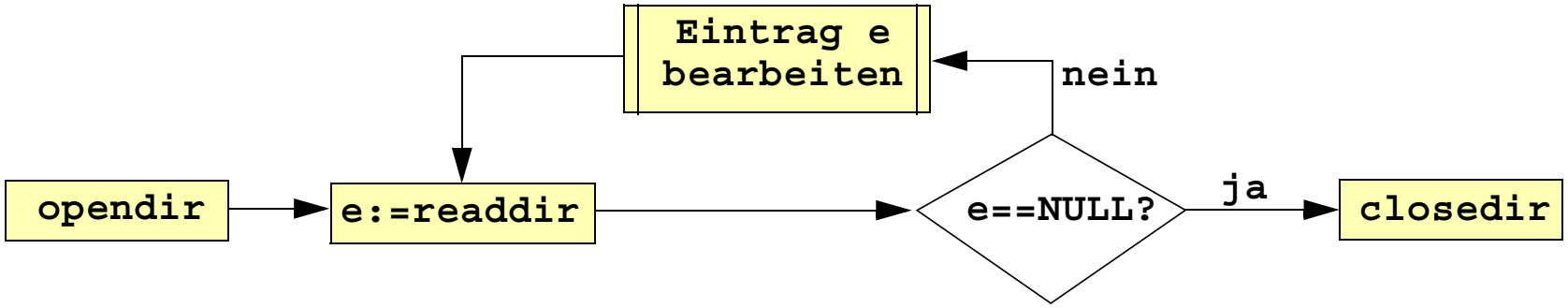
U5 Dateisystem

- Besprechung der 3. Aufgabe (clash)
- Dateisystem
- Datei-Attribute
- Shell-Wildcards
- Dateisystemschnittstelle

U5-1 Verzeichnisse

- opendir(3), closedir(3)
- readdir(3), readdir_r(3)
- rewinddir(3)
- telldir(3), seekdir(3)

1 Iteratorkonzept zum Lesen von Verzeichnissen



2 opendir / closedir

- Funktions-Prototyp:

```
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>

DIR *opendir(const char *dirname);

int closedir(DIR *dirp);
```

- Argument von opendir
  - **dirname**: Verzeichnisname
- Rückgabewert: Zeiger auf Datenstruktur vom Typ **DIR** oder **NULL**
- Die **DIR**-Struktur ist ein Iterator und speichert die jeweils aktuelle Position
  - der Iterator steht nach Erzeugung auf dem ersten Verzeichniseintrag
- closedir gibt die mit belegten Ressourcen nach Ende der Bearbeitung frei

3 readdir

- liefert einen Verzeichniseintrag und setzt den **DIR**-Iterator auf den Folgeeintrag
- Funktions-Prototyp:

```
#include <sys/types.h>
#include <dirent.h>

struct dirent *readdir(DIR *dirp);
```

- Argumente
  - **dirp**: Zeiger auf **DIR**-Datenstruktur
- Rückgabewert: Zeiger auf Datenstruktur vom Typ **struct dirent**, **NULL** wenn EOF erreicht wurde oder im Fehlerfall
  - ➤ bei EOF bleibt **errno** unverändert (kritisch, kann vorher beliebigen Wert haben), im Fehlerfall wird **errno** entsprechend gesetzt
  - ➤ **errno** vorher auf 0 setzen, sonst kann EOF nicht sicher erkannt werden!

3 … readdir

- Problem: Der Speicher für die zurückgelieferte `struct dirent` wird von den dir-Bibliotheksfunktionen selbst angelegt und beim nächsten readdir-Aufruf auf dem gleichen `DIR`-Iterator wieder verwendet!
  - ◆ werden Daten aus der `dirent`-Struktur länger benötigt, müssen sie vor dem nächsten readdir-Aufruf kopiert werden
  - ◆ konzeptionell schlecht
    - ➤ aufrufende Funktion arbeitet mit Zeiger auf internen Speicher der readdir-Funktion
  - ◆ in nebenläufigen Programmen (mehrere Threads) nur bedingt einsetzbar
    - ➤ man weiß evtl. nicht, wann der nächste readdir-Aufruf stattfindet
- readdir ist ein klassisches Beispiel für schlecht konzipierte Schnittstellen in der C-Funktionsbibliothek
  - ➤ wie auch `gets`, `strdup`, `getpwent` und viele andere

4 readdir_r

- *reentrant*-Variante von readir
  - ➤ Speicher der `struct dirent` wird nicht von der Funktion bereitgestellt sondern wird vom Aufrufer übergeben und die Funktion füllt ihn aus
- Funktions-Prototyp:

```
int readdir_r(DIR *dirp, struct dirent *entry, struct dirent **result);
```

- Argumente
  - **`dirp`**: Zeiger auf **`DIR`**-Iterator
  - Zeiger auf **`dirent`**-Struktur
  - über das dritte Argument wird im Erfolgsfall der im zweiten Argument übergebene Zeiger zurückgeliefert, sonst NULL
- Ergebnis: im Erfolgsfall 0, sonst eine Fehlernummer
- nur wichtig im Zusammenhang mit Threads!

5 struct dirent

- Definition unter Linux (/usr/include/bits/dirent.h)

```
struct dirent {
    __ino_t d_ino;
    __off_t d_off;
    unsigned short int d_reclen; /* tatsächl. Länge der Struktur */
    unsigned char d_type;
    char d_name[256];
};
```

- Definition unter Solaris (/usr/include/sys/dirent.h)

```
typedef struct dirent {
    ino_t           d_ino;
    off_t           d_off;
    unsigned short  d_reclen; /* tatsächl. Länge der Struktur */
    char            d_name[1];
} dirent_t;
```

- POSIX: `d_name` ist ein Feld unbestimmter Länge, max. `NAME_MAX` Zeichen

6 rewinddir

- setzt den `DIR`-Iterator auf den ersten Verzeichniseintrag zurück
  - ➤ nächster readdir-Aufruf liefert den ersten Verzeichniseintrag
- Funktions-Prototyp:

```
void rewinddir(DIR *dirp);
```

7 telldir / seekdir

- telldir ermittelt die aktuelle Position eines `DIR`-Iterator
- seekdir setzt einen `DIR`-Iterator auf einen zuvor abgefragten Wert
  - ