Betriebssysteme

SS 2015

Hans-Georg Eßer
Dipl.-Math., Dipl.-Inform.

Foliensatz U:

- Unix und Ulix
- Literate Programming
- Aufbau der Ulix-Quellcode-Dateien

v1.0, 2015/04/30
(mit Literate Programming)

Übersicht: BS Praxis und BS Theorie

A	Einführung Shell Dateiverwaltung	Software-Verwaltung	E
		Scheduler / Prioritäten	F
		Synchronisation	G
B	Filter C-Compiler	Speicherverwaltung	S
		Dateisysteme, Zugriffsrechte	T
C	Prozesse / Jobs Threads	Einführung Ulix ← Folien U	
		Ulix: Interrupts, Faults	V
D	Interrupts System Calls	Zusammenfassung	H

Unix und Ulix

Unix-Features: Überblick (1)

- Wie alle (modernen) BS bietet Unix eine Abstraktion der Hardware und ein Interface, über das Prozesse diese nutzen können
- Prozessor (Multi-Tasking, Scheduling)
- Prozessverwaltung (`fork`, `exec`, `wait`, `exit`)
- Festplatte/Diskette (Dateisystem)
- Prozess-Kommunikation und -Synchronisation
- Netzwerk: TCP/IP, Sockets
- Multi-User-Betrieb

Prozessor (Scheduling)

- Unix stellt die Ressource CPU mehreren Prozessen zur Verfügung
- je nach Unix-Version verschiedene Scheduling-Strategien
- Priorisierung von Prozessen (nice values), Steuerung über `nice()` und `setpriority()`
- kein Prozess kann die CPU monopolisieren

Prozessverwaltung (1)

- Prozesse bei Unix in Baumstruktur organisiert („Vater/Sohn“)
- Neue Prozesse werden mit `fork()` als ident. Kopie des aufrufenden Prozesses erzeugt
- Prozess kann mit `exec()` ein anderes Programm nachladen
- `exit()` beendet Prozess (mit Rückgabewert)
- `wait()`, `waitpid()` warten auf Ende eines Kindprozesses, Auswerten des Rückgabewerts

Prozessverwaltung (2)

- Intern verwaltet Unix Prozesse über Prozess-Kontroll-Blöcke (PCBs)
- jeder Prozess hat eigenen Adressraum (Speicherschutz), der zudem vom Adressraum des Unix-Kernels getrennt ist
- traditionell: keine Threads (nur über User-Level-Bibliothek)
- Context Switch wechselt von einem Prozess zum nächsten (Scheduler entscheidet, wann und zu welchem Prozess)

Dateisystem (1)

- Alle Unix-Dateisysteme haben gemeinsame Eigenschaften (→ Foliensatz T)
  - hierarchisches Dateisystem (Unterordner)
  - Medien über Mountpoints in Baum integriert
  - Inodes verwalten Eigenschaften und Blockliste einer Datei
  - Inodes enthalten *keinen* Dateinamen
  - Verzeichnisse sind spezielle Dateien mit Zuordnungen Dateiname → Inode-Nummer
  - freie Datenblöcke und freie Inodes in Bitmaps verwaltet
  - Superblock enthält Verwaltungsinformationen für gesamtes Dateisystem

Dateisystem (2)

- System Calls für Zugriff auf Dateien
  - `fd=open()` öffnet Datei, gibt file descriptor zurück
  - `read (fd, ...)` liest aus Datei
  - `write (fd, ...)` schreibt in Datei
  - `lseek (fd, ...)` springt zu Position in Datei
  - `close (fd)` schließt Datei
- Interne Umsetzung oft über Virtual Filesystem (VFS)
- unterstützt mehrere FS und diverse Hardware

IPC, Prozess-Synchronisation

- Signal-Mechanismus
  - Signal-Handler, `signal()`
  - Signal senden, `kill()`
- Auch BS selbst verwendet Signale
- Synchronisation über Mutexe und/oder Semaphore

Netzwerk

- TCP/IP (Verbindungen), UDP (verbindungslos)
- Sockets (Client/Server)
- Verwendung von Sockets ähnlich wie Zugriff auf Dateien,
  - `socket()`,
    TCP: `SOCK_STREAM`,
    UDP: `SOCK_DGRAM`
  - I/O multiplexing mit `select()`

Multi-User-Betrieb

- Unix kennt mehrere Benutzer, root (UID=0) ist Systemverwalter
- Anmeldung über Username, Passwort
- Benutzergruppen
- Dateizugriff: Zugriffsrechte (für Besitzer, Gruppe, sonstige)
- Signalversand: nur an eigene Prozesse

ULIX: Features, Einschränkungen (1)

ULIX 0.12 ist erste fertige Release.

