürlichen und formalen Sprachen aus.

4.5.1 Die Begriffsverwendung

Im Eingangstest wird von allen Schülern als „wesentlich“ (Daniel) betont, dass im Deutschen Wörter verwendet werden und in Java „Buchstaben und Zeichen“ (Saide). Sonderzeichen wie das Plus würden im Deutschen zwar auch, aber selten vorkommen (Mitra). In Java werden selten Wörter großgeschrieben (Mitra).

Dieser von der Gestalt her tatsächlich wesentliche Unterschied scheint vielen Schülern sehr wichtig gewesen zu sein. Nicht nur, dass alle ihn im Eingangstest nannten, auch bei dem Vergleich von Zeichen und Wörtern in der dritten Stunde waren alle gleichermaßen nachdenklich. Sie erkannten, dass bei formalen Sprachen ein „Eingabealphabet“ aus ganz verschiedenen Zeichen bestehen kann und der einheitliche Begriff *Zeichen* geeignet ist. Diese ungewohnte Begriffsverwendung bei den formalen Sprachen, nach der auch ein deutsches Wort als *Zeichen* oder gar *Buchstabe* bezeichnet werden kann, haben die Schüler schnell angenommen und wurde in der Wiederholung des Eingangstests von fast allen als erste Unterscheidung genannt. Beispielsweise beginnt Mitra schon wie selbstverständlich mit der unterschiedlichen Bezeichnung des Begriffs *Wort*.

Mitra

Sowohl Java als auch die deutsche Sprache besitzen eine Syntax sowie Zeichen und Wörter. Im Gegensatz zum Deutschen gibt es bei Java und formalen Sprachen generell keine Sätze, da einzelne Zeichen entweder ein Buchstabe, eine Zahl, etc. sein können, aber auch ein ganzes Wort, sodass ein Wort in einer formalen Sprache einen Satz im Deutschen ergeben ~~kann~~ kann.

Abbildung 17: Ausschnitt des Vergleichs von natürlichen und formalen Sprachen zum Abschluss der Einheit von Mitra

Manche Schüler haben im Eingangstest Programmiersprachen mit formalen Sprachen – den Begriff hatten sie als Thema der kommenden Einheit gehört – gleichgesetzt. Während der Einheit haben sie ein neues Verständnis von formalen Sprachen erworben, indem sie ein Datum, das Autokennzeichen, E-Mail-Adressen, abstrakte Sprachen und sogar einen kleinen Teil der deutschen Syntax und Wortgrammatik formal beschrieben haben. In der Wiederholung des Eingangstests werden nicht nur die meisten Begriffe korrekt verwendet, sondern die gesamte Ausdrucksweise der Texte vieler Schüler ist zielgerichteter.

Auch der Begriff *Stapel* als eine Datenstruktur konnte beim Rollenspiel zum Parser wie selbstverständlich durch das Operieren mit einem Papierstapel eingeführt werden. Der Begriff sowie die Grundbegriffe der Linguistik wie Semantik, Morphologie, etc. wurden nicht im Abschlusstest abgeprüft. Letztere sind aber in einem Übersichtsbogen stets gesichert worden und begründet der Theorie der formalen Sprache gegenübergestellt worden.

4.5.2 Die Grammatik

Im Eingangstest attestiert Saide nur den natürlichen Sprachen, dass sie eine „Satzstruktur“ besitzen und verweist auf die „Grammatik“. Jonah hingegen vergleicht einen Satz mit einer Anweisungszeile: „Das Satzende wird im Text durch einen Punkt gekennzeichnet, im Java-Text meist durch ein Semikolon oder gar nicht“⁴. Dies zeigt bereits ein Gespür dafür, dass sich hier ein Muster häufiger wiederholt, allerdings kann es noch nicht adäquat ausgedrückt werden.

Dieses Muster wird zunächst durch die Syntax verkörpert. Diese haben die Schüler von der zweiten Stunde an wortwörtlich in der Hand. Durch die Syntaxkarten gestaltete sich der Umgang mit den Syntaxregeln von Beginn an als sehr unproblematisch. Die Übertragung zum Syntaxbaum funktionierte wie antizipiert. An diesem konnte der Vergleich der Syntax mit den Bezeichnungen Wortart und syntaktische Funktion im Deutschen sowie Terminalsymbol

⁴ Die Schüler werden hier und im Folgenden in korrigierter Rechtschreibung zitiert.

und Nichtterminalsymbol bei formalen Sprachen übersichtlich dargestellt werden. Sechs Schüler konnten alle Begriffe (abgesehen von der syntaktischen Funktion) im Abschlusstest nennen und vergleichen. Drei Schüler haben sogar den Syntaxbaum mit der deutschen Grammatik gezeichnet, wie er in Abbildung 11 zu sehen ist. Der Baum, der die Ebenen in Zeilen gegliedert anzeigt, scheint hier eine gute Hilfe für die Schüler zu sein.

