

Zur theoretischen Fundierung von Wissensstrukturen am Beispiel „Internetworking“

Stefan Freischlad

Didaktik der Informatik und E-Learning
Universität Siegen
Hölderlinstraße 3, 57068 Siegen
freischlad@die.informatik.uni-siegen.de

Abstract: Wissensstrukturen explizieren informatikdidaktisches Wissen über die Struktur von Fachwissen der Informatik. Eine Übertragung dieses Ansatzes als Teil des Rahmenkonzeptes „Didaktisches System“ in den Bereich „Internetworking“ erforderte die Erweiterung der theoretischen Fundierung. In diesem Beitrag werden Anforderungen aus einem durchgeführten Unterrichtsprojekt und die theoretisch begründete Umsetzung beschrieben. Es werden Wissens Elemente und die Relationen zwischen Wissens Elementen sowie deren graphische Darstellung diskutiert.

1 Motivation

Im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsprojekts „Informatikunterricht und E-Learning zur aktiven Mitwirkung am digitalen Medienumbruch“ wurde ein Didaktisches System „Internetworking“ entwickelt und die Theorie zum Rahmenkonzept Didaktisches System [BS02] erweitert. In diesem Beitrag geht es um Wissensstrukturen als Komponente des Didaktischen Systems an diesem Beispiel.

Wissensstrukturen explizieren informatikdidaktisches Wissen über die Struktur von Fachwissen der Informatik. Die Wissensstrukturen sollen dabei drei Funktionen erfüllen. Sie beschreiben notwendiges Vorwissen und die Reihenfolge von Fachkonzepten in Lehr-Lernprozessen. Sie bieten die Möglichkeit, als Grundlage für eine Bestimmung des Lernstands verwendet zu werden. Und sie ermöglichen den Vergleich von Varianten der Lehr-Lernprozesse [Br04]. Aus den drei Funktionen von Wissensstrukturen ergeben sich konkrete Anforderungen für die Konstruktion und für die Darstellung von Wissensstrukturen. Die Darstellung von Reihenfolgen der Wissens Elemente in Lehr-Lernprozessen erfordert, dass die Vorerfahrungen von Lernenden berücksichtigt werden. Zu erlernende Wissens Elemente müssen für sinnvolles Lernen [vgl. Ed00] auf bereits vorhandenes Wissen bezogen werden. Außerdem ist die Erarbeitungsreihenfolge auch davon abhängig, ob geeignete Lernaktivitäten existieren. Damit verbunden ist die Frage nach geeigneten Aufgabenklassen und Unterrichtsmitteln z. B. Lernsoftware. Für die Bestimmung des Lernstands muss dieser durch konkrete Lernziele spezifiziert als Zustand darstellbar sein. Der Vergleich von Varianten der Lehr-Lernprozesse erfordert die Möglichkeit der

Abstraktion von spezifischen Details, um die Darstellung übersichtlich und damit vergleichbar zu gestalten. In Abhängigkeit von einer fachdidaktischen Fragestellung wird die Struktur der Wissens Elemente anhand unterschiedlich detaillierter Darstellungen diskutiert. So kann ein sachlogischer Zusammenhang allein aufgrund der Relationen zwischen Fachkonzepten diskutiert werden [vgl. SS04, S. 137] wohingegen zielgruppenspezifische Zusammenhänge erst unter Einbezug der Lernziele untersucht werden können. Andererseits erfordert ein Vergleich verschiedener Wissensstrukturen, dass die Darstellung nachvollziehbar ist. Dazu müssen die Wissens Elemente verfeinert und die Relationen begründet werden. Der Transfer des Ansatzes auf den Bereich Internetworking erforderte daher, die theoretische Fundierung zu erweitern.