- **Prozesse:**
  - ✓ `fork`, `exit`, `wait`, `exec` funktionieren; RR-Scheduler
  - ✘ aktuelle Version ohne Prioritäten (→ BA, fertig)
- **Dateisystem:**
  - ✓ VFS, Hardware: Disketten, IDE-Platten, Minix-v2-FS

ULIX: Features, Einschränkungen (2)

- **Signale:**
  - ✓ Datenstrukturen im PCB vorhanden, `signal()` trägt Handler ein, `kill()` verschickt Signal
  - ✓ Kernel passt Stack des Empfängerprozess an, damit er beim nächsten Aufruf den Signal Handler ausführt
- **Speicher:**
  - ✓ Paging: Seitentabellen für jeden Prozess, Kernel-Adressraum wird beim Wechsel in Kernel-Mode sichtbar; Auslagern / Wiedereinlagern von Seiten

ULIX: Features, Einschränkungen (3)

- **System Calls:**
  - ✓ System Call Interface, erlaubt Registrieren neuer Syscall-Handler.
    Standard-Syscalls für alle Kernel-Funktionen vorhanden
    User-Mode-Bibliothek enthält Funktionen, welche diese Syscalls aufrufen
- **Interrupts:**
  - ✓ Interrupt-Handler für Timer, FDC, IDE, Tastatur, serielle Schnittstelle

ULIX: Features, Einschränkungen (4)

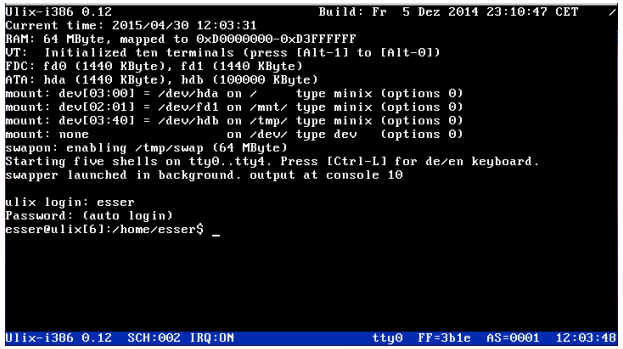
- **Zugriff auf Geräte:**
  - ✓ Floppy: DMA, Block-Transfer
  - ✓ Festplatte: PIO, Block-Transfer
  - ✓ „Serial Harddisk“: byte-weiser Transfer über serielle Schnittstelle
  - ✓ Gerätedateien (für Blockgeräte)
- **Netzwerk:**
  - ✘ nicht implementiert (in BA: IP via SLIP)

ULIX: Features, Einschränkungen (5)

- **Multi-User-Betrieb:**
  - ✓ alle nötigen Datenstrukturen vorhanden
  - ✓ Zugriffsrechte im Minix-Dateisystem
  - ✓ Anmeldung (Benutzer/Passwort), Benutzer-wechsel mit `su`
- **Terminals:**
  - ✓ ULIX startet Shells auf mehreren Terminals
  - ✘ kein Grafikmodus; Terminals laufen in 80x24-Textmodus (Zeile 25: BS-Statuszeile)

Ulix 0.12 Statistik

```
$ for i in bin-build/ulix.c bin-build/start.asm lib-build/ulixlib.[ch]; do \
  echo -n "$i: "; grep -v "^#line" $i | wc -l; done
bin-build/ulix.c:        7510
bin-build/start.asm:      241
lib-build/ulixlib.c:      517
lib-build/ulixlib.h:      376
```