Durch das Baukastensystem werden die Unterscheidung von Syntax und Semantik erarbeitet sowie die Überlegung, dass es bei formalen Sprachen keine Wortgrammatik geben kann. Später erfahren sie, dass die Morphologie neben der Syntax als zweiter Teil der deutschen Grammatik eigenen, ebenfalls durch eine formale Sprache beschreibbaren Regeln folgt.

Durch das Baukastensystem erfahren sie die Notwendigkeit, ein Startsymbol zu definieren. Die symbolische Schreibweise zum Erstellen eines Wortes und von Syntaxregeln gelingt den Schülern nach den Arbeiten mit dem Baukastensystem und dem Syntaxbaum problemlos. Im Abschlusstest können alle Schüler aus gegebenen Syntaxregeln in BNF ein Wort symbolisch korrekt erzeugen. Der Syntaxbaum hingegen bereitete unerwartete Schwierigkeiten.

Durch den Wechsel von der enaktiven in die ikonische Ebene zur Erzeugung eines Wortes zeigte sich zu Beginn der Einheit, dass einige Schüler manche Zeichen wie den Punkt, die anscheinend als selbstverständlich vorausgesetzt werden, bei der Arbeit mit den Syntaxregeln nicht berücksichtigen. Wie in der Darstellung der fünften Stunde zu sehen, änderte sich dies. Im Abschlusstest wird der Punkt im Syntaxbaum von allen Schülern als Zeichen berücksichtigt. Allerdings ist er, da ich mich für die Verwendung sinnfreier, formaler Sprachen im Test entschieden habe, weniger unscheinbar. Daher überrascht das Ergebnis nicht sonderlich.

Hartnäckiger war die irreguläre Schreibweise im Syntaxbaum, auf eine Folge von Zeichen nur mit einem Strich zu verweisen. Auch im Abschlusstest war sie bei drei Schülern (darunter Saide) zu beobachten. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Grammatik falsch verstanden worden wäre. Die Schreibweise ist lediglich nicht immer eindeutig, beziehungsweise ebenso wenig eindeutig wie auf der symbolischen Ebene.

In den letzten beiden Stunden der Einheit, in denen Wörter entsprechend der Arbeitsweise eines Parsers auf ihre Korrektheit überprüft wurden – wobei das Bottom-Up-Verfahren quasi gegenteilig zur Erzeugung eines Wortes arbeitet –, zeigte sich ein schnelles Verständnis für die Abfolge, in der die Regeln anzuwenden waren. Wie eine Eingabe beziehungsweise ein Quelltext auf ihre oder seine grammatikalische Korrektheit hin überprüft wird, konnten die Schüler mit ihrem bisherigen Verständnis über die Syntax formaler Sprachen schnell erkennen. Im Rollenspiel führten sie die Probe nach kurzer Einweisung selbstständig aus.

Auch die Wiederholung des Eingangstests zeigt die Entwicklung. Jonah weiß inzwischen: „In beiden Texten ist die Reihenfolge der Zeichen durch eine Grammatik und Semantik festgelegt.“ Dass aber im Deutschen die Grammatik bei Weitem nicht so starr festgelegt ist wie bei formalen Sprachen, hält Luis fest: „Somit kann man ein und dasselbe [im Deutschen, d. Verf.]

auf mehrere Arten beschreiben. Java im Gegensatz als formale Sprache hat eine klar strukturierte Grammatik, die festgelegt wurde und an die sich gehalten werden muss.“

4.5.3 Die Strukturen der Grammatik

Das von Jonah zitierte Muster ist im Eingangstest der einzige Vergleich einer Struktur der Grammatiken beider Spracharten. In der unangekündigten Wiederholung des Tests sprechen er und Mitra die Strukturen Option und Wiederholung an. Dabei zeigen Sie ihren Lernzuwachs zur deutschen Grammatik. Mitra nennt „[d]eutsche Stilmittel wie Aufzählungen oder Grammatikstrukturen wie eingefügte Nebensätze“ als Beispiel und Jonah geht noch einen Schritt weiter: „Im ‚Text im Deutschen‘ kann man [...] den gesamten Satz durch Nominalphrase und Verbalphrase gliedern.“

Bei der Darstellung der deutschen Grammatik oder der Syntax von Java bevorzugten alle Schüler das Syntaxdiagramm. Es bereitete kaum Schwierigkeiten und auch das Lesen der EBNF konnten die Schüler schnell erlernen. Die Bedeutung der Klammern prägten die Schüler sich durch eigene Repräsentationen an erweiterten Syntaxkarten ein. Der Erfolg dessen war, dass im Abschlusstest keine Klammerart mit einer anderen verwechselt wurde.

Allerdings trat bei drei Schülern ein Fehler bezogen auf die Gruppierungsklammer in Kombination mit der Alternative auf. Sie erzeugten aus der Gruppierung $(a | b c)$ die Zeichenkette ac , anstelle von a oder bc . Saide vergaß außerdem ein Nichtterminalsymbol bei der Erzeugung ihres Wortes. Luis setzte anstelle der geforderten, formalen Schreibweise den Syntaxbaum ein, allerdings erfolgreich. Hervorzuheben ist, dass sogar Daniel, der insgesamt an vier Tagen gefehlt hat, in diesem Fall eine korrekte Lösung aufschrieb. Das Lesen der EBNF gelingt den Schülern in sehr zufriedenstellendem Maße.

