Ein-/Ausgabe

Einführung in die Programmierung

Michael Felderer (QE)

Institut für Informatik, Universität Innsbruck

Standardbibliothek

- Die Standardbibliothek wurde im ANSI-Standard definiert.
- Die Standardbibliothek ist **kein Teil** der Programmiersprache C!
- Eine Umgebung, die standardisiertes C realisiert, wird auch die Funktionen, Typen und Makros dieser Bibliothek zur Verfügung stellen.
- Die Standardbibliothek umfasst bestimmte Header-Dateien, die über `#include` in das Programm eingebunden werden können.

Auswahl wichtiger Header-Dateien

- `<stdio.h>` = Ein- und Ausgabe
- `<ctype.h>` = Tests für Zeichenklassen
- `<string.h>` = Funktionen für Zeichenketten
- `<math.h>` = Mathematische Funktionen
- `<stdlib.h>` = Hilfsfunktionen zur Umwandlung von Zahlen, für Speicherverwaltung etc.
- `<time.h>` = Funktionen für Datum und Uhrzeit
- `<limits.h>` = Definiert Konstanten für den Wertumfang der ganzzahligen Typen
- `<float.h>` = Definiert Konstanten, die sich auf Gleitpunktarithmetik beziehen
- ….

Beispiel – stdio.h

- Diese Funktionen realisieren ein einfaches Modell für Texteingabe und Textausgabe.
  - Die Ein- und Ausgabe von Daten in C wird über sogenannte Streams (Ströme) realisiert.
- In C unterscheidet man
  - Textströme
    - Ein Textstrom ist eine Folge von Zeilen.
      - Jede Zeile endet mit einem Zeilentrenner (\n).
    - Alle sichtbaren ASCII-Zeichen und einige Steuercodes werden verwendet.
      - Intern wird alles immer gleich dargestellt (Konvertierung notwendig).
  - Binäre Ströme
    - Diese Ströme werden Byte für Byte verarbeitet (keine Konvertierung).
- Weitere Unterscheidung
  - Byte-orientierter Strom mit Datentyp `char`.
  - Breitzeichenorientierter Strom mit Datentyp `wchar_t`.
  - Nachfolgend werden nur byte-orientierte Ströme betrachtet.

Pufferung

- Es ist nicht sinnvoll, immer Zeichen für Zeichen zu verarbeiten bzw. zu übertragen.
- Daher gibt es drei Arten der Pufferung bei Strömen.
  - Vollgepuffert
    - Zeichen werden erst übertragen, wenn der Puffer (z.B. 4096 Bytes) voll ist.
  - Zeilengepuffert
    - Zeichen werden erst übertragen, wenn eine neue Zeile begonnen wird oder der Puffer voll ist.
  - Ungepuffert
    - Zeichen werden sofort übertragen.

