Objekt-orientierte Datenbankanwendungen WS 2002/2003 und SS 2003

Andreas F. Borchert
Universität Ulm

29. September 2003

Syllabus

- Die Vorlesung erstreckt sich über zwei Semester (WS 2002/2003 und SS 2003) mit jeweils zwei Vorlesungs- und zwei Übungsstunden.
- Themen:
  - OO-Design unter Verwendung von UML
  - Physische Datenhaltung
  - Abstraktionen und Design-Pattern für Datenbanken
  - Benutzerschnittstellen
  - Abstraktionen und Design-Pattern für Benutzerschnittstellen
  - Vernetzte Anwendungen
- Als Programmiersprache wird Perl verwendet. Die jeweils notwendigen Sprachmittel bei Perl werden in den Übungen und in der Vorlesung vermittelt.

Übungen, Projekte und Klausuren

- Revidierte Angaben für das SS 2003:
- Im Sommersemester gibt es weder Übungen noch Klausuren, sondern nur ein Projekt.
- Mehr Hinweise zum Projekt gibt es in der Vorlesung. Projektbesprechungen finden bei mir statt.
- Bitte melden Sie sich zur Vorlesung an unter `https://slc.mathematik.uni-ulm.de/`
- Sie benötigen dazu einen Zugang auf unseren Rechnern. Wenden Sie sich bitte an Armin Rutzen (Helmholtzstraße 18, Zimmer E05, Telefon 23601), falls Sie noch keinen haben sollten.

Literatur

- Die verwendeten Folien gibt es auf den Webseiten der Vorlesung sowohl in HTML, PDF und PostScript.
- Die Vorlesung lehnt sich an kein Buch an. Gegebenenfalls empfehlenswert sind folgende Werke zu objekt-orientierten Techniken in Perl und zu Design-Pattern:
  - Object Oriented Perl, Damian Conway, Manning
  - Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Erich Gamma et al, Addison Wesley
- Im übrigen gibt es sehr gute Dokumentation zu Perl auf dem Netz, bei uns unter `http://www.mathematik.uni-ulm.de/help/perl5/`

Sprechstunden

- Revidierte Angaben für das SS 2003:
- Sind eingeladen, mich jederzeit per E-Mail zu kontaktieren:
  Email: `borchert@mathematik.uni-ulm.de`
- Meine regulären Sprechzeiten sind Montag und Mittwoch von 10 bis 12 Uhr. Zu finden bin ich in der Helmholtzstraße 18, Zimmer E02.

Einführung in OO-Design

Objekt-orientierte Techniken sind im Rahmen von Programmiersprachen eingeführt worden, um Probleme bei traditionellen Programmiersprachen zu beheben:

- Simula (1973) von Nygaard und Dahl:
  - Erste objekt-orientierte Programmiersprache.
  - OO-Techniken wurden hier primär zur Modellierung von Simulationen benötigt.
- Smalltalk wurde Ende der 70er Jahre bei Xerox PARC entwickelt und 1983 von Goldberg publiziert:
  - Erste radikale objekt-orientierte Programmiersprache. Alles sind Objekte einschließlich Klassen.
  - Wurde entwickelt, um die graphische Benutzeroberfläche der bahnbrechenden Arbeitsplatzsysteme von Xerox zu modellieren und zu implementieren.
- C++ (erste Anfänge in 1979, nannte sich zunächst "C with Classes") von Stroustrup:
  - Entstand nach Erfahrungen bei einem Simulationsprojekt mit Simula (hilfreiche Programmiersprache, furchtbare Performance) und BCPL (furchtbare Sprache, jedoch sehr gute Performance).

Klassische Programm-Struktur

Assembler und viele klassische Programmiersprachen (wie beispielsweise Fortran, PL/1 und C) bieten folgende Struktur:

- Es gibt beliebig viele getrennt übersetzbare Programmtexte, die zu Objekten ueebersetzt und später zu einem ausführbaren Programm gebunden werden können.
- Jeder übersetzbare Programmtext besteht aus global ansprechbaren Funktionen und Variablen.
- Die Kommunikation zwischen den Programmteilen erfolgt über Parameter und globale Variable ohne Restriktionen.

Probleme:

- Anwendungen in klassischen Programmiersprachen entwickeln sich auf Basis einer Kollektion globaler Variablen, die von jedem Programmteil genutzt und modifiziert werden.
- Dies erschwert die Untersuchung eines Programms bei Fehlern ("wer hat diese Variable modifiziert") und Änderungen der globalen Datenstruktur sind unmöglich.

Modulare Struktur

Verbesserte klassische Programmiersprachen (wie beispielsweise Modula-2 und Ada) führten Module ein:

- Module offerieren nicht mehr Zugriff auf alle Variablen und Prozeduren, die zu ihnen gehören.
- Stattdessen gibt es eine explizite Aufzählung von außen sichtbarer Prozeduren und Variablen, woraus sich eine öffentliche Schnittstelle ergibt.
- Abstrakte Datentypen erlauben es Objekte zu referenzieren, ohne ihr Innenleben zu kennen.
- Damit ist es möglich, Datenstrukturen hinter Zugriffsfunktionen zu verbergen.

Probleme:

- Es gibt keine Trennung zwischen abstrakten Schnittstellen und Implementierungen, d.h. zwischen Schnittstellen und Implementierungen liegt eine 1-zu-1-Beziehung vor (zumindest innerhalb eines gebundenen Programmes).
- Entsprechend können sich nicht mehrere verschiedene Implementierungen auf die gleiche Schnittstelle beziehen.

Wesentliche Merkmale von OO-Sprachen

- Alle Daten werden in Form von Objekten repräsentiert (mit Ausnahme einiger Basistypen und dem Erbe aus klassischen Zeiten).
- Objekte werden (explizit oder implizit) über Zeiger referenziert.
- Objekte enthalten eine Sammlung von Feldern, die entweder einen Basistyp haben oder eine Referenz zu einem anderen Objekt sind.
- Objekte sind geschützt: Ein Zugriff von außen (was immer das genau sein mag) ist nur über öffentliche Zugriffsmethoden oder öffentliche Felder möglich.
- Der Programmtext für einen Objekttyp wird in einer Klasse zusammengefaßt (kann auch leer sein im Falle von abstrakten Klassen).
- Der Typ eines Objekts legt die Schnittstelle fest. Typen und Klassen sind in vielen (jedoch nicht allen) OO-Sprachen keine wirklich getrennten Konzepte.
- Objekt-Typen können erweitert werden ohne die Kompatibilität zu ihren Basistypen zu verlieren. Diese Beziehung wird in Verbindung mit Klassen auch Vererbung genannt.
- Objekte werden von einer Klasse mit Hilfe von Konstruktoren erzeugt.

Problem-Analyse

- Die Analyse eines Problems erfolgt unabhänging von den später verwendeten objekt-orientierten Techniken und auch den OO-Modellierungsansätzen.
- Entsprechend ist der häufig verwendete Begriff “OO Analyse” nicht wirklich angemessen.
- Die Analyse ist ein fortdauernder Prozeß, der auf den weiteren Verlauf eines Software-Projekts andauernd Einfluß ausübt.
- Die Ergebnisse der Problem-Analyse sollten in einer schriftlichen und allseits verständlichen Form vorliegen.
- Im Rahmen einer Analyse entstehen “Use Case” Szenarien, die die künftigen Abläufe aus Benutzersicht beschreiben, und Modelle, die eine Gesamtsicht geben.
- Die Modelle sind anschließend sehr nützlich, um zu einem OO-Design zu gelangen und die “Use Cases” helfen, die richtigen Schnittstellen zu finden.

OO-Design

- Zu Beginn sind die Hauptsorten an Objekten zu finden. Sie stehen typischerweise in Verbindung mit den Daten, die zu verwalten sind.

- Im Falle eines Herstellers von Gütern könnten dies (nebst vielen weiteren Dingen) Geschäftskunden, private Kunden, Zulieferer, Teile und hergestellte Güter sein.

- Hinzu kommen Prozesse mit Buchhaltung, die sich z.B. um einen Fall kümmern, bei dem die Ware bereits geliefert, jedoch noch nicht gezahlt worden ist.

- Die Objekte sind hierarchisch zu klassifizieren anhand der Gemeinsamkeiten.

- So haben beispielsweise Geschäfts- und Privatkunden viele Gemeinsamkeiten und es kann davon ausgegangen werden, daß der Unterschied für viele Vorgänge keine Rolle spielt.

- Die Beziehungen zwischen den Klassen sind zu modellieren. So sollte beispielsweise ein Kunde solange nicht gelöscht werden, solange es noch einen offenen Prozeß gibt, der sich auf den Kunden bezieht.

- Um das Rad nicht immer neu zu erfinden, ist es beim OO-Design wichtig, nach bereits vorhandenen Komponenten, Frameworks und Bibliotheken zu suchen, die dazu dienen könnten den Entwicklungsaufwand zu reduzieren.

- Jenseits des aktuellen Stands der Analyse und der Anforderungen könnte es sich lohnen, die Klassen allgemein genug zu entwerfen, so daß spätere Änderungswünsche leichter berücksichtigt werden können und auch möglicherweise künftige Projekte davon profitieren.

OO-Design

- Die Kunst liegt darin, die richtige Balance zu finden zwischen Entwürfen, die kaum geeignet sind, spätere Änderungswünschen zu überleben, und Entwürfen, die so allgemein und abstrakt sind, daß sie weder im Rahmen der zur Verfügung stehenden Ressourcen zu realisieren sind noch überschaubar bleiben.

- Die Suche nach Einfachheit gewinnt fast immer.

- Viele ehrgeizige Projekte endeten als unglaublich komplizierte Ungetüme, bei denen die meisten Teile selten oder nie Verwendung fanden.

- Extrem komplexe Entwürfe können auch erhebliche Performance-Probleme in der Implementierung mit sich bringen.

OO-Implementierung

- Die Struktur der Implementierung sollte sich direkt ableiten lassen von dem OO-Design. Dazu ist es notwendig, daß die ausgewählte Programmiersprache das verwendete OO-Modell unterstützt.

- Es ist dabei nicht ungewöhnlich, sich bei der Implementierung auf eine Teilmenge der zur Verfügung stehenden Sprachmittel zu beschränken. Dies kann sinnvoll sein, um die Portabilität und die Wartbarkeit zu erhöhen.

- Viele Programmiersprachen laden jedoch zu einem bestimmten Programmierstil ein und sind mit etablierten Konventionen verbunden. Es mag nicht sehr weise sein, davon in extremer Weise abzuweichen, da sonst das Resultat schwer lesbar und wartbar sein könnte.

- Programmtext wird typischerweise nur einmal geschrieben (modulo späterer Korrekturen und Erweiterungen), jedoch vielfach gelesen. Entsprechend sollte der Lesbarkeit hohes Gewicht beigemessen werden.

- Wenn immer möglich, sollte der Programmtext sich selbst dokumentieren, indem genügend Kommentare und auch formelle Dokumentationstexte direkt in den Text eingebettet werden (Beispiele: Eiffel, POD, Javadoc). Sonst besteht die Gefahr, daß die separat erstellte Dokumentation nicht mehr mit dem tatsächlichen Stand des Programmtexts übereinstimmt.

- In diesem Zusammenhang gibt es Werkzeuge, die diese Dokumentation zusammen mit den formalen Klassenbeziehungen aus den Programmtexten extrahieren können.

Tests

- Für jeden Testfall sollten die zu erwartenden Resultate im Voraus ermittelt werden, typischerweise aus der Spezifikation.

- Das Ziel besteht darin, soviel wie möglich Fehler zu finden, bevor das Auftreten von Fehlern (z.B. nach der Auslieferung) zu teuer wird. Es ist eine destruktive Tätigkeit.

- Tests sollten reproduzierbar sein.

- Es ist sowohl sinnvoll, Tests für einzelne Module bei der Entwicklung mit zu erstellen und zusammen mit dem Programmtext für ein Modul zu verwalten als auch getrennte Teams mit der Entwicklung von Testfällen zu beauftragen. Letzteres stellt auch sicher, daß das korrekte Verständnis der Spezifikation mit getestet wird.

- Testsuiten sind sehr hilfreich, um sich gegen neu eingeführte Fehler zu schützen und um bei Portierungen frühzeitig Fehler zu erkennen.

Wartung

Alle Entwicklungsprozesse und Kosten nach der Auslieferung eines Software-Produkts gehören zur Wartungsphase. Es wird häufig übersehen, daß in vielen Fällen die Wartungsphase kostspieliger als alle vorangegangen Phasen sein kann:

- Änderungswünsche des Kunden (41.8%).
- Änderungen bei der Repräsentierung von Daten (17.6%).
- Notfall-Reparaturen (12.4%).
- Gewöhnliche Korrekturen (9%).
- Hardware-Änderungen (6.2%).
- Dokumentation (5.5%).
- Performance-Verbesserungen (4%).
- Andere Kosten (3.4%).

Diese Prozentzahlen geben die relativen Wartungskosten an, die bei einer Studie von Lientz und Swanson 1980 aus 487 Software-Projekten ermittelt wurden. Ungeachtet des Alters der Studie, gibt es keine signifikanten Änderungen zu heutigen Software-Projekten.

Quelle: Bertrand Meyer, “Object-Oriented Software Construction”, “About Software Maintenance”.

Einführung in UML: Unified Modeling Language

- Mit der Einführung verschiedener objekt-orientierter Programmiersprachen entstanden auch mehr oder weniger formale graphische Sprachen für OO-Designs.
- Popularität genossen unter anderem die graphische Notation von Grady Booch aus dem Buch “Object-Oriented Analysis and Design”, OMT von James Rumbaugh (Object Modeling Technique), die Diagramme von Bertrand Meyer in seinen Büchern und die Notation von Wirfs-Brock et al in “Designing Object-Oriented Software”.
- Später vereinigten sich Grady Booch, James Rumbaugh und Ivar Jacobson in Ihren Bemühungen, eine einheitliche Notation zu entwerfen. Damit begann die Entwicklung von UML Mitte der 90er Jahre.
- Anders als die einfacheren Vorgänger vereinigt UML eine Vielzahl einzelner Notationen für verschiedene Aspekte aus dem Bereich des OO-Designs und es können deutlich mehr Details zum Ausdruck gebracht werden.
- Somit ist es üblich, sich auf eine Teilmenge von UML zu beschränken, die für das aktuelle Projekt ausreichend ist.

Use Cases

- "Use Cases" dokumentieren während der Analyse die typischen Prozeduren aus der Sicht der aktiven Teilnehmer (Akteure) für ausgewählte Fälle.

- Akteure sind aktive Teilnehmer, die Prozesse in Gang setzen oder Prozesse am Laufen halten.

- Akteure können

  - von Menschen übernehmbare Rollen, die direkt interaktiv mit dem System arbeiten,

  - andere Systeme, die über Netzwerkverbindungen kommunizieren oder

  - interne Komponenten sein, die kontinuierlich laufen (wie beispielsweise die Uhr).

- "Use Cases" werden informell dokumentiert durch die Aufzählung einzelner Schritte, die zu einem Vorgang gehören und können in graphischer Form zusammengefaßt werden, wo nur noch die Akteure, die zusammengefaßten Prozeduren und Beziehungen zu sehen sind.

Abläufe bei einer Bank-Anwendung

Aus welchen für die Nutzer sichtbaren Schritten bestehen einzelne typische Abläufe bei dem Umgang mit Bankkunden?

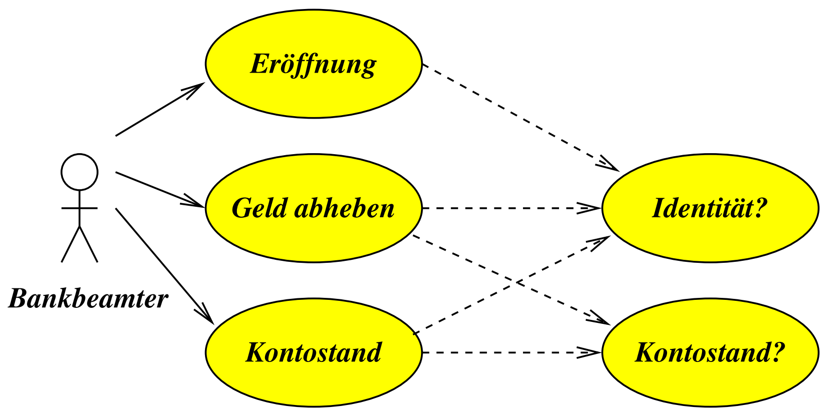
Konto-Eröffnung	Feststellung der Identität Persönliche Angaben erfassen Kreditwürdigkeit überprüfen
Geld abheben	Feststellung der Identität Überprüfung des Kontostandes Abbuchung des abgehobenen Betrages
Auskunft über den Kontostand	Feststellung der Identität Überprüfung des Kontostandes

- Hier sind nur die Aktivitäten aufgeführt, die der Schalterbeamte im Umgang mit dem System ausübt.

- Der Akteur ist hier der Schalterbeamte, weil er in diesen Fällen mit dem System arbeitet. Der Kunde wird nur dann zum Akteur, wenn er beispielsweise am Bankautomaten steht oder über das Internet auf sein Bankkonto zugreift.

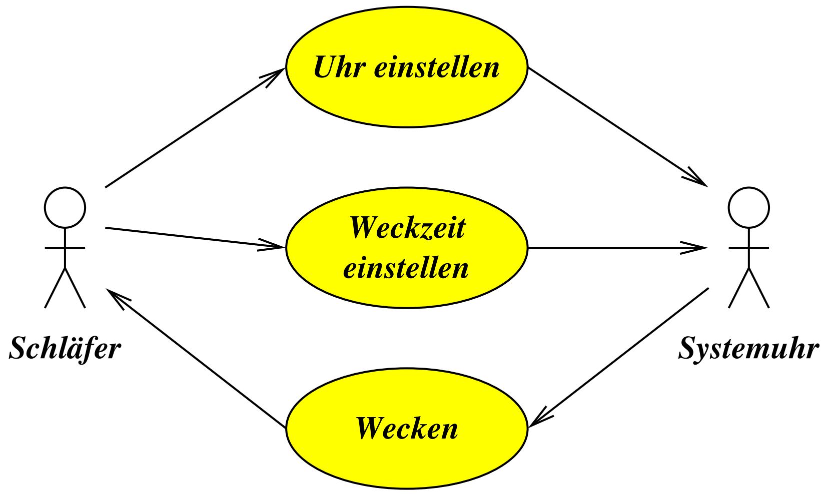
- Interessant sind hier die Gemeinsamkeiten einiger Abläufe. So wird beispielsweise der Kontostand bei zwei Prozeduren überprüft.

Abläufe bei einer Bank-Anwendung



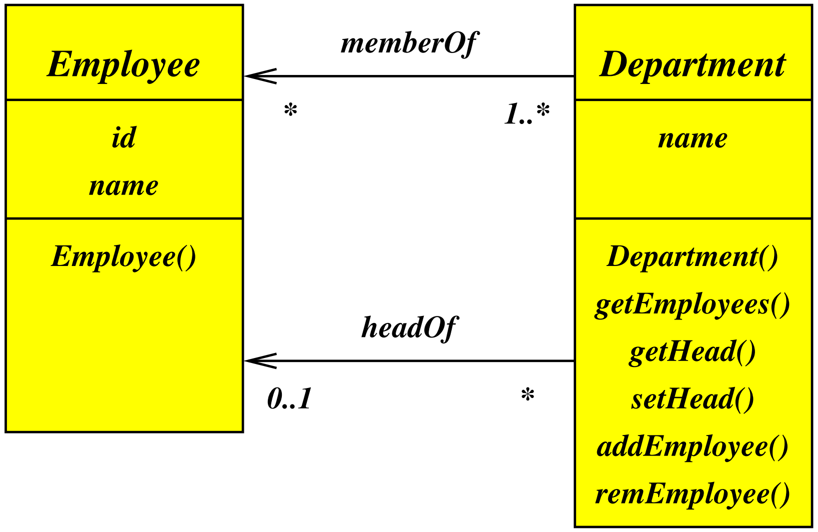
- Eine glatte Linie mit einem Pfeil verbindet einen Akteur mit einem Use-Case. Das bedeutet, daß die mit dem Use-Case verbundene Prozedur von diesem Akteur angestoßen bzw. durchgeführt wird.
- Gestrichelte Linien repräsentieren Beziehungen zwischen mehreren Prozeduren. Damit können Gemeinsamkeiten hervorgehoben werden.
- Wichtig: Pfeile repräsentieren **keine** Flußrichtungen von Daten. Es führt hier insbesondere kein Pfeil zu dem Bankbeamten zurück.

Abläufe bei einem Wecker



- Es können auch Pfeile von Prozeduren zu Akteuren gehen, wenn sie eine Benachrichtigung repräsentieren, die sofort wahrgenommen wird.
- Ein Wecker hat intern einen Akteur — die Systemuhr. Sie aktualisiert laufend die Zeit und muß natürlich eine Neu-Einstellung der Zeit sofort erfahren.
- Das Auslösen des Wecksignals wird von der Systemuhr als Akteur vorgenommen. Diese Prozedur führt (hoffentlich) dazu, daß der Schläfer geweckt wird. In diesem Falle ist es berechtigt, auch einen Pfeil von einer Prozedur zu einem menschlichen Akteur zu ziehen.

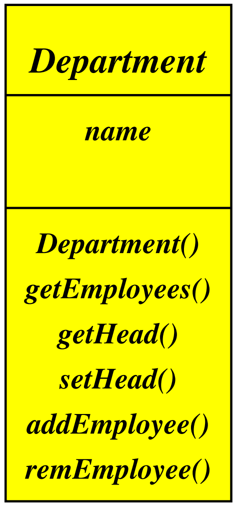
Klassen-Diagramme



- Klassen-Diagramme bestehen aus Klassen (dargestellt als Rechtecke) und deren Beziehungen (Linien und Pfeile) untereinander.

- Bei größeren Projekten sollte nicht der Versuch unternommen werden, alle Details in ein großes Diagramm zu integrieren. Stattdessen ist es sinnvoller, zwei oder mehr Ebenen von Klassen-Diagrammen zu haben, die sich entweder auf die Übersicht oder die Details in einem eingeschränkten Bereich konzentrieren.

Darstellung einer Klasse



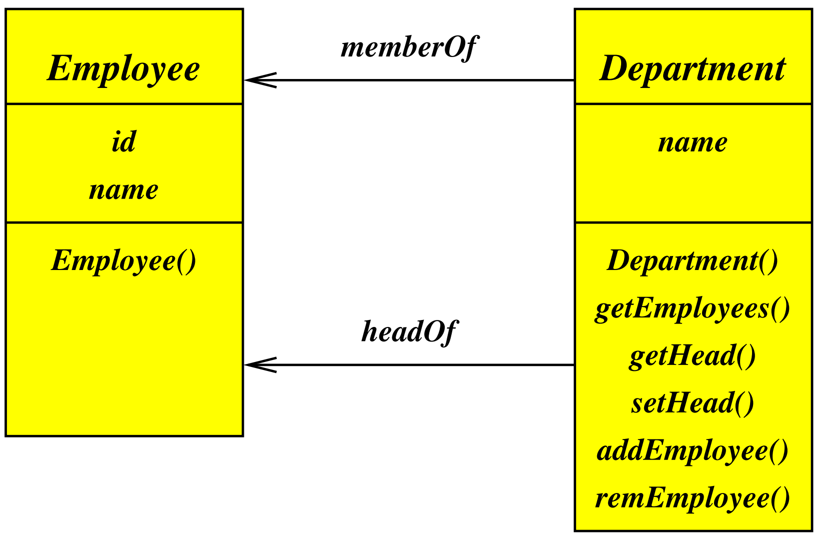
- Die Rechtecke für eine Klasse spezifizieren den Namen der Klasse und die öffentlichen Felder und Methoden. Die erste Methode sollte (sofern vorhanden) der Konstruktor sein.

- Diese Sektionen werden durch horizontale Striche getrennt.

- Bei einem Übersichtsdiagramm ist es auch üblich, nur den Klassennamen anzugeben.

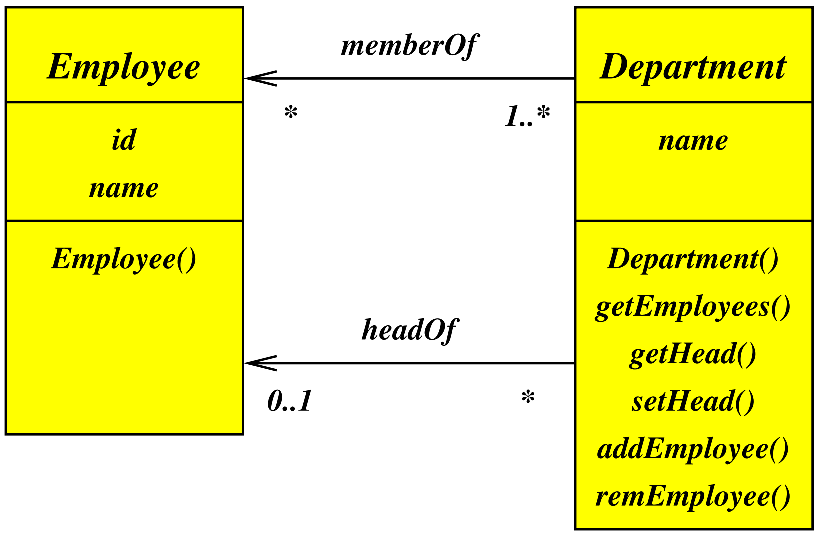
- Private Felder und private Methoden werden normalerweise weggelassen. Eine Ausnahme ist nur angemessen, wenn eine Dokumentation für das Innenleben einer Klasse angefertigt wird, wobei dann auch nur das Innenleben einer einzigen Klasse gezeigt werden sollte.

Beziehungen



- Primär werden bei den dargestellten Beziehungen Referenzen in der Datenstruktur berücksichtigt.
- Referenzen werden mit durchgezogenen Linien dargestellt, wobei ein oder zwei Pfeile die Verweisrichtung angeben.
- In diesem Beispiel kann ein Objekt der Klasse **Department** eine Liste von zugehörigen Angestellten liefern.
- Zusätzlich ist es mit gestrichelten Linien möglich, die Benutzung einer anderen Klasse zum Ausdruck zu bringen. Ein typisches Beispiel ist die Verwendung einer fremden Klasse als Typ in einer Signatur.

Komplexitätsgrade



- Komplexitätsgrade spezifizieren jeweils aus der Sicht eines *einzelnen* Objekts, wieviele konkrete Beziehungen zu Objekten der anderen Klasse existieren können.
- Ein Komplexitätsgrad wird in Form eines Intervalls angegeben (z.B. “0..1”), in Form einer einzelnen Zahl oder mit “*” als Kurzform für 0 bis unendlich.
- Für jede Beziehung werden zwei Komplexitätsgrade angegeben, jeweils aus Sicht eines Objekts der beiden beteiligten Klassen.
- In diesem Beispiel hat eine Abteilung gar keinen oder einen Leiter, aber ein Angestellter kann für beliebig viele Abteilungen die Rolle des Leiters übernehmen.

Implementierung von Komplexitätsgraden

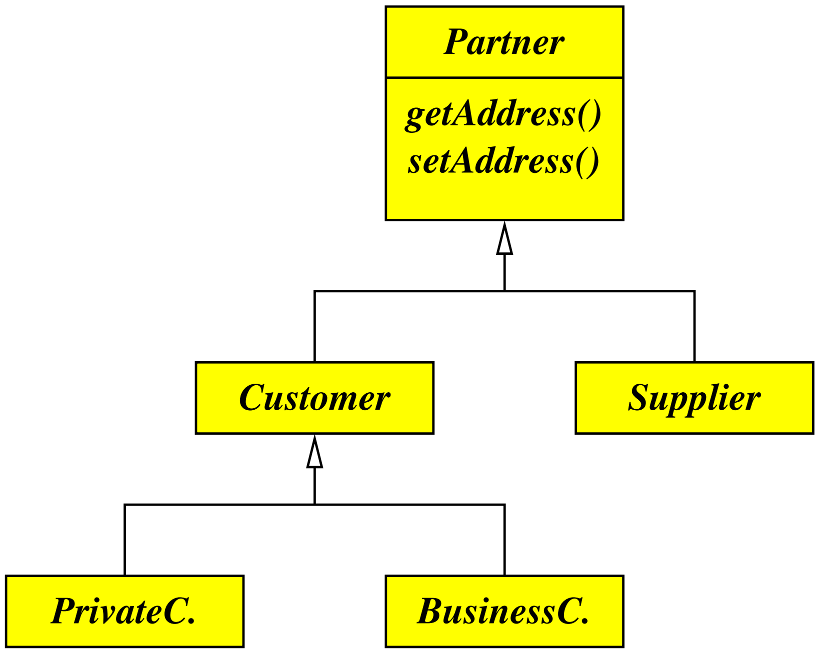
Bei der Implementierung ist der Komplexitätsgrad am Pfeilende relevant:

- Ein Komplexitätsgrad von 1 wird typischerweise durch eine private Referenz, die auf ein Objekt der anderen Klasse zeigt, repräsentiert. Dieser Zeiger muß dann immer wohldefiniert sein und auf ein Objekt zeigen.
- Bei einem Grad von 0 oder 1 darf der Zeiger auch **NIL** (oder **NULL**) sein.
- Bei "*" werden Listen oder andere geeignete Datenstrukturen benötigt, um alle Verweise zu verwalten. Solange für die Listen vorhandene Sprachmittel oder Standard-Bibliotheken für Container verwendet werden, werden sie selbst nicht in das Klassendiagramm aufgenommen.
- Im Beispiel hat die Klasse **Department** einen privaten Zeiger **head**, der entweder **NIL** ist oder auf einen **Employee** zeigt.
- Für die Beziehung **memberOf** wird hingegen bei der Klasse **Department** eine Liste benötigt.

Konsistenz bei Komplexitätsgraden

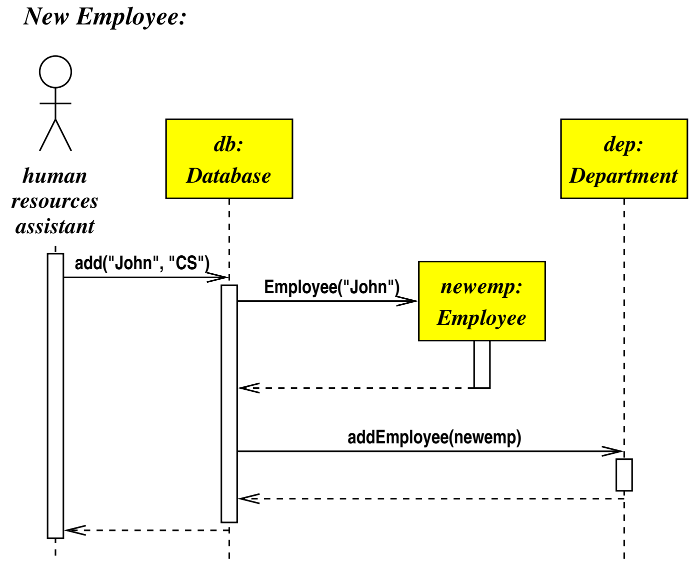
- Auch der Komplexitätsgrad am Anfang des Pfeiles ist relevant, da er angibt, wieviel Verweise insgesamt von Objekten der einen Klasse auf ein einzelnes Objekt der anderen Klasse auftreten können.
- Im Beispiel muß jeder Angestellte in mindestens einer Abteilung aufgeführt sein. Er darf aber auch in mehreren Abteilungen beheimatet sein.
- Um die Konsistenz zu bewahren, darf der letzte Verweis einer Abteilung zu einem Angestellten nicht ohne weiteres gelöscht werden. Dies ist nur zulässig, wenn auch gleichzeitig der Angestellte gelöscht wird oder in eine andere Abteilung aufgenommen wird.
- Die Klasse, von der ein Pfeil ausgeht, ist üblicherweise für die Einhaltung der zugehörigen Komplexitätsgrade verantwortlich.

Klassen-Hierarchien



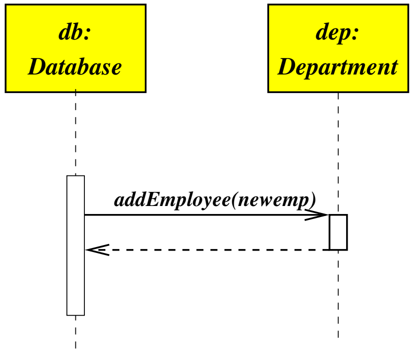
- Dieses Beispiel zeigt eine einfache Klassen-Hierarchie, bei der **Customer** und **Supplier** Erweiterungen von **Partner** sind. **Customer** ist wiederum eine Verallgemeinerung von **PrivateCustomer** und **BusinessCustomer**.
- Alle Erweiterungen erben die Methoden **getAddress()** und **setAddress()** von der Basis-Klasse.
- Dieser Entwurf erlaubt es, Kontakt-Adressen verschiedener Sorten von Partnern in einer Liste zu verwalten. Damit bleibt z.B. der Ausdruck von Adressen unabhängig von den vorhandenen Ausprägungen.

Sequenz-Diagramme



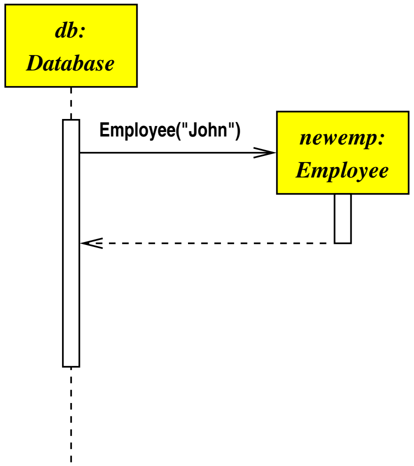
- Sequenz-Diagramme zeigen den Kontrolfluß für ausgewählte Szenarien.
- Die Szenarien können unter anderem von den Use-Cases abgeleitet werden.
- Sie demonstrieren wie Akteure und Klassen miteinander in einer sequentiellen Form operieren.

Methodenaufrufe in einem Sequenz-Diagramm



- Die Zeitachse verläuft von oben nach unten.
- Jedes an einem Szenario beteiligte Objekt wird durch ein Rechteck dargestellt, das die Klassenbezeichnung und optional einen Variablennamen enthält.
- Die Zeiträume, zu denen ein Objekt nicht aktiv ist, werden mit einer gestrichelten Linie dargestellt.
- Ein Objekt wird dann durch einen Methodenaufruf aktiv. Der Zeitraum, zu dem sich eine Methode auf dem Stack befindet, wird durch langgezogenes Rechteck dargestellt.
- Der Methodenaufruf selbst wird durch einen Pfeil dargestellt, der mit dem Aufruf selbst beschriftet wird.
- Die Rückkehr kann entweder weggelassen werden oder sollte durch eine gestrichelte Linie markiert werden.

Konstruktoren in einem Sequenz-Diagramm



- Objekte, die erst im Laufe des Szenarios durch einen Konstruktor erzeugt werden, werden rechts neben dem Pfeil plaziert.
- Ganz oben stehen nur die Objekte, die zu Beginn des Szenarios bereits existieren.
- Da ein neu erzeugtes Objekt sofort aktiv ist, gibt es keine gestrichelte Linie zwischen dem Objekt und der ersten durch ein weißes Rechteck dargestellten Aktivitätsphase.

Einführung in Perl

- Larry Wall begann 1987 mit der Entwicklung von Perl aus Frust über die Unzulänglichkeiten von *awk*.
- Perl ist wahlweise eine Abkürzung von "Practical Extraction and Report Language" oder von "Pathologically Eclectic Rubbish Lister".
- Larry Wall wurde schon vorher bekannt als Autor von *patch* und *rn* (ein Stammvater diverser News-Reader).
- Große Popularität und Verbreitung innerhalb der UNIX-Gemeinde fand perl4 (letzte Version: 4.036)
- Ende 1994 kam Perl in der Version 5.000 heraus, die nicht nur viele Erweiterungen mit sich brachte (beliebige Datenstrukturen, Modulkonzepte, OO-Features), sondern auch signifikante Aufräumarbeiten, die zur Vereinfachung der Grammatik führten.
- Die zur Zeit aktuelle stabile Version ist 5.8.0. Eine grundlegende Überarbeitung von Perl ist fuer Perl 6 im Gange, die sich jedoch wohl noch einige Jahre hinziehen wird. Darüberhinaus beteiligt sich die gesamte Netzgemeinde mit zahllosen Modulen und Ports an dem nahezu grenzenlosen Wachstum von Perl.

Nachteile der Shells

- Shell-Skripte sind praktisch, solange sie sehr kurz sind, jedoch ist es bei längeren Shell-Skripten vollkommen unmöglich, sie lesbar zu halten. Damit wird eine spätere Wartung außerordentlich erschwert.
- Shell-Skripte enthalten eine Vielzahl von Kommandos, die nicht in der Shell eingebaut sind, sondern in separaten Prozessen ausgeführt werden müssen. Dies betrifft auch einfache Arithmetik- oder String-Operationen (zumindest in der Bourne-Shell):

  ```
  i=1
  while [ $i -lt 10 ]
  do ...
     i=`expr $i + 1`
  done
  ```

  Entsprechend sind Shell-Skripte furchtbar langsam und ressourcenfressend.
- Durch die Vielzahl externer Kommandos sind Shell-Skripte fast immer völlig inportabel – sogar bei verschiedenen UNIX-Releases des gleichen Herstellers. Man denke nur an den Übergang von SunOS 4.1.x zu Solaris 2.x
- "Verwende Perl. Shell will man koennen, dann aber nicht verwenden."
  Kristian Köhntopp, de.comp.os.unix.misc

Nachteile von *awk*

- *awk* ist wundervoll einfach, wenn eine Datei auf einfache Weise einmal bearbeitet wird, um dann z.B. einen Report zu erstellen.

- Was vom “Standardmodell” von *awk* abweicht, ist nur umständlich zu formulieren und scheitert u.U. auch an Restriktionen – ältere *awk*-Versionen ließen z.B. nur 10 offene Dateien (insgesamt) zu.

- *awk* unterstützt nur einfache Prozeduren, aber keine Techniken, die für größere Projekte erforderlich sind.

Vorteile von Perl

- Perl und Unmengen zugehöriger Module sind freie Software, die der GNU General Public License oder alternativ der Artistic License von Larry Wall unterliegen.

- Perl läuft auf einer Vielzahl von Plattformen und ist portabler als andere – insbesondere portabler als C und erst recht portabler als andere UNIX-Werkzeuge.

- Perl bietet viele Strukturierungsmechanismen, die für große Projekte notwendig sind:

  - Modularisierung

  - OO-Techniken

  - Beliebige Datenstrukturen

  - Zahlreiche Überprüfungen, die nicht nur über die anderer Skript-Programmiersprachen hinausgehen, sondern insbesondere auch über die von C und C++.

Vorteile von Perl

- Perl vereinigt fast den gesamten UNIX-Werkzeugkasten in zumeist sehr vertrauter Form. Dazu gehören insbesondere
  - Bourne-Shell
  - awk
  - sed
  - tr
  - sort
- Perl bietet reguläre Ausdrücke in ansonsten unerreichter Luxus-Fassung an (aufwärtskompatibel zu den sonst unter UNIX gewohnten regulären Ausdrücken) – wenngleich sie nicht mehr im strengen Sinne regulär sind.
- Der Zugriff auf alle Systemaufrufe ist auf direkte (und weitgehend portable Weise) möglich. Dazu gehören z.B. auch alle gängigen Operationen für UNIX-Sockets.

Vorteile von Perl

- Perl-Module, zu denen auch beliebiger C-Code gehören kann, können dynamisch hinzugeladen werden.
- Perl ist um Größenordnungen schneller als alle anderen UNIX-Tools. Nur allerneueste Versionen von *awk* (z.B. *mawk*) können teilweise in einfachen Fällen mithalten. Das hat folgende Ursachen:
  - Perl übersetzt zuerst das gesamte Skript mitsamt allen importierten Modulen in einen internen Byte-Code, der anschließend sehr effizient ausgeführt werden kann.
  - Durch die hohe Integration von Perl müssen kaum fremde Prozesse gestartet werden.
  - Perl besitzt eine hervorragende Speicherverwaltung, so ziemlich die schnellste bekannte Implementierung für reguläre Ausdrücke und nahezu perfekte Repräsentierungen für die wichtigen Datenstrukturen (Listen und assoziative Arrays).

Nachteile von Perl

- Es ist kein Problem, in Perl Programme zu schreiben, deren Unlesbarkeit deutlich die von allerschlimmsten Shell-Skripten oder *awk*-Programmen übersteigt. Entsprechend gibt es regelmäßig den "Obsfuscated Perl Contest".

- Da Perl mehr oder weniger den gesamten UNIX-Werkzeugkasten integriert und zusätzlich zahllose Sprachfeatures besitzt, hat es einen enormen Sprachumfang, der insbesondere zu Beginn kaum zu überblicken ist.

- Im Augenblick gehört Perl nur in seltenen Fällen zur Standardauslieferung eines UNIX-Systems. Da Perl glücklicherweise aber frei ist, kann es problemlos Bestandteil eines kommerziellen Software-Pakets sein, das an Kunden weitergegeben wird.

Alternativen zu Perl

- Die Unzulänglichkeiten älterer Skript-Programmiersprachen ließen eine Reihe von neueren Ansätzen gedeihen. Perl ist hier nicht der einzige Vertreter.

- Python und S-Lang sind zwei relativ gut strukturierte und moderne Vertreter, die insbesondere (bislang) keine so chaotisch-historische Entwicklung wie Perl genommen haben.

- Für die Anhänger von Lisp gibt es interessante Scheme-Implementierungen und natürlich Emacs, der im Zweifelsfall sowieso alles kann :-)

- Tcl ist gut als Shell innerhalb einer Anwendung (analog zu den gewohnten UNIX-Shells) – jedoch katastrophal schlecht in der Effizienz und bei dynamischen Datenstrukturen (obwohl sich diesbezüglich in der letzten Zeit auch einiges getan hat).

- Allen Alternativen ist gemeinsam, daß sie weder die Effizienz, noch den Umfang an durchaus sinnvollen Operationen haben. Ganz zu schweigen von der inzwischen sehr umfangreichen Perl-Bibliothek.

Dokumentation zu Perl

perldata	Datenstrukturen von Perl
perlsyn	Syntax von Perl
perlop	Operatoren und Vorränge
perlre	Reguläre Ausdrücke in Perl
perlrun	Aufruf von Perl auf der Kommandozeile
perlfunc	Überblick aller eingebauten Funktionen in Perl (ist sehr umfangreich)
perlvar	Vordefinierte Variablen
perlsub	Prozeduren in Perl
perlmod	Module in Perl
perlref	Zeiger in Perl
perlobj	Objekte in Perl

- Perl kommt zusammen mit einer sehr guten und ausführlichen Referenz-Dokumentation. Die Dokumentation gibt es als Manualseiten, die aber auch in HTML verwandelt werden kann (sehr empfehlenswert). Inzwischen gibt es die Dokumentation auch im PDF-Format.

- Es gibt zahlreiche weitere Manualseiten zu Perl, die u.a. in tutorieller Form auf dynamische Datenstrukturen und OO-Techniken eingehen.

- Bei uns gibt es diese Seiten unter `http://www.mathematik.uni-ulm.de/help/perl5/doc/perl.html` im Web.

Bücher zu Perl

- *Programming Perl*, Larry Wall, Randal L. Schwartz, et al. O'Reilly, 3rd Edition July 2000, ISBN: 0-59600-027-8
  Dies ist das Standardwerk zu Perl, das sich auf Perl 5.6 bezieht. Die Unterschiede zu 5.8.0 sind dabei nicht zu dramatisch.
  Wegen des Titelbilds ist es auch als "camel book" bekannt und das Kamel sind seitdem das Wappentier von Perl :-)

- *Learning Perl*, Randal L. Schwartz, O'Reilly, 3rd Edition July 2001, ISBN: 0-596-00132-0
  Sehr gute Einführung zu Perl, die auf 5.004 basiert.
  Wegen dem Titelbild ist es als "llama book" bekannt.

- *Advanced Perl Programming*, Sriram Srinivasan, O'Reilly, 1st Edition August 1997, ISBN: 1-56592-220-4
  Dieses Buch geht ein auf die Verbindung von Perl mit Datenbanken, graphischen Benutzeroberflächen und Netzwerkdiensten.

- *Effective Perl Programming*, Joseph Hall, Randal L. Schwartz, Addison-Wesley, 1st Edition 1998, ISBN: 0-201-41975-0
  Sehr gutes Tutorial zur besseren Programmierung in Perl und zu den neueren Sprachkonstrukten in Perl.

- *Perl Cookbook*, Tom Christiansen & Nathan Torkington, O'Reilly, 1st Edition August 1998, ISBN: 1-56592-243-3
  Ist mittlerweile eines der Standardwerke, das zeigt, wie zahllose immer wieder vorkommende Probleme in Perl elegant und korrekt gelöst werden können.

- Weitere Buchhinweise gibt es unter `http://reference.perl.com/query.cgi?books` im WWW.

Periodika und Webseiten zu Perl

- Es gibt eine Zeitschrift nur für Perl: *The Perl Journal*. Mehr dazu im WWW unter
  `http://www.tpj.com/`
- In der Zeitschrift *UNIX Review* gibt es eine regelmäßige Perl-Kolumne von Randal Schwartz. Sie wird auch im Web unter `http://www.stonehenge.com/merlyn/UnixReview/` veröffentlicht.
- Eine weitere Perl-Kolumne gibt es in der Zeitschrift *Web Techniques* ebenfalls von Randal Schwartz. Im Web unter `http://www.stonehenge.com/merlyn/WebTechniques/` zu finden.
- Im WWW gibt es natürlich einige interessante Seiten:
  - Perl-Home-Page: `http://www.perl.com/`
  - Perl Oasis: `http://www.oasis.leo.org/perl/`
  - Meine Seite: `http://www.mathematik.uni-ulm.de/help/perl5/`

Erste Schritte mit Perl

first.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

print "Hello world!\n";
```

- Wie bei anderen Skript-Programmiersprachen auch sorgt die erste Zeile (unter UNIX) dafür, daß der richtige Interpreter gestartet wird.
- Da Perl typischerweise nicht vom UNIX-Hersteller mitgeliefert wird, ist `/usr/local/bin/perl` die wahrscheinlichste Lokation. Allerdings gibt es beim Perl automatische Installierungsmechanismen, die von selbst dafür sorgen können, daß dieser Pfad stimmt.
- `use warnings` schaltet die Warnungen ein und `use strict` vermeidet eine Reihe von Fallen durch mittlerweile obsolete Sprachkonstruktionen. Perl sollte nie ohne diese beiden Optionen verwendet werden.
- Die eingebaute `print`-Anweisung ermöglicht Ausgaben (per Voreinstellung nach `STDOUT`).

Skalare Variablen

scalar.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

my $greeting = "Hallo Perl-Fans!";
print "$greeting\n";
```

- Wenn `use strict` angegeben wird, müssen alle Variablen deklariert werden. Dies geschieht hier durch die Angabe von `my`, die aus `$greeting` eine lokale Variable macht.
- Der Typ einer Variablen ergibt sich implizit aus dem ersten Zeichen. Hier legt `$` fest, daß es sich um eine skalare Variable handelt. Im Gegensatz zur Shell wird `$` unabhängig davon verwendet, ob die Variable benutzt wird oder ob ihr etwas zugewiesen wird.
- Analog zu C ist ein Semikolon am Ende einer Anweisung anzugeben. Im Gegensatz zu *awk* und der Bourne-Shell hat der Zeilentrenner keine Bedeutung als Trenner zwischen Anweisungen.
- Genauso wie in der Bourne-Shell können innerhalb von Zeichenketten, die in doppelte Anführungszeichen eingeschlossen sind, Variablen angegeben werden, deren Wert dann eingefügt wird.
- Analog zu ANSI-C werden innerhalb von Zeichenketten verschiedene Sonderzeichen wie z.B. `\n` unterstützt.

Eingabe

hello.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

print "Name: ";
my $name = <STDIN>;
print "Sei gegruesst, $name";
```

- Das Einlesen erfolgt mit dem <>-Operator, bei dem eine Dateiverbindung angegeben werden kann (hier: `STDIN`).
- Bei der Zuweisung an eine skalare Variable wird dabei genau eine Zeile eingelesen inklusive dem Zeilentrenner (was der immer sein mag).
- Da in `$name` bereits der Zeilentrenner enthalten ist, brauchen wir ihn nicht mehr bei der `print`-Anweisung mit anzugeben.

Ein paar Operationen

sum.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -w

use strict;
use warnings;

print "a = "; chomp(my $a = <STDIN>);
print "b = "; chomp(my $b = <STDIN>);
print "a + b = ", $a + $b, "\n";
```

- Die zum Standardumfang von Perl gehörende Prozedur `chomp` eliminiert den Zeilentrenner am Ende der übergebenen Zeichenkette.
- In Perl werden Parameter (anders als in C) via *call by reference* (soweit wie möglich) übergeben. Auf diese Weise kann `chomp` die übergebenen Variablen problemlos modifizieren.
- Anders als in C ist das Resultat eines Zuweisungsoperators wieder ein *lvalue*, d.h. er kann auf der linken Seite einer Zuweisung stehen oder hier von `chomp` weiter bearbeitet werden.
- Analog zu *awk* unterscheidet Perl bei skalaren Variablen nicht zwischen Zeichenketten und Gleitkommazahlen. Je nach Bedarf wird die Repräsentierung jeweils angepaßt.
- Bei `print` können durch Kommata getrennt eine Reihe von Argumenten angegeben werden, die alle hintereinander auszugeben sind.

Vorränge

Soweit Operatoren von ANSI-C übernommen worden sind, wurden deren Vorränge untereinander beibehalten:

left	terms and list operators (leftward)
left	`->`
nonassoc	`++ --`
right	`**`
right	`! ~ \` and unary + and -
left	`=~ !~`
left	`* / % x`
left	`+ - .`
left	`<< >>`
nonassoc	named unary operators
nonassoc	`< > <= >= lt gt le ge`
nonassoc	`== != <=> eq ne cmp`
left	`&`
left	`| ^`
left	`&&`
left	`||`
nonassoc	`.. ...`
right	`?:`
right	`= += -= *=` etc.
left	`, =>`
nonassoc	list operators (rightward)
right	`not`
left	`and`
left	`or xor`

Hinweis: Die Vorrang-Tabelle wurde wörtlich aus der *perlop*-Manualseite übernommen.

Ein erster Filter

ulm.pl

```
while (<>) {
   print if /Ulm/;
}
```

- Wenn beim Einlese-Operator `<>` keine Dateiverbindung angegeben worden ist, wird entweder die Standardeingabe (`STDIN`) verwendet oder, falls Parameter angegeben worden sind, nacheinander alle angegebenen Dateien zum Lesen eröffnet.
- Wenn der Operator `<>` ganz alleine in einer Schleifen-Kontrollbedingung steht, wird das Ergebnis nicht weggeworfen, sondern implizit der Variablen `$_` zugewiesen.
- Beim Erreichen des Eingabe-Endes liefert `<>` als Resultat `undef`. Erst dies wird von `while` als FALSE interpretiert (ganz im Gegensatz zu einer leeren Zeile).
- Obwohl innerhalb der `while`-Schleife nur eine einzige Anweisung steht, sind die geschweiften Klammern notwendig (im Gegensatz zu C, wo sie nur bei mehreren Anweisungen zwingend sind).
- Die `print`-Operation gibt implizit die Variable `$_` aus, wenn keine Parameter angegeben sind.
- Hinter einem Ausdruck kann eine `if`-Bedingung folgen, die dazu führt, daß der vorstehende Ausdruck nur dann bewertet wird, wenn die Bedingung wahr ist.
- Ein regulärer Ausdruck ohne Bezug bezieht sich implizit auf die Variable `$_`.

Kurzübersicht der Kontrollstrukturen

expr1 `if` *expr2*
expr1 `unless` *expr2*
expr1 `while` *expr2*
expr1 `until` *expr2*
expr1 `foreach` *expr2*
`if` (*expr*) `{` *stmts* `}`
[`elsif` (*expr*) `{` *stmts* `}` ...]
[`else` `{` *stmts* `}`]
`unless` (*expr*) `{` *stmts* `}`
[`else` `{` *stmts* `}`]
[*label*] `while` (*expr*) `{` *stmts* `}` [`continue` `{` *stmts* `}`]
[*label*] `until` (*expr*) `{` *stmts* `}` [`continue` `{` *stmts* `}`]
[*label*] `for` `(` [*expr*] `;` [*expr*] `;` [*expr*] `)` `{` *stmts* `}`
[*label*] `foreach` [*var*] `(` *list* `)` `{` *stmts* `}`
[*label*] `{` *stmts* `}` [`continue` `{` *stmts* `}`]
`goto` [*label*]
`last` [*label*]
`next` [*label*]
`redo` [*label*]
`do` `{` *stmts* `}` `while` *expr*
`do` `{` *stmts* `}` `until` *expr*

Diese Tabelle wurde in etwas geänderter Form aus der Perl-Referenz von Johan Vromans übernommen.