Als letzte Aufgabe des Abschlusstests sollte eine Syntaxregel in EBNF zu einem vorgegebenen Syntaxdiagramm (siehe Abbildung 18) aufgeschrieben werden. Schwierigkeiten bereitete hierbei die Wiederholung. Vier Schüler, darunter Mitra und Saide, schrieben zwar die Wiederholungsklam-

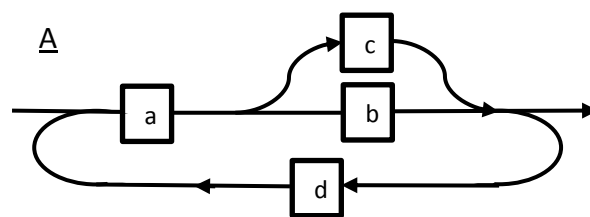


Abbildung 18: Ein Syntaxdiagramm aus dem Abschlusstest

mern auf, der Ausdruck darin war aber nicht vollständig oder es wurde noch eine zweite Wiederholungsklammer angefügt. Anstatt $A = a(b|c)\{da(b|c)\}$ wurde zum Beispiel $A = a(b|c)\{d\}\{a(b|c)\}$ geschrieben, vermutlich weil das d in dem Pfeil stand, welcher die Wiederholung darstellt. Manuel bearbeitete die Aufgabe gar nicht. Die korrekte Wahl der Klammern lässt darauf schließen, dass das Syntaxdiagramm korrekt gelesen wurde und das Problem das Aufschreiben der Syntaxregel in EBNF war. Die Schüler hätten diesbezüglich mehr Zeit zum Üben benötigt. Das Verständnis, welches auf der ikonischen Ebene erlangt wurde, reicht nicht allein, um die symbolische Ebene beherrschen zu können. Dazu wird die Erfahrung benötigt, dass zwei Wiederholungsklammern hintereinander ein anderes Wort

erzeugen als eine gemeinsame. Erst dann kann der Ausdruck während des Schreibens im Kopf überprüft werden.

Insgesamt sind die Ergebnisse des unangekündigten Abschlusstests überaus zufriedenstellend. Luis, Lukas und Mads haben zwar vereinzelt Korrekturen an ihren Antworten vorgenommen – sind also auch noch in der Phase, ihr Geschriebenes überprüfen zu müssen –, zeigen aber schließlich, dass sie den Syntaxbaum und die symbolische Schreibweise beherrschen. Auch die anderen Schüler konnten die regulären Schreibweisen weitestgehend korrekt anwenden.

4.6 Überprüfung der Leitfrage und der Hypothesen

Die oben angeführten Auswertungen werden nun zusammenfassend zur Beantwortung der Leitfrage und der beiden Hypothesen genutzt. Zudem stelle ich hier die subjektiven Einschätzungen der Schüler zum Erfolg der Darstellungsebenen vor. Bezüglich dieses Analyseinstrumentes muss berücksichtigt werden, dass die Schüler sich in ihrer Auswertung wohl eher auf die Inhalte – also zum Beispiel auf die formale Schreibweise der Syntax – und weniger auf die Kompetenzförderung beziehen.

Leitfrage

Hilft der Einsatz des EIS-Prinzips Schülern in der Sekundarstufe II beim Verstehen von Informatiksystemen sowie bei Operationen auf der symbolischen Ebene?

In Bezug auf die zu fördernde Kompetenz war das verwendete Material mehrfach eine Hilfe. So konnten die Begriffe *Zeichen* und *Wort*, welche zur Beschreibung formaler Sprachen viel umfassender sind als bei natürlichen Sprachen, mit den Syntaxkarten ohne Metasymbole erfolgreich erarbeitet werden. Durch den Syntaxbaum wurde eine Untergeneralisierung bezüglich unscheinbarer Zeichen verhindert. Außerdem konnte er zur Gegenüberstellung der „Ebenen“ der deutschen Syntax (syntaktische Funktion, etc.) mit denen der formalen Syntax (Nicht- und Terminalsymbol) einen sinnvollen Beitrag leisten.

Weiterhin konnte anhand der Syntaxkarten argumentiert werden, dass es keine Doppeldeutigkeiten oder Wortgrammatiken bei formalen Sprachen geben kann. Die Syntax des Deutschen sowie des formalen Datumformats konnte durch das Baukastensystem anschaulich vergleichbar gemacht werden. Auch die Ähnlichkeit der Strukturen Alternative, Gruppierung, Option und Wiederholung im Deutschen wie auch bei formalen Sprachen haben die Schüler durch das Erstellen eines Syntaxdiagramms zur deutschen Grammatik erarbeiten können.

