

# Lernerunterstützung beim Schriftspracherwerb in einem computergestützten Klassenraum

Andreas Lingnau und H. Ulrich Hoppe

lingnau@collide.info

**Abstract:** Aufbauend auf den Entwicklungen im Rahmen des NIMIS-Projektes hat die Frage nach den Möglichkeiten einer differenzierten Unterstützung des Lehrers und der Kinder beim Schriftspracherwerb die Grundlage zu der hier vorgestellten Arbeit geliefert. Es ist eine Umgebung entstanden, die es sowohl dem Schüler als auch der Lehrerin ermöglicht, den Schriftspracherwerb entsprechend dem individuellen Lern- und Leistungsstand anzupassen. Dem Schüler können dabei verschiedene Angebote gemacht werden, von individuellen Lernwörtern über gezielte Hilfen durch Agenten bis hin zur Kooperation mit anderen Schülern. Die Lehrerin soll dabei gezielte Informationen über den Lern- und Leistungsstand des Schülers zur Verfügung gestellt bekommen. Durch diese Informationen, die weit über die Beobachtungen hinausgehen, die sie normalerweise während eines Schultages selber machen kann, bekommt die Lehrerin Entscheidungshilfen für einen differenzierten Unterricht, der jeden Schüler gemäß seiner Schwächen und Fähigkeiten fördert und fordert. Darüber hinaus soll auch das System selbst dazu beitragen, dem einzelnen Kind eine möglichst optimale Lernumgebung bereitzustellen.

## 1 Motivation

Freies selbstverantwortetes Schreiben enthält für die Kinder eine Vielzahl von Risiken und Unsicherheiten. Einzelne Kinder können durch das gängige Raster fallen. Eine individuelle Förderung schwacher Schüler findet oft ebensowenig statt wie das Fordern besonders begabter Schüler. Das Unterrichten großer Klassen bekommt so ein gewisses Mittelmaß und wird dem Durchschnitt angepasst. Hier stellt sich für den Lehrer die Frage nach geeigneten Hilfsmitteln. Diese sollten nicht nur das Kind unterstützen und dem Lehrer einen Teil der Arbeit abnehmen. Ein gutes Hilfsmittel für den Schreib-Lese-Unterricht sollte darüber hinaus sowohl dem Kind als auch dem Lehrer genügend Freiräume zum individuellen Gestalten von Aufgaben geben. Ideal für den Lehrer wäre es darüber hinaus noch, wenn er neue Erkenntnisse und individuelle Informationen zum Lernverhalten und Lernstand eines jeden Kindes bekommen könnte. Außerdem sollte die Gruppenarbeit im Klassenraum gefördert oder zumindest unterstützt werden.

Das im Rahmen des EU-Projektes NIMIS (NIM00) konzipierte und umgesetzte Konzept des computergestützten Unterrichts in einem Grundschulklassenraum und die dazu entwickelten Software-Komponenten sind auf dieses Ziel hin ausgerichtet. Es ging dabei nicht darum, die Kinder konventionelle Tätigkeiten am Computer wie den Umgang mit einer

Textverarbeitung oder die Handhabung von Maus und Tastatur lernen zu lassen. Vielmehr zielt NIMIS darauf ab, den Computer in den Hintergrund treten zu lassen und so eine spezielle Version des *ubiquitous computing* (Wei93) in einem „Computer-integrierten“ Klassenraum (HBZ93) zu implementieren und in das vorhandene, curriculare Unterrichtsgeschehen einzubinden. Hardware und Software sind im NIMIS-Klassenraum aufeinander abgestimmt mit dem Ziel, sich in vorhandene Klassenraumaktivitäten einzufügen, ohne erfolgreiche pädagogische Konzepte zu stören oder neu zu definieren (HLM<sup>+</sup>00). Die vorhandene Eigenständigkeit der Kinder, die es gewohnt sind, in offenen Unterrichtsformen allein oder in Gruppen Ergebnisse zu erarbeiten, soll nicht gestört werden.

Die hier vorgestellte Arbeit baut im wesentlichen auf den Anforderungen auf, die sich während der Projektlaufzeit ergeben haben. Dabei wird der Prozess des Lesen- und Schreiben Lernens bei Grundschulern unter Zuhilfenahme einer computergestützten Lernumgebung mit dem Einsatz von Analyse- und Modellierungsmethoden aus der Informatik verknüpft.

