

Auf dem Weg zu Bildungsstandards für Konzepte der Theoretischen Informatik in der Sekundarstufe

Kirsten Schlüter, Torsten Brinda

Didaktik der Informatik
Universität Erlangen-Nürnberg
Martensstraße 3
91058 Erlangen
{schlueter,brinda}@informatik.uni-erlangen.de

Abstract: Die Konzepte der Theoretischen Informatik (TI) sind ebenso fundamental wie abstrakt und anspruchsvoll in der Vermittlung. Zur Orientierung der Lehrenden in der Sekundarstufe bedarf es daher in besonderem Maße konkreter Bildungsstandards für die TI. In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur Gewinnung von Kompetenzen und Kompetenzstufen als Bausteine eines Kompetenzmodells der TI entwickelt. Exemplarisch werden unterrichtsrelevante Fachinhalte strukturiert dargestellt, Kompetenzziele und Aufgaben formuliert und ein Konzept zur Unterscheidung von Niveaustufen der TI-Kompetenz vorgestellt.

1 Motivation

Die Theoretische Informatik (TI) ist das wissenschaftliche Fundament der Informatik. Sie hinterfragt die prinzipielle Lösbarkeit von Problemen und untersucht die Grenzen der Automatisierung. Sie stellt Modelle zur Verfügung, mit deren Hilfe Problemlösungen auf grundsätzliche Machbarkeit hin überprüft und miteinander verglichen werden können. Ein jeder Informatikunterricht muss auch die TI berühren. Im Hinblick auf den Eintritt in das Berufsleben, eventuell bereits nach der Sekundarstufe I, ist es zwar dienlich, die Möglichkeiten der Computernutzung kennen zu lernen. Zur Computerbeherrschung gehört darüber hinaus, deren Grenzen zu kennen, die erst die TI sichtbar macht. Im Hinblick auf ein Studium im Anschluss an die Sekundarstufe II gewinnen Schülerinnen und Schüler einen Einblick in Fragestellungen der Fachwissenschaft und werden in die Lage versetzt, eine nachhaltige Studienentscheidung zu treffen.

Als Unterrichtsinhalt befindet sich die TI im Spannungsfeld der fachwissenschaftlichen Forderung nach theoretischer Fundierung der Informatik von Anfang an und der Maßgabe der Schulung von Bedienerfertigkeiten, die das Fach Informatik für Schüler und Eltern auf den ersten Blick attraktiv macht [Hu03, S. 48f]. Um die abstrakte und formale TI dem Unterricht in der Sekundarstufe besser zugänglich zu machen, bedarf es einer sorgfältigen Auswahl der Inhalte, einer Abgrenzung der zu vermittelnden Kompetenzen und ihrer Strukturierung anhand eines Kompetenzmodells. Modellvorstellungen über den Kompetenzerwerb bieten Anhaltspunkte für eine Unterrichtspraxis, die an Lernpro-

zessen der Schüler orientiert ist und nicht allein an der Fachsystematik [KI03, S. 71]. In diesem Sinne sind Bildungsstandards für die TI in besonderem Maße als Orientierung, mehr noch, als Gerüst für den Unterrichtsentwurf unverzichtbar.

Die Entwicklung von Kompetenzmodellen und Bildungsstandards der Informatik steht im Vergleich zu den Kernfächern noch ganz am Anfang. Erste theoretische Entwürfe, zum Beispiel von Friedrich [Fr03], Puhmann [Pu03] oder Magenheimer [Ma05] adressieren die informatische Bildung insgesamt. Weitere Ansätze betreffen spezifische Teilgebiete, jedoch nicht der TI zuzuordnende Kompetenzbereiche. Die informatikdidaktische Forschung zur TI im Unterricht konzentriert sich bisher auf die Entwicklung und Erprobung von Vermittlungskonzepten und Lernhilfen, nicht auf die Kompetenzmodellierung, die jedoch für die Alleinstellung des informatischen Kompetenzbeitrags, den die TI leistet, unabdingbar ist.

In der vorliegenden Arbeit werden zunächst in den Kapiteln 2 und 3 die Situation der TI in der Schule und Vermittlungsmethoden für ihre Inhalte betrachtet. In Kapitel 4 werden Anforderungen an ein Kompetenzmodell für die TI in der Sekundarstufe formuliert. Darauf abgestimmte Aspekte der Aufgabenklassifikation und -konstruktion werden in den Kapiteln 5 und 6 behandelt. Insbesondere wird im letzteren Kapitel ein Konzept zur Unterscheidung von Niveaustufen der Kompetenz exemplarisch implementiert. Schließlich werden in Kapitel 7 weiterführende Maßnahmen der Entwicklung eines Kompetenzmodells der TI skizziert.

2 Situation der Theoretischen Informatik in der Schule

Zur Situation der Theoretischen Informatik in der Schule sind die Didaktik-Forschung, die Lehrpläne und die unmittelbare Unterrichtspraxis zu betrachten.

In der Didaktik-Forschung herrscht Konsens, dass wesentliche Gegenstände der TI, zum Beispiel „Syntax und Semantik von Sprachen“, fundamental sind [Sc93]. Die TI ist integraler Bestandteil einer wissenschaftspropädeutischen Informatikausbildung in der Sekundarstufe II, deren fachliche Inhalte in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) Informatik [KK04, S. 8f] festgelegt sind.