Zu vermuten ist, auch wenn ich dies im Rahmen der Einheit nicht nachweisen kann, dass die Schüler sich durch die Verwendung des enaktiven und ikonischen Materials die Lerngegenstände besser einprägen konnten. So wurden die Klammerarten der EBNF, zu welcher manche Schüler erweiterte Syntaxkarten erstellt hatten, im Abschlusstest ihrer Bedeutung nach von allen korrekt eingesetzt.

Meine Sorge, dass das Basteln den Schülern des Grundkurses als nicht altersgerecht vorkommen würde, war schnell verflogen. Sie nahmen die ungewohnte Methode mit Neugier an. Lediglich Mads kommentierte freundlich, dass er sich wie in der „Sendung mit der Maus“ vorkäme. Aus der Befragung, die in Abbildung 19 dargestellt ist, geht hervor, dass einige Schüler bezüglich der Angemessenheit des Bastelns zwiegespalten sind. Keiner aber lehnt den Einsatz des Materials ab und vermutlich bewerten sie – wie ich selbst auch – besonders das freiwillige Basteln der erweiterten Syntaxkarten als „zu viel des Guten“. Mein Versuch, die enaktive Ebene nicht nur für den Einstieg, sondern auch weiterhin für komplexere Aspekte des Inhalts einzusetzen, wurde von manch Freiwilligen angenommen. Dennoch erwiesen sich die erweiterten Syntaxkarten als zu unhandlich, um sie für weitere Betrachtungen heranzuziehen. Auch hier gilt: Die Methode sollte nicht zum Selbstzweck werden.

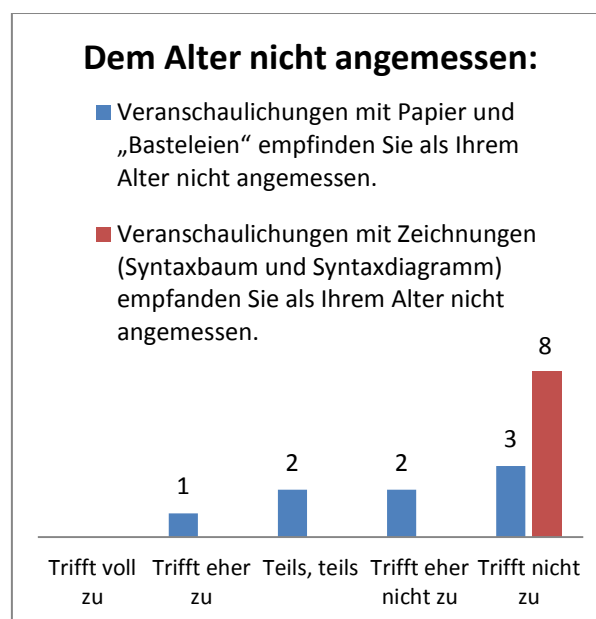


Abbildung 19: Dem Alter nicht angemessen.

Die ikonische Ebene halten hingegen alle der acht Schüler für eindeutig angemessen. Das lässt auch darauf schließen, dass die Darstellungswechsel zur oder von der ikonischen Ebene dem Verständnis gedient haben. Ansonsten überrascht das Ergebnis nicht, schließlich handelt es sich um reguläre Darstellungen, welche selbst in der Wissenschaft verwendet werden. Ihr Nutzen kann kaum bestritten werden.

Der Wechsel zwischen den Darstellungsebenen hat sich zudem als geeignetes Diagnosewerkzeug herausgestellt. Die Missachtung des Punktes als Zeichen konnte nur durch den Übertrag auf den Syntaxbaum festgestellt werden. Auch diagnostizierte Saide unaufgefordert, dass Luis mit dem Baukastensystem ein Problem hatte und erklärte es ihm. Dabei saßen sie nicht einmal direkt nebeneinander. Bei der Arbeit auf der symbolischen Ebene wäre das Verhalten nicht zu erwarten gewesen.

Der wichtigste, zu beobachtende Effekt des EIS-Prinzips liegt aber eindeutig im Verstehen des Lerngegenstands. Die formale Schreibweise zum Erzeugen eines Wortes konnte direkt

nach ihrer Einführung verwendet werden. Auch nach der Einführung der symbolisch notierten Syntaxregeln konnten die Schüler mit ihnen direkt ein Wort erzeugen. Sie hatten also bereits das Prinzip verstanden, welches die formale Schreibweise repräsentiert. Die Anwendung der neu eingeführten Symbole war daher kaum noch ein Problem. Ob die beiden Beispiele ebenso gut ausschließlich auf der symbolischen Ebene hätten erlernt werden können, kann ich nicht aussagen. Dafür habe ich die Schüler befragt, welche mit Ihrer Erfahrung im Schulalltag eine gute Einschätzung abgeben können sollten. Abbildung 20 zeigt, dass die Mehrheit der Schüler eher nicht der Meinung ist, dass sie das Themengebiet ohne den Einsatz der Syntaxkarten und des Papierstapels schneller hätten erlernen können.