Standard-Streams

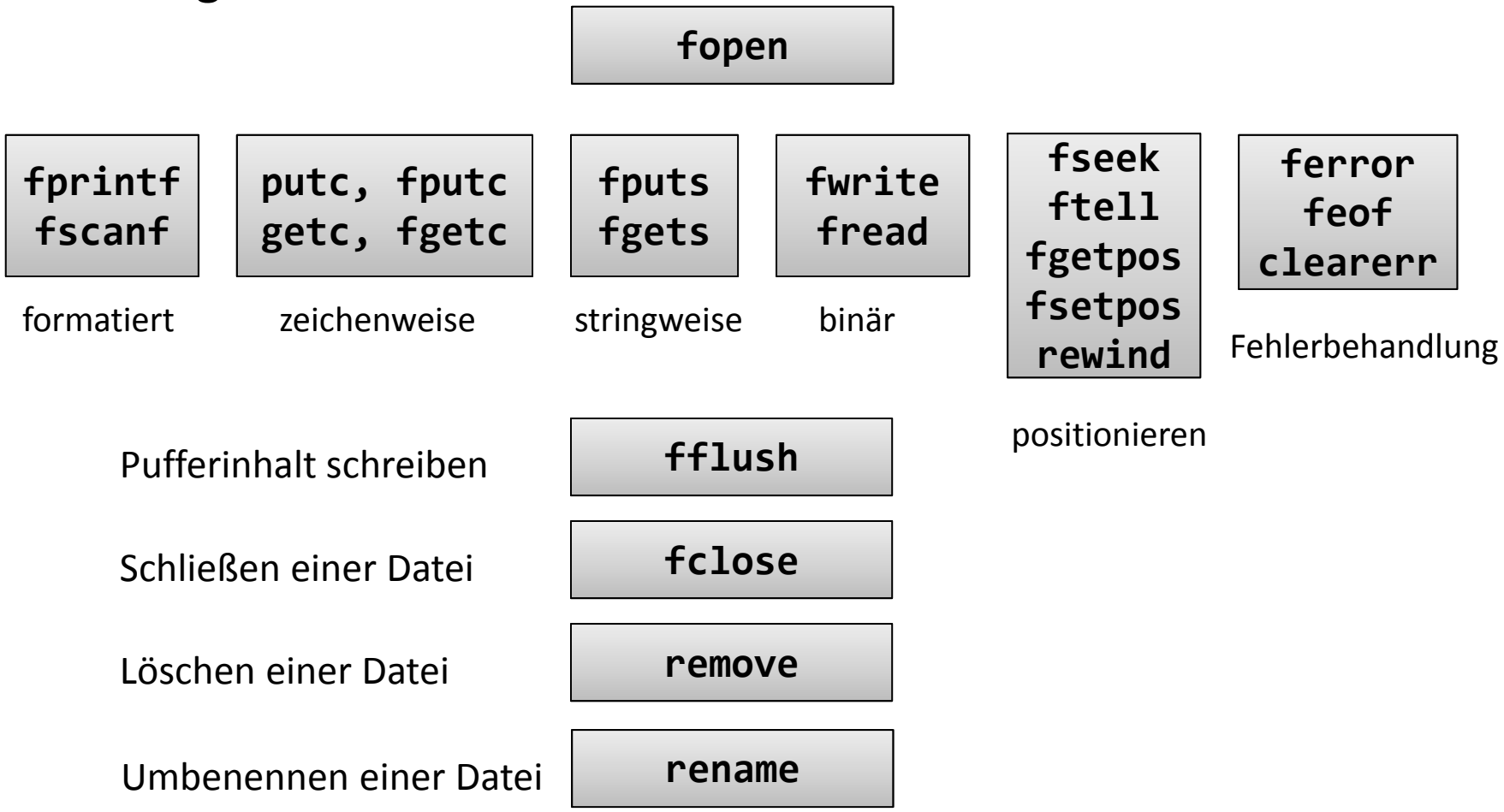
- Drei Standard-Ströme (`stdin`, `stdout`, `stderr`) sind bei jedem C-Programm von Anfang an vorhanden.
  - Es handelt sich dabei um Zeiger auf ein `FILE`-Objekt.
- Die Standard-(Text)-Ströme
  - **`stdin`**
    - Das ist die Standardeingabe (standard input), die gewöhnlich mit der Tastatur verbunden ist.
    - Die Standardeingabe wird zeilenweise gepuffert.
  - **`stdout`**
    - Die Standardausgabe (standard output) ist gewöhnlich mit dem Bildschirm zur Ausgabe verbunden.
    - Die Standardausgabe wird zeilenweise gepuffert.
  - **`stderr`**
    - Die Standardfehlerausgabe (standard error output) ist gewöhnlich auch mit dem Bildschirm verbunden, aber die Ausgabe erfolgt ungepuffert.

Dateien

- Oft möchte man Daten nicht nur am Bildschirm ausgeben, sondern auch in eine Datei schreiben und diese Daten später wieder aus der Datei lesen.
- In C gibt es Standardfunktionen für das Öffnen einer Datei.
- Beim Öffnen wird ein Speicherobjekt vom Typ `FILE` angelegt und initialisiert.
- Eine erfolgreich geöffnete Datei liefert immer einen Zeiger auf ein `FILE`-Speicherobjekt zurück, das mit dem Strom verbunden ist.
- Das `FILE`-Objekt ist eine Struktur, die alle nötigen Informationen für die Ein- und Ausgabefunktionen enthält.
- Die folgenden Beschreibungen beziehen sich auf den zid-gpl!
  - Manual-Seiten lesen!
  - Der C-Standard ist manchmal etwas allgemeiner!

Überblick über wichtige Funktionen

- Wichtige Funktionen und Makros



- Der Zugriff erfolgt meist über einen File-Zeiger, der auf eine Struktur vom Typ `FILE` zeigt.

FILE-Zeiger

- Deklaration
  - `FILE *fp;`
- `fp` ist ein Zeiger auf eine `FILE`-Struktur (struct in `stdio.h`).
- Wird gebraucht, um mit Strömen zu arbeiten.
  - Beinhaltet alle benötigten Informationen.
  - Ein FILE-Zeiger zeigt immer auf eine bestimmte Position im Strom.
    - Lesen oder Schreiben verändert die aktuelle Position des Zeigers.
- `stdin`, `stdout`, `stderr` sind automatisch geöffnete FILE-Zeiger.

Öffnen von Dateien in C (1)

- Allgemeine Form

```
FILE *fopen(const char *restrict filename,
            const char *restrict mode);
```

  - `filename`: Spezifiziert den Dateinamen (darf auch ein Pfad sein).
  - `mode`: Spezifiziert den Zugriffsmodus.

mode	Beschreibung
r	Öffnen zum Lesen
w	Öffnen zum Schreiben (Datei muss davor nicht existieren, ansonsten wird sie überschrieben)
a	Öffnen zum Anhängen (Datei muss davor nicht existieren)
r+	Öffnen zum Lesen & Schreiben, Startet am Anfang
w+	Öffnen zum Lesen & Schreiben, Überschreibt die Datei
a+	Öffnen zum Lesen & Schreiben, Hängt am Ende an

  - Liefert einen Zeiger auf den entsprechenden Datenstrom zurück.

Öffnen von Dateien in C (2)

- Schlägt `fopen` fehl, liefert es den NULL-Pointer zurück.
  - z.B. wenn eine zum Lesen geöffnete Datei nicht existiert.
- Wechsel beim Zugriffsmodus
  - Schreiben, dann Lesen: Schreiboperationen müssen mit bestimmten Funktionen (`fflush`, `fsetpos`, `fseek`, `rewind`) abgeschlossen werden!
  - Lesen, dann Schreiben: Nach Leseoperationen muss mit bestimmten Funktionen (`fseek`, `fsetpos`, `rewind`) der Schreibzeiger positioniert werden.
- Zugriffsrechte
  - Zugriffsrechte müssen Operation (Lesen, Schreiben) erlauben!
  - Unter Linux/Unix strenger als unter Windows!

Öffnen von Dateien in C (3)

- Beispiel

```
…
FILE *fp = fopen(filename, "r");
if (fp != NULL) {
    printf("Datei zum Lesen geöffnet\n");
    …
} else {
    printf("Datei konnte nicht geöffnet werden\n");
    …
}
…
```

Öffnen von Dateien in C (4)

- Dateien können für die Ein- bzw. Ausgabe von Text oder im Binärmodus geöffnet werden.
  - Beides geht mit `fopen`.
- Für den binären Modus wird ein "b" an das Ende des `mode`-Strings geschrieben.
  - rb, wb, ab, r+b, w+b, a+b
  - Hat bei Unix/Linux keine Auswirkung (keine Bedeutung)!

Schließen von Dateien

- Aufruf

```
int fclose(FILE *fp);
```

  - `fclose` schließt den zu `fp` gehörigen Datenstrom.
  - Leert vorher alle damit assoziierten Puffer.
- Rückgabewert
  - Liefert bei Erfolg den Rückgabewert 0.
  - Liefert einen Wert ungleich 0 bei Fehlern.
- Sollte immer verwendet werden, wenn die Verarbeitung der Daten aus einem Strom beendet wurde!
  - Wenn das Programm abstürzt, gehen ohne `fclose` möglicherweise Daten verloren.
  - Ein Programm darf nur eine begrenzte Anzahl an Datenströmen öffnen.
  - Wenn das Programm korrekt terminiert, dann werden alle Datenströme automatisch geschlossen.

Lesen und Zurückstellen

- Einzelne Zeichen einlesen

```
int fgetc(FILE *fp);
int getc(FILE *fp);
int getchar();
```

- Zu beachten
  - `getc` darf als Makro implementiert sein.
  - Liefern gelesenes Zeichen zurück.
  - Tritt ein Fehler auf, dann erhält man EOF (zid-gpl: Konstante = -1).
  - `getchar()` ist gleichwertig zu `getc(stdin)`.
- Einzelnes Zeichen in einen Datenstrom zurückstellen

```
int ungetc(int c, FILE *fp);
```

  - Zurückgeschobenes Zeichen wird retourniert.
  - EOF bei Fehler!
  - Wird beim nächsten Lesen wieder gelesen.
    - Nicht bei bestimmten Operationen (z.B. `fflush`)!