Dateien eröffnen

addresses.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
while (<$book>) {
   chomp;
   my ($name, $address) = split /:/;
   printf "%-20s | %s\n", $name, $address;
}
$book->close;
```

- `IO::File` ist ein standardmäßig zu Perl gehörendes Modul zur Eröffnung von Dateien, das mit `use IO::File;` importiert wird.
- `new IO::File` ist ein Konstruktor dieses Moduls, das einen Dateinamen als ersten Parameter akzeptiert.
- Der Konstruktor liefert ein Objekt (ist ein skalarer Wert in Perl) zurück, der daraufhin als Referenz auf die geöffnete Datei verwendet werden kann.
- Wenn der Konstruktor fehlschlägt, wird `die` aufgerufen, das nach Ausgabe der angegebenen Meldung die Ausführung des Programms beendet (mit einem Exit-Code von 2).
- Genauso wie im letzten Beispiel wird jeweils eine Zeile innerhalb der `while`-Bedingung eingelesen und an `$_` zugewiesen.

Dateien eröffnen

```
juliet$ cat addressbook
Andreas Borchert:Universitaet Ulm, 89069 Ulm
Larry Wall:O'Reilly, ...
juliet$ perl addresses.pl
Andreas Borchert     | Universitaet Ulm, 89069 Ulm
Larry Wall           | O'Reilly, ...
juliet$
```

- Wenn `chomp` ohne Parameter aufgerufen wird, entfernt es den Zeilentrenner am Ende von `$_`.
- `split` erhält als ersten Parameter einen regulären Ausdruck, der als Feldtrenner interpretiert wird. Fehlt der zweite Parameter, so zerlegt `split` implizit `$_`.
- `split` liefert eine Liste von Feldern zurück, die wiederum an eine Liste von Variablen zugewiesen werden kann (dazu in Kürze mehr).
- Hier landet jedenfalls das erste Feld in `$name` und das zweite Feld in `$address`. Sollte es weitere Felder gegeben haben, fallen sie unter den Tisch (das funktioniert hier also anders als die `read`-Anweisung in der Bourne-Shell).
- Alternativ zu `print` gibt es auch `printf`, das in gewohnter Weise operiert. Zu beachten ist nur, daß `%*` im Format nicht zulässig ist – stattdessen kann die jeweilige Variable, die die Breite enthält, auf gewohnte Weise interpoliert werden (also etwa `%$breite`).
- Mit `$book->close` wird die Methode `close` für das Objekt `$book` aufgerufen.

Dateien eröffnen

addresses2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
while (defined (my $line = $book->readline)) {
   chomp $line;
   my ($name, $address) = split /:/, $line;
   printf "%-20s | %s\n", $name, $address;
}
$book->close;
```

Dies Skript ist äquivalent zum vorherigen, verzichtet jedoch auf `$_` und die implizite Verwendung von `defined`:

- Anstelle von `<$book>` wurde `$book->readline` verwendet.
- Eingelesene Zeilen werden explizit an `$line` zugewiesen anstatt implizit an `$_`.
- Es wird explizit mit `defined` überprüft, ob das Einlesen klappte.
- Bei `chomp` und `split` wird explizit `$line` genannt.

Verwendete Operationen im Überblick

`my $var`	Deklarierung einer lokalen Variablen
`print $text`	Ausgabe von `$text`
`printf $fmt, $text`	Formatierte Ausgabe
`new IO::File $path`	`$path` zum Lesen eröffnen
`<$in>`	zeilenweise mit Trenner einlesen
`$in->getc`	einzelnes Zeichen einlesen
`$in->getline`	eine Zeile einlesen
`$in->close`	Verbindung schließen
`chomp $text`	Zeilentrenner am Ende entfernen
`split /RE/, $text`	Text in Felder zerlegen

Listen

- Listen haben eine sehr große Bedeutung in Perl, da
  - sie außerordentlich effizient realisiert sind (vergleichbar mit den Arrays in konventionellen Programmiersprachen),
  - sehr häufig das Ergebnis von Operationen oder Funktionen in Form einer Liste vorliegt und
  - auch Parameter in Form von Listen übergeben werden.
- Im Gegensatz zu *awk* ist es in Perl nicht nötig, assoziative Arrays für diesen Zweck zu verwenden.

Eine erste Liste

friends1.pl

```
my @friends = ("Eva", "Werner", "Andreas", "Martin");
for (my $index = 0; $index <= $#friends; ++ $index) {
   print "Gruesse bitte $friends[$index] von mir!\n";
}
```

- Dem Variablennamen einer Liste geht immer ein `@` voraus, es sei denn, durch einen nachfolgenden Index wird genau ein Element herausgegriffen.
- Die Elemente von Listen (und assoziativen Arrays) sind immer Skalare. Kompliziertere Datenstrukturen werden nachher möglich auf Basis von Zeigern, die ebenfalls Skalare sind.
- Innerhalb von runden Klammern können durch Kommata getrennt beliebig viele Skalare und Listen angegeben werden, die zu einer einzigen flachen Liste werden.
- Listen können einander zugewiesen werden. Es werden dann wirklich alle Elemente kopiert und der ursprüngliche Inhalt der Zielliste geht verloren.
- Indexbereiche beginnen mit 0 und sind nach oben hin dynamisch offen. Der derzeitig höchste belegte Index von `@friends` ist `$#friends` – im Beispiel 3.
- Mit `$friends[$index]` wird entsprechend dem Index auf ein einzelnes Element zugegriffen. Zugriffe jenseits des aktuellen Indexbereiches sind zulässig und liefern `undef`.

Das Durchlaufen einer Liste

friends2.pl

```
my @friends = ("Eva", "Werner", "Andreas", "Martin");
foreach my $friend (@friends) {
   print "Gruesse bitte $friend von mir!\n";
}
```

- Die Schlüsselworte `for` und `foreach` sind äquivalent. Typischerweise wird `for` für den C-Stil verwendet, während `foreach` bei der expliziten Angabe einer zu durchlaufenden Liste bevorzugt wird.
- Wenn keine Schleifenvariable angegeben wird, dann wird implizit `$_` verwendet.
- Innerhalb der Klammern kann alles stehen, was auf die eine oder andere Weise eine Liste ergibt:

friends3.pl

```
my @friends = ("Eva", "Werner", "Andreas", "Martin");
foreach my $friend (@friends, "Manuela", @friends) {
   print "Gruesse bitte $friend von mir!\n";
}
```


Kontext

Manche Ausdrücke können unterschiedlich bewertet werden, je nachdem, ob sie in einem skalaren Kontext oder in einem Listen-Kontext stehen. Kontext bezieht sich hier jeweils auf den anderen Operanden (z.B. die linke Seite einer Zuweisung).

- Der Wert einer Listenvariablen ist im Listen-Kontext die gesamte Liste.
- Wenn jedoch eine Listenvariable im skalaren Zusammenhang verwendet wird, so wird die Länge der Liste als Wert verwendet. Entsprechend kann die Anzahl der Freunde ausgegeben werden:

  ```
  print "Sie haben ", @friends + 0, " Freunde\n";
  ```

  Das Addieren der Null erzwingt hier einen skalaren Kontext, so daß wir die Länge der Liste erhalten und nicht all die vielen Elemente der Liste. Dies geht allerdings auch etwas lesbarer und weniger trickreich mit Hilfe des `scalar`-Operators, der einen skalaren Kontext erzwingt:

  ```
  print "Sie haben ", scalar @friends, " Freunde\n";
  ```

- Ein Listenkonstruktor liefert im skalaren Kontext das letzte Element der Liste.
- Bei Funktionen oder Operatoren, die potentiell eine Liste zurückliefern können, gibt es keine allgemeine Regel, was in Abhängigkeit des Kontexts zurückgeliefert wird.

Kontext

Ein weiteres Beispiel ist der Einlese-Operator <>. In den bisherigen Beispielen wurde jeweils eine Zeile eingelesen, da der Operator jeweils in einem skalaren Kontext stand:

```
$line = <STDIN>;
```

Alternativ können auch alle Zeilen auf einmal eingelesen werden:

```
@lines = <STDIN>;
```

Die erste Zeile ist dann unter `$lines[0]` erreichbar, die zweite unter `$lines[1]` usw.

Interpolation von Listen

- Listen können nur skalare Werte enthalten. Listen von Listen sind damit nicht möglich.
- Wenn dennoch Listenkonstruktoren ineinander verschachtelt werden, kommt es zur Interpolation, d.h. alle Elemente werden unabhängig von ihrer Verschachtelung alle hintereinander in einer Liste repräsentiert.
- Somit entspricht jeweils die rechte Seite der linken:

  ```
  (1, (2, 3, (4, 5), 6), 7)   (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)
  ((), (()))                  ()
  ```

- Wenn tatsächlich verschachtelte Datenstrukturen benötigt werden, geht dies über Zeiger (die auch als skalare Werte gelten). Dies wird später vorgestellt.

Kommandozeile

echo.pl

```
print join(" ", @ARGV), "\n";
```

- Die vordefinierte Liste `@ARGV` enthält alle Parameter aus der Kommandozeile.
- Nicht in `@ARGV` enthalten ist der Kommandoname, der stattdessen in `$0` zu finden ist.
- `join` faßt beliebig viele Listenmitglieder zu einer Zeichenkette zusammen, wobei der erste Parameter als Feldtrenner verwendet wird.
- Es geht aber noch kürzer, da auch Listen in Zeichenketten direkt eingebettet werden dürfen:

  ```
  print "@ARGV\n";
  ```

  Als Feldtrenner wird hier die Variable `$"` verwendet, die per Voreinstellung genau ein Leerzeichen hat.
- Zu beachten ist, daß bei

  ```
  print @ARGV, "\n";
  ```

  keine Feldtrenner implizit eingefügt werden.

Listen im Überblick

`$var`	eine einfache skalare Variable
`@list`	eine Liste
`$#list`	höchster belegter Index der Liste
`scalar @list`	Anzahl der Elemente in der Liste
`$list[$index]`	ein Element der Liste
`@list[$i..$j]`	eine Teilliste
`push(@list, $var)`	am Ende der Liste etwas anhängen
`push(@list, @elems)`	viele Elemente auf einmal anhängen
`pop(@list)`	das letzte Element wegnehmen und zurückliefern
`unshift(@list, $var)`	an den Anfang etwas einfügen
`unshift(@list, @elems)`	viele Elemente auf einmal am Anfang einfügen
`shift(@list)`	das erste Element wegnehmen und zurückliefern
`@ARGV`	Liste mit Kommandozeilenargumenten

Assoziative Arrays

lookup.pl

```
my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my %address = ();
while(<$book>) {
   chomp;
   my ($name, $address) = split /:/;
   $address{$name} = $address;
}
$book->close;

while (defined(my $name = <>)) {
   chomp($name);
   if (exists $address{$name}) {
      print $address{$name}, "\n";
   } else {
      print $name, "\n";
   }
}
```

- Assoziative Arrays akzeptieren als Index beliebige skalare Werte.
- Dem Variablennamen eines assoziativen Arrays geht (wenn nicht ein einzelnes Element indiziert wird) ein `%` voraus.
- Der Index wird in geschweifte Klammern gefaßt.
- Ein assoziatives Array wird auch (bei Perl) als Hash bezeichnet.

defined und exists

```
juliet$ (echo 'Larry Wall';
> echo 'Franz Schweiggert') | lookup.pl
O'Reilly, ...
Unbekannt!
juliet$
```

- Perl kann immer genau zwischen wohldefinierten und undefinierten Werten unterscheiden (`undef`).
- Bei assoziativen Arrays wird sogar unterschieden, ob
  - ein Index existiert und
  - der zugehörige Wert definiert ist.

  Es ist also möglich, daß ein Index existiert und der zugehörige Wert undefiniert ist.
- Mit den Operatoren `defined` und `exists` sind dann folgende Überprüfungen möglich:
  - `defined $var` (ist der Wert von `$var` definiert?)
  - `exists $array{$index}` (ist `$index` für `%array` definiert?)
- Der Zugriff auf undefinierte Variablen führt (bei `use warnings`) zu entsprechenden Warnungen.

Assoziative Arrays und Listen

Assoziative Arrays und Listen können einander zugewiesen werden:

```
%phones = ("Hans", 3156, "Gertrud", 5467, "Martin", 2464);
```

Hier wird ein Paar aus der Liste jeweils als Index und zugehöriger Wert betrachtet. Bei einer ungeraden Anzahl von Listenelementen ist der letzte Wert undefiniert (`undef`).

Es läßt sich auch etwas lesbarer aufschreiben mit der zum Komma äquivalenten Notation =>:

```
%phones = (
   "Hans" => 3156,
   "Gertrud" => 5467,
   "Martin" => 2464,
);
```

Umgekehrt geht es natürlich auch:

```
@list = %phones;
```

Die Reihenfolge der Paare ist dann natürlich völlig undefiniert.

Das Durchlaufen assoziativer Arrays

sortaddr.pl

```
my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my %address;
while (<$book>) {
   chomp;
   my ($name, $address) = split /:/;
   $address{$name} = $address;
}
$book->close;

foreach my $name (sort keys %address) {
   printf "%-20s | %s\n", $name, $address{$name};
}
```

- Mit dem Operator `keys` werden alle Schlüssel eines assoziativen Arrays (in undefinierter Reihenfolge) als Liste extrahiert. Alternativ gibt es auch `values`, das alle Werte zurückliefert.
- Der Operator `sort` sortiert eine Liste und liefert sie wieder als neue(!) Liste zurück. Das Sortierkriterium läßt sich beliebig bestimmen – dazu später mehr.
- Wenn die Reihenfolge keine Rolle spielt, ist `each` effizienter zum Durchlaufen:

  ```
  while (my ($name, $address) = each %address) { ... }
  ```

Umgebungsvariablen

envhi.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

print "Hi ", $ENV{USER},
   ", Dein Heimatkatalog ist ", $ENV{HOME}, ".\n";
```

- Die Umgebungsvariablen stehen in dem assoziativen Array `%ENV` zur Verfügung.
- Sie können dort sowohl gelesen und verändert werden. Veränderungen wirken sich dann insbesondere auf die von dem Skript neu gestarteten Prozesse aus.
- Bei der Verwendung konstanter Zeichenketten als Indizes bei assoziativen Arrays dürfen die Anführungszeichen weggelassen werden, wenn es ein für Perl akzeptabler Name ist (im Normalfall alphanumerische Zeichen einschließlich dem Unterstrich, beginnend mit einem Buchstaben oder Unterstrich).

Assoziative Arrays im Überblick

`%array`	das gesamte assoziative Array
`$array{$index}`	ein Element des Arrays
`@array{@list}`	`($array{$list[0]}, $array{$list[1]}, ...)`
`keys %array`	alle Schlüssel eines Arrays
`values %array`	alle Werte eines Arrays
`exists $array{$index}`	gibt es den Schlüssel?
`delete $array{$index}`	einen Eintrag im Array löschen
`%ENV`	Umgebungsvariablen

Prozeduren

```
sub add {
   my($a, $b) = @_;
   return $a + $b;
}
```

- `add` erhält zwei Parameter, addiert sie und liefert die Summe wieder zurück.
- Ein Aufruf von `add` könnte etwa folgendermaßen aussehen:

  ```
  $c = add(17, $x);
  ```
- Grundsätzlich gibt es keine formale Parameterliste – stattdessen werden alle Parameter als eine einzige Liste betrachtet, die über `@_` innerhalb der Prozedur zugänglich ist.
- Die Parameterübergabe erfolgt via *call by reference*. Wenn einer der übergebenen Parameter kein *lvalue* ist, wird implizit eine Kopie angelegt.
- Mit Hilfe von `my` können lokale Variablen deklariert werden.
- Durch die Zuweisung von `@_` an die beiden lokalen Variablen erhalten wir die normalerweise bevorzugte Semantik von *call by value*.
- So wäre es auch kürzer gegangen, da ohne `return` der Wert des zuletzt bewerteten Ausdrucks verwendet wird:

  ```
  sub add { $_[0] + $_[1] }
  ```


Listen als Parameter

```
sub add {
   my(@values) = @_;
   my($sum) = 0;
   foreach $value (@values) {
      $sum += $value;
   }
   return $sum;
}
```

- Diese Version von `add` liefert die Summe aller übergebenen Parameter.
- Ohne formale Parameterliste gibt es auch keine Beschränkung der Anzahl der Parameter. Entsprechend einfach ist es, beliebig viele Parameter zu akzeptieren.
- Wenn beim Aufruf mehrere Listen angegeben worden sind, verschmelzen sie alle zu einer einzigen flachen Liste.
- Es ist also nicht sinnvoll, mehrere getrennte Listen zu erwarten:

  ```
  sub multilist { my(@list1, @list2) = @_; ... }
  ```

  Hier würde `@list1` alle Parameter "aufsaugen" und `@list2` würde in jedem Fall zur leeren Liste.
- Wenn sowohl skalare Parameter als auch eine Liste übergeben werden sollen, dann müssen die skalaren Parameter zuerst kommen, damit es noch möglich ist, die Parameter auseinanderzuhalten:

  ```
  sub multipar { my($p1, $p2, @list) = @_; ... }
  ```

Kontext eines Prozeduraufrufs

- Die `return`-Anweisung wird in dem Kontext des Prozeduraufrufs ausgewertet.

- Mit Hilfe der Funktion `wantarray` ist es möglich, in Abhängigkeit des Kontexts des Prozeduraufrufs zu operieren. `wantarray` liefert

`undef`	falls der Return-Wert überhaupt nicht beachtet wird,
`0`	bei einem skalaren Kontext und
`1`	bei einem Listenkontext.

Deklaration von Parametern

count.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

sub count (@) {
   my $sum = 0;
   $sum += length foreach (@_);
   return $sum;
}

print count(<>), "\n";
```

- Parameter-Deklarationen mit Namen gibt es bislang in Perl nicht. Es ist aber möglich, innerhalb von `(...)` mit Symbolen Überprüfungen von Perl durchführen zu lassen und einen gewissen Kontext zu erzwingen.

- Bei obigen Beispiel wird mit `(@)` ein Listenkontext erzwungen. Demzufolge wird `<>` beim Aufruf von `count` in einen Listenkontext gebracht, so daß alle Eingabezeilen als Liste in einem Schwung übergeben werden.

Deklaration von Parametern

addresses3.pl

```
sub get_addressbook ($;$) {
   my ($infile, $fieldsep) = @_;
   $fieldsep = ":" unless defined $fieldsep;
   my $book = new IO::File $infile
      or die "Unable to open $infile: $!\n";
   my %address;
   while (<$book>) {
      chomp;
      my ($name, $address) = split /$fieldsep/;
      $address{$name} = $address;
   }
   $book->close;
   return %address;
}
```

- `($;$)` steht für zwei skalare Parameter, wovon der zweite optional ist, da er hinter dem Semikolon steht.
- Zulässig sind dann beispielsweise

  ```
  my %address = get_addressbook("addressbook");
  ```

  und

  ```
  my %address = get_addressbook("addressbook", ":");
  ```

- Unterstützt werden:

`$`	skalare Variable / skalarer Kontext
`@`	Liste / Listen-Kontext
`%`	assoziatives Array / Listen-Kontext
`&`	Verweis auf eine Funktion
`*`	Verweis auf einen Symboltabelleneintrag (Type-Glob)

Anordnung von Prozeduren

- Da Perl zunächst generell die gesamte Quelle durchliest, bevor mit der Ausführung begonnen wird, dürfen Prozeduren nach ihren Aufrufen stehen, ohne daß vorher eine Deklaration notwendig ist.
- Dies gilt jedoch nicht, wenn Parameter-Deklarationen bei einer Prozedur vorliegen.
- Es ist bei Perl üblicher Stil, daß zuerst die Prozeduren mit Parameter-Deklarationen kommen (oder importiert werden), dann das Hauptprogramm und danch die normalen Prozeduren.
- Prozeduren dürfen (genauso wie in Pascal oder Modula-2) ineinander geschachtelt werden. Die Sichtbarkeitsbereiche der Prozeduren und mit `my` deklarierten Variablen ergeben sich dann entsprechend der lexikalischen Struktur.

Sortierkriterien

sortaddr2.pl

```
foreach my $name (sort byLastName keys %address) {
   printf "%-20s | %s\n", $name, $address{$name};
}

sub byLastName {
   my ($left, $right) = ($a, $b);
   $left =~ s/.*\s//; $right =~ s/.*\s//;
   return $left cmp $right || $a cmp $b;
}
```

- Bei `sort` kann noch vor der Liste der zu sortierenden Elemente ein Sortierkriterium in Form einer speziellen Prozedur eingeschoben werden.
- Sortierkriterien erhalten genau zwei Parameter namens `$a` und `$b` (wie sonst auch via *call by reference*).
- Das Sortierkriterium liefert analog zur C-Funktion `strcmp` entweder einen Wert < 0, $= 0$ oder > 0 zurück – je nachdem, ob `$a` kleiner, gleich oder größer als `$b` ist.
- Perl hat zwei Sätze von Vergleichsoperatoren: Der aus C gewohnte Satz vergleicht numerisch, die Operatoren `lt`, `le`, `eq`, `ne`, `ge` und `gt` beziehen sich auf Zeichenketten.
- Die speziellen Operatoren `<=>` und `cmp` liefern einen Wert analog zu `strcmp` und sind damit ideal für Sortierkriterien.

Sortierkriterien

sortaddr2.pl

```
foreach my $name (sort byLastName keys %address) {
   printf "%-20s | %s\n", $name, $address{$name};
}

sub byLastName {
   my ($left, $right) = ($a, $b);
   $left =~ s/.*\s//; $right =~ s/.*\s//;
   return $left cmp $right || $a cmp $b;
}
```

- Bei zwei Personen mit dem gleichen Nachnamen wäre bei dem vorherigen Sortierkriterium die Reihenfolge undefiniert.
- Mit dem `||`-Operator können mehrere Sortierkriterien kaskadiert werden. Wegen der *short circuit evaluation* von `||` wird die Bewertung der Kette beendet, wenn das erste Kettenglied einen Wert ungleich `0` zurückliefert.

Reguläre Ausdrücke

- Reguläre Ausdrücke können in gewohnter Weise in Schrägstriche gefaßt werden und sind weitgehend aufwärtskompatibel zu den anderen UNIX-Werkzeugen.

- Alternativ kann hinter dem `m//`-Operator ein anderes Begrenzungszeichen angegeben werden, wobei bei einem der 4 offenen Klammerzeichen das entsprechende Gegenstück erwartet wird (z.B.: `m{^/}`).

- Der Muster-Operator `=~` erlaubt das Testen eines regulären Ausdrucks gegen eine Zeichenkette:

```
$filename =~ /^\.\.?$/ # . oder ..?
```

- Mit dem Operator `!~` steht die Negation von `=~` zur Verfügung:

```
die "Absolute path required" if $filename !~ m{^/};
```

- Der `s///`-Operator erlaubt Textersetzungen analog zu *sed(1)* und *ex(1)*:

```
(my $cmdname = $0) =~ s{.*/}{}; # verwende den Basisnamen
```


Ein Nachbau von *grep*

grep.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
die "Usage: $cmdname pattern [file...]\n" if @ARGV == 0;
my $pattern = shift @ARGV;

while(<>) {
   print if /$pattern/;
}
```

- Genauso wie in Zeichenketten können auch innerhalb von regulären Ausdrücken Variablen interpoliert werden.

- Der `<>`-Operator ohne angegebene Dateiverbindung bezieht sich jeweils auf die übriggebliebenen Elemente von `@ARGV`. Somit kann hier mit dem `shift` das erste Argument weggenommen werden und der Rest der Argumente dem `<>` zur weiteren Bearbeitung überlassen werden.

Parsieren einfacher Textdateien

mountpoints.pl

```
my $infile = "/etc/vfstab";
my $in = new IO::File $infile
   or die "unable to open $infile: $!\n";
my @mountpoints = ();
while (<$in>) {
   next if /^#/;     # Auskommentierte ...
   next if /^\s*$/;  # und leere Zeilen ueberspringen
   chomp;
   my $mountpoint = (split /\s+/)[2];
   next unless $mountpoint =~ m{^/};
   push(@mountpoints, $mountpoint);
}
$in->close;

print join("\n", sort @mountpoints), "\n";
```

- Mit `next` kann (analog zu `continue` in C) die nächste Iteration einer Schleife initiiert werden. (Analog gibt es `last`, das `break` in C entspricht).
- `unless` entspricht `if !`.
- `\s` in regulären Ausdrücken steht für Leerzeichen, Tabs, Zeilentrenner usw.
- Auch ein Ausdruck, der eine Liste liefert, kann direkt indiziert werden, wenn er eingeklammert wird.

Flexibler Textersatz

translate.pl

```
my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname dictionary [file...]";
die $usage unless @ARGV >= 1;
my $dictionary = shift @ARGV;

my %dict = ();
my $dict = new IO::File $dictionary
   or die "$cmdname: unable to open $dictionary: $!\n";
while(<$dict>) {
   next if /^#/;
   chomp;
   my ($orig, $replace) = split /:/;
   $dict{$orig} = $replace;
}
$dict->close;

while (<>) {
   s{\w+}{
      defined $dict{$&}?
         $dict{$&}
      :
         $&
   }xge;
   print;
}
```

- Dieses Skript ersetzt aufgrund einer Übersetzungstabelle alle Worte, die es in der Eingabe findet. Dabei werden unbekannte Worte unverändert gelassen.

Flexibler Textersatz

translate.pl

```
s{\w+}{
   defined $dict{$&}?
      $dict{$&}
   :
      $&
}xge;
```

- Ähnlich wie bei *sed(1)* oder *ex(1)* können einige Optionen am Ende eines regulären Ausdrucks (bzw. eines `s///`-Operators) stehen.
- Hier kommen folgende Optionen zum Tragen:

`g`	alle Ersetzungen werden durchgeführt, nicht nur einmal
`e`	der Textersatz darf ein beliebiger Perl-Ausdruck sein
`x`	erweiterte Syntax: Leerzeichen können frei eingestreut werden

- `\w` steht für ein beliebiges alphanumerisches Zeichen oder den Unterstrich (_) und ist somit zur Worterkennung geeignet.
- In der Variablen `$&` ist der soeben erkannte Text zu finden.
- Genauso wie in C gibt es den `?:`-Operator.

Modifikatoren im Überblick

`c`	Vermeide das Rücksetzen der Position bei einem Nichtzutreffen des Musters bei dem g-Modifikator.
`e`	Betrachte die rechte Seite bei einer Ersetzung als Ausdruck.
`g`	Alle Vorkommen des Musters sind global zu ersetzen.
`i`	Groß- und Kleinschreibung ist nicht signifikant.
`m`	`^` und `$` beziehen sich nicht auf den absoluten Anfang und das absolute Ende des Textes, sondern auf Zeilenanfang und Zeilenende eines potentiell mehrzeiligen Textes.
`o`	Übersetze das Muster nur ein einziges Mal.
`s`	Der Text ist als einzige Zeile zu betrachten ungeachtet der darin enthaltenen Zeilentrenner, insbesondere trifft der Punkt auch für den Zeilentrenner zu.
`x`	Innerhalb des regulären Ausdrucks sind Leerzeichen und Kommentare zulässig.

- Der Modifikator `e` ist nur bei dem `s///`-Operator zulässig.
- Die Modifikatoren werden in beliebiger Reihenfolge direkt hinter dem Muster (oder der rechten Seite bei einer Ersetzung) ohne zwischenliegende Leerzeichen angegeben.
- Die Modifikatoren `i`, `m`, `s` und `x` können auch in den regulären Ausdruck selbst übernommen werden mit `(?m)`. Das ist praktisch für Variablen, die ein Muster zusammen mit so einem Modifikator tragen sollen:

```
$pattern = "(?i)uni-ulm.de";
# ...
if (/$pattern/) { # ...
```

Metazeichen in regulären Ausdrücken

`\`	Nimmt dem folgenden nicht-alphanumerischen Zeichen die Sonderfunktion.
`^`	Anfang der Zeile oder des Textes (siehe `m`-Modifikator).
`.`	Beliebiges Zeichen außer dem Zeilentrenner (siehe jedoch `s`-Modifikator).
`$`	Zeilentrenner oder Ende des Textes (siehe `m`-Modifikator).
`|`	Alternation.
`()`	Gruppierung.
`[]`	Zeichenbereiche.

- Dies entspricht dem Umfang von *egrep(1)*.
- Im Gegensatz zu *vi(1)* gelten die Klammern als Metasymbole.
- Es empfiehlt sich, alle nicht-alphanumerischen Zeichen, die sich selbst repräsentieren sollen, durch ein \ zu schützen.
- \ gefolgt von einem alphanumerischen Zeichen nimmt nicht dem alphanumerischen Zeichen seine (nicht vorhandene) Sonderbedeutung, sondern – ganz im Gegenteil – verleiht eine Sonderbedeutung (siehe noch folgende Übersicht).

Quantifikatoren in regulären Ausdrücken

`*`	0 bis beliebig oft.
`+`	Mindestens einmal, ansonsten beliebig oft.
`?`	Optional: 0 oder 1 mal.
`{n}`	Genau n mal.
`{n,}`	Mindestens n mal.
`{n,m}`	Zwischen n und m mal.

- Normalerweise sind reguläre Ausdrücke “gierig”, das heißt sie versuchen, soviel Text wie möglich zu erfassen. Wenn dies nicht gewünscht wird, dann kann hinter jedem Quantifikator noch ein `?` angegeben werden, um eine minimale Erfassung zu erreichen.
- Beispiel: Das Muster `m{/\*.*?\*/}s` erfaßt genau einen Kommentar in C im Gegensatz zu dem Muster `m{/\*.*\*/}s`, das mehrere Kommentare auf einmal mitsamt dem dazwischenliegenden Text verschlingen kann.

Sonderzeichen in regulären Ausdrücken

`\t`	Tabulator.
`\n`	Zeilentrenner.
`\r`	Wagenrücklauf (CR).
`\f`	Papiervorschub (FF).
`\a`	Alarmglocke (BEL).
`\e`	Fluchtzeichen (ESC).
`\033`	Oktaldarstellung eines Zeichens.
`\x1b`	Hexdarstellung eines Zeichens.
`\cx`	Control-X.
`\N{name}`	Benanntes Zeichen, siehe **perldoc charnames**.
`\l`	Folgendes Zeichen in einen Kleinbuchstaben verwandeln.
`\u`	Folgendes Zeichen in einen Großbuchstaben verwandeln.
`\L`	Bis zu `\E` alles in Kleinbuchstaben verwandeln.
`\U`	Bis zu `\E` alles in Großbuchstaben verwandeln.
`\Q`	Bis zu `\E` allen Metazeichen die Sonderbedeutung nehmen.

Quelle: perlre-Manualseite.

Kurzformen in regulären Ausdrücken

`\w`	Erfaßt alle alphanumerischen Zeichen einschließlich dem Unterstrich `_`.
`\W`	Erfaßt alle Zeichen, die `\w` nicht erfaßt.
`\s`	Erfaßt alle Leerzeichen.
`\S`	Erfaßt alle Zeichen, die nicht zu den Leerzeichen gehören.
`\d`	Alle Ziffern.
`\D`	Alle Zeichen, die nicht zu den Ziffern gehören.
`\p{...}`	Alle Zeichen, die die angegebene Eigenschaft in Abhängigkeit von der vorgegebenen Locale erfüllen. Beispiele: `\p{IsAlnum}`, `\p{IsPrint}` und `\p{IsPunct}`
`\P{...}`	Alle Zeichen, die die angegebene Eigenschaft **nicht** erfüllen.

- Quelle: perlre-Manualseite.
- Mit `\w` wird noch kein Wort, sondern nur ein Zeichen eines Wortes erfaßt. Jedoch läßt sich ersteres leicht mit `\w+` erreichen.

Bestimmte Punkte in regulären Ausdrücken

`\b`	Steht für eine Wortkante.
`\B`	Steht für einen Punkt, der keine Wortkante ist.
`\A`	Absoluter Anfang des Textes.
`\Z`	Absolutes Ende des Textes oder vor dem Zeilentrenner am absoluten Ende des Textes.
`\z`	Absolutes Ende des Textes.
`\G`	Ende des zuvor erfaßten Textes (nur sinnvoll in Verbindung mit dem `g`-Modifikator).

- Diese Ausdrücke erfassen keinen Text, sondern nur bestimmte Punkte innerhalb des Textes.

Variablen, die von regulären Ausdrücken abhängen

`$&`	Der gesamte durch den letzten regulären Ausdruck erfaßte Text.
`` $` ``	Text vor dem erfaßten Text.
`$'`	Text hinter dem erfaßten Text.
`$1`	Der Text, der durch das erste Klammernpaar im regulären Ausdruck erfaßt worden ist. Analog gibt es `$2` usw., wobei es keine Begrenzung der Anzahl der Klammernpaare gibt (`$37` ist auch in Ordnung).
`$+`	Text, der durch das letzte effektive Klammernpaar erfaßt worden ist.

- All diese Variablen behalten ihren Wert bis zur Bewertung des nächsten regulären Ausdrucks innerhalb des umgebenden Blocks (oder `eval`).

- Wenn ein Klammernpaar mehrfach Teile eines Textes erfaßt (wegen einem Quantifikator, der Wiederholungen zuläßt), dann ist in der zugehörigen Variable nur der zuletzt erfaßte Text zu finden.

- Bei verschachtelten Klammernpaaren zählt das äußere Klammernpaar zuerst.

- `(?:regexp)` bietet im Vergleich zu `(regexp)` nur die reine klammernde Funktion an, ohne daß es als Klammernpaar im obigen Sinne zählt.

Der m//-Operator im Listenkontext

```
my ($wday, $month, $mday,
      $hour, $minute, $second, $timezone, $year) =
   m{
      (\w+)                   # Mon, Tue, ...  --> $wday
      \s
      (\w+)                   # Jan, Feb, ...  --> $month
      \s+
      (\d{1,2})               # 1 .. 31        --> $mday
      \s+
      (\d{2}):(\d{2}):(\d{2}) # 23:27:41       --> $hour...
      \s
      (\w+(?:\s\w+)*?)        # MET DST or GMT --> $timezone
      \s
      (\d{4})                 # 1998           --> $year
   }x;
```

- Während der `m//`-Operator im skalaren Kontext nur zurückliefert, ob der reguläre Ausdruck zutrifft, werden im Listenkontext `$1`, `$2` usw. als Liste zurückgeliefert.
- Im skalaren Kontext wird überhaupt erst keine Liste erzeugt und entsprechend entweder 0 oder 1 zurückgeliefert und nicht etwa die Länge der Liste, die im Listenkontext zurückgeliefert worden wäre.
- `split` kann eine sehr gute Alternative sein – insbesondere, wenn die Anzahl der herauszupickenden Felder nicht bekannt ist.

Rückwärtsverweise

double.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

while(<>) {
   print if /^(\w+)\1$/;
}
```

- Rückwärtsverweise gehören zu den Techniken, die den formalen Rahmen regulärer Ausdrücke sprengen (d.h. die damit beschriebenen Sprachen sind nicht mehr notwendigerweise regulär). Dennoch sind sie beliebt und werden beispielsweise von *vi(1)*, *egrep(1)* und natürlich Perl unterstützt.
- Ein Rückwärtsverweis bezieht sich auf bereits erkannten Text, der durch ein Klammerpaar eingegrenzt ist. Der Verweis trifft zu, wenn der bereits erkannte Text an der Stelle des Verweises erneut vorkommt.
- `\1` ist der Rückwärtsverweis auf das erste Klammerpaar, `\2` auf das zweite usw. Mehrstellige Verweise sind zulässig – führende Nullen jedoch nicht (das wäre in Konflikt zu den Sonderzeichen).
- Rückwärtsverweise sollten nicht auf der rechten Seite des `s///`-Operators stehen – dort sind `$1`, `$2` usw. zu verwenden.
- Auf `/usr/dict/words` angewandt, liefert das Beispiel beriberi, coco, couscous, dodo, gogo, ii, juju, lulu, murmur, papa, tartar, testes, tete und tutu.

Voraus- und Rückschau bei regulären Ausdrücken

```
@words = split /(?=[A-Z])/;
```

- Mit `(?=regexp)` findet eine Vorausschau statt, ohne daß dabei Text erfaßt wird (*zero-width lookahead*).
- Obiges Beispiel zerlegt Namen wie `"ThisIsALongName"` in `("This", "Is", "A", "Long", "Name")`.
- Bei `(?!regexp)` handelt es sich um eine negierte Vorausschau: Das Muster trifft zu, wenn nichts folgt, auf das `regexp` zutrifft.
- Mit `(?<=regexp)` ist eine Rückschau möglich, wobei jedoch `regexp` nur eine begrenzte Länge erfassen darf.
- Die entsprechende negierte Form ist `(?<!regexp)`.

Arbeitsweise bei regulären Ausdrücken

- Hinweis: Folgende Zusammenstellung folgt in abgekürzter Form den Erläuterungen über *The rules of regular expression matching* aus *Programming Perl* von Larry Wall (Seite 60 ff).
- Perl verwendet einen nicht-deterministischen endlichen Automaten (NFA) in Verbindung mit Backtracking, um zu untersuchen, ob (und wenn ja, wo) ein Muster für einen Text zutrifft:
- **Regel 1**: Der Automat versucht, das Muster soweit links wie möglich im Text unter Beachtung von Regel 2 zu finden.
- **Regel 2**: Das Muster wird als Menge von Alternativen betrachtet (wovon mindestens eine vorliegt), die genau dann zutrifft, wenn irgendeine der Alternativen unter Beachtung der Regel 3 zutrifft. Die Alternativen werden in der vorgegebenen Reihenfolge durchprobiert und die Untersuchung endet beim ersten Erfolg.

Arbeitsweise bei regulären Ausdrücken

- **Regel 3**: Eine Alternative trifft dann zu, wenn jedes Teil in der sequentiellen Reihenfolge entsprechend den Regeln 4 und 5 zutrifft. Ein Teil ist entweder Zusicherung bezüglich eines Punktes im Text (z.B. `\b`, siehe Regel 4) oder ein Atom mitsamt einem optionalen Quantifikator (z.B. `x*`, siehe Regel 5).

  Teile, die auf unterschiedliche Weise zutreffen können, werden in hierarchischer Reihenfolge durchprobiert. So erhält bei `x*y*` zuerst `x*` eine Möglichkeit und dann werden alle Varianten von `y*` durchprobiert, bis es klappt. Klappt es nicht, geht es bei `x*` mit der nächsten Variante weiter.

- **Regel 4**: Wenn eine Zusicherung bezüglich eines Punktes im Text nicht zutrifft, dann geht es bei Regel 3 entsprechend der hierarchischen Reihenfolge bei den vorangehenden Teilen der aktuellen Alternative weiter.

Arbeitsweise bei regulären Ausdrücken

- **Regel 5**: Ein quantifiziertes Atom trifft genau dann zu, wenn das Atom (entsprechend Regel 6) in einer Quantität zutrifft, die vom Quantifikator zugelassen ist. Fehlt der Quantifikator, so wird `{1}` angenommen.

  Wenn verschiedene Quantitäten zugelassen sind, dann wird bei Quantifikatoren ohne ein abschließendes `?` zuerst die maximale Anzahl probiert ("greedy matching") und bei Quantifikatoren mit einem zusätzlichem `?` beginnt die Untersuchung mit der geringstmöglichen Anzahl.

  Bei "gierigen" Quantifikatoren beginnt die Untersuchung natürlich nicht bei dem theoretischen Maximum (das bei ∞ liegen könnte) – stattdessen wird beim konkreten Text untersucht, wie häufig hintereinander das Atom maximal zutreffen kann.

- **Regel 6**: Atome sind entweder Gruppierungen (also in `(...)` eingeschlossene reguläre Ausdrücke), Voraus- oder Rückschauungen, Sonderzeichen, Kurzformen, Zeichenbereiche, Rückwärtsverweise oder Zeichen, die für sich selbst stehen. Bei Gruppierungen und Vorausschauungen wird entsprechend Regel 2 verfahren, bei allen anderen läßt sich unmittelbar überprüfen, ob sie zutreffen oder nicht.

Neue Techniken bei regulären Ausdrücken

Mit Perl in der Version 5.005 sind einige Varianten hinzugekommen:

- Der Backtracking-Algorithmus (insbesondere die Regeln 3 und 5) können zu einem exponentiell anwachsenden Aufwand führen, der bei längeren Texten unzumutbar ist. Hierfür kann die Konstruktion `(?>regexp)` recht nützlich sein, die `regexp` an der aktuellen Stelle im Text untersucht, als ob kein umgebender regulärer Ausdruck existieren würde. Backtracking kommt entsprechend nicht zum Zuge.

- Mit `(?(condition)yes-pattern|no-pattern)` bzw. `(?(condition)yes-pattern)` können reguläre Ausdrücke in Abhängigkeit von einer Bedingung eingefügt werden, die entweder

  - eine natürliche Zahl n ist und dann zutrifft, falls das Muster der n-ten Klammer zutraf oder

  - eine Zusicherung ist, die keinen Text erfaßt (Vor- oder Rückschau, bestimmte Punkte).

- Mit `(?{ code })` können Perl-Ausdrücke eingebettet werden, die immer zutreffen. Da Sichtbarkeitsbereiche entsprechend der Backtracking-Ebenen gezogen werden, kann auf diese Weise beispielsweise ermittelt werden, welchen Wert ein bestimmter Quantifikator angenommen hat.

Datenstrukturen mit Zeigern

- Einfache Listen und assoziative Arrays sind für viele Probleme unzureichend, bei denen kompliziertere Datenstrukturen notwendig sind.

- Bei Listen und assoziativen Arrays ist in Perl die Restriktion, daß Elemente nur Skalare sein können. Somit wird z.B. eine Liste von Listen oder ein assoziatives Array mit Listen nicht direkt unterstützt.

- Stattdessen unterstützt Perl sichere Zeiger, die zwar nicht typgebunden sind, aber trotzdem immer wissen, worauf sie zeigen.

- Natürlich kann Speicher dynamisch beschafft werden (dafür gibt es sogar mehrere Möglichkeiten).

- Eine Speicherfreigabe gibt es nicht – stattdessen kümmert sich darum eine Garbage-Collection, die auf Basis von Referenz-Zählern arbeitet. Bei zyklischen Datenstrukturen sind somit Speicherlecks denkbar.

- Da Zeiger immer wohldefiniert sind (entweder `undef` oder auf ein lebendes Objekt zeigend, dessen Typ Perl bekannt ist), gibt es keine Probleme mit Zeigern, die “in den Wald zeigen”.

- Die Notation in Zusammenhang mit Zeigern ist zunächst sehr gewöhnungsbedürftig, da sie kaum Ähnlichkeiten mit anderen Programmiersprachen aufweist. Aber man kann sich daran gewöhnen...

- Nach wie vor läßt sich jeweils der Typ bzw. die Datenstruktur direkt dem Ausdruck ablesen.

Eine Liste von Listen

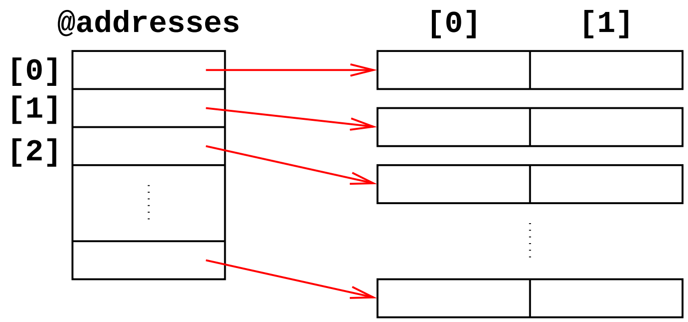
sortaddr3.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my @addresses;
while (<$book>) {
   chomp;
   my @fields = split /:/;
   push(@addresses, \@fields);
}
$book->close;

foreach my $address
      (sort { $a->[0] cmp $b->[0] } @addresses) {
   printf "%-20s | %s\n", $address->[0], $address->[1];
}
```

- Durch das Voranstellen des \ wird die Adresse des darauffolgenden Ausdruckes genommen. Entsprechend liefert **`\@fields`** einen Zeiger auf die Liste **`@fields`**.

- In der `foreach`-Schleife ist **`$address`** jeweils ein Zeiger auf eine Liste mit zwei Elementen (Name und Adresse). Mit -> wird der Zeiger dereferenziert und ein Zugriff auf eines der Elemente ist möglich.

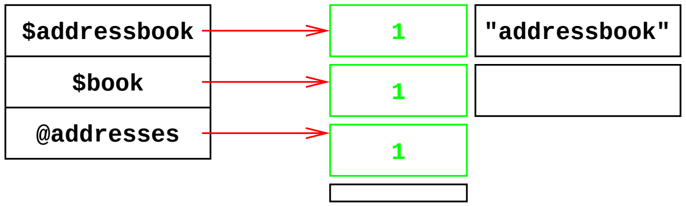
Eine Liste von Listen



- Mit `my` deklarierte Objekte wie **`@fields`** sind zwar nur lokal über ihren Variablennamen ansprechbar, aber ihre Lebenszeit hält an, bis der letzte Zeiger zu ihnen gekappt wird (Garbage Collection).

- In jeder Schleifeniteration gibt es eine neue Inkarnation von **`@fields`**, da die Variable **innerhalb** der Schleife mit `my` deklariert worden ist.

Speicherverwaltung mit Zeigern



- Jeder lexikalische Block ordnet symbolischen Variablennamen Datenstrukturen zu. Die Zuordnung wird in dem Diagramm durch rote Pfeile dargestellt.

- Solange keine Zeiger verwendet werden, handelt es sich um eine 1:1-Beziehung.

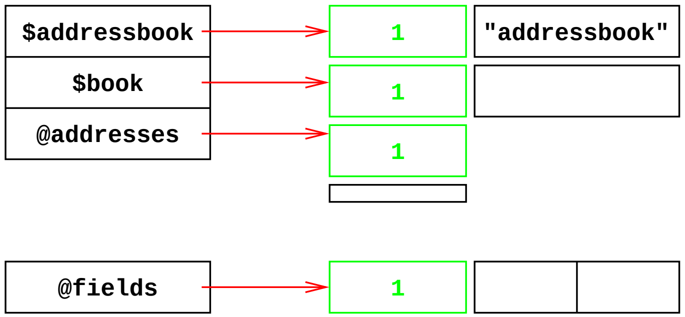
- Bei jeder Datenstruktur gibt es implizit einen Referenzzähler, der grün dargestellt ist. Der Referenzzähler gibt an, wieviel Zeiger unmittelbar auf diese Datenstruktur verweisen. Noch gültige symbolische Variablennamen zählen hierbei mit.

Speicherverwaltung mit Zeigern

sortaddr3.pl

```
while (<$book>) {
   chomp;
   my @fields = split /:/;
   # ...
}
```

- `@fields` wird mit `my` innerhalb der `while`-Schleife und somit in einem inneren Block deklariert. Entsprechend gesellt sich `@fields` nicht den bisherigen Variablennamen hinzu, sondern gehört zu einem eigenen Block, der sich vor den bisherigen Block davorschiebt.

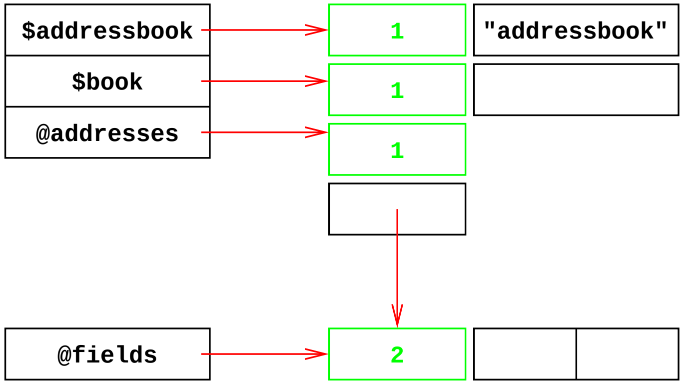


Speicherverwaltung mit Zeigern

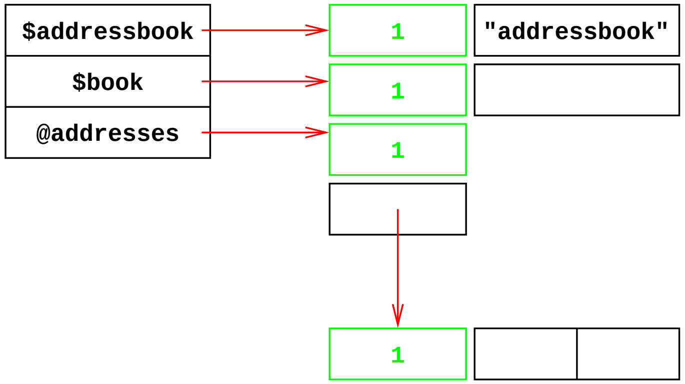
sortaddr3.pl

```
while (<$book>) {
   chomp;
   my @fields = split /:/;
   push(@addresses, \@fields);
}
```

- Unmittelbar nach der **push**-Operation gibt es zwei Verweise auf die zuvor von **split** zurückgelieferte Liste. Einen über **@fields** und einen über **$addresses[0]**. Entsprechend steigt der Referenzzähler auf 2.



Speicherverwaltung mit Zeigern

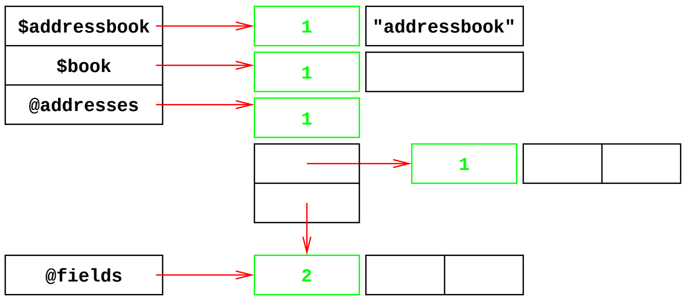


- Sobald die erste Iteration der **while**-Schleife beendet ist, fällt der lexikalische Block, zu dem **@fields** gehört, weg.

- Entsprechend wird der Referenzzähler heruntergezählt, so daß er wieder bei 1 steht.

- Wenn er auf 0 stünde, würde die Datenstruktur freigegeben werden. Da er jedoch noch auf 1 steht, bleibt sie erhalten.

Speicherverwaltung mit Zeigern



- In der nächsten Iteration gibt es eine neue Inkarnation von **@fields** und erneut wird die Adresse davon an die Liste angefügt.
- Das Diagramm zeigt die Situation unmittelbar nach der **push**-Operation kurz vor dem Ende der 2. Iteration.

Eine Liste von Listen

sortaddr4.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my @addresses;
while (<$book>) {
   chomp;
   push(@addresses, [split /:/]);
}
$book->close;

foreach my $address
      (sort { $a->[0] cmp $b->[0] } @addresses) {
   printf "%-20s | %s\n", $address->[0], $address->[1];
}
```

- Wenn eine Liste in [...] statt in (...) eingeklammert ist, wird ein Zeiger auf die neu im Speicher angelegte Liste zurückgeliefert.
- Entsprechend kann auf die Verwendung einer lokalen Variablen **@fields** zur Zwischenspeicherung in diesem Beispiel verzichtet werden.

Eine Liste von Listen

sortaddr5.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my @addresses;
while (<$book>) {
   chomp;
   my ($fullname, $address) = split /:/;
   my ($firstname, $lastname) = $fullname =~ m{(.*)\s(.*)};
   push(@addresses, [$firstname, $lastname, $address]);
}
$book->close;

foreach my $address
      (sort { $a->[0] cmp $b->[0] } @addresses) {
   my ($firstname, $lastname, $addr) = @{$address};
   printf "%-20s | %s\n",
      $lastname . ", " . $firstname, $addr;
}
```

- Wenn nicht ein einzelnes Element hinter dem Zeiger selektiert werden soll, sondern die gesamte Liste, dann geht dies mit `@{$address}`.
- Alternativ wäre hier auch `@$address` akzeptiert worden – dennoch ist die andere Variante lesbarer und in komplizierteren Fällen ohne Mehrdeutigkeiten.

Eine Liste von assoziativen Arrays

sortaddr6.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $addressbook = "addressbook";
my $book = new IO::File $addressbook
   or die "Cannot open $addressbook: $!\n";
my @addresses;
while (<$book>) {
   chomp;
   my ($fullname, $address) = split /:/;
   my ($firstname, $lastname) = $fullname =~ m{(.*)\s(.*)};
   my %record = (
      firstname => $firstname,
      lastname => $lastname,
      address => $address,
   );
   push(@addresses, \%record);
}
$book->close;

foreach my $address
      (sort { $a->{lastname} cmp $b->{lastname} }
         @addresses) {
   printf "%-20s | %s\n",
      $address->{lastname} . ", " . $address->{firstname},
      $address->{address};
}
```

Eine Liste von assoziativen Arrays

sortaddr6.pl

```
my %record = (
   firstname => $firstname,
   lastname => $lastname,
   address => $address,
);
push(@addresses, \%record);
```

- Assoziative Arrays dienen in Perl häufig als Records (bzw. als `struct`). Die Komponentennamen werden dabei als Schlüssel verwendet.
- Wenn der Index eines assoziativen Arrays den Regeln für Identifier entspricht (`[A-Za-z_][A-Za-z_0-9]*`), kann auf eine Quotierung vor dem `=>` oder innerhalb der `{...}` verzichtet werden.

sortaddr6.pl

```
printf "%-20s | %s\n",
   $address->{lastname} . ", " . $address->{firstname},
   $address->{address};
```

- Genauso wie zuvor kann nach einer Dereferenzierung mit `->` ein Index für ein assoziatives Array in `{...}` angegeben werden.

Eine Liste von assoziativen Arrays

sortaddr7.pl

```
while (<$book>) {
   chomp;
   my ($fullname, $address) = split /:/;
   my ($firstname, $lastname) = $fullname =~ m{(.*)\s(.*)};
   push(@addresses, {
      firstname => $firstname,
      lastname => $lastname,
      address => $address,
   });
}
```

- Genauso wie mit `[...]` bei Listen können assoziative Arrays in `{...}` eingeklammert werden, um einen entsprechenden Zeiger auf eine neu allokierte Datenstruktur zu erhalten.

