

Protokolle

Ein forschender Zugang zur Entwicklung von Erklärungsmodellen für die Kommunikation in Rechnernetzen
(Teil 1)

von Daniel Jonietz

„Entdecken heißt:
Ein neues wildes Tier belauschen,
bis ich es kenne.“

Martin Wagenschein (1962)

„Wer den Grundsatz anwenden will,
daß die Schüler suchen und forschen,
muß sich bewußt sein,
daß diese Methode weitaus die schwierigste
der bekannten Unterrichtsformen ist.“

Fries/Rosenberger, 41976

los und fehlerfrei funktionieren, so sind Regeln nötig. Analyse und Synthese solcher Regelwerke gehört zu den Aufgaben der Informatik und geschieht unter dem Oberbegriff des *Protocol Engineering*.

Die Schulinformatik beschäftigt sich trotz des hohen Verbreitungsgrades solcher Systeme bisher kaum mit Kommunikation und Protokollen. Es existieren wenige Vorschläge zur Umsetzung im Unterricht; die meisten zielen auf Anwenderschulung ab und hinterfragen selten die ablaufenden Vorgänge. Zudem sind diese Unterrichtseinheiten häufig auch entweder für andere Lerngruppen als den Informatikkurs angelegt oder besonders programmierlastig. Zum Thema *Kommunikationsprotokolle* selbst existiert für die Schule so gut wie nichts.

Das Ziel dieser Beitragsfolge soll daher in der Darstellung des Entwurfs, der Erprobung und der anschließenden kritischen Auswertung einer Unterrichtseinheit liegen, mit der die Funktion von Kommunikation zwischen Rechnern erarbeitet werden soll.

Dazu soll der Themenkreis *Kommunikationssystem/Kommunikationsprotokoll* einer genauen Sachanalyse unterzogen werden, die wesentliche Ideen der Thematik offenbaren soll. Diese wesentlichen Ideen sollen dann durch Ergänzen geeigneter Beispiele mit konkreten Inhalten gefüllt werden.

Weiterhin werden in diesem Beitrag konkrete didaktische Entscheidungen vorgestellt und vor dem Hintergrund der forschenden Lernmethode zu einer Unterrichtsreihe ausgebaut. Über die Erprobung dieser Lernsequenz wird dann anschließend berichtet und kritisch reflektiert. Dabei ist natürlich auf eine Bindung an den bisher erfolgten Unterricht in einem realen Kurs zu achten – die Reihe soll schließlich nicht ohne Zusammenhang bleiben. Zugleich soll diese Bindung aber nicht zu eng sein, um eine wünschenswerte Übertragbarkeit auf andere Kurse zu ermöglichen, damit die Unterrichtsfolge genügend Anregungen für den eigenen Unterricht der Leserinnen und Leser dieser Zeitschrift bieten kann.

Weltumspannende Kommunikation

Kommunikationssysteme umgeben uns in zunehmendem Maße. Im Zeitalter von Information und Kommunikation ist unbegrenzte Erreichbarkeit anscheinend eines der höchsten Ziele. Mobilfunkgesellschaften weigern sich, ihren Kunden die Mailbox abzuschalten, da diese dann nicht immer erreichbar seien. Kommunikation wird augenscheinlich immer öfter, immer umfangreicher, immer schneller betrieben. Immer mehr Geräte interagieren mit ihrer räumlich unmittelbar nahen und der ferneren Umgebung; Mobiltelefone steuern Fernseher und können neben Tönen auch Bilder und Filme aufzeichnen und an andere Teilnehmer versenden.

Betrachtet man beliebige Kommunikationssysteme nicht aus technischer, sondern informatischer Sicht und auf der Ebene der Geräte selbst, so zeigt sich: Soll Kommunikation zwischen Geräten reibungs-

Dieser Beitrag ist beim **Wettbewerb für Unterrichtsbeispiele** auf der 10. Fachtagung „Informatik und Schule“ 2003 in München mit dem **1. Preis** ausgezeichnet worden (vgl. auch LOG IN, Heft 125/2003, S. 9).

Die vorliegende Fassung wurde für LOG IN leicht überarbeitet.

Grundlagen technischer Kommunikation

Zur Definition

Damit Menschen miteinander kommunizieren können, müssen sie dies in einer Sprache tun, die alle Beteiligten verstehen. Dies trifft in analoger Weise für Rechneranwendungen zu: Zwei Anwendungen, die über ein Rechnernetz kommunizieren, also Daten austauschen sollen, benötigen eine Sprache, deren Syntax und Semantik beiden Partnern bekannt ist. Durch die Festlegung genauer Regeln für den Ablauf der Kommunikation können Rechner völlig unterschiedlicher Architektur unter verschiedenen Betriebssystemen über Netze verbunden werden.

Ein zentrales Konzept zur Behandlung der entstehenden Probleme bei Rechnersystemen, die aufgrund ihrer räumlichen Trennung voneinander mittels Kommunikationsstrukturen verbunden werden, ist das Konzept des *Protokolls*. Unter Protokollen werden in der Informatik Regeln verstanden, die den Ablauf und die Form einer Interaktion zwischen zwei Partnern eines verteilten Systems bestimmen. Beide Partner müssen sich dabei auf derselben Schicht eines Kommunikationssystems befinden (s. u.) und über einen offenen Kommunikationskanal verfügen. Protokolle klären dabei im Detail,

- ▷ welche Vokabeln bei der Kommunikation für Anfragen, Aufträge und Antworten verwendet werden dürfen,
- ▷ wie sich die Partner beim Senden und Empfang einer Vokabel verhalten,
- ▷ wie die auszutauschenden Nachrichten formatiert und codiert sein müssen,
- ▷ welche Annahmen über die Dienste der tiefer liegenden Schicht gemacht werden.

Einfach ausgedrückt ist ein Protokoll eine Sammlung spezieller Verfahren und Regeln, die dazu dienen, elektronische Kommunikation zwischen Rechnern zu ermöglichen (vgl. Leien/Wilensky, 1998, S. 31).

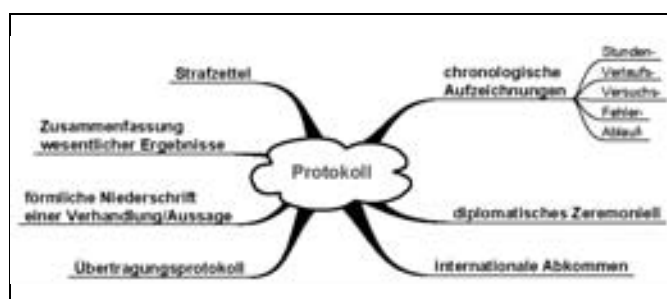


Bild 1: Der Begriff „Protokoll“ taucht in verschiedenen Kontexten auf.

Etymologisch bedeutet Protokoll soviel wie „Sammlung von Regeln“. Im Alltag taucht der Begriff in verschiedenen Kontexten auf (siehe Bild 1).

Im täglichen Leben können wir Vereinbarungen über zu verwendende Sprachen oder Gestiken als Protokolle betrachten. Beispiele finden sich beim Telefonieren (Aufbau der Verbindung; der Angerufene meldet sich mit Namen; der Anrufende meldet sich und grüßt; Führen des Gespräches; Verabschiedung und Abbau der Verbindung). Eine genaue Festlegung der Verfahrensweise soll helfen, Probleme zu vermeiden: Angenommen, eine Telefonverbindung bricht zusammen und beide Gesprächsteilnehmer würden gleichzeitig versuchen die Verbindung durch Rückruf wieder herzustellen. Dies führte unweigerlich zu einer dauerhaften Unterbrechung, das Gespräch könnte nicht wieder aufgenommen werden, da beide Anschlüsse besetzt wären. Vereinbaren die Partner dagegen, dass der Anrufer im Falle einer Unterbrechung zurückruft und der Angerufene auf den Rückruf wartet, entsteht kein Problem.

Architekturkonzepte

Komplexe Kommunikationssysteme werden in verschiedene Schichten eingeteilt und das so entstehende Modell wird als *Schichtenmodell* bezeichnet. Jede Schicht ist dabei für ganz spezielle Aufgaben verantwortlich und stellt entsprechende Dienste den anderen Schichten transparent zur Verfügung. Von besonderer Bedeutung ist dabei das *OSI-Referenzmodell*, mit dem sieben verschiedene Schichten definiert werden (OSI = *Open System Interconnection*; deutsch: Verbindung offener Systeme). In tatsächlichen Realisierungen, etwa lokalen Netzen oder dem Internet, sind wesentlich weniger Schichten zur Strukturierung verwendet worden.

Im OSI-Referenzmodell werden folgende Schichten mit ihren Aufgaben benannt:

- ▷ *Bitübertragungsschicht (oder: physikalische Schicht)*: Übertragung von Folgen einzelner Bits (Bitstrom) zwischen den physikalisch verbundenen Systemen, einschließlich Codierung und Modulation.
- ▷ *Sicherungsschicht (oder: Verbindungsschicht)*: Zerlegung des Bitstroms in nummerierte Datenpakete (englisch: frames; deutsch: Rahmen) und Übertragung dieser Pakete, einschließlich der Erkennung und Behandlung verfälschter und verlorener Pakete. Aufgrund der unterschiedlichen Aufgaben ist diese Schicht in lokalen Netzen in zwei logische Unterschichten aufgeteilt:
 - (1.) *Medium Access Control* (abgekürzt: MAC; deutsch: Zugriffskontrolle auf die Medien), die den Zugriff auf das Übertragungsmedium kontrolliert;
 - (2.) *Logical Link Control* (abgekürzt: LLC; deutsch: logische Verbindungskontrolle), die die Kontrolle des Datenflusses und die Fehlerbehandlung übernimmt.
- ▷ *Vermittlungsschicht (oder: Netzwerkschicht)*: Übertragung von Paketen und Leitwegbestimmung, d.h. Verbindungsaufbau zwischen den beteiligten Rechnern und zusätzlich Kontrolle der Verbindung einschließlich Reaktion auf erkannte Verbindungsfehler.