Schreiben

- Einzelne Zeichen schreiben

```
int fputc(int c, FILE *fp);
int putc(int c, FILE *fp);
int putchar(int c);
```

- Zu beachten
  - Zurückgegeben wird das geschriebene Zeichen oder EOF im Falle eines Fehlers!
  - `putc` darf als Makro implementiert sein.
  - `putchar(int c)` ist gleichwertig zu `putc(c, stdout)`.

Beispiel

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define FILENAME "datei.txt"
#define COPY "kopie.txt"
int main(void) {
	FILE *fpr = fopen(FILENAME, "r");
	FILE *fpw = fopen(COPY, "w");
	if (fpr == NULL || fpw == NULL) {
		printf("Fehler beim Öffnen von %s bzw. %s", FILENAME, COPY);
		return EXIT_FAILURE;
	}
	for (int c; (c = fgetc(fpr)) != EOF; ) {
		if (fputc(c, fpw) == EOF) {
			printf("Fehler beim Kopieren von %s bzw. %s", FILENAME, COPY);
			return EXIT_FAILURE;
		}
	}
	if (fclose(fpr) != 0 || fclose(fpw) != 0){
		printf("Fehler beim Schließen von %s bzw. %s", FILENAME, COPY);
		return EXIT_FAILURE;
	}
	return EXIT_SUCCESS;
}
```

Zeilenweise einlesen (Wiederholung)

- Zeilenweise einlesen

```
char *fgets(char *restrict buf,
            int n,
            FILE *restrict fp);
```

- Zu beachten
  - Vom Strom `fp` werden bis zu n-1 Zeichen in den Puffer `buf` eingelesen.
  - Am Ende wird ein Terminierungszeichen angehängt.
  - Lesevorgang wird bei Zeilen- oder Dateiende oder nach n-1 Zeichen beendet.
    - Die Anzahl der Zeichen (kann auch weniger als n-1 Zeichen sein) wird dann eingelesen.
    - Das Newline-Zeichen wird auch (falls in den eingelesenen Zeichen enthalten) im Puffer gespeichert.
  - Retourniert einen NULL-Zeiger, wenn nichts gelesen wurde oder ein Fehler auftrat.
    - Sonst wird die Anfangsadresse von `buf` zurückgegeben.

Zeilenweise schreiben

- Zeilenweise schreiben (2 Möglichkeiten)
  - ```
    int fputs(const char *restrict str,
              FILE *restrict fp);
    ```
  - ```
    int puts(const char *str);
    ```
- Zu beachten
  - `fputs` schreibt den nullterminierten String `str` in den Strom `fp`.
    - Das Terminierungszeichen wird **nicht** mit in den Strom geschrieben!
  - `puts` gibt den String `str` auf `stdout` aus.
    - Newline-Zeichen wird hinzugefügt.
  - Rückgabewert ist nicht negativ bei Erfolg, ansonsten EOF.

Formatiertes Schreiben

- Formatierte Ausgabe

```
int fprintf(FILE *restrict fp,
            const char *restrict format, …)
```

- Zu beachten
  - Arbeitet wie `printf`, jedoch für den angegebenen Datenstrom.
    - Formatierung etc. siehe Folien über `printf`!
  - Der erste Parameter ist ein Zeiger auf den Strom, in den geschrieben wird.
  - Der Rückgabewert zeigt an, wie viele Zeichen tatsächlich geschrieben wurden.
    - Bei Schreibfehlern wird ein negativer Wert zurückgegeben.
- Beispiel
  - `if (fprintf(fp, "Hallo, File!") < 0) …;`

Formatiertes Lesen

- Formatiertes Einlesen