Zumindest im Wahlbereich ist das Fach Informatik mittlerweile in den Studententafeln der Sekundarschulen der meisten deutschen Bundesländer verankert. Die TI als Lehrplaninhalt ist Gegenstand der Diskussion, wie hoch der Theorieanteil des Informatikunterrichts zu wählen ist, um begründeten, aber divergierenden Forderungen fachwissenschaftlicher, politischer und pragmatischer Art zu genügen. In den aktuellen Informatik-Lehrplänen ist die TI durch die Themenbereiche Sprachen, Automaten und Grenzen der Berechenbarkeit vertreten. In Bayern und Thüringen etwa hat die TI bereits in der Sekundarstufe I ihren Platz, unterrichtsthematisch anknüpfend an Algorithmen und Automaten.

Die TI ist integraler Bestandteil einer grundständigen Ausbildung für Informatik-Lehrende, wie sie in nationalen (z. B. Berlin, Brandenburg, NRW) und internationalen Curricula (z. B. Israel [GH98]) angelegt ist beziehungsweise gefordert wird. Dass Kernideen der Theoretischen Informatik auf Sekundarstufenniveau gut vermittelbar sind, zeigen u. a. Fothe [Fo05] und Loidl, Mühlbacher und Schauer [LMS05]. Dennoch lassen Gespräche mit Informatik-Lehrenden oft vermuten, dass die Schwerpunktsetzung bei der Unterrichtsplanung pragmatisch nach Ausbildungshintergrund des Lehrenden und nach Verfügbarkeit geeigneter Unterrichtsmaterialien erfolgt und die TI dabei nachrangig

berücksichtigt wird. Es besteht Bedarf an Unterrichtskonzepten und Lernhilfen für die TI sowie an einer schulgerechten Strukturierung der Fachinhalte und Aufgaben zur Veranschaulichung, Übung und Überprüfung des TI-Wissens.

3 Vermittlungsmethoden für Inhalte der Theoretischen Informatik

Eine übliche Gliederung der Theoretischen Informatik umfasst die Teilgebiete Sprachen und Automaten, Berechenbarkeit und Komplexität [Sc01], die die Kriterien der Fundamentalität erfüllen [Sc93], indem sie (1) vielfältig anwendbar und erkennbar sind, (2) auf jedem intellektuellen Niveau aufgezeigt und vermittelt werden können, (3) langfristig relevant bleiben und (4) einen Bezug zur Lebenswelt besitzen. Besonderes Augenmerk ist auf Punkt (2) zu richten: die TI ist überwiegend in der Sekundarstufe II verankert und in der Sekundarstufe I nur schwach vertreten, möglicherweise weil Zweifel an einer altersgerechten Vermittelbarkeit bestehen. Schon jüngere Schülerinnen und Schüler, die Informatiksysteme oft genug geschickt, aber unreflektiert, einsetzen, sollten jedoch eine Vorstellung von den Grenzen prinzipieller und praktischer Berechenbarkeit entwickeln. Kritischer Umgang mit Informatiksystemen erfordert neben deren Handhabung auch das Einschätzungsvermögen der Angemessenheit und Leistungsfähigkeit. Eine dem Alter entsprechende Informatik-Mündigkeit setzt das Wissen voraus, dass man mit dem Computer nur bearbeiten kann, was man formalisieren kann. Sprachen und Automaten zur Modellierung von Programmiersprachen und zustandsgesteuerten Abläufen bieten sich an, weil sie in didaktisch reduzierter Darstellung Einblick in wesentliche Informatik-Konzepte gewähren.

Die Herangehensweise im Schulunterricht ist meist problemorientiert. Zu den für die Sekundarstufe relevanten Gebieten der TI existieren vielfältige Beispiele aus der Erfahrungswelt der Schüler, bei deren Bearbeitung und Lösung – selten am Computer, häufiger mit Papier und Bleistift – sich Konzepte der TI als schlüssig und hilfreich erweisen. Als spielerisches Beispiel sei die Lösung des bekannten Missionare-und-Kannibalen-Rätsels allein durch Modellierung der Zustandsübergänge genannt [Ni95]. Auch anhand der Modellierung technischer Geräte des täglichen Lebens mit einfachen Automaten kann der fundamentale Begriff des Zustands vermittelt werden. Ebenso können formale Sprachen in Gestalt einfacher Grammatiken anhand der Syntax von E-Mail-Adressen, Handynummern oder auch KFZ-Kennzeichen alltagsbezogen eingeführt werden. Zur Veranschaulichung der Problematik nicht polynomiell beherrschbarer Komplexität kann das Problem des Handlungsreisenden dienen. Die Problemstellung ist offensichtlich, die exponentielle Komplexität wird bereits an einfachen Zahlenbeispielen einsichtig und heuristische Lösungsverfahren sind durch die Schüler selber auffindbar. Als simples Rechnermodell ist der Know-how-Computer [Ba03a] geeignet, eine Registermaschine mit Streichhölzern als Bits und fünf Befehlen. Am Tageslichtprojektor oder in der Computersimulation ist beispielsweise Schritt für Schritt nachzuvollziehen, wie Addieren auf wiederholtes Inkrementieren zurückzuführen ist und Multiplizieren auf wiederholtes Addieren. So konnte die Autorin bereits in achten Realschulklassen handlungsorientiert eine intuitive Idee von Berechenbarkeit wecken.

Für das Gebiet der Automaten, besonders für Turingmaschinen, ist eine Reihe von Werkzeugen und Visualisierungen verfügbar, von Animationen des fleißigen Bibers bis zur Lernumgebung TuringKara [Re03] samt Unterrichtsbeispielen. Auf dem Gebiet der

formalen Sprachen gibt es neben den Werkzeugen aus dem Compilerbau, „lex“ und „yacc“ bzw. ihren Weiterentwicklungen „flex“ und „bison“, nur wenige sekundarstufengerechte E-Learning-Materialien, wie die Lernumgebung AtoCC [HW06]. In der Zeitschrift LOG IN finden sich immer wieder Artikel, in denen TI-nahe Themen, beispielsweise Kryptographie [WS06], schülergerecht aufbereitet werden. Dewdney [De95] zeigt in populärwissenschaftlichem Stil, wie Kernideen der TI, etwa das Halteproblem oder nicht berechenbare Probleme, auf einem Niveau vermittelt werden können, das lediglich Interesse an mathematischen und logischen Zusammenhängen voraussetzt.