Die Erkenntnisse wurden in einem Unterrichtsprojekt erprobt, das mit Lehramtsstudierenden im Rahmen ihres fachdidaktischen Praktikums in einem Informatikkurs in der Jahrgangsstufe 11 durchgeführt wurde. Die Betreuung fand durch den Fachlehrer und den Autor dieses Beitrags statt. Ziel war, dass die Lernenden Kompetenzen zur Nutzung des Internets erwerben. Der typische Ablauf einer Lerneinheit sah so aus, dass zum Einstieg ein motivierendes Phänomen betrachtet wurde. Danach wurden die informatischen Fachkonzepte untersucht, die für das Verstehen des Phänomens notwendig sind. Und schließlich wurde das neu erworbene Wissen im Kontext des Phänomens angewendet. Ein Beispiel ist die Lerneinheit zum Domain Name System (DNS). Dazu wurde zunächst eine Webseite mit einem bekannten Domainnamen abgerufen. Der Webbrowser zeigte aber eine falsche Seite an, weil der lokale DNS-Zwischenspeicher manipuliert worden war. In der zweiten Phase untersuchten die Lernenden die Funktionsweise des DNS und erklärten in der dritten Phase DNS-Spoofing, indem sie ein vorgegebenes Szenario mit informatischen Diagrammen illustrierten.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst ein Ansatz zur fachwissenschaftlich begründeten Strukturierung der Wissens Elemente zum Thema Internetworking untersucht. Eine solche Strukturierung entspricht aber noch nicht den beschriebenen Anforderungen. Die zur Darstellung möglicher Erarbeitungsstrukturen notwendigen zielgruppenspezifischen Zugänge und die damit verbundenen Konsequenzen für die Darstellung von Wissensstrukturen werden im dritten Abschnitt untersucht. Im vierten Abschnitt werden Konsequenzen für die Darstellung erläutert, die aus den Erfahrungen des Einsatzes der Wissensstrukturen zur Planung des Unterrichtsprojekts mit Lernzielen resultieren.

2 Vorwissen und fachwissenschaftliche Strukturierung

Fachwissenschaftliche Strukturen werden dazu verwendet, Zusammenhänge zwischen Wissens Elementen aufzudecken, die bei der Gestaltung von Lehr-Lernprozessen berücksichtigt werden müssen, um das Verstehen der Lernenden zu ermöglichen. Dies soll jedoch nicht im Sinne der Abbilddidaktik zu einer Strukturierung von Lehr-Lernprozessen nach der Struktur der Fachwissenschaft führen. Eine Grundlage zur Untersuchung der fachwissenschaftlichen Strukturierung des Bereichs Internetworking liefert der Ansatz von Ausubel, in dem Zusammenhänge zwischen Wissens Elementen untersucht werden. Diese Struktur muss nach Ausubel aufgedeckt werden, um „sinnvolles Lernen“ zu ermöglichen. Sinnvolles Lernen erfordert neben inhaltlichem Lernen in

Abgrenzung zum wortwörtlichen Lernen die Bezugnahme auf verfügbares Wissen:

„Erst ein solcher Ankergrund schafft die Voraussetzung für die Verankerung des neuen Lernstoffes in der Wissensstruktur. Fehlen solche Ideen, dann ist die Herstellung zufallsfreier Beziehungen nicht möglich.“ [Ed00, S. 136]

Ausubel unterscheidet drei Grundformen dieser zufallsfreien Beziehungen. Untergeordnete Beziehungen treten auf, wenn neuer Lernstoff spezielleres Wissen zu vorhandenem allgemeinerem Wissen ist. Bei dieser sogenannten Subsumtion werden wiederum zwei Formen unterschieden. Derivative Subsumtion bedeutet, dass ein spezifisches Beispiel für einen bereits etablierten Begriff Lehrstoff ist oder ein bekannter Lehrsatz veranschaulicht bzw. bekräftigt wird. Korrelative Subsumtion bedeutet dagegen, dass beim Lernen eine Erweiterung, Ausarbeitung, Modifizierung oder Einschränkung vorgenommen wird. Eine solche Subsumtion ist zum Beispiel dann gegeben, wenn ausgehend vom Begriff Protokoll die E-Mail-Protokolle untersucht werden, indem der Ablauf des Servers durch ein Zustandsdiagramm beschrieben wird. Die zweite Grundform einer zufallsfreien Beziehung ist übergeordnetes Lernen. Das neue Lernmaterial ist von höherem Allgemeingrad. Es wird also bestehendes Wissen durch das neue Wissen zusammengefasst. Die dritte Grundform ist kombinatorisches Lernen. Hier werden Beziehungen zu mehreren früher gelernten Ideen miteinander verbunden.

Eine Darstellung der Wissensstrukturen, die durch die Verbindung der durch die Fachwissenschaft beschriebenen Wissensselemente entsteht, genügt nicht den Anforderungen Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit. In Abbildung 1 werden Relationen zu Wissensselementen des Bereichs Internetworking dargestellt. Aufgeführt sind für den Lehr-Lernprozess ausgewählte Wissensselemente. Eine Unterscheidung zwischen notwendi-