## 2 Der Schriftspracherwerb bei Grundschulern

### 2.1 Lesen durch Schreiben

Die Methode *Lesen durch Schreiben* von Jürgen Reichen ist ein phonetischer Ansatz zum Schriftspracherwerb für lauttreue Sprachen wie z.B. Deutsch oder Spanisch (Rei82). Die Kinder erhalten von der ersten Schulwoche an eine sogenannte Anlauttabelle (Abbildung 1) auf der alle hörbaren Laute durch den entsprechenden Buchstaben und eine Abbildung dargestellt sind. Mit Hilfe dieser Tabelle können die Kinder jedes Wort lauttreu aufschreiben, indem sie das gesprochene Wort in seine einzelnen Laute zerlegen, diese auf der Anlauttabelle suchen und den Buchstaben auf ein Blatt Papier übertragen. Die Rechtschreibung spielt dabei zunächst eine völlig untergeordnete Rolle. Entscheidend ist lediglich, ob die Kinder in der Lage sind, gehörte bzw. gesprochene Worte in Laute zu zerlegen und die einzelnen Laute aufzuschreiben und so zu einem Wort zusammensetzen. Ein mögliches Ergebnis beim Schreiben des Wortes *Vogel* könnte also *Fogl* sein. Auch Worte wie *Hant* statt *Hand* oder *Foia* statt *Feuer* sind korrekt unter dem Gesichtspunkt der Lauttreue. Je nach Entwicklungsstand des Kindes verändert sich die Erwartung, die man an das Kind im Bezug auf eine differenzierte Lauterkennung hat. Das Vorlesen der Schreibprodukte übernimmt zu Beginn zunächst die Lehrerin. Zu einem Zeitpunkt, der je nach Kind in den ersten Schulwochen oder aber auch zu Beginn des zweiten Schuljahres liegen kann, fangen die Kinder dann von alleine zu lesen an (RR82). In nicht lauttreuen Sprachen wie z.B. Englisch oder Französisch kann diese Methode nicht eingesetzt werden.

Das Phasenmodell von Gudrun Spitta (Spi83; Spi98) versucht, die Entwicklung der Schreibfähigkeiten bei Kindern abzubilden (Tabelle 1). Im Zusammenhang mit *Lesen durch Schreiben* ist dieses Modell besonders geeignet, da es insbesondere dem phonetischen Schreibansatz Rechnung trägt. Für die Grundschule relevant sind dabei die Phasen zwei bis fünf, wobei man davon ausgehen kann, dass die Kinder beim Eintritt in das erste Schuljahr die Phase eins erreicht haben.

Bezeichnung	Erläuterung
<b>1. Phase</b> Vorphonetisches Stadium (ca. 3.-5. Lebensjahr)	Kritzelnbilder, Kritzelnbriefe, Entwicklung von ersten (Vor)formen von Buchstaben, Kombinationen von „Buchstaben“ und Bildern
<b>2. Phase</b> Halbphonetisches Stadium (ca. 4.-6. Lebensjahr, 1. Klasse)	Skelettschreibung (Wörter ohne Vokale), Links-Rechts-Orientierung beim Schreiben PP $\cong$ Puppe, WL $\cong$ weil, SPL $\cong$ spielen
<b>3. Phase</b> Phonetisches Stadium (ca. 5.-7. Lebensjahr, 1./2. Klasse)	Phonem-Graphem-Zuordnung, Lautfolgen werden nach phonetischen Regeln angebildet, Einhaltung von Wortgrenzen VATA $\cong$ Vater, SCHPILN $\cong$ spielen, DSURÜK $\cong$ zurück LIBA $\cong$ lieber
<b>4. Phase</b> Erweitertes Phonetisches Stadium / phonetische Umschrift (ca. 6./7. Lebensjahr, 1./2. Klasse)	rudimentäre orthographische Regeln werden eingehalten, Basisvokabular existiert, Rechtschreibregeln werden langsam ausgebaut: LIBER $\cong$ lieber, BANG $\cong$ Bank, <i>aber auch</i> LILER $\cong$ lila als Übergeneralisierung von Schreibstrategien (Spi89)
<b>5. Phase</b> Orthographische Phase (ca. 8./9. Lebensjahr, 2./3. Klasse)	Übergang zur fertig entwickelten Rechtschreibung

Tabelle 1: Schreibentwicklungsphasen beim Kind nach Gudrun Spitta

### 3 Der NIMIS-Klassenraum als Rahmensystem

#### 3.1 Today's Talking Typewriter

Die Umsetzung des *Lesen durch Schreiben* für den Computer im Rahmen des NIMIS-Projektes erfolgte vor allem unter der Zielsetzung ein Werkzeug zu entwickeln, d.h. es sollte keine komplexe Software entstehen, sondern den Kindern sollte eine leicht zu bedienende Oberfläche angeboten werden, die sich möglichst ähnlich zum Schreiben mit Stift und Papier verhält. Die Möglichkeit, direkt mit einem Stift auf dem WACOM Bildschirm zu agieren, hat das Design von *Today's Talking Typewriter* (T<sup>3</sup>) (Abbildung 1), der Umsetzung der *Lesen durch Schreiben* Methode, geprägt (TLH00).

Die Kinder sehen im rechten Bereich die gewohnte Anlauttabelle und können daraus mittels *drag&drop* Buchstaben auswählen, mit dem Stift in den Arbeitsbereich auf der linken Seite ziehen und zu Wörtern gruppieren. Eine Besonderheit der T<sup>3</sup>-Software ist, dass sich die Kinder jederzeit das Wort, an dem sie gerade arbeiten, oder auch den gesamten geschriebenen Text vom System vorlesen lassen können. Immer dann, wenn das Kind mit dem Stift auf einen *Sprecher*-Knopf tippt, wird durch ein integriertes *Text-To-Speech-System* (TTS) entweder die aktuell markierte Buchstabengruppe oder der gesamte Inhalt des Arbeitsbereiches ausgegeben.