Die Probleme, die manche Schüler mit der regulären Schreibweise hatten, weisen darauf hin, dass das EIS-Prinzip auch für die Sekundarstufe II geeignet ist. Ohne vorherige Betrachtungen auf der enaktiven und ikonischen Ebene hätte es vermutlich vermehrt weitere Probleme gegeben. Allerdings zeigt der Abschlusstest auch, dass das Vorgehen, die symbolische Ebene nicht länger zu behandeln als die ikonische und den Schülern häufiger die Wahl zu lassen, auf welcher Ebene sie operieren wollen, zu wenig Übung beziehungsweise Erfahrung auf der symbolischen Ebene mit sich bringt. Sie kann durch ein Verstehen auf anderen Ebenen und durch Darstellungswechsel allein nicht erlangt werden.

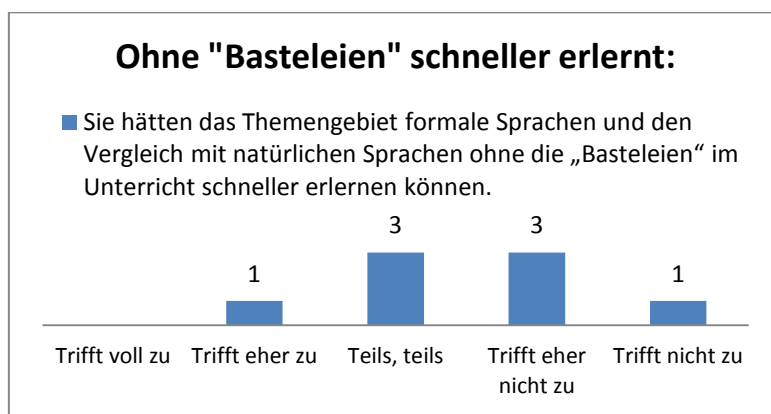


Abbildung 20: Ohne Basteleien schneller erlernt

Zusammen mit den obigen Überlegungen zu den erweiterten Syntaxkarten lässt sich festhalten, dass keinesfalls jede der drei Ebenen gleich viel Zeit innerhalb der Einheit zugeteilt bekommen muss. Ausführliche Betrachtungen auf der symbolischen Ebene sind in Hinblick auf die Übung und Erfahrung im symbolischen Operieren unbedingt notwendig.

Hypothese 1

Der Einsatz des EIS-Prinzips fördert gleichermaßen leistungsschwache sowie leistungsstarke Schüler.

Saide schien abgesehen vom Kontext durchaus auch von dem Baukastensystem motiviert zu sein, wenn sie Luis beim Legen der Syntaxkarten half. Sie zeigte beim Wechsel zwischen den Ebenen zwar Abweichungen zur regulären Schreibweise, diese konnten aber diagnostiziert

werden, sodass sie bei der Erzeugung des Kfz-Kennzeichens eine korrekte Lösung produzierte. Im Abschlusstest bearbeitet sie die Aufgaben zur symbolischen Ebene – anders als zu ähnlichen Themen in den Klausuren –, was bereits ein Erfolg ist. Probleme hat sie nur mit dem Syntaxbaum und der EBNF, welche sie mit wenig Übung sicherlich beheben könnte.

Luis zeigte seine gewöhnlichen guten Leistungen in der mündlichen Beteiligung und seinen Produkten. Seine ikonischen und symbolischen Schreibweisen entsprachen schnell dem Regulären und auch mit komplizierteren Operationen kam er gut zurecht. Beim Umgang mit den Syntaxkarten musste er sich von Saide helfen lassen. Bei der enaktiven Station zur EBNF beteiligte er sich nicht daran, eine erweiterte Syntaxkarte zu bilden. Dennoch gibt er in der Befragung an, dass ihm das Baukastensystem sehr geholfen habe („Trifft voll zu“, siehe Abbildung 21).

Mitra hingegen wertet es als „eher nicht“ hilfreich und empfindet es auch als ihrem Alter „eher“ nicht angemessen. Dieses Bild passt insofern mit meinen Beobachtungen aus dem Unterricht überein, als dass sie keine herausragende Leistung gezeigt hat. Beispielsweise zeigte sie kein besonderes Interesse an ihrer selbst gebastelten, erweiterten Syntaxkarte. Im Unterrichtsgeschehen hat sie sich in manchen Stunden weniger als üblich beteiligt und machte auf der symbolischen Ebene auch Fehler. Während sie aber weiterhin sehr an einer korrekten, formalen Schreibweise interessiert war, zeigte sie diese Aufmerksamkeit nicht gegenüber den Syntaxkarten. Zur ikonischen Ebene brachte sie sich allerdings wieder durch kritische Anmerkungen zur Lesbarkeit und insbesondere zum Vergleich der natürlichen und formalen Sprache ein.