Zeiger auf Funktionen

cmdline.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

my %cmd = (sum => \&sum, quit => \&quit);
while (print(": "), defined(my $line = <STDIN>)) {
   my ($cmdname, @fields) = split /\s+/, $line;
   next unless defined $cmdname;
   if (defined $cmd{$cmdname}) {
      &{$cmd{$cmdname}}(@fields);
   } else {
      print "Unknown command!\n";
   }
}

sub sum {
   my $sum = 0;
   $sum += $_ foreach (@_);
   print $sum, "\n";
}

sub quit { exit 0 }
```

- Wenn ein Zeiger von einer benannten Funktion gewünscht wird, darf das &-Symbol vor dem Funktionsnamen nicht vergessen werden.
- Das &-Symbol ist dann auch beim indirekten Aufruf durch den Zeiger notwendig.

Anonyme Funktionen

cmdline2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

my %cmd = (
   sum => sub {
      my $sum = 0; foreach my $val (@_) { $sum += $val };
      print $sum, "\n";
   },
   quit => sub { exit 0 },
);

while (print(": "), defined(my $line = <STDIN>)) {
   my ($cmdname, @fields) = split /\s+/, $line;
   next unless defined $cmdname;
   if (defined $cmd{$cmdname}) {
      &{$cmd{$cmdname}}(@fields);
   } else {
      print "Unknown command!\n";
   }
}
```

- `sub { ... }` liefert einen Zeiger auf eine anonyme (also unbenannte) Funktion.
- Das erlaubt eine sehr elegante Einbettung von Funktionen in Datenstrukturen.

Closures

counters.pl

```
my %counter = ();
while (<>) {
   chomp;
   next unless my ($name) = /^(\S+)$/;
   $counter{$name} = new_counter()
      unless defined $counter{$name};
   print &{$counter{$name}}(), "\n";
}

sub new_counter {
   my $counter = 0;
   return sub { return ++ $counter };
}
```

- Jedesmal, wenn `sub { ... }` bewertet wird, entsteht eine neue Inkarnation. Der Programmtext ist zwar konstant, nicht jedoch die jeweilige Umgebung.
- Auch wenn die Umgebung (zu der die umgebenden, mit **my** deklarierten Variablen gehören) längst verschwunden zu sein scheint, bleibt sie für die in ihr entstandenen anonymen Prozeduren erhalten.
- Die anonymen Prozeduren können dann auf den ererbten Variablen operieren.
- Diese Technik wurde durch Lisp bekannt unter dem Stichwort "closures", d.h. anonyme Prozeduren behalten ihre Hülle (oder Umgebung).

Closures

counters2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

my %counter = ();
while (<>) {
   chomp;
   next unless my ($sign, $name) = /^([+-])(\S+)$/;
   $counter{$name} = new_counter()
      unless defined $counter{$name};
   print &{$counter{$name}{$sign}}(), "\n";
}

sub new_counter {
   my $counter = 0;
   return {
      '+' => sub { return ++ $counter },
      '-' => sub { return -- $counter },
   };
}
```

- Mehrere Inkarnationen anonymer Prozeduren können sich eine Umgebung teilen, wenn sie alle der gleichen Umgebung entstammen.

Zeiger im Überblick

`\$var`	Zeiger auf eine skalare Variable
`${$ptr}`	Dereferenzierung eines Zeigers auf eine skalare Variable
`\@list`	Zeiger auf eine Liste
`[$elem1, $elem2, ...]`	Zeiger auf eine neu erzeugte Liste
`@{$ptr}`	Dereferenzierung eines Listen-Zeigers
`$ptr->[$index]`	Zugriff auf ein Listenelement durch einen Zeiger
`$ptr->[$i][$j]`	`$ptr->[$i]->[$j]`
`$list[$i][$j]`	`$list[$i]->[$j]`
`\($elem1, $elem2, ...)`	`(\$elem1, \$elem2, ...)`
`\%hash`	Zeiger auf ein assoziatives Array
`%{$ptr}`	Dereferenzierung eines Zeigers auf ein assoziatives Array
`{$key1 => $val1, ...}`	Zeiger auf ein neu erzeugtes assoziatives Array
`$ptr->{$index}`	Zugriff auf ein Element eines assoziativen Arrays über einen Zeiger
`\&func`	Zeiger auf eine benannte Funktion
`$coderef = sub { ... }`	Zeiger auf eine anonyme Funktion
`&{$coderef}($p1, ...)`	Aufruf einer Funktion durch einen Zeiger

Module

Passwd.pm

```
package Passwd;

use strict;
use warnings;
use IO::File;

my $passwd_file = "/etc/passwd";
my $passwd = new IO::File $passwd_file
   or die "Unable to read from $passwd_file: $!\n";
my %passwd_by_uid; my %passwd_by_login;
while(<$passwd>) {
   chomp;
   my ($login, $passwd, $uid, $gid,
      $name, $home, $shell) = split /:/;
   $passwd_by_uid{$uid} =
   $passwd_by_login{$login} = {
      login => $login, passwd => $passwd,
      uid => $uid, gid => $gid,
      name => $name, home => $home, shell => $shell
   };
}
$passwd->close;

sub getpwent_by_uid { return $passwd_by_uid{$_[0]}; }
sub getpwent_by_login { return $passwd_by_login{$_[0]}; }
1; # module was loaded successfully
```

- Jedes Modul hat seinen eigenen Namensraum und entsprechend gibt es keine globale Variablen – abgesehen von verschiedenen Standard-Variablen von Perl (`$_` zum Beispiel).
- Die Dateiendung für Perl-Module ist zwingend `.pm`.

Die Benutzung von Modulen

testpasswd.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
require Passwd;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
die "Usage: $cmdname login\n" unless @ARGV == 1;
my $login = shift;

my $pwentry = Passwd::getpwent_by_login($login);
if (defined $pwentry) {
   print "Name:        $pwentry->{name}\n";
   print "UID:         $pwentry->{uid}\n";
   print "GID:         $pwentry->{gid}\n";
} else {
   print "$cmdname: $login is not in passwd.\n";
}
```

- Mit `require` wird ein Modul importiert. Dadurch wird nicht der aktuelle Namensraum beeinflußt.
- Module werden in allen Verzeichnissen gesucht, die in `@INC` enthalten sind. Dazu gehören alle Bibliotheks-Verzeichnisse von Perl und das aktuelle Verzeichnis. Mit der Environment-Variablen `PERL5LIB` oder entsprechenden Angaben auf der Kommandozeile (`-Idir`) können weitere Verzeichnisse für Module angegeben werden.

Die Benutzung von Modulen

testpasswd.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
require Passwd;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
die "Usage: $cmdname login\n" unless @ARGV == 1;
my $login = shift;

my $pwentry = Passwd::getpwent_by_login($login);
if (defined $pwentry) {
   print "Name:        $pwentry->{name}\n";
   print "UID:         $pwentry->{uid}\n";
   print "GID:         $pwentry->{gid}\n";
} else {
   print "$cmdname: $login is not in passwd.\n";
}
```


- Mit `use lib qw(dir1 dir2)` können Verzeichnisse zu `@INC` hinzugefügt werden. Dies ist direkten Manipulationen von `@INC` vorzuziehen.
- Alle Prozedur- oder Variablennamen aus einem so importierten Modul müssen mit dem Modulnamen voll qualifiziert werden.
- Es gibt in Perl keinen (einfachen) Schutz gegen die Verwendung von Internas eines Moduls. Per Konvention beginnen private Namen mit einem `_`.

Module, die automatisch Namen exportieren

Passwd2.pm

```
package Passwd2;

use strict;
use warnings;
use IO::File;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT = qw(getpwent_by_uid getpwent_by_login);

my $passwd_file = "/etc/passwd";
my $passwd = new IO::File $passwd_file
   or die "Unable to read from $passwd_file: $!\n";
my %passwd_by_uid; my %passwd_by_login;
while(<$passwd>) {
   chomp;
   my ($login, $passwd, $uid, $gid,
      $name, $home, $shell) = split /:/;
   $passwd_by_uid{$uid} =
   $passwd_by_login{$login} = {
      login => $login, passwd => $passwd,
      uid => $uid, gid => $gid,
      name => $name, home => $home, shell => $shell
   };
}
$passwd->close;

sub getpwent_by_uid { return $passwd_by_uid{$_[0]}; }
sub getpwent_by_login { return $passwd_by_login{$_[0]}; }
1; # module was loaded successfully
```


Module, die automatisch Namen exportieren

Passwd2.pm

```
package Passwd2;

use strict;
use warnings;
use IO::File;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT = qw(getpwent_by_uid getpwent_by_login);
```

- Wenn ein Modul eine Erweiterung des Modules `Exporter` ist, lassen sich bestimmte ausgewählte Namen automatisch in den Namensraum des Importierers übernehmen.
- Mit `require Exporter` wird zunächst das entsprechende Modul importiert.
- Die spezielle Liste `@ISA` legt Erweiterungsbeziehungen fest.
- In der Liste `@EXPORT` stehen alle Namen drin, die automatisch im Namensraum des Importierers auftauchen sollen.
- Mit `our` deklarierte Variablen sind von außen zugänglich (im Gegensatz zu `my`). Das ist hier notwendig, um `Exporter` entgegenzukommen.
- `qw(name1 name2 name3)` ist eine Kurzform für `('name1', 'name2', 'name3')`.

Die use-Anweisung

testpasswd2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use Passwd2;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
die "Usage: $cmdname login\n" unless @ARGV == 1;
my $login = shift;

my $pwentry = getpwent_by_login($login);
if (defined $pwentry) {
   print "Name:        $pwentry->{name}\n";
   print "UID:         $pwentry->{uid}\n";
   print "GID:         $pwentry->{gid}\n";
} else {
   print "$cmdname: $login is not in passwd.\n";
}
```

- Wenn nicht nur das Modul zur Verfügung stehen soll, sondern auch Namen in den eigenen Namensraum zu übernehmen sind, wird `use` anstatt von `require` verwendet.
- Entsprechend läßt sich nachher `getpwent_by_login` ohne weitere Qualifizierung verwenden.
- Von dieser Technik sollte nur sehr zurückhaltend Gebrauch gemacht werden, um Namenskollisionen zu vermeiden.
- Es gibt Techniken zur partiellen Übernahme von Namen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

Exportlisten ohne Flutung

Passwd3.pm

```
package Passwd3;

use strict;
use warnings;
use IO::File;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT_OK = qw(getpwent_by_uid getpwent_by_login);
```

testpasswd3.pl

```
use Passwd3 qw(getpwent_by_login);

# ...

my $pwentry = getpwent_by_login($login);
```

- `@EXPORT_OK` führt im Gegensatz zu `@EXPORT` nicht zu einer Flutung des Namensraumes des importierenden Moduls.
- Analog zu Modula-2 können dann bei `use` selektive Importlisten angegeben werden.
- Diese Technik ist der Flutung vorzuziehen, da sie stabil gegen Änderungen ist und genauer dokumentiert, was von wo benutzt wird. Natürlich ist die qualifizierte Benutzung externer Namen auch eine gut lesbare Alternative.

Das Pragma-Modul strict

- Dank dem historischen Erbe von Perl gibt es einige obskure Techniken oder (Fehl-)Interpretationen, versehentliche Verwendung ausgeschlossen werden sollte.

- Hierfür gibt es das Pragma-Modul `strict`, von dem grundsätzlich Gebrauch gemacht werden sollte.

- Zur Zeit gibt es drei konkrete Überprüfungen bei `strict`, die auch separat spezifiziert werden können:

`use strict qw(refs);`	Keine symbolische Zeiger.
`use strict qw(vars);`	Nur Verwendung lokalisierter oder qualifizierter Variablen.
`use strict qw(subs);`	Restriktionen bei der Verwendung von ungeschützten Namen (*barewords*).

Vermeidung symbolischer Zeiger

```
use strict qw(refs);

$var = "Hallo";

$ptr = \$var; print ${$ptr} # zulaessig
$ptr = "var"; print ${$ptr} # nicht (mehr) zulaessig
```

- Symbolische Zeiger sind ganz normale Textvariablen, deren Inhalt beim Zugriff als Variablenname interpretiert wird.

- Diese Technik ist recht abenteuerlich, da die Bewertung vom jeweils lokalen Kontext abhängt – schließlich kann mit `my` oder `local` der Variablenname überdefiniert worden sein (oder wir befinden uns in einem anderen Modul).

- Von der Verwendung symbolischer Zeiger ist deswegen abzuraten und sie werden normalerweise nur versehentlich verwendet. Dies wird durch diese Variante von `strict` zuverlässig verhindert.

Mehr Ordnung bei Variablennamen

```
package XXX;

use strict qw(vars);
require Exporter;
our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT = qw(...);

$var1 = 17;       # nicht (mehr) zulaessig,
                  # falls $var1 noch nicht deklariert worden ist
local $var2;      # ist ebenfalls nicht (mehr) zulaessig
my $var3;         # ist zulaessig
our $var4;        # ist zulaessig
$XXX::var5 = 1; # qualifizierte Verwendung ist zulaessig
```

- Bei der mit `use strict qw(vars);` erzwungenen strikten Ordnung bei Variablennamen sind nur noch qualifizierte oder mit `my` lokal deklarierte Variablennamen zulässig.

- Dies erhöht gerade bei umfangreicheren Projekten nicht nur die Lesbarkeit (durch die erzwungenen Deklarierungen oder die qualifizierte Schreibweise), sondern vermeidet (in gegenüber `use warnings` vermehrten Maße) Probleme mit vertippten Variablennamen oder Fallen durch dynamische Sichtbereiche (bei `lokal`).

Einschränkungen in der Verwendung ungeschützter Namen

```
use strict qw(subs);

print STDOUT I, like, Perl, "\n"; # nicht (mehr) zulaessig
$array{key} = "value"; # ist noch zugelassen
%array = (key => 'value'); # ebenfalls noch zugelassen
```

- Ungeschützte Namen (in der Perl-Dokumentation *barewords* genannt) sind Namen ohne ein einleitendes Symbol wie `$`, `@`, `%` oder `&` bzw. alphanumerische Zeichenketten, die nicht eingefaßt sind (z.B. in `"..."`, `'...'` oder `qq(...)`).

- Grundsätzlich (d.h. mit Ausnahmen) teilen sich ungeschützte Namen den Namensraum mit den (zahlreich vorhandenen) Schlüsselwörtern von Perl. Die Gefahr liegt hier insbesondere in den Schlüsselwörtern, die noch kommen können.

- Prozedurnamen dürfen weiterhin ohne führendes `&` verwendet werden, wenn sie entweder vorher deklariert worden sind oder durch einen nachfolgenden Listenkonstruktor als solcher zu erkennen sind.

- Indizes für assoziative Arrays sind ebenfalls ausgenommen (das schließt die Verwendung ungeschützter Namen vor => ein).

Ausnahmenbehandlungen

Passwd4.pm

```
use Carp;

# ...

sub pw_init {
   my ($passwd_file) = @_;
   $passwd_file = "/etc/passwd" unless defined $passwd_file;
   my $passwd = new IO::File $passwd_file
      or croak "Unable to read from $passwd_file: $!\n";
   # ...
}
```

- Bibliotheksmodule schieben die Schuld gerne auf den Aufrufer und verwenden daher gerne **croak** aus dem Modul **Carp** anstatt **die**.

testpasswd4.pl

```
use Passwd4 qw(getpwent_by_login pw_init);

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname login [passwd]\n";
die $usage if @ARGV == 0;
my $login = shift;
pw_init(shift) if @ARGV > 0;
die $usage unless @ARGV == 0;
```

```
doolin$ perl testpasswd4.pl borchert /tmp/blubber
Unable to read from /tmp/blubber: No such file or directory
 at testpasswd4.pl line 11
doolin$
```


Ausnahmenbehandlungen

testpasswd5.pl

```
if (@ARGV > 0) {
   my $passwd_file = shift;
   eval {
      pw_init($passwd_file);
   };
   if ($@) {
      warn "$cmdname: was not able to open $passwd_file:\n" .
         "$@trying default...\n";
      pw_init();
   }
}
```

- Mit **eval** können beliebige Ausführungsfehler abgefangen werden. Geht irgendetwas schief, wird die zugehörige Fehlermeldung in `$@` abgelegt.

- Damit ist es möglich, andere Fehlermeldungen zu erzeugen oder Ersatzstrategien zu verfolgen.

```
doolin$ perl testpasswd5.pl borchert /tmp/blubber
testpasswd5.pl: was not able to open /tmp/blubber:
Unable to read from /tmp/blubber: No such file or directory
 at testpasswd5.pl line 14
trying default...
Name:        Andreas F. Borchert
UID:         120
GID:         0
doolin$
```

Ausnahmenbehandlungen im Überblick

`die $msg`	Abbruch mit der angegebenen Fehlermeldung
`warn $msg`	Fehlermeldung ohne Abbruch
`warn $msg if $^W`	Fehlermeldung ohne Abbruch, falls `use warnings` angegeben wurde
`use Carp; croak $msg`	Analog zu **die**, jedoch beziehen sich Modulangabe und Zeilennummer auf den Aufrufer
`use Carp; carp $msg`	Analog zu **warn**, jedoch beziehen sich Modulangabe und Zeilennummer auf den Aufrufer
`use Carp; confess $msg`	Analog zu **croak**, jedoch wird ein vollständiger Stack-Trace ausgegeben.
`$SIG{__DIE__} = sub { ... }`	Reaktion statt Abbruch bei **die**
`$SIG{__WARN__} = sub { ... }`	Reaktion statt Ausgabe bei **warn**
`eval { ... }; if ($@) { ... }`	Bau einer Schutzmauer mit **eval**

Objekte in Perl

- Objekte sind in Perl immer Referenzen auf eine beliebige Datenstruktur.
- Typischerweise wird als dahinterliegende Datenstruktur ein assoziatives Array verwendet, dessen Schlüssel durch die Komponentennamen vorgegeben sind.
- Jedes Objekt ist mit einem Modul verbunden. Die Verbindung wird durch die `bless`-Operation hergestellt.
- Wird eine Methode auf so einem Objekt aufgerufen (Syntax kommt gleich), wird zunächst in dem zugehörigen Modul nach der zugehörigen Prozedur gesucht und anschließend rekursiv in den Modulen, wovon das erste eine Erweiterung ist.
- Im Konfliktfall (mehrfache Implementierung einer Methode) entscheidet die Reihenfolge in `@ISA`.
- Der erste Parameter aller Methoden ist das Objekt selbst. Die weiteren Parameter sind dahinter zu finden.
- Module, die Objekt-Klassen repräsentieren, exportieren normalerweise überhaupt keine Namen, sondern sind nur über die Objekt-Schnittstelle erreichbar.

Ein Modul als Objekt-Klasse

Counter.pm

```
package Counter;

use strict;
use warnings;
require Exporter;
our @ISA = qw(Exporter);

sub new {
   my ($package, $startvalue, $increment) = @_;
   $startvalue = 0 unless defined $startvalue;
   $increment = 1 unless defined $increment;
   my $self = bless {
      value => $startvalue,
      incr => $increment
   }, $package;
   return $self;
}

sub inc {
   my ($self) = @_;
   return $self->{value} += $self->{incr};
}

sub dec {
   my ($self) = @_;
   return $self->{value} -= $self->{incr};
}

sub val {
   my ($self) = @_;
   return $self->{value};
}

1;
```


Objekt-Konstruktoren

Counter.pm

```
sub new {
   my ($package, $startvalue, $increment) = @_;
   $startvalue = 0 unless defined $startvalue;
   $increment = 1 unless defined $increment;
   my $self = bless {
      value => $startvalue,
      incr => $increment
   }, $package;
   return $self;
}
```

- Objekt-Konstruktoren werden per Konvention `new` genannt und erhalten als Parameter zunächst einen Zeiger auf ihr Modul und anschließend die weiteren Parameter, die explizit übergeben worden sind.
- `bless` erhält als ersten Parameter eine Referenz, die das Objekt darstellen soll und als zweiten Parameter das Modul, dem es zugeordnet ist.
- Zwar wäre es auch möglich, direkt den eigenen Modulnamen als zweiten Parameter bei `bless` anzugeben – dann wären aber erweiternde Module gezwungen, `new` überzudefinieren. Deswegen wird per Konvention immer der erste Parameter des Konstruktors dafür genommen, der eben auch ein abgeleitetes Modul sein kann.
- Konstruktoren sollten entweder `undef` (im Falle eines Mißerfolges) oder das neu geschaffene Objekt zurückliefern.

Methoden

Counter.pm

```
sub inc {
   my ($self) = @_;
   return $self->{value} += $self->{incr};
}
```

- Methoden erhalten als ersten Parameter das Objekt, worauf sie operieren sollen.
- In den weiteren Parameter ist das enthalten, was ansonsten übergeben worden ist.

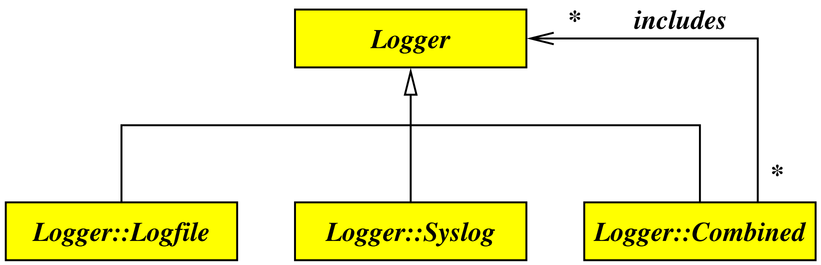
Die Benutzung von Klassen

testcounter.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use Counter;

my $counter = new Counter @ARGV;
while (defined(my $ch = getc(STDIN))) {
   if ($ch eq "+") {
      $counter->inc;
   } elsif ($ch eq "-") {
      $counter->dec;
   }
}
print $counter->val, "\n";
```

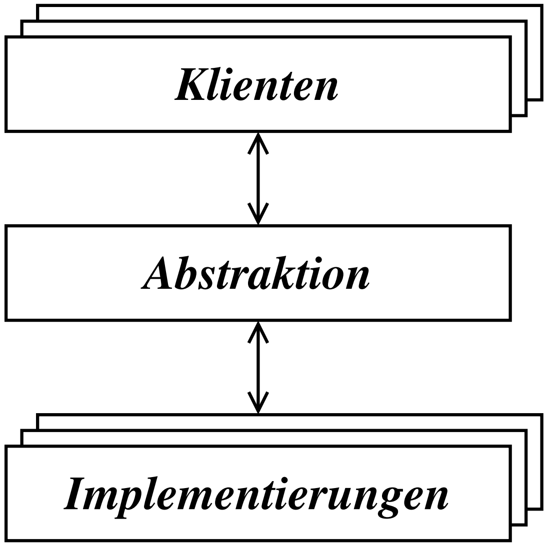
- Mit `use Counter` wird die Klasse importiert, wobei hier der eigene Namensraum unverändert bleibt (abgesehen von `Counter`).
- Die Syntax von Methodenaufrufen ist entweder
  `method object parameters` oder
  `object->method parameters`
- Ein Modul ist ein Objekt, das mit sich selbst verknüpft ist.
- Die Operation `new` kann entsprechend hier via
  `new Counter @ARGV` oder
  via `Counter->new(@ARGV)` aufgerufen werden.

Abstraktionen in Perl



- `Logger` ist eine einfache Abstraktionen für Logs. Unterstützt wird nur das Versenden von Log-Einträgen mit einer Gewichtung.
- `Logger::Logfile` implementiert die Abstraktion für Logdateien.
- `Logger::Syslog` unterstützt die Schnittstelle von `Logger` in Verbindung mit dem syslog-Dienst.
- `Logger::Combined` erlaubt es, Verteiler auf Basis vorhandener Logs zu definieren.

Die Schnittstellen einer Abstraktion



- Abstraktionen haben Kontakt zu zwei Typen von Parteien: Zu den Klienten, die die Abstraktion nutzen, und zu den Implementierern.
- Ziel sollte es sein, die Schnittstellen der Abstraktionen so zu entwerfen, daß der Aufwand für beide Seiten minimiert wird.
- Das führt häufig dazu, daß es zu unterschiedlichen Schnittstellen kommt.

Die Abstraktion als Modul

Logger.pm

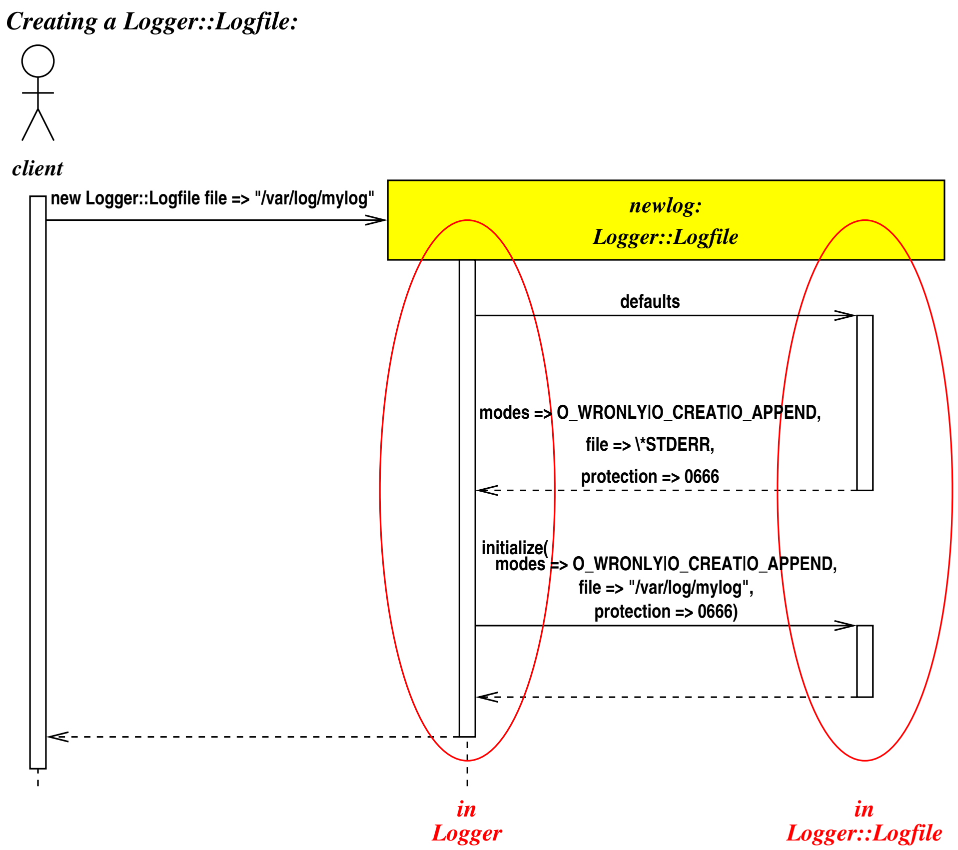
```
package Logger;

use strict;
use warnings;
use Carp;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);
our @EXPORT_OK = qw(LOG_INFO LOG_WARN LOG_ERROR LOG_ALERT);
use constant {
   LOG_INFO => 0, LOG_WARN => 1,
   LOG_ERROR => 2, LOG_ALERT => 3,
};
```

- Wie zuvor wird mit `@ISA` die Erweiterungsbeziehung zwischen den Modulen festgelegt und mit `EXPORT_OK` eine nicht-flutende Export-Liste angegeben.
- Log-Meldungen sind üblicherweise mit Gewichtungen verbunden. Hier wird zwischen informellen, warnenden, auf Fehler hinweisenden und dramatischen Meldungen unterschieden.
- Mit **`use constant`** (einem weiteren Pragma-Modul von Perl) sind Konstanten-Deklarationen möglich. Die Konstantennamen werden wie Funktionen verwendet. Per Konvention bestehen die Namen aus Konstanten nur aus Großbuchstaben.

Konstruktionsablauf

- Die Methode **`new`** wird typischerweise nur in der Basisklasse definiert. Die Initialisierungen der verwendeten Erweiterung von `Logger` erfolgt dann in der von **`new`** aufgerufenen Methode **`initialize`**.
- Da sowohl die Basisklasse (hier: `Logger`) als auch die abgeleitete Implementierung (hier: `Logger::Logfile`) Parameter für die Initialisierung benötigen, empfiehlt sich die Verwendung eines assoziativen Arrays für die Übergabe. Das erlaubt die Benennung der Parameter und die Verwendung von Voreinstellungen.
- Dies wird alles in der Basisklasse organisiert. Abgeleitete Implementierungen müssen nur **`defaults`** und **`initialize`** definieren.
- Falls es noch Ableitungen einer abgeleiteten Klasse hinzukommen, dann sollte **`initialize`** dort die Methode **`initialize`** der übergeordneten Klasse aufrufen. Das geht mit `SUPER::`**`initialize`**.

Konstruktionsablauf



Konstruktionsablauf

Logger.pm

```
sub new {
   my ($package, %options) = @_;
   my $defaults = $package->defaults;
   my $self = bless {
      map {
         $_ =>
         defined $options{$_}? $options{$_}: $defaults->{$_}
      } keys %{$defaults},
   }, $package;
   my $default_level = $options{default_level};
   if (defined $default_level) {
      $self->{default_level} = $default_level;
   } else {
      $self->{default_level} = LOG_INFO;
   }
   $self->initialize(%options);
   return $self;
}
```

Logger::Logfile.pm

```
sub initialize {
   my ($self, %options) = @_;
   unless (ref($self->{file})) {
      my $out = new IO::File $self->{file},
            $self->{modes}, $self->{protection}
         or croak "unable to open $self->{file}: $!";
      $self->{file} = $out;
   }
}
sub defaults {
   return { modes => O_WRONLY|O_CREAT|O_APPEND,
            file => \*STDERR, protection => 0666 };
}
```

Eingebettete Methoden

Logger.pm

```
sub get_default_level {
   my ($self) = @_;
   return $self->{default_level};
}

sub log {
   my ($self, $msg, $level) = @_;
   $level = $self->get_default_level unless defined $level;
   return $self->do_log($msg, $level);
}
```

Logger::Logfile.pm

```
sub do_log {
   my ($self, $msg, $level) = @_;
   croak "Unknown log level: $level"
      unless defined $priority{$level};
   $self->{file}->print($priority{$level} .
      ": " . $msg . "\n");
}
```

- Die Methode `log` repräsentiert die Schnittstelle zu den Klienten, die Methode `do_log` die Schnittstelle zu den Implementierungen. Beide versuchen, das Leben für das jeweilige Gegenüber zu vereinfachen.

Offene Punkte

- Es gibt keine formale Kennzeichnung von öffentlichen oder privaten Methoden. So kann jeder externe Klient `do_log` oder `initialize` direkt aufrufen.

- In der vorgestellten Form teilen sich alle internen Variablen eines Objekts einen Namensraum. Dies kann verbessert werden, indem aus dem assoziativen Array ein assoziatives Array von assoziativen Arrays wird. Davon sollten aber der Einfachheit halber die den Konstruktoren zu übergebenen Optionen ausgenommen werden, da diese sich ohnehin einen Namensraum teilen müssen.

- All die privat gedachten Variablen eines Objekts sind uneingeschränkt von außen zugänglich.

- Die OO-Techniken und die Module bieten in Perl keinerlei gesicherte Privatheit. Die einzige Methode, diese zu erzielen besteht in der Verwendung von Closures.

Eingebettete Dokumentation

hello-world.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;

print "Hello world!\n";

__END__

=head1 NAME

hello-world -- print greeting

=head1 SYNOPSIS

hello-world

=head1 DESCRIPTION

hello-world just prints ``Hello world!'' and exits.

=cut
```

- Innerhalb eines Perl-Programmtextes kann an beliebiger Stelle Text für die zugehörige Dokumentation im Pod-Format (*plain old documentation*) eingefügt werden.
- Textabschnitte für die Dokumentation beginnen mit einer `=`-Direktive am Anfang einer Zeile und enden mit `=cut` (ebenfalls am Anfang einer Zeile).

Eingebettete Dokumentation

hello-world.pl

```
__END__

=head1 NAME

hello-world -- print greeting

=head1 SYNOPSIS

hello-world

=head1 DESCRIPTION

hello-world just prints ``Hello world!'' and exits.

=cut
```

- Eine verwandte Technik ist die des *literate programming*, die insbesondere durch Donald Knuth bei TEX populär wurde. Jedoch steht bei *literate programming* mehr die Erläuterung des Programmtexts im Vordergrund als die Benutzung.
- Von ähnlicher Zielsetzung sind Javadoc und Doxygen. Siehe `http://java.sun.com/j2se/javadoc/` und `http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/`
- `__END__` beendet den Programmtext einer Perl-Quelle. Darauf kann hier auch verzichtet werden, da Perl die eingebettete Dokumentation "überlesen" kann. Es beschleunigt hier nur die Bearbeitung.

Eingebettete Dokumentation

```
cordelia$ pod2text hello-world.pl
NAME
    hello-world -- print greeting

SYNOPSIS
    hello-world

DESCRIPTION
    hello-world just prints ‘‘Hello world!’’ and exits.

cordelia$
```

- Das Pod-Format kann in zahlreiche Formate konvertiert werden einschließlich *troff(1)*-Manualseiten, HTML, LaTeX und einfachem ASCII-Text.

Pod-Format

- Text im Pod-Format wird Paragraph für Paragraph bearbeitet und konvertiert. Zwei Paragraphen werden durch eine oder mehrere Leerzeilen voneinander getrennt.
- Es gibt drei Varianten von Paragraphen:
  - Eine Pod-Direktive, die mit = am Anfang der ersten Zeile beginnt.
  - Eingerückter Text, der unverändert übernommen wird (sinnvoll für Programmtext).
  - Am Zeilenanfang beginnender Text, der im Blocksatz gesetzt wird.
- Generell sind die Formatiermöglichkeiten sehr beschränkt und orientieren sich an dem elementaren Bedarf für Manualseiten. Auf der anderen Seite ist es durch die Einfachheit leicht, neue oder alternative Konvertierungswerkzeuge zu schaffen.

Pod-Direktiven

`=head1`	Überschrift, die typischerweise im Manualstil zur Gliederung verwendet wird (NAME, SYNOPSIS, DESCRIPTION etc).
`=head2`	Untergeordnete Überschrift (typischerweise zur Untergliederung eines langen Textes bei DESCRIPTION).
`=over` *n*	Beginn einer Aufzählung. Manche Konvertierer benötigen dafür die Einrückweite *n*, die normalerweise auf 4 gesetzt wird.
`=item` *text*	Ein Punkt innerhalb einer Aufzählung. Viele Konvertierer gehen davon aus, daß die Angaben von *text* innerhalb einer Aufzählung einheitlich sind: Entweder generell `*`, oder nur numerische Aufzählungen (`1.`, `2.` etc) oder Begriffe (z.B. Namen von Funktionen oder Methoden).
`=back`	Ende einer Aufzählung.
`=pod`	Anfang des Textes im Pod-Format.
`=cut`	Ende des Textes im Pod-Format.
`=for` *formatter*	Der Rest des Paragraphen wird nur von dem spezifizierten Formatierer (z.B. HTML) berücksichtigt und ansonsten ignoriert.

- Hinweis: Direktiven sind nur als solche erkennbar, wenn sie einen eigenen Paragraphen bilden. Das heißt, daß sie jeweils von Leerzeilen umgeben werden müssen. Neuere POD-Parser sind toleranter, aber eine Leerzeile vor dem ersten `=head1` und nach dem `=cut` wird in jedem Falle benötigt.

Pod-Sequenzen

I<*text*>	*text* kursiv setzen (Variablen und Hervorhebungen).
B<*text*>	*text* in Fettschrift setzen (Optionen der Kommandozeile und Programmnamen)
S<*text*>	Verhindert Umbruch bei Leerzeichen innerhalb von *text*.
C<*code*>	Programmtext.
L<*name*>	Hypertext-Verweis auf eine andere Manualseite (z.B. `L<perlpod>`) oder auf eine bestimmte Stelle innerhalb einer anderen Manualseite (z.B. `L<perlfunc/print>`).
F<*file*>	Dateiname.
X<*entry*>	Hinzufügen eines Eintrags in den Index.
Z<>	Wird durch leeren Text ersetzt.
E<*escape*>	Einfügen des durch *escape* spezifizierten Sonderzeichens, z.B. `E<auml>`.

Physische Datenhaltung

Persistente Daten können in einer Vielzahl von Formen repräsentiert und verwaltet werden:

- Traditionelle Textdatei mit Feld- und Satztrennern.
- Strukturierter Text auf Basis von XML.
- Indizierte Dateien mit Hash-Verfahren oder B-Bäumen.
- Relationale Datenbanken.

Mit Ausnahme von XML werden dabei die Daten in Form von Tabellen strukturiert, wobei die 1. Normalform nicht notwendigerweise eingehalten wird.

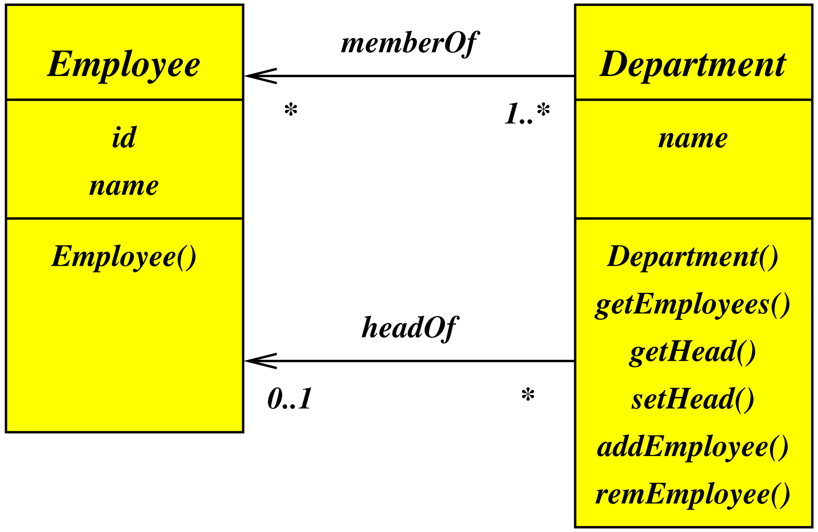
Kriterien für die Auswahl der Repräsentierung

- Datenvolumen
- Änderungshäufigkeit
- Effizienz bei Lese- und Schreiboperationen
- Parallelisierbarkeit von Lese- und Schreiboperationen
- Gewährleistung der Konsistenz
- Editier- und Manipulierbarkeit
- Notifikationen

Konsistenz

- Bei persistenter Datenhaltung sollte immer der Fall berücksichtigt werden, daß (zum Beispiel durch einen Stromausfall) der auf die Datenbank schreibende Prozeß terminiert wird, ohne daß eine Chance besteht, darauf zu reagieren.
- Sobald wieder ein Zugriff stattfindet, sollte auf dem letzten konsistenten Zustand weitergearbeitet werden.
- Schreib-Operationen gelten erst dann als erfolgreich, wenn sie auf einem permanenten Speichermedium sicher abgeschlossen worden sind (siehe **fsync** unter UNIX). Dies hängt nicht nur von der Anwendung selbst ab, sondern auch von dem verwendeten Dateisystem.

Konsistenz bei mehreren Tabellen



- Wenn mehrere Tabellen mit Beziehungen vorliegen, dann kann die Beziehungsintegrität nicht garantiert werden, wenn die Atomizität der Schreiboperationen nur für einzelne Tabellen gegeben ist.
- Beispiel: Löschen eines Angestellten aus der Datenbank. Beide Tabellen müssen aktualisiert werden. Wenn nur eine der beiden Operationen gelingt, haben wir eine Abteilung mit einem unbekannten Angestellten oder einen Angestellten ohne Abteilungszugehörigkeit.

Mehrfache Repräsentierungen

- Gelegentlich werden für eine Anwendung mehrere Repräsentierungen für Daten benötigt.
- Fallbeispiel CDB: Die Daten werden in einer traditionellen Textdatei gehalten und modifiziert. Mit Hilfe von **cdbmake** wird eine indizierte Datei erzeugt, die nur zum Lesen von Datensätzen verwendet wird. Siehe: `http://cr.yp.to/cdb.html`
- Bei vielen relationalen Datenbanken besteht die Möglichkeit, die Daten einer Tabelle in Form einer Textdatei zu extrahieren, um damit einen Transfer in eine andere Datenbank zu ermöglichen. Analog können Tabellen mit Hilfe von Textdateien gefüllt werden.

Traditionelle Textdateien

- Tabellen auf Basis von Textdateien repräsentieren
  - jeden Datensatz in Form einer Zeile und
  - trennen die Felder innerhalb eines Datensatzes mit einem Feldtrenner.
- Auf die Verwendung von Feld- und Satztrennern muß entweder vermieden werden oder Ersatzdarstellungen müssen zum Zuge kommen.
- Nachteile: Normalerweise muß die gesamte Tabelle zum Lesen geladen werden und bei Änderungen muß die gesamte Tabelle neu geschrieben werden.
- Vorteil: Textdateien können mit einer Vielzahl von Werkzeugen direkt bearbeitet werden, u.a. auch mit Texteditoren.

Ein Beispiel für eine Textdatenbank

```
doolin$ cat mybooks
0-596-00132-0:Randal L. Schwartz:Learning Perl
0-59600-027-8:Larry Wall:Programming Perl
doolin$
```

- In diesem Beispiel enthält jeder Datensatz drei Felder (ISBN-Nummer, Autor und Titel) und der Doppelpunkt wird als Feldtrenner verwendet.
- Beliebige Sonderzeichen sind in den Feldern zugelassen und werden (analog zu der Regelung bei URLs) mit einem Prozentzeichen gefolgt von dem Hexcode des Zeichens dargestellt.

```
doolin$ perl addbook.pl 0-123-45678-9 "Anonymous" "Weird:
> Example"
doolin$ cat mybooks
0-123-45678-9:Anonymous:Weird%3a%0aExample
0-596-00132-0:Randal L. Schwartz:Learning Perl
0-59600-027-8:Larry Wall:Programming Perl
doolin$
```


Ein Beispiel für eine Textdatenbank

addbook.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use Books;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname isbn author title\n";
die $usage unless @ARGV == 3;

my $isbn = shift;
my $author = shift;
my $title = shift;

my $books = new Books "mybooks";
$books->add(
   isbn => $isbn, author => $author, title => $title
);
```

- Die Zugriffe auf die Textdatenbank für die Bücher sind in dem Modul **Books** verpackt, daß folgende Operationen anbietet:

`$books->add(isbn => ...)`	Hinzufügen eines Datensatzes
`$books->delete($isbn)`	Löschen eines Datensatzes
`$books->find($isbn)`	Abfrage eines Datensatzes
`$books->save($isbn)`	Absichern aller Datensätze

Ein Beispiel für eine Textdatenbank

Books.pm

```
package Books;

use strict;
use warnings;
use Carp;
use Fcntl;
use File::Sync;
use IO::File;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);

my @fieldnames = qw(isbn author title);
my $key = "isbn";
my $fieldsep = ":";
my $escape = "%";
```

- Um leicht Änderungen durchführen zu können, sind die wichtigsten Parameter als Variablen deklariert:

`@fieldnames`	Verwendete Feldnamen und deren Reihenfolge
`$key`	Der Name des als Schlüssel verwendeten Feldes
`$fieldsep`	Feldtrenner
`$escape`	Zeichen zu Beginn einer Ersatzdarstellung

Ein Beispiel für eine Textdatenbank

Books.pm

```
sub line_to_record {
   my ($line) = @_;
   my @fields = split /$fieldsep/, $line;
   my $record = {};
   foreach my $fieldname (@fieldnames) {
      my $field = shift @fields;
      $field = "" unless defined $field;
      $field =~ s{$escape([0-9a-fA-F]{2})}{ chr(hex($1)) }ge;
      $record->{$fieldname} = $field;
   }
   return $record;
}

sub record_to_line {
   my ($record) = @_;
   my @fields = ();
   foreach my $fieldname (@fieldnames) {
      my $field = $record->{$fieldname};
      $field =~ s{([$escape$fieldsep]|\P{IsPrint})}{
         sprintf "%s%02x", $escape, ord($1)
      }ge;
      push(@fields, $field);
   }
   return join($fieldsep, @fields);
}
```

Ein Beispiel für eine Textdatenbank

Books.pm

```
sub new {
   my ($package, $dbfile) = @_;
   my $self = bless {
      dbfile => $dbfile,
      records => {},
      changes => 0,
   }, $package;
   my $in = new IO::File $dbfile;
   if (defined $in) {
      while (<$in>) {
         chomp;
         my $record = line_to_record($_);
         $self->{records}->{$record->{$key}} = $record;
      }
      $in->close;
   }
   return $self;
}
```

- Ein Objekt, das eine Datenbank mit Büchern repräsentiert, benötigt hier drei Komponenten:

`dbfile`	Name der Textdatei. Diese wird benötigt um ggf. einen veränderten Stand abzusichern.
`changes`	Dient dazu festzustellen, ob irgendwelche Änderungen durchgeführt worden sind.
`records`	Zeiger auf ein assoziatives Array mit all den Datensätzen.

Ein Beispiel für eine Textdatenbank

Books.pm

```
sub find {
   my ($self, $keyval) = @_;
   return () unless defined $self->{records}->{$keyval};
   # return a copy of the record
   return %{$self->{records}->{$keyval}};
}

sub add {
   my ($self, %record) = @_;
   croak "Key field is missing" unless defined $record{$key};
   $self->{records}->{$record{$key}} = \%record;
   $self->{changes}++;
}

sub delete {
   my ($self, $keyval) = @_;
   delete $self->{records}->{$keyval};
   $self->{changes}++;
}
```

- Wichtig ist, daß Schreiboperationen bei **changes** notiert werden und bei Leseoperationen nur Kopien ausgehändigt werden.
- Gegebenenfalls sind weitere Konsistenzüberprüfungen und die Trennung von **add** und **modify** sinnvoll.

Das Absichern von Textdateien

- Ziel: Die Änderung der Textdatei muß *atomar* erfolgen. Das heißt, daß parallel laufende Leseprozesse jederzeit einen konsistenten Zustand sehen und bei einem Absturz entweder der alte oder der neue Stand in konsistenter Form vorliegt.
- Bei Textdateien geht dies nur durch die Neuerzeugung einer Datei. Hierzu wird eine temporäre Datei verwendet, die *im gleichen Verzeichnis* liegen sollte bzw. im gleichen Dateisystem liegen muß.
- Bevor die Textdatei nach Abschluß aller Schreiboperationen geschlossen wird, sollte sie mit **flush** und **fsync** abgesichert werden. Dann ist sichergestellt, daß sie vollständig auf der Festplatte geschrieben ist.
- Danach wird die temporäre Datei mit einer **rename**-Operation umgetauft in den Namen der Textdatenbank. Unter UNIX ist **rename** atomar, d.h. es ist immer einer der beiden Dateien sichtbar (zuerst die alte, dann die neue). Wenn es sonst keine harten Verweise auf den alten Stand gab, wird er automatisch beim **rename** gelöscht.
- Alle Operationen sollten ausnahmslos auf Fehler überprüft werden.

Das Absichern von Textdateien

Books.pm

```
sub save {
   my ($self) = @_;
   return 1 if $self->{changes} == 0;
   my $tmpfile = $self->{dbfile} . ".TMP";
   my $out = new IO::File $tmpfile, O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC
      or croak "Unable to create $tmpfile: $!";
   while (my($key, $record) = each(%{$self->{records}})) {
      my $line = record_to_line($record);
      print $out $line, "\n"
         or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   }
   $out->flush or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   $out->fsync or croak "Fsync failed on $tmpfile: $!";
   $out->close or croak "Close failed on $tmpfile: $!";
   rename($tmpfile, $self->{dbfile}) or
      croak "Rename operation failed for $tmpfile: $!";
   $self->{changes} = 0;
   return 1;
}

sub DESTROY {
   my ($self) = @_;
   $self->save();
}
```

- `O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC` bedeutet: Nur zum Schreiben eröffnen, die Datei kreieren, falls noch nicht vorhanden, und die Datei auf Länge 0 bringen, falls vorhanden. Diese Konstantennamen werden durch `Fcntl` exportiert.

Repräsentierung in XML

```
doolin$ cat mybooks.xml
<books>
  <book title="Learning Perl" isbn="0-596-00132-0">
    <author>Randal L. Schwartz</author>
  </book>
  <book title="Programming Perl" isbn="0-59600-027-8">
    <author>Larry Wall</author>
    <author>Tom Christiansen</author>
    <author>Jon Orwant</author>
  </book>
</books>
doolin$
```

- Ähnlich wie HTML ist XML ein Ableger von SGML, bei dem Text in strukturierter Form abgelegt werden kann.
- Die Struktur ist hierarchisch und kann überall mit Attributen versehen oder mit Text angefüllt werden.
- Im Rahmen dieser Vorlesung kann XML nicht umfassend vorgestellt werden. Stattdessen möge das folgende Beispiel genügen.

Ein Beispiel für eine XML-Datenbank

BooksXML.pm

```
package BooksXML;

use strict;
use warnings;
use Carp;
use Fcntl;
use File::Sync;
use IO::File;
use XML::Simple;
require Exporter;

my $key = "isbn";

my $xs = new XML::Simple(
   forcearray => [qw(author)],
   keyattr => {book => "+$key"},
   rootname => 'books',
);
```

- `XML::Simple` ist ein Perl-Modul, das darauf spezialisiert ist, XML in Perl-Datenstrukturen und zurück zu konvertieren, wobei die Einflußmöglichkeiten vergleichsweise gering sind. Es gibt weitere Perl-Module mit mehr Möglichkeiten zu XML.

XML vs Perl-Datenstruktur

```
doolin$ cat mybooks.xml
<books>
  <book title="Learning Perl" isbn="0-596-00132-0">
    <author>Randal L. Schwartz</author>
  </book>
  <book title="Programming Perl" isbn="0-59600-027-8">
    <author>Larry Wall</author>
    <author>Tom Christiansen</author>
    <author>Jon Orwant</author>
  </book>
</books>
doolin$
```

```
{
   'book' => {
      '0-596-00132-0' => {
         'title' => 'Learning Perl',
         'isbn' => '0-596-00132-0',
         'author' => [ 'Randal L. Schwartz' ]
      },
      '0-59600-027-8' => {
         'title' => 'Programming Perl',
         'isbn' => '0-59600-027-8',
         'author' => [
            'Larry Wall',
            'Tom Christiansen',
            'Jon Orwant'
         ]
      }
   }
}
```


Optionen bei XML::Simple

- Das Objekt `$xs` dient nur dazu, die Optionen für `XML::Simple` festzulegen. Diese werden später bei der Konvertierung von XML in die Perl-Datenstruktur (`XMLin`) und umgekehrt (`XMLout`) berücksichtigt.

- Mit `keyattr => {book => "+$key"}` wird dafür Sorge getragen, daß aus der Liste von Büchern ein assoziatives Array wird, das über die ISBN-Nummer indiziert wird. Ohne diese Option würde daraus eine Liste. Das + sorgt dafür, daß der Schlüssel auch in den Datensatz selbst hineinkopiert wird.

- Mit `forcearray => [qw(author)]` werden aus Autorenlisten tatsächlich immer Listen, selbst wenn es nur einen einzigen Autor bei einem Buch gibt.

- Mit `rootname => 'books'` wird der Name für die alles andere umschließende Struktur festgelegt. Dies fiel bei der `XMLin`-Konvertierung weg.

Einlesen von XML

BooksXML.pm

```
sub new {
   my ($package, $dbfile) = @_;
   my $in = new IO::File $dbfile;
   my $records = {};
   if (defined $in) {
      $records = $xs->XMLin($in);
      $in->close;
      $records = $records->{book};
   }
   my $self = bless {
      dbfile => $dbfile,
      records => $records,
      changes => 0,
   }, $package;
   return $self;
}
```

- Um eine Indirektion zu sparen (wir haben nur Bücher in diesem Beispiel), wird mit `$records = $records->{book};` die oberste Ebene weggeworfen. Anschließend gleicht die Datenstruktur dem vorherigen Beispiel in `Books.pm`.

Ausgeben von XML

BooksXML.pm

```
sub save {
   my ($self) = @_;
   return 1 if $self->{changes} == 0;
   my $tmpfile = $self->{dbfile} . ".TMP";
   my $xml = $xs->XMLout({book => $self->{records}});
   my $out = new IO::File $tmpfile, O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC
      or croak "Unable to create $tmpfile: $!";
   print $out $xml or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   $out->flush or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   $out->fsync or croak "Fsync failed on $tmpfile: $!";
   $out->close or croak "Close failed on $tmpfile: $!";
   rename($tmpfile, $self->{dbfile}) or
      croak "Rename operation failed for $tmpfile: $!";
   $self->{changes} = 0;
   return 1;
}
```

- Hier muß wieder die Indirektion hinzugefügt werden mit `{book => $self->{records}}`, die zuvor wegoptimiert worden ist.

- `XMLout` führt die Ausgabe nicht selbst durch, sondern liefert nur eine Zeichenkette zurück, die den gesamten XML-Text enthält.

Vorteile von XML

- Eine XML-Datei kann mehr als eine Tabelle enthalten. Damit können auch mehrere Tabellen innerhalb einer atomaren Operation modifiziert werden.
- Die Verletzung der ersten Normalform (wie im Beispiel mit den Autoren-Listen bei den Büchern) erfordert keine weitere Hierarchien von Feldtrennern. XML läßt stattdessen beliebige Verschachtelungen zu.
- Es können in der XML bequem weitere Attribute hinzugefügt werden. Sie werden allesamt eingelesen, bleiben erhalten und werden wieder gesichert. Die Toleranz gegenüber späteren Änderungen ist somit sehr viel höher.
- XML ist noch mehr geeignet, um direkt im Editor bearbeitet zu werden.

Nachteile von XML

- Der Aufwand beim Parsieren ist deutlich höher als bei einfachen Textdatenbanken.
- Zwar achtet `XML::Simple` auf die Konvertierung von Sonderzeichen wie < und >, jedoch können nicht ohne weiteres beliebige andere Zeichen untergebracht werden. So werden Zeilentrenner beim Parsieren in einfache Leerzeichen konvertiert.
- Genau wie bei Textdatenbanken sind Änderungen mit einem hohen Aufwand verbunden.

Indizierte Dateien

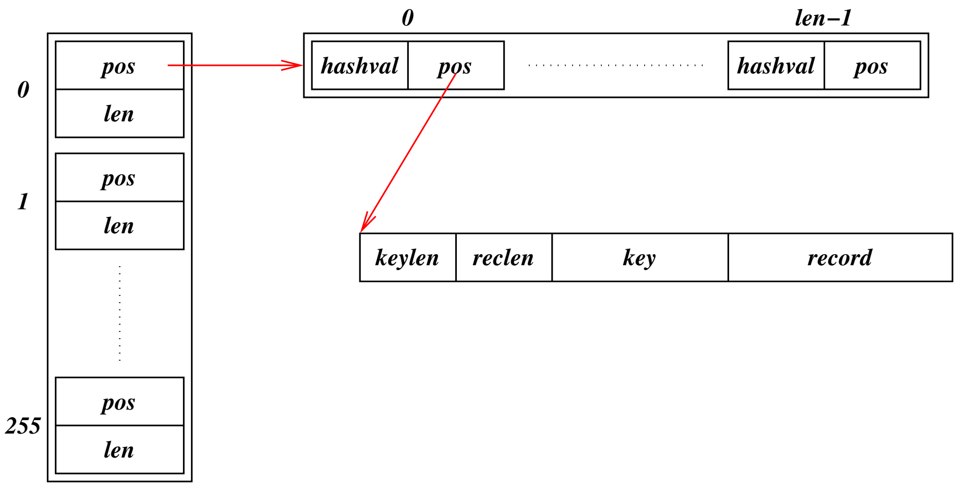
- Vor der Einführung relationaler Datenbanken wurden Daten primär mit Hilfe index-sequentieller Dateien repräsentiert.
- Auch jetzt sind indizierte Dateien noch eine Alternative, wenn nur eine Tabelle benötigt wird.
- Der erste populäre Urahn indizierter Dateien war das ISAM-Format von IBM (*index sequential access method*), das auf einem zweistufigen Index mit Überlaufbereichen basierte.
- Anders als für Datenstrukturen im Hauptspeicher spielt die Blockung eine große Rolle, da es Ziel ist, die Zahl der Plattenzugriffe zu minimieren.
- Heute basieren indizierte Dateien entweder auf B^*-Bäumen oder dem Hash-Verfahren.
- IBM entwickelte als Nachfolger von ISAM das VSAM-Format (*virtual storage access method*), das B^*-Bäume verwendet.
- Beginnend mit DBM-Dateien wurden unter UNIX diverse auf dem Hash-Verfahren basierende Dateiformate populär.

DBM-Dateien

- Ken Thompson entwickelte für UNIX Edition VII ein Hash-Verfahren, das ein Dateipaar verwendete (für Schlüssel und die eigentlichen Daten). Die zugehörige Bibliothek wurde unter dem Namen DBM bekannt.
- Analog zur originalen Implementierung von DBM entstanden später eine Reihe ähnlicher Bibliotheken, die allesamt von Perl unterstützt werden:

`ODBM_File`	Schnittstelle zur Uralt-DBM-Bibliothek, falls sie lokal noch existiert (nicht frei verfügbar).
`NDBM_File`	Im Rahmen von BSD verbreitete Fassung von DBM (nicht frei verfügbar).
`SDBM_File`	Freier Nachbau von ndbm, basiert auf dem dynamischen Hash-Verfahren von P.-A. Larson und wurde von Ozan Yigit 1990 entwickelt. Nachteile: Langsam und auf jeweils 1kb begrenzte Datensätze. Vorteil: Wird mit Perl mitgeliefert.
`GDBM_File`	GNU-Variante einer DBM-Bibliothek von Philip A. Nelson, die ebenfalls 1990 entstanden ist. Im Gegensatz zu SDBM unterstützt sie beliebig große Datensätze. Nachteil: Diese Bibliothek wird nicht zusammen mit Perl geliefert.
`DB_File`	Sleepycat Software's Berkeley DB: Unterstützt alternativ B^*-Bäume, dynamische Hash-Tabellen und durchnumerierte Datensätze fester oder variabler Länge. Das Modul `DB_File` ist in der Perl-Distribution dabei, jedoch nicht die Datenbank-Bibliothek selbst.
`CDB_File`	Constant DB von Dan J. Bernstein, die Hash-Tabellen verwendet und dahingehend optimiert ist, daß sie nicht modifiziert werden kann. Siehe `http://cr.yp.to/cdb.html`

Fallbeispiel: CDB von Bernstein



- Zu Beginn der Datei sind Verweise auf 256 Hash-Tabellen, jeweils mit Byte-Position und der Länge. Der Hash-Wert des Schlüssels modulo 256 wird zur Auswahl der Hash-Tabelle verwendet.
- Jeder Hash-Tabellen-Eintrag ist entweder leer (mit einem Verweis auf die Position 0) oder nennt einen Hash-Wert und die Byte-Position des zugehörigen Records.
- Im Falle von Kollisionen ist ein lineares Hash-Verfahren zu verwenden (*linear probing*).
- Records bestehen aus der Angabe der Schlüssellänge, der Länge des Datensatzes, dem Schlüssel und dem Datensatz.
- Spezifikation: `http://cr.yp.to/cdb/cdb.txt`

Vorteile einer konstanten Datenbank

- Beim Hash-Verfahren läßt sich die Zahl der Kollisionen leichter minimieren, wenn alle Schlüssel und ihre Hash-Werte bekannt sind.
- Unter der Annahme, daß die Verweise auf die 256 Hash-Tabellen, die insgesamt 2048 Bytes belegen, in einen Block passen und im Speicher vorrätig gehalten werden, dann genügen normalerweise 2 Plattenzugriffe, um den gewünschten Record zu finden.
- Lineare Hash-Verfahren sind ungünstig für zu aktualisierende Hash-Tabellen, jedoch ideal für konstante Datenbanken, da sie die Wahrscheinlichkeit erhöhen, daß kein zusätzlicher Plattenzugriff notwendig wird.
- Wenn Änderungen erfolgen sollen, dann muß die vollständige Datenbank neu erzeugt werden. Dies kann parallel erfolgen und stört laufende Lesezugriffe nicht. Sobald mittels *rename(2)* die neue Datenbank die alte ersetzt, erfolgt die Aktualisierung in atomarer Weise.

Anlegen einer CDB-Datenbank

- Für das CDB-Format wurde von Bernstein noch parallel ein Textformat definiert.
- Jeder Datensatz beginnt in dem Textformat mit einem "+", gefolgt von der Schlüssellänge, einem Komma, der Länge des Records, einem Doppelpunkt, dem Schlüssel, der Zeichenfolge "->", dem Inhalt des Datensatzes und einem abschließenden Zeilentrenner. Die Liste der Datensätze wird mit einem weiteren Zeilentrenner abgeschlossen.

+	***keylen***	**,**	***reclen***	**:**	***key***	**->**	***record***	**\n**

- Im folgenden Beispiel konvertiert `makebookcdb.pl` eine einfache Textdatenbank für Bücher in das CDB-Textformat:

```
cordelia$ cat mybooks
0-596-00132-0:Randal L. Schwartz:Learning Perl
0-59600-027-8:Larry Wall:Programming Perl
cordelia$ perl makebookcdb.pl mybooks
+13,32:0-596-00132-0->Randal L. Schwartz:Learning Perl
+13,27:0-59600-027-8->Larry Wall:Programming Perl

cordelia$
```


Anlegen einer CDB-Datenbank

```
cordelia$ perl makebookcdb.pl mybooks |
> cdbmake mybooks.cdb mybooks.tmp
cordelia$ cdbget <mybooks.cdb 0-596-00132-0 && echo
Randal L. Schwartz:Learning Perl
cordelia$ cdbdump <mybooks.cdb
+13,32:0-596-00132-0->Randal L. Schwartz:Learning Perl
+13,27:0-59600-027-8->Larry Wall:Programming Perl

cordelia$
```

- `cdbmake` konvertiert das CDB-Textformat in eine CDB-Datenbank. `cdbmake` schreibt die Datenbank zuerst in eine temporäre Datei (hier: `mybooks.tmp`), sichert diese auf die Platte (mit **fsync**!) und führt dann eine atomare Aktualisierung mittels **rename** durch.
- Das bedeutet, daß die Prozesse, die die Datenbank lesen, die Datenbank nach einer Aktualisierung neu zum Lesen eröffnen müssen. Solange sie dies nicht tun, benutzen sie noch den alten Stand.
- `cdbget` erlaubt die Abfrage einzelner Datensätze.
- `cdbdump` gibt den gesamten Datenbankinhalt im CDB-Textformat aus.

Anlegen einer CDB-Datenbank

makebookcdb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use TextRecordConverter;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};

my $key = 'isbn';
my $inconv = new TextRecordConverter
   fieldnames => [qw(isbn author title)],
   fieldsep => ':', escape => '%';
my $outconv = new TextRecordConverter
   fieldnames => [qw(author title)],
   fieldsep => ':', escape => '%';

while (<>) {
   chomp;
   my $line = $_;
   my $record = $inconv->line_to_record($line);
   my $contents = $outconv->record_to_line($record);
   my $key = $record->{$key};
   print "+", length($key), ",", length($contents), ":",
      $key, "->", $contents, "\n";
}
print "\n";
```


Zugriff auf Indexdateien von Perl

lookupbookcdb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use CDB_File;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname cdbfile key\n";
die $usage unless @ARGV == 2;
my $cdbfile = shift;
my $key = shift;

my %books;
tie %books, 'CDB_File', $cdbfile
   or die "$cmdname: tie failed: $!\n";

print $books{$key}, "\n" if defined $books{$key};
```

- Die Operationen für Indexdateien sind sehr verwandt zu denen für assoziative Arrays innerhalb von Perl. Dies gilt insbesondere, wenn keine Sortierung erwartet wird.
- Entsprechend liegt es nahe, die Abstraktion eines assoziativen Arrays auch für externe Indexdateien zu verwenden. Dies geht über die Funktion `tie` in Perl.

Assoziative Arrays mit einer alternativen Implementierung

Folgende Operationen müssen von einem Modul definiert werden, das als Implementierung eines assoziativen Arrays dienen soll:

`TIEHASH` *classname*, *list*	Dient als Konstruktor und wird implizit von der `tie`-Operation aufgerufen. Genauso wie bei `new` wird als 1. Parameter ein Zeiger auf das Modul übergeben, gefolgt von implementierungsspezifischen weiteren Parametern. Das neu kreierte Objekt ist zurückzuliefern (oder `undef`).
`DESTROY` *this*	Diese Methode wird aufgerufen, wenn das assoziative Array von dem Garbage-Collector aufgeräumt wird.
`FETCH` *this*, *key*	Dies ist die Implementierung eines normalen Lese-Zugriffes, bei dem ein Schlüssel gegeben ist. Der entsprechende Wert (bzw. `undef`) ist dann zurückzuliefern.
`STORE` *this*, *key*, *value*	Ein neuer Wert ist für einen bestimmten Schlüssel einzutragen.

Assoziative Arrays mit einer alternativen Implementierung

`DELETE` *this*, *key*	Analog zu `delete` ist das Element mit dem gegebenen Schlüssel aus dem assoziativen Array zu entfernen.
`CLEAR` *this*	Alle Elemente sind aus dem assoziativen Array zu entfernen. Dies geschieht, wenn z.B. das assoziative Array auf der linken Seite einer Zuweisung steht.
`EXISTS` *this*, *key*	Entspricht dem `exists`-Operator und liefert zurück, ob es den Schlüssel gibt.
`FIRSTKEY` *this*	`FIRSTKEY` und `NEXTKEY` werden vom `each`-Operator verwendet. `FIRSTKEY` hat dabei den ersten Schlüssel zurückzuliefern und …
`NEXTKEY` *this*, *lastkey*	… `NEXTKEY` alle weiteren.

Eine Textdatei als assoziatives Array

tfdbaddbook.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use TextFileDB;
use TextRecordConverter;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname isbn author title\n";
die $usage unless @ARGV == 3;

my $isbn = shift;
my $author = shift;
my $title = shift;

my %books;
tie %books, 'TextFileDB',
      dbfile => 'mybooks',
      converter => TextRecordConverter->new(
         fieldnames => [qw(isbn author title)],
      ),
      keyfield => 'isbn';
$books{$isbn} = { author => $author, title => $title };
```

- Die Implementierung assoziativer Arrays ist natürlich nicht nur für indizierte Dateien denkbar, sondern auch für traditionelle Textdatenbanken, wenngleich dies weniger effizient ist.

Eine Textdatei als assoziatives Array

TextFileDB.pm

```
package TextFileDB;

use strict;
use warnings;
use Carp;
use Fcntl;
use File::Sync;
use IO::File;
use TextRecordConverter;
require Exporter;

our @ISA = qw(Exporter);

sub TIEHASH {
   my ($package, %options) = @_;
   my $required = $package->required;
   my $self = bless {
      changes => 0,
      records => {},
      map {
         $_ =>
         defined $options{$_} &&
               ref($options{$_}) eq $required->{$_}?
            $options{$_}
         :
            croak "missing or invalid parameter $_"
      } keys %{$required},
   }, $package;
   $self->load;
   $self->initialize(%options);
   return $self;
}
```

Eine Textdatei als assoziatives Array

TextFileDB.pm

```
sub load {
   my ($self) = @_;
   my $in = new IO::File $self->{dbfile} or return undef;
   $self->{records} = {};
   while (<$in>) {
      chomp;
      my $record = $self->{converter}->line_to_record($_);
      my $keyval = $record->{$self->{keyfield}};
      $self->{records}->{$keyval} = $record;
   }
   $in->close;
   $self->{changes} = 0;
   return 1;
}

sub initialize {}

sub required {
   return {
      dbfile => ref(''),
      converter => 'TextRecordConverter',
      keyfield => ref(''),
   };
}
```


Eine Textdatei als assoziatives Array

TextFileDB.pm

```
sub save {
   my ($self) = @_;
   return 1 if $self->{changes} == 0;
   my $tmpfile = $self->{dbfile} . ".TMP";
   my $out = new IO::File $tmpfile, O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC
      or croak "Unable to create $tmpfile: $!";
   keys %{$self->{records}}; # reset iterator
   while (my($key, $record) = each(%{$self->{records}})) {
      my $line = $self->{converter}->record_to_line($record);
      print $out $line, "\n"
         or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   }
   $out->flush or croak "Write error on $tmpfile: $!";
   $out->fsync or croak "Fsync failed on $tmpfile: $!";
   $out->close or croak "Close failed on $tmpfile: $!";
   rename($tmpfile, $self->{dbfile}) or
      croak "Rename operation failed for $tmpfile: $!";
   $self->{changes} = 0;
   return 1;
}
```

Eine Textdatei als assoziatives Array

TextFileDB.pm

```
sub DESTROY {
   my ($self) = @_;
   $self->save if $self->{changes};
}

sub FETCH {
   my ($self, $key) = @_;
   my $record = $self->{records}->{$key};
   return undef unless defined $record;
   # return pointer to a copy of the record
   return \%{$record};
}

sub STORE {
   my ($self, $key, $record) = @_;
   croak "Pointer to hash expected"
      unless ref($record) eq "HASH";
   $record->{$self->{keyfield}} = $key;
   $self->{records}->{$key} = \%{$record};
   $self->{changes}++;
}

sub DELETE {
   my ($self, $key) = @_;
   delete $self->{records}->{$key};
   $self->{changes}++;
}
```


Eine Textdatei als assoziatives Array

TextFileDB.pm

```
sub CLEAR {
   my ($self) = @_;
   $self->{records} = {};
   $self->{changes}++;
}

sub EXISTS {
   my ($self, $key) = @_;
   return exists $self->{records}->{$key};
}

sub FIRSTKEY {
   my ($self) = @_;
   # reset the previous iteration, if any
   keys %{$self->{records}};
   # return the first key
   return each %{$self->{records}};
}

sub NEXTKEY {
   my ($self, $lastkey) = @_;
   return each %{$self->{records}};
}
```

Fallbeispiel: Berkeley DB

- Berkeley DB unterstützt indizierte Dateien mit B^*-Bäumen, Hash-Verfahren, automatisch vergebenen Schlüsseln und Queues.
- Zusätzlich erlaubt Berkeley DB parallele Zugriffe, Locks, Transaktionen über mehrere indizierte Dateien hinweg und die Wiederherstellung eines konsistenten Zustands nach einem Ausfall.
- Es gibt zwei Perl-Module für die Berkeley DB:

`BerkeleyDB`	Unterstützt fast alle Operationen der Berkeley DB bis einschließlich Version 4.
`DB_File`	Unterstützt nur die Operationen der Version 1.

- Quelle: `http://www.sleepycat.com/`

Beispiel für eine sortierte indizierte Datei

- Es liegt eine Liste mit Komponenten vor, die den Namen und die Lebenszeit soweit bekannt in folgendem Format spezifiziert:

```
Juan Crisostomo Jacobo Antonio de Arriaga 27.1.1806-17.1.1826
Claude-Benigne Balbastre 1727-1799
Malcolm Arnold 21.10.1921-
Nicola Matteis ?-1714
```

- Als Schlüssel sollen die Jahreszahlen der Geburts- und Sterbedaten verwendet werden. Dabei ist natürlich nicht die Eindeutigkeit gewährleistet.
- Anschließend ist es auf effiziente Weise möglich, ab einem gegebenen Jahr nach Einträgen zu suchen, wenn ein als B^*-Baum organisierter Index verwendet wird.

Beispiel für eine sortierte indizierte Datei

gencomposerdb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use BerkeleyDB;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname dbfile composers\n";
die $usage unless @ARGV == 2;
my $dbfile = shift;

unlink($dbfile) if -f $dbfile;

my $db = new BerkeleyDB::Btree
      -Filename => $dbfile,
      -Flags => DB_CREATE,
      -Compare => sub { $_[0] <=> $_[1] },
      -Property => DB_DUP|DB_DUPSORT;
```

- Mit `DB_DUP|DB_DUPSORT` wird dafür gesorgt, daß Duplikate bei den Schlüsseln zugelassen werden.
- Mit `Compare` läßt sich das Sortierkriterium spezifizieren, das später nicht mehr verändert werden darf.

Beispiel für eine sortierte indizierte Datei

gencomposerdb.pl

```
while (<>) {
   chomp;

   my ($name, $birth, $death) = m{
         (.*?)            # name of the composer ---> $name
         \s+
         (?:
            (?:\d+\.){2}   # day and month of birth (ignored)
         )?
         (\d{4}|\?)        # year of birth ---> $birth
         -                 # delimiter between birth and dth
         (?:
            (?:\d+\.){2}   # day and month of death (ignored)
         )?
         (\d{4}|\?)?       # year of death ---> $death
         $
      }x;

   # complain if it didn't match

   unless (defined $birth) {
      print STDERR "$cmdname: invalid entry: $_\n";
      next;
   }

   $db->db_put($birth, "Born: $name")
      if defined $birth && $birth ne "?";
   $db->db_put($death, "Died: $name")
      if defined $death && $death ne "?";
}
```

Beispiel für eine sortierte indizierte Datei

tencomposers.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use BerkeleyDB;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname dbfile year\n";
die $usage unless @ARGV == 2;
my $dbfile = shift;
my $year = shift;

my $db = new BerkeleyDB::Btree
      -Filename => $dbfile,
      -Compare => sub { $_[0] <=> $_[1] },
      -Property => DB_DUP or
   die "$cmdname: unable to open $dbfile: $!\n";

my $cursor = $db->db_cursor;
my ($key, $value) = ($year, "");

my $status = $cursor->c_get($key, $value, DB_SET_RANGE);
my $count = 0;
while ($status == 0 && $count < 10) {
   print "$key: $value\n"; ++$count;
   $status = $cursor->c_get($key, $value, DB_NEXT);
}
```

- Dieses Skript gibt bis zu 10 Einträge ab einem gegebenen Jahr aus.

Relationale Datenbanken und SQL

- Relationale Datenbanken bieten die Möglichkeit,
  - viele Tabellen in einer Datenbank unterzubringen,
  - Konsistenzbedingungen zu gewährleisten,
  - parallel lesend und schreibend darauf zuzugreifen,
  - über das Netzwerk auf den Datenbank-Server zu kontaktieren und
  - all dies in Transaktionen einzubetten.
- Im Vergleich zu einfacheren Repräsentierungen
  - benötigen relationale Datenbanken mehr Ressourcen (Plattenplatz, Hauptspeicher) und
  - werfen gerade bei interaktiven Anwendungen Performance-Probleme auf.
- Ein weiterer Vorteil relationaler Datenbanken liegt heute in der Standardisierung der Schnittstellen: SQL und ODBC (Open Database Connectivity).

Kurzeinführung in SQL

- Nach der Einführung des relationalen Datenbankmodells von Codd (1969 und 1970), gab es zunächst nur wenige experimente Implementierungen, die insbesondere keine umfassende Abfragesprache offerierten.

- Von großer Bedeutung für alle nachfolgenden relationalen Datenbanken und insbesondere SQL war das Forschungssystem System/R, das in der Zeit von 1974 bis 1979 beim IBM San Jose Research Laboratory entwickelt worden ist.

- SQL wurde später von kommerziellen Anbietern relationaler Datenbanken von System/R übernommen und danach auch zu einem formalen Standard erhoben:

1986	SQL	ISO/TC 97/SC 21/WG 3 N 117 und ANSI X3.135-1986
1992	SQL-2	ISO/IEC 9075:1992 und ANSI X3.135-1992
1999	SQL-99	INCITS/ISO/IEC 9075-2-1999

- Ursprünglich war SQL nur eine reine Abfrage- und Datenmanipulationssprache. Es fehlten Kontrollstrukturen und Prozeduren, die normalerweise bei Programmiersprachen erwartet werden (*computational completeness*). Dies hat sich mit SQL-99 geändert.

- Normalerweise wird SQL entweder interaktiv verwendet (über einen sogenannten Monitor, eine Art Shell für eine Datenbank) oder innerhalb von anderen Programmiersprachen (Embedded SQL).

Frei zugängliche SQL-Implementierungen

- Neben den bekannten kommerziellen Datenbanken, die SQL unterstützen (z.B. Oracle, Informix, DB2 und Sybase), gibt es auch zwei SQL-Implementierungen, die frei über das Netz mitsamt allen Quellen bezogen werden können: Msql (oder Mini SQL) und MySQL.

- Msql wird von Hughes Technologies in Australien entwickelt und war (meines Wissens) die erste SQL-Implementierung, die ihren Schwerpunkt auf die Schnelligkeit für kleinere und mittlere Anwendungen im Web-Bereich setzte.
  Mehr dazu unter `http://www.Hughes.com.au/`.

- MySQL gehört MySQL AB in Schweden (früher TCX Data-Konsulter AB) und ist als Alternative mit sehr ähnlichen Zielen zu Msql zu sehen.
  Mehr dazu unter `http://www.mysql.com/`.

- Msql und MySQL unterstützen insbesondere Skriptprogrammiersprachen einschließlich Perl.

- Beide kommen mit sehr liberalen Lizenzen (bei Msql ist es für Universitäten, gemeinnützigen Organisationen und privates Studium frei und MySQL unterliegt der GNU General Public License.

- Beide realisieren SQL nur partiell. So werden insbesondere Transaktionen und Konsistenzbedingungen nicht unterstützt. Das hat sich allerdings in den neueren Versionen teilweise geändert.

MySQL von MySQL AB

- Alle folgenden Beispiele für DBI und SQL basieren auf MySQL.
- Zum Herunterziehen der aktuellen Version (für Ihr Linux-System zu Hause) empfiehlt sich der Mirror der GWDG: `ftp://ftp.gwdg.de/pub/misc/mysql/Downloads/MySQL-4.0/`
- Für eine Reihe von Systemen (einschließlich Linux) gibt es fertig übersetzte Fassungen.
- Im Rahmen dieser Vorlesung wird die aktuelle Version 4.0.9 eingesetzt. Sie ist auch auf der Theseus installiert (unter `/usr/local/mysql`).
- Normalerweise favorisiert MySQL einen Standardport und einen Datenbank-Server pro Maschine (dürfte auch der typische Einsatz sein). Es ist jedoch auch möglich, daß jede Gruppe einen eigenen MySQL-Server startet und ihn für alle Gruppenmitglieder öffnet.
- Hinweise dazu finden Sie auf den Webseiten zur Vorlesung.

SQL vs MySQL

- MySQL orientiert sich an dem Standard von SQL-2 – bietet jedoch keine vollständige Implementierung.
- Nicht unterstützt werden verschachtelte `select`-Anweisungen, Trigger und virtuelle Tabellen (Views). Transaktionen gibt es für einige Tabellenrepräsentierungen ab der Version 4. Fremdschlüssel gibt es seit 3.23.44 für eine der Tabellenrepräsentierungen.
- Bei einigen nicht unterstützten Konstrukten wird zwar die Syntax der entsprechenden Anweisungen akzeptiert, sie aber im weiteren ignoriert.
- Ferner unterstützt MySQL nicht das Rechtevergabesystem von SQL-2, sondern nur ein eigenes, das im Prinzip sehr viel eleganter ist, da es auf Tabellen und damit normalen Datenbankmechanismen beruht.
- Einige dieser Einschränkungen haben den Vorteil, daß MySQL deutlich schneller ist als traditionelle Datenbanken. Wirklich schmerzlich ist das Fehlen der verschachtelten `select`-Anweisungen – allerdings versprechen die Entwickler, diese Lücke sehr bald zu schließen. Allerdings steht dieses Versprechen schon seit mehreren Jahren ganz oben auf der Prioritätenliste...

SQL Übersicht (Auswahl)

Tabellenorientierte Anweisungen	
`alter table`	Änderungen der Definition einer Tabelle
`create table`	Erzeugen einer Tabelle
`show columns`	Anzeige der Definition einer Tabelle
`drop table`	Entfernen einer Tabelle mitsamt Inhalt
Tupelorientierte Anweisungen	
`delete`	Löschen von Tupeln
`insert`	Neueinfügen von Tupeln
`select`	Auswahl und Anzeige von Tupeln
`update`	Ändern von Tupeln
`replace`	Ersetzung von Tupeln
Sichten	
`create view`	Definition einer virtuellen Tabelle
`drop view`	Entfernen einer virtuellen Tabelle
Zugriffsbeschleunigung	
`create index`	Anlegen weiterer Indizes
`drop index`	Indizes entfernen
Vergabe von Zugriffsrechten	
`grant`	Zugriffsrechte vergeben
`revoke`	Zugriffsrechte zurücknehmen
Synchronisation	
`lock tables`	Eine Menge von Tabellen exklusiv reservieren
`unlock tables`	Freigabe gesperrter Tabellen
Transaktionen	
`start transaction`	Beginn einer Transaktion
`commit transaction`	Abschluß einer Transaktion
`rollback transaction`	Abbruch der Transaktion
`savepoint`	Definition von Zwischenpunkten, zu denen eine Rückkehr mit `rollback` möglich ist

Datentypen bei SQL (Auswahl)

`integer`	ganze Zahlen (32 Bit)
`float`	Gleitkommazahlen
`char(`n`)`	Zeichenkette mit der festen Länge $n \leq 255$
`varchar(`n`)`	Zeichenkette mit der maximalen Länge $n \leq 255$
`date`	Datum in dem Format `'YYYY-MM-DD'`
`time`	Uhrzeit im Format `'HH:MM:SS'`
`datetime`	Zeitstempel im Format `'YYYY-MM-DD HH:MM:SS'`
`text`	Text mit der maximalen Länge von 65535 Zeichen
`blob`	Binäre Zeichenfolge mit der maximalen Länge von 65535 Zeichen
`enum('value', ...)`	Zeichenkette, die nur einer der angegebenen Werte (einschließlich `null`) annehmen kann.
`set('value', ...)`	Menge aus den angegebenen Werten.

Repräsentierung von Daten

- Relationale Datenbanken bevorzugen aus Performance-Gründen Tabellen fester Länge. Deswegen ergibt sich mit Ausnahme von `text` und `blob` immer eine festgelegte Größe eines entsprechenden Datenfeldes.

- Typischerweise werden bei `text` und `blob` die eigentlichen Daten separat abgelegt. Bei dem entsprechenden Datenfeld verbleibt dann nur noch ein Zeiger.

- Aus diesem Grund unterliegen auch `text` und `blob` der Beschränkung, daß sie nicht indizierbar sind und insbesondere nicht Teil eines Primärschlüssels sein können.

- Nach außen hin ist normalerweise immer nur eine textuelle Repräsentierung der einzelnen Datentypen sichtbar. Dies kommt auch insbesondere Perl entgegen.

- Sofern nicht explizit ausgeschlossen, können alle Datenfelder den Wert `NULL` besitzen (entspricht dem `undef` in Perl).

Syntax von SQL

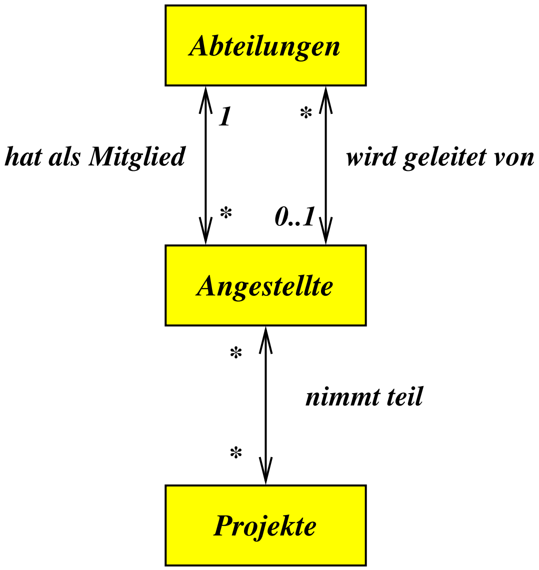
- Alle Schlüsselwörter von SQL werden unabhängig von der Verwendung von Klein- oder Großbuchstaben erkannt, d.h. sowohl `CREATE TABLE` als auch `create table` sind zulässig.

- Bei selbst definierten Namen für Tabellen und Spalten ist die Schreibweise jedoch signifikant.

- MySQL unterstützt mehrzeilige Kommentare analog zu C (`/* ... */`) und zusätzlich analog zu Perl `#` (bis zum Zeilenende). Die im Standard vorgegebene Variante analog zu Ada (beginnend mit `--` bis zum Ende der Zeile) wird seit 3.23.3 nur unterstützt, falls ein Leerzeichen folgt, um Fallen bei der Generierung von SQL-Anweisungen zu vermeiden.

- Zeichenketten können entweder in `'...'` oder `"..."` eingeschlossen werden. Innerhalb von `"..."` kann ein `"` durch `""` dargestellt werden (analog zu Pascal). Im übrigen werden einige `\`-Sequenzen akzeptiert einschließlich `\n`, `\t`, `\'`, `\"` und `\\`.

UML-Diagramm für die folgenden Beispiele



- Bei der Abbildung dieses UML-Klassendiagramms in eine relationale Datenbank wird (zur Einhaltung der dritten Normalform) eine weitere Tabelle benötigt, um die "$*$-$*$"-Beziehung zwischen Projekten und Angestellten zu unterstützen.

- Die Tabellen haben dann folgende Attribute (Primärschlüssel sind unterstrichen und die Fremdschlüssel fett gesetzt):

Angestellte	persid, name, **abtid**
Abteilungen	abtid, name, **chef**
Projekte	projektid, name
ProjektTeilnehmer	projektid, persid

Das Anlegen von Tabellen

```
CREATE [TEMPORARY] TABLE [IF NOT EXISTS] tbl_name
  [(create_definition,...)] [table_options]
  [select_statement]

create_definition:
  column_name type [NOT NULL | NULL] [DEFAULT default_value]
                   [AUTO_INCREMENT] [ PRIMARY KEY ]
                   [reference_definition]
  or    PRIMARY KEY ( index_column_name,... )
  or    KEY [index_name] KEY( index_column_name,...)
  or    INDEX [index_name] ( index_column_name,...)
  or    UNIQUE [index_name] ( index_column_name,...)
  or    FOREIGN KEY index_name ( index_column_name,...)
           [reference_definition]
  or    [CONSTRAINT symbol] FOREIGN KEY [index_name]
           (index_col_name,...) [reference_definition]
  or    CHECK (expr)

index_column_name:
        column_name [ (length) ]

reference_definition:
        REFERENCES table_name [( index_column_name,...)]
                   [ MATCH FULL | MATCH PARTIAL]
                   [ ON DELETE reference_option]
                   [ ON UPDATE reference_option]

reference_option:
        RESTRICT | CASCADE | SET NULL | NO ACTION |
        SET DEFAULT
```

- Diese und die folgenden Syntax-Angaben wurden der MySQL-Dokumentation entnommen. Teilweise wurden sie gekürzt.

Das Anlegen von Tabellen

```
CREATE TABLE Angestellte (
   persid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (persid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Abteilungen
);

CREATE TABLE Abteilungen (
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (abtid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   chef VARCHAR(32) REFERENCES Angestellte
);

CREATE TABLE Projekte (
   projektid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY,
      INDEX (projektid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL
);

CREATE TABLE ProjektTeilnehmer (
   projektid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Projekte,
      INDEX (projektid),
   persid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Angestellte,
      INDEX (persid),
   PRIMARY KEY (projektid, persid)
);
```

- Wenn der Primärschlüssel nur aus einem einzigen Attribut besteht, kann `PRIMARY KEY` direkt bei der Spezifikation des Attributs angegeben werden. Bei nicht-elementaren Primärschlüsseln ist eine extra Definition notwendig, die die beteiligten Attribute aufzählt (siehe `ProjektTeilnehmer`).

Das Anlegen von Tabellen

```
CREATE TABLE Angestellte (
   persid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (persid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Abteilungen
);
```

- Bei Primärschlüsseln und Fremdschlüsseln mit einem Komplexitätsgrad von 1 ist darauf zu achten, daß `NOT NULL` angegeben wird.

- MySQL (und auch andere dem SQL-2 Standard entsprechende Datenbanken) achten darauf, daß die Primärschlüssel auch wirklich eindeutig bleiben. Wenn diese Eigenschaft auch für andere Attribute gewünscht wird, dann kann dies mit `UNIQUE` angegeben werden.

- Die Angaben von Beziehungen (`REFERENCES`), die zur Erhaltung und Überprüfung der Konsistenz dienen, werden von MySQL ignoriert. Dennoch sind sie alleine schon aus Gründen der Dokumentation sinnvoll.

- Indizes werden von MySQL unterstützt, wenn sie bei `CREATE TABLE` gewünscht werden oder sie später bei `ALTER TABLE` hinzugefügt (oder auch entfernt werden). Im Gegensatz dazu wird die Anweisung `CREATE INDEX` ignoriert.

Repräsentierung von Tabellen

- MySQL unterstützt eine Reihe unterschiedlicher Repräsentierungen bei den Tabellen:

`BDB`	Tabellen auf Basis der Berkeley DB, unterstützt Transaktionen
`HEAP`	Nur im Hauptspeicher
`ISAM`	Alte Tabellenrepräsentierung
`InnoDB`	Unterstützt Transaktionen
`MRG_MyISAM`	Kombination von `MyISAM`-Tabellen
`MyISAM`	Voreinstellung, keine Transaktionen

Das Einfügen von Datensätzen

```
          INSERT INTO table [ (column_name,...) ]
             VALUES (expression,...)
or        INSERT INTO table [ (column_name,...) ] SELECT ...
```

- Mit der ersten Variante wird ein Datensatz eingefügt, während mit der zweiten viele Datensätze auf einmal generiert werden können.

- Normalerweise werden vollständige Tupel angegeben, aber es ist auch möglich, eine Teilmenge zu spezifizieren – der Rest wird dann (soweit zulässig!) auf `NULL` gesetzt.

- Die Reihenfolge der Werte entspricht genau der Reihenfolge der Attributdefinitionen der `CREATE TABLE`-Anweisung.

```
insert into Angestellte values
   ('1', 'Franz Schweiggert', 'SAI');
```

Die Selektion

```
SELECT [STRAIGHT_JOIN] [DISTINCT | ALL] select_expression,...
   [INTO OUTFILE 'file_name' ...]
   [ FROM table_references [WHERE where_definition]
      [GROUP BY column,...]
      [HAVING where_definition]
      [ ORDER BY column [ASC | DESC] ,..]
      [LIMIT [offset,] rows] [PROCEDURE procedure_name]
   ]
```

- `select_expression` besteht im einfachen Falle aus einer durch Kommata getrennten Aufzählung von Feldnamen oder aus `*`, falls alle Attribute gewünscht werden.
- Werden bei `FROM` mehrere Tabellen angegeben, so können Feldnamen mit dem Namen der Tabelle qualifiziert werden, um Eindeutigkeit herzustellen.
- Statt Feldnamen sind auch Konstanten oder auch kompliziertere Ausdrücke einschließlich eine Reihe interessanter Funktionen möglich.
- `where_definition` ist ein beliebiger Ausdruck mit einem Bool'schen Endresultat. Alle Datensätze bzw. alle Kombinationen von Datensätzen (wenn mehrere Tabellen angegeben sind), für die diese Bedingung zutrifft, werden selektiert und in der von `select_expression` spezifizierten Form zurückgeliefert.

Die Selektion

```
mysql> select * from Angestellte;
+--------+-------------------+-------+
| persid | name              | abtid |
+--------+-------------------+-------+
| 1      | Franz Schweiggert | SAI   |
| 2      | Andreas Borchert  | SAI   |
| 3      | Ingo Melzer       | SAI   |
+--------+-------------------+-------+
3 rows in set (0.01 sec)
```

- `*` ist eine Kurzform für alle Feldnamen der Tabelle `Angestellte`.

```
mysql> select name, abtid from Angestellte;
+-------------------+-------+
| name              | abtid |
+-------------------+-------+
| Franz Schweiggert | SAI   |
| Andreas Borchert  | SAI   |
| Ingo Melzer       | SAI   |
+-------------------+-------+
3 rows in set (0.01 sec)
```

- Natürlich können auch weniger Felder gewünscht werden und die Reihenfolge beliebig bestimmt werden.

Die Selektion

```
mysql> select * from Angestellte where persid >= 2;
+--------+------------------+-------+
| persid | name             | abtid |
+--------+------------------+-------+
| 2      | Andreas Borchert | SAI   |
| 3      | Ingo Melzer      | SAI   |
+--------+------------------+-------+
2 rows in set (0.02 sec)
```

- Bei `where` können beliebige Bedingungen zur Selektion angegeben werden.

```
mysql> select Angestellte.name, Angestellte.abtid
    ->    from Angestellte, Abteilungen
    ->    where Angestellte.persid = Abteilungen.chef;
+-------------------+----------+
| name              | abtid    |
+-------------------+----------+
| Franz Schweiggert | SAI      |
| Frank Stehling    | WiWi     |
| Eduard Wirsing    | Mathe II |
+-------------------+----------+
3 rows in set (0.02 sec)
```

- Bei einer Verknüpfung von zwei (oder mehr Tabellen) wird das kartesische Produkt gebildet und dann entsprechend der `WHERE`-Bedingung selektiert. Dank der Optimierungstechniken relationaler Datenbanken ist dies weniger teuer als es sich anhört. Trotzdem ist es natürlich wichtig, daß für Fremdschlüsselzugriffe entsprechende Indizes vorhanden sind.

Die Selektion

```
mysql> select Angestellte.name, Projekte.name
    ->    from Angestellte, Projekte, ProjektTeilnehmer
    ->    where
    ->    Angestellte.persid = ProjektTeilnehmer.persid and
    ->    ProjektTeilnehmer.projektid = Projekte.projektid;
+-------------------+-----------------------------------+
| name              | name                              |
+-------------------+-----------------------------------+
| Franz Schweiggert | Implementierung kleiner Datenbanken |
| Andreas Borchert  | Implementierung kleiner Datenbanken |
| Ingo Melzer       | Implementierung kleiner Datenbanken |
| Andreas Borchert  | Ulmer Oberon-System               |
+-------------------+-----------------------------------+
4 rows in set (0.04 sec)
```

- Diese Abfrage liefert alle Projekte mitsamt ihren Projektteilnehmern.

- Wegen der zwischenliegenden Tabelle `ProjektTeilnehmer` (zur Realisierung der mc-mc-Beziehung), ist dafür eine zweifache Tabellenverknüpfung (Join) notwendig.

Das Ändern von Datensätzen

```
UPDATE table
   SET column=expression,...
   [WHERE where_definition]
```

- Mit `UPDATE` ist es möglich, einzelne Attribute der mit `WHERE` selektierten Tupel zu modifizieren.
- Wenn `WHERE` weggelassen wird, bezieht sich die Operation auf alle Tupel der angegebenen Tabelle.
- Auf der rechten Seite einer Zuweisung bei `SET` kann der Name eines Attributs verwendet werden, der dann für den jeweils alten Wert steht.
- Primärschlüssel sollten nicht auf diese Weise aktualisiert werden, obwohl MySQL (und wohl auch andere relationale Datenbanken) dies akzeptieren. Besser wäre in so einem Fall die `REPLACE`-Anweisung...

```
mysql> update Angestellte
    ->    set abtid = 'WiWi'
    ->    where persid = '3';
Query OK, 1 row affected (0.10 sec)
```


Das Ersetzen von Datensätzen

```
        REPLACE INTO table [ (column_name,...) ]
           VALUES (expression,...)
or      REPLACE INTO table [ (column_name,...) ]
           SELECT ...
```

- `REPLACE` arbeitet analog zu `INSERT`, abgesehen davon, daß zuvor Datensätze mit den gleichen primären Schlüsseln (oder mit `UNIQUE` gekennzeichneten Feldern!) gelöscht werden.

```
mysql> replace into Angestellte values
     >     ('2', 'Kurt Nachfolger', 'SAI');
Query OK, 2 rows affected (0.10 sec)
```

Das Löschen von Datensätzen

```
DELETE FROM table_name
       [WHERE where_definition]
or

DELETE table_name [,table_name ...]
       FROM table-references
       [WHERE where_definition]
or

DELETE FROM table_name, [table_name ...]
       USING table-references
       [WHERE where_definition]
```

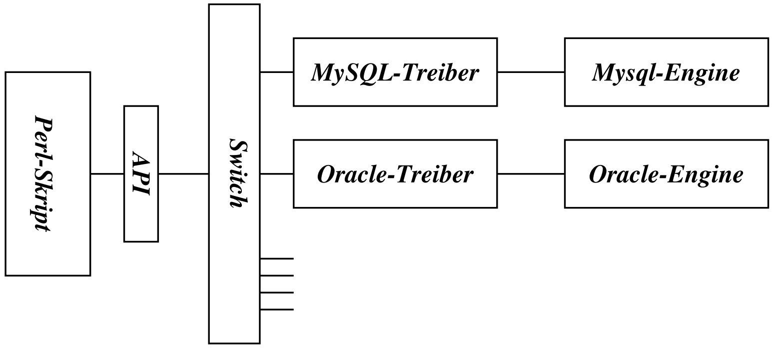
- `DELETE` kann von einer oder auch mehreren Tabellen Datensätze löschen, die gegebene Kriterien erfüllen. Wenn `WHERE` fehlt, werden einfach sämtliche Datensätze gelöscht.

```
mysql> delete from Abteilungen where abtid = 'SAI';
Query OK, 1 row affected (0.37 sec)

mysql>
```


Perl/DBI

- DBI bietet eine elegante Abstraktion für den Zugriff auf Datenbanken, die SQL unterstützen.
- Dennoch besitzt DBI selbst keine Abhängigkeiten von der Abfragesprache. Es wäre somit auch theoretisch möglich, Alternativen zu SQL zu wählen – aber dies wäre eine Verletzung der Abstraktionsgrenze.
- Folgendes gehört zum Umfang von DBI:
  - Operationen zum Aufbau und Abbau einer Datenbankverbindung. Prinzipiell können mehrere Datenbanken gleichzeitig aktiv benutzt werden.
  - Operationen zum Transaktions-Management, wobei in der Voreinstellung (`AutoCommit`) jede erfolgreiche Operation sofort persistent wird.
  - Operationen zur Vorbereitung und Ausführung von SQL-Anweisungen und Mechanismen zum Transfer von Daten von und zur Datenbank.
- Alle folgenden Erläuterungen und Beispiele basieren auf der im Augenblick aktuellen Version 1.32.
- Detaillierte Dokumentation rund um DBI ist unter `http://www.mathematik.uni-ulm.de/help/perl5/dbi.html` zu finden.

Modulstruktur von DBI



- Die Abstraktion von DBI wird mit `use DBI` importiert. Normalerweise müssen keine weiteren Module für die Benutzung einer konkreten Datenbank importiert werden. Dies erledigt DBI selbst.
- Unterhalb von DBI gibt es einige zu DBI interne Module.
- Alle Implementierungen von DBI zur Unterstützung konkreter Datenbanken befinden sich unter DBD (*database driver*), zum Beispiel: DBD::mysql.
- Das Diagramm wurde (in leicht modifizierter Form) dem DBI-Manual entnommen.

Aufbau einer Verbindung

```
use DBI;

$db = DBI->connect($data_source, $username, $auth);
```

- `DBI->connect` erhält drei Parameter (ggf. auch mehr, siehe Dokumentation), die die gewünschte Datenbank identifizieren und den Benutzernamen mitsamt Passwort für diese Datenbank angeben.
- Die Zeichenkette, die die Datenbank identifiziert,
  - beginnt mit einem festgelegten Format, aus dem sich der Name des Moduls der konkreten Datenbank-Implementierung ableiten läßt, und besteht aus
  - weiteren Text, der datenbank-spezifisch beschreibt, wie sie zu erreichen ist.
- Beispiel: `"dbi:mysql:project:theseus:17113"`
- DBI interessiert sich für den vorderen Teil (bis zum zweiten Doppelpunkt, im Beispiel `"dbi:mysql:"`) und sucht nach einem entsprechenden Modul unter `DBD`. Der verbliebene Teil (im Beispiel `"project:theseus:17113"`) wird dann mitsamt den weiteren Parametern an den Konstruktor der Implementierung weitergeleitet.
- Wenn es mit dem Eröffnen der Verbindung zur Datenbank nicht klappt, dann ist `$db` undefiniert und in `$DBI::errstr` findet sich die Fehlermeldung.

Die Ausführung von SQL-Anweisungen

```
my $st = $db->prepare(q{
   CREATE TABLE Angestellte (
      persid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY,
         INDEX (persid),
      name VARCHAR(255) NOT NULL,
      abtid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Abteilungen
   )
});
$st->execute(); $st->finish();
```

- Mit `prepare` kann eine SQL-Anweisung zur Ausführung vorbereitet werden. Typischerweise wird sie dabei bereits syntaktisch analysiert und in eine interne Form überführt, die später mit dem dafür zurückgelieferten Objekt referenziert wird (*statement handle*).

- `q{...}` ist äquivalent zu `'...'` – hat aber den Vorteil, daß es sich über mehrere Zeilen erstrecken kann.

- Mit der Methode `execute` kann dann eine SQL-Anweisung zur Ausführung gebracht werden. Interessant ist hier, daß `execute` beliebig oft hintereinander angewandt werden darf, ohne daß bei den weiteren Ausführungen die SQL-Anweisung frisch parsiert werden muß.

- Mit `finish` werden alle Ressourcen freigegeben, die mit der internen Repräsentierung dieser Anweisung zusammenhingen. Wenn dies versäumt wird, kann es zu Warnungen kommen.

- Wenn eine Anweisung nur ein einziges Mal ausgeführt werden soll, geht es auch kürzer: `$db->do(q{...});`

Platzhalter in SQL-Anweisungen

```
my $st = $db->prepare(q{
   INSERT INTO Angestellte VALUES (?, ?, ?)
});
$st->execute(split /:/) while (<>);
$st->finish();
```

- Innerhalb dem Text einer SQL-Anweisung dürfen an Stellen, bei denen die Angabe einer Konstante zulässig wäre, Fragezeichen als Platzhalter eingefügt werden.

- Bei der Ausführung dieser Anweisung können dann die konkreten Werte in Form einer Liste übermittelt werden.

- Diese Methode hat zwei große Vorteile gegenüber der Triviallösung, bei der jedesmal neu eine Anweisung in Perl zusammengebastelt wird:

  - Sie ist deutlich schneller, da die SQL-Anweisung nur ein einziges Mal syntaktisch analysiert werden muß.

  - Es entfällt die nicht ganz triviale Aufgabe, die zu übergebenden Zeichenketten korrekt in Anführungszeichen zu setzen.

- Per Voreinstellung erfolgt die Übergabe von Platzhaltern mit dem Typ `VARCHAR`. Dies ist auch dann kein Problem, wenn für die entsprechenden Felder andere Datentypen (z.B. `INTEGER`) erwartet werden, da SQL genügend tolerant ist. Der Datentyp kann jedoch auch (siehe Dokumentation) explizit spezifiziert werden.

Fehlerbehandlung bei DBI

```
$db->{RaiseError} = 1;

# later ...

eval {
   $db->do($statement);
};
if ($@) {
   print "Fatal error: ", $db->errstr, "\n";
} else {
   print "OK\n";
}
```

- Bei der Voreinstellung muß bei jeder DBI-Operation überprüft werden, ob sie geklappt hat. Das ist mitunter umständlich.
- Mit dem Setzen der Variablen `RaiseError` (beim Datenbank-Objekt) auf `1` ist jeder Fehler fatal, d.h. das Programm würde normalerweise abgebrochen werden.
- Dies kann vermieden werden, indem die “gefährlichen” Anweisungen in `eval` eingebettet werden.
- Wenn nach `eval` in `$@` eine Fehlermeldung vorliegt, dann ist etwas schiefgegangen.
- Mit `$db->errstr` besteht die Möglichkeit, auf die Fehlermeldung von DBI zuzugreifen.

Werkzeug zum Füllen von Datenbanken

filldb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use DBI;
use Getopt::Std;
use Mysql::Admin qw(dbi_connect);

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname [-c] [-d delim] " .
            "dbdir table #cols {file}\n";
my %opts = (); getopts('cd:', \%opts);
my $delim = '\s+';
$delim = $opts{d} if defined($opts{d});
my $strip_comments = defined($opts{c});
die $usage unless @ARGV >= 3;
my $dbdir = shift;
my $table = shift;
my $cols = shift;

my $db = DBI->connect(dbi_connect($dbdir), "", "");
die "$cmdname: unable to connect to db: $DBI::errstr\n"
   unless defined $db;
$db->{RaiseError} = 1;
```

- Mit `Mysql::Admin` können sehr bequem MySQL-Datenbanken eröffnet werden, die nach unserem Schema kreiert worden sind.

Werkzeug zum Füllen von Datenbanken

filldb.pl

```
my $tuple = join(", ", ("?") x $cols);
my $st = $db->prepare("insert into $table values ($tuple)");
while(<>) {
   chomp;
   if ($strip_comments) {
      next if /^\s*#/;
      next if /^\s*$/;
   }
   my @tuple = split /$delim/, $_, $cols;
   $st->execute(@tuple);
}

$db->disconnect;
```

- Mit dem `x`-Operator können Listen oder Zeichenketten vervielfältigt werden. `$tuple` enthält somit genau soviel Platzhalter, wie über `$cols` angegeben worden sind.

Das Abholen von Datensätzen

catdb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use Getopt::Std;
use DBI;
use Mysql::Admin qw(dbi_connect);

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname [-d delim] dbdir table\n";
my %opts = (); getopts('d:', \%opts);
my $delim = ' ';
$delim = $opts{d} if defined($opts{d});
die $usage unless @ARGV == 2;
my $dbdir = shift;
my $table = shift;

my $db = DBI->connect(dbi_connect($dbdir), "", "");
die "$cmdname: unable to connect to db: $DBI::errstr\n"
   unless defined $db;
$db->{RaiseError} = 1;

my $st = $db->prepare("select * from $table");
$st->execute();
my $record;
while (defined($record = $st->fetch())) {
   print join($delim, @{$record}), "\n";
}
$st->finish;

$db->disconnect;
```

Das Abholen von Datensätzen

catdb.pl

```
my $st = $db->prepare("select * from $table");
$st->execute();
my $record;
while (defined($record = $st->fetch())) {
   print join($delim, @{$record}), "\n";
}
$st->finish;
```

- Mit `fetch` kann jeweils ein Datensatz aus einem Resultat einer `SELECT`-Anweisung entgegengenommen werden. `fetch` liefert dabei einen Zeiger auf eine Liste zurück.
- Zu beachten ist, daß die Variablen der zurückgelieferten Liste bei jedem `fetch` aufs Neue überschrieben werden. Wenn der Datensatz länger benötigt wird, muß er in andere Datenstrukturen kopiert werden.
- Alternativ kann auch eine Liste mit `fetchrow_array` oder ein assoziatives Array mit benannten Feldern durch `fetchrow_hashref` zurückgeliefert werden. Dann entfällt das Problem mit dem Überschreiben.
- Ferner ist es möglich, die einzelnen Felder zurückgelieferter Tupel mit eigenen Variablen zu verbinden, die dann automatisch bei jeder `fetch`-Operation gesetzt werden. Details dazu in der Dokumentation von DBI.

Transaktionen

```
$db->{RaiseError} = 1;
$db->{AutoCommit} = 0;

$db->commit;
eval {
   # diverse Datenbank-Operationen
};
if ($@) {
   $db->rollback;
} else {
   $db->commit;
}
```

- In der Voreinstellung (`AutoCommit` ist eingeschaltet), wird jede SQL-Anweisung in einer separaten Transaktion abgehandelt, d.h. nach jeder erfolgreichen Anweisung wird der neue Stand permanent.
- Wenn der Umfang einer Transaktion größer sein soll und dies die Datenbank unterstützt (ist z.B. bei MySQL oder msql nicht der Fall), dann muß `AutoCommit` auf `0` gesetzt werden.
- Unabhängig von der Vorstellung der eigentlichen Datenbank ist aus der Sicht eines Benutzers der DBI-Schnittstelle *immer* eine Transaktion aktiv. Durch die `commit`-Operation wird somit die alte Transaktion beendet und gleichzeitig eine neue begonnen.
- Mit `rollback` kann eine Transaktion abgebrochen werden.
- Zwischenpunkte für `rollback` innerhalb einer Transaktion werden von DBI nicht unterstützt.

Transaktionen bei MySQL

```
CREATE TABLE Abteilungen (
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (abtid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   chef VARCHAR(32) REFERENCES Angestellte
) TYPE = InnoDB;
```

- Transaktionen sind bei MySQL nur möglich, wenn explizit ein Tabellentyp ausgewählt wird, der Transaktionen unterstützt.
- Als Typ wurde in diesem Beispiel `InnoDB` ausgewählt.
- Alternativ wäre auch `BDB` (Berkeley DB) akzeptabel gewesen.

Transaktionen bei MySQL

tfilldb.pl

```
$db->commit;
eval {
   my $tuple = join(", ", ("?") x $cols);
   my $st = $db->prepare(qq{
      insert into $table values ($tuple)
   });
   while(<>) {
      chomp;
      if ($strip_comments) {
         next if /^\s*#/;
         next if /^\s*$/;
      }
      my @tuple = split /$delim/, $_, $cols;
      $st->execute(@tuple);
   }
};
if ($@) {
   $db->rollback;
   print STDERR "$cmdname: transaction aborted: $@\n";
} else {
   $db->commit;
}
```

```
cordelia$ perl tfilldb.pl -d: `pwd`/testdb Abteilungen \
> 3 abteilungen 2>&1 | fold -w55
DBD::mysql::st execute failed: Duplicate entry 'AngAna'
 for key 1 at tfilldb.pl line 38, <> line 2.
tfilldb.pl: transaction aborted: DBD::mysql::st execute
 failed: Duplicate entry 'AngAna' for key 1 at tfilldb.
pl line 38, <> line 2.

cordelia$
```

Konsistenz von Beziehungen bei MySQL

```
cordelia$ perl tfilldb.pl -d: `pwd`/testdb Abteilungen \
> 3 abteilungen 2>&1 | fold -w55 -s
DBD::mysql::st execute failed: Cannot add or update a
child row: a foreign key constraint fails at
tfilldb.pl line 40, <> line 1.
tfilldb.pl: transaction aborted: DBD::mysql::st
execute failed: Cannot add or update a child row: a
foreign key constraint fails at tfilldb.pl line 40, <>
line 1.

cordelia$
```

- MySQL sichert die Integrität von Beziehungen nur bei der Verwendung von `InnoDB`-Tabellen, wobei
  - für jeden Fremdschlüssel ein Index angelegt werden muß,
  - die referenzierten Schlüssel ebenfalls von einem Index unterstützt sein müssen und
  - entsprechende `FOREIGN KEY`-Deklarationen vorzuliegen haben.

Konsistenz von Beziehungen bei MySQL

```
CREATE TABLE Angestellte (
   persid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (persid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL,
   INDEX abtid_index (abtid)
) TYPE = InnoDB;

CREATE TABLE Abteilungen (
   abtid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (abtid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   chef VARCHAR(32),
   INDEX chef_index (chef),
   FOREIGN KEY (chef) REFERENCES Angestellte(persid)
      ON DELETE SET NULL
      ON UPDATE SET NULL
) TYPE = InnoDB;

ALTER TABLE Angestellte ADD
   FOREIGN KEY (abtid) REFERENCES Abteilungen(abtid)
      ON DELETE RESTRICT
      ON UPDATE RESTRICT;
```

- Die topologische Reihenfolge muß eingehalten werden. Referenzieren sich Tabellen gegenseitig, so ist die Verwendung von `ALTER TABLE` unvermeidbar.

Konsistenz von Beziehungen bei MySQL

```
CREATE TABLE Projekte (
   projektid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY,
      INDEX (projektid),
   name VARCHAR(255) NOT NULL
) TYPE = InnoDB;

CREATE TABLE ProjektTeilnehmer (
   projektid VARCHAR(32) NOT NULL,
      INDEX (projektid),
   persid VARCHAR(32) NOT NULL,
   INDEX (projektid, persid),
   PRIMARY KEY (projektid, persid),
   INDEX projektid_index (projektid),
   FOREIGN KEY (projektid) REFERENCES Projekte(projektid)
      ON DELETE CASCADE
      ON UPDATE CASCADE,
   INDEX persid_index (persid),
   FOREIGN KEY (persid) REFERENCES Angestellte(persid)
      ON DELETE CASCADE
      ON UPDATE CASCADE
) TYPE = InnoDB;
```


Konsistenz von Beziehungen bei MySQL

- Die Konsistenz ist bei Einfüge-, Lösch und Änderungsoperationen zu überprüfen. Das Einfügen geht grundsätzlich schief, falls Fremdschlüssel referenziert werden, die noch nicht existieren.

- Bei `DELETE` und `UPDATE` läßt sich genauer spezifizieren, wie verfahren werden soll:

`CASCADE`	Alle abhängigen Datensätze werden gelöscht. Das kann eine Kettenreaktion zur Folge haben.
`SET NULL`	Der Fremdschlüssel wird auf `NULL` gesetzt. Dies ist ideal für $0,1$-Komplexitätsgrade.
`RESTRICT`	Die Operation wird nicht erlaubt.
`NO ACTION`	Die Operation wird zugelassen und die Datenbank verbleibt in einem inkonsistenten Zustand.

- Die Konsistenzüberprüfungen finden bei MySQL unmittelbar bei den Operationen statt und nicht etwa erst beim Ende der Transaktion.

Konsistenz von Beziehungen bei MySQL

```
mysql> select * from Abteilungen;
Empty set (0.02 sec)

mysql> insert into Abteilungen values ('SAI',
    ->     'Abteilung Angewandte Informationsverarbeitung',
    ->     NULL);
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> insert into Angestellte values
    ->     ('swg', 'Franz Schweiggert', 'SAI');
Query OK, 1 row affected (0.01 sec)

mysql> update Abteilungen set chef = 'swg'
    ->     where abtid = 'SAI';
Query OK, 1 row affected (0.07 sec)
Rows matched: 1  Changed: 1  Warnings: 0

mysql> delete from Abteilungen where abtid = 'SAI';
ERROR 1217: Cannot delete or update a parent row:
   a foreign key constraint fails
mysql> delete from Angestellte where persid = 'swg';
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> select abtid, chef from Abteilungen;
+-------+------+
| abtid | chef |
+-------+------+
| SAI   | NULL |
+-------+------+
1 row in set (0.01 sec)

mysql>
```


Metainformationen einer Datenbank

- Praktisch alle relationalen Datenbank bieten Metainformationen an bezüglich der vorhandenen Datenbanken, Tabellen, Felder (mitsamt Typen, Feldnamen und Schlüsseln).

- Metainformationen sind sehr nützlich bei der Entwicklung von Werkzeugen, die unabhängig von einer konkreten Anwendung operieren können sollen wie z.B. generelle Datenbank-Betrachter.

- In SQL-2 stehen diese Metainformationen standardisiert im Informationsschema zur Verfügung. So lassen sich beispielsweise mit
  `select TABLE_NAME from INFORMATION_SCHEMA.TABLES`
  die Namen aller zugänglichen Tabellen ermitteln. Leider unterstützt MySQL diese Tabellen nicht.

- DBI bietet einige Metainformationen an, die jedoch sehr dürftig sind.

- Viele DBI-Schnittstellen bzw. die dahinterliegenden Datenbanken bieten nicht-standardisierte Formen von Metainformationen an.

Metainformationen einer Datenbank

tables.pl

```
my @tables = ();
my $st = $db->prepare("show tables");
$st->execute;
my $record;
while (defined($record = $st->fetch())) {
   push(@tables, $record->[0]);
}
$st->finish;

foreach my $table (@tables) {
   $st = $db->prepare("show columns from $table");
   $st->execute;
   my @fields = (); my @pkey = ();
   while (defined($record = $st->fetchrow_hashref())) {
      if (defined($record->{'Key'}) &&
          $record->{'Key'} eq "PRI") {
         push(@pkey, $record->{'Field'});
      } else {
         push(@fields, $record->{'Field'});
      }
   }
   print "$table: ";
   print "primary key = (", join(", ", @pkey), "), "
      if @pkey > 0;
   print "other fields = (", join(", ", @fields), ")\n";
}
$st->finish;
```


Metainformationen einer Datenbank

```
mysql> show columns from Abteilungen;
+-------+--------------+------+-----+---------+-------+
| Field | Type         | Null | Key | Default | Extra |
+-------+--------------+------+-----+---------+-------+
| abtid | varchar(32)  |      | PRI |         |       |
| name  | varchar(255) |      |     |         |       |
| chef  | varchar(32)  | YES  |     | NULL    |       |
+-------+--------------+------+-----+---------+-------+
3 rows in set (0.01 sec)
```

- In MySQL liefert
  - `SHOW TABLES` alle Tabellennamen und
  - `SHOW COLUMNS FROM` alle Spalten mitsamt Hinweisen, zu welchen Schlüsseln sie gehören.
- Diese Anweisungen gibt es nicht in SQL-2 – u.a. schon deswegen nicht, weil das Metadatenmodell von SQL-2 deutlich komplizierter ist.
- Beide Abfragen können genauso wie `SELECT`-Anweisungen mit `DBI` bearbeitet werden.

Metainformationen einer Datenbank

- Recht nützlich können noch folgende Attribute eines Abfragehenkels sein (möglicherweise erst nach dem ersten Aufruf von `execute` verfügbar):

`$st->{NUM_OF_FIELDS}`	Anzahl der Felder.
`$st->{NAME}`	Verweis auf eine Liste mit den Namen der einzelnen Felder.
`$st->{NULLABLE}`	Verweis auf eine Liste mit Boolean-Werten, die angeben, ob NULL-Werte bei dieser Spalte zulässig sind bzw. möglicherweise zu erwarten sind.
`$st->{TYPE}`	Verweis auf eine Liste mit ganzzahligen Werten, die jeweils den Typ einer Spalte repräsentieren.
`$st->{PRECISION}`	Verweis auf eine Liste mit der jeweiligen Feldlänge (ggf. in Abhängigkeit des Datentyps zu interpretieren).
`$st->{SCALE}`	Verweis auf eine Liste mit den entsprechenden Werten (normalerweise 0, kann bei numerischen Typen wie z.B. `DECIMAL(5,2)`, positiv sein).
`$st->{NUM_OF_PARAMS}`	Zahl der verwendeten Platzhalter.

Metainformationen einer Datenbank

tables2.pl

```
my @tables = ();
my $st = $db->table_info();
my $record;
while (defined($record = $st->fetchrow_hashref())) {
   push(@tables, $record->{TABLE_NAME});
}
$st->finish;

foreach my $table (@tables) {
   $st = $db->prepare("select * from $table");
   $st->execute;
   my @names = $st->{NAME};
   print "$table: ", join(", ", @{$st->{NAME}}), "\n";
   $st->finish;
}
```

- Die Ermittlung der Tabellennamen läßt sich auch abkürzen zu: `my @tables = $db->tables();`

- Die Angaben über die einzelnen Felder sind leider nicht ohne entsprechende Abfragen zu ermitteln.

- Der Primärschlüssel läßt sich über die Attribute des Abfrage-Henkels leider nicht ermitteln.

DBI im Überblick

`my $db = DBI->connect($data_source,` `   $username, $auth, %attr);`	Aufbau einer Verbindung

`use Mysql::Admin qw(dbi_connect);`
`my $db = DBI->connect(`
`   dbi_connect($dbdir), "", "");`
	Aufbau einer Verbindung zur “privaten” MySQL-Datenbank bei uns (in den Übungen)

`$db->{RaiseError} = 1;`	Alle DBI-Fehler zu fatalen Ausnahmen werden lassen.

`my $tuple = join(", ", ("?") x $cols);`
`my $st = $db->prepare(qq{`
`   insert into $table values ($tuple)`
`});`
	Einfügen von Datensätzen vorbereiten

`$st->execute(@tuple);`	und durchführen

`my $st = $db->prepare(qq{`
`   select * from $table`
`}");`
	Abfrage vorbereiten

`$record = $st->fetch()`	Einen Datensatz abholen
`$st->finish;`	Freigabe eines Abfragehenkels
`$db->disconnect;`	Verbindung zur Datenbank “sanft” schließen

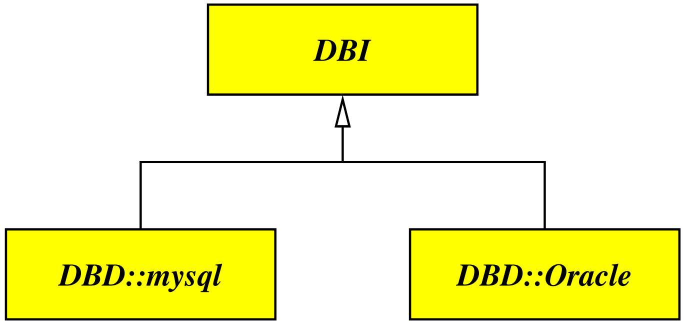
Abstraktionen und Design-Pattern für Datenbanken

Reizvoll wäre die Unabhängigkeit von der physischen Datenrepräsentierung auf mehreren Ebenen:

- Auswahl Textdatenbanken vs. XML vs. indizierte Dateien vs. relationale Datenbanken.
- Flexibilität in der Auswahl verwandter Lösungen. So sollte es beispielsweise leicht möglich sein, zwischen relationalen Datenbanken zu wechseln.
- Freiheit, verschiedene Datenrepräsentierungen parallel zu verwenden.
- Vernetzung von Datenbanken, Ausfallsicherheit, Datensicherung.

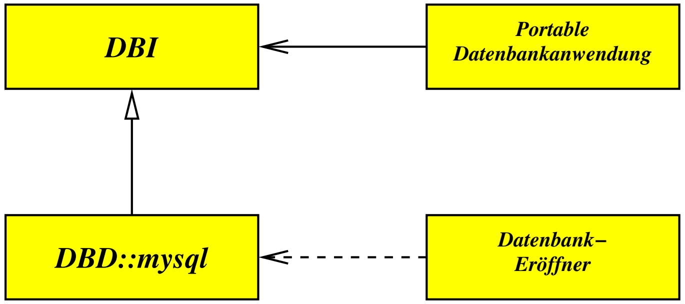
Aber: Wieviel Flexibilität wird tatsächlich benötigt? Jede Abstraktionsschicht trägt dazu bei, daß die Software voluminöser und komplexer wird. Außerdem muß bei Abstraktionen wegen den notwendigen Vereinfachungen (“kleinster gemeinsamer Nenner”) auf besondere Fähigkeiten einzelner Varianten verzichtet werden.

Beispiel DBI



- `DBI` dient als gemeinsame Schnittstelle zu SQL-basierten relationalen Datenbanken.
- Vorteil: Der Wechsel zwischen relationalen Datenbanken ist relativ einfach.
- Noch ein Vorteil: Der parallele Zugriff auf mehrere potentiell verschiedene Datenbanken ist in einheitlicher Weise realisierbar. Entsprechend wäre es ohne größeren Aufwand oder Anpassungen möglich, eine MySQL-Datenbank mit dem Datenbestand einer Oracle-Datenbank zu synchronisieren.
- Nachteile: Die Schnittstelle bietet weniger an als einzelne SQL-Datenbanken. So gibt es keine portable Möglichkeit, die vollständigen Meta-Informationen aus einer Datenbank zu ziehen.

Trennung zwischen Anwendung und Instantiierung



- Die Vorteile einer Abstraktion wie `DBI` können nur dann voll zur Geltung kommen, wenn die Abhängigkeiten zu einer Implementierung minimiert und isoliert werden.
- Zumindest bei der Instantiierung gibt es eine Abhängigkeit zur ausgewählten Implementierung.
- `DBI` versucht, diese Abhängigkeit zu minimieren, indem es einen Konstruktor im `DBI`-Modul anbietet, der die gewünschte Variante als Zeichenkette erhält, die dann dynamisch geladen wird.
- Leider ist das nicht immer ausreichend, da unter Umständen (wie bei MySQL) Umgebungsvariablen benötigt werden.
- Deswegen ist es sinnvoll, die Datenbank-Eröffnung von der eigentlichen Datenbank-Anwendung zu trennen.

Eine Abstraktion für Tabellen

projekte.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use TBI;
use strict;
use warnings;

my $ang = TBI->open("Angestellte");
my $teilnehmer = TBI->open("ProjektTeilnehmer");
my $projekte = TBI->open("Projekte");

foreach my $key ($teilnehmer->keys) {
   my %ang = $ang->fetch($key->{persid});
   my %projekt = $projekte->fetch($key->{projektid});
   printf "%-32s %s\n", $projekt{name}, $ang{name}, "\n";
}
```

- Für viele Anwendungen kommt eine Abstraktion entgegen, die zwischen der vollen Mächtigkeit relationaler Datenbanken auf der einen Seite und den schlichten assoziativen Arrays auf der anderen Seite angesiedelt ist.

- TBI bietet analog zu DBI eine abstrakte Schnittstelle für Tabellen mit einem Primärschlüssel (darf aus einem oder mehreren Feldern bestehen) und einer beliebigen Anzahl weiterer Felder.

- Im Vergleich zu assoziativen Arrays fällt die Problematik weg, einen Datensatz mit Hilfe eines Feldtrenners selbst zu zerlegen und zusammenzusetzen.

- TBI kann auf recht effiziente Weise auf relationale Datenbanken abgebildet werden – aber auch auf einfache ASCII- oder DBM-Dateien.

Eine Abstraktion für Tabellen

- Bei TBI hat jede Tabelle einen eindeutigen Namen innerhalb eines globalen Namensraums. Typischerweise sind alle Tabellennamen einer Applikation sofort sichtbar, wenngleich erst durch ein `open` eine Verbindung ggf. eröffnet wird.

- Eine Tabelle darf mehrfach eröffnet werden – in diesem Falle wird jeweils der gleiche Zeiger zurückgeliefert.

- Mit `TBI->tables()` ist es möglich, eine Liste der bekannten Tabellen zu erhalten.

- Wenn ein Modul namens `TBI_Scanner` zur Verfügung steht, wird es von TBI während der Initialisierungszeit benutzt, um das Tabellenverzeichnis zu Beginn zu erstellen.

- Eine Tabelle kann mit der Methode `close` geschlossen werden oder auch ganz einfach durch die Garbage Collection aufgeräumt werden.

Eine Abstraktion für Tabellen

projekte.pl

```
foreach my $key ($teilnehmer->keys) {
   my %ang = $ang->fetch($key->{persid});
   my %projekt = $projekte->fetch($key->{projektid});
   printf "%-32s %s\n", $projekt{name}, $ang{name}, "\n";
}
```

```
select Angestellte.name, Projekte.name
   from Angestellte, Projekte, ProjektTeilnehmer
   where Angestellte.persid = ProjektTeilnehmer.persid and
         ProjektTeilnehmer.projektid = Projekte.projektid;
```

- Das Beispiel auf Basis von TBI entspricht dem zweifachen Join der SQL-Anweisung.
- Die Methode `keys` liefert analog zu dem `keys`-Operator von Perl alle Schlüssel einer Tabelle. Besteht der Primärschlüssel aus mehr als einem Feld, so wird ein Zeiger auf ein assoziatives Array zurückgeliefert. Ansonsten eben der skalare Wert des einzigen Feldes des primären Schlüssels.
- `fetch` liefert für den (durch einen konkreten Primärschlüssel) selektierten Datensatz alle Felder in Form eines assoziativen Arrays.
- Prinzipiell wird durch TBI in Verbindung mit relationalen Datenbanken der Rechenaufwand höher, da wesentlich mehr SQL-Anweisungen ausgeführt werden müssen. Gewonnen wird jedoch eine sehr kompakte (und von DBI & SQL unabhängige) Schreibweise.

Eine Abstraktion für Tabellen

mitarbeiter.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use TBI;
use strict;
use warnings;

my $abteilung = shift @ARGV;
my $ang = TBI->open("Angestellte");

foreach my $key ($ang->select(abtid => $abteilung)) {
   my %ang = $ang->fetch($key);
   print $ang{name}, "\n";
}
```

- Mit Hilfe assoziativer Arrays können leichtere Abfragen, bei denen eine Reihe von Feldern bestimmte Werte haben sollen, leicht formulieren.
- `select` liefert analog zu `keys` Primärschlüssel zurück.

Eine Abstraktion für Tabellen

neuerchef.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use TBI;
use strict;
use warnings;

my $abteilung = shift @ARGV;
my $chef = shift @ARGV;

my $ang = TBI->open("Angestellte");
my $abt = TBI->open("Abteilungen");
if ($abt->exists($abteilung) && $ang->exists($chef)) {
   $abt->modify($abteilung, chef => $chef);
}
```

- `exists` liefert **true** zurück, wenn es einen Datensatz mit dem gegebenen Schlüssel gibt.
- Mit `modify` können vorhandene Datensätze modifiziert werden.
- Dabei ist es insbesondere nicht notwendig, alle Datenfelder frisch anzugeben. Es müssen nur die geänderten in Form eines assoziativen Arrays übergeben werden.

Eine Abstraktion für Tabellen

neuesprojekt.pl

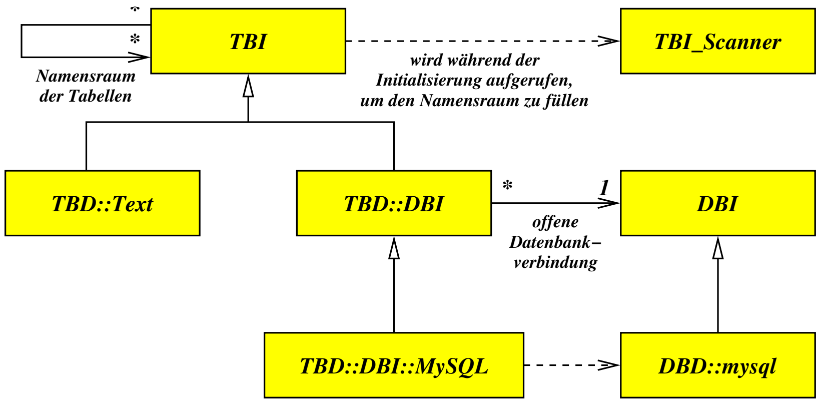
```
#!/usr/local/bin/perl

use TBI;
use strict;
use warnings;

my $projektid = shift @ARGV;
my $name = shift @ARGV;

my $projekte = TBI->open("Projekte");
$projekte->add($projektid, name => $name);
```

- Mit `add` können neue Datensätze hinzugefügt werden, solange ihr jeweiliger Primärschlüssel noch nicht in der Tabelle eingetragen ist.
- Nach dem Schlüssel (als skalarer Wert) kommen die restlichen Felder in Form eines assoziativen Arrays.

Übersicht von TBI

`$t = TBI->open($name)`	Eröffnen einer bekannten Tabelle
`TBI->tables`	Liste aller bekannten Tabellen
`TBI->exists($name)`	liefert **true**, falls die benannte Tabelle existiert
`$t->name`	liefert den Namen der Tabelle zurück
`$t->fields`	geordnete Liste aller Feldnamen
`$t->keyfields`	geordnete Liste aller Feldnamen des Primärschlüssels
`$t->exists($key)`	liefert **true**, falls ein Datensatz mit diesem Schlüssel existiert
`%fields = $t->fetch($key)`	Zugriff auf einen Datensatz über den Primärschlüssel
`$t->get($key, @fieldnames)`	liefert Liste der benannten Felder des ausgewählten Datensatzes
`$t->getfield($key, $fieldname)`	liefert ein einzelnes benanntes Feld des ausgewählten Datensatzes
`$t->keys`	liefert alle Schlüssel der Tabelle als Liste
`$t->select(%equations)`	liefert alle Schlüssel der Datensätze zurück, für die `%equations` zutrifft
`$t->add($key, %entry)`	Hinzufügen eines Datensatzes
`$t->delete($key)`	Löschen eines Datensatzes
`$t->modify($key, %changes)`	Änderung eines vorhandenen Datensatzes
`$t->close`	Schließen einer Tabelle (optional)

Modulstruktur von TBI



- Analog zu DBI gibt es die abstrakte Schnittstelle und eine Vielzahl von Implementierungen (hier im Beispiel nur für DBI mit dem Namen `TBD::DBI`).

- Wenn eine Implementierung (wie im Falle für DBI) auf einer anderen Abstraktion aufsetzt und diese nicht den vollen gewünschten Umfang bietet, bleibt nichts anderes übrig, als noch eine weitere Ebene anzusetzen (im Beispiel `TBD::DBI::MySQL`), die dies leistet.

- Anders als `DBI` unterhält `TBI` noch einen Namensraum mit instantiierten Objekten von `TBI` abgeleiteter Module.

Modulstruktur von TBI

- Konkret besteht bei DBI daß Problem, das es keine portable Ermittlung von Meta-Informationen über eine Datenbank gibt (Namen der Tabellen, Felder einer Tabelle, primärer Schlüssel einer Tabelle).
- Wenn längere Ableitungsketten (wie im Beispiel mit `TBI` → `TBD::DBI` → `TBD::DBI::MySQL`) vorkommen können, dann ist es sehr wichtig, daß bereits vom Basismodul (hier TBI) Spielregeln festgelegt werden,
  - wie neue Objekte in kooperativer Weise angelegt und initialisiert werden,
  - wie `DESTROY` (bei der Garbage-Collection) und ggf. explizite Schließ-Operationen abgearbeitet werden,
  - unter welchen Namen private Komponenten bei dem Objekt abgelegt werden dürfen und
  - wie ggf. Registrierungen abgeleiteter Module bei dem Basismodul ablaufen bzw. umgekehrt das Basismodul abgeleitete Module entdeckt.

Initialisierungs-Sequenzen

TBI.pm

```
sub new {
   my $package = shift;
   my $self = bless {closed => 0}, $package;
   $self->initialize1(@_);
   $self->initialize2();
   my $name = $self->name();
   if (defined($tables{$name})) {
      $tables{$name}->{handle} = $self;
   } else {
      $tables{$name} = {handle => $self};
   }
   return $self;
}
```

- Es ist üblich, den Konstruktor (also die Operation, die in Perl das Objekt anlegt und `bless` aufruft), von der eigentlichen Initialisierung zu trennen.
- Bei TBI sind zwei Initialisierungs-Sequenzen vorgesehen:
  - `initialize1` initialisiert alle (interessierten) Parteien in der Ableitungskette – beginnend mit dem Basismodul und abschließend mit dem am weitesten abgeleiteten Modul.
  - Die zweite Sequenz auf Basis von `initialize2` durchläuft gleichfalls alle interessierten Parteien, jedoch diesmal beginnend mit dem am weitesten abgeleiteten Modul und endend mit dem Basismodul.

Initialisierungs-Sequenzen

TBD/DBI.pm

```
sub initialize1 {
   my ($self, %attributes) = @_;

   $self->SUPER::initialize1(%attributes);

   # ...
}

sub initialize2 {
   my ($self) = @_;

   # ...

   $self->SUPER::initialize2();
}
```

- Das Durchlaufen der Kette erfolgt jeweils mit dem Aufruf der entsprechenden mit `SUPER` qualifizierten Methode.
- Je nachdem, ob der Aufruf am Anfang oder am Ende erfolgt, ergibt sich die Richtung, in der die Kette tatsächlich abgearbeitet wird.
- Das Arbeiten mit zwei Ketten wäre nicht notwendig, wenn es eine zu `SUPER` entgegengesetzte Variante gäbe – analog zu `inner` bei der OO-Programmiersprache Beta.

Registrierung bei TBI

TBI.pm

```
sub register {
   my ($self, $name, $package, $params) = @_;

   $tables{$name}->{package} = $package;
   $tables{$name}->{params} = $params;
}
```

- In der globalen Variable `%tables` verwaltet `TBI` alle bekannten Tabellen:

handle	Zeiger auf das Tabellen-Objekt, falls es bereits eröffnet worden ist.
package	Das Modul, das für diese Tabelle zuständig ist.
params	Die Parameter, die für das Eröffnen der Tabelle notwendig sind.

- Die Methode `register` erlaubt es, Tabellen bekannt zu machen, ohne sie bereits eröffnen zu müssen (was nur unnötig Ressourcen kosten würde).

Eröffnen von Tabellen

TBI.pm

```
sub open {
   my ($package, $name) = @_;
   my $table = undef;
   if (defined($tables{$name})) {
      unless (defined($table = $tables{$name}->{handle})) {
         $table = $tables{$name}->{package}->
                  new(%{$tables{$name}->{params}});
      }
   }
   return $table;
}
```

- Wenn eine Tabelle eröffnet werden soll, wird von der Basisabstraktion TBI überprüft, ob sie bereits offen ist (dann wird der vorhandene Verweis darauf zurückgeliefert) oder ob sie bekannt ist und daher frisch eröffnet werden kann.
- Bei einer Neu-Eröffnung wird der Konstruktor `new` verwendet, der dann die gesamte Initialisierungs-Sequenz zur Folge hat.

Eröffnen von Tabellen

TBD/DBI.pm

```
my $key = "$database/$login/$auth";
# ...

my $db;
if (defined($connections{$key})) {
   ++ $connections{$key}->{refs};
   $db = $connections{$key}->{handle};
} else {
   $db = DBI->connect($database, $login, $auth);
   croak "unable to connect to database $database"
      unless defined $db;
   $connections{$key} = {handle => $db, refs => 1};
   $db->{RaiseError} = 1;
   # ...
}
```

- `TBD::DBI` unterhält mit `%connections` ein assoziatives Array für alle offenen Datenbank-Verbindungen, wobei als Schlüssel die Parameter für `DBI->connect` dienen.
- Damit ist es möglich, daß sich mehrere Tabellen eine Datenbankverbindung teilen.
- Um zu entscheiden, wann die Datenbank-Verbindung wieder geschlossen werden kann, gibt es einen Zähler für die Anzahl der Nutzungen.
- Innerhalb von `initialize1` bei `TBD::DBI` wird dann entweder die vorhandene Verbindung übernommen oder eine neu eröffnet und in `%connections` eingetragen.

Eingebettete Initialisierungen

TBD/DBI/MySQL.pm

```
sub initialize2 {
   my ($self) = @_;

   my $st = $self->{db}->prepare(qq{
      show index from $self->{table}
   });
   $st->execute();
   my @keyfields = ();
   my $record;
   while (defined($record = $st->fetchrow_hashref())) {
      next unless $record->{Key_name} eq "PRIMARY";
      $keyfields[$record->{Seq_in_index}] =
         $record->{Column_name};
   }
   $st->finish();

   shift @keyfields; # Seq_in_index is running from 1
   croak "no primary key defined" unless @keyfields > 0;
   $self->{keyfields} = \@keyfields;

   $self->SUPER::initialize2();
}
```

- Durch die beiden Initialisierungs-Sequenzen über **`initialize1`** und **`initialize2`** wird die am meisten abgeleitete (und spezialisierte) Implementierung der Abstraktion genau in der Mitte des gesamten Initialisierungsvorgangs aktiv.

Eingebettete Initialisierungen

TBD/DBI.pm

```
sub initialize2 {
   my ($self) = @_;

   # ... various sanity checks ...

   my @clauses = ();
   foreach my $keyfield (@{$self->{keyfields}}) {
      push(@clauses, "$keyfield = ?");
   }
   $self->{byKey} = "where " . join(" and ", @clauses);
   $self->{select} = "select * from " . $self->{table} . " ";
   $self->{select_byKey} = $self->{db}->prepare(
      $self->{select} . $self->{byKey});

   # ... more prepared statements ...

   $self->SUPER::initialize2();
}
```

- `TBD::DBI` und `TBD::DBI::MySQL` kooperieren dahingehend, daß
  - zunächst `TBD::DBI` mit **`initialize1`** die Datenbank eröffnet und noch die Feldnamen ermittelt (portabel möglich),
  - dann `TBD::DBI::MySQL` kann in **`initialize2`** (oder bei **`initialize1`** – das ist egal) die Namen der Felder des primären Schlüssels ermitteln (nicht portabel),
  - worauf `TBD::DBI` in **`initialize2`** weitere Initialisierungen durchführt, bei denen die Namen der Schlüsselfelder bekannt sein müssen.

Schließen von Tabellen

TBI.pm

```
sub close {
   my $self = shift;
   $self->{closed} = 1;
   delete $tables{$self->name()}->{handle};
}

sub DESTROY {
   my $self = shift;
   $self->close() unless $self->{closed};
}
```

- Wenn die Garbage-Collection ein Objekt aufräumen möchte, wird (sofern vorhanden) die Methode `DESTROY` aufgerufen, die es erlaubt, Aufräumungsarbeiten durchzuführen.
- Alternativ ist es auch vorgesehen, eine Tabelle explizit mit `close` zu schließen.
- Wenn eine implizite und eine explizite Schließmöglichkeit parallel existieren, dann muß sichergestellt werden, daß die Aufräumarbeiten nicht doppelt ausgeführt werden. Dies läßt sich gleich in der Basisabstraktion sicherstellen.
- Analog zu den Initialisierungs-Sequenzen ist bei `close` ebenfalls die gesamte Sequenz abzuarbeiten, d.h. alle beteiligten Parteien leisten zuerst ihre eigenen Aufräumarbeiten, um anschließend die entsprechende Methode bei der `SUPER`-Klasse aufzurufen.

Schließen von Tabellen

TBD/DBI.pm

```
sub close {
   my ($self) = @_;

   return unless defined $self->{db};

   # ... finish statement handles ...

   undef $self->{db};
   my $key = $self->{key};
   if (--$connections{$key}->{refs} == 0) {
      $connections{$key}->{handle}->disconnect;
      delete $connections{$key};
   }
   $self->SUPER::close();
}
```

- Bei `TBD::DBI` ist beim Schließen die Verwaltung der Verbindungen zu aktualisieren.
- Wenn der Zähler auf 0 sinkt, dann wird die Verbindung zur Datenbank geschlossen und der entsprechende Eintrag aus `%connections` entfernt.

Generierung von SQL-Anweisungen

TBD/DBI.pm

```
sub fetch {
   my ($self, $key) = @_;

   my @keys = $self->order_keys($key);
   $self->{select_byKey}->execute(@keys);
   my $record = $self->{select_byKey}->fetch;
   return undef unless defined $record;

   my %fields = (); my $index = 0;
   foreach my $fieldname (@{$self->{fields}}) {
      $fields{$fieldname} = $record->[$index++];
   }
   return %fields;
}
```

- Soweit möglich und sinnvoll, wurden von `TBD::DBI::initialize2` alle benötigten SQL-Anweisungen bereits mit `DBI::prepare` vorbereitet, so daß das wiederholte Analysieren von immer gleichen Anweisungen vermieden wird.
- Die private Komponente `select_byKey` enthält eine `SELECT`-Anweisung, bei der alle Werte des Primärschlüssels vorgegeben werden (über Platzhalter), so daß auf diese Weise genau ein gewünschter Datensatz selektiert werden kann.
- `order_keys` ist eine interne Methode, die einen Schlüssel in eine geordnete Liste von Werten verwandelt, die bei `execute` für die Platzhalter übergeben werden kann.

Generierung von SQL-Anweisungen

TBD/DBI.pm

```
sub hash2tuple {
   my ($self, %hash) = @_;

   my @tuple = ();
   foreach my $fieldname (@{$self->{fields}}) {
      push(@tuple, $hash{$fieldname});
   }
   return @tuple;
}

sub add {
   my ($self, $key, %fields) = @_;
   if (ref($key)) {
      %fields = (%fields, %{$key});
   } else {
      $fields{$self->{keyfields}->[0]} = $key;
   }
   $self->{insert}->execute($self->hash2tuple(%fields));
}
```

- Die `INSERT`-Anweisung ist ebenfalls in `TBD::DBI::initialize2` vorbereitet worden, so daß nur noch die Liste mit den Platzhaltern vorzubereiten ist.
- Zunächst wird dazu der Schlüssel zu `%fields` hinzugefügt und dann das assoziative Array mit allen Feldinhalten in eine geordnete Liste konvertiert.

Generierung von SQL-Anweisungen

TBD/DBI.pm

```
sub keys {
   my $self = shift;

   my $st = $self->{select_keys};
   $st->execute();
   return $self->return_keys($st);
}

sub return_keys {
   my ($self, $st) = @_;

   my @keys = (); my $record;
   if (@{$self->{keyfields}} == 1) {
      while (defined($record = $st->fetch())) {
         push(@keys, $record->[0]);
      }
   } else {
      while (defined($record = $st->fetchrow_hashref())) {
         push(@keys, {%{$record}});
      }
   }
   return @keys;
}
```

- Bei `initialize2` wurde bereits die für `keys` immer konstante SQL-Anweisung vorbereitet und in der internen Komponente `select_keys` abgelegt.

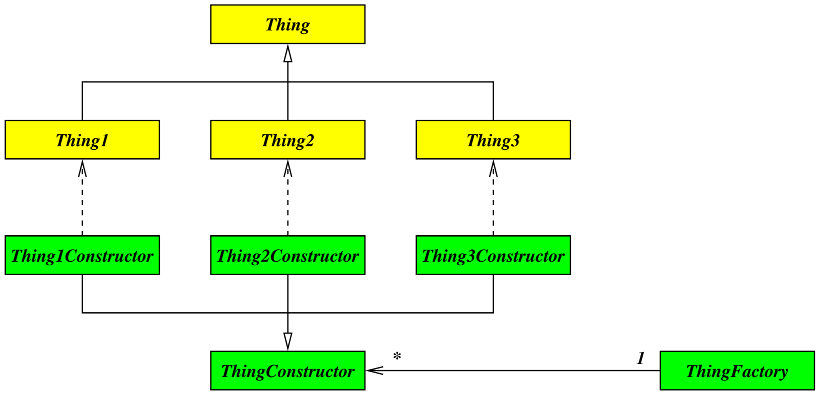
Generierung von SQL-Anweisungen

TBD/DBI.pm

```
sub select {
   my ($self, %clauses) = @_;

   my @clauses = (); my @values = ();
   my ($field, $value);
   while (($field, $value) = each %clauses) {
      push(@clauses, "$field = ?");
      push(@values, $value);
   }
   my @keyfields = @{$self->{keyfields}};
   my $keyfields = join(", ", @keyfields);
   my $st = $self->{db}->prepare(
      "select $keyfields from $self->{table} " .
      " where " . join(" and ", @clauses)
   );
   $st->execute(@values);
   my @keys = $self->return_keys($st);
   $st->finish();
   return @keys;
}
```

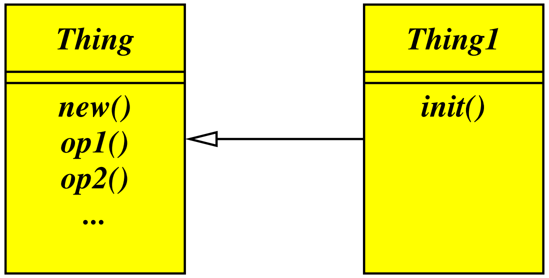
- Bei `select` hängt die SQL-Anweisung direkt von `%clauses` ab, so daß sie jedesmal neu erzeugt wird.

Design-Pattern: Objekt-Fabrik



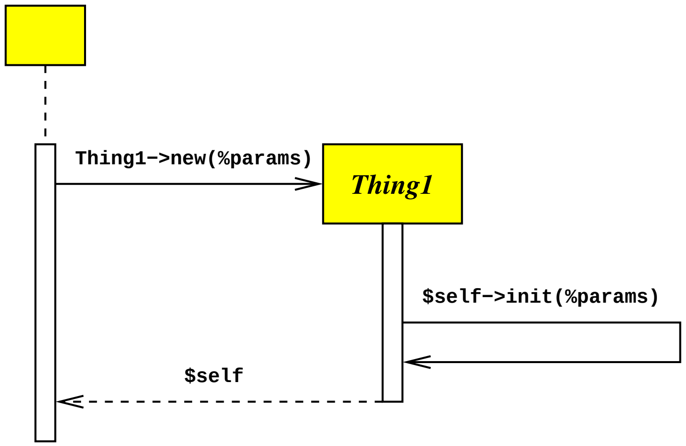
- Aufgabe: Erzeugung von Objekten, deren Typ erst zur Laufzeit namentlich bekannt ist.
- Ziel: Unabhängigkeit einer Anwendung von jeglichen Auflistungen der möglichen Ausprägung von `Thing`.
- `Thing` ist eine Abstraktion mit Implementierungen `Thing1`, `Thing2` und `Thing3`.
- Die Konstruktorenklasse `Thing1Constructor` kann Objekte vom Typ `Thing1` erzeugen und leitet sich von der abstrakten Klasse `ThingConstructor` ab.
- Die Fabrik-Klasse `ThingFactory` ist ein Container für Konstruktoren, die über einen Namen erreichbar sind.

Abstraktionen und Implementierungen



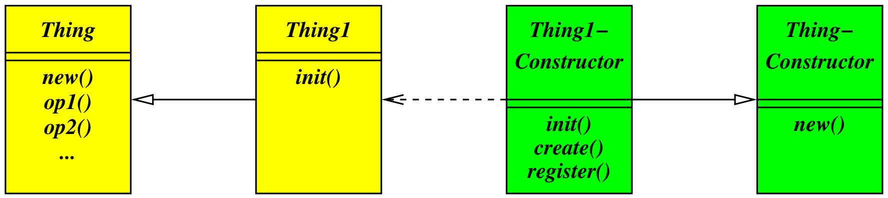
- `Thing` ist eine Abstraktion mit den Operationen `op1()`, `op2` usw.
- Der Konstruktor `new()` kann entweder in den Implementierungen untergebracht werden (bei vielen OO-Sprachen wie Java, C++ und Oberon ist dies sogar Pflicht) oder auch in der Abstraktion untergebracht werden.
- Wenn `new()` Teil der Abstraktion ist, sollte der Konstruktion eine Initialisierungsmethode aufrufen, z.B. `init()`.
- Das setzt voraus, daß alle Parameter für den Konstruktor in erweiterbarer Form übergeben werden können. In Perl beispielsweise mit Hilfe eines assoziativen Arrays, bei dem Parameternamen als Schlüssel dienen.

Die Erzeugung eines Objekts



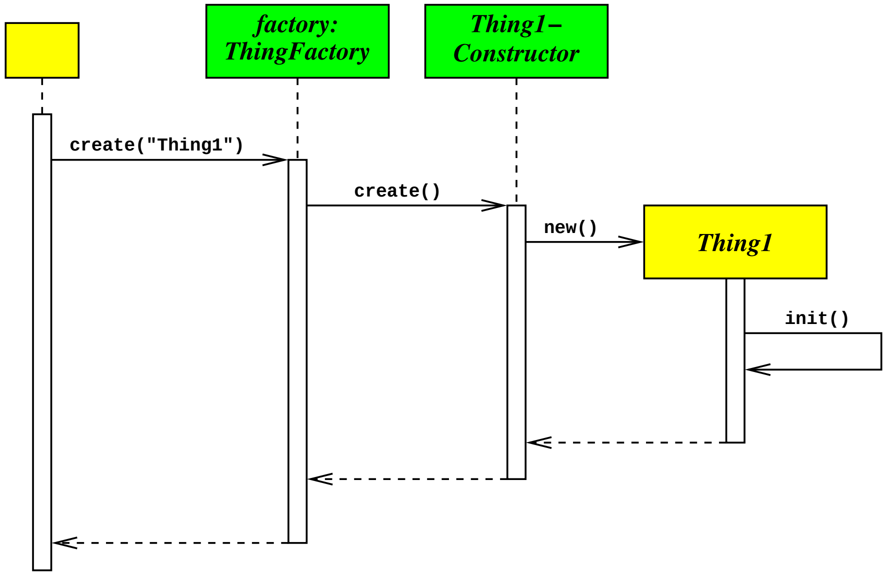
- Wenn die Methode `new()` für das Modul `Thing1` aufgerufen wird, gelangt der zugehörige Programmtext in der Abstraktion `Thing` zur Ausführung.
- Der erste implizite Parameter verweist dabei jedoch auf `Thing1`, der dann bei `bless` angegeben wird.
- Danach erfolgt der Aufruf der Methode `init()`, wobei hier der entsprechende Programmtext in der Implementierung von `Thing1` zum Zuge kommt.
- In Perl müssen dabei Initialisierungshierarchien selbst organisiert werden. In anderen Programmiersprachen erfolgt das teilweise automatisiert oder erzwungenermaßen.

Konstruktoren-Klassen



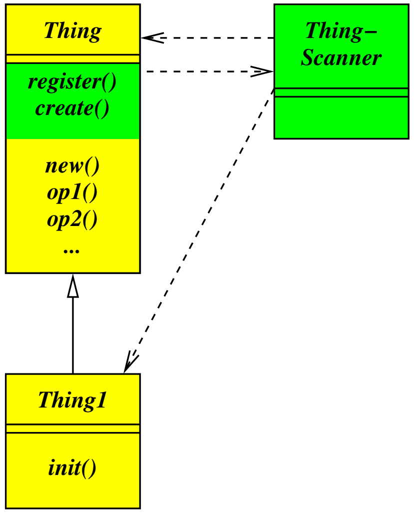
- Ein Objekt der Konstruktor-Klasse `Thing1Constructor` kann mittels der Methode `create()` gebeten werden, ein Objekt der Klasse `Thing1` zu erzeugen.
- Ein Teil der Konstruktionsparameter für ein Objekt der Klasse `Thing1` kann dabei bei der Erzeugung eines Konstruktor-Objekts der Klasse `Thing1Constructor` angegeben oder festgelegt worden sein, der Rest muß ist bei `create()` anzugeben.
- Die Parameterangaben bei `create()` dürfen nicht mehr in Abhängigkeit von einer der Implementierungen `Thing1`, `Thing2` oder `Thing3` erfolgen.

Konstruktion mit Hilfe einer Fabrik



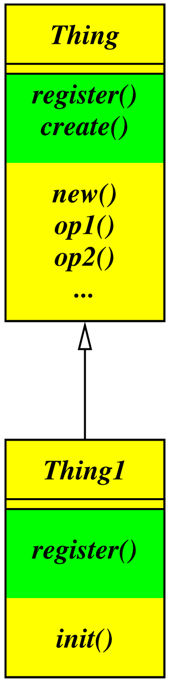
- Wenn ein Konstruktor-Objekt der Klasse `Thing1Constructor` unter "Thing1" in der Fabrik `$factory` abgelegt wird, genügt der Aufruf von `$factory->create("Thing1")`, um ein Objekt der Klasse `Thing1` zu erzeugen.

Integration einer Fabrik in die Abstraktion



- Grundsätzlich ist es möglich, eine Fabrik in die Abstraktion einzubetten.
- Die entsprechenden Methoden werden dann zu Methoden der Klasse `Thing` und nicht etwa der Objekte, die von Ableitungen von `Thing` instantiiert werden.
- In einer einfachen Konstellation übernimmt dann ein Modul (hier `ThingScanner`) die Aufgabe, die von einer Anwendung benötigten Konstruktor-Objekte zu erzeugen.
- Typischerweise hängt `ThingScanner` von der Wahl der gewünschten Implementierungen ab.

Integration einer Fabrik in die Abstraktion



- Auf das Modul `ThingScanner` kann verzichtet werden, wenn die einzelnen Implementierungen dynamisch ladbar sind und eine Klassen-Methode `register()` zur Verfügung stellen, mit der sie selbst passende Konstruktor-Objekte bei der zugehörigen Abstraktion registrieren.

Beispiel für eine Abstraktion mit integrierter Fabrik

```
doolin$ cat geheim
Hallo Johannes! Die Gelduebergabe erfolgt morgen
am Bahnhof.
doolin$ perl twist.pl Rename from=Bahnhof to=Rathaus \
> Rename from=Gelduebergabe to=Spende \
> Rotate rotate=13 <geheim >verschluesselt
doolin$ cat verschluesselt
Unyyb Wbunaarf! Qvr Fcraqr resbytg zbetra
nz Engunhf.
doolin$
```

- `Twister` ist eine Abstraktion für die Manipulation von Zeichenketten.

- `twist.pl` ist ein Skript, das die Namen und Optionen von `Twister`-Implementierungen entgegennimmt, die Eingabe von den entsprechenden `Twister`-Objekten bearbeiten läßt und das Resultat ausgibt.

- Konkret kommen hier die Module `Twister::Rename` und `Twister::Rotate` zum Einsatz.

Beispiel für eine Abstraktion mit integrierter Fabrik

twist.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use Twister;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my @twisters = ();
while (@ARGV > 0) {
   my $module = shift; my %options = ();
   while (@ARGV > 0 && $ARGV[0] =~ m{^(\w+)=(.*)}) {
      $options{$1} = $2; shift;
   }
   my $twister = Twister->create($module, %options);
   die "$cmdname: unknown twister: $module\n"
      unless defined $twister;
   push(@twisters, $twister);
}

while (<>) {
   my $string = $_;
   foreach my $twister (@twisters) {
      $string = $twister->twist($string);
   }
   print $string;
}
```

- Die Kommandozeile besteht aus Modulnamen und zugehörigen Optionen. Dies wird in eine Liste entsprechender Objekte konvertiert.

Dynamisches Laden von Modulen

Twister.pm

```
my %modules = ();

sub load_modules {
   foreach my $dir (@INC) {
      next unless -d $dir;
      next unless my $dir = new IO::Dir "$dir/Twister";
      while (defined(my $file = $dir->read)) {
         next unless $file =~ m{^(\w+)\.pm};
         my $name = $1;
         my $module = "Twister::$name";
         eval qq{
            require $module;
         };
         if ($@) {
            warn "failed to load or to register $module: $@\n";
         }
      }
   }
}
```

- `load_modules()` durchsucht das `Twister`-Verzeichnis nach ladbaren Modulen und versucht, diese zu laden.
- Das `eval` wird aus zwei Gründen benötigt: Erstens muß der Programmtext für das Laden zur Laufzeit generiert werden, da erst dann der Modulname bekannt ist. Zweitens ist es sinnvoll, nicht aufgrund eines nicht ladbaren Moduls auseinanderzufallen.

Registratur der Fabrik

Twister.pm

```
sub register {
   my ($package, $name, $constructor) = @_;
   $constructors{$name} = $constructor;
}

sub create {
   my ($package, $name, %options) = @_;
   return undef unless defined $modules{$name};
   $modules{$name}(%options);
}

sub modules {
   return keys %modules;
}
```

- Jede Implementierung von `Twister` meldet sich mit `register()` unter Angabe ihres Namens und ihres Konstruktors bei der Abstraktion an.
- Bei `create()` wird für den gegebenen Namen der zugehörige Konstruktor aufgerufen.

Implementierung mit Selbst-Registrierung

Twister/Rotate.pm

```
package Twister::Rotate;

use Twister;
require Exporter;
our @ISA = qw(Twister);

sub defaults {
   return {rotate => 13};
}

sub twist {
   my ($self, $string) = @_;

   $string =~ s{([a-z])}{
      chr(ord('a') +
         (ord($1) - ord('a') + $self->{rotate}) % 26)
   }eg;
   $string =~ s{([A-Z])}{
      chr(ord('A') +
         (ord($1) - ord('A') + $self->{rotate}) % 26)
   }eg;
   return $string;
}

Twister::Rotate->register("Rotate", sub {
   Twister::Rotate->new(@_)
});

1;
```

Abwägung integrierte vs externe Fabrik

- Eine interne Fabrik muß von Anfang an in eine Abstraktion eingeplant werden. Sämtliche Implementierungen müssen sie unterstützen.
- Eine externe Fabrik kann jederzeit zu einer Abstraktion hinzugefügt werden, ohne daß die Abstraktion geändert werden muß. Allerdings ist ein Konstruktor-Modul für jede Implementierung erforderlich.
- Mehrere externe Fabriken können koexistieren. Hingegen gibt es bei einer integrierten Fabrik nur einen einzigen Namensraum.
- Die integrierte Lösung mit einem `Scanner`-Modul ist dann sinnvoll, die Konstruktoren recht kompliziert und unterschiedlich sind und die Wahl der Konstruktoren für eine Anwendung sich nicht häufig ändert und es somit nicht sinnvoll ist, diese Angaben über die Kommandozeile zu beziehen.

Grundlagen für vernetzte Anwendungen

Themen:

- Sicherheitstips für Perl: Einsatz von Programmiertechniken, die Sicherheitslücken vermeiden helfen.
- Netzdienste: Wie werden über das Netzwerk erreichbare Dienste eingerichtet und verwendet?
- Socket-Schnittstelle bei Perl: Wie funktioniert das in Perl?
- Webschnittstelle: Wie können Perl-Skripte bei einem Webdienst zum Einsatz gelangen?

Sicherheitstips für Perl

- Bei jeder Anwendung, die für andere mit eigenen Privilegien läuft, muß streng auf Sicherheit geachtet werden.

- Das betrifft Skripte, die mit einem s-bit ausgestattet sind (das heißt sie laufen unter UNIX mit anderen Privilegien als denen des Aufrufers), und es gilt in ganz besonderem Maße für Netzdienste, da sie für jeden auf dem Internet einen möglichen Angriffspunkt darstellen.

- Neben den üblichen Techniken zur Vermeidung von Programmierfehlern (`use warnings` und `use strict`), gibt es hierfür noch eine weitere wertvolle Unterstützung: den "taint mode", der entweder automatisch eingeschaltet wird (bei Skripten mit s-bit) oder auch explizit gewünscht werden kann (Option "-T" auf der Kommandozeile).

- Aber dies allein reicht nicht, da es noch weitere Angriffspunkte gibt, die nicht automatisch verhindert werden können.

Typische Angriffspunkte bei Perl-Skripten

- Die Ausführung externer Kommandos (sei es durch `system` oder auch ganz einfach bei einer Pipeline mit `open`) ist grundsätzlich sehr gefährlich, wenn darauf Einfluß genommen werden kann:

  - Wenn bei auszuführenden Kommandos kein absoluter Pfadname angegeben wird, kann es "Überraschungen" durch eine manipulierte Umgebungsvariable `PATH` geben oder durch vorgeschobene Kommandos eines Angreifers, die weiter vorne im Pfad vor dem eigentlich gewünschten Kommando liegen.

  - Sowohl bei `open` als auch bei `system` sind beliebige Shell-Metazeichen zugelassen. Wenn eine Einflußmöglichkeit auf die Zeichenkette existiert, die der Shell übermittelt wird, ist es damit leicht möglich, ein Kommando des Angreifers einzufügen. Beliebt sind hierfür `` `evil command` `` und `;evil command`.

  - Die Shell trennt Kommandozeilen auf Basis der Umgebungsvariablen `IFS` auf. Wenn die z.B. auf den Schrägstrich gesetzt wird, dann wird aus einem absoluten Kommandonamen beispielsweise unerwartet das Kommando `usr`.

Typische Angriffspunkte bei Perl-Skripten

- Wenn Dateien zum Schreiben eröffnet werden, bestehen ebenfalls Risiken,
  - wenn der Dateiname in Abhängigkeit von Angaben eines Angreifers gewählt wird,
  - die zu kreierende Datei in einem vom Angreifer beeinflußbaren Verzeichnis liegt, oder
  - wenn der Dateiinhalt beeinflußt werden kann.
- Eine typische Falle kann hier die Mächtigkeit der Syntax bei Dateieröffnungen darstellen. Während `my $out = new IO::File $filename` recht harmlos aussieht, wird dies zum idealen Angriffspunkt, wenn beispielsweise `$filename` am Ende ein Pipeline-Zeichen erhalten kann oder wichtige Systemdateien (wie z.B. `/etc/passwd`) bedroht werden können.
- Selbst wenn auf `$filename` kein Einfluß ausgeübt werden kann, kann das Anlegen temporärer Dateien in öffentlichen Verzeichnissen (z.B. `/tmp`) zur tödlichen Falle werden, wenn dort der Angreifer zuvor einen symbolischen Verweis auf `/etc/passwd` für den zu erwartenden Dateinamen hinterließ.
- Natürlich sind auch viele weitere Systemaufrufe gefährlich wie z.B. `mkdir`, `chmod`, `chown` usw.

Typische Angriffspunkte bei Perl-Skripten

- Perl selbst ist zwar immun gegen den Hauptangriffspunkt bei in C geschriebenen Programmen auf Basis von Puffer-Überläufen, jedoch sind möglicherweise in C geschriebene Programme oder hinzugeladene Bibliotheken bedroht.
- Typische Fallen sind hier Umgebungsvariablen (z.B. `HOME`), die auf extrem lange Werte gesetzt werden und damit aufgerufene Shells zur Ausführung mit übergebenen Codes des Angreifers bringen können (diese Technik ist als *stack smashing* bekannt). Weitere Kandidaten sind die Umgebungsvariablen `USER` oder `LOGIN`, bei denen häufig naive Annahmen über deren maximale Länge gemacht wird.
- Weitere Probleme kann es mit (ansonsten durchgeprüften) Kommandozeilenargumente geben, die zu lang sind.
- Auch Eingaben, die über eine Pipeline an ein fremdes Programm erfolgen, können einen Angriffspunkt darstellen, wenn z.B. `gets` statt `fgets` auf der einlesenden Seite verwendet wird.
- Häufig werden solche Sicherheitsaspekte bei Hilfsprogrammen nicht beachtet, da sie alleine genommen kein Sicherheitsrisiko darstellen.

Generelle Abwehrtechniken

- Bei Skripten mit s-bit sind grundsätzlich alle Umgebungsvariablen mit äußerster Vorsicht zu behandeln, wenn irgendwelche Kommandos oder Pipelines gestartet werden. Insbesondere sind `PATH` und `IFS` neu zu setzen und alle anderen Umgebungsvariablen sollten in ihrer Länge begrenzt werden.

- Jedes `new IO::File` und jeder Aufruf von `system` sollten ganz genau daraufhin untersucht werden, inwieweit hier Abhängigkeiten von den Eingaben eines Angreifers vorliegen.

- Temporäre Dateien sollten in privaten Verzeichnissen angelegt werden, die für niemanden sonst zugänglich sind oder es sollte mit `O_EXCL` und `O_CREAT` gearbeitet werden (dies empfiehlt sich übrigens generell!).

- Generell sollte überprüft werden, welche Privilegien tatsächlich wie lange notwendig sind:

  - Es ist möglicherweise sinnvoll, den Prozeß (ggf. ab einem bestimmten Zeitpunkt) oder einen Kindprozeß unter einer chroot-Umgebung oder unter einer Benutzerberechtigung laufen zu lassen, die nur sehr wenig Rechte gibt.

  - Ein Prozeß, der mit der Außenwelt in Verbindung steht, kann unter sehr restriktiven Bedingungen laufen und alle gefährlichen Operationen an einen weiteren Prozeß mit normalen Privilegien delegieren. Diese Architektur wird z.B. von smtpd und smtpfwdd von Obtuse verwendet.

Taint-Modus von Perl

- Der Taint-Modus von Perl gibt eine Unterstützung bei der Ausführung des Perl-Skripts, die Benutzereingaben und andere Einflußmöglichkeiten verfolgt.

- Das Prinzip ist einfach: Alle Benutzereingaben und durch Benutzer einflußbaren Variablen sind kontaminiert. Wird eine Variable gesetzt in Abhängigkeit einer kontaminierten Variable, so wird sie selbst kontaminiert.

- Kontaminierte Variablen dürfen nicht verwendet werden, um bestimmte gefährliche Operationen durchzuführen.

- Der Modus wird durch “-T” auf der Kommandozeile oder implizit (durch das s-bit) eingeschaltet.

Kontaminierung von skalaren Variablen

- Folgendes wird von Anfang an als kontaminiert betrachtet:
  - alle Kommandozeilen-Argumente,
  - alle Umgebungs-Variablen,
  - Lokalitätsinformationen (*locale*),
  - Resultate einiger Systemaufrufe wie *readdir(2)* oder *readlink(2)*,
  - das *gecos*-Feld aus der Passwort-Datei (beim Zugriff über die `getpw*`-Prozeduren),
  - Resultate von `` `...` `` und
  - alle Eingaben (von Dateien, Netzwerkverbindungen oder anderen Kanälen).
- Eine Variable, die in Abhängigkeit einer kontaminierten Variable gesetzt wird, wird ebenfalls kontaminiert – selbst wenn die Operation garantiert ungefährlich ist (z.B. weil der ursprüngliche Wert nicht verändert wird).
- Die Kontaminierung ist nur mit einzelnen skalaren Werten verbunden und nicht mit größeren Datenstrukturen. So können bei einer Liste einige Elemente kontaminiert sein, während andere davon frei sind.

Dekontaminierung

```
#!/usr/local/bin/perl -T
# ...
my $filename = shift @ARGV; # tainted
unless ($filename =~ /^(\w+)$/) {
   die "Invalid filename: $filename\n";
}
$filename = $1; # no longer tainted
my $out = new IO::File $filename, "w"
   or die "Unable to open $filename: $!\n"
# ...
```

- Mit Klammern erfaßte Teile eines regulären Ausdrucks werden als frei von Kontaminierung betrachtet – selbst wenn die Zeichenkette, die dem regulären Ausdruck zugeführt wurde, kontaminiert ist.
- Damit ist es möglich, Zeichenketten nach einer Überprüfung gegen einen regulären Ausdruck normal zu verwenden.
- Natürlich muß darauf geachtet werden, daß dies nicht versehentlich geschieht.
- Wenn ein regulärer Ausdruck nicht der Sicherheitsüberprüfung dient und erkannte Teile davon verwendet werden, sollten sie ggf. als kontaminiert gekennzeichnet werden:

```
if ($address =~ /(.*)@(.*)/) {
   use Taint qw(taint);
   $user = $1; $domain = $2;
   if (tainted $address) {
      taint $user; taint $domain;
   }
}
```

Sicherheitsrelevante Operationen

- Folgende Operationen sind nicht zugelassen, wenn sie von einer kontaminierten Variable abhängen:
  - Kommandos, die direkt oder indirekt eine Shell aufrufen,
  - Operationen, die Dateien oder Verzeichnisse modifizieren,
  - Operationen, die Prozesse beeinflussen und
  - `eval`.
- Während es somit nicht möglich ist, eine Datei mit einem kontaminierten Namen zum Schreiben zu eröffnen, würde dies sehr wohl lesenderweise gehen, obwohl dies auch ein Risiko darstellen kann (z.B. bei `/etc/shadow`).
- Insofern ist es sehr sinnvoll, selbst bei kritischen Operationen mit Hilfe des `Taint`-Moduls zu überprüfen, ob Abhängigkeiten vorliegen:
  `croak "insecure operation" if tainted $var;`

Ausführung von Kommandos

- In Perl können Kommandos mit `exec()` oder `system()` zur Ausführung gebracht werden.
- Es empfiehlt sich dabei, den impliziten Einsatz der Shell zu vermeiden, da dies zur ungewollten Interpretation von Metazeichen führen kann.
- Der Verzicht auf die Shell kann erzwungen werden, wenn `exec()` oder `system()` in der folgenden Form verwendet werden:

  ```
  exec {'/bin/command'} '/bin/command', @args;
  ```

  Hierbei wird zuerst der Pfadname der auszuführenden Datei angegeben. Wenn der Pfadname nicht absolut ist, wird `$ENV{PATH}` verwendet, um die Datei zu finden. Dann folgen **ohne** Komma der Kommandoname, der an das Programm als `argv[0]` übergeben wird und die restlichen Argumente.
- Sowohl `exec()` als auch `system()` sind nicht zugelassen, solange `$ENV{PATH}` nicht auf einen nicht-kontaminierten Wert gesetzt worden ist.

Abschließende Tips

- Betrachten Sie *niemals* Ihre Software als wirklich sicher. Dieser Zustand ist genauso schwer zu erreichen wie 100%-ig fehlerfreie Software.
- Viele Techniken, die der Fehlerreduzierung dienen, lassen sich auch auf die Sicherheitsproblematik übertragen. So sind Audits beispielsweise sehr sinnvoll.
- Grundsätzlich empfiehlt es sich immer, die aktuelle Literatur und insbesondere die aktuellen Sicherheitshinweise zu lesen:
  - `perlsec`-Manualseite.
  - Diverse News-Gruppen, z.B. comp.security.misc, comp.security.unix und de.comp.security.
  - DFN-CERT: `http://www.cert.dfn.de/`
  - The World Wide Web Security FAQ `http://www.w3.org/Security/Faq/www-security-faq.html`
  - BUGTRAQ-Mailing-Liste: `http://www.securityfocus.com/archive/1` Webseite: `http://www.SECURITYFOCUS.COM/`
  - "Security Tips" bei der Dokumentation von Apache unter "www.apache.org".
  - "Web Security & Commerce" By Simson Garfinkel with Gene Spafford, 1st Edition June 1997, ISBN 1-56592-269-7

Netzdienste

- Wenn Dienste über das Netzwerk angeboten und in Anspruch genommen werden, ergeben sich viele Vorteile:
  - Der Dienst kann allen offenstehen und ein direkter Zugang zu dem Rechner, auf dem der Dienst angeboten wird, ist nicht notwendig.
  - Viele Parteien können in kooperativer Weise einen Dienst gleichzeitig nutzen.
  - Der Dienste-Anbieter hat weniger Last, da die Benutzerschnittstelle auf anderen Rechnern laufen kann.
- Andererseits bergen Netzdienste eine Reihe von Risiken und Problematiken:
  - Der Kreis derjenigen, die auf einen Netzdienst zugreifen können, ist möglicherweise ziemlich umfangreich (normalerweise das gesamte Internet).
  - Somit muß jeder Netzdienst Zugriffsberechtigungen einführen und überprüfen und kann sich dabei nicht wie traditionelle Applikationen auf die des Betriebssystems verlassen.
  - Dienste, die gleichzeitig von vielen genutzt werden können, haben vielerlei zusätzliche Konsistenz- und Synchronisierungsprobleme, für die nicht jede Art von Datenhaltung geeignet ist.
  - Netze bringen neue Arten von Ausfällen, wenn eine Netzwerkverbindung zusammenbricht oder es zu längeren "Hängern" kommt.

Netzwerke

- Es gibt eine unüberschaubare Vielfalt an Netzwerk-Hardware, Transport-Protokollen und Schnittstellen zu deren Benutzung. Einen exzellenten Überblick hierfür gibt das Standardwerk "Computer Networks" von Andrew S. Tanenbaum (Prentice Hall, Third Edition, 1996, ISBN 0-13-349945-6).
- Von praktischer Relevanz sind heute insbesondere die Transport-Protokolle des Internets (TCP/IP (verbindungsorientiert) und UDP (Vermittlung einzelner Pakete)).
- Hierfür gibt es im wesentlichen zwei Schnittstellen:
  - Berkeley Sockets, die mit BSD 4.2 im Jahr 1983 eingeführt worden sind und
  - TLI (*Transport Layer Interface*, auf Streams basierend), das mit UNIX System V Release 3.0 im Jahr 1987 verbreitet wurde.
- Durchgesetzt hat sich heute die Socket-Schnittstelle und sie ist auch diejenige, die von Perl bzw. den zugehörigen Bibliotheken unterstützt wird.

Berkeley Sockets

- Das Standardwerk über BSD 4.3 (*The Design and Implementation of the 4.3 BSD UNIX Operating System*, Samuel J. Leffler et al, Addison Wesley, 1989, ISBN 0-201-06196-1) nennt folgende Ziele:
  - **Transparenz**: Die Kommunikation zwischen zwei Prozessen soll nicht davon abhängen, ob sie auf dem gleichen Rechner laufen oder nicht.
  - **Effizienz**: Zu Zeiten von BSD 4.2 (also 1983) war dies ein außerordentlich wichtiges Kriterium wegen der damals noch sehr geringen Rechenleistung. Aus diesem Grund werden insbesondere keine weiteren System-Prozesse zur Kommunikation eingesetzt, obwohl dies zu mehr Flexibilität und Modularität hätte führen können.
  - **Kompatibilität**: Viele bestehende Applikationen und Bibliotheken wissen nichts von Netzwerken und sollen dennoch in einem verteilten Umfeld eingesetzt werden können. Dies wurde dadurch erreicht, daß nach einem erfolgten Verbindungsaufbau (der z.B. von einem anderen Prozeß durchgeführt werden kann) Ein- und Ausgabe in gewohnter Weise (wie bei Dateien, Pipelines oder Terminal-Verbindungen) erfolgen können.

Berkeley Sockets: Abstraktionen

Um den Anforderungen gerecht zu werden, wurden folgende Abstraktionen entwickelt:

- Die Abstraktion eines Kommunikationsbereiches macht es möglich, nicht nur TCP/IP zu unterstützen, sondern auch viele weitere Netzwerke (z.B. Appletalk, DECnet, IPX von Novell). Zu jedem Kommunikationsbereich gibt es unterschiedliche Namen (bzw. Adressen) für Kommunikationsendpunkte. Bei TCP/IP sind das die bekannten 32 Bit langen IP-Adressen (z.B. 134.60.166.1 für die Turing) kombiniert mit der Port-Nummer des einzelnen Dienstes (z.B. 25 für SMTP).
- Die Abstraktion eines Kommunikationsendpunktes (daher der Name "socket"), der mit der eines Dateideskriptors verbunden wird und über den eine bidirektionale Kommunikation möglich ist.
- Die Semantik einer Kommunikation.

Berkeley Sockets: Semantik

- Die Semantik einer Kommunikation umschließt bei jeder Verbindung eine Teilmenge der folgenden Punkte:

  1. Daten werden in der Reihenfolge empfangen, in der sie abgeschickt worden sind.
  2. Daten kommen nicht doppelt an.
  3. Daten werden zuverlässig übermittelt.
  4. Einzelne Pakete kommen in der originalen Form an (d.h. sie werden weder zerstückelt noch mit anderen Paketen kombiniert).
  5. Unterstützung für Nachrichten außerhalb des normalen Kommunikationsstromes (*out-of-band messages*).
  6. Verbindungs-orientierte Kommunikation (damit entfällt die Notwendigkeit, sich bei jedem Paket identifizieren zu müssen).

- Beispiele für unterstützte Varianten:

Name	1	2	3	4	5	6
`SOCK_STREAM`	⋆	⋆	⋆		⋆	⋆
`SOCK_DGRAM`				⋆		
`SOCK_SEQPACKET`	⋆	⋆	⋆	⋆	⋆	⋆
`SOCK_RDM`	⋆	⋆	⋆	⋆		

Berkeley Sockets: Verbindungsaufbau

`s = socket(domain, type, protocol)`
: Anlegen eines neuen Endpunktes: `type` legt die gewünschte Semantik fest innerhalb der Rahmen der Möglichkeiten des ausgewählten Kommunikationsbereiches `domain`. `protocol` kann zur Auswahl eines speziellen Protokolls genutzt werden (ist aber normalerweise 0 und überläßt dies der Implementierung).

`error = bind(s, addr, addrlen)`
: Verknüpfung eines Endpunktes mit einer Adresse `addr` (hängt von dem zuvor ausgewählten Kommunikationsbereich ab) von der Länge `addrlen`.

`error = listen(s, backlog)`
: Wird von einem Diensteanbieter aufgerufen, der auf eingehende Verbindungen wartet. `backlog` gibt die maximale Anzahl von Verbindungswünschen an, die das System zu einem Zeitpunkt akzeptiert.

`fd = accept(s, clientaddr, clientaddrlen)`
: Nachdem ein Verbindungswunsch eingetroffen ist und `listen` zurückkehrte, kann mit `accept` die Verbindung zum Klienten eröffnet werden. In der Variablen `clientaddr` wird die Adresse des Klienten abgelegt und `clientaddrlen` ist ein Zeiger auf die Größenangabe des Adressfeldes, das von `accept` aktualisiert wird.

`error = connect(s, serveraddr, serveraddrlen)`
: Hiermit kann ein Klient seinen Endpunkt mit dem eines Diensteanbieters verbinden.

Berkeley Sockets: Zeitansage

timeserver.c

```c
#include <netdb.h>
#include <netinet/in.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <strings.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/time.h>
#include <time.h>
#include <unistd.h>
#define PORT 11011
int main () {
   struct sockaddr_in address, client_addr;
   size_t client_addr_len = sizeof client_addr;
   int sfd, fd; int optval = 1;
   bzero(&address, sizeof(struct sockaddr_in));
   address.sin_family = AF_INET;
   address.sin_port = htons(PORT);
   if ((sfd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0 ||
         setsockopt(sfd, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR,
            &optval, sizeof optval) < 0 ||
         bind(sfd, (struct sockaddr *) &address,
               sizeof(struct sockaddr_in)) < 0 ||
         listen(sfd, SOMAXCONN) < 0) {
      perror("socket"); exit(1);
   }
   while ((fd = accept(sfd, (struct sockaddr *) &client_addr,
                       &client_addr_len)) >= 0) {
      char timebuf[32]; time_t clock; time(&clock);
      ctime_r(&clock, timebuf, sizeof timebuf);
      write(fd, timebuf, strlen(timebuf)); close(fd);
   }
}
```

Berkeley Sockets: Ein einfacher Klient

client.c

```
#include <netdb.h>
#include <netinet/in.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <strings.h>
#include <sys/socket.h>
#include <unistd.h>
#define PORT 11011
int main (int argc, char ** argv) {
   struct sockaddr_in addr; int fd;
   struct hostent * hp; char * hostname = argv[1];
   char buffer[BUFSIZ]; ssize_t nbytes;

   if ((hp = gethostbyname(hostname)) == NULL) {
      fprintf(stderr, "unknown host: %s\n", hostname);
      exit(1);
   }
   bzero(&addr, sizeof(struct sockaddr_in));
   addr.sin_family = AF_INET;
   bcopy(hp->h_addr, (void *) &addr.sin_addr, hp->h_length);
   addr.sin_port = htons(PORT);
   if ((fd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0)) < 0) {
      perror("socket"); exit(1);
   }
   if (connect(fd, (struct sockaddr *) &addr,
               sizeof addr) < 0) {
      perror("connect"); exit(1);
   }
   while((nbytes = read(fd, buffer, sizeof buffer)) > 0 &&
         write(1, buffer, nbytes) == nbytes);
   exit(0);
}
```


Berkeley Sockets: Hinweise

- Typischerweise wird (wie in dem vorangegangenen Beispiel) der Typ `SOCK_STREAM` bevorzugt. Zwar gibt es auch einige auf `SOCK_DGRAM` basierende Protokolle – jedoch hat die dadurch gewonnene Effizienz ihren Preis in dem zusätzlich erforderlichen Verwaltungsaufwand wegen der Unzuverlässigkeit.

- Im Gegensatz zu `SOCK_SEQPACKET` kommen bei `SOCK_STREAM` einzelne Pakete (also das, was mit einer `write`- oder `read`-Operation geschrieben bzw. gelesen wird) nicht in ihrer originalen Form an – die Implementierung ist frei, sie beliebig zu zerstückeln und zusammenzusetzen. Das erfordert auf der einlesenden Seite eine geschickte Pufferung.

- Wer fleißiger schreibt als der andere lesen kann (das kann auch an der Netzverbindung liegen), wird genauso schlafen gelegt wie eine Partei, die etwas lesen möchte, ohne daß im Augenblick etwas da ist.

- Wenn beide Parteien gleichzeitig lesen (oder genügend viel schreiben) gibt es dementsprechend einen Deadlock. Dies muß durch ein geeignetes Protokoll vermieden werden.

- Mit `select` (oder `poll`) ist es möglich, festzustellen, welche Verbindungen lese- oder schreibbereit sind. Außerdem gibt es einen nicht-blockierenden Modus, bei dem ein Prozeß dann einen Fehler zurückerhält, wenn er andernfalls blockiert worden wäre.

Socket-Schnittstelle bei Perl

timeserver1.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T

use strict;
use warnings;
use Socket;

my $port = 11011;

socket(SERVER, AF_INET, SOCK_STREAM, 0) ||
   die "Unable to create socket: $!\n";
setsockopt(SERVER, SOL_SOCKET, SO_REUSEADDR, pack("l", 1)) ||
   die "setsockopt failed: $!\n";
bind(SERVER, sockaddr_in($port, INADDR_ANY)) ||
   die "bind failed: $!\n";
listen(SERVER, SOMAXCONN) ||
   die "listen failed: $!\n";
while (defined(my $peer = accept(CLIENT, SERVER))) {
   print CLIENT scalar localtime, "\n";
   close(CLIENT);
}
```

- Prinzipiell stehen auch in Perl alle Systemaufrufe zur Verfügung und die beiden C-Programme können mehr oder weniger direkt übernommen werden.
- Das Modul `Socket` stellt all die zugehörigen Konstanten zur Verfügung wie `AF_INET`, `SOCK_STREAM` usw.
- Mit `pack` ist es möglich, binäre Datenfelder zu erzeugen. So liefert `pack("l", 1)` beispielsweise eine `1` als binäres Feld vom Datentyp `long` in C (daher "l").

Socket-Schnittstelle bei Perl

timeserver2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T
use strict;
use warnings;
use IO::Socket;

my $socket = new IO::Socket::INET (
   LocalPort => 11011, Type => SOCK_STREAM,
   Listen => SOMAXCONN, Reuse => 1,
);
die "Unable to setup socket: $!\n" unless defined $socket;
while (defined(my $conn = $socket->accept)) {
   print $conn scalar localtime, "\n";
   $conn->close;
}
```

- `IO::Socket` von Graham Barr bietet eine komfortablere Schnittstelle für den normalen Umgang mit Sockets und unterstützt sowohl TCP/IP und UDP (`IO::Socket::INET`) als auch UNIX-Domain-Sockets (`IO::Socket::UNIX`).
- Der Konstruktor in diesem Beispiel umfaßt vier Systemaufrufe: *socket(2)*, *bind(2)*, *listen(2)* und *setsockopt(2)*.
- Der `Listen`-Parameter geht an den `backlog`-Parameter von *listen(2)*.
- *setsockopt(2)* wird hier benötigt, um den `Reuse`-Parameter zu berücksichtigen. Normalerweise läßt sich eine verwendete Portnummer auch nach Beendigung des Dienstes erst nach Ablauf einer Wartefrist wiederverwenden. Wenn `Reuse` auf `1` gesetzt wird, ist dies dann sofort wieder möglich – und dies ist die normalerweise bevorzugte Variante.

Socket-Schnittstelle bei Perl

client2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl

use strict;
use warnings;
use IO::Socket;

my $hostname = shift @ARGV;

my $socket = new IO::Socket::INET (
   PeerAddr => $hostname, PeerPort => 11011,
   Type => SOCK_STREAM,
);
die "Unable to open connection: $!\n"
   unless defined $socket;

print while(<$socket>);
```

- Im Gegensatz zur Version in C entfällt hier die Notwendigkeit, einen Rechnernamen in eine IP-Adresse zu konvertieren.

- Im übrigen werden die Systemaufrufe *socket(2)* und *connect(2)* beide von dem Konstruktor übernommen.

Unterstützung paralleler Klienten-Zugriffe

- Das vorgestellte einfache Schema für einen Netzdienst in Perl läßt sich leider nicht ohne weiteres in den allgemeinen Fall überführen, bei dem wir beliebig viele Klienten parallel betreuen.

- Das Problem liegt darin, daß alle anderen Dialoge "hängen", wenn bei einem einzigen Klienten auf Eingabe oder die Möglichkeit, Rückmeldungen loszuwerden, gewartet wird.

- Zu diesem Problem gibt es bei Perl folgende Lösungen:

  - Für jeden Klienten wird ein neuer Prozeß gestartet. Nachteile: Nicht sehr effizient und Datenaustausch zwischen dem Hauptprozeß und den einzelnen Klienten-Prozessen ist nicht mehr trivial.

  - Grundsätzlich werden alle Systemaufrufe vermieden, die den Prozeß blockieren könnten. Ähnlich wie bei Tk gibt es dann eine zentrale Ereignis-Schleife, die für jedes Ereignis (z.B. "es gibt etwas von einem bestimmten Klienten zu lesen") einen zugehörigen Bearbeiter aufruft. Nachteile: Umständlicher Programmierstil und in Kombination mit bestimmten Bibliotheken (z.B. DBI/MySQL) nicht machbar.

  - Modernere UNIX-Versionen bieten Multi-Threading, d.h. mehrere parallel laufende Threads teilen sich einen Adreßraum. Nachteile: Unterstützung dafür bislang bei Perl nur experimentell und jede Menge Code ist noch nicht MT-safe.

Lösung mit mehreren Prozessen

motdserver.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T

use strict;
use warnings;
use Getopt::Std;
use IO::Dir;
use IO::File;
use IO::Socket;

my $cmdname = $0;
$cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname [-p port] messagedir\n";
my %opts = (); getopts('p:', \%opts);
my $port = 11014;
$port = $opts{p} if defined($opts{p});
die $usage unless @ARGV == 1;
my $dir = shift @ARGV;
die "$cmdname: no such directory: $dir\n" unless -d $dir;

tie my %dir, 'IO::Dir', $dir;
```

- Dieser einfache Netzdienst bietet die Möglichkeit, eine Reihe von Tagesmeldungen, die alle in einem gegebenen Verzeichnis liegen, abzurufen.
- Mit dem Modul `IO::Dir` ist es möglich, ein Verzeichnis als ein assoziatives Array zu betrachten.

Lösung mit mehreren Prozessen

motdserver.pl

```
my $socket = new IO::Socket::INET (
   LocalPort => $port, Type => SOCK_STREAM,
   Listen => SOMAXCONN, Reuse => 1,
);
die "Unable to setup socket: $!\n" unless defined $socket;

$SIG{CHLD} = sub { wait() };
```

- An das assoziative Array `%SIG` können Signalbearbeiter zugewiesen werden.
- Das Signal `CHLD` trifft ein, wenn ein Kindprozeß stirbt. Solange für einen terminierten Kindprozeß *wait(2)* nicht aufgerufen wird, belegt es einen Platz in der Prozeßtabelle (als sogenannter Zombie).
- Mit dem eingetragenen Bearbeiter `sub { wait() }` wird dafür gesorgt, daß dieses Schicksal für die Kindprozesse vermieden wird.

Lösung mit mehreren Prozessen

motdserver.pl

```
while (defined(my $handle = $socket->accept)) {
   my $pid;
   if (defined($pid = fork) && $pid == 0) {
      while ((defined(my $cmd = <$handle>))) {
         $cmd =~ s/\r?\n$//m;
         # process $cmd
      }
      $handle->close;
      exit(0);
   } else {
      $handle->close;
   }
}
```

- Für jeden neu hinzukommenden Klienten wird mit *fork(2)* ein neuer Prozeß erzeugt.
- `fork` liefert in Perl
  - `undef`, falls es nicht möglich war, einen neuen Prozeß zu kreieren,
  - 0 beim Kindprozeß und
  - die Prozeß-ID des Kindprozesses beim elterlichen Prozeß.
- Alle Daten und offenen Dateiverbindungen werden vererbt – jedoch nicht gemeinsam gehalten.
- Der Kindprozeß kann dann in Ruhe seinen Dialog durchführen, ohne die Dialoge mit den anderen Klienten zu behindern.

Lösung mit mehreren Prozessen

motdserver.pl

```
# process $cmd
if ($cmd =~ /^$/) {
   foreach my $entry (keys %dir) {
      next if $entry =~ /^\./;
      return_text($handle, $entry);
   }
   finish_text($handle);
} elsif ($cmd =~ /^[^.]/ && exists $dir{$cmd}) {
   my $in = new IO::File "$dir/$cmd";
   unless (defined($in)) {
      return_error($handle, "unable to read $cmd");
      next;
   }
   while(<$in>) {
      chomp;
      return_text($handle, $_);
   }
   finish_text($handle);
} else {
   return_error($handle, "unknown entry: $cmd");
}
```

- Bei einer leeren Zeile werden die Namen aller vorhandenen Dateien ausgegeben und
- bei der Angabe einer Datei wird der Inhalt übermittelt.

Lösung mit mehreren Prozessen

motdserver.pl

```
sub return_text {
   my ($handle, $text) = @_;
   print $handle "-" . $text . "\n";
}

sub finish_text {
   my ($handle) = @_;
   print $handle "OK\n";
}

sub return_error {
   my ($handle, $msg) = @_;
   print $handle "FAILED: $msg\n";
}
```

- Bei Netzwerk-Protokollen empfiehlt es sich,
  - klar Fehlermeldungen von regulären Ausgaben zu unterscheiden,
  - das Ende einer mehrzeiligen Antwort speziell zu markieren (analog zu "over" beim Funken) und
  - klar zwischen dem Fragenden (Klient) und dem Antwortenden (Diensteanbieter) zu unterscheiden, wobei jeder den anderen "ausreden" läßt, bevor etwas Neues gesagt wird.
- Diese Techniken erleichtern die Vermeidung gegenseitiger Blockaden von Klienten und Diensteanbietern.

Lösung mit einem Prozeß

```
turing$ telnet turing 11013
Trying 134.60.166.1...
Connected to turing.
Escape character is '^]'.
Your nickname, please.
Andreas
Andreas, you are welcome!
Andreas: has joined the channel.
Hallo zusammen, ist jemand da?
Andreas: Hallo zusammen, ist jemand da?
Robert: Hallo Andreas!
Wolfgang: Nett, Dich zu treffen, Andreas!
quit
Connection closed by foreign host.
turing$
```

- Eine (leider nicht sehr einfache) Lösung auf Basis nur eines Prozesses empfiehlt sich dann, wenn die einzelnen Dialoge mit den Klienten nicht unabhängig voneinander sind wie bei dem in diesem Beispiel vorgestellten Chat-Dämonen.
- Bei diesem Beispiel realisiert der Dämon einen Gesprächskanal, an dem beliebig viele Parteien gleichzeitig teilnehmen können. Jede Zeile, die jemand eintippt, wird an alle Teilnehmer zusammen mit dem Namen des Absenders weitergegeben.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T

use strict;
use warnings;
use Getopt::Std;
use IO::Select;
use IO::Socket;

my $cmdname = $0;
$cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname [-p port]\n";
my %opts = (); getopts('p:', \%opts);
my $port = 11013;
$port = $opts{p} if defined($opts{p});
die $usage unless @ARGV == 0;

my $socket = new IO::Socket::INET (
   LocalPort => $port, Type => SOCK_STREAM,
   Listen => SOMAXCONN, Reuse => 1,
);
die "Unable to setup socket: $!\n" unless defined $socket;
```

- Gestartet wird der Dämon nur ggf. mit der Angabe einer Portnummer, unter der sich die jeweilige Gesprächsrunde treffen soll.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
my %handler = (
   $socket => {
      read => \&new_participant,
      handle => $socket,
   },
);
my $read = new IO::Select;
$read->add($socket);
my $write = new IO::Select;
my %nickname = ();

while (my @sets = IO::Select->select($read, $write)) {
   foreach my $handle (@{$sets[0]}) {
      &{$handler{$handle}->{read}}($handle);
   }
   foreach my $handle (@{$sets[1]}) {
      &{$handler{$handle}->{write}}($handle);
   }
}
```

- `%handler` ist die zentrale Datenstruktur, die für jede offene Verbindung den aktuellen Status hält.

- Das Modul `IO::Select` unterstützt den Systemaufruf *select(2)*, der den Prozeß blockiert, bis eines von vielen Ereignissen in Zusammenhang mit offenen Verbindungen eintritt (oder ein Zeitlimit verstreicht).

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
while (my @sets = IO::Select->select($read, $write)) {
   foreach my $handle (@{$sets[0]}) {
      &{$handler{$handle}->{read}}($handle);
   }
   foreach my $handle (@{$sets[1]}) {
      &{$handler{$handle}->{write}}($handle);
   }
}
```

- `$read` und `$write` sind zwei Objekte von `IO::Select`, die jeweils eine Menge von offenen Verbindungen repräsentieren.
- `IO::Select->select` akzeptiert bis zu vier Parameter:
  - Eine Menge von Verbindungen, bei denen auf Eingabe gewartet wird,
  - eine Menge von Verbindungen, bei denen darauf gewartet wird, daß blockierungsfrei geschrieben werden kann,
  - eine Menge von Verbindungen, bei denen auf das Eintreten von Sonderbedingungen gewartet wird (z.B. *out-of-band* Daten) und
  - ein Zeitlimit.
- `IO::Select->select` liefert dann eine Liste von Zeigern auf Listen mit Verbindungen zurück, für die die Ereignisse eingetreten sind.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub new_participant {
   my $socket = shift;
   return unless defined (my $handle = $socket->accept);
   $read->add($handle);
   $write->add($handle);
   $handler{$handle} = {
      read => \&handle_read,
      readline => \&handle_line,
      write => \&handle_write,
      ibuf => "",
      obuf => ["Your nickname, please.\r\n"],
      nickname => "",
      handle => $handle,
   };
}
```

- `new_participant` wird von der zentralen Ereignis-Schleife aufgerufen als Bearbeiter für die zentrale Socket, wenn neue Verbindungen zum Chat-Dämon eröffnet werden.
- Mit `$read->add($handle)` wird `$handle` in die Menge `$read` aufgenommen.
- Folgende Komponenten gehören zu einer Verbindung in der Datenstruktur `%handler`:

`read`	Bearbeiter für Eingaben.
`readline`	Bearbeiter für vollständige Zeilen.
`write`	wird aufgerufen, wenn eine Zeile ausgegeben werden kann.
`ibuf`	Eingabepuffer.
`obuf`	Ausgabepuffer (Zeiger auf eine Liste mit einzelnen Zeilen).
`nickname`	Der Name des Teilnehmers.
`handle`	Die offene Netzverbindung.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub handle_write {
   my $handle = shift;
   my $handler = $handler{$handle};
   my $line = shift @{$handler->{obuf}};
   $write->remove($handle) unless @{$handler->{obuf}} > 0;
   unless (defined(syswrite($handle, $line,
         length($line)))) {
      quit($handle);
   }
}
```

- Eine offene Verbindung ist genau dann in der Menge `$write` mit dem zugehörigen Bearbeiter `handle_write` vertreten, wenn der Ausgabe-Puffer `obuf` nicht leer ist.
- Bei jedem Aufruf von `handle_write` wird genau eine Zeile ausgegeben. Hierfür wird `syswrite` verwendet, da dies direkt auf *write(2)* zurückgeht und ungepuffert ist.
- Wenn der Ausgabe-Puffer dabei geleert wird, dann wird die Verbindung aus der Menge `$write` entfernt.
- Dieser Lösung liegt die naive Annahme zugrunde, daß die Ausgabe einer Zeile immer blockierungsfrei klappen wird, obwohl nur ein Byte sicher geschrieben werden kann und die Länge der Zeilen nicht begrenzt ist.
- Besser wäre es, hier mit nicht-blockierender Ausgabe zu arbeiten – aber dann wäre auch die Eingabe nicht-blockierend, oder es müßte ständig hin- und hergeschaltet werden.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub handle_read {
   my $handle = shift;
   my $buffer = "";
   if (defined(sysread($handle, $buffer, 8192))) {
      my $handler = $handler{$handle};
      $handler->{ibuf} .= $buffer;
      if ($handler->{ibuf} =~ /^(.*\n)(.*)/s) {
         if ($1 =~ /^\r?\n$/) {
            &{$handler->{readline}}($handle, "");
         } else {
            foreach my $line (split /\r?\n/, $1) {
               &{$handler->{readline}}($handle, $line);
            }
         }
         $handler->{ibuf} = $2;
      }
   } else {
      quit($handle);
   }
}
```

- `handle_read` arbeitet mit `sysread`, das direkt auf *read(2)* zurückgeht, um die internen Eingabepuffer von Perl zu umgehen (*select(2)* funktioniert dafür nicht).
- *read(2)* bietet ferner das Entgegenkommen, auch dann weniger zurückzuliefern (nämlich genau das, was im Betriebssystemskern zur Verfügung steht), wenn mehr gefordert wird (hier: 8192 Bytes).

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
my $handler = $handler{$handle};
$handler->{ibuf} .= $buffer;
if ($handler->{ibuf} =~ /^(.*\n)(.*)/s) {
   if ($1 =~ /^\r?\n$/) {
      &{$handler->{readline}}($handle, "");
   } else {
      foreach my $line (split /\r?\n/, $1) {
         &{$handler->{readline}}($handle, $line);
      }
   }
   $handler->{ibuf} = $2;
}
```

- Da die Eingabe beliebig fragmentiert sein kann, können unvollständige Zeilen eintreffen oder mehrere Zeilen auf einmal.
- Deswegen wird das Eingelesene (abgelegt in `$buffer`) zuerst an `ibuf` gehängt und anschließend wird überprüft, ob mindestens eine vollständige Zeile damit vorliegt. Wenn ja, werden alle vollständigen Zeilen einzeln an den Bearbeiter, der bei `readline` eingetragen ist, weitergeleitet.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub handle_line {
   my ($handle, $line) = @_;
   my $handler = $handler{$handle};
   if ($line eq "quit" || $line eq "exit") {
      quit($handle);
   } elsif ($handler->{nickname} eq "") {
      $line =~ s/^\s+//;
      $line =~ s/\s+$//;
      if (defined($nickname{$line})) {
         send_msg($handle, "Nickname is in use. " .
            "Try another one.");
      } elsif ($line =~ /^\w+$/) {
         $handler->{nickname} = $line;
         $nickname{$line} = $handler;
         send_msg($handle, "$line, you are welcome!");
         broadcast($line, "has joined the channel.");
      } elsif ($line =~ /^$/) {
         send_msg($handle, "Your nickname, please.");
      } else {
         send_msg($handle, "Nicknames should be " .
            "alphanumeric, please.");
      }
   } else {
      broadcast($handler->{nickname}, $line);
   }
}
```

- Wenn die eingelesene Zeile kein Abschiedskommando ist und auch nicht der beim Anfangsdialog erwartete Name ist, dann wird er an alle Anwesenden mit `broadcast` weitergeleitet.

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub broadcast {
   my ($from, $line) = @_;
   foreach my $handle (keys %handler) {
      send_msg($handler{$handle}->{handle}, "$from: $line");
   }
}

sub send_msg {
   my ($handle, $line) = @_;
   my $handler = $handler{$handle};
   return unless defined $handler->{obuf};
   $write->add($handle) if @{$handler->{obuf}} == 0;
   push(@{$handler->{obuf}}, "$line\r\n");
}
```

- Bei einer Ausgabe an Klienten wird zunächst nur der entsprechende Ausgabe-Puffer ergänzt.
- Dabei ist darauf zu achten, daß die entsprechende Verbindung in die Menge `$write` aufgenommen wird, falls der Ausgabe-Puffer vorher leer war.
- Wenn Zeiger als Schlüssel in einem assoziativen Array verwendet werden (wie hier `$handle` bei `%handler`), dann liefert `keys %handler` keine verwertbaren Zeiger (Restriktion von Perl).

Lösung mit einem Prozeß

chatserver.pl

```
sub quit {
   my $handle = shift;
   my $handler = $handler{$handle};
   $read->remove($handle);
   $write->remove($handle) if @{$handler->{obuf}} > 0;
   delete $handler{$handle};
   delete $nickname{$handler->{nickname}};
   $handle->close;
   broadcast($handler->{nickname}, "has left.")
      if $handler->{nickname} ne "";
}
```

- Wenn irgendwelche Fehler auftreten oder eine Verbindung beendet wird, dann räumt `quit` auf.

Webschnittstelle

- HTTP (Hypertext Transfer Protocol) ist die Basis des WWW (World Wide Web — oder auch kurz Web).
- HTTP ist seit 1989 in Benutzung und wurde zunächst von Tim Berners-Lee bei CERN (Europäisches Kernforschungszentrum in der Schweiz) entwickelt.
- In Dezember 1991 gab es eine erste öffentliche Demonstration auf der Hypertext'91-Konferenz in San Antonio, Texas.
- In größerem Rahmen bekannt wurde HTTP 1993 mit der ersten Dokumentation und dem ersten graphischen Klienten Mosaic (entwickelt u.a. von Marc Andreessen am NCSA, dem National Center for Supercomputer Applications, an der University of Illinois).
- Über HTTP können unter anderen Dokumente von einem Webserver abgerufen werden. Vielfach sind Dokumente in HTML (Hypertext Markup Language, wurde in Anlehnung an SGML ebenfalls in der ersten Fassung von Tim Berners-Lee entwickelt) – genauso können aber auch Bilder, PostScript-Texte oder einfache Texte zurückgeliefert werden.

Ein erster Versuch mit HTTP

```
thales$ telnet www.mathematik.uni-ulm.de 80
Trying 134.60.66.5...
Connected to thales.mathematik.uni-ulm.de.
Escape character is '^]'.
GET /
<HTML>
[...]
<HEAD>
<TITLE>Fakult&auml;t f&uuml;r Mathematik
und Wirtschaftswissenschaften</TITLE>
</HEAD>
<BODY>
[... zahlreiche Zeilen herausgenommen ...]
<HR>
<ADDRESS><A HREF="/fak/admin/">Web-Administration</A>,
zuletzt aktualisiert am 02. Dezember 1999</ADDRESS>
[...]
</BODY>
</HTML>
Connection closed by foreign host.
thales$
```

- Die Idee des HTTP-Protokolls ist recht einfach: Mit **GET** wird ein (zum Webserver lokaler) Pfad einer Ressource (typischerweise eine Datei) angegeben, worauf der Webserver im Erfolgsfalle sofort mit dem Inhalt antwortet.
- Nach einer Anforderung und der Übermittlung der Antwort wird die TCP/IP-Verbindung geschlossen.
- Dies entspricht dem HTTP-Protokoll in der Version 0.9. Problem: Welcher Art ist der Text, der zurückgeschickt wird?

HTTP mit Attributen

```
thales$ telnet www.mathematik.uni-ulm.de 80
Trying 134.60.66.5...
Connected to thales.mathematik.uni-ulm.de.
Escape character is '^]'.
GET / HTTP/1.0

HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 09 Jan 2000 16:24:14 GMT
Server: Apache/1.3.0 (Unix)
Vary: accept-language
Last-Modified: Thu, 02 Dec 1999 19:20:50 GMT
ETag: "15311d-10a3-3846c692"
Accept-Ranges: bytes
Content-Length: 4259
Connection: close
Content-Type: text/html
Content-Language: de
Expires: Sun, 09 Jan 2000 16:24:14 GMT

<HTML>
[... weiterer HTML-Text ...]
</HTML>
Connection closed by foreign host.
thales$
```

- Bei HTTP 1.0 (und späteren Versionen) wird bei der Anfrage nicht nur die HTTP-Anweisung (hier **GET**) übermittelt, sondern es besteht auch noch die Möglichkeit, Attribute (insbesondere zur Spezifikation von Präferenzen) zu übermitteln. Beendet wird dies durch eine Leerzeile.

- Die Antwort besteht dann ebenfalls aus Attributen, (wobei hier insbesondere *Content-Type* relevant ist), die von dem eigentlichen Inhalt wiederum durch eine Leerzeile getrennt ist.

HTTP-Anfragen

- Neben **GET** gibt es eine Reihe weiterer Anfragen bei HTTP (siehe RFC 1945):

GET	Abfrage ohne Seiteneffekte
HEAD	Äquivalent zu **GET**, jedoch darf kein Textinhalt zurückgeliefert werden (nur die Attribute)
POST	Übermittlung von Daten an eine Ressource (Seiteneffekte sind zulässig)

- Darüber hinaus können folgende Anfragen unterstützt werden, um über HTTP das Angebot eines Webservers zu ändern:

PUT	Installierung einer neuen Ressource
DELETE	Entfernung einer Ressource

Adressen von Ressourcen im Internet

- Mit den RFCs 1630 und 1738 (aus dem Jahr 1994) wurde eine erweiterbare Form der Adressierung von Ressourcen, genannt URIs (Uniform Resource Indicators), im standardisiert.

- URIs bestehen aus zwei Teilen: Dem Schema (z.B. “http”) und einem schema-spezifischen Teil, die durch einen Doppelpunkt voneinander getrennt werden.

- URLs (Uniform Resource Locators) sind URIs, die die vollständige Zugriffsinformation spezifizieren (Rechneradresse, Portnummer, zu übergebende Parameter).

- In vielen Fällen folgen die schema-spezifischen Teile folgendem Muster:

  //<user>:<password>@<host>:<port>/<url-path>

user	Benutzername (optional)
password	Passwort (optional)
host	Rechnername oder IP-Adresse
port	Port-Nummer (optional)
url-path	Pfadname (optional)

- Beim HTTP-Protokoll wird nur der Pfadname bei **GET** übergeben (Benutzername und Passwort sind hier in der URL nicht zulässig).

- Sonderzeichen sind in URLs durch ein “von der einer Hexdarstellung des Zeichens, zu kodieren.

Web-Adressen

- Web-Adressen folgen laut RFC 1738 dem Schema
  http://<host>:<port>/<path>?<searchpart>

- Wie beim allgemeinen Muster ist die Port-Nummer optional (Voreinstellung ist 80).

- Optional können hinter dem Pfad (also nach Spezifikation der Ressource) Parameter übergeben werden – z.B. Begriffe für eine Suchmaschine.

- Bei Verwendung von mehreren benannten Parametern sind diese in der Form <parameter>=<value> anzugeben, wobei “&” als Trenner verwendet wird.

Dynamisch generierte Webseiten

- Idee: Statt den statischen Inhalt einer Datei zurückzuliefern, könnte ein Webserver ein Programm die Antwort auf eine Anfrage generieren lassen.
- Problem: Wie werden die URL und die übrigen Parameter an das Programm übermittelt?
- Beim CGI (Common Gateway Interface) wird alles notwendige über Umgebungsvariablen (und bei Verwendung von **POST**) zusätzlich über die Standardeingabe übermittelt.
- Typischerweise wird dann die Ausgabe des Programmes vom Webserver übernommen und in eine vollständige Rückantwort im Rahmen des HTTP-Protokolls eingebettet.
- Alternativ kann auch Programmtext in zurückzuliefernde Dateien eingebettet werden, der vom Webserver selbst interpretiert wird (SSI, PHP und viele andere in HTML eingebette Sprachen sind recht populär).

Ein CGI-Testprogramm

testcgi.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T
use strict;
use warnings;

print "Content-Type: text/html\n\n";
print "<HTML><BODY><H1>Testseite</H1>\n<PRE>\n";
foreach my $param (keys %ENV) {
   print "$param = ", $ENV{$param}, "\n";
}
print "</PRE>\n";

my $nofbytes = $ENV{'CONTENT_LENGTH'};
if (defined $nofbytes) {
   my $input;
   read STDIN, $input, $nofbytes;
   print "<P>Got following input:<P>\n<PRE>\n";
   print $input;
   print "</PRE>\n";
}
print "\n</HTML>\n";
```

- Wenn die Umgebungsvariable **CONTENT-LENGTH** gesetzt ist, wurden per **POST** Daten übermittelt, die über die Standardeingabe zur Verfügung stehen.

Test mit GET

```
thales$ telnet thales 80
Trying 134.60.66.5...
Connected to thales.
Escape character is '^]'.
GET /cgi-bin/testcgi.pl?foo=bar&blubber=blaeh HTTP/1.0

HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 09 Jan 2000 23:00:15 GMT
Server: Apache/1.3.0 (Unix)
Connection: close
Content-Type: text/html

<HTML><BODY><H1>Testseite</H1>
<PRE>
REMOTE_PORT = 45880
SERVER_SOFTWARE = Apache/1.3.0 (Unix)
GATEWAY_INTERFACE = CGI/1.1
DOCUMENT_ROOT = /www/thales/www/htdocs
SCRIPT_NAME = /cgi-bin/testcgi.pl
SCRIPT_FILENAME = /www/thales/www/cgi-bin/testcgi.pl
REMOTE_ADDR = 134.60.66.5
SERVER_NAME = www.mathematik.uni-ulm.de
REQUEST_URI = /cgi-bin/testcgi.pl?foo=bar&blubber=blaeh
SERVER_PROTOCOL = HTTP/1.0
REQUEST_METHOD = GET
SERVER_PORT = 80
QUERY_STRING = foo=bar&blubber=blaeh
PATH = /usr/sbin:/usr/bin
TZ = MET
SERVER_ADMIN = borchert@mathematik.uni-ulm.de
</PRE>

</HTML>
Connection closed by foreign host.
thales$
```


Test mit POST

- Zuerst wird die Anfrage vollständig übermittelt: Nach der Angabe von **POST**, der URL und der zugehörigen Attribute kommt der durch eine Leerzeile getrennte Text. Die Länge des zu übermittelten Textes muß mit dem Attribut `Content-Length` zuvor spezifiziert werden.

```
thales$ telnet thales 80
Trying 134.60.66.5...
Connected to thales.
Escape character is '^]'.
POST /cgi-bin/testcgi.pl HTTP/1.0
Content-Type: text/plain
Content-Length: 21

Dies ist eine Demo!
```

- Die Antwort gleicht dem vorherigen Test, abgesehen davon, daß `testcgi.pl` nun auch den übermittelten Text auswertet.

Test mit POST

```
HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 09 Jan 2000 23:20:41 GMT
Server: Apache/1.3.0 (Unix)
Connection: close
Content-Type: text/html

<HTML><BODY><H1>Testseite</H1>
<PRE>
REMOTE_PORT = 46300
SERVER_SOFTWARE = Apache/1.3.0 (Unix)
GATEWAY_INTERFACE = CGI/1.1
DOCUMENT_ROOT = /www/thales/www/htdocs
SCRIPT_NAME = /cgi-bin/testcgi.pl
SCRIPT_FILENAME = /www/thales/www/cgi-bin/testcgi.pl
REMOTE_ADDR = 134.60.66.5
SERVER_NAME = www.mathematik.uni-ulm.de
REQUEST_URI = /cgi-bin/testcgi.pl
SERVER_PROTOCOL = HTTP/1.0
REQUEST_METHOD = POST
SERVER_PORT = 80
QUERY_STRING =
CONTENT_TYPE = text/plain
CONTENT_LENGTH = 21
PATH = /usr/sbin:/usr/bin
TZ = MET
SERVER_ADMIN = borchert@mathematik.uni-ulm.de
</PRE>
<P>Got following input:<P>
<PRE>
Dies ist eine Demo!
</PRE>

</HTML>
```


Formulare in HTML

form.html

```
<HTML>
<HEAD><TITLE>Formulartest</TITLE><HEAD>
<BODY><H1>Formulartest</H1>
<FORM METHOD="POST" ACTION="/cgi-bin/testcgi.pl">
<INPUT TYPE=HIDDEN NAME="foo" VALUE="bar">
<INPUT TYPE=TEXT SIZE="60" NAME="blubber" VALUE="blaeh">
<INPUT TYPE=SUBMIT VALUE="Abschicken">
</FORM>
</BODY>
</HTML>
```

- HTML unterstützt Formulare mit einer reichen Auswahl von möglichen Eingabe-Varianten, bei denen Parameternamen mit Parameterwerten verknüpft werden, die (mit Ausnahme vom Typ HIDDEN) vom Benutzer editierbar sind.
- Als Übergabemethode ist sowohl **GET** als auch **POST** zulässig.
- Wenn **POST** verwendet wird, wird als `Content-Type` normalerweise `application/x-www-form-urlencoded` verwendet, bei der die gleiche Kodierung wie bei URLs zum Einsatz kommt.
- Die folgende Seite zeigt die in ASCII konvertierte Ausgabe von testcgi.pl, wobei überlange Zeilen gekürzt wurden.