Zusammengefasst zeigt sich, dass Vermittlungsideen und unterrichtsgerechte Materialien für die TI durchaus vorhanden sind, wenn auch selten in Form von didaktisch kommentierten Vermittlungskonzepten und noch seltener nach einem Curriculum geordnet. Um die vorhandenen Vermittlungskonzepte den Unterrichtenden besser verfügbar zu machen, ist eine systematische Ordnung der Ideen und Materialien, unter Einbeziehung übertragbarer Konzepte verwandter Disziplinen wie der Mathematik, notwendig.

4 Auf dem Weg zu einem Kompetenzmodell für die TI

Kompetenzmodelle erfüllen in Bezug auf Bildungsstandards zwei Zwecke [KI03]. Sie beschreiben erstens das Gefüge der Anforderungen, deren Bewältigung von Schülerinnen und Schülern erwartet wird, in einem Komponentenmodell. Zweitens liefern sie wissenschaftlich begründete Vorstellungen, welche Abstufungen eine Kompetenz annehmen kann beziehungsweise welche Grade oder Niveaustufen sich bei den einzelnen Schülerinnen und Schülern feststellen lassen, in einem Stufenmodell. Aufgaben dienen im Kompetenzmodell der Implementierung des Modells. Sie werden zur Veranschaulichung und zur Überprüfung des Modells, zur Übung und Vertiefung erworbener Fertigkeiten sowie zur Leistungsbewertung eingesetzt.

Es gibt viele mögliche Gründe dafür, dass die Theoretische Informatik, vor allem in der Sekundarstufe I, nur eine Nebenrolle spielt: (1) Der Anwendungsorientierung wird der Vorzug vor der Wissenschaftsorientierung gegeben. (2) Es wird angenommen, dass die TI die Forderung nach Aktualität und Lebensnähe nicht erfüllt. (3) Das Abstraktionsvermögen der Lernenden wird als noch nicht ausreichend eingestuft. (4) Es sind noch nicht genug grundständig ausgebildete Informatiklehrpersonen verfügbar. In jedem Fall besteht Bedarf an einer systematischen Ordnung der Kompetenzziele als Wesenskern von Bildungsstandards und der Aufgaben zur Umsetzung, Überprüfung und Normierung von Bildungsstandards. In den ersten beiden Fällen gilt es, in den Kompetenzziele zu verankern, dass der erwünschte Kompetenzzugewinn in der TI mit einem Kompetenzzugewinn bezüglich aktueller und anwendungsnaher Informatikinhalte, wie der Modellierung und Algorithmisierung, verbunden ist. Im dritten Fall ist aufzuzeigen, dass sich aus der TI Teilgebiete und Problemstellungen herauslösen lassen, die zufriedenstellend und bereichernd auf dem Niveau der Sekundarstufe I behandelt werden können. Im vierten Fall ist eine systematische Ordnung der Kompetenzziele und Aufgaben unabdingbar als Hilfestellung etwa für Lehrpersonen, die fachfremd unterrichten. Um Wahrnehmung und Wirksamkeit im Schulalltag zu erzielen, muss die Darstellung der Kompetenzziele und Aufgaben detailliert nachvollziehbar sein und den Ausführenden Bezugspunkte, idealerweise ein Gerüst liefern, um Unterricht zu planen und seine Qualität zu sichern.

Bestehende Regelwerke liefern Orientierungspunkte für den Entwurf eines Kompetenzmodells der TI. So werden in den EPA Informatik im Lern- und Prüfungsbereich „Grundlegende Modellierungstechniken“ die zustandsorientierte Modellierung, insbesondere Automaten (Zustände und Zustandsübergänge), Zustandsdiagramme ausgewiesen; in „Interaktion mit und von Informatiksystemen“ die Sprache als Werkzeug der Kommunikation, Aspekte formaler Sprachen, Syntax und Semantik; in „Möglichkeiten und Grenzen informatischer Verfahren“ die prinzipiellen und praktischen Grenzen der Berechenbarkeit. Einen Ausgangspunkt für die inhaltliche Strukturierung bildet die Gliederung, die der GI-Arbeitskreis „Bildungsstandards in der Informatik“ (vgl. [Pu05], [Br06]) dem ersten Entwurf zugrunde legt: fünf Inhaltsbereiche – Daten und Information; Aufbau und Funktionsweise von Informatiksystemen; Algorithmen; Sprachen und Automaten; Informatik, Mensch und Gesellschaft – werden mit fünf Prozesskompetenzen – Modellieren und Implementieren; Begründen und Bewerten; Kommunizieren und Kooperieren; Darstellen und Interpretieren; Zusammenhänge herstellen – verknüpft.

Bei der Entwicklung eines Kompetenzmodells der TI müssen die Fragen der Repräsentation, das heißt der lehrer- und schülergerechten Darstellung der Kompetenzziele, und des Aufgabenmaterials, das heißt der quantitativen und qualitativen Beurteilung der vorhandenen Aufgaben, bearbeitet werden. Innerhalb des bestehenden Orientierungsrahmens soll ein Grundgerüst entstehen, in dem sukzessive Wissen und Fertigkeiten abgegrenzt werden können, die sekundarstufenrelevante TI-Kompetenz bedeuten, und in dem die Überprüfung der TI-Kompetenz einschließlich der Unterscheidung von Niveaustufen empirisch untersucht werden kann.

5 Kompetenzen und Aufgaben

Aufgaben spielen im Kompetenzmodell eine tragende Rolle. Sie dienen der Operationalisierung der Kompetenzanforderungen und der Diagnose der Kompetenzerfüllung. Das Augenmerk dieser Arbeit liegt zunächst auf der Analyse des verfügbaren Aufgabenmaterials für die Theoretische Informatik in der Sekundarstufe. In Brinda [Br04] wird die Entwicklung einer strukturierten Sammlung von Aufgabenklassen für Objektorientiertes Modellieren (OOM) im Informatikunterricht der Sekundarstufe II beschrieben. Ausgewählte Aufgaben aus Fachbüchern werden zu so genannten Aufgabenklassen abstrahiert, indem sie von Erläuterungen, Kontexten und Bezeichnern getrennt werden. Diese Aufgabenklassen werden hinsichtlich dreier Dimensionen, Fachkern, Gegenstand und Aufgabentyp, analysiert und klassifiziert. Die identifizierten Aufgabentypen werden mit Blooms Lernzieltaxonomie verknüpft und es wird begründet, dass für jede kognitive Lernzielstufe Aufgaben gestaltet werden können. Die Gestaltung von Aufgaben mittels Aufgabenklassen erfolgt durch Einbettung in einen Kontext (vgl. auch [Sc05]).

Die hier vorzunehmende Analyse von Aufgaben der TI baut in wesentlichen Teilen auf diesem Konzept auf. Die Auswahl, Abstraktion und Klassifikation erfolgt analog, wenn auch mit TI-bezogenen Kriterien zur Aufgabenauswahl und TI-bezogenen Dimensionen zur Klassifizierung. Die Aufgabentypen werden allerdings nicht direkt mit den Lernzielstufen verknüpft. Vielmehr wird der besonderen Bedeutung, die der Unterscheidung von Niveaustufen der Kompetenz zukommt, durch eine Differenzierung nach dem Grad der benötigten Hilfestellung innerhalb der Aufgabe entsprochen (s. Kapitel 6).

Aufgaben der TI werden in Schulbüchern und Schülerwettbewerben im Stil von Textaufgaben sprachlich formuliert, um den Lebensweltbezug herzustellen und Schülerinnen und Schülern den Zugang zu erleichtern. Eine Klassifizierung der Aufgaben erfordert die Identifizierung des abstrakten Kerns einer jeden Aufgabe, damit sie eindeutig einem Fachinhalt zugeordnet werden kann. Zur Aufgabenauswahl kann nun die Relevanz des wesentlichen Fachinhaltes herangezogen werden, wissenschaftlich nach Fundamentalität oder pragmatisch nach Lehrplandeckung beurteilt. Im Weiteren sind Ordnungskriterien wie der Anforderungsbereich (z. B. wiedergeben (I), anwenden/konstruieren (II) und begründen/beweisen, in Anlehnung an die EPA Informatik [KK04, S. 14 – 16]), der Formalisierungsgrad (von mathematisch notiert bis sprachlich ausformuliert) und der Schwierigkeitsgrad auf ihre Eignung für die Aufgabenklassifizierung zu untersuchen. Zum Schwierigkeitsgrad als Ordnungskriterium ist zu bemerken, dass die Klassifizierung der Aufgaben einen Schritt auf dem Weg zu einem Kompetenzmodell darstellt, das wiederum eine Einordnung von Aufgaben bezüglich ihres Schwierigkeitsgrades ermöglichen soll. Um diese zyklische Abhängigkeit aufzulösen, können die Aufgaben im ersten Gang nicht unmittelbar nach Schwierigkeit geordnet werden, sondern etwa nach der adressierten Jahrgangs- bzw. Altersstufe des Schulbuches oder Schülerwettbewerbes. Die erste Sichtung des Aufgabenmaterials lässt vermuten, dass eine strukturelle Klassifizierung von TI-Aufgaben zu einem Repertoire an Aufgabenschemata führt, das kombiniert mit altersgerechten und lebensweltbezogenen Gestaltungsvorschlägen den Grundstock zur Konstruktion von Aufgaben zu Übungs- und Testzwecken bildet. Es ist zu untersuchen, inwieweit die Aufgabenkonstruktion inklusive einem Niveaustufenkonzept, wie es im folgenden Kapitel entworfen wird, automatisiert werden kann.

6 Identifizierung von Kompetenzstufen

Die unterrichtsrelevanten Fachinhalte der Theoretischen Informatik werden zunächst strukturiert dargestellt. Für einen Ausschnitt, die regulären Sprachen, werden exemplarisch Kompetenzziele formuliert und mit typischen Aufgaben verknüpft. Anhand dieser Beispielaufgaben wird ein Ansatz zur Unterscheidung von Leistungsstufen entlang einer Lernzieltaxonomie vorgestellt.

Strukturierung der Fachinhalte: Vereinfachend werden diejenigen Kapitel der Fachwissenschaft TI als unterrichtsrelevant angenommen, die in mindestens einem Sekundarstufenlehrplan Berücksichtigung finden. Eine detaillierte Untersuchung der Unterrichtsrelevanz der TI-Fachinhalte ist noch zu leisten. Die relevanten Inhalte werden nach vier Teilgebieten der TI – Automaten; Sprachen; Berechenbarkeit; Komplexität – geordnet und tabellarisch dargestellt mit der Semantik, dass aufeinander aufbauende Inhalte eines Kapitels von oben nach unten aufeinander folgen und Pfeile assoziative Sequenzen des Wissenserwerbs markieren. Die TI-Inhalte der EPA Informatik (vgl. Kap. 4, [KK04]), in der Tabelle grau hinterlegt, werden nach Prüfungsbereichen – Modellierungstechniken; Interaktion; Möglichkeiten und Grenzen – geordnet und so in die Tabelle eingebettet, dass ihre vertikale Position zeigt, auf welche fachwissenschaftlichen Inhalte sie sich beziehen (vgl. Abb. 1). Weiterführend bietet es sich an, Hypertexte zur Repräsentation zu wählen, deren assoziative Struktur die Verflechtung der Inhalte wiedergibt.

Fachwissenschaft: Teilgebiete der TI			
Automaten	Sprachen	Berechenbarkeit	Komplexität
Endliche Automaten	↔ Reguläre Sprachen	Turingmaschinen	
Automaten (Zustände und Zustandsübergänge), Zustandsdiagramme	↔ Aspekte formaler Sprachen, Syntax und Semantik	Berechenbarkeitstheorie	Zeitkomplexität
Kellerautomaten	↔ Kontextfreie Sprachen	Unentscheidbare Probleme	NP-Vollständige Probleme
Linear beschränkte Automaten	↔ Kontextsensitive Sprachen	Prinzipielle Grenzen der Berechenbarkeit	↔ Praktische Grenzen der Berechenbarkeit
	Chomsky-Hierarchie		
Grundlegende Modellierungstechniken (Zustandsorientierte Modellierung)	Interaktion mit u. von Informatiksystemen (Sprache als Werkzeug der Kommunikation)	Möglichkeiten und Grenzen informatischer Verfahren	
Schule (EPA Informatik): Lern- und Prüfungsbereiche			

Abbildung 1: Verzahnung der Lerngebiete der EPA Informatik mit Fachinhalten der TI

Kompetenzziele: Exemplarisch werden Prozesskompetenzen (vgl. Kap. 4) für den Inhalt Reguläre Sprachen konkretisiert, differenziert nach Sekundarstufe I/II (vgl. Abb. 2).

Prozesskompetenz	Sekundarstufe I	Sekundarstufe II
Modellieren und Implementieren (M)	Einfache Sprachen mit Syntaxdiagrammen modellieren	Einfache Sprachen mit Grammatiken modellieren
Begründen und Bewerten (B)	Syntaktische Korrektheit von Beispielen überprüfen	Korrektheit eines Entwurfs beweisen (z. B. vollständige Induktion)
Kommunizieren und Kooperieren (K)	Eigene Entwürfe präsentieren, Verbesserungsvorschläge diskutieren	Eigene Entwürfe präsentieren, Verbesserungsvorschläge diskutieren
Darstellen und Interpretieren (D)	Gegebene Syntaxdiagramme interpretieren und anpassen	Gegebene Grammatiken interpretieren und anpassen
Zusammenhänge herstellen (Z)	Natürliche und künstliche Sprachen vergleichen (z. B. Fehlertoleranz)	Reguläre Sprachen gegen nichtreguläre Sprachen abgrenzen

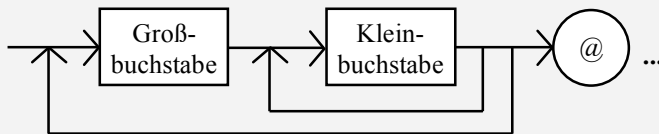
Abbildung 2: Prozesskompetenzen im Bereich der TI in der Sekundarstufe

Aufgaben: Die Kompetenzziele für die Sekundarstufe I werden durch Aufgaben veranschaulicht (vgl. Abb. 3). Für die Prozesskompetenz „Kommunizieren und Kooperieren“ wird hier keine Aufgabe formuliert, weil von einer schriftlichen Prüfungssituation zur Erfassung der Einzelleistung ausgegangen wird. Die Aufgaben werden nach der

Bloom'schen Lernzieltaxonomie [B176] den Kategorien Wissen (1), Verstehen (2), Anwendung (3), Analyse (4), Synthese (5) und Bewertung (6) zugeordnet.

Für E-Mail-Adressen stehen die großen und die kleinen Buchstaben ohne Umlaute sowie die Ziffern und die Zeichen „-“, „.“ und „@“ zur Verfügung. Buchstaben und Ziffern dürfen in beliebigen Folgen kombiniert werden. Zeichen dürfen nur einzeln vorkommen, davor und danach müssen Buchstaben oder Ziffern stehen. Das Zeichen „@“ muss genau einmal auftreten. Betrachte der Einfachheit halber nur E-Mail-Adressen der Top-Level-Domäne „.de“. Beispiele gültiger E-Mail-Adressen sind abc@muenchen.ag.de, Peter.Schilling@Mentzenhof.de, anna-marie@ursulinen.gym.de.

- (M) Erstelle ein Syntaxdiagramm für E-Mail-Adressen. (5)
- (B) a) Finde geeignete Beispiele und überprüfe, ob dein Syntaxdiagramm (4)
E-Mail-Adressen korrekt beschreibt.
b) Erkläre anhand einer gültigen und einer ungültigen Adresse, wie (3)
dein Diagramm aufgebaut ist.
- (D) In einer Schule werden nur E-Mail-Adressen vergeben, die der folgen-
den Syntax entsprechen:



- a) Beschreibe die Syntax. Nenne zwei gültige Beispiele. (4)
- b) Stelle dar, wie Namenskonflikte vermieden werden können, wenn (5)
zwei oder mehr Schüler den gleichen Namen tragen. Ergänze das
Syntaxdiagramm entsprechend.
- (Z) Vergleiche künstliche Sprachen mit natürlichen Sprachen. Beziehe dich (6)
auf das E-Mail-Beispiel.