T<sup>3</sup> besitzt neben der Anlauttabelle auch so genannte *Themenseiten* (siehe Abbildung 1). Die Kinder können von der Anlauttabelle auf diese Themenseiten umschalten und sich ein Wort aussuchen, das sie gerne schreiben möchten. Durch Anklicken eines der Bilder auf der Themenseite kann das Kind sich den Begriff, den dieses Bild repräsentiert, vorsprechen lassen. Gleichzeitig wird das Bild in einem Knopf unterhalb des Arbeitsbereiches kopiert und angezeigt. Schaltet das Kind nun zurück zur Anlauttabelle, kann es sich jederzeit durch Antippen des Knopfes mit dem Bild das soeben gewählte Zielwort vorsprechen

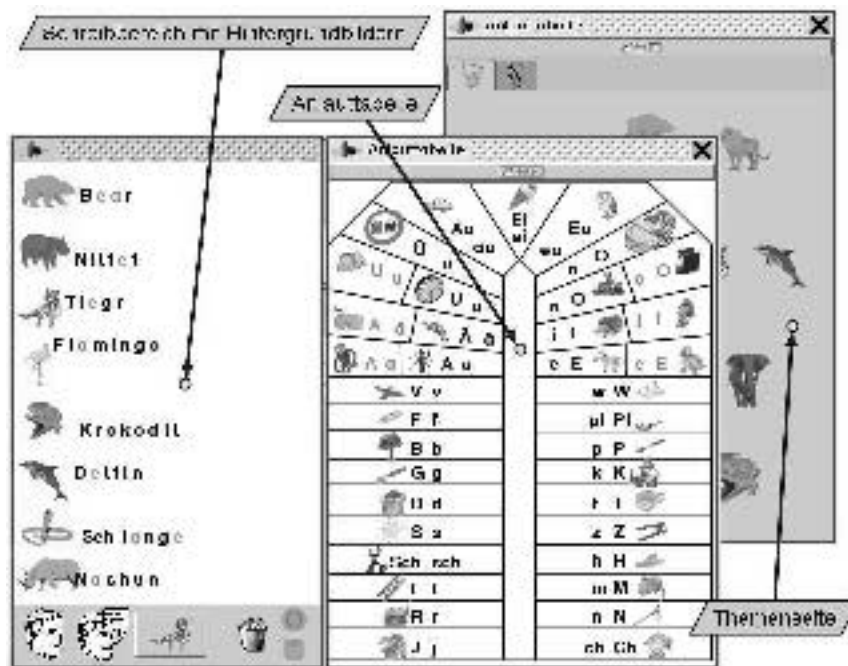


Abbildung 1: Today's Talking Typewriter

lassen. So kann das Kind nun zwischen dem korrekt ausgesprochenen und dem selbst geschriebenen Wort einen phonetischen Vergleich anstellen.

### 3.2 Erfassung von Daten

Alle Aktivitäten, die ein Kind bei der Arbeit innerhalb der NIMIS-Software ausführt, werden mit einem entsprechenden Schlüssel versehen und zusammen mit einem Zeit und Datumsstempel, den Identifikationsnummern der am NIMIS-Desktop angemeldeten Benutzer und einem variablen Datenfeld mit aktivitätsbezogenen Informationen in eine Datenbank geschrieben. So kann zu einem späteren Zeitpunkt z.B. eine detaillierte Auswertung aller Schreibprodukte aus der T<sup>3</sup>-Software für jedes Kind durchgeführt werden. Eine Sicherheit darüber, welches der beiden angemeldeten Kinder eine bestimmte Aktion eingeleitet hat, besteht jedoch nicht. Die Klassenraumsoftware wurde bewusst so gestaltet, dass sich jeweils zwei Kinder an einem Arbeitsplatz im System anmelden können. Daraus resultiert, dass innerhalb der NIMIS-Umgebung eine eindeutige Zuordnung einer Aktion zu einem Benutzer nur dann stattfinden kann, wenn der Benutzer alleine an einem Desktop angemeldet ist, was die Menge der Daten für die Modellierung und Unterstützung von Lernprozessen etwas einschränkt.

## 4 Ansätze zur Lernerunterstützung

### 4.1 Laufzeitanalyse von Daten

Naheliegender Wunsch ist zunächst der Wunsch, die Kinder zur Laufzeit bei Bedarf beim phonetischen Schreiben zu unterstützen und ihnen gegebenenfalls gezielte Hilfe anzubieten. Auf diese Art und Weise kann z.B. einem Kind, das Probleme damit hat, ein bestimmtes Wort zu schreiben, Hilfe von anderen Kindern angeboten werden, die sich zur Zeit ebenfalls im Raum befinden. Dieses so genannte *Peer-Helper-Prinzip* (GMC<sup>+</sup>98) kann zu einer Kooperation innerhalb des Systems, aber auch zu einer Zusammenarbeit außerhalb der Software durch direktes Nachfragen bei einem vorgeschlagenen Peer-Helper führen.

Um dem Lerner diese Unterstützung zu bieten, findet nach jeder Veränderung im T<sup>3</sup> eine permanente Analyse des aktuellen Wortes bzw. der aktuellen Buchstabenkombination statt. Eine sinnvolle Unterstützung zur Laufzeit kann nur gewährleistet werden, wenn das Zielwort, also dasjenige Wort, welches der Lerner im Augenblick zu schreiben versucht, im System bekannt ist, wenn z.B. ein Zielwort aus einer Themenseite ausgewählt wurde. Unter dieser Voraussetzung kann ein permanenter Abgleich zwischen dem Zielwort und dem aktuellen Schreibprodukt im T<sup>3</sup> stattfinden.

