

# System-Programmierung

## 11: Terminals

CC BY-SA, Thomas Amberg, FHNW  
(soweit nicht anders vermerkt)



### Ablauf heute

1/2 Vorlesung,

1/2 Hands-on,

Feedback.

Slides, Code & Hands-on: [tmb.gr/syspr-11](https://tmb.gr/syspr-11)



### Terminals

*Terminals* ermöglichen Input und Output von ASCII-Zeichen an der Schnittstelle von User und Computer.

Historisch erfolgte der Zugriff auf UNIX Systeme via Serial RS-232 Verbindung. Terminals waren Röhren-Bildschirme mit Tastatur, wie das [DEC VT100](#). Diese waren typischerweise 24 Zeilen zu 80 Zeichen gross.

Heute emulieren *Pseudoterminals* diese Funktion.



### TTY Devices

Schon auf frühen UNIX Systemen wurden "Teletype" Geräte, d.h. Fernschreiber, mit `/dev/tty` bezeichnet.

Auf Linux sind `/dev/tty` Devices virtuelle Konsolen.

Besonders am Anfang waren Terminal Geräte nicht standardisiert, Zeichenfolgen um z.B. den Cursor zu bewegen, waren je nach Gerät verschieden.



### *curses* Library

Um *Escape Sequenzen* zu abstrahieren, und dadurch eine geräteunabhängige Terminal-Programmierung zu ermöglichen, wurde die *curses* Library entwickelt.

Diese Bibliothek ist also eine Art Treiber für Terminal Geräte. Heute ist sie nützlich, um ASCII-basierte UIs zu entwickeln, z.B. für eingebettete Linux Computer.

Auf Linux heisst die (new) *curses* Library [ncurses](#).



### Hands-on, 45': *curses* Library

Lesen Sie diese PDF Tutorials zur *curses* Bibliothek: <http://heather.cs.ucdavis.edu/~matloff/UnixAndC/CLanguage/Curses.pdf> und zu [Games](#) mit *ncurses*.

Kompilieren und testen Sie die Beispielprogramme:

```
$ sudo apt-get install libncurses5-dev
```

```
$ gcc -o NAME NAME.c -lncurses
```

Schreiben Sie ein eigenes Programm mit *ncurses*.



## Input Modes

Terminals arbeiten in einem von zwei *Input Modes*:

Im *Canonical Mode* wird Terminal Input zeilenweise verarbeitet, nach dem Drücken der ENTER Taste. Ein *read()* blockiert jeweils, bis eine ganze Zeile bereit ist.

Im *Noncanonical Mode* wird Terminal Input zeichenweise gelesen, ohne ENTER, z.B. in Editoren wie *vi*.

n|w

## Terminal Treiber

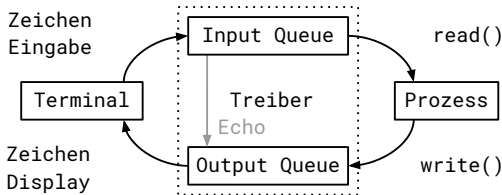
Der Input Mode und die Interpretation von Steuerzeichen wie CTRL-C (*interrupt*) oder CTRL-D (*EOF*) werden im *Terminal Treiber* festgelegt.

Ein Terminal Treiber hat Queues für In- und Output.

Wenn die *Echo* Funktionalität eingeschaltet ist, wird jedes Zeichen Input auf die Output Queue kopiert.

n|w

## Terminal Setup



n|w

## Terminal Attribute lesen mit *tcgetattr()*

Terminal Attribute lesen mit dem *tcgetattr()* Call:

```
int tcgetattr(int tty_fd, struct termios *t);
```

Nach dem Aufruf stehen die aktuellen Attribute in *t*.

Im Fehlerfall ist der *return*-Wert *-1*, Fehler in *errno*.