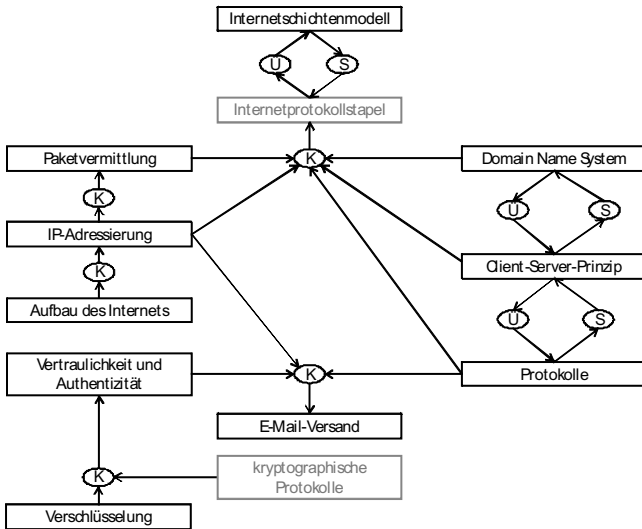


Abbildung 1: Fachwissenschaftlich begründete Wissensstrukturen mit untergeordneten (S), übergeordneten (Ü) und kombinatorischen (K) Beziehungen

gem und hilfreichen Vorwissen kann nicht dargestellt werden. Ein Beispiel dafür ist der Knoten „Vertraulichkeit und Authentizität“. Sowohl „Verschlüsselung“, wie auch „kryptographische Protokolle“ sind Teile, die zum Verstehen beitragen. Kryptographische Protokolle sind jedoch nicht notwendig, um Vertraulichkeit und Authentizität zu verstehen. Durch eine Reihe weiterer in der Abbildung dargestellter kombinatorischer Beziehungen wird deutlich, dass dort weitere Wissens Elemente ergänzt werden müssten, um eine vollständige Wissensstruktur zu beschreiben. Eine weitere Schwierigkeit ist damit verbunden, dass Wissens Elemente auf verschiedenen Abstraktionsstufen beschrieben werden können. So ist der „Internetprotokollstapel“ ein konkreteres Wissens Element zum „Internetschichtenmodell“. Die Frage, auf welcher Abstraktionsstufe Fachkonzepte dargestellt werden, wird so auch noch nicht beantwortet. Des Weiteren enthält der dargestellte Graph Zyklen. Die Frage danach, wie damit im Lehr-Lernprozess umgegangen werden kann, wird mit dieser Darstellung nicht beschrieben. Wegen der geschilderten Schwierigkeiten ist eine solche Darstellung zunächst noch ungeeignet als Grundlage zur Planung eines Unterrichtsprojekts.

3 Zugänglichkeit und Lernpfade

3.1 Erkenntnisse aus der Unterrichtsforschung

Fachdidaktisches Wissen, wie es durch die Wissensstrukturen dargestellt wird, beschreibt Erarbeitungsstrukturen. Nach Gagné [vgl. Ed00] ist Wissen aus den Grundbausteinen „Begriffe“ aufgebaut. Wissenserwerb ist der Erwerb von Regeln, die wiederum Ketten von Begriffen sind. Unter Regeln ist jede Art von Aussage zu verstehen, also außer Faktenwissen auch Konzept-, Handlungs- und Metawissen [vgl. AK01]. Voraussetzung des Lernens ist demzufolge zunächst das Bekanntsein der Begriffe. Regellernen bedeutet, die Beziehung zwischen den Begriffen zu erfassen. So sind die Begriffe Client und Server die Grundbausteine für die Regel des Client-Server-Prinzips, nach dem ein Client einen Dienst beim Server über eine Netzwerkverbindung abrufen. Darüber hinaus können aber auch Relationen zwischen Regeln identifiziert werden. Die „logischen Beziehungen“ bezeichnen Gemeinsamkeiten und Besonderheiten von durch Regeln beschriebenen Sachverhalten. Die „psychologischen Beziehungen“ sagen etwas darüber aus, in welcher Abfolge von mehreren Ausgangsregeln zu einer Folgerregel im Lehr-Lernprozess fortgeschritten werden kann. Gagné spricht dann von einer Lernstruktur, die den Weg von Begriffen über durch logische und psychologische Beziehungen verbundene Regeln zum Lernziel in Form von einer oder mehreren Regeln darstellt. Dieser so beschriebene Wissenserwerb ist die Voraussetzung für das Problemlösen als Anwendung von Regeln.

Zur Strukturierung des Unterrichts und zur Beschreibung des fachdidaktischen Wissens zu geeigneten Lernpfaden ist also nicht alleine die Sachlogik zu berücksichtigen. Jank und Meyer [JM05] sprechen von der Zugänglichkeit, die die Planung der Inhalte entscheidend beeinflusst.