Formulare in HTML

```
Testseite

SERVER_SOFTWARE = Apache/1.3.0 (Unix)
GATEWAY_INTERFACE = CGI/1.1
DOCUMENT_ROOT = /www/thales/www/htdocs
REMOTE_ADDR = 134.60.8.88
SERVER_PROTOCOL = HTTP/1.0
REQUEST_METHOD = POST
HTTP_REFERER = http://www.mathematik.uni-ulm.de/[...]
QUERY_STRING =
HTTP_USER_AGENT = Mozilla/4.04 [en] ([...])
PATH = /usr/sbin:/usr/bin
TZ = MET
HTTP_CONNECTION = Keep-Alive
HTTP_ACCEPT = image/gif, image/x-xbitmap, [...]
REMOTE_PORT = 36154
HTTP_ACCEPT_LANGUAGE = en
SCRIPT_NAME = /cgi-bin/testcgi.pl
SCRIPT_FILENAME = /www/thales/www/cgi-bin/testcgi.pl
SERVER_NAME = www.mathematik.uni-ulm.de
REQUEST_URI = /cgi-bin/testcgi.pl
HTTP_ACCEPT_CHARSET = iso-8859-1,*,utf-8
SERVER_PORT = 80
CONTENT_TYPE = application/x-www-form-urlencoded
CONTENT_LENGTH = 21
HTTP_HOST = www.mathematik.uni-ulm.de
SERVER_ADMIN = borchert@mathematik.uni-ulm.de

Got following input:

foo=bar&blubber=blaeh
```


Das CGI-Modul

- Das Modul `CGI` von Lincoln Stein ist relativ verbreitet, wird auf allen Plattformen von Perl unterstützt und ist recht populär.
- Das Modul setzt sich zum Ziel, daß die Generierung eines Web-Formulars und die Bearbeitung desselben in einem Skript erfolgt. Das stellt sicher, daß beides nicht getrennt gepflegt werden muß.
- Typischerweise werden eine ganze Reihe zusammenhängender dynamischer Seiten durch ein einziges Skript erzeugt, das in Abhängigkeit von den Parametern und ggf. einem Sitzungs-Zustand die Art der zu erzeugenden Seite auswählt.
- Es gibt auch Alternativen, z.B. `CGI_Lite` von Shishir Gundavaram.

Such-Index für E-Mail-Adressen

- Wir haben zur Zeit über 3.000 Benutzer auf den Suns der Mathematik registriert und setzen werktäglich ca. 50.000 E-Mails um. Entsprechend gibt es Bedarf nach einer effizienten Suchmöglichkeit für E-Mail-Adressen.
- Die Suche soll über den natürlichen Namen (oder Teile davon) oder den Benutzernamen möglich sein.
- Die dafür notwendigen Daten sind bei uns in zwei NIS-Tabellen: passwd (Benutzername, natürlicher Name) und mail.aliases: (E-Mail-Adresse, Weiterleitung).
- So sehen beispielsweise meine Einträge aus: In passwd:
  `borchert:x:120:200:Andreas Borchert:/home/thales/borchert:/bin/sh`
  In mail.aliases:
  `Andreas.Borchert: borchert`
  `borchert: borchert@thales`
- Beide Tabellen zusammen belegen etwa ein halbes Megabyte und müssten jeweils zum vollständigen Durchsuchen über das Netzwerk bezogen werden.
- Da dies zu aufwendig ist, lohnt es sich, spezielle Indizes (auf Basis von DBM-Dateien) lokal regelmäßig zu erzeugen, um eine effiziente Suche zu ermöglichen.
- Die folgende Lösung ist seit mehreren Jahren unter
  `http://www.mathematik.uni-ulm.de/cgi-bin/email`
  im Einsatz.

Such-Index für E-Mail-Adressen

- Aus den beiden NIS-Tabellen passwd und mail.aliases läßt sich eine Tabelle erzeugen mit jeweils einer gültigen E-Mail-Adresse und dem zugehörigen vollen Namen (soweit bekannt – es gibt auch E-Mail-Adressen bei uns ohne einen zugehörigen Zugang).
- Daraus werden zwei DBM-Dateien (auf Basis der Berkeley DB) erzeugt:

`byFullName.db`	indiziert nach dem vollen Namen, als Wert jeweils die zugehörige E-Mail-Adresse
`byKey.db`	indiziert nach Namensteilen (Vornamen, Nachnamen), als Wert die Liste der zugehörigen vollen Namen

- Das CGI-Skript überprüft dann, ob ein vorgegebener Suchbegriff entweder ein bekannter Namensteil (Tabelle `byKey.db`) oder vollständiger Name (Tabelle `byFullName.db`) ist oder einen bekannten Namensteil enthält und liefert dann die Liste der zugeörigen E-Mail-Adressen (mit Hilfe der Tabelle `byFullName.db`) zurück.

Erzeugung der Indizes

createmaildb.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -w

use DB_File;
use IO::File;
use Fcntl;
use strict;

my $sep = ":"; # separator in keyword index

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname\n";
die $usage unless @ARGV == 0;

my %pwnames = (); # set by load_passwd, used by load_aliases
my @aliases = (load_passwd(), load_aliases());

my %fullname;
tie(%fullname, 'DB_File', "byFullName.db",
   O_RDWR|O_CREAT|O_TRUNC, 0660, $DB_HASH);
foreach my $alias (@aliases) {
   $fullname{$alias->{fullname}} = $alias->{email};
}
untie %fullname;
```

- Sowohl `load_passwd()` als auch `load_aliases()` liefern Einträge mit jeweils einem vollen Namen (Komponente *fullname*) und der zugehörigen E-Mail-Adresse (Komponente *email*).
- Die Tabelle `byFullname.db` läßt sich direkt daraus generieren.

createmaildb.pl

```
my %entries = ();
foreach my $alias (@aliases) {
   add($alias->{email}, $alias->{fullname});
   foreach my $name (split /\s/, $alias->{fullname}) {
      add($name, $alias->{fullname});
      if (lc($name) ne $name) {
         add(lc($name), $alias->{fullname});
      }
   }
}

my %keyword;
tie(%keyword, 'DB_File', "byKey.db",
   O_RDWR|O_CREAT|O_TRUNC, 0660, $DB_HASH);
foreach my $key (keys %entries) {
   eval {
      $keyword{$key} = join($sep, keys %{$entries{$key}});
   };
   print "Error: $@\n" if $@;
}
untie %keyword;

sub add {
   my ($key, $fullname) = @_;
   ${$entries{$key}}{$fullname} = 1;
}
```

- Da bei populären Namen Listen von zugehörigen vollen Namen ziemlich lange werden können, wurde die entsprechende Zeile, die solche Einträge in die DBM-Datei einfügt, durch ein `eval` geschützt. Bei einer Berkeley DB müßte es normalerweise klappen – aber bei anderen DBM-Dateien nicht unbedingt.

Erzeugung der Indizes

createmaildb.pl

```
sub load_passwd {
   my @aliases = ();
   my $passwd = new IO::File "ypcat passwd |";
   die "$cmdname: unable to process passwd table: $!"
      unless defined $passwd;
   while (<$passwd>) {
      my @entry = split/:/;
      next unless $entry[2] >= 100;
      my $email = $entry[0];
      my @name = split(/\s+/, $entry[4]);
      next unless @name >= 2;
      my $fullname = join(" ", @name);
      push(@aliases, {
         'fullname' => $fullname,
         'email' => $email,
      });
      $pwnames{$email} = $fullname;
   }
   $passwd->close;
   return @aliases;
}
```

- `load_passwd` wertet die passwd-Tabelle aus. Im Feld 0 steht der Benutzername, der bei uns immer eine gültige E-Mail-Adresse ist, und in Feld 4 ist der vollständige natürliche Name zu finden (jedoch mit Umlauten in Ersatzdarstellung).

Erzeugung der Indizes

createmaildb.pl

```
sub load_aliases {
   my @aliases = ();
   my $aliases = new IO::File "ypcat -k mail.aliases |";
   die "$cmdname: unable to process mail.aliases table: $!"
      unless defined $aliases;
   while(<$aliases>) {
      chomp;
      s/\s*,\s*/,/g;
      my ($key, $list) = split /\s+/;
      next unless $key =~ /\./;
      my @list = split(/,/, $list);
      next unless @list == 1;
      next if defined $pwnames{$list};
      my $name = $key; $name =~ s/\./ /g;
      $name =~ s/(^|[ -])([a-z])/$1\u$2/g;
      my @name = split(/ /, $name);
      my $fullname = join(" ", @name);
      push(@aliases, {
         'fullname' => $fullname, 'email' => $key,
      });
   }
   $aliases->close;
   return @aliases;
}
```

- `load_aliases` wertet die Tabelle mail.aliases aus. Im Feld 0 steht die E-Mail-Adresse, im Feld 1 die Adresse, an die entsprechende E-Mails weiterzuleiten sind. Gesucht sind hier Alias-Namen, die einem vollem Namen entsprechen (also mit Punkten separiert sind).

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -Tw
#----------------------------------------------------
# cgi-bin-Skript fuer die Suche nach E-Mail-Adressen
# afb 4/97
#----------------------------------------------------

use CGI;
use DB_File;
use Fcntl;
use strict;

my $dbdir = "/www/thales/www/src/email";
my $domain = "\@mathematik.uni-ulm.de";
my $admin = "postmaster$domain";

my $hinweise = <<'ENDE_DER_HINWEISE';
Dieser Zugang erlaubt die Suche nach E-Mail-Adressen von
Benutzern der Rechner der <A HREF="/">Fakult&auml;t
f&uuml;r Mathematik und Wirtschaftswissenschaften</A>. Zu
den Benutzern geh&ouml;ren alle Fakult&auml;tsmitglieder
einschlie&szlig;lich der Studenten und G&auml;ste. Bitte
geben Sie den Vor- und/oder Nachnamen ein.
<P>
ENDE_DER_HINWEISE
```

- CGI-Skripte sollten aus Sicherheitsgründen immer im Tainted-Mode (Option `T`) laufen und mit Warnungen und unter Verwendung von `use strict` operieren.
- Die beiden Indizes leben bei uns auf der Thales unter `$dbdir`.

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
my $p = new CGI;

if ($p->param && $p->param('keys')) {
   # Suche durchfuehren und Ergebnis ausgeben
} else {
   print_header("Suche nach einer E-Mail-Adresse");
   print $hinweise;
}
print_form();
print "<HR>\n";
print qq(<ADDRESS><A HREF="/">Fakult&auml;t f&uuml;r
Mathematik und Wirtschaftswissenschaften der
Universit&auml;t Ulm</A>,
<A HREF="mailto:$admin">$admin</A></ADDRESS>\n);
print $p->end_html;
```

- `new CGI` liefert ein Objekt, über das die CGI-Methoden zur Verfügung stehen.
- `$p->param` liefert eine Liste der Parameternamen aus der URL oder dem ausgefüllten Formular. Wenn noch nichts vorliegt, ist diese Liste leer.
- `$p->param('keys')` liefert den Wert des Parameter `keys`. Dies ist der einzige Parameter in diesem Beispiel.
- In jedem Falle wird ein Formular mit `print_form` erzeugt.

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
sub print_header {
   my $title = shift;
   print $p->header;
   print $p->start_html(
      -Title => $title,
      -Author => $admin,
   );
   print $p->h1($title);
}

sub print_form {
   print $p->start_form;
   print $p->textfield(-name => 'keys');
   print $p->submit(-name => 'Suchen');
   print $p->end_form;
}
```

- Das CGI-Modul liefert eine Vielzahl von Operationen zur Generierung des HTTP-Kopfes (Methode `header`) und von HTML.
- Formulare werden mit `start_form` und `end_form` eingegrenzt, innerhalb dessen können eine Reihe von Eingabefelder generiert werden (hier nur ein `textfield`) und ein Knopf zum Abschicken sollte auch dabei sein (`submit`).
- Mit `-name => 'keys'` wird der Parametername eines Eingabefeldes bestimmt. Per Voreinstellung ist dieses Feld leer oder, falls bereits Parameterwerte vorliegen, wird es mit dem alten Wert gefüllt.
- Auf diese Weise können Benutzer solcher CGI-Skripte Tippfehler korrigieren, ohne den Weg zurück suchen zu müssen.

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
my %fullname; my %keyword;
tie(%fullname, 'DB_File', "$dbdir/byFullName.db", O_RDONLY);
tie(%keyword, 'DB_File', "$dbdir/byKey.db", O_RDONLY);

my $key = $p->param('keys');
$key =~ s/,//g;
$key =~ s/\s+/ /g;
$key =~ s/^\s+//;
$key =~ s/\s+$//;
$key = umlaute2asc($key);
my @names = ();
if (defined $keyword{$key}) {
   @names = split /:/, $keyword{$key};
} elsif (defined $fullname{$key}) {
   @names = ($key);
} else {
   # Suche nach Namen, die eine Obermenge der
   # uebergebenen Namenskomponenten darstellen
}
```

- Wenn der Parameter `keys` vorliegt, werden beide DBM-Dateien mit `tie` eröffnet.
- Nachdem überflüssige Leerzeichen und Kommata entfernt und Umlaute in Ersatznotation konvertiert worden sind, wird untersucht, ob der ganze Suchbegriff als
  - Namensteil oder
  - vollständiger Name oder
  - Namens-Teilmenge eines vollständigen Namens

  bekannt ist.

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
my @keys = ();
foreach my $key (split /\s/, $key) {
   if (defined $keyword{$key}) {
      push(@keys, $key);
   } else {
      @keys = (); last;
   }
}
if (@keys == 0) {
   @names = ();
} else {
   my %names = ();
   foreach my $key (@keys) {
      foreach my $name (split /:/, $keyword{$key}) {
         if (defined $names{$name}) {
            $names{$name} ++;
         } else {
            $names{$name} = 1;
         }
      }
   }
   @names = ();
   foreach my $name (keys %names) {
      push(@names, $name) if $names{$name} == @keys;
   }
}
```

- Dieser Programmtext filtert alle vollständigen Namen heraus, die eine Obermenge der angegebenen Namensteile bilden.

Das suchende CGI-Skript

email.pl

```
if (@names > 1) {
   print_header("Gefundene E-Mail-Adressen");
   print "Folgende E-Mail-Adressen wurden gefunden:\n<P>\n";
   print "<TABLE BORDER=3>\n";
   foreach my $name (sort byLastName @names) {
      my $address = $fullname{$name} . $domain;
      print "<TR><TD>$name</TD><TD>";
      print qq(<A HREF="mailto:$address">$address</A>);
      print "</TD></TR>\n";
   }
   print "</TABLE>\n<HR>\n";
} elsif (@names > 0) {
   print_header("Gefundene E-Mail-Adresse");
   print "Folgende E-Mail-Adresse wurde gefunden:\n<P>\n";
   my $name = $names[0];
   my $address = $fullname{$name} . $domain;
   print "<TABLE>\n";
   print "<TR><TD>Name:</TD><TD>$name</TD></TR>\n";
   print "<TR><TD>Adresse:</TD>";
   print qq(<TD><A HREF="mailto:$address">$address</A></TD>);
   print "</TR></TABLE><HR>\n";
} else {
   print_header("Leider nichts gefunden");
   print "Bitte probieren Sie es erneut:\n<P>\n";
}
```

- In `@names` hinterließ das suchende Programmteil die Liste der gefundenen vollständigen Namen, die unter Verwendung von `%fullname` in E-Mail-Adressen abgebildet werden können.

CGI im Überblick

`use CGI;`	CGI importieren
`my $cgi = new CGI;`	CGI-Objekt erzeugen
`my @params = $cgi->param();`	liefert die Liste der Parameternamen
`my $value = $cgi->param($name);`	den Wert eines Parameters abfragen
`my $url = $cgi->url();`	eigene URL ermitteln
`print $cgi->header;`	HTTP-Kopf ausgeben
`print $cgi->start_html($title);`	HTML-Kopf mitsamt Titel ausgeben
`print $cgi->h1($title);`	Überschrift ausgeben
`print $cgi->hr;`	Querstrich ausgeben
`print $cgi->end_html;`	HTML abschließen

CGI im Überblick

`print $cgi->start_form;`	Formular beginnen
`print $cgi->textfield(-name => $name);`	Textfeld ausgeben
`print $cgi->password_field(-name => $name);`	Passwortfeld
`print $cgi->popup_menu(-name => $name, -values => \@values);`	Popup-Menu
`print $cgi->scrolling_list(-name => $name, -values => \@values, -multiple => 'true');`	Liste mit Scroll-Bar
`print $cgi->checkbox_group(-name => $name, -values => \@values, -rows => 2, -columns => 2);`	Tabelle mit ankreuzbaren Feldern
`print $cgi->checkbox(-name => $name)`	Einzelnes ankreuzbares Feld
`print $cgi->radio_group(-name => $name, -values => \@values, -rows => 2, -columns => 2);`	Genau eines ist immer angekreuzt
`print $cgi->hidden(-name => $name, -default => $value);`	Nicht darzustellendes Feld
`print $cgi->submit(-name => $name);`	Knopf zum Abschicken generieren
`print $cgi->end_form;`	Formular beenden

Abstraktionen und Design-Pattern für Web-Anwendungen

Themen:

- Beispiel: Virtuelles Kaufhaus
- Trennung von Form und Inhalt
- Design-Pattern: Portlets

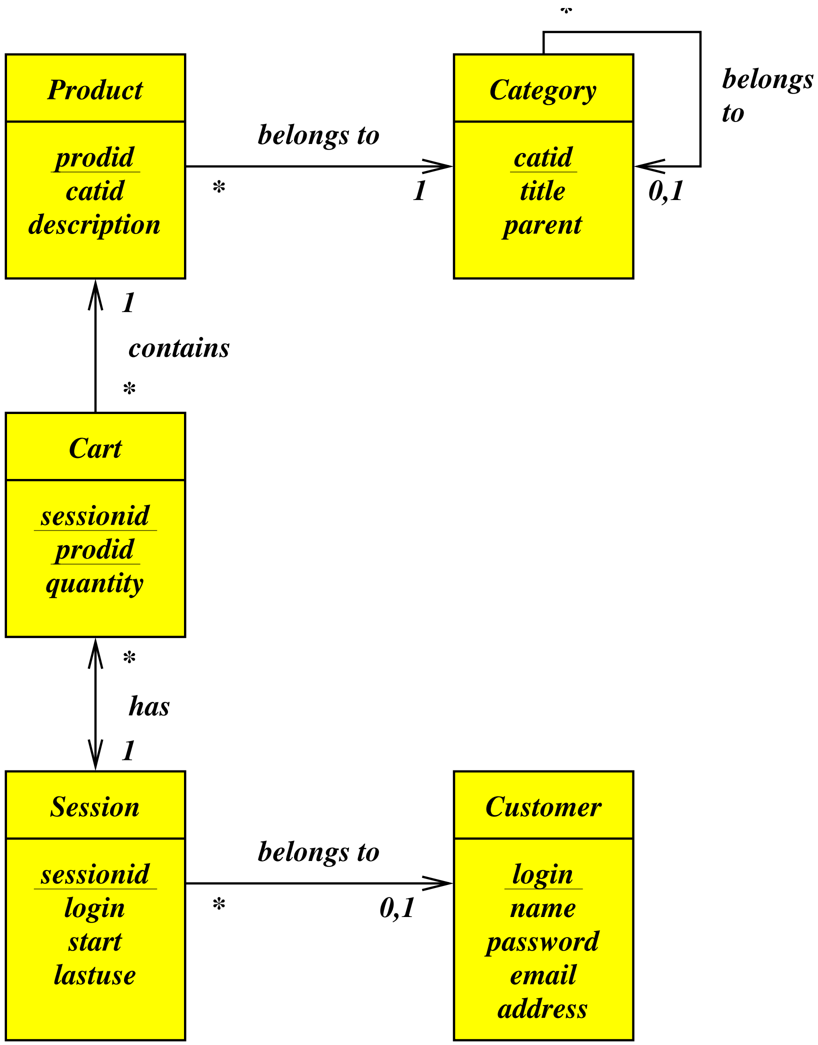
Ein virtuelles Kaufhaus

- Als ein etwas umfangreicheres Beispiel fuer web-basierte Anwendungen dient im folgenden ein kleines virtuelles Kaufhaus.
- Das Beispiel demonstriert,
  - wie bei HTTP der Zustand einer Sitzung verwaltet werden kann (ohne Verwendung von Cookies) und
  - wie größere Web-Anwendungen so strukturiert werden können, so daß sie leicht erweiterbar sind.

Anforderungskatalog

- Es gibt eine Reihe von Produkten in diversen, hierarchisch geordneten Kategorien, die entsprechend dargeboten werden sollen.
- Angezeigte Produkte sollen jederzeit in einen virtuellen Einkaufswagen übernommen werden können.
- Der Inhalt des Einkaufswagens soll frei änderbar sein.
- Kunden können sich mit Benutzername und Passwort registrieren bzw. später wieder anmelden. Zur Kundeninformation gehört die Lieferadresse und eine elektronische Kontaktadresse.
- Die Anmeldung bzw. Registrierung kann bis zum Zeitpunkt der Bestellung verschoben werden – die Verwendung eines Einkaufswagens soll schon vorher möglich sein.

Klassen-Diagramm für die Datenbank



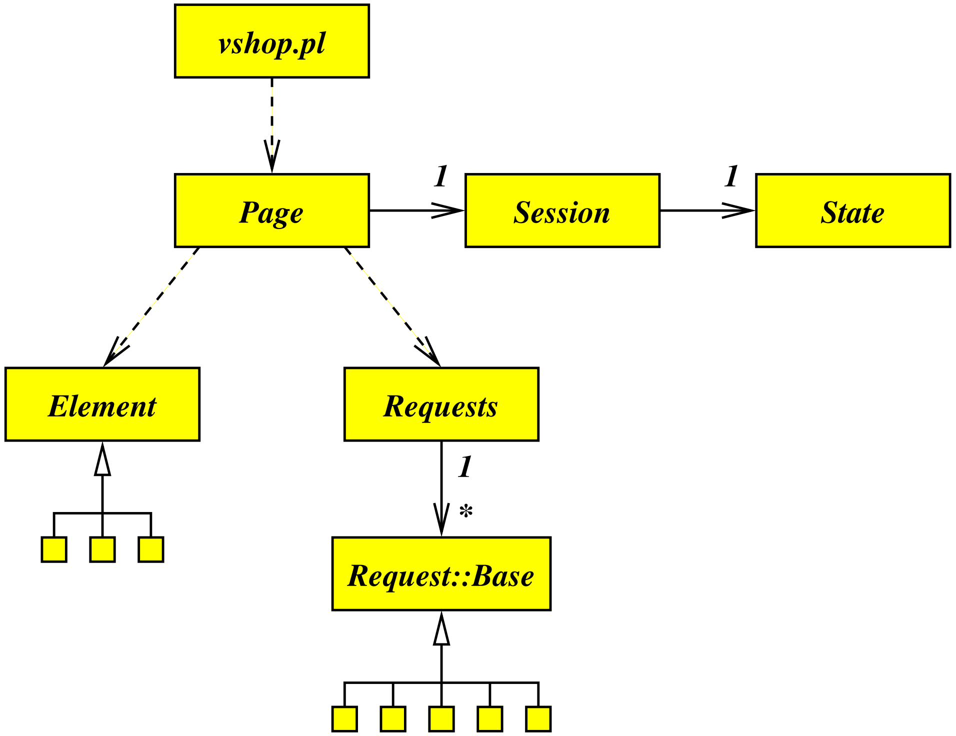
Klassen-Diagramm für die Datenbank

- Es gibt genau eine Wurzelkategorie, die auf sich selbst verweist.
- Jedes Produkt gehört genau einer Kategorie an.
- Zwischen `Session` und `Product` liegt eine "∗-∗"-Beziehung vor, die in der Datenbank über die Hilfstabelle `Cart` realisiert wird. Hieraus ergibt sich der Inhalt des zu einer Sitzung gehörenden Einkaufswagens.
- Eine Sitzung ist erst dann mit einem Kunden verbunden, wenn eine Registrierung oder eine erfolgreiche Anmeldung vorliegt.

SQL-Tabellen

```
CREATE TABLE Category (
   catid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (catid),
   title VARCHAR(64) NOT NULL,
   parent VARCHAR(32) REFERENCES Category, INDEX (parent)
);
CREATE TABLE Customer (
   login VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (login),
   name VARCHAR(255) NOT NULL,
   password VARCHAR(32) NOT NULL,
   email VARCHAR(255),
   address VARCHAR(255) NOT NULL
);
CREATE TABLE Product (
   prodid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY, INDEX (prodid),
   catid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Category,
      INDEX (catid),
   description VARCHAR(255) NOT NULL
);
CREATE TABLE Session (
   sessionid VARCHAR(32) NOT NULL PRIMARY KEY,
      INDEX (sessionid),
   login VARCHAR(32) REFERENCES Customer,
   start DATETIME,
   lastuse DATETIME
);
CREATE TABLE Cart (
   sessionid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Session,
      INDEX (sessionid),
   prodid VARCHAR(32) NOT NULL REFERENCES Product,
      INDEX (prodid),
   quantity INT(11) NOT NULL,
   PRIMARY KEY (sessionid, prodid)
);
```

Klassen-Diagramm der Perl-Module



Klassen-Diagramm der Perl-Module

- `Session` verwaltet den Sitzungszustand, der mit der Datenbank in Verbindung steht.
- `State` dient der Rettung von Zustandsvariablen, die nicht in der Datenbank verwaltet werden.
- Die `Element`-Module dienen der flexiblen Generierung von HTML-Seiten – ein wenig analog zu graphischen Toolkits.
- `Requests` “entdeckt” die `Request`-Module und stellt sie zur Verfügung.
- Die `Request`-Module realisieren jeweils einzelne Funktionalitäten oder Masken der Web-Anwendung. Sie werden nicht explizit importiert, sondern allein durch ihre Existenz aktiv.
- `Page` koordiniert den Zusammenbau einer Webseite.

CGI-Skript

cgi-bin/vshop.pl

```
#!/usr/local/bin/perl -T

# adjust directory if started from apache
BEGIN { chdir("../..") unless -d "lib/VShop" };

use lib 'lib';
use CGI;
use VShop::Page;
use strict;
use warnings;

my $cgi = new CGI;

VShop::Page->gen($cgi, \*STDOUT);
```

- Das CGI-Skript ist minimal und ruft nur die `gen`-Funktion aus dem `Page`-Modul auf, das die gesamte Seite generiert.

Sitzungs-Nummer

- Sofort, wenn die erste Seite abgerufen wird, kommt es zu der Vergabe einer Sitzungsnummer.
- Die Sitzungsnummer wird bei allen Formularen und Verweisen weitervererbt.
- Sobald eine Registrierung oder Anmeldung erfolgt, wird die Sitzungsnummer mit einem Benutzernamen verknüpft.
- Die Verknüpfung bleibt dann bestehen. Somit sind dann weitere Authorisierungen nicht notwendig, da die Sitzungsnummer (möglicherweise befristet) als hinreichendes Authorisierungsinstrument betrachtet wird.
- Sitzungsnummern sollten daher nicht erratbar sein.
- Bei einer expliziten Abmeldung werden in der Datenbank alle sitzungsbezogenen Daten gelöscht und die Sitzungsnummer ungültig.
- Das Modul `Session` kümmert sich um die Sitzungsnummer und die damit verbundenen Informationen in der Datenbank.

Weitere Zustandsvariablen

- Gelegentlich ist es sinnvoll, ein Teil des Zustands nicht in der Datenbank zu verwalten, sondern nur über Parameter zu halten, die durch Formulare oder Verweise vererbt werden.
- Anwendung findet dies zum Beispiel in der Navigation, um z.B. zu einem Ort im Produktkatalog wieder leichter zurückzufinden.
- Das Modul `State` koordiniert die Vererbung solcher Parameter und vermeidet damit Abhängigkeiten der `Request`-Module untereinander.

Zustandsverwaltung

lib/VShop/State.pm

```
package VShop::State;

use strict;
use warnings;
require Exporter;
our @ISA = qw(Exporter);

sub new {
   my ($package, $cgi) = @_;
   my $self = {cgi => $cgi, params => {}};
   return bless $self, $package;
}

sub register {
   my ($self, $name) = @_;
   $self->{params}->{$name} =
      $self->{cgi}->param($name); # may be undef
}

sub set {
   my ($self, $name, $value) = @_;
   $self->{params}->{$name} = $value;
}

sub unset {
   my ($self, $name, $value) = @_;
   delete $self->{params}->{$name};
}

sub get {
   my ($self, $name) = @_;
   return $self->{params}->{$name};
}
```

Zustandsverwaltung

lib/VShop/State.pm

```
sub gen {
   my ($self, @except) = @_;
   my %except = map { $_, 1 } @except;
   my $html = "";
   foreach my $name (keys %{$self->{params}}) {
      next if defined $except{$name};
      $html .= $self->{cgi}->hidden(
         -name => $name,
         -default => $self->{params}->{$name},
         -override => 1,
      );
   }
   return $html;
}

sub url {
   my ($self, %parameters) = @_;
   %parameters = (%{$self->{params}}, %parameters);
   my $cgi = $self->{cgi};
   return $cgi->url . "?" .
      join("&",
         map {
            $cgi->escape($_) . "=" .
               $cgi->escape($parameters{$_})
         } keys %parameters
      );
}
```


Sitzungsverwaltung

lib/VShop/Session.pm

```
sub new {
   my ($package, $cgi) = @_;

   my $state = new VShop::State($cgi);
   my $self = {cgi => $cgi, state => $state};

   my @params = $cgi->param;
   my $sessions = TBI->open("Session");
   if (@params > 0) {
      foreach my $param (@params) {
         $self->{params}->{$param} = $cgi->param($param);
      }
      my $session = $self->{params}->{session};
      $self->{session} = $session
         if defined $session && $sessions->exists($session);
   }
   $self->{session} = new_sessionid()
      unless defined $self->{session};
   $state->set("session", $self->{session});
   $self->{login} = $sessions->getfield($self->{session},
      "login");
   $self->{login} = undef unless $self->{login};

   $sessions->modify($self->{session},
      lastuse => timestamp());

   return bless $self, $package;
}
```

Sitzungsverwaltung

lib/VShop/Session.pm

```
# return current time in YYYY-MM-DD HH:MM:SS format
sub timestamp {
   return time2str("%Y-%m-%d %X", time);
}

sub new_sessionid {
   my $sessions = TBI->open("Session");

   my $session; my $cnt = "aaa";
   do {
      $session = $cnt; $cnt ++;
      foreach (1..16) {
         $session .= ('.', '/', 0..9,
            'A'..'Z', 'a'..'z')[rand 64];
      }
   } while $sessions->exists($session);
   my $timestamp = timestamp();
   $sessions->add($session,
      login => "",
      start => $timestamp,
      lastuse => $timestamp,
   );
   return $session;
}
```


Methoden der `Request`-Module

`init`	wird von `Requests` nach der “Entdeckung” aufgerufen, um das Modul zu initialisieren und dient als Konstruktor
`reg`	wird von `Page` aufgerufen, um Gelegenheit zur Registrierung von Zustandsvariablen zu geben
`process`	wird aufgerufen, wenn ein Formular ausgefüllt worden ist, das von dem gleichen Modul generiert worden ist
`default`	nur eine Methode aller `Request`-Module sollte 1 zurückliefern – sie erhält damit die Zuständigkeit der Hauptseite
`takeover`	sollte 1 zurückliefern, wenn dieses Modul den Hauptteil der Seite gestalten möchte
`main`	wird von `Page` aufgerufen, um das Gestaltungselement für den Hauptteil der zurückzuliefernden Seite zu generieren
`nav`	kann ein Gestaltungselement für die Navigationsleiste zurückliefern

Request-Modul für das Abmelden

lib/VShop/Request/Logout.pm

```
sub takeover {
   return 0;
}

sub title {
   return "Logout";
}

sub process {
   my ($self, $session) = @_;

   $session->finish;

   my $msg = new VShop::Element::Text;
   $msg->add("Bye and thanks for visiting!");
   return $msg;
}

sub nav {
   my ($self, $session) = @_;

   return undef unless defined $session->sessionid;

   my $form = new VShop::Element::Form($session, "Logout",
      button => "Logout", scale => -1);
   return $form;
}
```


Request-Modul für die Benutzerdaten

lib/VShop/Request/Profile.pm

```
package VShop::Request::Profile;

use strict;
use warnings;
use TBI;
use VShop::Element::Form;
use VShop::Request::Base;

our @ISA = qw(VShop::Request::Base);

sub title { return "Your Record" }

sub main {
   my ($self, $session) = @_;
   my $form = new VShop::Element::Form($session, "Profile",
      button => "Change",
      defaults => {-size => 40},
      title => "Login " . $session->login,
   );
   my $customers = TBI->open("Customer");
   my %customer = $customers->fetch($session->login);
   $form->hidden("login", $session->login);
   $form->password("password1", "Old Password");
   $form->password("password2", "New Password");
   $form->textfield("name", "Full Name",
      -default => $customer{name});
   $form->textfield("email", "E-Mail Address",
      -default => $customer{email});
   $form->textfield("address", "Postal Address",
      -default => $customer{address});
   return $form;
}
```

Request-Modul für die Benutzerdaten

lib/VShop/Request/Profile.pm

```
sub process {
   my ($self, $session) = @_;
   my $cgi = $session->cgi;

   my $login = $cgi->param('login');
   $self->{takeover} = 1; # default
   return undef unless defined $login && $login;

   my $msg = new VShop::Element::Text;

   my $customers = TBI->open("Customer");
   unless ($customers->exists($login)) {
      $msg->add("Invalid login.");
      return $msg;
   }

   my %customer = $customers->fetch($login);
   my $password1 = $cgi->param('password1');
   unless (defined $password1 &&
         $password1 eq $customer{'password'}) {
      $msg->add("Your password is incorrect. " .
         "Please try it again.");
      return $msg;
   }
```


Request-Modul für die Benutzerdaten

lib/VShop/Request/Profile.pm

```
   my $password2 = $cgi->param('password2');
   if (defined $password2 &&
         $password2 && $password1 ne $password2) {
      $customer{password} = $password2;
   }

   my $name = $cgi->param('name');
   $customer{name} = $name if defined $name;

   my $email = $cgi->param('email');
   $customer{email} = $email if defined $email;

   my $address = $cgi->param('address');
   $customer{address} = $address if defined $address;

   $customers->modify($login, %customer);

   $self->{takeover} = 0;
   $msg->add("Your changes have been stored as requested.");
   return $msg;
}

sub nav {
   my ($self, $session) = @_;
   return undef unless defined $session->login;
   return new VShop::Element::Form($session, "Profile",
      button => "Edit Profile", scale => -1);
}

1;
```

Vorgehensweise von `Page`

- Zunächst wird mit Hilfe von `Session` der Sitzungskontext hergestellt.
- Bei allen `Request`-Modulen wird die Methode `reg` aufgerufen.
- Wenn ein Formular ausgefüllt worden ist, wird die Methode `process` bei dem `Request`-Modul aufgerufen, das es generiert hat.
- Der Hauptteil der Seite wird unter Verwendung der Methode `main` generiert – entweder von dem Modul, daß das ausgefüllte Formular bearbeitet hat (falls es bei `takeover` **TRUE** liefert) oder von dem Modul, das sich bei `default` mit **TRUE** meldet.
- Abschließend erhalten alle `Request`-Module die Gelegenheit, sich beim Bau der Navigationsleiste zu beteiligen.

Koordination der Seitengenerierung

lib/VShop/Page.pm

```
sub gen {
   my ($package, $cgi, $out) = @_;

   eval {
      my $session = new VShop::Session($cgi);
      foreach my $request (VShop::Requests->all) {
         $request->reg($session->state);
      }
      my $request = new VShop::Requests
         $cgi->param('request');
      my $body = new VShop::Element::Box(
         mode => 'vertical', framed => 1);

      my $msg = $request->process($session);
      $body->add($msg) if defined $msg;

      unless ($request->takeover) {
         $request = new VShop::Requests; # returns default
      }
      my $main = $request->main($session);
      $body->add($main);

      my $nav = new VShop::Element::Box(
         mode => 'vertical', framed => 1);
      foreach my $request (VShop::Requests->all) {
         my $box = $request->nav($session);
         $nav->add($box) if defined $box;
      }
```

Koordination der Seitengenerierung

lib/VShop/Page.pm

```
      my $page = new VShop::Element::Box(
         mode => 'horizontal');
      $page->add($nav, 25);
      $page->add($body, 75);

      print $out $cgi->header,
         $cgi->start_html("Virtual Shop Demo");
      $page->gen($out);
      print $out $cgi->end_html;
   };
   if ($@) {
      my $error = $@;
      print $out $cgi->header,
         $cgi->start_html("Fatal Error"),
         $cgi->h1("Fatal Error"), $cgi->hr;
      print $out "Regrettably, we are unable to " .
         "process your request:\n<P>\n";
      print $out "Error Message:<P>\n" .
         "<PRE>\n$error\n</PRE>\n";
      print $out $cgi->end_html;
   }
}
```


Gestaltungselemente

- Die `Element`-Module bieten alle jeweils
  - einen Konstruktor an, um ein entsprechendes Element zu kreieren,
  - diverse Operationen, um das Element zu erweitern und
  - eine Methode namens `gen`, die HTML-Text auf die mitgegebene Dateiverbindung ausgibt.
- Durch die Trennung von Aufbau und Generierung können Webseiten in beliebiger Reihenfolge Schritt für Schritt aufgebaut werden, ohne die physische Textreihenfolge zu berücksichtigen.
- Form (repräsentiert durch die `Element`-Module) und Inhalt (`Request`-Module und `Page`) sind so sauber separiert.
- Zur Verfügung stehen:

`Element::Box`	vertikaler oder horizontaler Zusammenbau beliebiger Elemente, die bei Bedarf allesamt gerahmt werden können
`Element::Form`	Formulare und Knöpfe
`Element::ProdList`	Produktlisten mit zugehörigen Knöpfen
`Element::Text`	einfacher HTML-Text

Triviales Gestaltungselement für Text

lib/VShop/Element/Text.pm

```
package VShop::Element::Text;

use strict;
use warnings;

require Exporter;
our @ISA = qw(Exporter);

sub new {
   my ($package, %parameters) = @_;
   my $self = {params => \%parameters, text => ""};
   return bless $self, $package;
}

sub add {
   my ($self, $text) = @_;
   $self->{text} .= "\n" . $text;
}

sub gen {
   my ($self, $out) = @_;
   print $out $self->{text};
}

1;
```


Grundlagen und Abstraktionen für graphische Benutzeroberflächen

Themen:

- Einführung in Perl/Tk
- Perl/Tk-Widgets
- Design-Pattern: Model/Viewer/Controller

Einführung in Perl/Tk

- Tk fand als eine sehr gelungene Bibliothek für eine graphische Benutzeroberfläche auch sehr weitreichendes Interesse jenseits von Tcl bei anderen Programmiersprachen wie Scheme, Python, Guile und insbesondere Perl.
- John Ousterhout hat Tk so speziell für Tcl entwickelt, daß entsprechende Portierungen für andere Skript-Programmiersprachen nicht sehr einfach waren. Malcom Beattie, der den ersten Versuch für Perl startete, übernahm deswegen des Tcl-Interpreter mit.
- Später versuchte Nick Ing-Simmons es mehr mit einem generellen Ansatz: Er bereinigte Tk von allen Abhängigkeiten zu Tcl und schuf eine sprach-unabhängige Schnittstelle. Dies nennt sich **pTk** (*portable* Tk). Die heutige Perl-Schnittstelle zu Tk basiert auf pTk.
- Anders als bei unserer Tcl/Tk-Installation wird bei Perl kein separater Interpreter für Perl/Tk benötigt. Stattdessen wird Tk über das Modul `Tk` dynamisch hinzugeladen.
- Mittlerweile gibt es Perl/Tk auch auf zahlreichen Nicht-UNIX-Plattformen einschließlich MacOS und diversen Windows-Variationen.

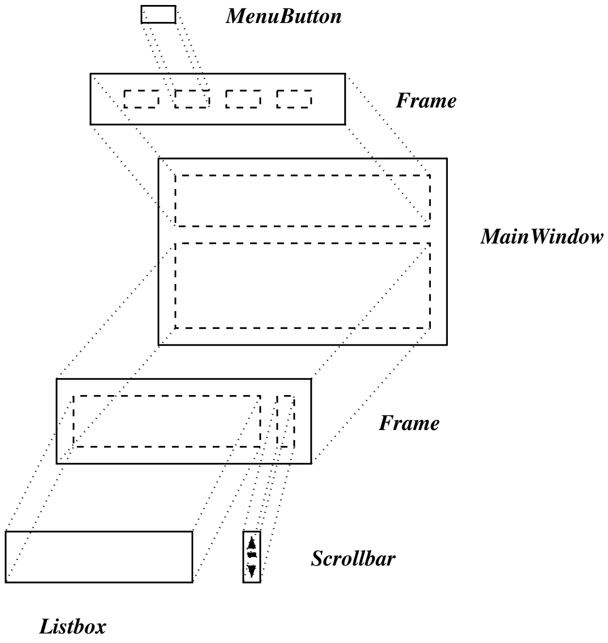
Erste Schritte mit Perl/Tk

tkhello.pl

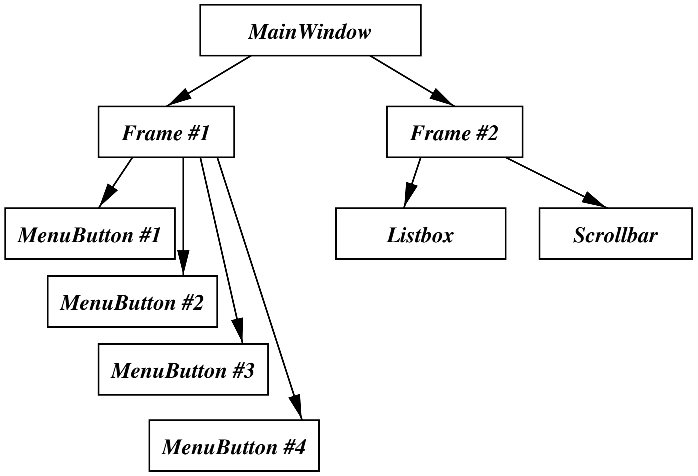
```
#!/usr/local/bin/perl
use strict; use warnings;
use Tk;
my $main = new MainWindow;
my $label = $main->Label(-text => 'Hello, world!');
my $button = $main->Button(
   '-text' => 'Quit', '-command' => sub { exit },
);
$label->pack; $button->pack;
MainLoop;
```

- Mit `use Tk` werden alle zu Tk gehörenden Module importiert einschließlich aller Widgets wie beispielsweise `MainWindow`. Ferner wird auch der eigene Namensraum mit einigen Namen wie beispielsweise `MainLoop` geflutet.
- `Label` und `Button` sind Methoden von `$main`, die entsprechende Widgets kreieren.
- Die Konstruktions-Parameter von Widgets werden als assoziative Arrays übergeben.
- Mit der Methode `pack` wird das jeweilige Objekt an den entsprechenden Geometrie-Manager übergeben.
- `MainLoop` ist die zentrale Schleife, die alle Ereignisse abarbeitet.

Graphischer Aufbau einer Anwendung



Graphischer Aufbau einer Anwendung



- Die graphische Benutzeroberfläche einer Anwendung besteht aus einer Vielzahl von Komponenten (den sogenannten *widgets*), die hierarchisch organisiert und zusammengebaut werden.

- Das Problem liegt in der Findung (und Nutzung) geeigneter Abstraktionen zum Zusammenfügen einer Widget-Hierarchie.

Geometrie-Manager bei Tk

- Tk offeriert drei verschiedene Abstraktionen (die sich Geometrie-Manager nennen) zum Zusammenfügen:

pack	Die Positionierung von Widgets erfolgt jeweils innerhalb des übergeordneten Widgets im noch verbliebenen "Hohlraum" (*cavity model*).
place	Hierbei wird die Position und Größe eines Widgets präzise in Relation zum übergeordneten Widget spezifiziert.
form	Verallgemeinerung, die die Fähigkeiten von **pack und place** miteinander vereinigt.
grid	Hier erfolgt die Positionierung innerhalb eines Gitters, das innerhalb des übergeordneten Widgets angelegt worden ist.

- Verschiedene Teile einer Anwendung können unterschiedliche Geometrie-Manager verwenden.

- Die folgenden Beispiele verwenden alle **pack**.

Geometrie-Manager pack

- Das übergeordnete Widget stellt einen rechteckigen Raum zur Verfügung, der möglicherweise bereits teilweise belegt ist.

- Wenn die Methode **pack** aufgerufen wird, erfolgt die Plazierung innerhalb des verbliebenen Hohlraumes.

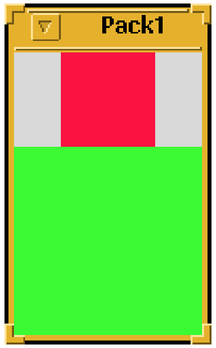
- Die gewünschte Seite kann dabei angegeben werden: Beispielsweise mit `-side => 'top'` (Positionierung an der Oberseite des Hohlraumes).

- Wenn die Größe des übergeordneten Widgets nicht fest vorgegeben ist, dann ergibt sie sich implizit aus der Größe der eingefügten Widgets.

Geometrie-Manager pack

pack1.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame1 = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
my $frame2 = $top->Frame(-width => 100, -height => 100,
   -bg => 'green');
$frame1->pack(-side => 'top');
$frame2->pack(-side => 'top');
MainLoop;
```



Geometrie-Manager pack

pack2.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame1 = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
my $frame2 = $top->Frame(-width => 100, -height => 100,
   -bg => 'green');
$frame1->pack(-side => 'left');
$frame2->pack(-side => 'left');
MainLoop;
```

Geometrie-Manager pack

pack3.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame1 = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
my $frame2 = $top->Frame(-width => 100, -height => 100,
   -bg => 'green');
my $frame3 = $top->Frame(-width => 75, -height => 75,
   -bg => 'blue');
$frame1->pack(-side => 'left'); # links ist zu
$frame2->pack(-side => 'right'); # rechts ist zu
$frame3->pack(-side => 'left'); # kommt in die Mitte
MainLoop;
```

Geometrie-Manager pack

pack4.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my @colors = qw(black white);
my $top = new MainWindow;
foreach my $i (1..8) {
   my $row = $top->Frame->pack(-side => 'top');
   foreach my $j (1..8) {
      my $box = $row->Frame(-width => 10, -height => 10,
         -bg => $colors[($i + $j) % 2]);
      $box->pack(-side => 'left');
   }
}
MainLoop;
```

- Es empfiehlt sich, innerhalb eines übergeordneten Widgets (typischerweise Frames) nur eine Packungsrichtung zu verwenden – sonst wird es unübersichtlich.
- Um kompliziertere Aufbauten zu erreichen, werden Frames ineinander verschachtelt.

Geometrie-Manager pack

- Die Option `-fill` bei **pack** gibt einem Widget die Möglichkeit, ungenutzten Raum (jedoch nicht den verbleibenden Hohlraum) zu nutzen. Das Widget wird also u.U. größer als zunächst vorgesehen:

`-fill => 'none'`	Größe bleibt konstant unabhängig von benachbarten Freiräumen (Voreinstellung).
`-fill => 'x'`	Eine Expansion findet nur in x-Richtung statt (primär sinnvoll bei `-side => 'top'` oder `-side => 'bottom'`).
`-fill => 'y'`	Expansion in y-Richtung möglich (primär sinnvoll bei `-side => 'left'` oder `-side => 'right'`).
`-fill => 'both'`	Expansion in beide Richtungen möglich (wovon zunächst nur eine genutzt wird).

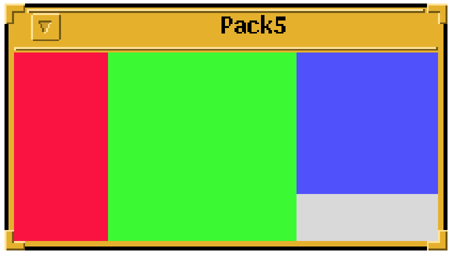
- Wird das Hauptfenster in der Größe verändert, kann dies zur dynamischen Vergrößerung von Widgets führen.

- Damit das klappt, müssen ggf. auch alle in der Hierarchie dazwischenliegenden Widgets mit der entsprechenden **fill**-Option gepackt worden sein.

Geometrie-Manager pack

pack5.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame1 = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
my $frame2 = $top->Frame(-width => 100, -height => 100,
   -bg => 'green');
my $frame3 = $top->Frame(-width => 75, -height => 75,
   -bg => 'blue');
$frame1->pack(-side => 'left', -fill => 'y');
$frame2->pack(-side => 'left', -fill => 'y');
$frame3->pack(-side => 'top', -fill => 'y');
MainLoop;
```

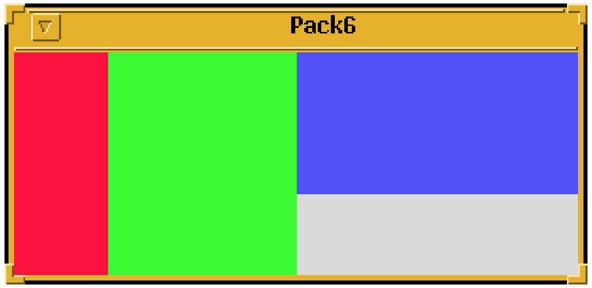


- `$frame3` expandiert nicht in den Hohlraum (wegen `-side => 'top'`).

Geometrie-Manager pack

- Hier wurde das Fenster etwas vergrößert, wodurch sich auch `$frame1` und `$frame2` mit vergrößerten.

- Wenn `$frame3` mit der Option `-fill => 'x'` kreiert worden wäre, würde ein vergrößertes Fenster so aussehen:



Geometrie-Manager pack

pack7.pl

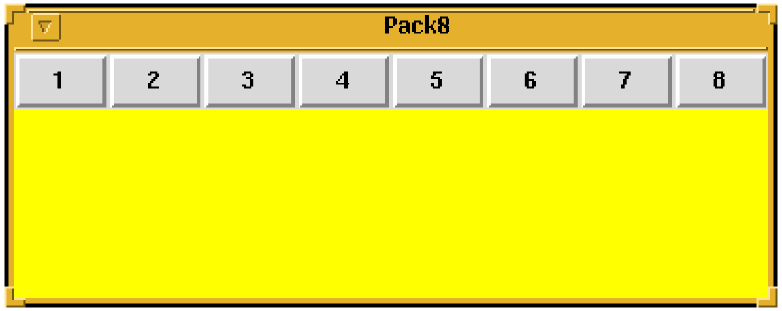
```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame1 = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
my $frame2 = $top->Frame(-width => 100, -height => 100,
   -bg => 'green');
my $frame3 = $top->Frame(-width => 75, -height => 75,
   -bg => 'blue');
$frame1->pack(-side => 'left', -fill => 'y');
$frame2->pack(-side => 'left', -fill => 'y');
$frame3->pack(-side => 'top', -fill => 'y', -expand => 1);
MainLoop;
```

- Die jeweilige **fill**-Option läßt sich mit `-expand => 1` noch verstärken, indem auch verbleibende Hohlräume mit verkonsumiert werden können.

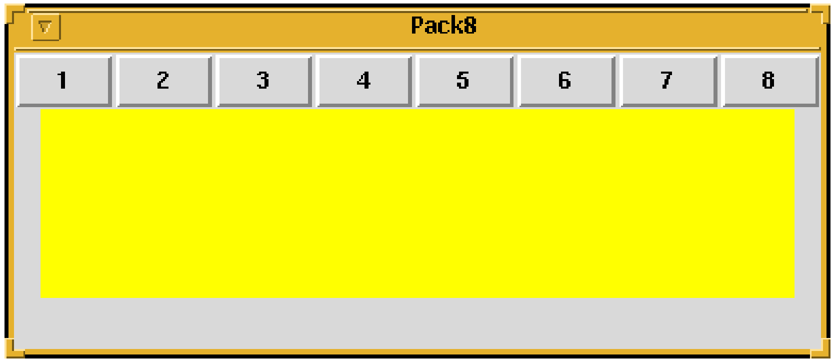
Geometrie-Manager pack

pack8.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $buttons = $top->Frame;
foreach my $i (1..8) {
   my $button = $buttons->Button(-text => $i);
   $button->pack(-side => 'left',
      -fill => 'x', -expand => 1);
}
my $frame = $top->Frame(-width => 400, -height => 100,
   -bg => 'yellow');
$buttons->pack(-side => 'top', -fill => 'x');
$frame->pack(-side => 'top');
MainLoop;
```



Geometrie-Manager pack



- So sieht das Fenster nach einer Vergrößerung aus.
- Es lohnt sich also, konsequent über die Ausnutzung freien Raumes nachzudenken.
- Wenn jedoch mehrere Widgets per `-expand => 1` den gleichen Hohlraum vereinnahmen möchten, dann findet eine gleichmäßige Aufteilung statt.
- Somit ist es normalerweise sinnvoll, eine Button-Leiste in x-Richtung expandieren zu lassen – die y-Richtung sollte jedoch den Widgets zur Expandierung überlassen werden, die sie auch mit Inhalt füllen können (insbesondere solche, die mit Scrollbars ausgestattet sind).