Nach temporären Änderungen der Terminal Attribute sollte jeweils der ursprüngliche gelesene Wert wieder erstellt werden, siehe auch *tcsetattr()*.

n|w

## Terminal Attribute in *struct termios*

Datenstruktur *struct termios* für Terminal Attribute:

```
struct termios {
    tcflag_t c_iflag; // Input Modes
    tcflag_t c_oflag; // Output Modes
    tcflag_t c_cflag; // Control Modes
    tcflag_t c_lflag; // Local Modes
    cc_t c_cc[NCCS]; // Special Characters
    ... // Non-Standard Terminal Attribute
}
```

n|w

## Terminal Attribute setzen mit *tcsetattr()*

Terminal Attribute setzen mit dem *tcsetattr()* Call:

```
int tcsetattr( // 0 oder 1, errno
    int tty_fd, // Terminal Device Deskriptor
    int optional_actions, // TSCANOW|DRAIN|FLUSH
    const struct termios *t); // von tcgetattr()
```

Der Parameter *optional\_actions* bestimmt, wann die neuen Attribute angewendet werden. Der Parameter *t* sollte immer mit *tcgetattr()* initialisiert werden.

n|w

## Verhalten von `tcsetattr()` bei Fehlern

Die `tcsetattr()` Funktion gibt 0 zurück, wenn eines der Attribute im `termios` Struct erfolgreich gesetzt wurde.

Ein Fehler bzw. -1 wird nur gemeldet, wenn keine der verlangten Änderungen durchgeführt werden konnte.

Es ist deshalb gut, Attribute nochmal mit `tcgetattr()` zu lesen, und die Werte mit dem Soll zu vergleichen.

n|w

## Das `stty` Kommando

Das `stty` Kommando bietet dieselbe Funktionalität wie `tcgetattr()` und `tcsetattr()` auf der Command-Line:

```
$ stty -a # oder $ sudo stty -a -F /dev/ttyS0
speed 9600 baud; 24 rows; 80 columns; line = 0;
c_cc: intr = ^C; quit = ^\; erase = ^?; ...
c_cflag: -parenb ... c_iflag: -ignbrk ...
c_oflag: opost ... c_lflag: echoctl ...
```

Ein '-' bedeutet, die Option ist nicht eingeschaltet.

n|w

## Terminal Steuerzeichen

CR	Carriage Return	^M	ICANON, IGNCR, ICRNL, OPOST, OCRNL, ONOCR
DISCARD	Discard output	^O	(not implemented)
EOF	End-of-File		ICANON
EOL	End-of-Line		ICANON
EOL2	Alt. End-of-Line	^D	ICANON, IEXTEN
ERASE	Erase character	^?	ICANON
INTR	Interrupt (SIGINT)	^C	ISIG

KILL	Erase line	^U	ICANON
LNEXT	Literal next	^V	ICANON, IEXTEN
NL	Newline	^J	ICANON, INLCR, ECHONL, OPOST, ONLCR, ONLRET
QUIT	Quit (SIGQUIT)	^\	ISIG
REPRINT	Reprint input line	^R	ICANON, IEXTEN, ECHO
START	Start output	^Q	IXON, IXOFF
STOP	Stop output	^S	IXON, IXOFF
SUSP	Suspend (SIGTSTP)	^Z	ISIG
WERASE	Erase word	^W	ICANON, IEXTEN

## Interrupt Character ändern `new_intr.c`<sup>TLPI</sup>

Beispiel, wie Steuerzeichen geändert werden kann:

```
struct termios t;
int intr_char;
...
tcgetattr(STDIN_FILENO, &t); // STDIN ist tty
tp.c_cc[VINTR] = intr_char; // V{CHAR_NAME}
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSAFLUSH, &t);
```

Danach Default wiederherstellen: `$ stty sane`

n|w

## Terminal Flags (`c_iflag`)

BRKINT	Signal interrupt (SIGINT) on BREAK condition	IUTF8	Input is UTF-8
ICRNL	Map CR to NL on input	IUCLC	Map uppercase to lowercase on input (if IEXTEN also set)
IGNBRK	Ignore BREAK condition	IXANY	Allow any character to restart stopped output
IGNCR	Ignore CR on input	IXOFF	Enable start/stop input flow control
IGNPAR	Ignore characters with parity errors	IXON	Enable start/stop output flow control
IMAXBEL	Ring bell when terminal input queue is full (unused)	PARMRK	Mark parity errors (with 2 prefix bytes: 0377 + 0)
INLCR	Map NL to CR on input		
INPCK	Enable input parity checking		
ISTRIP	Strip high bit (bit 8) from input characters		