„Die Sachlogik des Inhalts ist nichts ein für alle Mal Vorgegebenes. Sie ergibt sich erst aus der didaktischen Fragestellung. [...] Es ist unmöglich, allein ‚der Sache nach‘ zu entscheiden, was alles zum

Unterrichtsthema gehört. Vielmehr muss die Frage nach der Sachlogik des Themas durch die Frage nach der ‚Psycho-Logik‘ für die Schülerinnen und Schüler ergänzt werden. [...] Es muss herausgearbeitet werden, welche Zugänge, Arbeitsweisen und Anwendungsmöglichkeiten geeignet sind, um das Thema für die Schüler zu erschließen und umgekehrt die Schüler für das Thema aufgeschlossen zu machen.“ [JM05, S. 76]

Erst die Verknüpfung didaktischen und fachwissenschaftlichen Wissens sowie die Berücksichtigung zielgruppenspezifischer Merkmale erlaubt eine Strukturierung der Inhalte für den Unterricht. Die Zugänglichkeit ist mit der Frage befasst, wie ein Lernpfad aussehen kann. Hartmann et al. [HNR07] beschreiben am Beispiel von Datenbanken, wie für verschiedene Zielgruppen unterschiedliche Zugänge gewählt werden können. Sie weisen darauf hin, dass es durchaus verschiedene Zugänge geben kann. Unverzichtbarer Bestandteil des Zugangs sind Tätigkeiten der Lernenden. Aus der Forderung der Durchführbarkeit von Wissensstrukturen resultiert daher die Notwendigkeit, dass zu jeder Relation, die Wissens Elemente verbindet, mindestens eine Schüleraktivität existiert. Mit dem Kriterium der Zugänglichkeit kann die zuvor beschriebene Strukturierung der Wissens Elemente bereits deutlich übersichtlicher dargestellt werden, weil damit die Anzahl der Kanten reduziert wird.

Eine weitere Schwierigkeit der ausschließlich auf fachwissenschaftlichen Erkenntnissen beruhenden Darstellung sind die Zyklen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in Lehr-Lernprozessen die Intuition eine wichtige Rolle einnimmt. Voraussetzung für Intuition ist eine gewisse Vertrautheit mit dem Wissensbereich. Ein wichtiges Merkmal der Intuition ist der averbale Charakter. Auch wenn eine Schlussfolgerung, die auf Intuition beruht, oft offensichtlich ist, erfordert der averbale Charakter eine spätere analytische Überprüfung [vgl. Ed00, S. 143]. Die intuitive Verwendung von Fachkonzepten im Unterricht ist dann möglich, wenn eine gewisse Vertrautheit der Lernenden mit dem Wissensbereich vorhanden ist. Brinda schreibt dazu, dass

„es ganz typisch für schulische Bildungsprozesse ist, dass Fachkonzepte nicht immer von vornherein in ihrer vollen Komplexität im Unterricht eingeführt oder erarbeitet, sondern z. B. zunächst intuitiv verwendet, dann in einer einfachen Fassung eingeführt und später schrittweise im Lehr-Lern-Prozess ausgebaut werden.“ [Br04, S. 186]

Zyklen, die durch die enge Verknüpfung von Fachkonzepten auftreten, können damit aufgelöst werden. Die Entscheidung darüber, welche Fachkonzepte zunächst nur intuitiv im Lehr-Lernprozess verwendet werden, führt zu unterschiedlichen Abfolgen und damit zu unterschiedlichen Wissensstrukturen.

3.2 Beschreibung von Lernpfadvarianten zu Internetworking

In Abbildung 2 sind die Wissensstrukturen dargestellt, wie sie zur Planung des Unterrichtsprojekts genutzt wurden. Das Client-Server-Prinzip wurde zunächst intuitiv anhand der Komponenten des Schulrechnernetzes eingeführt, dann aber durch den Aufbau logischer Verbindungen im Schulrechnernetz mit den Rollen Client und Server auf Programme übertragen (S_1). Mit diesem Vorwissen wurde am Beispiel des Hypertext Transfer Protocol (HTTP) das Fachkonzept Protokoll (S_2) aufgegriffen. Der Relation zwischen S_1 und S_2 wird die Lernaktivität Abruf einer Webseite mit den Commandos des textbasierten Protokolls HTTP über eine logische Verbindung zugeordnet. Ein weiteres Bei-