Literate Programming

LaTeX: Überblick (1)

- LaTeX (gespr.: La-Tech) ist eine Auszeichnungs-sprache für Dokumente, grob vergleichbar mit HTML
- Zwei wesentliche Syntax-Elemente:
  - Befehl:
    `\befehl{argument1}{argument2}...`
  - Umgebung:
    `\begin{umgebung}`
    `...`
    `\end{umgebung}`

LaTeX: Überblick (2)

- „Hello-World“-Dokument:

```
\documentclass{article}     % versch. Klassen, z. B.
                            % book, report, letter
\begin{document}            % Anfang des Dokuments
  Hello, World.             % „body“
\end{document}              % Ende des Dokuments
```

- Überschriften

```
\section{Überschrift 1}                 % Stufe 1
Text

\subsection{Überschrift 1.1}            % Stufe 2
Test

\subsubsection{Überschrift 1.1.1}       % Stufe 3
```


LaTeX: Überblick (3)

```
% testdatei1.tex

\documentclass{article}
\usepackage[latin1]{inputenc}

\begin{document}

\tableofcontents   % Inhaltsverz.

\section{Beispiel}

Das ist ein kleines Beispiel.

\subsection{Unterabschnitt}

Mehr im Beispieldokument \dots

\subsubsection{Überschrift 1.1.1}

So geht es \emph{kursiv} und
\textbf{fett}.

\end{document}
```

```
$ pdflatex testdatei1.tex
$ pdflatex testdatei1.tex
```

→ erzeugt `testdatei1.pdf`:

Contents

1 Beispiel 1
1.1 Unterabschnitt 1
1.1.1 Überschrift 1.1.1 . . 1

1 Beispiel

Das ist ein kleines Beispiel.

1.1 Unterabschnitt

Mehr im Beispieldokument …

1.1.1 Überschrift 1.1.1

So geht es *kursiv* und **fett**.

Vergleich LaTeX / HTML (1)

```
\documentclass{article}
\usepackage[latin1]{inputenc}

\begin{document}

\tableofcontents   % Inhaltsverz.

\section{Beispiel}

Das ist ein kleines Beispiel.

\subsection{Unterabschnitt}

Mehr im Beispieldokument \dots

\subsubsection{Überschrift 1.1.1}

So geht es \emph{kursiv} und
\textbf{fett}.

\end{document}
```

```
<html>
<head><meta charset="iso-8859-1"></head>

<body>

<!-- Inhalt gibt es nicht -->

<h1>1. Beispiel</h1>

Das ist ein kleines Beispiel.

<h2>1.1 Unterabschnitt</h2>

Mehr im Beispieldokument .. .

<h3>1.1.1 Überschrift 1.1.1</h3>

So geht es <i>kursiv</i> und
<b>fett</b>.

</body>
</html>
```


Vergleich LaTeX / HTML (2)

```
\begin{enumerate}
  % Aufzählung (1, 2, 3...)
  \item Erster
  \item Zweiter
  \item Dritter
\end{enumerate}
```

```
<ol>
  <!-- Ordered list -->
  <li> Erster </li>
  <li> Zweiter </li>
  <li> Dritter </li>
</ol>
```

1. Erster
2. Zweiter
3. Dritter

```
\begin{itemize}
  % Auflistung (Bullets)

  \item Erster
  \item Zweiter
  \item Dritter
\end{itemize}
```

```
<ul>
  <!-- Unordered list,
                bullets -->
  <li> Erster </li>
  <li> Zweiter </li>
  <li> Dritter </li>
</ul>
```

- Erster
- Zweiter
- Dritter

```
\includegraphics[width=
  10cm]{bild.png}
```

```
<img src="bild.png"
  width="100px">
```

(Bild)