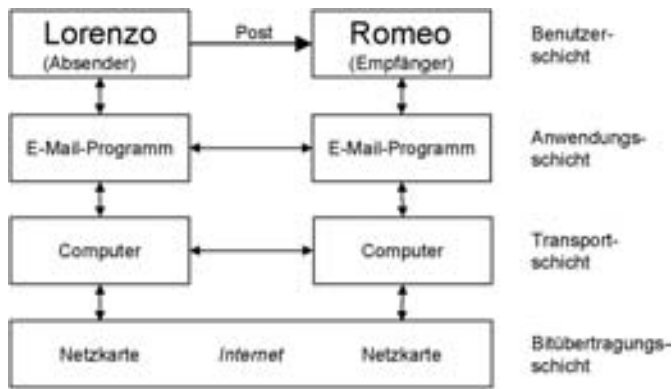


Bild 2: Schichtenarchitektur an einem Beispiel.

▷ **Transportschicht:**

Übertragung von Datenpaketen zwischen Betriebssystemprozessen, einschließlich Adressierung des Partners, der chronologische Einordnung der Reihenfolge der Datenpakete sowie der Fehlererkennung und Fehlerbehandlung. Diese Schicht bildet ein Verbindungsglied zwischen dem Transport- und dem Anwendungssystem.

▷ **Sitzungsschicht (oder: Kommunikationssteuerungsschicht):**

Synchronisation zur Koordinierung des Datenstroms einschließlich Verbindungsauf- und -abbau.

▷ **Darstellungsschicht (oder Präsentationsschicht):**

Darstellung, Dekomprimierung, Entschlüsselung, d.h. Umwandlung der Daten auf der Seite des Empfängers in ein Format, das in diesem Rechner intern eingesetzt wird.

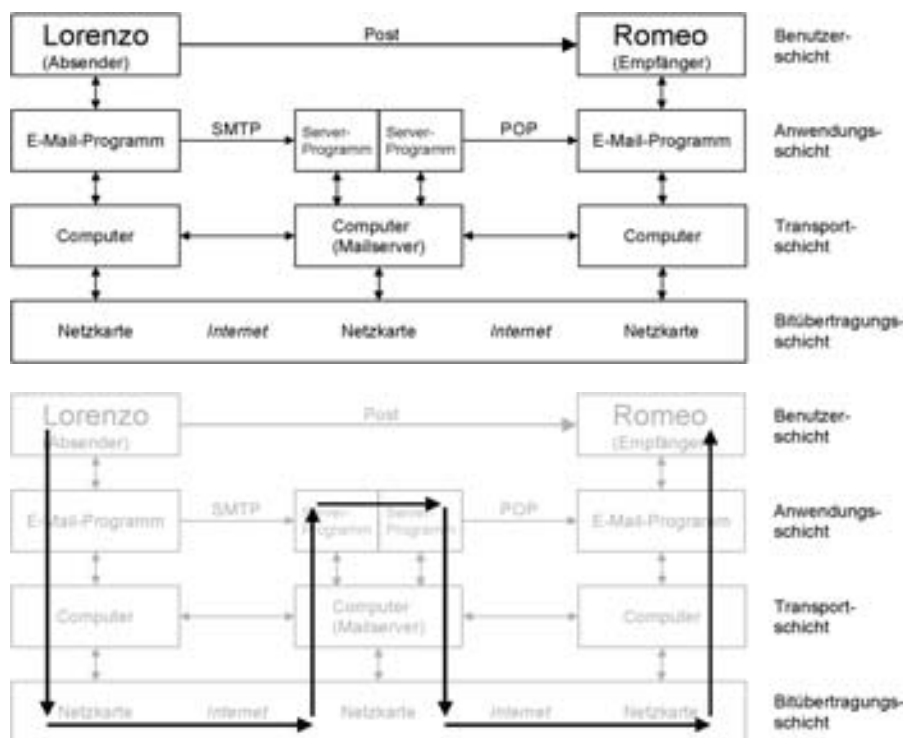
▷ **Anwendungsschicht:**

Bindeglied zur Benutzeranwendung; stellt dem Anwendungsprogramm des Empfängers Dienste zur Verfügung, mit denen z.B. benutzerseitig die Verbindung auf- oder abgebaut, der Datentransfer überwacht oder auf eine Datenbank zugegriffen werden kann (ASE; Abkürzung für: Application Service Elements; deutsch: elementare Anwendungsdienste).

Je nach Schwerpunktsetzung der Betrachtung können der Übersichtlichkeit halber einzelne Schichten ausgelassen werden, indem deren Funktionalität anderen Schichten

Bild 3 (rechts oben): Schichtenarchitektur mit weiteren Details.

Bild 4 (rechts): Weg der Nachricht durch die Schichten eines Kommunikationssystems.



zugeordnet wird. Die Bilder 2, 3 und 4 zeigen Beispiele einer Schichtenarchitektur unter verschiedenen Blickwinkeln, wobei der Schwerpunkt jeweils auf der Anwendungsschicht liegt und die Funktionalitäten der Sicherungs- und Vermittlungsschicht der Transportschicht zugeschlagen wurden.

Bei dem Beispiel in den Bildern 2, 3 und 4 handelt es sich um die Übertragung einer E-Mail von Lorenzo (der die E-Mail absendet) an Romeo (der die E-Mail empfängt). Lorenzo verfasst und versendet die E-Mail mithilfe eines Kommunikationsprogramms, das die aufbereitete E-Mail nach den Regeln des *Simple Mail Transfer Protocol* (kurz: SMTP; definiert in RFC 2821 – vgl. Klensin, 2001) an einen E-Mail-Server leitet, wobei die Darstellung hier vereinfacht ist. Dort wird die E-Mail gelagert, bis sie von Romeo abgeholt wird. Dazu bedient sich Romeo einer Kommunikationsanwendung, mit der versucht wird, die E-Mail nach den durch das *Post Office Protocol* (kurz: POP; definiert in RFC 1939 – vgl. Myers/Rose, 1996) vereinbarten Regeln vom Mail-Server abzuholen und sie Romeo zur Ansicht zu bringen.

Protokoll oder Dienst?

Eng verwandt mit dem Konzept des Protokolls ist das Konzept des Kommunikationsdienstes. Während Protokolle sich auf das interne Verhalten aus Sicht der beteiligten Protokollinstanzen beziehen, beschreibt der zugehörige Kommunikationsdienst das abstrakte Verhalten aus Sicht der Dienstanwender im Sinne einer Schnittstellenbeschreibung. Das Protokoll macht Annahmen über die Dienste der tieferen Schicht, der Dienst über die Dienstanwender. Genutzt wird ein Dienst von der nächst höheren Schicht, die diesen verfeinert und qualitativ verbessert wiederum bereitstellt. Die

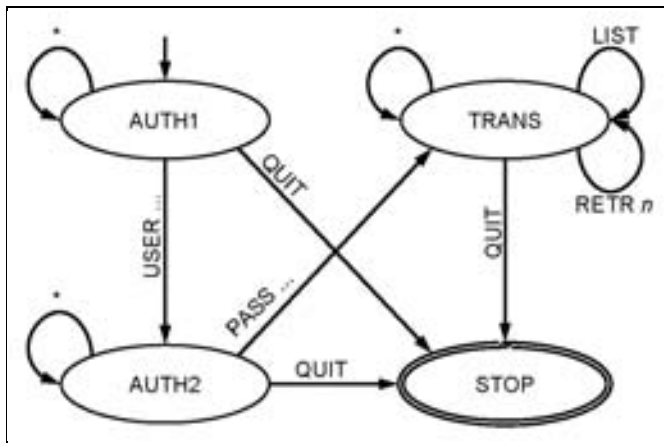


Bild 5: Vereinfachtes POP – Zustandsübergangsgraph.

Schicht n stellt der Schicht n+1 Dienste, unter Verwendung von Diensten der Schicht n-1, zur Verfügung.

Formale Protokollbeschreibungen

Schon einfache Protokolle lassen sich in natürlicher Sprache kaum eindeutig beschreiben, zur präzisen Spezifikation des Systemverhaltens werden daher formale Sprachen eingesetzt (vgl. Hogrefe, 1989, S. 173). Dabei wird stets nur das erwartete Verhalten beschrieben, nicht aber, wie dieses Verhalten realisiert wird.

Eine weit verbreitete Modellvorstellung zur Beschreibung von Verhalten ist die des *Automaten*: Ein endlicher Automat (hier werden grundsätzlich nur endliche Automaten betrachtet; das Wort „endlich“ entfällt also ab sofort) ist ein selbstständiges System, das Information aus der Umwelt aufnehmen und verarbeiten kann und Information an die Umwelt ausgibt. Der Automat kann verschiedene Zustände annehmen (die für einen Betrachter „von außen“ nicht zwangsläufig sichtbar sein müssen) und reagiert auf Eingaben abhängig vom aktuellen Zustand. Zur Darstellung des Automatenverhaltens werden üblicherweise Zustandstabellen oder Zustandsübergangsgraphen verwendet. Ein Zustandsübergangsgraph ist ein Graph mit Knoten und gerichteten Kanten. Jeder Knoten steht für einen Zustand, die Kanten für die Zustandsübergänge (*Transitionen*). Werden Ein- und Ausgaben an den Kanten vermerkt, so spricht man von *Mealy-Automaten*. (Protokollbeschreibungen durch Mealy-Automaten werden mit wachsender Komplexität des Protokolls schnell unübersichtlich; hier sollen sie deshalb nicht verwendet werden.)