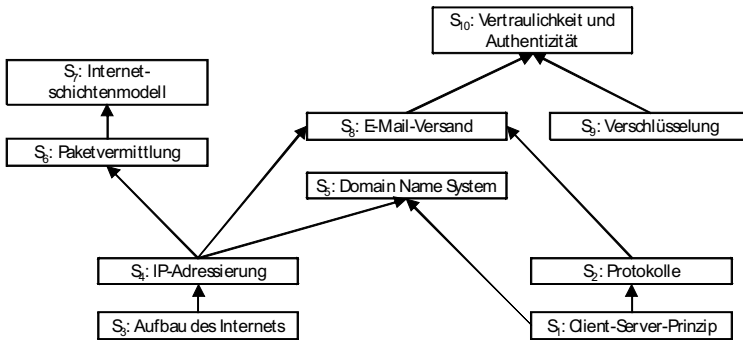


Abbildung 2: Wissensstrukturen zum Unterrichtsprojekt

spiel ist der Zugang zum E-Mail-Versand (S_8). Hieran wird deutlich, dass die Relationen zwischen den Knoten nicht immer notwendige Voraussetzungen darstellen. Denkbar ist auch, dass der E-Mail-Versand ohne Vorkenntnisse zur IP-Adressierung (S_4) und zu Protokollen (S_2) anhand einer Analogie zum traditionellen Postversand erarbeitet wird. Im Unterrichtsprojekt wurde der Zugang über S_2 und S_4 gewählt, um ein vertieftes Verständnis der nicht sichtbaren Abläufe zu ermöglichen und weil damit geeignete Schüler-tätigkeiten verbunden werden können. Der Relation zwischen S_2 und S_8 werden der Versand und der Empfang mit den textbasierten Protokollen SMTP und POP3 sowie die Darstellung zum Ablauf mit Zustands- und Interaktionsdiagrammen zugeordnet. Der Relation zwischen S_4 und S_8 wird die Analyse des Übertragungswegs einer E-Mail anhand des Quelltextes zugeordnet. Im Kopfdatenteil sind dabei die einzelnen Übertragungsstationen der E-Mail vom Absender bis zum letzten Mailserver als Internetadressen aufgeführt. Die IP-Adressen erlauben eine geographische Einordnung der einzelnen Stationen.

4 Verfeinerung der Wissensstrukturen

4.1 Lernzielebenen

Für die Unterrichtsplanung und die Bestimmung des Lernstands ist die Formulierung von Lernzielen unerlässlich. In diesem Abschnitt wird das Verhältnis zwischen Lernzielen und Wissensstrukturen untersucht. Brinda [Br04] ordnet den Knoten explizit Fachkonzepte und Fachmethoden bzw. Lerneinheiten zu. Neben der so formulierten Inhaltskomponente verbindet er die Knoten jedoch implizit auch mit einer Verhaltenskomponente und so auch mit einem Lernziel.

Steinert [St07] beschreibt einen ähnlichen Ansatz zur Darstellung von Lernzielen zur Lernzielerfolgsanalyse. Dabei repräsentieren Knoten in einem so genannten Lernzielgraph operationalisierte Lernziele. Verbindungen zwischen Lernzielen mit gerichteten Kanten, die Voraussetzungsrelationen darstellen, werden auf zwei Weisen begründet. Knoten können auf Grund der fachwissenschaftlichen Sachlogik in Relation zueinander

gesetzt werden. So gehören zur Beherrschung von Programmier-techniken objektorientierter Sprachen sowohl objektorientierte wie auch imperative Konzepte als Voraussetzung. Die zweite Möglichkeit, Relationen zwischen Knoten aufzuzeigen, besteht darin, Lernziele mit Hilfe der überarbeiteten Bloom'schen Lernzieltaxonomie [AK01] hinsichtlich ihres Anforderungsniveaus einzustufen. Mit Lernzielgraphen werden also sachlogische und damit allgemeingültige Relationen zwischen Inhalts- und Verhaltenskomponenten beschrieben. Fachdidaktisches Metawissen zur Bestimmung des Lernstands soll auch in den Wissensstrukturen darstellbar sein. Wie im vorhergehenden Abschnitt erläutert wurde, ist eine Einschränkung auf allgemeingültige Voraussetzungsrelationen für Wissensstrukturen jedoch nicht geeignet, weil sonst ein wichtiger Aspekt der Unterrichtsplanung – nämlich die Zugänglichkeit – nicht berücksichtigt werden kann.