```
int fscanf(FILE *restrict fp,
           const char *restrict format, …)
```

- Zu beachten
  - Arbeitet wie `scanf`, jedoch für den angegebenen Datenstrom.
  - Der erste Parameter ist ein Zeiger auf den Strom, aus dem gelesen wird.
  - Der Rückgabewert zeigt an, wie viele Konvertierungen vorgenommen wurden:
    - Ist 0, wenn die vorgefundenen Daten nicht den geforderten Datentypen entsprechen.
    - Wenn ein Fehler auftritt, oder das Dateiende erreicht wurde, bevor Daten gelesen werden konnten, wird EOF zurückgegeben.

fscanf

- Allgemeine Syntax
  - `%[*][W][L]U`
  - * = Einlesen, aber nicht speichern
  - W = Weite, Feldbreite
  - L = Längenangabe
  - U = Umwandlungszeichen, Konvertierungsspezifizierer
- Suchmengenkonvertierung
  - Kann anstelle des Umwandlungszeichens verwendet werden.
  - `%[bezeichner]` = Es wird eingelesen, bis ein Zeichen vorkommt, das nicht in der Liste `bezeichner` vorkommt.
  - `%[^bezeichner]` = Es wird eingelesen, bis ein Zeichen vorkommt, das in der Liste `bezeichner` vorkommt.

Beispiel

Textdatei (Format: String, String, long, String):

```
Haller,Fritz,73737,Grossenbach
Albrich,Toni,78373,Studenstadt
Zeppelin,Helmut,83837,Unterwasserbach
…
```

```
FILE *fp = fopen("test.txt", "r"); /* Datei test.txt öffnen */
if (fp == NULL) {
        printf("Kann Datei test.txt nicht zum Lesen öffnen\n");
        …
}

while (fscanf(fp,"%[^,],%[^,],%lu,%s\n", name, vorname, &plz, ort) != EOF) {
        fprintf(stdout, "%s,%s,%lu,%s\n", name, vorname, plz, ort);
        …
}
```

Lesen und Schreiben von Binärdaten (1)

- Lesen von binären Daten
  - ```
    size_t fread(void *restrict ptr,
                 size_t size_of_elements,
                 size_t number_of_elements,
                 FILE *restrict fp);
    ```
- Zu beachten
  - Liest Blöcke von Daten.
    - Daten werden rein binär behandelt.
  - `ptr`: Zieladresse für die Daten.
  - `size_of_elements`: Die Größe einer zu lesenden Einheit, in Byte (z.B. `sizeof(int)`, `sizeof(my_struct)`).
  - `number_of_elements`: Gibt die Anzahl der zu lesenden Einheiten an.
  - `fp`: Strom, aus dem gelesen werden soll.
  - Gibt die Anzahl der gelesenen Einheiten zurück.
    ```

Lesen und Schreiben von Binärdaten (2)

- Schreiben von binären Daten
  - ```
    size_t fwrite(const void *restrict ptr,
                  size_t size_of_elements,
                  size_t number_of_elements,
                  FILE *restrict fp);
    ```
- Zu beachten
  - Schreibt Blöcke von binären Daten.
    - Geschriebene Daten sind plattformabhängig!
  - `ptr`: Leseadresse der Daten
  - `size_of_elements`: Die Größe einer zu schreibenden Einheit, in Byte (z.B. `sizeof(int)`, `sizeof(my_struct)`)
  - `number_of_elements`: Gibt die Anzahl der zu schreibenden Einheiten an.
  - `fp`: Strom, in den geschrieben werden soll.
  - Gibt die Anzahl der geschriebenen Einheiten zurück.
    ```

Bewegen des FILE-Zeigers

- Position ändern

```
int fseek(FILE *fp, long offset, int position);
```

- Zu beachten
  - `fp`: Der zu verändernde File-Zeiger.
  - `offset`: Die Anzahl der Bytes, um welche die aktuelle Position des Zeigers im Strom verschoben werden soll, ausgehend von der Stelle, die durch `position` angegeben wird.
    - Kann auch negativ sein.
  - `position`: Einer von 3 Werten
    - `SEEK_SET`: Anfang der Datei
    - `SEEK_CUR`: Aktuelle Position des angegebenen FILE-Zeigers
    - `SEEK_END`: Ende der Datei
- Rückgabewert
  - 0 bei Erfolg, EOF-Flag gelöscht.
  - ungleich 0 bei Fehler

Positionen behandeln

- Position ermitteln/setzen