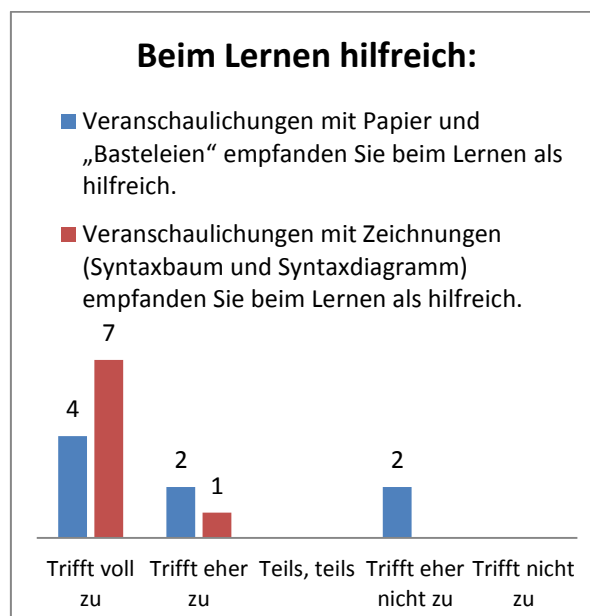


Abbildung 21: Beim Lernen hilfreich

Insgesamt sehe ich die These durch die Einheit nicht bestätigt. Zwar wurden die sonst auf der symbolischen Ebene leistungsschwächeren Schüler Saide und Manuel (Daniel war leider zu selten anwesend, um ihn in der Auswertung mit einzubeziehen) nach ihren Aussagen und

meinen Beobachtungen durch das EIS-Prinzip bezüglich des Kompetenzbereichs und insbesondere der abstrakten Lerngegenstände sinnvoll gefördert. Allerdings zeigt sich nicht gleichermaßen ein Anstieg der Leistung bei der sonst so leistungsstarken Mitra. Auch Mads, der besonders Stärken auf der symbolischen Ebene besitzt, bewertet ebenso wie Mitra die enaktive Ebene als „eher nicht hilfreich“. Von den leistungsstärksten Schülern des Kurses zeigte lediglich Lukas an allen drei Ebenen besonderes Interesse.

Bei dem Einsatz des EIS-Prinzips sollte also ein größeres Angebot zum individuellen Entwickeln auf allen Ebenen gegeben werden. Die leistungsstärkeren Schüler müssen jederzeit die Möglichkeit haben, ihr Können im symbolischen Operieren zu vertiefen.

Hypothese 2

Der Einsatz des EIS-Prinzips fördert gleichermaßen mathematisch weniger sowie mathematisch eher begabte Schüler.

Diese Hypothese wurde in der Vermutung formuliert, dass diejenigen Schüler, denen abstraktes Denken leicht fällt, dennoch die Anschauungen auf den konkreteren Ebenen benötigen und bereit sind, ihre übliche Leistung zu zeigen. In Anbetracht der beiden Teilnehmer am Mathematik-Leistungskurs kann ich dies bestätigen. Während Luis zwar keine erweiterte Syntaxkarte basteln mochte, hat Lukas seine mit Freude vorgestellt. Sie beteiligten sich wie üblich am Unterrichtsgeschehen und zeigten letztlich – wie erwartet – in den regulären Schreibweisen keine Schwächen. Beide bewerten die Syntaxkarten sowie die ikonischen Darstellungen als sehr hilfreich beim Lernen. Das liegt vielleicht auch daran, dass es schließlich in Mathematik den Kompetenzbereich *Darstellungen verwenden* gibt (Senatsverwaltung für Bildung, 2006 S. 12). Luis und Lukas könnten darauf geschult sein, die Darstellungsebene zu wechseln und daraus Erkenntnisse zu ziehen.

Mads nimmt, wie eben erwähnt, eine andere Stellung ein. In der Abbildung 16 war seine Stärke auf der symbolischen Ebene zu sehen. Er arbeitet auf dieser Ebene sehr ordentlich und erfolgreich. Mehr Zeit für Übungen auf der symbolischen Ebene hätte ihn vielleicht besser gefördert. Allerdings, wie eingangs gesagt, betrifft diese Einschätzung nur einen Teil des Kompetenzbereichs.

Da die mathematisch weniger begabten Schüler ohne Klagen, schnell und gut die symbolischen Darstellungen erlernt haben und auch die mathematisch eher begabten Schüler sehr gute Leistungen zeigen konnten, wird die Hypothese bestätigt. Beide Schülergruppen konnten etwa gleichermaßen von dem Einsatz des EIS-Prinzips profitieren.

5 Fazit

„Denn ohne Anschauung fehlt es aller unserer Erkenntnis an Objecten,
und sie bleibt alsdann völlig leer“
(Kant, 1979, S. 135; Org.: 1787)

Erprobt wurde der Beitrag der Einheit *formale Sprachen* an dem EIS-Prinzip nach Bruner zum Kompetenzbereich *Informatiksysteme verstehen*. Hier wurde besonders die Förderung der Fähigkeit, zwischen natürlichen und formalen Sprachen unterscheiden zu können, untersucht. Dazu wurde aufgezeigt, in welcher Weise die Repräsentationsebenen die Förderung begünstigen. Entwickelt wurde das Baukastensystem, um die Grammatik und das Erzeugen von Wörtern anschaulich zu gestalten. Der Wechsel zu den regulären ikonischen und symbolischen Darstellungen sollte die kognitive Entwicklung voranbringen.