Groblernerziele	Feinlernerziele
Die Schülerinnen und Schüler	
S ₁ : verstehen das Client-Server-Prinzip.	S ₁₁ : können verschiedene Bedeutungen der Begriffe Client und Server erklären. S ₁₂ : können erklären, was eine logische Verbindung zwischen zwei Programmen im Rechnernetz ist.
S ₂ : verstehen was ein Protokoll in Zusammenhang der Rechner-Rechner-Interaktion ist.	S ₂₁ : kennen das Hypertext Transfer Protocol. S ₂₂ : können den Ablauf zum Abruf einer Webseite mit einem Interaktionsdiagramm beschreiben.
S ₃ : verstehen den Aufbau des Internets.	S ₃₁ : können erklären, was ein Vermittlungsrechner ist. S ₃₂ : können lokale, nationale und internationale Internet Service Provider (ISP) unterscheiden.
S ₄ : verstehen, wie Rechner im Internet eindeutig identifiziert werden können.	S ₄₁ : können den Zusammenhang zwischen Rechner- und Netzidentifikation (Rechner- und Netz-ID) und der physischen Struktur des Internets erklären. S ₄₂ : können Rechner- und Netz-ID aus IP-Adresse und Netzmaske berechnen.
S ₅ : können die logische Struktur des Internet, die durch die Namensräume des Domain Name System (DNS) gebildet wird, beschreiben.	S ₅₁ : können die hierarchische Struktur der DNS-Namensräume mit einem Baumdiagramm beschreiben. S ₅₂ : wissen, was eine dezentrale Datenbank ist und welche Daten von einem DNS-Server verwaltet werden. S ₅₃ : können den Ablauf einer DNS-Abfrage beschreiben (iterative und rekursive Anfragen).
S ₆ : verstehen wie Daten im Internet vermittelt werden.	S ₆₁ : können die drei wichtigsten Angaben im Kopfteil eines IP-Pakets erklären S ₆₂ : können illustrieren, wie ein IP-Paket anhand von Weiterleitungstabellen vermittelt wird.

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung von Grob- und Feinlernzielen zu S₁–S₆

Peterßen [Pe94] unterscheidet in der Unterrichtsplanung drei Ebenen von Lernzielen. Richtziele sind demnach sehr abstrakt und erlauben alternative Interpretationen. Grobziele konkretisieren die Richtziele soweit, dass viele der möglichen Interpretationen ausgeschlossen werden können. Feinziele sind so konkret, dass nur noch eine Interpretation möglich ist. Ziele auf den verschiedenen Ebenen werden zu verschiedenen Zeitpunkten der Unterrichtsplanung eingesetzt. Grobziele werden durch Elementarisierung und Operationalisierung zu Feinzielen konkretisiert. Erst operationalisierte Lernziele lassen dann eine Lernerfolgskontrolle zu. Im Rahmen der Unterrichtsplanung beeinflussen sich Ziel-, Inhalts- und Methodenentscheidungen gegenseitig. Die Elementarisierung der Lernziele kann daher nicht durch logische Deduktion aus Lernzielen der höheren

Stufe abgeleitet werden [vgl. JM05, S. 123ff]. Wissensstrukturen können dann entsprechend auf verschiedenen Lernzelebenen beschrieben werden. Die Darstellung auf unterschiedlichen Ebenen erlaubt es, verschiedene Aspekte darzustellen. Deutlich wird das an den unterschiedlichen Anforderungen, die aus dem Anspruch der Übersichtlichkeit für die Darstellung zum Zwecke der Unterrichtsplanung und für die Genauigkeit zur Gestaltung von Lernstandskontrollen begegnet werden muss. Aus den Überlegungen ist eine passende Darstellung der Wissensstrukturen zu beschreiben. Ein möglicher Ansatz besteht darin, die graphische Darstellung der Erarbeitungsstrukturen um eine tabellarische Darstellung der Lernziele zu erweitern. Ein Knoten repräsentiert dann das Grobziel einer Unterrichtseinheit. In einer Tabelle werden Grobziele durch Feinziele konkretisiert. Ein Ausschnitt der Tabelle zu dem beschriebenen Unterrichtsprojekt ist in Tabelle 1 dargestellt.

Die Richtziele für das Unterrichtsprojekt waren, dass die Lernenden Internetanwendungen zur Beschaffung von Information und zur Kommunikation unter Einbezug von Sicherheitsanforderungen nutzen. Diese Richtziele wurden durch Inhaltskomponenten der Grobziele unter Berücksichtigung möglicher Schülertätigkeiten konkretisiert. Es wurden zum einen grundlegende Funktionsweisen und zum anderen Konsequenzen für die Nutzung typischer Internetanwendungen untersucht.