Abbildung 3: Verknüpfung von Aufgaben und Prozesskompetenzen der TI

Erwartungsbild für die Lösungen: In (M) soll ein Syntaxdiagramm erstellt werden. Dazu sind die Buchstaben und Ziffern zu einer Menge beliebig kombinierbarer „Schriftzeichen“ zusammenzufassen, Trennstrich und Punkt zu einer Menge „Trennzeichen“. Das Diagramm soll die spezifizierte Abfolge von Schrift- und Trennzeichen modellieren. Mögliche Fehler bestehen darin, Restriktionen nicht zu berücksichtigen, z. B. können Trennzeichen nur zwischen Schriftzeichen vorkommen, syntaktische Varianten außer Acht zu lassen, z. B. können mehrere Sequenzen aus Schrift- und Trennzeichen aufeinander folgen, oder Sonderfälle nicht zu betrachten, z. B. E-Mail-Adressen ohne Trennzeichen im Namen. In (B) soll das zuvor erstellte Syntaxdiagramm anhand geeigneter Beispiele (vgl. Abb. 4) überprüft werden. Ein vorgegebenes Syntaxdiagramm soll in (D) sprachlich dargestellt und zwecks Vermeidung von Namenskonflikten (vgl. Abb. 4) angepasst werden. In (Z) sollen künstliche und natürliche Sprachen mit Hilfe geeigneter Kriterien, wie Fehlertoleranz, voneinander abgegrenzt und verglichen werden.

Kompetenzstufen: Zur Überprüfung der Kompetenzziele ist eine quantitative und qualitative Erfassung der Leistung erforderlich. Im „Programme for International Student Assessment (PISA)“ [Ba03b], dessen Ergebnisse die aktuelle Diskussion um Bildungsstandards in das öffentliche Interesse gerückt haben, dienen der quantitativen Leistungserhebung Testaufgaben. Die qualitative Interpretation der Testergebnisse erfolgt mithilfe eines Kompetenzstufenmodells, das auf Lösungshäufigkeiten beruht. In der Mathematik-Didaktik wird diskutiert, ob eine inhaltliche Interpretation der Lösungshäufigkeiten angesichts der Vielfalt von Lösungszugängen überhaupt möglich ist. Meyerhöfer [Me04] hat sechs veröffentlichte PISA-Aufgaben untersucht. Er argumentiert, dass die Aufgaben mehrere Lösungswege aufweisen, die unterschiedlichen Kompetenzstufen zuzuordnen sind, sodass eine Zuweisung der Aufgabe zu einer Kompetenzstufe fragwürdig ist.

Der hier verfolgte Ansatz geht auf die Idee des „Aufgabenlösen mit Hilfekarten“ aus dem BLK-Programm zur Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts (SINUS) zurück [BK02, S. 50]. Dort stehen bei der selbstständigen Bearbeitung einer Aufgabe den Schülerinnen und Schülern Hilfekarten mit Lösungshinweisen zur Verfügung, die eine Binnendifferenzierung in der Übungsphase ermöglichen. Für die Leistungserhebung wird nun vorgeschlagen, die Inanspruchnahme einer Hilfestellung als Indikator für die Kompetenzstufe, auf der die Lösung einer Aufgabe erfolgt, zu interpretieren. Dazu wird die Aufgabe in eine Lernzieltaxonomie, hier Bloom, eingeordnet, die orthogonal zu den überprüften Prozesskompetenzen sein muss. Ein Nachweis der Orthogonalität der Lernzielstufen und Prozesskompetenzen steht noch aus. Die Aufgabe wird ergänzt durch eine Hilfestellung (vgl. Abb. 4), auf die die Schülerinnen und Schüler zurückgreifen, die die Aufgabe ohne Hilfe nicht lösen können. Die ergänzte Aufgabe wird wiederum taxiert. Werden die Lernzielstufen als Niveaustufen der Kompetenz angenommen, ist somit eine abgestufte Kompetenzeinschätzung möglich, die das Niveau, auf dem die Bearbeitung der Aufgabe erfolgt, berücksichtigt.

In Aufgabe (M) liegt die Synthese-Leistung (5) in der Modellierung der syntaktischen Struktur von E-Mail-Adressen. Wird die Grobstruktur in der Hilfe i. vorgegeben, ist die Ergänzung zu einem vollständigen Syntaxdiagramm durch schematische Anwendung (3) des Wissens über die Notation zu leisten. Um das Vorhandensein des Notations-Wissens (1) zu testen, wird in der Hilfe ii. das vollständige Syntaxdiagramm vorgegeben.

In Aufgabe (B) a) besteht die geforderte Leistung in der Analyse (4) der syntaktischen Struktur von E-Mail-Adressen, um geeignete Prüfbeispiele zu finden. Werden als Hilfestellung die Beispiele vorgegeben, besteht die Überprüfung darin, die syntaktische Korrektheit der E-Mail-Adressen durch Anwendung (3) des Syntaxdiagramms zu prüfen und das Ergebnis, gültig oder nicht, mit der Angabe zu vergleichen. Die Hilfestellung hat keinen Einfluss auf den Aufgabenteil b).

Die in Aufgabe (D) a) verlangte sprachliche Beschreibung der E-Mail-Syntax erfordert die Analyse (4) des Syntaxdiagramms. Die Entscheidung, ob die in der Hilfestellung gegebenen Aussagen zutreffen, ist durch probeweise Anwendung (3) der Syntaxregeln zu treffen. In Aufgabenteil b) stellt die Problemlösung der Namenskonflikte mithilfe des erworbenen Wissens eine Synthese-Leistung (5) dar. Wird in der Hilfestellung eine Lösung des Problems vorgezeichnet, besteht die Leistung in der Analyse (4) des Lösungsvorschlags und der Umsetzung in die Syntaxdiagramm-Notation.