### 4.2 Asynchrone Analyse von Daten

Eine asynchrone Analyse der Daten ermöglicht eine detailliertere Verarbeitung und Nachbearbeitung der während der Schulstunde erfassten Daten. Im Rahmen der Datenanalyse findet ein Abgleich der während der Stunde vom System erfassten Schreibergebnisse mit den bereits bekannten Lernwörtern statt. Diese Analyse ist wesentlich ausführlicher als die Laufzeitanalyse. Die nachträgliche Datenanalyse ist nicht mehr zeitkritisch. Sie kann z.B. während der Nacht durchgeführt werden und ihre Ergebnisse werden am nächsten Morgen dem Lerner und dem Lehrer zur Verfügung gestellt.

Der Abgleich der Daten mit den bereits vorhandenen Lernwörtern kann in zwei Stufen unterteilt werden. In der ersten Stufe werden die während eines Tages bzw. einer Schulstunde vom Kind aus einer Themenseite der T<sup>3</sup>-Software ausgewählten oder durch den Lehrer manuell eingegebenen Zielwörter zum Vergleich herangezogen. Diese werden sukzessive in eine Liste eingetragen, die dann als Referenz für die Analyse der einzelnen Schreibprodukte fungiert. Ist eine Analyse so erfolgreich, dass eine genügend hohe Trefferwahrscheinlichkeit vorliegt, so nimmt das System an, das Kind hat ein Lernwort geschrieben und speichert das Analyseergebnis ab.

In der zweiten Stufe werden die Schreibprodukte mit der gesamten Historie der bisher benutzten Lernwörter abgeglichen. Dazu werden im Lernermodell des Kindes diejenigen Lernwörter gespeichert, die das Kind bisher zu schreiben versucht hat. Im Gegensatz zur ersten Stufe, bei der die Wortliste zum Beginn eines jeden Tages, der analysiert wird, leer ist, wächst diese Liste kontinuierlich. Immer wenn das System ein Wort findet, das aus einer Themenseite ausgewählt oder vom Lehrer über den Lehrer-Desktop eingegeben

wurde, wird es hinzugefügt und ab diesem Zeitpunkt zur Analyse der Schreibprodukte herangezogen. Dadurch bedingt dauert die asynchrone Analyse der Daten jeden Tag etwas länger.

### **4.3 Rückmeldungen an Schüler und Lehrer**

Ziel, sowohl einer synchronen als auch einer asynchronen Analyse der bei der Arbeit mit der T<sup>3</sup>-Software gesammelten Daten sollte es also sein, Defizite zu erkennen und dem Lerner sowie dem Lehrer gleichermaßen Rückmeldungen zu geben. So kann dem Schüler, abhängig von seinem Lernstand, aus der Laufzeitanalyse heraus eine gezielte Hilfe beim Erkennen einzelner Laute gegeben werden, indem z.B. Lücken im aktuellen Schreibprodukt dort eingefügt werden, wo noch ein Laut fehlt. Durch die Erkenntnisse aus der detaillierten asynchronen Analyse können der Lehrerin wichtige Informationen über den Lernstand des Schülers und seiner Defizite gegeben werden. Informationen über Quantität und Qualität von Schreibprodukten ermöglichen z.B. den Aufbau individualisierter Themenseiten im T<sup>3</sup>, entweder automatisiert durch das System oder manuell durch die Lehrerin.

## **5 Aufbau des Lernermodells**

### **5.1 Phonetischer Analysealgorithmus**

Ein Algorithmus zur Analyse der Schreibergebnisse aus dem T<sup>3</sup> muss spezielle Anforderungen erfüllen, die sich aus der phonetischen Schreibung der Wörter durch die Kinder ergeben. Es reicht dabei nicht aus, bloße Wortähnlichkeiten zu erkennen. Der Algorithmus muss vielmehr in der Lage sein, den spezifischen Schreibungen der Kinder in den einzelnen Schreiblernphasen, wie sie in Tabelle 1 vorgestellt wurden, gerecht zu werden. Es gibt verschiedene Verfahren zur phonetischen Analyse, die u.a. für Suchanfragen in Datenbanken genutzt werden. Von Bedeutung sind dabei vor allem der Soundex- und Phonix-Algorithmus, der String-Ähnlichkeits-Algorithmus und das (Damerau-)Levenshtein-Maß. Untersuchungen dieser Verfahren im Hinblick auf ihre Tauglichkeit zur Analyse phonetischer Schreibprodukte von Erstklässlern haben jedoch gezeigt, dass keines dieser Verfahren phonetisch korrekte, aber orthographisch falsche Wörter unterscheiden kann. Daher wurde die Entwicklung eines eigenen Analysealgorithmus nötig, der genau diese Unterscheidung vornimmt und sowohl die phonetische Korrektheit als auch später die orthographische Korrektheit eines Schreibproduktes bewertet.