4.2 Relationstypen für Internetworking

Um eine fachdidaktische Diskussion der Strukturierung von Lernzielen zu ermöglichen, müssen die Relationen zwischen den Lernzielen nachvollziehbar sein. Dazu ist zum einen eine Konkretisierung der Unterrichtsinhalte durch die Ergänzung von Beispielen bzw. Analogien an denen die Fachkonzepte erarbeitet werden sollen notwendig. Zum anderen müssen die Relationen näher spezifiziert werden. Am Beispiel Internetworking konnten verschiedene Typen von Relationen identifiziert werden [Fr08]:

1. *Beobachtbare Objekte vor nicht sichtbaren Abläufen.* Die Struktur und auch die Abläufe zum Datenaustausch von Internetanwendungen werden zumeist durch eine graphische Benutzungsschnittstelle vor Benutzern verborgen. Ein Beispiel dafür sind IP-Adressen und die Weiterleitung von Datagrammen im Internet. Während die IP-Adresse eines Rechners für Anwender einsehbar ist, kann die Weiterleitung von Datagrammen nicht beobachtet werden. Es ist daher sinnvoll, zunächst den Aufbau von IP-Adressen und damit die darin enthaltene Information zu untersuchen, bevor der Ablauf zur Weiterleitung verstanden werden kann.

2. *Zuerst das untergeordnete Fachkonzept und dann das übergeordnete Fachkonzept.* Im Sinne von Begriffshierarchien [Ed00, S. 127f] können Fachkonzepte hierarchisch strukturiert werden. Dabei wird dem übergeordneten Fachkonzept ein größerer Umfang und dem untergeordneten Fachkonzept ein größerer Inhalt beigemessen. Zwischen solchen zwei Knoten besteht eine „ist ein“-Relation. Ein Beispiel dafür ist die Untersuchung des einfachen textbasierten Hypertext Transfer Protocols (HTTP), an dem typische Eigenschaften von Protokollen wie Kopfdaten- und Nutzdatenteil, wie auch spezifizierte Kommandos untersucht werden können. Im Anschluss daran kann auch das abstrakte Konzept der Protokolle eingeführt werden.

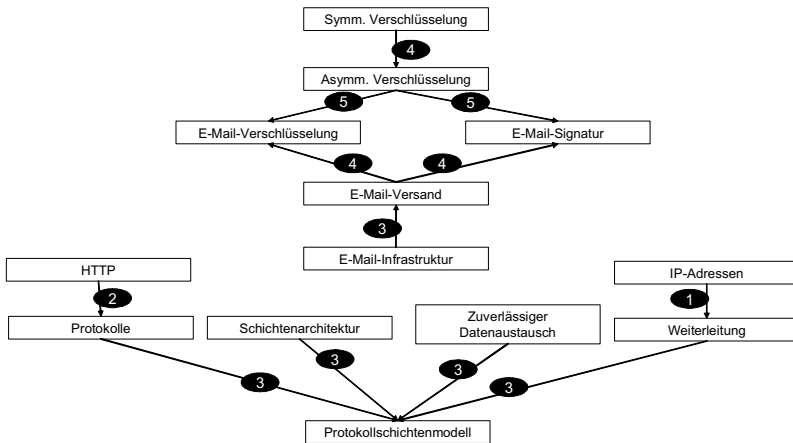


Abbildung 3: Verschiedene Typen von Relationen in zwei Ausschnitten der Wissensstrukturen auf der Ebene der Feinlernziele

3. *Einzelne Elemente vor zusammengesetzten Wissens-elementen.* Damit wird eine „ist Teil von“-Relation beschrieben. Die Berücksichtigung solcher Relationen im Lehr-Lernprozess führt dazu, dass komplexe Elemente Schritt-für-Schritt eingeführt werden. Ein Beispiel dafür ist das Protokollschichtenmodell, wenn zuvor Dienstmodelle und Protokolle einzelner Schichten untersucht werden.

4. *Ein intuitives Beispiel zur Illustration, als Kontext oder zur Schaffung eines Problembewusstseins.* Ein Beispiel dafür ist der Zugang zur Bewertung von asymmetrischen Verschlüsselungsverfahren. Anhand eines einfachen symmetrischen Verfahrens (z. B. Caesar-Chiffre) können Brute-Force-Angriff und Angriffe mit statistischer Analyse untersucht werden, die zu den Bewertungskriterien Schlüssellänge und statistische Robustheit führen.