Die Ausdruckskraft einfacher Beschreibungen von Automaten durch Zustandsübergangsgraphen (siehe Bild 5) oder -tabellen (siehe Bild 6) ist nicht immer stark genug. Dies zeigt sich beispielsweise bei zu erfolgreichen Fallunterscheidungen. Das liegt daran, dass sich der Server selbst in einem gewissen Zustand befindet: Es kann für einen Benutzer eine E-Mail vorliegen oder eben – zu einem anderen Zeitpunkt – auch nicht. Diese Schwierigkeit lässt sich in der Zustandsübergangstabelle erahnen, die daher für diese Art der Beschreibung

Aktueller Zustand	Gelesener Befehl	Ausgabe / Aktion	Neuer Zustand
AUTH1	USER name	+OK / -	AUTH2
	QUIT	+OK / Stop	-
	Sonst	-ERR / -	AUTH1
AUTH2	PASS password	{ +OK / - -ERR / Stop	{ TRANS -
	QUIT	+OK / Stop	-
	Sonst	-ERR / -	AUTH2
TRANS	RETR n	{ +OK / Mail Nr. n ausgeben -ERR / -	TRANS
	LIST	+OK / Liste der Mails ausgeben	TRANS
	QUIT	+OK / Stop	-
	Sonst	-ERR / -	TRANS

Bild 6: Vereinfachtes POP – Zustandsübergangstabelle.

nur als Notbehelf akzeptiert werden kann. Im Graphen wird ein Versuch der Darstellung solcher Mehrdeutigkeiten nicht unternommen.

Die übliche Darstellung von Protokollinstanzen wird durch die Beschreibung mittels *erweiterter endlicher Automaten* geprägt. Die verwendeten Erweiterungen beziehen sich dabei im Wesentlichen auf Spontanübergänge (Epsilon-Automaten), Indeterminismus, Transitioinszeiten (Zustandsübergänge haben eine „Dauer“) und die Einführung von Daten und Zeitgebern (englisch: timer).

Einfache Darstellungen des Automaten wie Zustandstabellen oder Zustandsübergangsgraphen erweisen sich zur Groborientierung als recht nützlich, können jedoch nicht alle erforderlichen Detailinformationen darstellen. Zur Darstellung von bei Zustandsübergängen zu erfolgenden Aktionen sind feinere Beschreibungstechniken erforderlich.

Zur Beschreibung (nicht nur) von Kommunikationssystemen in Form kommunizierender Prozesse wird gerne die international standardisierte Spezifikations- und Beschreibungssprache SDL (*Specification and Description Language*; siehe auch Kasten „SDL – Specification and Description Language“ und vgl. auch Hogrefe, 1989) verwendet.

Beschreibung interagierender Systeme

Zur Beschreibung des Verhaltens von Kommunikationssystemen wird nicht nur ein einzelner Automat, son-

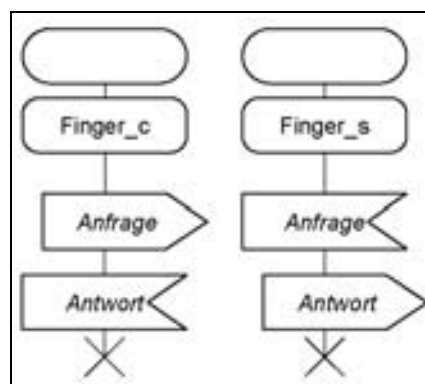


Bild 7: Ein Finger-Kommunikationssystem in SDL – links der Client, der eine Information anfordert, rechts der Server.

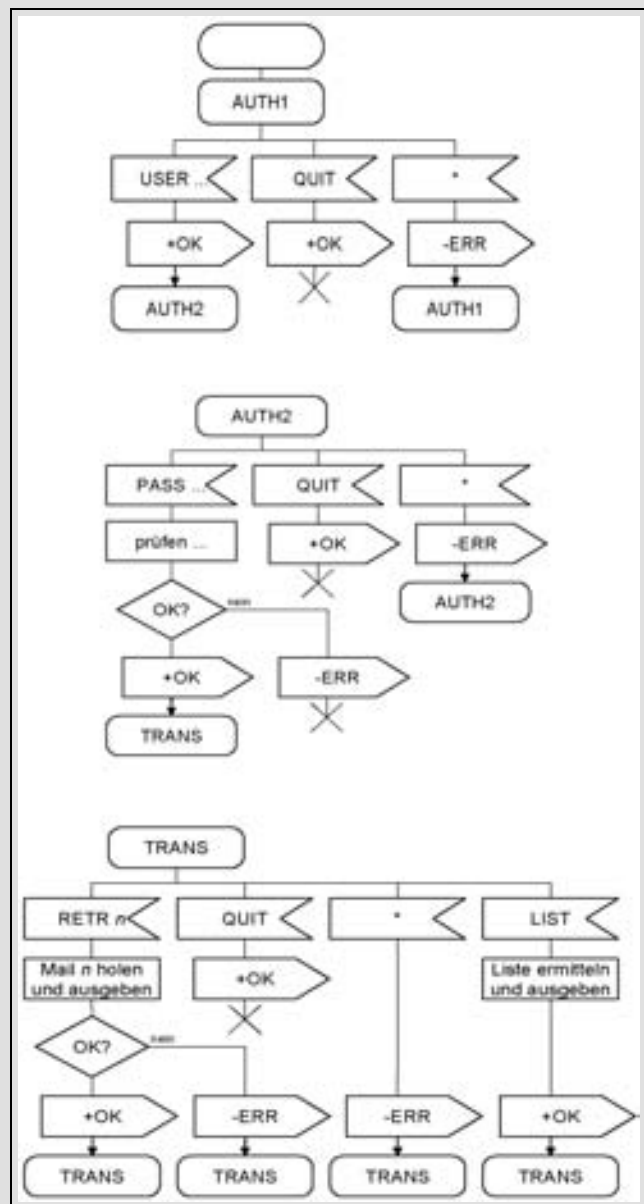
SDL – Specification and Description Language

Die Specification and Description Language (SDL) ist eine von der ITU-T (*International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) in den Standards (Recommendations) Z.100 ff. definierte Sprache. Sie ist eine formale Sprache, die mit dem Ziel definiert worden ist, das Verhalten von Telekommunikationssystemen zu spezifizieren und zu beschreiben, insbesondere in den Funktionsbereichen Anrufbearbeitung, Wartung, Fehlerbehandlung, Systemkontrolle sowie beim Entwurf von Datenkommunikationsprotokollen. Die (verteilten) Systeme werden mittels erweiterter Zustandsmaschinen (Prozesse) beschrieben, das heißt, die verschiedenen Prozesse werden über Kanäle verbunden und können darüber Signale austauschen und sich somit gegenseitig beeinflussen. Aufgrund ihrer Eigenschaften ist SDL generell zur Verhaltensspezifikation von Echtzeitsystemen geeignet (vgl. auch SDL Forum Society).

Ein SDL-Programm kann entweder als Text (Textual Phrase Representation/PR) oder in grafischer Form (Graphic Representation/GR) dargestellt werden.

Die erste Version von SDL aus dem Jahr 1976 war nur zur Spezifikation von Verhalten in Telekommunikationssystemen gedacht. Inzwischen hat sich SDL zu einer objektorientierten Programmiersprache zur formalen Beschreibung von Echtzeitsystemen, von verteilten Systemen und von Kommunikationssystemen entwickelt. SDL wird heute unter anderem sowohl bei der Entwicklung von Protokollen und Systemen in der Telekommunikation als auch in der Luft- und Raumfahrt, in der Automobilindustrie und in der Computerindustrie verwendet. Zuletzt wurde SDL 2004 unter Einfluss von UML 2.0 überarbeitet.

Abbildungen (rechts): Eine SDL-Spezifikation eines vereinfachten POP3.



dem ein durch Interaktion synchronisiertes System von Automaten eingesetzt. Die Interaktion geschieht durch den Austausch von Signalen bzw. Nachrichten.

In Bild 7 (vorige Seite) wird z. B. ein ganz einfaches System von zwei (in SDL dargestellten) Automaten gezeigt, die ein Kommunikationssystem zum Austausch von Informationen gemäß des *Finger-User-Information-Protocol* (vgl. Zimmermann, 1991) darstellen. Symmetrische Systeme – bestehend aus zwei Partnern – können dabei über ein Paar *dualer* Automaten beschrieben werden. E-Mail-Kommunikationssysteme sind nicht symmetrisch.

Zeitlicher Verlauf

Zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs einer Kommunikation haben sich *Zeit-Sequenz-Diagramme* (auch: Pfeildiagramme) etabliert. Im Bild 8 wird exemplarisch

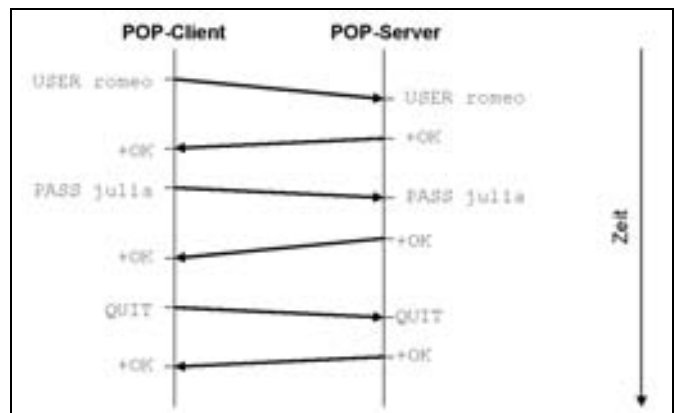


Bild 8: Zeit-Sequenz-Diagramm einer einfachen POP-Kommunikation.

eine einfache, erfolgreiche Kommunikation zwischen einem POP-Server und einem POP-Client gezeigt.

Unerwünschte Protokoll-Eigenschaften

Bei unvorsichtig spezifizierten Protokollen können verschiedene Probleme auftauchen; die wichtigsten sind:

- ▷ nicht-erreichbare Zustände,
- ▷ Blockaden (nicht-verlässbare Zustände),
- ▷ Verklemmungen (jeder Automat für sich könnte in einen Folgezustand übergehen, das Gesamtsystem ist jedoch blockiert).

Aufgabe der *Protokollanalyse* ist es, solche Schwachstellen in Protokollen aufzudecken. Systematische *Protokollsynthese* soll zur Entwicklung problemfreier Protokolle beitragen. Es sind systematische Verfahren zur Aufdeckung und Behebung solcher Probleme bekannt, die auf der Grundlage eines Automatenmodells des Protokolls arbeiten. Da diese Verfahren schon aus rein zeitlichen Gründen innerhalb dieser Unterrichtseinheit nicht behandelt werden können, wurde hier die konkrete Vorstellung dieser Verfahren unterlassen. Ausführlich werden sie beispielsweise von Gotzhein (1998/99) und Krumm (1990) besprochen.

„Protokolle“ im Unterricht

Zunehmende Bedeutung

In unserer Zeit gewinnen neben interaktiven zunehmend auch nicht-interaktive Kommunikationsverfahren an Bedeutung: Der Versand von Mitteilungen per E-Mail und SMS gehört schon zum Standard-Repertoire fast jeden Schülers. Ein Blick hinter die Kulissen dieser Formen des Nachrichtenaustauschs bietet über die Informatik hinweg die Möglichkeit, Protokoll-ähnliche Strukturen auch in anderen Bereichen der sozialisierten Umwelt zu entdecken: Viele Bereiche des täglichen Lebens würden in unserer zivilisierten Gesellschaft ohne Regelungen und konkrete Festlegungen der Verfahrensweise ungeordnet erscheinen. Protokolle sind keine Erfindung der Informatik, sondern blicken in anderen Zusammenhängen auf eine lange Tradition zurück. Wir finden Protokolle heute im Schulunterricht ebenso wie beim offiziellen Empfang ausländischer Staatsgäste als diplomatisches Zeremoniell. Deshalb kann sehr allgemein formuliert werden, dass ein Protokoll ein im Voraus und nach bestimmten Regeln definierter Ablauf eines Prozesses ist bzw. die Aufzeichnung eines solchen Prozesses.

In der Informatik sind Protokolle Regelwerke, die das Format, den Inhalt, die Bedeutung und die Reihenfolge gesendeter Nachrichten zwischen verschiedenen Instanzen festlegen. Vielfach wird hier auch von *Netz-*

werkprotokollen oder *Übertragungsprotokollen* gesprochen.

In vielen privaten Haushalten können heute unter Zuhilfenahme von Wählverbindungen Dienste des Internets genutzt werden. Etliche Schülerinnen und Schüler der Oberstufe betreiben dies intensiver und halten eigene Web-Präsenzen vor oder nehmen an LAN-Partys teil. Eine das Thema „Netze und Kommunikation“ thematisierende Unterrichtssequenz kann dazu beitragen, solche Technologien zu entmystifizieren. Für andere Teilbereiche des gymnasialen Informatikunterrichts haben Protokolle und Rechnernetze selbst keine unmittelbare Bedeutung.

Lehrpläne

Das Thema „Protokolle“ wurde beispielsweise im rheinland-pfälzischen Lehrplan von 1993 (vgl. Ministerium für Bildung und Kultur Rheinland-Pfalz, 1993) auf Seite 32 unter dem Stichwort „Kommunikation zwischen Computern“ vorgesehen, und zwar „Netzprotokolle“ in der Jahrgangsstufe 12. Die Thematik wird nicht als verpflichtend angegeben, aber exemplarisch für das Beschäftigungsfeld „Aktuelle Entwicklungen und Gesellschaft“ genannt, wobei dafür 8 bis 12 Stunden vorgesehen sind. Zwar handelt es sich bei Protokollen nicht mehr unbedingt um neueste Erkenntnisse der Informatik (die erste Spezifikation des E-Mail-Protokolls SMTP stammt z. B. aus dem Jahr 1982; etliche heute noch im Einsatz befindliche Protokolle stammen in ihren Grundzügen von Anfang der 70er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts), die jedoch in den letzten Jahren durch die massive Verbreitung des Internets immens an Bedeutung gewonnen und von ihrer Aktualität nichts eingebüßt haben.

Für die Jahrgangsstufe 13 wird das Lernziel „Kenntnis des Endlichen Automaten als Modell mit wesentlichen Eigenschaften realer Maschinen“ gefordert. Die Arbeitsweise endlicher Automaten muss aber im Grundkurs nicht formal behandelt werden. Da die Verhaltenbeschreibung als Bestandteil informatischer Protokolle sinnvollerweise durch Automaten erfolgt, können die genannten Themenbereiche miteinander kombiniert werden.

In Thüringen werden wiederum Kommunikationsnetze von verschiedenen Seiten beleuchtet (vgl. Thüringer Kultusministerium, 1999): Im Kontext des Informations-Umgangs sollen Schüler „computergestützte Kommunikationsnetze als Bestandteil soziotechnischer Systeme erkennen und nutzen; in Grund- und Leistungsfach sollen darüber hinaus im Themenbereich Kommunikation in Netzen „[g]rundsätzlicher Aufbau und Nutzungsmöglichkeiten ausgewählter Kommunikationssysteme, Digitalisierung und binäre Codierung als Grundprinzipien der Informationsverarbeitung mit Computern“ behandelt werden, weitere Themen sind „Topologien von Netzen; Beschreiben des Datenaustauschs durch ein einfaches Schichtenmodell; Kennenlernen einfacher Kommunikationsprotokolle“.

Im Rahmenplan des Landes Nordrhein-Westfalen von 1999 wird beispielsweise formuliert (vgl. Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und

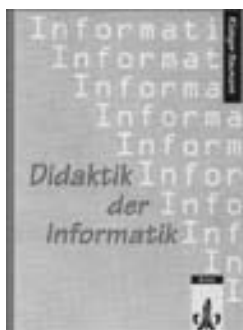
Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, 1999), dass es sich bei Netzstrukturen um ein „schulisch noch wenig erschlossenes Gebiet informatischen Arbeitens“ von „zunehmende[r] Wichtigkeit“ handle, und so erfahren die Prinzipien der Kommunikationsnetze hier besondere Berücksichtigung: Im Bereich der Telekommunikation sollen „Prinzipien des Datenaustauschs und der technikgestützten Kommunikation“ vermittelt und einfache Übertragungsprotokolle entwickelt werden. In einer Lernsequenz „Netzstrukturen“ sollen „grundsätzliche Strategien der Kommunikationsorganisation und ihrer technischen Absicherung“ erarbeitet werden.

In wie weit bei den derzeit in nahezu allen Bundesländern stattfindenden Rahmenplanüberarbeitungen Themen dieser Art weiterhin vorgesehen sind oder sogar einen größeren Stellenwert erhalten, ist jedoch im Moment nicht abzusehen.

Fachdidaktiker und Fachvereine

Auch Fachdidaktiker und Fachvereine haben sich mit dem Thema „Protokolle“ im Unterricht auseinandergesetzt. Hier einige Stimmen:

- ▷ *Rüdeger Baumann* (1996, S. 301 f. – Hervorhebungen wie im Original):
 „Der Informatikunterricht ist also um die Themen *Kommunikationsnetze* bzw. *Telekommunikation* zu ergänzen. [...] Aufgabe des Informatikunterrichts in diesem Zusammenhang ist die Vermittlung von Hintergrundwissen: Technische und organisatorische Grundlagen von Netzen (Schichtenstruktur, Protokolle, Netzdienste).“



Bereits in der 1996 erschienenen „Didaktik der Informatik“ wird die Bedeutung von Protokollen hervorgehoben.

- ▷ *Gesellschaft für Informatik e. V.* (1999, S. V f.):
 Die GI erwartet in ihren Empfehlungen zur „Informatische[n] Bildung und Medienerziehung“ von der Schulinformatik die Behandlung technisch-apparativer Aspekte von Medien. Sie fordert die Auseinandersetzung mit Kommunikationstechnologien als ein Element von Allgemeinbildung. Folgende Impulse sollen den informatischen Zugang zur „medialen Funktionalität des Computers“ eröffnen:
- „Wie funktioniert der Datenaustausch über Netze, (Netztopologie, Protokolle oder Netzbetriebssysteme), und wie können Datensicherheit und Datenschutz gewährleistet werden?“
 - „Rechnernetze und verteilte Systeme werden durch geeignete Modelle (Schichtenmodell, Protokolle, Adressierung) charakterisiert [...]“

– „Aus informatischer Sicht werden die verschiedenen Formen der Interaktion durch einen Einblick in die Algorithmen vertieft, die die Reaktionen der Maschinen auslösen. Je nach Interaktionsform können dabei u. a. untersucht werden: Modellierung und Steuerung des Ein-/Ausgabeverhaltens [...]“

- ▷ *Peter Hubwieser* (2000a, S. 78 ff.):
 Der „Informationszentrierte Ansatz“ zur Auswahl der Lerninhalte nach Hubwieser stellt Informationsverarbeitung (und Transportprozesse als Teil der Verarbeitung) als Schwerpunkte schulischer Informatik dar.
 Darüber hinaus legt Hubwieser im Kontext der Lehrerbildung und der Einführung des Pflichtfaches Informatik an weiterführenden Schulen in Bayern dar, dass informatische Bildung für Lehrkräfte sich nicht auf Anwenderschulung beschränken dürfe, sondern die Beherrschung gewisser „Grundlagen“ – also informatischer Allgemeinbildung – nach sich führen müsse (vgl. Hubwieser, 2000b, S. 2 f.). Er schlägt einen Katalog von Kenntnissen vor, die seiner Meinung nach zu einer informatischen Allgemeinbildung gehören, darunter finden sich auch:
- Wie beschreibt man einzelne IT-Systeme? Beschreibung einzelner Komponenten als Automaten (Zustände und Übergangverhalten).
 - Wie kommuniziert man mit IT-Systemen als Automaten?
 - Wie interagieren IT-Systeme untereinander (Synchronisation, Protokolle, Nichtdeterminismus)?

- ▷ *Andreas Schwill* (1996/97):
 Nach Schwill gehören u. a. „Sprache“ und „Strukturierte Zerlegung“ zu den Fundamentalen Ideen der Informatik. Diese Ideen können bei der Behandlung von Kommunikationssystemen aufgegriffen werden: Bei der Spezifizierung von Systemen oder Protokollen können Beschreibungssprachen (mit Syntax und Semantik) wie auch Theorien zum Einsatz kommen (Sprachen auf verschiedenen Ebenen, von der Beschreibung durch Umgangssprache über Zeit-Sequenz-Diagramme, Automaten und SDL bis hin zu Grammatiken in EBNF). Dabei können die Programmierkonzepte der Algorithmisierung – Sequenz, Alternative und Iteration – Verwendung finden (z. B. bei der Spezifikation in SDL). Die strukturierte Zerlegung kommt einerseits bei der Besprechung von Schichtenarchitekturen zum Tragen (jede der Schichten erhält eine genau definierte Aufgabe, um die sich die anderen Schichten dann nicht mehr zu kümmern brauchen); andererseits aber auch im Kontext der Modularisierung, wenn z. B. Details ausgeblendet werden (Geheimnisprinzip bei Einsatz von Aktionen in SDL: „Ermittle die Liste der E-Mails und gib sie aus“). In diesem Zusammenhang erscheint mir auch erwähnenswert, dass bei der Protokoll-Spezifikation stets nur das Verhalten modelliert, niemals jedoch die Realisierung des Verhaltens festgelegt wird.

Leitet man aus dem Auftreten dieser Punkte in einem Katalog von Kenntnissen informatischer Allgemeinbildung die Bedeutung der Gegenstände Automat, Kommunikation und Protokoll für die Informatik ab, so rechtfertigt dies die unterrichtliche Behandlung sicherlich.

Allgemeine fachspezifische Lernziele

Eine Unterrichtseinheit über Kommunikationssysteme und Protokollsprachen kann folgende fachspezifische Ziele des Informatikunterrichts unterstützen:

- ▷ *Kenntnis von Standardverfahren*
Durch Protokolle wird Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen überhaupt erst sinnvoll ermöglicht. Damit gehört der Einsatz von Protokollen (auch aus der Perspektive einer Schnittstellenbeschreibung) zu den Standardverfahren der Informatik.
- ▷ *Verständnis der grundlegenden Bedeutung von Automatenmodellen für die Informatik*
Das Verhalten der Partner eines Kommunikationssystems lässt sich erst einfach und übersichtlich durch Automaten beschreiben.
- ▷ *Modellbildung und Beschreibung auf verschiedenen Ebenen*
Das Verhalten real existenter Maschinen bei Versuchen der Interaktion mit diesen Maschinen kann auf verschiedenen Ebenen beschrieben (natürliche Sprache, formale Sprachen, grafische Darstellungen, Programm) und modelliert werden.

Erste Strukturierung der Inhalte und Ziele

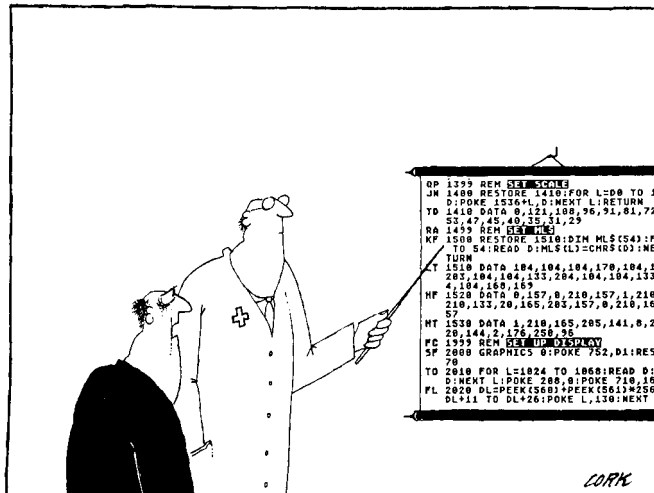
Primäres Ziel eines allgemeinbildenden Informatikunterrichts kann nicht sein, Definitionen verschiedener Protokolle rezitieren zu können. Vielmehr muss es darum gehen, den Schülerinnen und Schülern die Notwendigkeit von Protokollen und ihre grundlegenden Aufgaben und Wirkprinzipien zu vermitteln. Eine mögliche Motivation lässt sich dabei als intrinsisch charakterisieren: Bisher haben die Schülerinnen und Schüler schon Kommunikationsanwendungen benutzt, ohne sich über die internen Abläufe und die Funktionsweise im Klaren zu sein. Die Unterrichtseinheit soll sie in die Lage versetzen zu verstehen, wie Kommunikation in Rechnernetzen prinzipiell funktioniert.

Bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte sollen zunächst die wesentlichen Aspekte des Bereiches „Kommunikationssysteme“ herangezogen werden. Aufgrund der geringen zur Verfügung stehenden Stundenzahl kann die Reihe nicht viel mehr als in das Thema einzuführen. Die in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Inhalte müssen reduziert, eine Auswahl muss durchgeführt werden.

Sicherlich muss in diesem Rahmen auf eine detaillierte Analyse der Schwachstellen von Protokollen und der Synthese besser geeigneter Varianten aus rein zeitlichen Gründen abgesehen werden. Hier können vorerst lediglich die Grundlagen gelegt werden: Es ist unsinnig, Protokolle analysieren zu wollen, ohne sich über den Begriff des Protokolls im Klaren zu sein.

Vorwissen seitens der Schülerinnen und Schüler

Von Seiten des Schülervorwissens sind verschiedene Beschreibungstechniken und die Kenntnis des Automatenbegriffs von Vorteil. Dies erlaubt – um dies hier vor-



Zeichnung: Cork

weg zu nehmen – eine besondere Betonung von Aspekten des forschenden Lernens, da diese Techniken zur Verfügung stehen und probeweise zur Beschreibung eingesetzt werden können.

Der Begriff des Protokolls soll zwecks Anknüpfung an die Lebens- und Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler an einfachen, aber praktisch tatsächlich verwendeten Protokollen erarbeitet werden.

Reihenfolge der Inhalte und Erkenntnisschritte

Es erscheint mir angebracht vor der Thematisierung der Kommunikationsprotokolle selbst einige Grundlagen zur Kommunikation im Allgemeinen zu legen. Erst wenn der Schüler erfahren hat, dass Kommunikation sich nicht nur zwischen Absender und Empfänger einer Nachricht abspielt, sondern auch andere Instanzen am Transport einer Nachricht durch ein Rechnernetz beteiligt sind, kann er die Notwendigkeit von Protokollen auf verschiedenen Schichten einsehen. Während eine erste Phase ein allgemeineres Erklärungsmodell für Kommunikation beinhaltet, wird in einer zweiten Phase das Protokoll als ein spezieller Aspekt des ersten Modells herausgegriffen und einer detaillierten Analyse unterzogen. Dabei wird wieder einmal klar, dass die Zerlegung eines Systems in sinnvolle Teilsysteme und deren Beschreibung ein starkes Mittel zur Reduktion von Komplexität ist. Verständene Modelle für die Teilsysteme führen zu einem Gesamtverständnis.

Damit ergibt sich folgende Grobgliederung der Unterrichtseinheit:

- ▷ *Phase 1: Kommunikation im Großen*
Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre vielfältigen Erfahrungen mit Kommunikation einbringen und ordnen, im Hinblick auf Phase 2 soll dann eines der Kommunikationsverfahren herausgegriffen und untersucht werden. Ziel dieser Phase ist das Kennenlernen der Darstellung eines komplexen Kommunikationssystems durch eine Schichtenarchitektur.
- ▷ *Phase 2: Kommunikation zwischen Instanzen einer Schicht*
Jede einzelne Schicht der in Phase 1 kennen gelernt Schichtenarchitektur unterliegt gesonderten Regeln, die Gesamtkommunikation im System funktio-

niert nur, wenn jede der Schichten ihre Aufgabe erfüllt. Ziel dieser Phase ist die möglichst eindeutige Beschreibung des Zusammenspiels der Instanzen einer dieser Schichten. Dabei soll durch den Versuch der Beschreibung in den bekannten Beschreibungstechniken deren Unzulänglichkeit erkannt und durch Einführung der Sprache SDL behoben werden. Exemplarisch werden die Untersuchungen an einer der Schichten durchgeführt.

Die Lernziele

Hauptziel

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich folgendes Hauptziel der Unterrichtseinheit:

Die Schüler sollen einen Einblick in die Funktionsweise eines Kommunikationssystems erhalten und erfahren, dass Protokolle die Kommunikation innerhalb eines Kommunikationssystems möglich machen.

Weitere Ziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen

- ▷ das Schichtenmodell als strukturierte Darstellung eines Kommunikationssystems kennen lernen,
- ▷ erkennen, dass Kommunikation auf diesen Schichten Regeln unterliegt,
- ▷ die Bedeutung der Regeln eines Protokolls am konkreten Beispiel erfahren,
- ▷ die hier unzureichende Beschreibungskraft der bisherigen Beschreibungstechniken erfahren
- ▷ und SDL als eine zur Verhaltensbeschreibung von Kommunikationsinstanzen besser geeignete Sprache kennen lernen.

Dabei beinhaltet das passive „kennen lernen“ natürlich auch immer aktive Aspekte, z. B. selbst Kommunikationssysteme durch Schichtenarchitekturen zu modellieren oder einfache Protokolle darzustellen.

Materialien und Zugangsbeispiele

An die einzusetzenden Beispiele werden besondere Anforderungen gestellt. In den wenigen zur Verfügung stehenden Stunden ist zudem kaum ein größerer Kon-

textwechsel möglich. Vor allem das Eingangsbeispiel sollte von hinreichend motivierender Wirkung sein.

An der Feststellung Baumanns aus dem Jahr 1996, dass es für den Bereich Kommunikationsnetze kaum Unterrichtsvorschläge gebe (Baumann, 1996, S. 301), hat sich bis heute nicht viel geändert. Es existieren nicht viel mehr als folgende Materialien und Lehrbücher, in denen sich vereinzelt thematische Häppchen finden lassen:

- ▷ *Baues/Hillebrand/Hüster/Mersch (1996)*: Abschnitt „Vernetzung“, darin: „Wir lassen Daten reisen“ und „Wir kommunizieren mit benachbarten Computern“. Geht nicht direkt auf Protokolle ein, enthält aber einen interessanten historischen Abriss (Morse, Telegraphen, ...).
- ▷ *Bähnisch (2001)*: Abschnitt „Die Dienste des Internets“. Bleibt eher auf Anwendungsebene; keine informatischen Details.
- ▷ *Hubwieser (2000)*: Versand von Dokumenten, ausgerichtet auf Anfangsunterricht.
- ▷ *Deckers (1996)*: Insgesamt recht programmierlastig; zielt auch kaum auf die Entwicklung von Erklärungsmodellen ab als vielmehr auf den entdeckenden Entwurf von Regeln zur Datenübertragung durch Beispielanwendungen.

Leider erweisen sich alle diese Dokumente für die hier benötigten Zwecke als unzureichend. Auch die im Bereich der universitären Lehre eingesetzten Kommunikationssysteme und Protokolle (vgl. z. B. Gotzhein, 1998/99) eignen sich – meines Erachtens – nicht für eine schulische Einführung in dieser knappen Zeit.

Alle Schichten des Schichtenmodells eines Kommunikationssystems lassen sich in der zur Verfügung stehenden Zeit kaum sinnbringend behandeln. In den in lokalen Netzen und dem Internet eingesetzten Systemen sind außerdem nicht alle Schichten des OSI-Referenzmodells wirklich vorhanden, sodass prinzipiell nur die Bitübertragungsschicht, Transport-, Vermittlungs- und Sicherungsschicht und die Anwendungsschicht für die vorliegende Unterrichtsreihe in Betracht kommen können. Die Bitübertragungsschicht befasst sich intensiv mit der Übertragung einzelner Bits über ein physikalisches Medium. Zu behandelnde Schwierigkeiten wären hauptsächlich physikalischer Natur und Probleme der Codierung. Transport-, Vermittlungs- und Sicherungsschicht befassen sich mit der Zusammenstellung von Daten zu Rahmen und Paketen, der Erkennung und möglicherweise Behebung von Übertragungsfehlern und der Ermittlung von Wegen durch das Netz (Adressierung, Leitwegsuche). Auf der Ebene der Anwendungsschicht werden Probleme der Übertragung von Dateien (FTP), Webseiten (HTTP), E-Mails (SMTP, POP, IMAP) usw. behandelt. Die Anwendungsschicht scheint von allen Schichten am einfachsten fassbar; die Abarbeitung von Befehlen innerhalb der Protokolle ähnelt am ehesten der von Programmiersprachen gewohnten Schreib- und Denkweise. Es sollen aus diesen Gründen innerhalb der Unterrichtseinheit Protokolle der Anwendungsschicht verwendet werden. Diese Protokolle stehen dann exemplarisch für die Protokolle anderer Schichten.

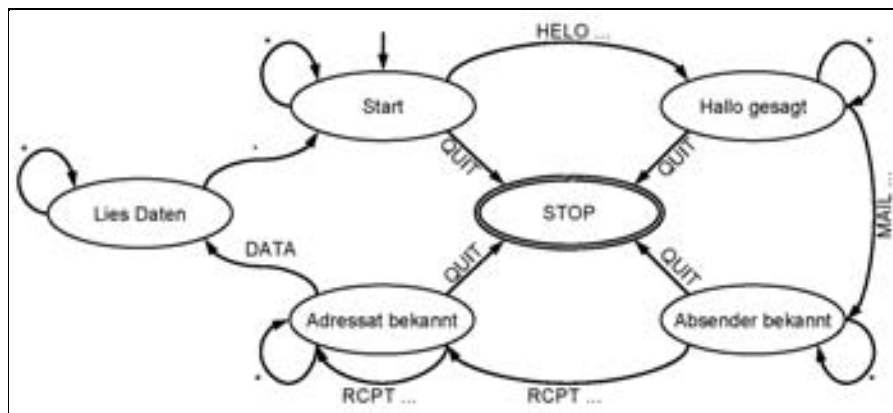


Bild 9:
SMTP – Zustandsübergangsgraph.

und insgesamt ein recht „humanoides“ Verhalten an den Tag legen.

Beide Protokolle können noch im Sinne einer didaktischen Reduktion vereinfacht werden: In erster Linie besteht die Reduktion im Weglassen (d. h. Verschweigen) einer Vielzahl von Befehlen. Für unseren Zweck reicht ein absolutes Mindestmaß an Befehlen. Benötigt werden

aus dem Befehlssatz des POP nur:

- ▷ USER,
- ▷ PASS,
- ▷ RETR,
- ▷ QUIT,
- ▷ NOOP und
- ▷ LIST.

Weglassen kann man z. B. die bereits in der Basisversion vorhandenen Befehle APOP, DELE, RSET, STAT, TOP und UIDL, ohne dass durch diesen Eingriff die üblicherweise benötigte Funktionalität unverhältnismäßig stark beschnitten würde. Von SMTP benötigen wir zum Versand einer E-Mail nur:

- ▷ HELO,
- ▷ MAIL,
- ▷ RCPT,
- ▷ DATA und
- ▷ QUIT.

Ein tiefer eingreifender Schritt besteht in der Ummodellierung des POP: Die in Myers/Rose (1996) beschriebene Modellierung geht von *einem* AUTHORIZATION state aus, in dem die komplette Authentifikation erfolgt und von dem aus im Erfolgsfall in den TRANSACTION state übergegangen wird. In diesem Zustand werden beispielsweise Löschooperationen aber nicht direkt ausgeführt, sondern nur vorgemerkt. Die Ausführung der vorgemerkten Operationen geschieht erst beim erfolgreichen Beenden der Verbindung im UPDATE state, von dem aus direkt (d. h. ohne weitere Eingaben) in den Endzustand STOP übergegangen wird. So lässt sich aber eine erzwungene Reihenfolge der Befehle USER und PASS nicht schön modellieren, außerdem wird für den Spontanübergang aus dem UPDATE state ein Epsilon-Automat benötigt. Davon soll hier abgesehen werden, da eine andere Modellierung für unsere Zwecke schöner und einsichtiger erfolgen kann. Der resultierende Automat wird schon in Bild 5 (siehe Seite 36) gezeigt.

Unser vereinfachtes SMTP-Modell entspricht dem Automaten aus dem Bild 9.

Darüber hinaus soll auch das zu verwendende Kommunikationssystem so weit vereinfacht werden, dass der SMTP-Server des Absenders rechnerisch mit

Welche Kommunikationssysteme gibt es, die einerseits über einen gewissen informatischen Charakter verfügen, andererseits den Schülerinnen und Schülern bekannt – am besten vertraut – und hinreichend einfach sind, um in der Schule einigermaßen sinnvoll behandelt werden zu können?