Ereignisse

bind.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'yellow');
$frame->pack;
$frame->bind('<ButtonPress>',
   sub { print "Ouch, that hurts!\n" });
MainLoop;
```

- Alle Aktionen des Benutzers (Bewegen der Maus, Benutzung der Maustasten oder der Tastatur) führen zu einem Strom einzelner Ereignisse.
- Aus der Mausposition oder der Fokus-Zugehörigkeit zum Zeitpunkt der Entstehung eines Ereignisses und vorheriger Interessensbekundungen (z.B. durch die Methode **bind**) ergibt sich eine Menge von Parteien, denen das Ereignis mitzuteilen ist.
- Eine "Mitteilung" erfolgt in Perl/Tk durch den Aufruf einer (typischerweise anonymen) Prozedur und (bei Bedarf) einer Reihe von Parametern.
- Interessant sind die Spezifikationen von Ereignissen, die Möglichkeiten der Interessensbekundungen und die Reihenfolge der Mitteilungen.

Spezifikation von Ereignissen

- Ereignis-Spezifikationen sehen folgendes allgemeines Schema vor:
  `<modifier-modifier-type-detail>`
- Zu den Modifiern zählen `Control`, `Shift`, `Button1` (1. Button der Maus), `Alt`, `Meta` und auch `Double` (für Doppelklicks). Auf die Angabe von Modifiern kann ganz verzichtet werden (dann spielen sie keine Rolle) oder es können ein oder zwei angegeben werden. In letzterem Falle müssen dann beide Modifier gleichzeitig aktiv sein.
- Zu den Typen gehören `ButtonPress`, `ButtonRelease`, `KeyPress`, `KeyRelease`, `Enter` und `Release` (neben vielen weiteren).
- Beim Detail kann (z.B. bei `KeyPress`) der Name einer weiteren Taste angegeben werden (oder schlicht der Buchstabe) oder (z.B. bei `ButtonPress`) die Nummer der Maustaste.
- Die Angaben können weitgehend gekürzt werden, solange noch eindeutig ist, was gewünscht wird. Statt `<Control-KeyPress-U>` ist auch `<Control-U>` zulässig.
- Ereignis-Spezifikationen operieren wie Muster, die eingehende Ereignisse filtern. So trifft beispielsweise `<KeyPress>` für alle gedrückten Tasten zu.
- Die Namen der Tasten hängen natürlich von dem lokalen Window-System ab und sind daher nicht in jedem Falle uneingeschraenkt portabel (wie auch Tastaturen sehr unterschiedlich aussehen können).

Interessensbekundungen

- Eine Interessensbekundung für Ereignisse besteht aus einem Kontext und einer Ereignisspezifikation.
- Mögliche Kontexte sind
  - ein einzelnes Widget,
  - alle Widgets eines bestimmten Typs (z.B. alle Buttons),
  - alle Widgets, die zu einem Toplevel-Fenster gehören und
  - die Gesamtheit aller Widgets.
- Der Kontext wird als erster Parameter bei **bind** angegeben – wenn er fehlt, wird nur ein Bezug zu dem vorgegebenen Widget-Objekt hergestellt. Es kann ein Klassenname (z.B. `'Tk::Button'`) angegeben werden, das Widget eines Toplevel-Fensters oder schlicht `'all'`.

Interessensbekundungen

- Wenn für ein Ereignis mehrere Interessensbekundigungen vorliegen, dann werden sie in einer definierten Reihenfolge abgearbeitet. Per Voreinstellung gilt folgende Reihenfolge:
  - typgebundene Bearbeiter,
  - für das einzelne Widget registrierte Bearbeiter,
  - Bearbeiter des Toplevel-Fensters und schließlich
  - generelle Bearbeiter.
- Die Reihenfolge kann (mit **bindtags**) für jedes Widget verändert (und sogar noch erweitert) werden.

Ereignis-Bearbeiter

keypress.pl

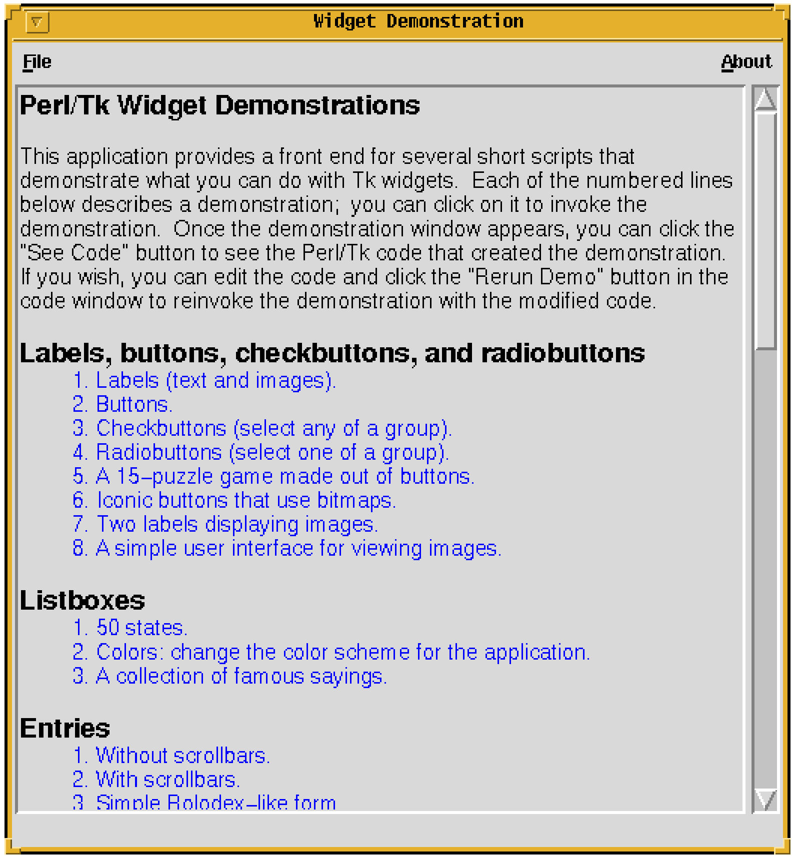
```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;

my $top = new MainWindow;
my $frame = $top->Frame(-width => 50, -height => 50,
   -bg => 'red');
$frame->bind('<KeyPress>', [
   sub {
      my ($self, $keycode) = @_;
      printf "keycode: %s\n", $keycode;
   }, Ev('k')]);
$frame->pack; $frame->focus;
MainLoop;
```

- Bei der Methode **bind** können Ereignis-Bearbeiter in einer Vielzahl von Varianten angegeben werden:

`... => \&subname`	Zeiger auf vorhandene Prozedur
`... => sub { ... }`	Anonyme Prozedur
`... => 'methodname'`	Methode des zugehörigen Widgets
`... => [\&subname, ...]`	Mit Parameterliste
`... => [sub { ... }, ...]`	
`... => ['methodname', ...]`	

- Parameterlisten sind überflüssig, solange nicht Interesse an speziellen Ereignisparametern besteht, die über von **Ev** erzeugte Callback-Objekte zugänglich sind.

Widgets in Perl/Tk



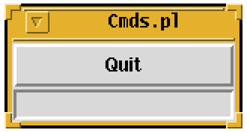
- Das bei Perl/Tk beiliegende Kommando `widget` demonstriert alle zur Verfügung stehenden Widgets in Perl/Tk mitsamt zugehörigem beispielhaften Code.

Buttons & Entries

cmds.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use Tk;
use strict;
use warnings;

my $command = "";    # text variable of entry
my @buttons = ();    # list of command buttons

my $main = new MainWindow;
my $quit = $main->Button(
   '-text' => "Quit",
   '-command' => sub { exit },
);
$quit->pack('-fill' => 'x');
my $entry = $main->Entry('-textvariable' => \$command);
$entry->bind('<Control-u>', sub { $command = "" });
$entry->bind('<Return>',
   sub { add_button($command); system($command); });
$entry->pack('-fill' => 'x');
MainLoop;

sub add_button {
   my $cmd = shift;
   my $button = $main->Button(
      '-text' => $cmd,
      '-command' => sub { system($cmd) },
   );
   $button->pack('-fill' => 'x');
   push(@buttons, $button);
   if (@buttons > 5) {
      shift(@buttons)->destroy;
   }
}
```


Entries



cmds.pl

```
my $entry = $main->Entry('-textvariable' => \$command);
$entry->bind('<Control-u>', sub { $command = "" });
$entry->bind('<Return>',
   sub { add_button($command); system($command); });
$entry->pack('-fill' => 'x');
```

- Alle bekannten Parameter bei Tcl/Tk wie z.B. `textvariable` sind auch in Perl/Tk bekannt.
- Statt dem Namen einer Variable wird bei Perl/Tk ein Zeiger auf eine Variable übergeben. Damit werden die Probleme symbolischer Referenzen vermieden.
- `bind` ist eine Methode aller Widgets und keine Prozedur im konventionellen Sinne.
- Die Spezifikation von Ereignismustern ist gegenüber Tcl/Tk unverändert. Sie müssen jedoch als Zeichenkette angegeben werden, da die `<...>` sonst im Konflikt zu dem Einlese-Operator wären.

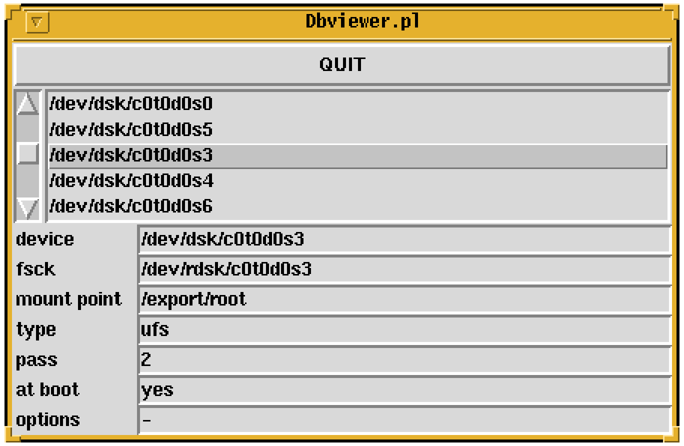
Buttons

cmds.pl

```
sub add_button {
   my $cmd = shift;
   my $button = $main->Button(
      '-text' => $cmd,
      '-command' => sub { system($cmd) },
   );
   $button->pack('-fill' => 'x');
   push(@buttons, $button);
   if (@buttons > 5) {
      shift(@buttons)->destroy;
   }
}
```

- `$cmd` innerhalb von `sub { system($cmd) }` bezieht auf die lokale Variable `$cmd` der jeweiligen Instanz von `add_button`, die die anonyme Prozedur kreiert hat.
- Dies gilt auch, wenn `add_button` jeweils längst beendet ist. `$cmd` bleibt in den jeweiligen Inkarnationen jeweils so lange leben, bis der letzte Verweis darauf verschwindet (z.B. wenn der Button eliminiert wird).
- Mit der Methode `destroy` wird ein Widget eliminiert. Der dadurch entstehende freie Platz (falls es zu sehen gewesen ist) wird auf die bekannte Weise von dem jeweiligen Geometry-Manager frisch verteilt. In diesem Beispiel rutschen dabei alle darunter liegenden Buttons nach oben.

Betrachter für kleine Datenbanken



- *dbviewer* ist eine kleine Applikation mit einer Listbox zur Auswahl eines Datensatzes und einer Reihe von Feldern zur Anzeige des selektierten Datensatzes.

Betrachter für kleine Datenbanken

dbviewer.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use IO::File;
use Getopt::Std;
use Tk;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname [-c] [-d delim] " .
            "[-t title_column] dbfile {fieldname}\n";
my %opts = (); getopts('cd:t:', \%opts);
my $delim = '\s+';
$delim = $opts{d} if defined($opts{d});
my $strip_comments = defined($opts{c});
my $tcol = 0;
$tcol = $opts{t} - 1 if defined($opts{t});
die $usage unless @ARGV > 0;
my $dbfile = shift;
my @fieldnames = @ARGV;
```

- Das Modul `Getopt::Std` definiert u.a. die Funktion `getopts`, mit der relativ einfach Optionen abgearbeitet werden können.
- Die erste Zeichenkette bei `getopts` definiert die bekannten einbuchstabigen Optionen. Wenn ein `:` hinter einem Optionsbuchstaben angegeben wird, gehört jeweils ein Argument dazu.
- `getopts` legt dann die Optionen im übergebenen assoziativen Array ab.

Betrachter für kleine Datenbanken

- Erwartet wird der Name einer Datei, in der die kleine Datenbank enthalten ist und eine Liste von Feldnamen.
- Zusätzlich werden noch folgende Optionen unterstützt:

`-c`	Kommentare, die mit `#` beginnen, sind zu entfernen.
`-d delim`	Feldtrenner.
`-t title_column`	Spalte (ab 1 zählend), in der der in der Listbox anzuzeigende Titel eines Datensatzes steht.

- Das Kommando zu dem Schnappschuß auf der vorletzten Folie:

```
dbviewer.pl -c /etc/vfstab device fsck 'mount point' \
   type pass 'at boot' options
```

Betrachter für kleine Datenbanken

dbviewer.pl

```
sub scan_db {
   my ($filename, $delim, $tcol, $strip_comments) = @_;
   my $fh = new IO::File $filename;
   die "$cmdname: $filename: $!\n" unless defined $fh;
   my @db = (); my $maxcols = 0;
   my @titles = (); my $maxtitlelen = 0; my $recno = 1;
   while (<$fh>) {
      chomp;
      next if /^\s*$/;
      next if $strip_comments && /^#/;
      my @fields = split $delim;
      $maxcols = @fields if @fields > $maxcols;
      my $title = "Record #" . $recno ++;
      $title = $fields[$tcol]
         if defined $fields[$tcol] && $fields[$tcol] ne "";
      my $length = length($title);
      $maxtitlelen = $length if $length > $maxtitlelen;
      push(@titles, $title);
      push(@db, \@fields);
   }
   $fh->close;
   return (\@db, \@titles, $maxcols, $maxtitlelen);
}
```

- `scan_db` liest die Datenbank ein und liefert die vorgefundenen Datensätze zusammen mit einigen weiteren Angaben zurück.

Betrachter für kleine Datenbanken

dbviewer.pl

```
my ($db, $titles, $maxcols, $maxtitlelen) =
   scan_db($dbfile, $delim, $tcol, $strip_comments);
my $maxfieldnamelen = 0;
foreach my $col (1 .. $maxcols) {
   $fieldnames[$col - 1] = sprintf("%02d", $col)
      unless defined $fieldnames[$col - 1];
   my $length = length($fieldnames[$col - 1]);
   $maxfieldnamelen = $length if $length > $maxfieldnamelen;
}

my @fields = ();
setup_widgets();
MainLoop;
```

- Nachdem die Daten eingelesen sind, werden die Feldnamen bestimmt (sofern nicht bereits vorgegeben) und die Oberfläche aufgebaut.
- In der Liste `@fields` wird nachher der jeweils selektierte Datensatz abgelegt.

Betrachter für kleine Datenbanken

dbviewer.pl

```
sub setup_widgets {
   my $main = new MainWindow;
   my $quit = $main->Button(
      '-text' => 'QUIT', '-command' => sub { exit });
   $quit->pack('-fill' => 'x');
   my $listbox = $main->Scrolled('Listbox' =>
      '-scrollbars' => 'w', '-width' => $maxtitlelen,
      '-height' => @{$db} > 5? 5: scalar @{$db},
   );
   $listbox->insert('end', @{$titles});
   $listbox->bind('<Button-1>',
      sub { select_record($listbox->index('anchor')) });
   $listbox->pack('-fill' => 'both', '-expand' => 1);
   foreach my $col (0..$maxcols-1) {
      my $frame = $main->Frame();
      my $label = $frame->Label(
         '-text' => $fieldnames[$col],
         '-width' => $maxfieldnamelen,
         '-anchor' => 'w',
      );
      $label->pack('-side' => 'left');
      my $field = $frame->Label(
         '-textvariable' => \$fields[$col],
         '-relief' => 'sunken',
         '-width' => 50, '-anchor' => 'w',
      );
      $field->pack(
         '-side' => 'left', '-fill' => 'x', '-expand' => 1);
      $frame->pack('-fill' => 'x');
   }
}
```


Listboxes

dbviewer.pl

```
my $listbox = $main->Scrolled('Listbox' =>
   '-scrollbars' => 'w', '-width' => $maxtitlelen,
   '-height' => @{$db} > 5? 5: scalar @{$db},
);
$listbox->insert('end', @{$titles});
$listbox->bind('<Button-1>',
   sub { select_record($listbox->index('anchor')) });
$listbox->pack('-fill' => 'both', '-expand' => 1);
```

- Mit der Konstruktor-Methode `Scrolled` ist es relativ einfach möglich, ein Widget zusammen mit der zugehörigen Scrollbar zu kreieren. Der erste Parameter ist dabei der Name der gewünschten Widget-Klasse (hier `'Listbox'`).

- Mit `'-scrollbars' => 'w'` kann die Lage der Scrollbar spezifiziert werden. Es können natürlich sowohl eine horizontale und auch eine vertikale Scrollbar gleichzeitig gewünscht werden (ist sogar Voreinstellung).

- Mit der Methode `insert` kann eine Liste von Einträgen an einen gegebenen Punkt (hier: `'end'`) hinzugefügt werden.

- Wenn ein Eintrag aus der Listbox selektiert wird, soll die Prozedur `select_record` mit dem Index des Eintrags (ab 0 zählend) aufgerufen werden.

- Die Methode `index` liefert diesen Index für einen angegebenen Punkt (hier: `'anchor'`, das für den Anfang des selektierten Bereiches steht).

Labels

dbviewer.pl

```
foreach my $col (0..$maxcols-1) {
   my $frame = $main->Frame();
   my $label = $frame->Label(
      '-text' => $fieldnames[$col],
      '-width' => $maxfieldnamelen,
      '-anchor' => 'w',
   );
   $label->pack('-side' => 'left');
   my $field = $frame->Label(
      '-textvariable' => \$fields[$col],
      '-relief' => 'sunken',
      '-width' => 50, '-anchor' => 'w',
   );
   $field->pack(
      '-side' => 'left', '-fill' => 'x', '-expand' => 1);
   $frame->pack('-fill' => 'x');
}
```

- Diese Schleife legt für alle Spalten jeweils zwei Labels an: Eines für den Namen des Feldes und eines für den Feldinhalt des selektierten Datensatzes.
- Um jeweils zwei Labels auf einer Zeile unterzubringen, werden Frames benötigt.
- Mit `'-anchor' => 'w'` wird der angezeigte Text linksbündig dargestellt.
- Die Feldinhalte des selektierten Datensatzes ergeben sich aus der Liste `@fields`.

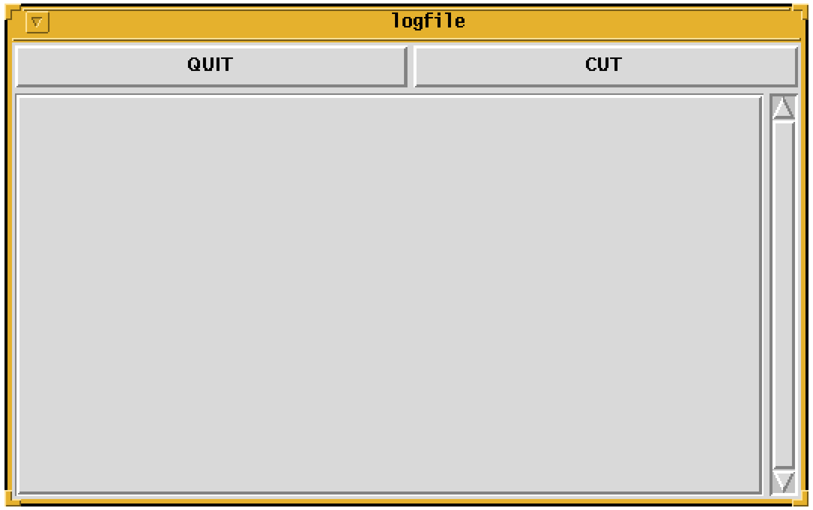
Labels

dbviewer.pl

```
sub select_record {
   my ($index) = @_;
   my @record = @{$db->[$index]};
   foreach my $col (0..$maxcols-1) {
      if (defined($record[$col])) {
         $fields[$col] = $record[$col];
      } else {
         $fields[$col] = "";
      }
   }
}
```

- `select_record` erhält als Parameter die Nummer des selektierten Datensatzes (ab 0 zählend) und kopiert die gewünschten Felder in die Liste `@fields`. Dies hat zur Folge, daß sie in den entsprechenden Labels angezeigt werden.

Betrachter für wachsende Dateien



- Analog zu `tail -f logfile` soll `logviewer.pl` eine wachsende Datei darstellen. Dies ist beispielsweise sinnvoll für Logdateien und Dateien, in die die Ausgabe von Übersetzungs-Jobs fließt.

Betrachter für wachsende Dateien

logviewer.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use IO::File;
use Tk;
use Tk::ROText;

my $cmdname = $0; $cmdname =~ s{.*/}{};
my $usage = "Usage: $cmdname logfile\n";
die $usage unless @ARGV == 1;
my $logfile = shift @ARGV;
die "$cmdname: Unknown file: $logfile\n"
   unless -f $logfile;
my ($log, $pid) = spawn_pipe("tail -f $logfile");
die "$cmdname: Unable to open $logfile: $!\n"
   unless defined $log;
```

- Auf der Kommandozeile erwartet `logviewer.pl` die Angabe genau eines Namens der darzustellenden wachsenden Datei.
- Die Aufgabe, das Wachstum der Datei zu verfolgen, wird an `tail -f` delegiert. `logviewer.pl` liest dann nur noch von einer Pipeline ein.

Betrachter für wachsende Dateien

logviewer.pl

```
sub spawn_pipe {
   my $cmd = shift;
   my $pipe = new IO::File;
   my $pid;
   if (defined($pid = open($pipe, "-|"))) {
      if ($pid > 0) {
         return ($pipe, $pid);
      } else {
         exec($cmd) || exit 1;
      }
   } else {
      return undef;
   }
}

sub close_pipe {
   my ($pipe, $pid) = @_;
   kill(15, $pid);
   $pipe->close;
}
```

- Das Verfolgen des Wachstums einer Datei wird `tail -f` überlassen.
- Um Hänger am Ende zu vermeiden, muß der `tail`-Prozeß vor dem Schließen der Pipeline abgeschossen werden. Sonst würde `waitpid` (aufgerufen von `$pipe->close`) solange hängen, bis der `tail`-Prozeß beendet ist.

Betrachter für wachsende Dateien

logviewer.pl

```
my $pipe = new IO::File;
my $pid;
if (defined($pid = open($pipe, "-|"))) {
   if ($pid > 0) {
      return ($pipe, $pid);
   } else {
      exec($cmd) || exit 1;
   }
} else {
   return undef;
}
```

- `$pipe = new IO::Handle;` legt einen neue Dateiverbindung an, ohne sie konkret zu eröffnen.
- Im Vergleich zu `open($pipe, "$cmd |")` wird bei `open($pipe, "-|")` nur eine Pipeline angelegt und `fork` ausgeführt – jedoch kein `exec`.
- Entsprechend liefert diese Variante von `open` den Return-Wert von `fork` zurück:

`0`	Abgeleiteter Prozeß, führt nachher `exec` aus.
`> 0`	Elterlicher Prozeß.
`undef`	`fork` ging schief.

- Mehr zu dieser Technik gibt es auf der Manualseite `perlipc` unter der Rubrik “Safe Pipe Opens”.

Betrachter für wachsende Dateien

logviewer.pl

```
sub close_pipe {
   my ($pipe, $pid) = @_;
   kill(15, $pid);
   $pipe->close;
}
```

- Da wir durch die spezielle Eröffnungstechnik der Pipeline im Besitz der Prozess-ID des `tail`-Prozesses sind, können wir ihn abschiessen (Signal `SIGTERM`), bevor wir die Pipeline schließen.
- Das Schließen einer Pipeline führt nicht nur zu einer `close`-Operation, sondern schließt auch ein `waitpid` ein, so daß kein herrenloser Prozeß zurückbleibt.
- Wenn kein `kill` erfolgen würde, dann käme es zu einem Hänger des elterlichen Prozesses, bis der `tail`-Prozess auf andere Weise beendet wird.
- Dies wäre normalerweise erst dann der Fall, wenn die Datei weiter wächst und die darauf erfolgende Schreiboperation von `tail` zu dem Eintreffen eines `SIGPIPE`-Signals führen würde, weil die Pipeline bereits geschlossen ist.

Textfenster

logviewer.pl

```
my $main = new MainWindow;
$main->configure('-title' => $logfile);

my $logwin = $main->Scrolled('ROText' =>
   '-borderwidth' => 3, '-relief' => 'groove',
   '-scrollbars' => 'e',
   '-height' => '20', '-width' => 80,
);
$logwin->fileevent($log, 'readable',
   sub { update_log($logwin, $log) });
```

- Widgets für Textfenster sind `Text` und `ROText`, wobei letzteres von dem Modul `Tk::ROText` exportiert wird. `Text` unterstützt frei editierbare Texte, während `ROText` alle Editieroperationen unterbindet.
- Neben den Ereignissen in Bezug auf die Benutzeroberfläche ist es auch möglich, auf Ereignisse bei IO-Verbindungen und auf zeitliche Ereignisse zu reagieren. (All dies läßt sich in einem `select`- oder `poll`-Systemaufruf regeln).
- Die Methode `fileevent` ruft die beim dritten Parameter angegebene Prozedur für jedes beim zweiten Parameter spezifizierte Ereignis für die beim ersten Parameter angegebene IO-Verbindung auf. Dies wird solange wiederholt, bis dies explizit rückgängig gemacht wird (z.B. bei dem dritten Parameter `undef` angeben).

Textfenster

logviewer.pl

```
sub update_log {
   my ($logwin, $log) = @_;
   my $line = <$log>;
   if (defined $line) {
      $logwin->insert('end', $line);
      $logwin->see('end');
   } else {
      $logwin->fileevent($log, 'readable', undef);
   }
}
```

- `update_log` wird immer dann aufgerufen, wenn es etwas (frisch!) zum Einlesen gibt. Die Lösung ist hier naiv und nimmt an, daß es sich jeweils um eine Zeile handelt. Besser wäre hier ein nicht-blockierendes Lesen unter der Verwendung von `sysread`.
- Wenn das Einlesen erfolgreich war, wird die Zeile an das Ende des Textfensters `$logwin` angefügt. Statt `'end'` wären auch beliebige andere Positionierungen denkbar.
- Mit `$logwin->see('end')` wird sichergestellt, daß das Ende zu sehen ist, falls der gesamte Text nicht mehr vollständig dargestellt werden kann.
- Sollte das Ende der Eingabe erreicht sein (z.B. weil `tail` von jemanden abgeschossen wird), dann ist darauf zu achten, daß die Bearbeitung dieser Ereignisse rückgängig gemacht wird – sonst hätten wir eine CPU-fressende Dauerschleife, da das Ereignis sofort wieder eintreffen würde.

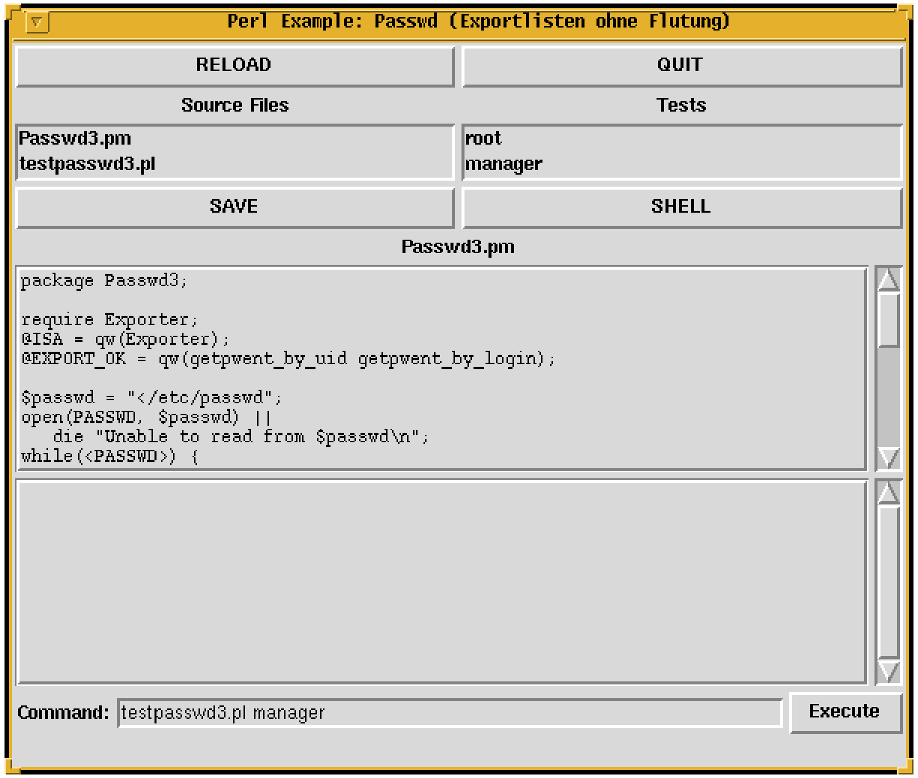
Leiste mit Buttons

logviewer.pl

```
my $frame = $main->Frame();
my @buttons = (
   ['QUIT', sub { close_pipe($log, $pid); exit 0 }],
   ['CUT',  sub { $logwin->delete('1.0', 'end') }],
);
foreach my $button (@buttons) {
   my $b = $frame->Button(
      '-text' => $button->[0],
      '-command' => $button->[1],
   );
   $b->pack('-side' => 'left',
      '-fill' => 'x', '-expand' => 1);
}
$frame->pack('-fill' => 'x');

$logwin->pack('-fill' => 'both', '-expand' => 1);

MainLoop;
```

- Buttons und ggf. auch andere Widgets, die in größeren Quantitäten auftreten, werden am geschicktesten in Abhängigkeit einer kompakten Datenstruktur angelegt.

Eine Umgebung für Perl-Beispiele



Eine Umgebung für Perl-Beispiele

passwd3.plex

```
name Passwd (Exportlisten ohne Flutung)
dir ftp://ftp.mathematik.uni-ulm.de/.../slides/passwd3
load Passwd3.pm
load testpasswd3.pl
test root testpasswd3.pl root
test manager testpasswd3.pl manager
```

- `run_plex` soll es auf einfache Weise ermöglichen, mit vorbereiteten Perl-Beispielen zu experimentieren.
- Es wird hierfür ein Skript benötigt, das angibt, von wo die dafür benötigten Dateien zu beziehen sind und ferner einige Testbeispiele vorgibt.
- Das Skript kann direkt an der Kommandozeile angegeben werden oder auch indirekt von einer Webseite referenziert werden. Mit Hilfe entsprechender MIME-Typen und der Eintragung von `run_plex` bei `mailcap` ist es möglich, diese Applikation direkt von einem Web-Browser aus aufzurufen.
- Im folgenden werden einige interessante Ausschnitte von `run_plex` gezeigt.

Die Bearbeitung eines Plex-Skriptes

runplex.pl

```
my $name;
my $dir;
my @files = ();
my @tests = ();

my %cmds = (
   'dir' => sub { $dir = $_[0] },
   'load' => sub { push(@files, $_[0]) },
   'name' => sub { $name = join(" ", @_) },
   'test' => sub { push(@tests,
                   {'tag' => shift @_, 'cmd' => [@_]}) },
);
```

- Es ist sehr typisch in Perl, statt einer `switch`-Anweisung wie sie von C her bekannt ist, ein assoziatives Array zu verwenden, das den einzelnen Fällen (typischerweise anonyme) Prozeduren zuweist.
- Hier werden den Prozeduren alle hinter dem Kommandonamen aufgeführten Parameter übergeben.
- In `@files` werden die zu ladenden Dateien notiert, in `@tests` die vorgegebenen Testfälle.

Die Bearbeitung eines Plex-Skriptes

runplex.pl

```
while(<$fh>) {
   chomp;
   next if /^#/;
   my @cmd = split /\s+/;
   die "$cmdname: Unknown command in $script: $cmd[0]\n"
      unless defined $cmds{$cmd[0]};
   &{$cmds{$cmd[0]}}(@cmd[1..$#cmd]);
}
$fh->close;
```

- Kommentare und leere Zeilen werden überlesen.
- Alles andere wird als Kommando betrachtet (auf einer Zeile, Leerzeichen dienen als Trenner).

Die Packerei

runplex.pl

```
my $top = new MainWindow;
my $title = "Perl Example";
$title .= ": $name" if defined $name;
$top->title($title);

my $bf = $top->Frame();
$bf->pack('side' => 'top', @fillx);
my @buttons = (
   ['RELOAD' => sub { load($dir, @files) }],
   ['QUIT' => sub { exit }],
);
foreach my $button (@buttons) {
   my $b = $bf->Button(
      '-text' => $button->[0],
      '-command' => $button->[1],
      '-width' => 6,
   );
   $b->pack('side' => 'left', @expandx);
}
```

- Gepackt wird von oben nach unten und innerhalb von Frames von links nach rechts.
- Bei Leiste mit Buttons empfiehlt es sich, allen die gleiche Weite mitzugeben.
- `@fillx` steht für `'fill' => 'x'` und `@expandx` ist eine Kurzform für `'fill' => 'x', 'expand' => 'y'`.

Die Listboxen

runplex.pl

```
my $ff = $top->Frame();
$ff->pack('-side' => 'top', @fillxy);
my ($ff_left, $left_lb) =
   create_listbox($ff, "Source Files", @files);
my ($ff_right, $right_lb) =
   create_listbox($ff, "Tests", @tags);
foreach my $frame (($ff_left, $ff_right)) {
   $frame->pack('-side' => 'left', @expandx);
}

$left_lb->bind('<Button-1>', \&select_file);
$right_lb->bind('<Button-1>', \&select_test);
```

- Die beiden Listboxen dienen zur Auswahl zu betrachtender Dateien oder vorgegebener Testfälle.
- Angenehm ist hier die voreingestellte Reihenfolge der "binding tags". Nachdem die für die Listboxen zuständige Klasse die Selektion bei dem Drücken der linken Maustaste durchgeführt hat, können wir diese abfragen und die entsprechende Auswahl treffen in den für die konkreten Listbox-Widgets gegebenen Verknüpfungen mit `select_file` bzw. `select_test`.

Die Listboxen

runplex.pl

```
sub create_listbox {
   my ($frame, $title, @entries) = @_;

   my $inner_frame = $frame->Frame();
   my $label = $inner_frame->Label(
      '-text' => $title,
      '-width' => $listbox_width,
   );
   $label->pack('-side' => 'top', @fillx);
   my $listbox = $inner_frame->Listbox(
      '-width' => $listbox_width,
      '-height' => $listbox_height,
   );
   $listbox->insert('end', @entries);
   $listbox->pack('-side' => 'top', @expandx);
   return ($inner_frame, $listbox);
}
```

- `$listbox_width` und `$listbox_height` wurden entsprechend der vorgegebenen Angaben festgelegt. Das erspart etwaige Scrollbars.

Auswahl einer Datei

runplex.pl

```
sub select_file {
   my $file = $left_lb->get('anchor');
   $textwin->delete('1.0', 'end');
   return unless defined $file;
   $fname = $file;
   my $fh = new IO::File $file;
   unless (defined($fh)) {
      msg("unable to open $file"); return;
   }
   while (<$fh>) {
      $textwin->insert('end', $_);
   }
   $fh->close;
   $edited_file = $file;
}
```

- Mit `get('anchor')` erhalten wir (den Beginn) der aktuellen Selektion.

- Nachdem mit `delete('1.0', 'end')` das gesamte Textfenster gelöscht worden ist, wird es mit dem Inhalt der ausgewählten Datei frisch gefüllt.

- Die Variable `$edited_file` bestimmt die Überschrift des Editierfensters.

Das Editierfenster

runplex.pl

```
my $fname = "";
my $twlabel = $top->Label('-textvariable' => \$fname);
$twlabel->pack('-side' => 'top', @fillx);
my $textwin = $top->Scrolled('Text' =>
   '-borderwidth' => 3, '-relief' => 'groove',
   '-scrollbars' => 'e',
   '-height' => '10', '-width' => 80
);
$textwin->pack('-side' => 'top', @expandxy);
```

- Das Editierfenster präsentiert eine der geladenen Dateien, die in der zugehörigen Listbox ausgewählt worden sind.
- Es ist das einzige Fenster, das auch in y-Richtung expandiert. Somit ist es relativ einfach, dieses Fenster zu vergrößern.

Die Ausführung von Kommandos

runplex.pl

```
my $cf = $top->Frame();
$cf->pack('-side' => 'top', @fillx);
$cf->Label('-text' => "Command:")->pack('-side' => 'left');
my $command = "";
my $cmd_entry = $cf->Entry('-textvariable' => \$command);
$cmd_entry->bind('<Control-u>', sub { $command = "" });
$cmd_entry->bind('<Return>', \&execute_command);
$cmd_entry->pack('-side' => 'left', @expandx);
$cf->Button(
   '-text' => "Execute",
   '-command' => \&execute_command,
)->pack('-side' => 'left');
```

- Die Kommandozeile ist mit der Variablen `$command` verbunden.
- Wenn bei der rechten Listbox einer der vorgegebenen Testfälle selektiert wird, dann wird `$command` entsprechend gesetzt.
- Mit dem Drücken von Return oder dem `Execute`-Button kann das Kommando ausgeführt werden.

Die Ausführung von Kommandos

runplex.pl

```
sub execute_command {
   return unless defined($command) && $command ne "";
   logline("*** execution of $command ***\n");
   msg("starting execution of $command");
   my $fh = new IO::File "$command 2>&1 |";
   while (<$fh>) {
      logline($_);
   }
   $fh->close;
   msg("");
}

sub logline {
   my $line = shift;
   $execwin->insert('end', $line);
   $execwin->see('end');
   $top->idletasks;
}
```

- `execute_command` eröffnet eine Pipe zu dem auszuführenden Kommando und gibt jede Zeile an `logline()` weiter.
- `logline` fügt jeweils eine Zeile zu dem Fenster, in dem die Ausgaben des auszuführenden Kommandos protokolliert werden.
- Während der Ausführung von `execute_command` können keine Ereignisse von X abgearbeitet werden. Auch die Aktualisierungen bleiben unberücksichtigt, wenn die zentrale Ereignisschleife nicht kurzfristig Gelegenheit erhält, sich darum zu kümmern. Dies geschieht mit `$top->idletasks`.

Das Herunterladen von Dateien

runplex.pl

```
sub load {
   my ($dir, @files) = @_;
   msg("Loading source files...");
   my $basedir = $ENV{'HOME'} . "/.$cmdname";
   unless (-d $basedir) {
      msg("Creating $basedir...");
      mkdir($basedir, 0777) ||
         die "$cmdname: Unable to create $basedir\n";
   }
   my $tmpdir = "$basedir/$$";
   if (-d $tmpdir) {
      my $suffix = "a";
      while (-d "$tmpdir$suffix") {
         msg("$tmpdir$suffix");
         ++ $suffix;
      }
      $tmpdir .= $suffix;
   }
   msg("Creating $tmpdir...");
   mkdir($tmpdir, 0777) ||
      die "$cmdname: Unable to create $tmpdir\n";
   chdir($tmpdir) ||
      die "$cmdname: Unable to chdir to $tmpdir\n";

   msg("Fetching files from $dir");
   if ($dir =~ m{^ftp://(.*?)/(.*)$}) {
      my ($server, $dir) = ($1, $2);
      ftp_load($server, $dir, @files) ||
         die "$cmdname: Unable to load files\n";
   } else {
      die "$cmdname: unknown dir: $dir\n";
   }
}
```

Das Herunterladen von Dateien

- Für jedes herunterzuladende Beispiel wird ein Verzeichnis unter `~/.run_plex` angelegt.
- `mkdir` gehört zu den eingebauten Prozeduren von Perl (wie soviele andere Systemaufrufe auch). Der zweite Parameter gibt die Zugriffsrechte an.
- `$$` steht für die Prozess-ID (analog zur Konvention der Bourne-Shell). Es ist eine weitere der vielen eingebauten Variablen (siehe `perlvar`-Manualseite).

Herunterladen von Dateien via FTP

runplex.pl

```
sub ftp_load {
   my ($server, $dir, @files) = @_;
   my $ftp = Net::FTP->new($server);
   unless (defined($ftp)) {
      msg("Unable to setup FTP connection to $server");
      return 0;
   }
   unless ($ftp->login("anonymous", "$cmdname@")) {
      msg("Unable to login on FTP server $server");
      $ftp->quit;
      return 0;
   }
   unless ($ftp->cwd($dir)) {
      msg("Unable to cd $dir on FTP server $server");
      $ftp->quit;
      return 0;
   }
   foreach my $file (@files) {
      msg("Loading $file...");
      unless ($ftp->get($file)) {
         msg("Loading $file... FAILED"); $ftp->quit;
         return 0;
      }
      chmod(0755, $file) if $file =~ /\.pl$/;
      msg("Loading $file... OK");
   }
   msg("Loading finished successfully");
   $ftp->quit;
   return 1;
}
```

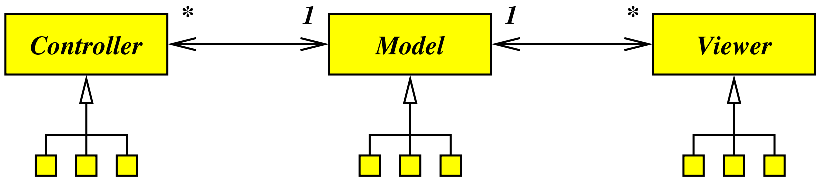
Herunterladen von Dateien via FTP

runplex.pl

```
my $ftp = Net::FTP->new($server);
```

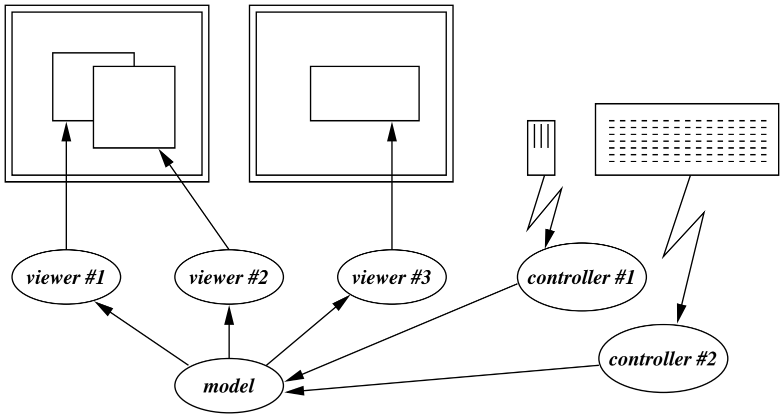
- Das Modul `Net::FTP` gehört zu einer Familie von Modulen unter `Net`, das elegante Schnittstellen zu einzelnen Internet-Diensten anbietet.
- Bei der Methode `login` sind Benutzername und Passwort anzugeben. Bei öffentlichen FTP-Servern ist ein Zugang mit `anonymous` (oder `ftp`) und einer E-Mail-Adresse zulässig (die allerdings nicht stimmen muß :-).
- Mit der Methode `cwd` ist ein Wechsel des Verzeichnisses möglich und mit `get` können Dateien heruntergeladen werden. Durch die Methode `quit` wird die Verbindung beendet.

Models, Viewers und Controllers



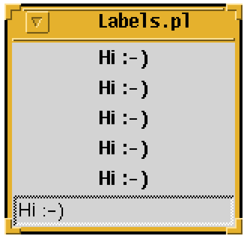
- Die Einteilung in Models, Viewers und Controllers im Zusammenhang mit graphischen Benutzeroberflächen wurde von Smalltalk-80 eingeführt. Die Vorteile dieses Ansatzes liegen in der damit gewonnen Flexibilität und der leichteren Wiederverwendbarkeit.
- Model-Klassen repräsentieren ein abstraktes Modell, das der jeweiligen Applikation zugrunde liegt. Das Modell ist im einfachen Fall ein reines Datenmodell oder bietet im allgemeinen Fall eine Reihe von Abfragemethoden und Operationen, die den Zustand verändern können.
- Viewer-Klassen sind in der Lage, bestimmte abstrakte Modelle graphisch in einer Benutzeroberfläche zu repräsentieren. Relevant ist hier, daß ein konkretes Modell gleichzeitig durch eine Vielzahl von konkreten Instanzen von Viewer-Klassen dargestellt werden kann.
- Controller-Klassen können Ereignisse von einer graphischen Benutzeroberfläche (Interaktionen) oder externen Quellen in Operationen auf dem Modell konvertieren.

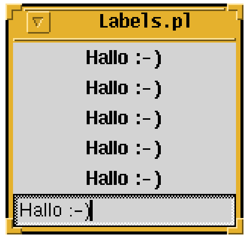
Informationsflüsse



- Eingehende Ereignisse werden von den Controller-Objekten erfaßt und in Form von Operationen an das Modell-Objekt weitergeleitet.
- Alle Viewer-Objekte, die sich zuvor bei dem Modell-Objekt registriert haben, werden über alle Statusänderungen informiert.
- Bei einem verteilten System können nicht nur beliebig viele Viewer- und Controller-Objekte beteiligt sein, sondern auch mehr als ein Rechner und eine graphische Benutzeroberfläche partizipieren.

MVC-Modell bei Widgets





labels.pl

```
my $main = new MainWindow;
my $textvariable = "Hi :-)";
foreach (1 .. 5) {
   $main->Label('-textvariable' => \$textvariable)->pack;
}
$main->Entry('-textvariable' => \$textvariable)->pack;
MainLoop;
```

- Selbst bei den allereinfachsten Widgets gibt es ein dahinterliegendes abstraktes Modell.
- So gehört zu einem Label das abstrakte Modell einer Zeichenkette, das von dem Label (im Rahmen seiner Möglichkeiten) dargestellt wird.
- Im Beispiel ist die Abstraktion einer skalaren Variablen von Perl das Modell, die Labels sind allesamt Viewer und der Entry operiert simultan als Viewer und Controller.
- Leider hört bei komplizierteren Widgets (Textfenster beispielsweise) die Unterstützung bei Tk auf.

MVC-Modell bei Applikationen

- Genauso wie sich die graphische Benutzeroberfläche einer Applikation aus vielen sich zusammensetzenden Einzelkomponenten besteht, kann das MVC-Modell beginnend mit den elementaren Widgets Ebene um Ebene bis hin zur Abstraktionsebene der Applikation hochgezogen werden.

- Im Gesamtbild gibt es dann drei Hierarchien (Models, Viewers und Controllers), die jeweils in ihrer Ebene zueinander in Beziehung stehen und bei denen von Ebene zu Ebene eine Aggregation stattfindet.

MVC-Klassen in Perl

texts.pl

```
#!/usr/local/bin/perl
use strict;
use warnings;
use Tk;
use MVC::Model::Text;
use MVC::Viewer::ROText;

my $main = new MainWindow;
my $model = new MVC::Model::Text "some\nlines\nof\ntext\n";

foreach (1..3) {
   my $viewer = $main->Scrolled('ROTextViewer',
      '-model' => $model,
      '-width' => 20,
      '-height' => 5);
   $viewer->pack;
}
my $line = "";
my $entry = $main->Entry('-textvariable' => \$line)->pack;
$entry->bind('<Return>',
   sub {
      $model->append($line . "\n");
      $line = "";
   });

MainLoop;
```

- Natürlich kann die MVC-Strukturierung auch in Perl/Tk übernommen werden, wenn einmal die Grundmechanismen dafür geschaffen worden sind.

MVC::Model

MVC/Model.pm

```
package MVC::Model;

use strict;
use warnings;
require Exporter;

our $VERSION = "0.02";
our @ISA = qw(Exporter);

sub new {
   my ($package, @options) = @_;
   my ($self) = bless {}, $package;
   $self->init(@options);
   return $self;
}

sub init {
   my ($self) = @_;
   $self->{viewers} = {};
}
```

- `MVC::Model` dient als Basisabstraktion für alle Modelle.
- Typischerweise werden die Initialisierungsarbeiten außerhalb des Konstruktors von einer speziellen Methode durchgeführt. In diesem Fall von `init`. Von `MVC::Model` abgeleitete Klassen dürfen zwar `init` überdefinieren – müssen jedoch sicherstellen, daß auch `init` für die Basisklassen aufgerufen wird.
- In `$self->{viewers}` verwaltet `MVC::Model` die Menge der registrierten Viewer.

MVC::Model

MVC/Model.pm

```
sub register {
   my ($self, $viewer) = @_;
   $self->{viewers}->{$viewer} = $viewer;
}

sub deregister {
   my ($self, $viewer) = @_;
   delete $self->{viewers}->{$viewer};
}

sub update {
   my ($self, @params) = @_;
   foreach my $viewer (values %{$self->{viewers}}) {
      $viewer->update_view($self, @params);
   }
}

1;
```

- Neu hinzukommene Viewer können sich mit `register` registrieren und dies später mit `deregister` rückgängig machen.
- Klassen, die von `MVC::Model` abgeleitet sind, müssen `update` aufrufen, wenn sich der Zustand in einer von außen sichtbaren Weise verändert hat.
- Alle von `MVC::Viewer` abgeleiteten Klassen benötigen eine Methode `update`, die für die Synchronisation des aktuellen Zustands eines Modells mit der Präsentierung verantwortlich ist.

MVC::Viewer

MVC/Viewer.pm

```
package MVC::Viewer;

use strict;
use warnings;
require Exporter;
our @ISA = qw(Exporter);

use Carp;

sub new {
   my ($package, @options) = @_;
   my ($self) = bless {}, $package;
   $self->init(@options);
   return $self;
}

sub init {
   my ($self, $model) = @_;
   $self->{model} = $model;
   $model->register($self) if defined $model;
}
```

- `MVC::Viewer` ist die Basisklasse für alle Klassen, die ein Modell präsentieren.

MVC::Viewer

MVC/Viewer.pm

```
sub attach {
   my ($self, $model) = @_;
   $self->{model}->deregister($self) if defined $self->{model};
   $self->{model} = $model;
   $model->register($self) if defined $model;
}

sub detach {
   my ($self) = @_;
   $self->{model}->deregister($self) if defined $self->{model};
   $self->{model} = undef;
}

sub update_view {
   croak("update has not been declared by derived class");
}

1;
```

- Mit `attach` und `detach` ist es möglich, die Verbindung zwischen einem Viewer und einem konkreten Model zu ändern bzw. aufzulösen.

- Virtuelle Methoden, die überdefiniert werden müssen, sollten in der Basisklasse mit der Generierung eines Fehlers (über `croak`) vordefiniert werden.

MVC::Model::Text

MVC/Model/Text.pm

```
package MVC::Model::Text;

use strict;
use warnings;
use MVC::Model;

our @ISA = qw(MVC::Model);

sub init {
   my ($self, $init) = @_;
   $self->SUPER::init();
   $init = "" unless defined $init;
   $self->{text} = $init;
}

sub get {
   my ($self) = @_;
   return $self->{text};
}
```

- `MVC::Model::Text` ist ein (sehr einfaches) Modell für Text (Zeichenfolge, die über beliebig viele Zeilen gehen kann).
- Das Durchlaufen der Initialisierungskette für ein neues Objekt durch alle beteiligten Klassen wird durch `$self->SUPER::init()` sichergestellt. `SUPER` ist ein Verweis auf die übergeordnete Klasse.

MVC::Model::Text

MVC/Model/Text.pm

```
sub set {
   my ($self, $text) = @_;
   $text = "" unless defined $text;
   if ($text ne $self->{text}) {
      $self->{text} = $text;
      $self->update();
   }
}

sub append {
   my ($self, $text) = @_;
   if (defined ($text) && $text ne "") {
      $self->{text} .= $text;
      $self->update();
   }
}

1;
```

- Mit `set` oder `append` ist es möglich, den aktuellen Zustand des Text-Modells sichtbar zu verändern. Entsprechend ist es notwendig, die Methode `update` jeweils anschließend aufzurufen, um Änderungen an die Viewer weiterzugeben.

MVC::Viewer::ROText

MVC/Viewer/ROText.pm

```
package MVC::Viewer::ROText;

use strict;
use warnings;
use Carp;
use Tk;
use Tk::ROText;
use MVC::Viewer;

our @ISA = qw(Tk::ROText MVC::Viewer);

Construct Tk::Widget 'ROTextViewer';

sub init {
   my ($self, @options) = @_;
   $self->SUPER::init(@options);
}
```

- Die Klasse `MVC::Viewer::ROText` ist eine Ableitung sowohl von dem Widget `Tk::ROText` (repräsentierendes Widget) als auch der Basisklasse für Viewer `MVC::Viewer`.
- Mit `Construct Tk::Widget 'ROTextViewer'` wird dafür gesorgt, daß `ROTextViewer` als Konstruktor-Methode für alle Widgets eingetragen wird, die andere aufnehmen können (`MainWindow`, `TopLevel`, `Frame` usw).
- Da `Tk::ROText` innerhalb `@ISA` zuerst genannt wird, hat der Konstruktor (Methode `new`) von `Tk::Widget` Priorität vor dem von `MVC::Viewer`.

MVC::Viewer::ROText

MVC/Viewer/ROText.pm

```
sub InitObject {
   my ($self, $args) = @_;
   my $model = undef;
   if (defined($args->{'-model'})) {
      $model = $args->{'-model'};
      delete $args->{'-model'};
   }
   $self->SUPER::InitObject($args);
   $self->init($model);
   $self->update($model);
}

sub update {
   my ($self, $model) = @_;
   $self->delete('1.0', 'end');
   $self->insert('end', $model->get());
   $self->see('end');
}

1;
```

- Bei den von `Tk::Widget` abgeleiteten Modulen geht die Initialisierungskette nicht über die Methode `init`, sondern über `InitObject`. Dies ist ein glücklicher Umstand, da es sonst bei *multiple inheritance* nicht ganz einfach ist, alle beteiligten Klassen an der Initialisierung teilhaben zu lassen.