(M)	i.	Vervollständige das Syntaxdiagramm für E-Mail-Adressen (Syntaxdiagramm fragmentarisch vorgeben).	(3)
	ii.	Benenne die Komponenten des Syntaxdiagramms (Syntaxdiagramm vollständig vorgeben).	(1)
(B)	a)	Überprüfe dein Syntaxdiagramm anhand der Beispiele p@chwork.de (gültig) info@gymnasium.schulzentrum (nicht gültig) 1.2.3@zauber.schule.de (gültig) 4.5.6.@hexen.kessel.de (nicht gültig)	(3)
	b)	Erkläre anhand der letzten beiden Adressen, wie dein Diagramm aufgebaut ist.	(3)
(D)	a)	Kreuze die zutreffenden Aussagen an: <input type="checkbox"/> Vor „@“ stehen genau zwei Namen. <input type="checkbox"/> Vor „@“ stehen beliebig viele Namen. <input type="checkbox"/> Jeder Name beginnt mit einem Großbuchstaben. <input type="checkbox"/> Ein Name besteht aus großen und kleinen Buchstaben in beliebiger Reihenfolge. <input type="checkbox"/> „moritz“ ist ein gültiger Name. <input type="checkbox"/> „BeNeDict“ ist ein gültiger Name.	(2)
	b)	Mit einer Ziffer nach dem Namen lassen sich Namenskonflikte vermeiden: CarolineBauer1@..., CarolineBauer2@... Ergänze das Syntaxdiagramm entsprechend.	(4)
(Z)		Verwende die Stichwörter „Grammatik“, „Syntax“, „Semantik“, „Versprecher“, „Tippfehler“.	(5)

Abbildung 4: Hilfestellungen zur Identifikation von Kompetenzstufen

Der Vergleich künstlicher und natürlicher Sprachen unter Bezugnahme auf das E-Mail-Beispiel in Aufgabe (Z) ist mit der Verwendung sinnvoller Kriterien und der Beurteilung ihrer Erfüllung eine Bewertungs-Leistung (6). Werden in der Hilfestellung Stichwörter, die auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinweisen, vorgegeben, ist die geforderte Leistung die Synthese (5) zu einer schlüssigen Argumentation.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde begründet, dass die Situation der Theoretischen Informatik in der Schule in besonderem Maße die Entwicklung von Bildungsstandards erfordert. Diese sind unverzichtbar zur Orientierung der Lehrenden, um im Spannungsfeld zwischen theoretischer Fundierung und Benutzerschulung eine balancierte Auswahl der Unterrichtsinhalte zu unterstützen sowie um vorhandene Vermittlungskonzepte und Unterrichtsmaterialien einzuordnen und besser in die Unterrichtspraxis einzubinden. Ein erster Ansatz zur Gewinnung von Kompetenzen und Kompetenzstufen als Wesenskern von Bildungsstandards wurde vorgestellt.

Als nächste Schritte der Entwicklung eines Kompetenzmodells der TI in der Sekundarstufe sind folgende Maßnahmen geplant: Eine Studie der Gestaltungsprinzipien erprobter und etablierter Kompetenzmodelle und ihrer Übertragbarkeit auf die TI ist zu erstellen. Einzubeziehend sind vor allem solche Modelle, die inhaltlich dem abstrakten Wesen der TI entsprechen und die die Sekundarstufe betreffen. Des Weiteren sind die Fachinhalte anhand geeigneter Kriterien auf ihre Schulrelevanz hin zu untersuchen und entsprechend auszuwählen. Geeignete Kriterien sind beispielsweise die Fundamentalitätskriterien [Sc93], insbesondere der Lebensweltbezug, die Eignung für die Vermittlung in der Sekundarstufe, mögliche Anknüpfungspunkte und Vernetzungsmöglichkeiten mit anderen Unterrichtsinhalten, das Vorhandensein von Vermittlungskonzepten, Lernhilfen und Unterrichtsmaterialien. Die ausgewählten Fachinhalte und die damit verbundenen Lernziele sind unter Berücksichtigung im Unterricht bewährter Vermittlungsreihenfolgen strukturiert darzustellen. Ein erster Ansatz hierzu wurde in Kapitel 6 beschrieben.

Die abstrakten und anspruchsvollen Inhalte der TI erfordern eine sensible Auswahl unterrichtsgerechter Aufgaben. Dazu werden in Schulbüchern und Schülerwettbewerben, wie dem Bundeswettbewerb Informatik, vorhandene Aufgaben auf ihren abstrakten Kern (vgl. [Br04]) zurückgeführt, sodass eine Auswahl, etwa nach der Relevanz der Fachinhalte, getroffen werden kann. Im Hinblick auf die Entwicklung eines Kompetenzmodells ist eine Klassifizierung der Aufgaben nach geeigneten Ordnungskriterien, zum Beispiel Anforderungsbereich, Formalisierungs- oder Schwierigkeitsgrad, erforderlich.

Auf der Basis der klassifizierenden Merkmale, die die Schwierigkeit von Aufgaben charakterisieren, werden Hypothesen über die Dimensionen und Niveaustufen für den ersten Entwurf eines Kompetenzmodells formuliert. Wie in Kapitel 6 anschaulich dargestellt und diskutiert, werden Testaufgaben mit Hilfestellungen entlang der charakterisierenden Merkmale zur Operationalisierung des Modells konstruiert.