Die Schüler erlernten die Unterschiedlichkeit der Begriffsverwendungen und Darstellungen im Deutschen und in formalen Sprachen, sie benannten anhand der Syntax der formalen Sprache Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten zur deutschen Grammatik und konnten die grammatikalischen Strukturen beider Sprachen gut vergleichen. Dazu verhalf erfolgreich die Ausrichtung der Unterrichtsreihe am EIS-Prinzip. Die Darstellungen erwiesen sich für den Grundkurs als angemessen und als hilfreich. Das enaktive Baukastensystem ist zur Erarbeitung verschiedenster Aspekte gut geeignet, braucht aber nicht ebenso lange wie die anderen Darstellungen zur Anschauung herangezogen werden. Das Operieren auf der symbolischen Ebene konnte jedenfalls durch das bereits vorhandene Verständnis vom Lerngegenstand schnell umgesetzt werden – zum Teil direkt nach der Einführung der Schreibweise. Der explizite Wechsel zwischen den Darstellungsebenen war den Schülern dabei eine Hilfe und erwies sich besonders geeignet als Diagnosemittel.

Differenziert betrachtet profitierten die leistungsschwächeren Schüler mehr als die leistungsstarken. Letztere empfanden das Basteln zum Teil als eher unnötig. Die ikonische Ebene war hingegen eindeutig die bevorzugte Ebene aller Schüler, auf welcher sie auch insgesamt die besten Leistungen zeigten. Die mathematisch eher begabten wurden durch die konkreten Ebenen etwa gleichermaßen gefördert wie die anderen Schüler.

Die eingangs zitierte Studie zeigte, dass zu dem Thema *formale Sprachen* wohl nur sehr wenige Lehrer das EIS-Prinzip verwenden. Ich konnte mit der vorliegenden Arbeit einen möglichen Einsatz des Prinzips zur Förderung des Kompetenzbereichs *Informatiksysteme verstehen* vorstellen und analysieren. Abschließend kann ich bestätigen, dass sich das Prinzip als geeignet erwiesen hat.

6 Quellenverzeichnis

Aho, Alfred V., et al. (2008) *Compiler – Prinzipien, Techniken und Werkzeuge*. 2. Auflage. München: Person Studium.

Altmann, Hans und Hahnemann, Suzan. (2007) *Syntax fürs Examen – Studien und Arbeitsbuch*. 3. Auflage. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.

Bell, Tim; Witten, Ian H. und Fellows, Mike. (2006) *Computer Science Unplugged - An enrichment and extension programme for primary-aged children*. Abgerufen am 16.04.2012 von *Computer Science Unplugged*: <http://csunplugged.org/>.

Beutelspacher, Albrecht. (2012) *Mathematik zum Anfassen*. Abgerufen am 16.04.2012 von BR-alpha: <http://www.br.de/fernsehen/br-alpha/sendungen/mathematik-zum-anfassen/mathematik-zum-anfassen102.html>.

Bruner, Jerome S. (1974) *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin: Berlin Verlag.

Bruner, Jerome S.; Olver, Rose R. und Greenfield, Patricia M. (1971) *Studien zur kognitiven Entwicklung*. Stuttgart: Ernst Klett Verlag.

Comenius, Johann A. (2007, Original: 1657) *Große Didaktik - Die vollständige Kunst, alle Menschen alles zu lehren*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Correll, Werner. (1989) *Lernschwächen und Leistungsstörungen erkennen und überwinden*. München / Landsberg am Lech: MVG-Verlag.

Engel, Ulrich. (2009) *Syntax der deutschen Gegenwartssprache*. 4. Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag.

Gallenbacher, Jens. (2008) *Abenteuer Informatik. IT zum Anfassen - von Routenplaner bis Online-Banking*. 2. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Glöckel, Hans. (2003) *Vom Unterricht - Lehrbuch der allgemeinen Didaktik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Gumm, Heinz P. und Sommer, Manfred. (2006) *Einführung in die Informatik*. 7. Auflage. München: Oldenbourg.

Guski, Rainer. (1989) *Wahrnehmung: eine Einführung in die Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme*. 2. Auflage. Bd. 7. Hrsg. Herbert Selg. Grundriß der Psychologie. Kohlhammer.

Hartmann, Werner; Näf, Michael und Reichert, Reimond. (2006) *Informatikunterricht planen und durchführen*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Hedstück, Ulrich. (2004) *Einführung in die theoretische Informatik: formale Sprachen und Automatentheorie*. 4. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.