- ▷ 1. Telefon und Handy zur Kommunikation über Sprache sind auch im Zeitalter der Digitalisierung von Sprachdaten und der rechnervermittelten Gespräche kaum schulinformatisch erfasst.
- ▷ 2. Der WWW-Dienst lässt sich untersuchen, entspricht aber nicht einer naiven Auffassung von Kommunikation (Adresse eingeben, abwarten, Seite anschauen, das ist wie Fernsehen: Programm wählen, hinschauen. Wo ist der Kommunikationsaspekt?)
- ▷ 3. Der Transport von Dateien durch das Internet per FTP ist vermutlich bei Schülerinnen und Schülern nicht so bekannt und andererseits Protokoll-technisch schwierig, da gleich mehrere Kommunikationskanäle geöffnet werden: Ein Steuerkanal und ein Datenkanal.
- ▷ 4. Der Dienst zum Versand von Kurznachrichten (SMS) ist zwar sehr aktuell, lässt sich aber technisch im Unterricht nur schwer realisieren (praktisches Arbeiten mit dem Protokoll selbst ist kaum möglich).
- ▷ 5. Für die Übertragung von E-Mails im Intra- und Internet steht eine Vielzahl von Protokollen und Programmen zur Verfügung, die weitgehend einfach sind (ein Protokoll zum E-Mail-Versand – SMTP – trägt die Einfachheit gleich im Namen: Simple Mail Transport Protocol). Mit E-Mail dürfte fast jeder Schüler und auch nahezu jede Schülerin schon zu tun gehabt haben, zumindest aber vom Hörensagen kennt es vermutlich jeder (vgl. Lohse, 2001). Und Kommunikation per E-Mail entspricht auch der naiven Auffassung von Kommunikation, sie ist stark angelehnt an den Versand von Briefen mit der Briefpost.

Es soll daher im Folgenden das Beispiel Nr. 5 für die Unterrichtseinheit gewählt werden: Kommunikation per E-Mail. Damit stehen zwei einfache Protokolle in einem Kontext zur Verfügung, die zudem noch den Vorteil besitzen, auch für den Menschen gut lesbar zu sein, da sie über echte Befehlswörter und Rückgabewerte verfügen

dem POP-Servers des Empfängers übereinstimmt. Prinzipiell wird eine E-Mail über mehrere SMTP-Verbindungen weitergereicht, bis sie auf dem Zielrechner angekommen ist. Dieses Weiterreichen unterscheidet sich aber vom Wirkmechanismus her nicht vom ersten Absenden der E-Mail, daher kann eine Kette von SMTP-Verbindungen zu einer einzelnen Verbindung zusammengefasst werden.

Didaktisch-methodische Vorüberlegungen

Mit der vorliegenden Unterrichtseinheit wird nicht nur die Zielsetzung verfolgt, das Thema „Protokolle“ mit den Schülerinnen und Schülern fachbezogen zu erarbeiten, sondern es soll auch bei der konkreten Umsetzung in Unterricht die forschende Lernmethode besonders berücksichtigt werden. Dabei muss gesehen werden, dass im Moment keine Literatur zum forschenden Vorgehen bei der Einführung in Kommunikationssysteme existiert. Überhaupt ist die Literatur zum forschenden Lernen verschwindend gering, in aktuellen Handbüchern und Lexika findet sich so gut wie nichts.

So liegen diesem Beitrag eher allgemeine Aussagen zugrunde: Fries/Rosenberger (1976), Bönsch (2000) und Aepkers (2002) können hierfür gut ausgewertet werden.

Während Bönsch (2000) forschendes Lernen vollständig synonym zum entdeckenden Lernen sieht, differenziert Aepkers (2002): Forschendes Lernen beschäftigt sich in Analogie zu wissenschaftlicher Forschung mit der Bildung und Klärung von Hypothesen, wohingegen entdeckendes Lernen geprägt sei durch planloses Aneinanderhängen von Fundstücken an vorhandene Konzepte (Aepkers, 2002, S. 76). Erkenntnisziel könne dabei nicht die Entdeckung objektiv neuen naturwissenschaftlichen Wissens, sondern vielmehr die Entdeckung des subjektiv Neuen sein (Aepkers, 2002, S. 86).

Eine Klärung des Begriffes „forschen“ ergibt, dass es sich dabei um die Suche nach neuen Erkenntnissen mit wissenschaftlichen Methoden handelt. Da Forschung nicht linear und geradeaus geschieht, sondern von Rückschritten und eingeschlagenen Irrwegen gekennzeichnet und eher als „tastendes Suchen in einer nur geahnten Richtung“ (Aepkers, 2002, S. 72) zu charakterisieren ist, muss sich dies auch in einem auf der forschenden Lernmethode fußenden Unterricht widerspiegeln. Beim forschenden Lernen wird das Offene, Unverstandene, Unklare zum Ausgang für eigenes Suchen, Forschen, Experimentieren und Manipulieren. Das zu klärende und zu verstehende Problem soll dabei aus einem „lebenspraktischen Zusammenhang“ (Fries/Rosenberger, 1976, S. 19) erwachsen.

Auf jeden Fall, so sind sich alle Autoren einig, stehe forschendes Lernen im Gegensatz zu rezeptivem Lernen in Formen darbietenden Unterrichts, und sie sind sich einig darin, dass es besonders – aber nicht aus-

schließlich – für nach den Methoden der Naturwissenschaften arbeitende Fächer geeignet sei. Da die Naturwissenschaften und die Mathematik Denkfächer seien, sei es besonders wichtig, Schülerinnen und Schüler in diesen Fächern zum produktiven und beweglichen Denken zu erziehen (Fries/Rosenberger, 1976, S. 7). Für produktives Denken ist ein gewisses Grundmaß an Einfallsreichtum und produktiver Findigkeit (vgl. Wagenschein, 1999, S. 76 f.) unabdingbar. Die Erzielung neuer Erkenntnisse muss dabei durch aktive Aneignung und Selbsttätigkeit erfolgen, der Lernende sich selbst um Erweiterung seiner Kenntnisse bemühen (Fries/Rosenberger, 1976, S. 11). Dabei soll der Lernende eine gesuchte Problemlösung „in der geistigen Auseinandersetzung und im Ringen mit den Problemen [...] weitgehend selbst finden; auch wenn er zu keinen brauchbaren Ergebnissen kommen sollte, er muß sich zumindest um eine Lösung Gedanken gemacht haben“ (Fries/Rosenberger, 1976, S. 12).

Vertreter strenger Auffassungen forschenden Lernens erwarten neben der selbstständigen Wahl einer Problemlösungsstrategie auch die völlige Freiheit des Lernenden bezüglich des zu bearbeitenden Themas (vgl. Aepkers, 2002, S. 74).

Es bleibt weiterhin zu berücksichtigen, dass „forschendes Lehren [...] nicht unmittelbar zu Erkenntnissen, sondern längerfristig zu Kompetenzaufbau“ führt (Aepkers, 2002, S. 80). Dies sei insbesondere angesichts der heute instabilen Wissensbasis wichtig. „Was wir heute an fachlich gesichertem Wissen lehren, ist morgen vielleicht schon nicht mehr gültig“, stellt Aepkers (2002, S. 79) fest, was für die Informatik – obwohl er auf diese Disziplin nicht eingeht – sicherlich in besonderem Maße gelten kann.

Die Lehrkraft steuert im eigenen Ermessen „durch Impulse und vorsichtig vorgebrachte Fragen den Fortgang der Denkprozesse“ (Fries/Rosenberger, 1976, S. 12). Dabei habe sich die forschend-fragend-entwickelnde Unterrichtsform als besonders geeignet gezeigt. Aufgabe der Lehrerin bzw. des Lehrers sei es anzuregen, Fragen zu entwickeln, zu strukturieren und zu beraten. Es muss den Schülern die Freiheit zum persönlichem Suchen und Forschen gelassen und ihnen Gelegenheit geben werden, „wirkliche Handlungen an konkreten Gegenständen auszuführen“ (Fries/Rosenberger, 1976, S. 23; Hervorhebung wie im Original). Auch eine gefundene Lösung soll nicht im Gedanklichen bleiben, sondern konkrete Umsetzung erfahren (vgl. Bönsch, 2000).

Folgende Liste von Schlagwörtern soll helfen, forschendes Lernen zu charakterisieren:

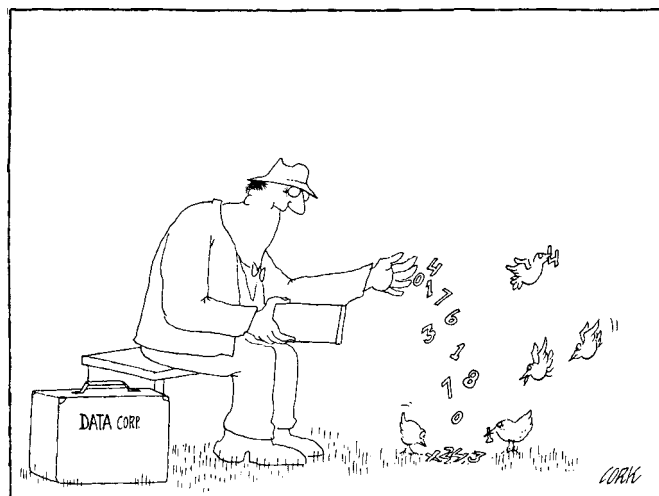
- ▷ *bezüglich der Schülerinnen und Schüler:*
neugierig sein, vermuten, Hypothesen bilden, Probleme lösen, Ergebnisse formulieren und darbieten.
- ▷ *bezüglich ihrer Arbeitsweise:*
aktiv, selbstbestimmt, schülerorientiert, experimentell, einfallsreich, produktiv, offen und doch konkret.

Aepkers schlägt u. a. folgende Leitlinien vor (2002, S. 86), die insgesamt zu einem liberaleren Begriff des forschenden Lernens führen und sich fast eher als warnende Grenzsteine interpretieren lassen:

- ▷ Die freie Wahl des Forschungsgegenstandes durch den Schüler ist nur begrenzt sinnvoll.
- ▷ Arbeitsmethodische Fähigkeiten der Schüler dürfen nicht überschätzt werden.
- ▷ Ausschließlich selbstgesteuertes Arbeiten muss als fahrlässig bezeichnet werden.
- ▷ Neugier kann beim Schüler weder vorausgesetzt noch erzwungen werden.