Der in Java implementierte Algorithmus basiert auf Äquivalenzklassen, welche die möglichen phonetischen Ersetzungen während der unterschiedlichen Schreibentwicklungsphasen nach Spitta wiedergeben und so die detaillierte Analyse der Schreibprodukte und ihre qualitative Bewertung ermöglichen. Die qualitative Bewertung der Schreibprodukte kann dabei mit Hilfe der phonetischen Parameter vorgenommen werden, die der Analysealgorithmus liefert (Tabelle 2). Aus den phonetischen Parametern kann dann eine qualitative

Variable		Erläuterung
$v_1$	correctVowels	Anzahl korrekter Vokale im Eingabewort
$c_1$	correctConsonants	Anzahl korrekter Konsonanten im Eingabewort
$v_2$	missingVowels	Anzahl fehlender Vokale im Eingabewort
$c_2$	missingConsonants	Anzahl fehlender Konsonanten im Eingabewort
$v_3$	phoneticPermutedVowels	Anzahl phonetisch korrekter aber falsch geschriebener Vokale (z.B. <i>ih statt ie oder ee statt eh</i> ) bzw. Vokale aus den Ersetzungsregeln
$c_3$	phoneticPermutedConsonants	Anzahl phonetisch korrekter aber falsch geschriebener Konsonanten bzw. Konsonanten aus den Ersetzungsregeln
$v_4$	wrongVowels	Anzahl falscher Vokale im Eingabewort, die jedoch an einer Stelle stehen, an der ein Vokal im Eingabewort steht
$c_4$	wrongConsonants	Anzahl falscher Konsonanten im Eingabewort, die jedoch an einer Stelle stehen, an der ein Vokal im Eingabewort steht
$v_5$	longVowelsAsShort	Anzahl langer Vokale im Zielwort, die im Eingabewort als kurze Vokale geschrieben wurden
$v_6$	shortVowelsAsLong	Anzahl kurzer Vokale im Zielwort, die im Eingabewort als lange Vokale geschrieben wurden
$s$	skippedInputChars	Anzahl der ausgelassenen Buchstaben im Eingabewort, die nicht analysiert werden konnten, nach denen aber die Analyse fortgeführt werden konnte
$l_t$	targetWordLength	Länge des Zielwortes
$l_i$	inputWordLength	Länge des Eingabewortes

Tabelle 2: Erfassung der phonetischen Parameter

Bewertung des Schreibproduktes berechnet werden wie z.B. der Anteil der phonetisch korrekten Konsonanten oder Vokale oder die absolute Korrektheit des Schreibprodukts (Formel 1 bis 4).

$$phoneticVowelCorrectness = 1 - \frac{v_2 + v_4}{\sum_{i=1}^6 v_i} \quad (1)$$

$$phoneticConsonantCorrectness = 1 - \frac{c_2 + c_4}{\sum_{i=1}^4 c_i} \quad (2)$$

$$phoneticCorrectness = 1 - \frac{c_2 + c_4 + v_2 + v_4 + s}{\sum_{i=1}^4 c_i + \sum_{j=1}^6 v_j + s} \quad (3)$$

$$absoluteCorrectness = 1 - \frac{\sum_{i=2}^4 c_i + \sum_{j=2}^6 v_j + s}{\sum_{k=1}^4 c_k + \sum_{l=1}^6 v_l + s} \quad (4)$$

## 5.2 Kategorisierung der Analysedaten

Aus den detaillierten Informationen, die in der Datenbank gespeichert werden, ergeben sich drei verschiedene Kategorien von Schreibprodukten. In der ersten Kategorie ( $K_1$ ) befinden sich die Schreibprodukte, die nach der Auswahl eines Zielwortes entstanden sind.

Dabei kann das Zielwort entweder durch Auswahl aus den Themenseiten oder durch direkte Eingabe durch die Lehrerin am Lehrerdsktop in das System gelangt sein. In der zweiten Kategorie ( $K_2$ ) befinden sich diejenigen Wörter, die vom Kind zwar frei geschrieben wurden, d.h. ohne vorherige Auswahl eines Zielwortes, die jedoch aus dem aktuellen Lernwortschatz stammen. In die dritte Kategorie ( $K_3$ ) fallen diejenigen Wörter, die von den Kindern völlig frei geschrieben wurden und nicht zu den aktuellen oder bereits früher behandelten Lernwörtern gehören.

Eingehende Analysen der Schreibprodukte haben gezeigt, dass Ergebnisse, die aus der Analyse von  $K_1$ -Wörtern stammen, einen hohen Aussagegehalt besitzen, da das Kind einem direkten akustischen Vergleich seines Schreibproduktes mit dem Zielwort vornehmen konnte. Sie können somit sehr gut zur Beurteilung des Lerners herangezogen werden. Die Analyseergebnisse, die man aus den  $K_2$ -Wörtern erhält, können nur eingeschränkt für eine Aussage über den Lernstand des Kindes genutzt werden. Für die Einbeziehung von  $K_2$ -Wörtern spricht vor allem die Tatsache, dass  $K_1$ -Wörter in der Praxis bei manchen Kindern oder in manchen Unterrichtseinheiten selten bis nie vorkommen. Da sehr häufig zwei Kinder gemeinsam mit der T<sup>3</sup>-Software arbeiten, gibt es nur sehr wenige  $K_1$ -Wörter, die von einem Kind alleine bearbeitet wurden. Aber auch unter Berücksichtigung der gemeinsam bearbeiteten  $K_1$ -Wörter erhält man in Relation zur Menge der in der Datenbank erfassten Schreibprodukte nur einen sehr geringen Anteil. Der Anteil der  $K_1$  Wörter an der Menge aller Schreibprodukte liegt dabei meistens deutlich unter 20 %. Der Anteil von  $K_2$ -Wörtern unterliegt sehr großen Schwankungen. Werte zwischen 0 % 50 % sind dabei möglich. Die Entscheidung, alleine oder mit anderen Kindern mit der T<sup>3</sup>-Software zu arbeiten, wird nicht von den Kindern alleine getroffen. Faktoren wie z.B. die Auslastung des NIMIS-Klassenraumes oder auch Entscheidungen der Lehrerin, wer alleine schreiben darf oder soll und wer mit einem Partner arbeiten soll, müssen hier berücksichtigt werden. Daher lassen sich aus den vorhandenen Daten leider keine repräsentativen Stichproben auswählen. Somit ist es auch nicht möglich, einen durchschnittlichen Anteil der verschiedenen Kategorien zu bestimmen.