Vergleich LaTeX / HTML (3)

```
Erster Absatz. Text im ersten
Absatz. Text im ersten Absatz.
Text im ersten Absatz. Text im
ersten Absatz. Text im ersten
Absatz. Text im ersten Absatz.
Text im ersten Absatz.

Text im zweiten Absatz. Text im
zweiten Absatz. Text im zweiten
Absatz. Text im zweiten Absatz.
Text im zweiten Absatz. Text im
zweiten Absatz.

Text im dritten Absatz. Text im
dritten Absatz. Text im dritten
Absatz. Text im dritten Absatz.
Text im dritten Absatz.

Harter Umbruch \\
Neue Zeile \\
Noch eine Zeile
```

```
<p> Erster Absatz. Text im ersten
Absatz. Text im ersten Absatz.
Text im ersten Absatz. Text im
ersten Absatz. Text im ersten
Absatz. Text im ersten Absatz.
Text im ersten Absatz. </p>

<p> Text im zweiten Absatz. Text
im zweiten Absatz. Text im zweiten
Absatz. Text im zweiten Absatz.
Text im zweiten Absatz. Text im
zweiten Absatz. </p>

<p> Text im dritten Absatz. Text
im dritten Absatz. Text im dritten
Absatz. Text im dritten Absatz.
Text im dritten Absatz. </p>

<p> Harter Umbruch <br>
Neue Zeile <br>
Noch eine Zeile</p>
```


LaTeX: Kommandos

- `pdflatex`: wandelt `tex`-Datei in `pdf`-Datei um
  → ggf. mehrfach aufrufen (z. B. für Inhalt)
  → bei Fehlern: [Eingabe] drücken
  → wiederholte Fehler: X eingeben (und [Eingabe] drücken)
- `xpdf`: PDF-Betrachter (Evince, Gnome-App)
- `bibtex`: hilft bei der Literaturverwaltung
  → verwendet `bib`-Datei
  → ggf. später mehr dazu

LaTeX: Erfolgreiche Ausführung (1)

```
ulix@ulixdevel:~/tex$ pdflatex test2.tex
This is pdfTeX, Version 3.1415926-1.40.10 (TeX Live 2009/Debian)
entering extended mode
(./test2.tex
LaTeX2e <2009/09/24>
Babel <v3.8l> and hyphenation patterns for english,
usenglishmax, dumylang, nohyphenation, loaded.
(/usr/share/texmf-texlive/tex/latex/base/article.cls
Document Class: article 2007/10/19 v1.4h Standard LaTeX document
class
(/usr/share/texmf-texlive/tex/latex/base/size10.clo))
No file test2.aux.
[1{/var/lib/texmf/fonts/map/pdftex/updmap/pdftex.map}]
(./test2.aux) )</usr/sha
re/texmf-texlive/fonts/type1/public/amsfonts/cm/cmr10.pfb>
Output written on test2.pdf (1 page, 12056 bytes).
Transcript written on test2.log.
```


LaTeX: Erfolgreiche Ausführung (2)

```
ulix@ulixdevel:~/tex$ ls -l test2.*
-rw-r--r-- 1 ulix ulix    79 13. Okt 22:39 test2.aux
-rw-r--r-- 1 ulix ulix  2488 13. Okt 22:39 test2.log
-rw-r--r-- 1 ulix ulix 32965 13. Okt 22:39 test2.pdf
-rw-r--r-- 1 ulix ulix   112 13. Okt 22:39 test2.tex
-rw-r--r-- 1 ulix ulix    53 13. Okt 22:39 test2.toc
```

- `test2.log`: Protokoll, mit Warnungen
- `test2.pdf`: Erstellte PDF-Datei
- `test2.toc`: Daten für Inhaltsverzeichnis (toc = table of contents)

LaTeX: Abbruch bei Fehler

```
ulix@ulixdevel:~/tex$ pdflatex test1.tex
This is pdfTeX, Version 3.1415926-1.40.10 (TeX Live 2009/Debian)
entering extended mode
(./test1.tex
LaTeX2e <2009/09/24>
Babel <v3.8l> and hyphenation patterns for english, usenglishmax,
dumylang, nohyphenation, loaded.
(/usr/share/texmf-texlive/tex/latex/base/article.cls
Document Class: article 2007/10/19 v1.4h Standard LaTeX document class
(/usr/share/texmf-texlive/tex/latex/base/size10.clo)) (./test1.aux)

! LaTeX Error: Environment empyhd undefined.

See the LaTeX manual or LaTeX Companion for explanation.
Type  H <return>  for immediate help.
 ...

1.4   \begin{empyhd}

? X
No pages of output.
Transcript written on test1.log.
```