Da die schulische Informatik sicherlich auch als ein „Denkfach“ bezeichnet und zwischen Naturwissenschaften und Mathematik eingeordnet werden kann, sollten sich erprobte Vorgehensweisen mit Bezug auf die forschende Lernmethode – wie sie beispielsweise von Fries/Rosenberger (⁴1976) vorgestellt wurden – ebenfalls weitgehend auf den Informatikunterricht übertragen lassen.

Mit dem hier im Beitrag vorgestellten Weg soll versucht werden, den in diesem Abschnitt vorgetragenen Aspekten gerecht zu werden. Dabei wird unter Berücksichtigung der von Aepkers (2002) vorgeschlagenen Leitlinien nur ein gemäßigter Begriff des forschenden Lernens umgesetzt werden. Da nicht vergessen werden darf, dass Forschen nur dann Spaß macht, wenn wenigstens gelegentlich Erfolg sichtbar wird, und zum Schluss der Unterrichtseinheit schon gewisse Erkenntnisse erzielt worden sein sollten, soll hier die Methode des forschenden Lernens nicht im Großen, sondern vielmehr im Kleinen angewendet werden. Wesentliche zu erkennende Merkmale werden Freiheit bei der Vorgehensweise, Eigenaktivität, Fehlschläge und eine scheinbare Unklarheit in Bezug auf das letztlich verfolgte Ziel sein. Die arbeitsmethodischen Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler kann jede Lehrkraft für sich durch den bereits erfolgten Unterricht einigermaßen einschätzen. Die Neugier der Schüler sollte aber auf jeden Fall vor allem durch interessante Beispiele geweckt werden!



Zeichnung: Cork

4. und 5. Stunde

- ▷ Beschreibung von POP als Zustandsübergangsgraph
- ▷ E-Mail über einen Mail-Server verschicken: SMTP
- ▷ SMTP-Spezifikation in SDL
- ▷ Übung: POP in SDL spezifizieren
- ▷ Ergänzung: Formate
- ▷ Definition: Protokolle

6. Stunde

- ▷ Überprüfung des Gelernten

7. Stunde

- ▷ Rückgabe und Besprechung der Überprüfung

(wird fortgesetzt)

Überblick über die Unterrichtsstunden

1. und 2. Stunde

- ▷ Einstieg: Kommunikation
- ▷ Moderne Kommunikationsmethoden
- ▷ Ablauf der Kommunikation per E-Mail
- ▷ E-Mail von einem Mail-Server abholen: POP
- ▷ Hausaufgabe: Beschreibungstechniken rekapitulieren

3. Stunde

- ▷ Wiederholung: POP-Befehle
- ▷ Versuch einer Beschreibung des POP
- ▷ Hausaufgabe: Beschreibungsversuch fortsetzen

Daniel Jonietz
Fackelstraße 29
67655 Kaiserslautern

E-Mail: daniel@jonietz.de

Danksagung: Der Arbeitsgruppe ICSY, die von Prof. Dr. Paul Müller an der Technischen Universität Kaiserslautern geleitet wird, danke ich besonders für die Unterstützung meiner Forschungsarbeiten zu diesem Thema.

Literatur und Internetquellen

Aepkers, M.: Forschendes Lernen – Einem Begriff auf der Spur. In: Bönsch, M.; Kaiser, A. (Hrsg.): Entdeckendes, Forschendes und Genetisches Lernen. Reihe „Basiswissen Pädagogik – Unterrichtskonzepte und Techniken“, Band 4. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren, 2002.

Bähnisch, U.: Praktische Informatik mit Delphi (Band 2). Berlin: Cornelsen, 2001.

Baues, J.; Hillebrand, H.-P.; Hüster, E.; Mersch, B.: Informatik erleben – Lehr- und Übungsbuch für Sekundarstufe I (Teil 2). Bonn: Ferdinand Dümmlers Verlag, 1996.

Baumann, R.: Didaktik der Informatik. Stuttgart: Klett, 1996.

Bönsch, M.: Variable Lernwege – Ein Lehrbuch der Unterrichtsmethoden. Paderborn: Schöningh, 2000.

Deckers, J.: Das Internet – Inhalt und Medium für den Informatikunterricht. Schriftliche Hausarbeit am Studienseminar für das Lehramt für die Sekundarstufe II in Detmold (1996): <http://www.deckers-online.de/examen/inhalt.htm> [Stand: März 2005]

Fries, E.; Rosenberger, R.: Forschender Unterricht. Frankfurt am Main: Diesterweg, 1976.

Gesellschaft für Informatik (Hrsg.): GI-Empfehlung – Informatische Bildung und Medienerziehung. In: LOG IN, 19. Jg. (1999), Heft 6, Beilage.

Gotzhein, R.: Rechnernetze. Skriptum zur Kernvorlesung im WS 1998/99 an der Universität Kaiserslautern.

Hogrefe, D.: Estelle, LOTOS und SDL – Standard-Spezifikationssprachen für verteilte Systeme. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

Hubwieser, P.: Didaktik der Informatik – Grundlagen, Konzepte, Beispiele. Berlin: Springer-Verlag, 2000a.

Hubwieser, P.: Informatik – Allgemeinbildung für alle Lehrkräfte. Eine Maßnahme zur „Entsiegelung“ der neuen Medien.. Berlin: Papier zum Workshop Lehrerbildung 2000b: <http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/WorkshopLehrerbildung2000/Papers/Hubwieser.pdf> [Stand: März 2005]

Klensin, J. (Hrsg.): Simple Mail Transfer Protocol – RFC 2821 (2001). <http://www.faqs.org/rfcs/rfc2821.html> [Stand: März 2005]

Krumm, H.: Funktionelle Analyse von Kommunikationsprotokollen. Berlin: Springer-Verlag, 1990.

Leien, C.; Wilensky, M.: TCP/IP für Dummies. Bonn: Internationals Thomson Publishing, 1998.

Lohse, D.: PC-Ausstattung und Internetzugang – Eine Erhebung zur häuslichen Ausstattung der Schülerinnen und Schüler weiterführender Schulen in Niedersachsen im Mai 2001. Universität Hannover, 2001. <http://www.uni-hannover.de/unikik/download/PC-Ausstattung.pdf> [Stand: März 2005]

Ministerium für Bildung und Kultur Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Lehrplandesign Informatik. Worms: Fischer Rheinische Druckerei, 1993.

Ministerium für Schule und Weiterbildung, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule – Richtlinien und Lehrpläne – Informatik. Düsseldorf: Ritterbach Verlag, 1999.

Myers, J.; Rose, M.: Post Office Protocol, Version 3 – RFC 1939 (1996). <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1939.html> [Stand: März 2005]

Schwill, A.: Vorlesungen zur Didaktik der Informatik. Skriptum zur Vorlesung im WS 1996/97 an der Universität Potsdam.

SDL Forum Society: <http://www.sdl-forum.org/> [Stand: März 2005]

Thüringer Kultusministerium (Hrsg.): Lehrplan für das Gymnasium – Informatik. Erfurt: Satz+Druck Centrum, 1999.

Wagenschein, M.: Verstehen lehren. Weinheim; Basel: Beltz, 1999.

Zimmermann, D. P.: The Finger User Information Protocol – RFC 1288 (1991). <http://www.faqs.org/rfcs/rfc1288.html> [Stand: März 2005]

Anzeige



1 Informatische Grundbildung

Beigelegte CD-ROM!

- Übungstexte
- Arbeitsblätter
- Beispiellösungen ...

ISBN 3-89818-603-2
152 Seiten, vierf.
19,95 Euro

Lehrermaterial
ISBN 3-89818-604-0
15,95 Euro

Bernhard Koerber, Ingo-Rüdiger Peters
Dr. Norbert Breier, Prof. Dr. Steffen Friedrich (Hrsg.)

Informatische Grundbildung – Band 1

Das Lehrbuch für den Informatikunterricht ab Klasse 5

Schwerpunkte

- **Informatik – eine Wissenschaft mit Vergangenheit und Zukunft**
.... Eine Einführung in die Wissenschaft Informatik (Rechenmaschine, Information, Daten ...)
- **Der Computer – ein Arbeitsgerät mit Zukunft**
.... Ein Einblick in den Aufbau von und den Umgang mit Computersystemen (Computer, PC, Ein- und Ausgabegeräte, Peripherie, EVA, Hardware, Software, Programm, Betriebssystem, Befehl, Zentraleinheit, Prozessor, Speicher, Bit, Byte, Dualsystem, Datei, Ordner, Multimedia ...)
- **Textverarbeitung – vom Buchstaben zum Buch**
.... Eine Anleitung für die Arbeit mit Textverarbeitungsprogrammen (Schrift-, Satz-, Sonderzeichen, Wortzwischenraum, Ausrichtung, Schriftschnitt, Markieren, Objekt, Attribut, Attributwert, Cursor, Tasten und Tastenkombinationen, Symbolleiste, Absatzmarke, Tabulator, Zeilenumbruch, Textkorrektur, Rechtschreibhilfe, Anschrift, Speichern, DIN-Norm, Typografie, Schriftarten, Gutenberg, Buchdruck, ASCII, ANSI-Code, Unicode, Druckgrafik, Clip-Art, Auflösung, Pixel, dpi, Farbtiefe, RGB ...)
- **Kommunikation: gestern – heute – morgen**
.... Ein Ausflug in die Geschichte der Kommunikation und ihrer Techniken (Signal, Code, Feuerkette, Fackel-, Balken-, Morselelegraph, Telefon, Fax, Funk, Modem, SMS, Internet, WWW, E-Mail ...)





DUDEN PAETEC

SCHULBUCHVERLAG