Hromkovič, Juraj. (2011) *Theoretische Informatik: formale Sprachen, Berechenbarkeit, Komplexitätstheorie, Algorithmik, Kommunikation und Kryptographie*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Gesellschaft für Informatik. (2008) *Grundsätze und Standards für die Informatik in der Schule. Bildungsstandards Informatik für die Sekundarstufe I*. Beilage zu: Log In, 28. Jg., Heft Nr. 150/151. Berlin: Log In Verlag.

Goos, Gerhard und Zimmermann, Wolf. (2006) *Vorlesungen über Informatik. Band 1. Grundlagen und funktionales Programmieren*. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Kalbitz, Manuela; Schulte, Carsten und Voß, Paul H. (2011) *Informatik begreifen - Zur Nutzung von Veranschaulichungen im Informatikunterricht*. In: Hrsg. Marco Thomas. *Informatik in Bildung und Beruf, INFOS 2011. 14. GI-Fachtagung Informatik und Schule*. Bonn: Gesellschaft für Informatik. S. 137-146.

Kant, Immanuel. (1979, Original: 1787) *Kritik der reinen Vernunft*. Leipzig: Reclam.

Klafki, Wolfgang. (2007) *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik*. 6. Auflage. Weinberg, Basel: Beltz Verlag.

Lefrançois, Guy R. (1994) *Psychologie des Lernens*. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag.

Ottmann, Thomas und Widmayer, Peter. (2012) *Algorithmen und Datenstrukturen*. 5. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Piaget, Jean. (1971) *Psychologie der Intelligenz*. Olten: Walter Verlag.

Roth, Heinrich. (1969) *Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens*. 11. Auflage. Braunschweig: Schroedel.

Schubert, Sigit und Schwill, Andreas. (2011) *Didaktik der Informatik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Schwill, Andreas. (2009) *Unterrichtshilfen in Informatik*. In: Log In. 29. Jg. Heft Nr. 160/161. Berlin: Log In Verlag. S. 14 - 18.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin. (2006) *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe - Informatik*. Berlin: Oktoberdruck AG Berlin.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Sport Berlin. (2006) *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe - Mathematik*. Berlin: Oktoberdruck AG Berlin.

Spitzer, Manfred. (2009) *Lernen - Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Wagenknecht, Christian und Hielscher, Michael. (2009) *Formale Sprachen, abstrakte Automaten und Compiler: Lehr- und Arbeitsbuch für Grundstudium und Fortbildung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

Zech, Friedrich. (1978) *Grundkurs Mathematikdidaktik, Theoretische und praktische Anleitung für das Lehren und Lernen von Mathematik*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.

Zech, Friedrich. (2002) *Grundkurs Mathematikdidaktik, Theoretische und praktische Anleitung für das Lehren und Lernen von Mathematik*. 10. völlig neu bearbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.

7 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die schriftliche Prüfungsarbeit einschließlich eventuell beigefügter Zeichnungen, Darstellungen u. a. selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der Quelle deutlich als Entlehnung kenntlich gemacht.

Berlin, den 17.04.2012

(Paul Hendrik Voß)

8 Anhang

Saide

Trifft voll zu		X	X		X	X				
Trifft eher zu										X
Teils, teils							X	X		
Trifft eher nicht zu										
Trifft nicht zu	X			X						

Luis

Trifft voll zu		X			X					
Trifft eher zu							X			X
Teils, teils				X						
Trifft eher nicht zu										
Trifft nicht zu	X				X				X	

Mitra

Trifft voll zu					X	X				
Trifft eher zu	X								X	X
Teils, teils										
Trifft eher nicht zu		X								
Trifft nicht zu				X	X					

Nehmen Sie kurz Stellung zu folgenden Aussagen

- Veranschaulichungen mit Papier und „Basteleien“ empfinden Sie als Ihrem Alter nicht angemessen.
- Veranschaulichungen mit Papier und „Basteleien“ empfinden Sie in dieser Unterrichtsreihe beim Lernen als hilfreich.
- Das Arbeiten mit Papier als Veranschaulichung hilft Ihnen beim Erinnern der Unterrichtsinhalte.
- Veranschaulichungen mit Zeichnungen (Syntaxbaum und Syntaxdiagramm) empfinden Sie als Ihrem Alter nicht angemessen.
- Veranschaulichungen mit Zeichnungen (Syntaxbaum und Syntaxdiagramm) empfinden Sie in dieser Unterrichtsreihe beim Lernen als hilfreich.
- Die Darstellungen (Syntaxbaum und Syntaxdiagramm) helfen Ihnen beim Erinnern der Unterrichtsinhalte.
- Sie sind der Meinung, den formalen Umgang mit der EBNF (Erstellen/Lesen von Syntaxregeln) und das Erzeugen eines Wortes beherrschen Sie.
- Sie hätten das Themengebiet formale Sprachen und den Vergleich mit natürlichen Sprachen ohne die „Basteleien“ im Unterricht schneller erlernen können.
- Sie können flexibel zwischen Zeichnungen und formalen Schreibweisen bzgl. formaler Sprachen wechseln.

Abbildung 22: Bearbeitete Zusammenstellung der Ankreuzbogen von Mitra, Luis und Saide