Literate Programming

- Grundidee: Nicht Code kommentieren, sondern „erzählen“, wie das Programm funktioniert
- Code und Dokumentation vertauscht
- Beispiel für den Einstieg: Bubblesort

  (Original-Code von http://de.wikipedia.org/wiki/Bubblesort übernommen; nach C portiert)

Bubblesort (1): ohne Kommentare

```
void bubblesort() {
  int SIZE = 10;
  int i, j, tmp;
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    for (i=0; i<j-1; i++) {
      if (arr[i] > arr[i+1]) {
        tmp = arr[i+1];
        arr[i+1] = arr[i];
        arr[i] = tmp;
      }
    }
  }
}
```


Bubblesort (2): mit Kommentaren

```
// bubblesort: sort elements of an array arr[] of size SIZE
void bubblesort() {
  // declarations
  int SIZE = 10;  // size of the array
  int i, j;       // loop variables
  int tmp;        // temporary variable for swapping elements
  // outer loop
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    // check all neighbors in arr[0..j-1] and swap them if their
    // order is wrong
    for (i=0; i<j-1; i++) {
      if (arr[i] > arr[i+1]) {
        // swap neighbors i, i+1 (using tmp as temporary variable)
        tmp = arr[i+1];
        arr[i+1] = arr[i];
        arr[i] = tmp;
      }
    }
  }
}
```

Bubblesort als Literate Program (1)

Bubblesort: The Literate Program

To sort a field `arr[]`, we first need to initialize a `SIZE` variable and declare some local variables, such as `i` and `j` which are used as loop counters, as well as a temporary variable `tmp`:

⟨ *bubblesort: declarations* 15 ⟩≡
```
int SIZE = 10;
int i, j, tmp;
```


Bubblesort als Literate Program (2)

The main routine of the bubblesort algorithm compares each field element with its direct (right) neighbor and corrects their order if it is wrong. After doing this once the biggest element will be at the end of the list. It then repeats these steps with a smaller field (ignoring the right-most element). Thus, with each step in a loop, the unsorted array becomes one element smaller until there is nothing left to sort:

⟨ *bubblesort program* 16 ⟩≡
```
void bubblesort() {
  ⟨ bubblesort: declarations 15 ⟩
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    ⟨ bubblesort: check neighbors in range 0..j 17 ⟩
  }
}
```


Bubblesort als Literate Program (3)

In order to do the neighbor checks, a second loop inside the outer loop is necessary:

⟨ *bubblesort: check neighbors in range 0..j* 17 ⟩≡
```
for (i=0; i<j-1; i++) {
  if (arr[i] > arr[i+1]) {
    ⟨ bubblesort: swap elements 17 ⟩
  }
}
```

For swapping, three commands and usage of a temporary variable are necessary in a C program:

⟨ *bubblesort: swap elements* 17 ⟩≡
```
tmp = arr[i+1];
arr[i+1] = arr[i];
arr[i] = tmp;
```


Code Chunks (1)

- Elemente der Form ⟨ *name* ⟩ heißen **Code Chunks**.
- Code Chunks werden, wie Makros, an den Stellen ersetzt, wo sie auftreten, z. B.

```
void bubblesort() {
  ⟨ bubblesort: declarations 15 ⟩

  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    ...
```

→

```
void bubblesort() {
  int SIZE = 10;
  int i, j, tmp;
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    ...
```

Code Chunks (2)

- Code Chunks dürfen nicht rekursiv sein:

```
⟨ unfug 19 ⟩≡
for (i=0; i<10; i++) {
  ⟨ unfug 19 ⟩
}
```

- Chunk kann vor oder nach der Benutzung definiert werden
- Chunk darf auch komplett fehlen
  → verursacht nur eine Warnung

Code Chunks (3)

- Code Chunks können an mehreren Stellen definiert werden
- spätere Auftreten setzen die Definition fort

```
⟨ lange definition 20 ⟩≡
for (i=0; i<10; i++) {
  // erste Schleife
}

Text, andere Chunks, …

⟨ lange definition 20 ⟩+≡
for (i=0; i<10; i++) {
  // zweite Schleife
}
```

wird später zu:

```
for (i=0; i<10; i++) {
  // erste Schleife
}
for (i=0; i<10; i++) {
  // zweite Schleife
}
```

≡ vs. +≡ !

LaTeX und NoWeb (1)

Syntax in LaTeX-Dokumenten:

- `<<chunk name>>` für ⟨ *chunk name* ⟩
- Definition: `<<name>>= ... @`
- `[[variable]]` für `variable`

```
<<bubblesort program>>=
void bubblesort() {
  <<bubblesort: declarations>>
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    <<bubblesort: check neighbors in range 0..[[j]]>>
  }
}
@
```


LaTeX und NoWeb (2)

Komplettes Literate Program in LaTeX/NoWeb:

```
\subsubsection{Bubblesort: The Literate Program}

To sort a field, we first need to initialize a [[SIZE]] variable
and declare some local variables, such as [[i]] and [[j]] which are
used as loop counters, as well as a temporary variable [[tmp]]:

<<bubblesort: declarations>>=
int SIZE = 10;
int i, j, tmp;
@

The main routine of the bubblesort algorithm compares each field
element with its direct (right) neighbor and corrects their order
if it is wrong. After doing this once the biggest element will be
at the end of the list. It then repeats these steps with
a smaller field (ignoring the right-most element). Thus, with each
step in a loop, the unsorted array becomes one element smaller
until there is nothing left to sort:
```

LaTeX und NoWeb (3)

```
<<bubblesort program>>=
void bubblesort() {
  <<bubblesort: declarations>>
  for (j=SIZE; j>1; j--) {
    <<bubblesort: check neighbors in range 0..[[j]]>>
  }
}
@

In order to do the neighbor checks, a second loop inside the
outer loop is necessary:

<<bubblesort: check neighbors in range 0..[[j]]>>=
for (i=0; i<j-1; i++) {
  if (arr[i] > arr[i+1]) {
    <<bubblesort: swap elements>>
  }
}
@
```

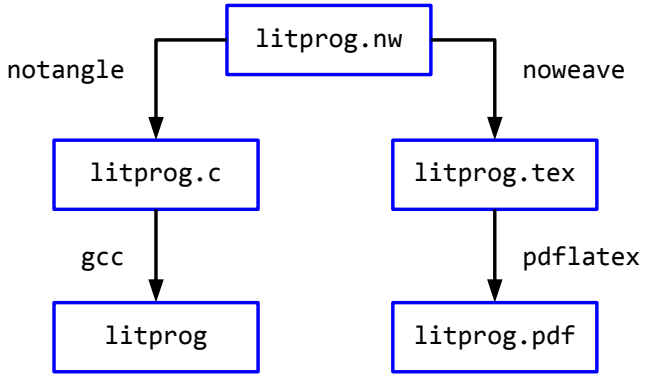

LaTeX und NoWeb (4)

```
For swapping, three commands and usage of a temporary variable
are necessary in a C program:

<<bubblesort: swap elements>>=
tmp = arr[i+1];
arr[i+1] = arr[i];
arr[i] = tmp;
@
```


LaTeX und NoWeb (5)

- NoWeb-Tools: `noweave`, `notangle`



noweave

- Syntax von `noweave`:

  `noweave datei.nw > datei.tex`
- `nw`-Datei enthält immer ein vollständiges Literate Program

notangle

- Syntax von `notangle`:

  `notangle -R`*`chunkname`* `datei.nw > code.c`
- `nw`-Datei enthält viele Code Chunks – welchen Sie extrahieren wollen, legen Sie mit der Option `-R`*`chunkname`* fest.
- Zusatzoption `-L`: gibt Hinweise zu Zeilennummern in `nw`-Datei aus (für den Compiler)