Zur empirischen Überprüfung werden in einer Feldstudie mit Schülerinnen und Schülern Testdaten erhoben, die die schriftlichen Bearbeitungsergebnisse der Aufgaben sowie die Informatik- und Mathematiknoten und eine kriterienorientierte Kompetenzeinschätzung der Probanden durch die Lehrperson umfassen. Die Testdaten werden mit statistischen Methoden ausgewertet und interpretiert. Im ersten Gang wird eine Faktorenanalyse durchgeführt, um die charakterisierenden Merkmale hypothesengemäß zu orthogonalen Faktoren, den postulierten Dimensionen, zu bündeln. Gegebenenfalls erfolgt eine Revision des Modells. Im zweiten Gang wird mit den orthogonalen Dimensionen aus der Faktorenanalyse eine Clusteranalyse der individuellen Kompetenzprofile durchgeführt, um Kategorien typischer Kompetenzprofile sichtbar zu machen. Zur Validierung der Kategorien wird die Korrelation mit der Kompetenzeinschätzung der Lehrperson und den Informatik- und Mathematiknoten herangezogen.

Literaturverzeichnis

- [Ba03a] Back, W.: Der Know-how Computer. Ein Computer, der mit Streichhölzern arbeitet. http://www.wolfgang-back.com/knowhow_home.php, 2003; letzter Zugriff 23.01.2007.
- [Ba03b] Baumert, J. et al.: PISA 2000 – Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland. Leske + Budrich, Opladen, 2003.

- [BK02] Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.): Weiterentwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts. Erfahrungsbericht zum BLK-Programm SINUS in Bayern. München, 2002.
- [Br04] Brinda, T.: Didaktisches System für objektorientiertes Modellieren im Informatikunterricht der Sekundarstufe II. Dissertation, Fachbereich für Elektrotechnik und Informatik, Universität Siegen, 2004.
- [Br06] Breier, N.; Brinda, T.; Fothe, M.; Friedrich, S.; Koerber, B.; Puhlmann, H.: Neuer Wein in alten Schläuchen? In: *Computer und Unterricht* 16 (2006) 63; S. 14 – 15.
- [De95] Dewdney, A.: *Der Turing Omnibus. Eine Reise durch die Informatik mit 66 Stationen.* Springer, Berlin, 1995.
- [Fo05] Fothe, M.: Rekursion. Ein Thema für den Informatikunterricht. In: *LOG IN* 25 (2005) 133; S. 46 – 54.
- [Fr03] Friedrich, S.: Informatik und PISA – vom Wehe zum Wohl der Schulinformatik. In: Hubwieser, P. (Hrsg.): *Informatische Fachkonzepte im Unterricht.* Köllen, Bonn, 2003; S. 133 - 144.
- [GH98] Gal-Ezer, J., Harel, D.: What (Else) Should CS Educators Know? In: *Communications of the ACM* 41 (1998) 9; pp. 77 – 84.
- [Hu03] Hubwieser, P.: *Didaktik der Informatik.* Springer, Berlin, 2003.
- [HW06] Hielscher, M.; Wagenknecht, C.: AtoCC: Learning environment for teaching theory of automata and formal languages. In: *ACM SIGCSE Bulletin* 38 (2006) 3, ACM Press, New York, 2006; p. 306.
- [KK04] Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder i. d. Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.): *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Informatik, Beschluss vom 1.12.1989 i. d. F. vom 5.2.2004.* Wolters Kluwer, München, 2004.
- [Kl03] Klieme, E. et al.: *Expertise. Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards.* Bonn, 2003.
- [Lo05] Loidl, S.; Mühlbacher, J.; Schauer, H.: Preparatory Knowledge: Propaedeutic in Informatics. In: Mittermeir, R. (Ed.): *From Computer Literacy to Informatics Fundamentals.* Springer, Berlin, 2005; pp. 104 – 115.
- [Ma05] Magenheim, J.: Towards a Competence Model for Educational Standards of Informatics. In: *Proc. of the 8th IFIP WCCE, Cape Town, 2005.*
- [Me04] Meyerhöfer, W.: Zum Kompetenzstufenmodell von PISA. In: *Journal für Mathematik-Didaktik* 25 (2004) 3/4; S. 294 – 305.
- [Ni95] Nievergelt, J.: Welchen Wert haben theoretische Grundlagen für die Berufspraxis? Gedanken zum Fundament des Informatik-Turms. In: *Informatik Spektrum* 18 (1995) 6; S. 342 – 344.
- [Pu03] Puhlmann, H.: Informatische Literalität nach dem PISA-Muster. In: Hubwieser, P. (Hrsg.): *Informatische Fachkonzepte im Unterricht.* Köllen, Bonn, 2003; S. 145 - 154.
- [Re03] Reichert, R.: *Theory of Computation as a Vehicle for Teaching Fundamental Concepts of Computer Science.* Dissertation 15035, ETH Zürich, 2003.
- [Sc93] Schwill, A.: Fundamentale Ideen der Informatik. In: *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik* 25 (1993) 1; S. 20 – 31.
- [Sc01] Schöning, U.: *Theoretische Informatik – kurzgefasst.* Spektrum, Heidelberg, 2001.
- [Sc05] Schubert, S.: From Didactic Systems to Educational Standards. In: *Proc. of the 8th IFIP World Conference on Computers in Education, Cape Town, 2005.*
- [WS06] Witten, H.; Schulz, R.: RSA & Co. in der Schule. Moderne Kryptologie, alte Mathematik, raffinierte Protokolle. In: *LOG IN* 26 (2006) 140; S. 45 – 54.