```
int fgetpos(FILE *fp, fpos_t *restrict pos);
int fsetpos(FILE *fp, const fpos_t *pos);
```

  - Ermittelt bzw. setzt die aktuelle Position in einem Strom (Abstand zum Anfang in Bytes).
    - `pos` muss für `fsetpos` von `fgetpos` ermittelt werden!
  - Geben bei Erfolg 0 zurück (EOF-Flag wird bei `fsetpos` gelöscht), ansonsten ungleich 0.

- Weitere Funktionen

```
long ftell(FILE *fp);
void rewind(FILE *fp);
```

  - `ftell` – Liefert die aktuelle Schreib-/Leseposition im Strom zurück.
    - Mit `fseek` gemeinsam benutzen.
  - `rewind` – Setzt die aktuelle Schreib-/Leseposition an den Anfang des Stroms.

Fehler bei File-Operationen

- Die meisten File-Operationen liefern bei Erreichen des Dateiendes sowie bei Fehlern den Wert EOF zurück.
- Überprüfen ob Fehler oder Dateiende
  - `int feof(FILE *fp);`
    - Ergibt ungleich 0, wenn EOF Flag für fp gesetzt ist.
    - 0 sonst
  - `int ferror(FILE *fp);`
    - Ergibt ungleich 0, wenn Fehler-Flag für fp gesetzt ist.
    - 0 sonst
- Löschen des Fehler- und EOF-Flags
  - `void clearerr(FILE *fp);`

Datei löschen oder umbenennen

- Löschen
  - `int remove(const char *pathname);`
  - Bei Erfolg wird 0 zurückgeliefert.
  - Bei Fehler wird -1 zurückgeliefert.
    - Die erforderlichen Zugriffsrechte müssen vorhanden sein!
- Umbenennen
  - `int rename(const char *oldname, const char *newname);`
  - Bei Erfolg wird 0 zurückgeliefert.
  - Im Fehlerfall wird -1 zurückgeliefert.

Pufferung

- Pufferung für Datenstrom setzen
  - `int setvbuf(FILE *restrict fp, char *restrict buf, int type, size_t size);`
  - type
    - `_IONBF`: Ungepuffert
    - `_IOLBF`: Zeilenpufferung
    - `_IOFBF`: Vollpufferung
  - buf = Puffer, size = Größe des Puffers.
- Puffer leeren
  - `int fflush(FILE *stream);`
  - Alle gepuffert Daten des angegebenen Ausgabestroms werden geschrieben.
  - Ist der Parameter NULL, werden alle geöffneten Ausgabeströme geleert.
  - Bei Erfolg wird 0 zurückgeliefert, ansonsten EOF.

errno

- Einige Funktionen setzen im Fehlerfall auch noch die globale Variable `errno` auf einen bestimmten Wert.
  - Der Rückgabewert von -1 deutet nur auf einen Fehler hin.
  - Die Art des Fehlers wird noch in `errno` hinterlegt.
- Funktionen die `errno` setzen
  - `fopen`, `fclose`, `remove`, `rename`, `fsetpos`, `fgetpos`, `fseek`, `ftell`, `fflush`
- Welcher Wert wird gesetzt?
  - Vordefinierte Konstanten, auf die man dann überprüfen kann.
    - Konstanten sind systemabhängig!
  - Wert ist nur bis zum nächsten Fehler gültig!
- Ausgabe von Fehlermeldungen
  - Ausgabe von Fehlermeldungen mit den Funktionen `perror` oder `strerror`
  - Manual-Seiten lesen!
  - Headerdatei `errno.h` muss möglicherweise eingebunden werden.

Dateien in UNIX/Linux (1)

- Elementare E/A Funktionen bieten erweiterte Möglichkeiten.
  - Sind aber **NICHT** Bestandteil des C Standards.
  - Verwenden nicht FILE-Zeiger sondern File-Deskriptoren (realisiert als `int`).
- Erlauben Arbeit mit
  - Verzeichnissen
  - Verzeichnisbäumen
  - Zugriffsrechten
  - Zeitstempeln
  - und vieles mehr…
- Werden im 2. Semester besprochen (LV Betriebssysteme)

Dateien in UNIX/Linux (2)

- Beispiele

```
int open(const char *path, int oflag);
int close(int fd);
ssize_t read(int fd, void *puffer, size_t bytes);
ssize_t write(int fd, void *puffer, size_t bytes);
```

- Umwandlung zwischen File-Deskriptor und FILE*
  - `FILE *fdopen(int fd, const char *mode);`