n|w

## Terminal Flags (*c\_oflag*)

<b>BSDLY</b>	Backspace delay mask ( <b>B</b> 80, <b>B</b> 81)	<b>ONLRET</b>	Assume NL performs CR function (move to start of line)
<b>CRDLY</b>	CR delay mask ( <b>C</b> 80, CR1, CR2, CR3)	<b>ONOCR</b>	Don't output CR if already at column 0 (start of line)
<b>FFDLY</b>	Form-feed delay mask ( <b>F</b> F0, <b>F</b> F1)	<b>OPOST</b>	Perform output postprocessing
<b>NLDLY</b>	Newline delay mask ( <b>N</b> L0, <b>N</b> L1)	<b>TABDLY</b>	Horizontal-tab delay mask ( <b>T</b> AB0, <b>T</b> AB1, <b>T</b> AB2, <b>T</b> AB3)
<b>OCRNL</b>	Map CR to NL on output (see also <b>ONOCR</b> )	<b>VTDLY</b>	Vertical-tab delay mask ( <b>V</b> T0, <b>V</b> T1)
<b>OFDEL</b>	Use DEL (0177) as fill character; otherwise NUL (0)		
<b>OFILL</b>	Use fill characters for delay (rather than timed delay)		
<b>OLCUC</b>	Map lowercase to uppercase on output		
<b>ONLCR</b>	Map NL to CR-NL on output		



## Terminal Flags (*c\_cflag*)

<b>CBAUD</b>	Band (bit rate) mask ( <b>B</b> 0, <b>B</b> 2400, <b>B</b> 9600, and so on)	<b>HUPCL</b>	Hang up (drop modem connection) on last close
<b>CBAUDEX</b>	Extended band (bit rate) mask (for rates > 38,400) off	<b>PARENB</b>	Parity enable
<b>CIBAUD</b>	Input band (bit rate), if different from output (unused)	<b>PARODD</b>	Use odd parity; otherwise even
<b>CLOCAL</b>	Ignore modem status lines (don't check carrier signal)		
<b>CMSPAR</b>	Use "stick" (mark/space) parity		
<b>CREAD</b>	Allow input to be received		
<b>CRTSCTS</b>	Enable RTS/CTS (hardware) flow control		
<b>CSIZE</b>	Character-size mask (5 to 8 bits: <b>C</b> S5, <b>C</b> S6, <b>C</b> S7, <b>C</b> S8)		
<b>CSTOPB</b>	Use 2 stop bits per character; otherwise 1		



## Terminal Flags (*c\_lflag*)

<b>ECHO</b>	Echo input characters	<b>IEXTEN</b>	Enable extended processing of input characters
<b>ECHOCTL</b>	Echo control characters visually (e.g., ^L)	<b>ISIG</b>	Enable signal-generating characters (INTR, QUIT, SUSP)
<b>ECHOE</b>	Perform ERASE visually	<b>NOFLSH</b>	Disable flushing on INTR, QUIT, and SUSP
<b>ECHOK</b>	Echo KILL visually	<b>PENDIN</b>	Redisplay pending input at next read (not implemented)
<b>ECHOKE</b>	Don't output a newline after echoed KILL	<b>TOSTOP</b>	Generate SIGTTOU for background output
<b>ECHONL</b>	Echo NL (in canonical mode) even if echoing is disabled	<b>XCASE</b>	Canonical upper/lowercase presentation (unimplemented)
<b>ECHOPRT</b>	Echo deleted characters backward (between \ and /)		
<b>FLUSHO</b>	Output is being flushed (unused)		
<b>ICANON</b>	Canonical mode (line-by-line) input		



## Terminal Flag ECHO aus `no_echo.c`<sup>TLPI</sup>

Hier ein Beispiel, wie das *ECHO* Flag disabled wird:

```
struct termios tp, save;
tcgetattr(STDIN_FILENO, &tp);
save = tp; // Am Schluss wiederherstellen
tp.c_lflag &= ~ECHO; // Andere Bits ungeändert
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSAFLUSH, &tp);
... // Echo ist ausgeschaltet
tcsetattr(STDIN_FILENO, TCSANOW, &save);
```



## Terminal I/O Modes

*Canonical* und *Noncanonical Mode* ermöglichen eine zeilen- und zeichenweise Verarbeitung von Input.

*Cooked*, *Cbreak*, und *Raw Mode* sind eine früher verwendete Aufteilung von Terminal I/O Modes, die mit den obigen Modes umgesetzt werden kann.



## Canonical Mode

*Canonical Mode* wird mit dem *ICANON* Flag gesetzt und steht für zeilenweise Verarbeitung von Input:

Input ist editierbar, bis eine Zeile abgeschlossen wird.

Eine Zeile endet mit *NL*, *EOL*, *EOL2*, *EOF* oder *CR* (falls *ICRNL*), wobei dieses Zeichen (ausser *EOF*) an den Aufrufer von *read()* mit übergeben wird.



## Noncanonical Mode

*Noncanonical Mode*, `~ICANON`, ist für zeichenweise Verarbeitung, wobei die Attribute `TIME*` und `MIN**` das Verhalten von `read()` genauer festlegen:

```
MIN == 0, TIME == 0 // Polling read()
MIN > 0, TIME == 0 // Blocking read()
MIN == 0, TIME > 0 // read() mit Timeout
MIN > 0, TIME > 0 // read(), per Byte Timeout
```

\* Timeout in 1/10 s, \*\* min. Anzahl gelesene Bytes.

n|w

## Cooked, Cbreak und Raw Mode

*Cooked Mode* ist im wesentlichen Canonical Mode, wobei die default Steuerzeichen eingeschaltet sind.

*Raw Mode* ist das Gegenteil, Noncanonical Mode mit jeglicher Verarbeitung von In-/Output abgeschaltet.

*Cbreak Mode* ist dazwischen, Noncanonical Mode mit Verarbeitung von Signal-erzeugenden Input-Zeichen.

In *curses* gibt es `cbreak()` und `raw()` Funktionen.

n|w

## Terminal Line Speed (Bit Rate)

Verschiedene Terminals und Serial Devices übertragen Daten mit verschiedenen Speeds, in *bit/s* oder *baud*.

Diese Calls lesen bzw. setzen die In-/Output Bitrate:

```
speed_t cfgetispeed(const struct termios *t);
speed_t cfgetospeed(const struct termios *t);
int cfsetispeed(struct termios *t, speed_t s);
int cfsetospeed(struct termios *t, speed_t s);
```

Struct *t* wie vorher, Bit-/Baud-Raten siehe [termios](#).

n|w

## Terminal Line Control

0 (BREAK) an *fd* für *duration* Millisekunden senden:

```
int tcsendbreak(int fd, int duration_ms);
```

Blockieren, bis Terminal Output Queue gesendet ist:

```
int tcdrain(int fd);
```

Rest-Inhalt der Input und Output Queue verwerfen:

```
int tcflush(int fd, int queue_selector);
```

Flow-Control regeln, Action `TCOON|OFF`, `TCION|OFF`

```
int tcflow(int fd, int action);
```

n|w

## Terminal Fenstergrösse

[demo.c](#)<sup>TLPI</sup>

Bei Änderungen der Terminal Fenstergrösse wird das `SIGWINCH` Signal an den Prozess gesendet.

Die aktuelle Fenstergrösse wird mit `ioctl()` abgefragt:

```
int res = ioctl(fd, TIOCGWINSZ, &ws);
```

```
struct winsize {
    unsigned short ws_row, ws_col; // Linux
    unsigned short ws_xpixel, ws_ypixel;
};
```

n|w

## Terminal Identifizierung

[tty\\_id.c](#)

Die Funktionen `isatty()` und `ttyname()` identifizieren File Deskriptoren als Terminals, oder geben 0, `NULL`.

`isatty()` prüft, ob File Deskriptor *fd* ein Terminal ist:

```
int isatty(int fd); // 1, falls offener TTY FD
```

`ttyname()` liefert den TTY Namen des Deskriptors *fd*:

```
char *ttyname(int fd); // z.B. "/dev/pts/0"
```

n|w

## Hands-on, 30': Kilo.c Revisited

Analysieren Sie den Source Code dieses Programms:  
<https://github.com/antirez/kilo/blob/master/kilo.c>

Welche Terminal-spezifischen Calls werden im Code verwendet und wozu?

(@antirez ist auch der Autor von [Redis](#).)

n|w

## Pseudoterminals

Ein *Pseudoterminal (PTY)* besteht aus einem *master* Device und einem *subordinate* Device, bidirektional verbunden durch einen IPC Kanal.

Die Terminal "Emulation" geschieht im User-Space.

Dadurch kann ein Terminal-orientiertes Programm auch remote, über ein Netzwerk benutzt werden.

n|w

## Master und subordinate Device

Historisch wurden im Zusammenhang mit Pseudoterminals die Begriffe "master" und "slave" benutzt.

Wir verwenden stattdessen *master/subordinate*, als Adjektive, wie in diesem [Style Guide](#) erläutert.

(Eine ähnliche Konvention gab es im Zusammenhang mit Datenbanken, dort sagt man neu master/replica, primary/secondary, oder leader/follower.)

n|w

## Terminal-orientierte Programme

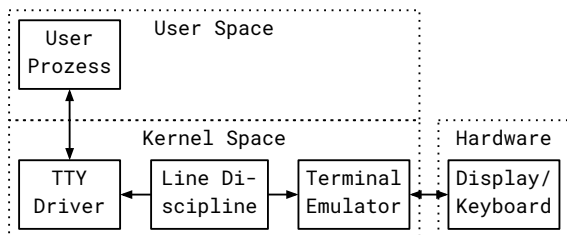
Ein *Terminal-orientiertes* Programm erwartet vom Terminal Driver eine gewisse Input-Vorverarbeitung und Output-Nachbearbeitung (*Line Discipline*).

Und es braucht ein kontrollierendes Terminal, dessen File Deskriptor via `/dev/tty` geöffnet werden kann.

Es geht also um Programme, die normalerweise in einer (lokalen) Terminal Session laufen würden.

n|w

## Terminal Emulator Setup



n|w

## Auslagerung in User-Space

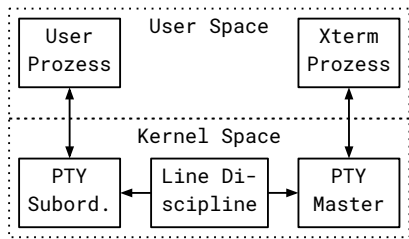
Ein Prozess, der ein Terminal erwartet, kann sich mit dem subordinate Device auf dieselbe Art verbinden, durch öffnen von TTY File Deskriptoren.

Der Prozess kann dann von einem 2. Prozess benutzt werden, der zum PTY master Device verbunden ist.

Beide Prozesse befinden sich im User-Space.

n|w

## Pseudoterminal Setup mit Xterm



n|w

## Zugriff über ein Netzwerk

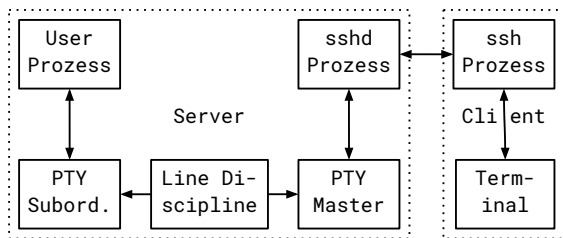
Beim Zugriff über ein Netzwerk ist das Terminal nicht auf demselben Rechner, wie das Ziel-Programm.

Die Verbindung kann nur via Sockets geschehen, aber Terminal-orientierte Programme erwarten ein TTY.

Deshalb braucht es stellvertretend für das Terminal einen Proxy, das subordinate Device bzw. PTY.

n|w

## Pseudoterminal Setup mit SSH



n|w

## Selbststudium, 3h: Shared Memory

Lesen Sie diese [Einführung zu POSIX Semaphoren](#).

Und diese [Einführung zu POSIX Shared Memory](#).

Falls Zeit bleibt, auch die [man Page zu Semaphoren](#).

Und die [man Page zu Shared Memory](#).

n|w

## Feedback?

Gerne im [Slack](#) oder an [thomas.amberg@fhnw.ch](mailto:thomas.amberg@fhnw.ch)

Programmierfragen am besten schriftlich.

Sprechstunde auf Voranmeldung :)

Slides, Code & Hands-on: [tmb.gr/syspr-11](https://tmb.gr/syspr-11)