Die  $K_3$ -Wörter kommen nicht für eine weitere Analyse in Frage. Die Risiken einer fehlerhaften Analyse und der damit verbundenen Abschwächung der Brauchbarkeit des Gesamtergebnisses wären dabei aufgrund der großen Zahl möglicher Zielwörter noch zu hoch. Absolut gesicherte Analyseergebnisse erhält man zwar nur mit  $K_1$ -Wörtern, aufgrund der geringen Anzahl von Analysen stellt sich jedoch wegen der geringen Datenmenge die Frage nach der Aussagekraft des Gesamtmodells. Daher ist es sinnvoll, sowohl  $K_1$  und  $K_2$  in das Lernermodell einzubeziehen. Vergleiche mit den Einschätzungen von Lehrerinnen haben dieses bestätigt.

## **5.3 Lernermodell**

### **5.3.1 Modellbeschreibung**

Die Konstruktion von Bayes-Netzen erfordert zunächst die Analyse der Faktoren, die ein probabilistisches Schließen ermöglichen sollen. Da die bedingten Wahrscheinlichkeiten



normalerweise nicht bekannt sind, muss man zunächst geeignete Anfangswerte finden. Grundsätzlich unterscheidet man dabei zwei Wege. Den heuristischen Ansatz, bei dem zunächst aus eigenen Beobachtungen Verteilungen angenommen und später sukzessive verfeinert werden, und den empirischen Ansatz, der besonders bei Vorhandensein großer Datenmengen eine Möglichkeit bietet, die Verteilungen aus der Analyse dieser Daten zu explorieren (Nea04). Ein naheliegender Weg zur Verbesserung von Annahmen über die Verteilung ist die Kombination von wissensbasierten Ausgangsverteilungen mit der Auswertung von statistisch erhobenen Daten (HGC95). Überraschenderweise ist jedoch das Ausmaß der Verbesserung des probabilistischen Schließens bei diesem Ansatz eher gering. Heckermann, Meek und Cooper (HMC99) zeigen, dass bei wenigen Zufallsvariablen und großer Datenmenge die strukturelle Verschiedenheit häufig sehr gering ist.

Zunächst wurde für die Analyse der Schreibentwicklungsphase ein Bayes-Netz entwickelt, welches alle relevanten Parameter aus der phonetischen Korrektheitsanalyse in einer Stufe verarbeiten sollte. Verschiedene Versuche und Anpassungen haben jedoch gezeigt, dass diese Darstellung in der Praxis keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefert. Die Hauptursache dafür ist, dass die durchschnittliche Anzahl der Schreibprodukte, die ein Kind erzeugt, relativ niedrig ist und die Datenmenge zusätzlich durch das Weglassen der  $K_3$ -Wörter dezimiert wird. Ein niedriges Datenaufkommen führt dazu, dass das Bayes-Netz, je komplexer seine Struktur ist, immer mehr an Stabilität verliert. Lediglich bei Versuchen mit idealisierten Daten in größerer Menge konnten bei dem ersten Entwurf befriedigende Ergebnisse erzielt werden. Ein Schärfen der Entscheidungsstruktur innerhalb des Bayes-Netzes und ein Reduzieren der bedingten Wahrscheinlichkeiten zugunsten einer besseren Kontrolle der Einflussfaktoren als Lösung dieses Problems liegt somit nahe.

McCalla und Greer (MG94) sprechen in diesem Zusammenhang von der Granularität eines Modells und erläutern die Vorteile einer Unterteilung von komplexen Zusammenhängen. Dabei werden nicht mehr nur unmittelbar beobachtbare, sondern auch „verborgene“ Zustände in das Modell aufgenommen. Dadurch, dass jetzt nur noch vereinfachte Bedingungen festgelegt werden müssen und komplexe Zusammenhänge durch das Einsetzen von „Zwischenbedingungen“ aufgebrochen werden können, wird die Wirkungsweise einzelner Veränderungen besser durchschaubar. Das Modell bekommt so zwar eine tiefere Hierarchie, das Verhalten bzw. die Aktionen des Lernalters können aber einfacher nachgebildet werden und eine Präzisierung des Modells wird erleichtert, da nicht stets der gesamte Kontext verändert werden muss, sondern partielle Änderungen genügen, um einzelne Einflussfaktoren anzugleichen. Die mit der Granularisierung des Bayes-Netzes verbundenen Unterstrukturen tragen außerdem zu einer verbesserten Reaktion des Modells auf einzelne Einflussfaktoren bei.