5. *Deklaratives Wissen vor Handlungswissen.* Dabei geht es um die Unterscheidung von „wissen was“ und „wissen wie“. Ein Beispiel dafür ist die Verschlüsselung und die Signatur von E-Mails. Das Handlungswissen zum Vorgehen für den Versand bzw. Empfang einer sicheren Nachricht baut auf Wissen darüber auf, wie öffentliche und geheime Schlüssel in den Verfahren der asymmetrischen Verschlüsselung eingesetzt werden.

Dieses fachdidaktische Wissen kann dann wie in Abbildung 3 dargestellt durch die Relationen der Wissens-elemente repräsentiert werden.

5 Schlussfolgerungen

Bei der Gestaltung von Wissensstrukturen besteht ein Konflikt zwischen möglichst allgemein formulierbaren Zusammenhängen zwischen Wissens-elementen und der Darstellung von konkreten Lernpfaden mit möglichen Varianten. Ein hoher Anspruch an All-

gemeingültigkeit führt dazu, dass wichtige Entscheidungen, die im Laufe der Planung von Lehr-Lernprozessen getroffen wurden, nicht mehr dargestellt werden. Um diese Entscheidungen nachvollziehbar machen zu können, ist ein Verzicht auf die Darstellung möglicher alternativer Zugänge in einer Wissensstruktur notwendig. Es erscheint daher sinnvoll, dass Wissensstrukturen spezifisch für einen konkreten Lehr-Lernprozess beschrieben werden, in dem aber Varianten von Lernpfaden zugelassen sind.

Kanten bzw. Relationen in den Wissensstrukturen existieren nur dann, wenn sich auch geeignete Lernaktivitäten zuordnen lassen. Lerntheorien zeigen auf, welche Relationen geprüft werden können. Die Anforderung der Durchführbarkeit führt dazu, dass diese Kanten zunächst Kandidaten sind. Die Abstraktionsebene der Grobziele hat sich als geeignet erwiesen, um diese Relationen zu beschreiben. Eine fundierte Prüfung von Wissensstrukturen erfordert dann auch eine empirische Erprobung geeigneter Schülertätigkeiten.

Die Knoten bzw. Wissens Elemente sind Lernziele. Dennoch eignen sich die Wissensstrukturen nur eingeschränkt zur Bestimmung des Lernstands. Im Gegensatz zu Lernzielgraphen impliziert das Erreichen eines Knotens nicht automatisch das Erreichen der Vorgängerknoten. Denn sonst müssten die Wissensstrukturen eindeutig sein. Das ist aber nicht möglich, weil nicht nur logische Beziehungen zwischen Wissens Elementen existieren können. Während die Knoten in Lernzielgraphen Zustände des Bildungsstandes beschreiben, können in den Wissensstrukturen wie in einem Petri-Netz die Zustände durch eine Markierung der Stellen (d. h. der Knoten) dargestellt werden.

Literaturverzeichnis

- [AK01] Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R. (Hrsg.): A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. Longman, New York, 2001.
- [BS02] Brinda, T.; Schubert, S.: Didactic System for Object-oriented Modelling. In: Watson, D.; Andersen, J. (Hrsg.): Networking the Learner. Computers in Education (IFIP World Conference on Computers in Education – WCCE 2001, 29.07.-03.08.2001, Copenhagen, (Denmark), Boston, Kluwer, 2002, S. 473–482.
- [Br04] Brinda, T.: Didaktisches System für objektorientiertes Modellieren im Informatikunterricht der Sek. II, Universität Siegen, Dissertation, Siegen, 2004.
- [Ed00] Edelman, W.: Lernpsychologie. 6. Auflage, Verlagsguppe Beltz, Weinheim, 2000.
- [Fr08] Freischlad, S.: Knowledge Networks for Internetworking in the Process of Course Design. In: Proceedings of IFIP conference on “ICT and Learning for the Net Generation”, 07.07.-10.07.2008, Kuala Lumpur (Malaysia), 2008.
- [HNR06] Hartmann, W.; Näf, M.; Reichert, R.: Informatikunterricht planen und durchführen. Springer, Berlin, 2006.
- [JM05] Jank, W.; Meyer, H.: Didaktische Modelle. Cornelsen, Berlin, 2005.
- [Pe94] Peterßen, W. H.: Handbuch Unterrichtsplanung: Grundfragen, Modelle, Stufen, Dimensionen. Ehrenwirth, München, 1994.
- [SS04] Schubert, S.; Schwill, A.: Didaktik der Informatik. Spektrum, Heidelberg, 2004.
- [St07] Steinert, M.: Lernzielgraphen und Lernzielerfolgsanalyse. In: Schubert, S. (Hrsg.): Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis. LNI Bd. P-112. GI, Bonn, 2007, S. 147–158.