Beispiel aus Ulix-Makefile

- Auszug aus `ulix/bin-build/Makefile`:

```
TEXSRC_FILE=../ulix-book.nw
TEXSRC_MODULE_FILE=../student.nw


extract:
     notangle -L -Rulix.c $(TEXSRC_FILE) > ulix.c; true
     notangle -L -Rprintf.c $(TEXSRC_FILE) > printf.c
     notangle -Rstart.asm $(TEXSRC_FILE) > start.asm
     notangle -Rulix.ld $(TEXSRC_FILE) > ulix.ld
     notangle -L -Rmodule.c $(TEXSRC_MODULE_FILE) > module.c
     notangle -L -Rmodule.h $(TEXSRC_MODULE_FILE) > module.h
```

(Zeilennummern mit -L; nur für C-Dateien)

Top-down vs. bottom-up (1)

*„In der Informatik bezeichnet man einen Entwicklungsprozess für Software als **Top-down**, wenn der Entwurf mit abstrahierten Objekten beginnt, die dann konkretisiert werden; der Prozess ist **Bottom-up**, wenn von einzelnen Detail-Aufgaben ausgegangen wird, die zur Erledigung übergeordneter Prozesse benötigt werden.“*

(Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Top-down_und_Bottom-up)

Top-down vs. bottom-up (2)

- Literate Programming unterstützt beide Ansätze und auch Misch-Varianten
- Reihenfolge der Präsentation (der Code Chunks) legt fest, ob der Code top-down oder bottom-up entwickelt wird
- Beispiel: Betriebssystem

Top-down: Betriebssystem (Beispiel)

- Ulix muss den Speicher und die Platte initialisieren und dann die Shell von Platte laden und starten:

```
<<ulix>>=
  <<initialize memory>>
  <<initialize harddisk>>
  <<load shell program from disk>>
  <<run shell>>
@
```

- Wie kann man nun den Speicher initialisieren?

```
<<initialize memory>>=
  <<check available memory>>
  <<create initial page table>>
@
```


Bottom-up: Betriebssystem (Beispiel)

- Ulix muss zunächst den Speicher initialisieren; dafür braucht es eine Seitentabelle:

```
<<page table declaration>>=
  typedef struct {
    unsigned int present         :  1;  //  0
    unsigned int writeable       :  1;  //  1
    ...
    unsigned int frame_addr      : 20;  // 31..12
  } page_desc;

  typedef struct {
    page_desc pds[1024];
  } page_table;
@
```


Aufbau des Ulix-Codes

Aufbau der C-Datei `ulix.c` (1)

⟨*ulix.c* 28a⟩≡
⟨*copyright notice* 8⟩
⟨*constants* 96a⟩ ⟨*public constants* 30a⟩
⟨*macro definitions* 19a⟩ ⟨*public macro definitions* 560a⟩
⟨*public elementary type definitions* 29e⟩
⟨*type definitions* 75⟩ ⟨*public type definitions* 126a⟩
⟨*function prototypes* 29a⟩ ⟨*public function prototypes* 418b⟩
⟨*global variables* 76b⟩
⟨*function implementations* 84b⟩ ⟨*public function implementations* 419a⟩
⟨*kernel main* 28b⟩

Aufbau der C-Datei `ulix.c` (2)

```
⟨kernel main 28b⟩≡
  void main () {
    ⟨initialize kernel global variables 152d⟩
    ⟨setup serial port 329a⟩  // for debugging
    ⟨setup memory 81⟩
    ⟨setup video 321c⟩
    ⟨setup keyboard 302e⟩
    ⟨initialize system 29b⟩
    ⟨initialize syscalls 157d⟩
    ⟨initialize filesystem 29c⟩
    ⟨initialize swap 277b⟩
    initialize_module ();  // external code
    ⟨start init process 29d⟩
  }
```

Aufbau der C-Datei `ulix.c` (3)

```
⟨initialize system 29b⟩≡
  ⟨install the interrupt descriptor table 130e⟩
  ⟨install the fault handlers 132b⟩
  ⟨install the interrupt handlers 123b⟩
  ⟨install the timer 323a⟩
  ⟨enable interrupts 31b⟩
```

Das schauen wir uns im Detail an!
→ Foliensatz F (neu)

```
⟨initialize system 29b⟩+≡
```

… (u. a.: blocked queues initialisieren, Paging aktivieren etc.)