Idealerweise würde man sich ein Bayes-Netz wünschen, in dem sich alle in einer Analyse erfassten Parameter explizit wiederfinden und die bedingten Wahrscheinlichkeiten in Teilbäumen des Netzes so weniger komplex zu formulieren sind. Ein solches Netz bedarf aber für die einzelnen Parameter einer entsprechend großen Datenmenge, damit die Menge der Evidenzen, die im Netz propagiert werden, ausreichend hoch wird. Für den vorliegenden Fall ist es daher sinnvoll, die Parameter aus Tabelle 2 in der in Abbildung 2 vorliegenden Form zu diskretisieren.

Um die Verteilungen für die bedingten Wahrscheinlichkeiten weniger komplex zu hal-

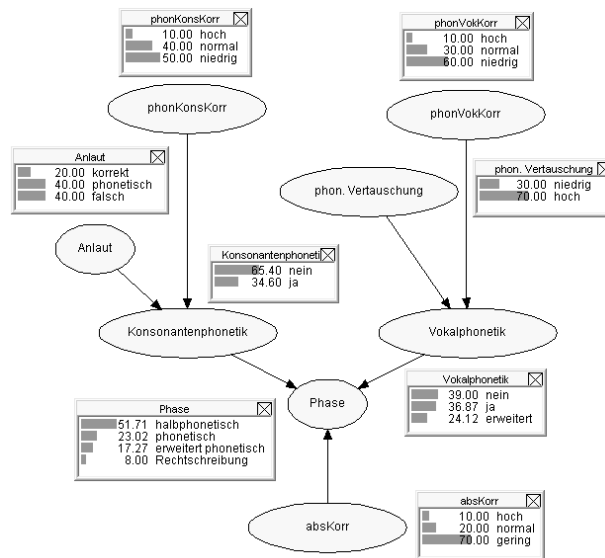


Abbildung 2: Bayes-Netz mit Anfangsbelegung zum Phasenmodell nach Spitta

ten, wurde die Auswertung der Konsonanten- bzw. Vokalkorrektheit und ihre Bedeutung für das Erreichen der halbphonetischen bzw. phonetischen Phase aufgeteilt. Abbildung 2 zeigt das dabei entstandene Bayes-Netz. Da sich bei der Diskretisierung der Werte aus den Qualitätsparametern eine genaue Analyse der erweiterten Phonetik als sehr schwierig erwiesen hat, wurde der Knoten *phonetische Vertauschung* eingeführt. Dabei handelt es sich um die Auswertung der Werte  $c_3$  (*phoneticPermutedConsonants*) und  $v_3$  (*phoneticPermutedVowel*) aus Tabelle 2. Mit dem Quotienten aus der Summe dieser beiden Werte und der Summe der analysierten Vokale und Konsonanten ergibt sich der Anteil der phonetischen Ersetzungen im Schreibprodukt (*phoneticPermutationRate*). Je niedriger dieser Wert ist, desto genauer ist die Schreibung.

$$phoneticPermutationRate = \frac{c_3 + v_3}{\sum_{i=1}^4 c_i + \sum_{j=1}^6 v_j} \quad (5)$$

Eine wichtige Bedingung innerhalb eines Bayes-Netzes ist die stochastische Unabhängigkeit der einzelnen Zufallsvariablen. Daher ist z.B. der Parameter *phoneticCorrectness* nicht im Netz enthalten, da bei seiner Berechnung die gleichen Werte wie zur Berechnung von *phoneticConsonantCorrectness* und *phoneticVowelCorrectness* genutzt werden. Die phonetische Korrektheit eines Wortes im Gesamten steigt, je größer die phonetische Korrektheit von Vokalen und Konsonanten ist. Ähnlich verhält es sich mit der absoluten Korrektheit. Hier wurde allerdings nur der Parameter für die gesamte Korrektheit (*absoluteCorrectness*) in das Modell einbezogen. Die absolute Korrektheit wird aus der Schreibung des gesamten Wortes berechnet. Eine Aufteilung in Vokale und Konsonanten enthält somit, im Gegensatz zur Untersuchung der phonetischen Schreibung, keinen Gewinn an Informationen.

## 6 Ergebnisse

Mit Hilfe des selbst entwickelten Analysealgorithmus, der auf die Besonderheiten der phonetischen Schreibprodukte, wie sie von Kindern beim *Lesen durch Schreiben* erzeugt werden, eingeht, konnten detaillierte Analysewerte gewonnen werden. Dadurch konnte eine Auswertung und Kategorisierung phonetischer Schreibprodukte von Kindern durchgeführt werden. Für diese konnte anschließend eine differenzierte Zuordnung auf die einzelnen Phasen, die ein Kind beim Schriftspracherwerb mit *Lesen durch Schreiben* durchläuft (Spi98), vorgenommen werden. Aufgrund der Unsicherheiten bei der exakten Zuordnung der einzelnen Auswertungsergebnisse musste nach einer geeigneten Technik zur Verarbeitung unscharfer Daten gesucht werden. Mit *Bayes-Netzen* wurde ein geeignetes Modellierungsverfahren implementiert um den Lernstand des Kinder im Bezug auf das Phasenmodell nach Spitta wiederzugeben. In Tabelle 3 werden Ergebnisse aus der automatischen Analyse mit der Einschätzung von Lehrerinnen verglichen. Dabei zeigt sich, dass die Ergebnisse für Kinder, die nur sehr wenige analysierbare Schreibprodukte liefern, leicht abweichen. Mögliche Lösungsansätze wären hier entweder eine Vereinfachung des Modells oder eine Anpassung des sogenannten *Erfahrungswertes*, der das Gewicht angibt, mit dem eine Evidenz in das Bayes-Netz einfließt.

Kind	Stand	HP	P	EP	RS	Lehrerin
schwach	Dezember	59,62 %	28,38 %	9,32 %	2,69 %	HP
	März	37,22 %	39,23 %	18,00 %	5,44 %	HP / P
	Juni	30,71 %	42,66 %	20,93 %	6,00 %	HP / überw. P
mittel	Dezember	27,46 %	45,73 %	21,89 %	4,92 %	HP / überw. P
	März	22,51 %	47,78 %	24,19 %	5,52 %	P
	Juni	21,03 %	47,98 %	24,99 %	6,00 %	P (stagniert)
stark	Dezember	41,62 %	38,32 %	15,95 %	4,12 %	fast P
	März	22,15 %	46,02 %	24,84 %	6,99 %	P
	Juni	11,14 %	47,74 %	33,34 %	7,78 %	P / Ansatz EP

Tabelle 3: Vergleich der Ergebnisse aus dem Bayes-Modell mit der Bewertung der Lehrerinnen

## Literatur

- [GMC<sup>+</sup>98] Jim Greer, Gordon McCalla, Jason Collins, Vive Kumar, Paul Meagher und Julita Vassileva. Supporting Peer Help and Collaboration in Distributed Workplace Environments. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 9:159–177, 1998.
- [HBZ93] H. Ulrich Hoppe, Nelson Baloian und Jian Zhao. Computer Support for Teacher-Centered Classroom Interaction. In Tak-Wai Chan, Hrsg., *International Conference on Computers in Education (ICCE'93)*, Seiten 211–217, Taipei, Taiwan, 1993. National Central University.
- [HGC95] David Heckerman, Dan Geiger und David Maxwell Chickering. Learning

Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data. *Machine Learning*, 20(3):197–243, September 1995.

- [HLM<sup>+</sup>00] Ulrich Hoppe, Andreas Lingnau, Isabel Machado, Ana Paiva, Rui Prada und Frank Tewissen. Supporting Collaborative Activities in Computer Integrated Classrooms — the NIMIS Approach. In *Proceedings of 6<sup>th</sup> Cytel-Ritos International Conference on Groupware, CRIWG*, Seiten 94–101, Los Alamitos, CA, 2000. IEEE Computer Society Press.
- [HMC99] David Heckerman, Christopher Meek und Gregory Cooper. *A Bayesian Approach to Causal Discovery*, Kapitel 4, Seiten 141–165. MIT Press, Cambridge, MA, 1999.
- [MG94] Gordon I McCalla und Jim E. Greer. *Granularity-Based Reasoning and Belief Revision in Student Models*, Jgg. 125 of *NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences*, Kapitel 2, Seiten 39–62. Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [Nea04] Richard E. Neapolitan. *Learning Bayesian Networks*. Prentice Hall series in artificial intelligence. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2004.
- [NIM00] NIMIS. Networked Interactive Media in Schools, Esprit funded I<sup>3</sup> Project (No. 29301), 1998–2000.
- [Rei82] Jürgen Reichen. *Wie Kinder selbstgesteuert Lesen lernen*. Sabe, Zürich, 1982.
- [RR82] Jürgen Reichen und Regina Reichen. *Lesen durch Schreiben*. Sabe, Zürich, 1982.
- [Spi83] Gudrun Spitta. *Kinder schreiben eigene Texte: Klasse 1 und 2*. Lehrer-Bücherei Grundschule. Cornelsen-Velhagen & Klasing Verlagsgesellschaft mbH, Bielefeld, 1983.
- [Spi89] Gudrun Spitta. Erlernen die Kinder im offenen Unterricht auch die Rechtschreibung? 2 Fallstudien. In Klaus B. Günther, Hrsg., *Ontogenese, Entwicklungsprozeß und Störungen beim Schriftspracherwerb*, Seiten 323–349. Schindele, Heidelberg, 1989.
- [Spi98] Gudrun Spitta. Geben wir Kindern Zeit, damit sie aus ihren Fehlern lernen können! *Die Grundschulzeitschrift. Sonderdruck Deutsch*, Seiten 22–28, 1998.
- [TLH00] Frank Tewissen, Andreas Lingnau und H. Ulrich Hoppe. Today’s Talking Typewriter — Supporting Early Literacy in a Classroom Environment. In Gilles Gauthier, Claude Frasson und Kurt VanLehn, Hrsg., *Intelligent Tutoring Systems, 5<sup>th</sup> International Conference, ITS 2000*, Jgg. 1839 of *Lecture Notes in Computer Science*, Seiten 252–261, Montreal, 2000. Springer.
- [Wei93] Mark Weiser. Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing. *Communications of the ACM*, 36(7):75–84, 1993.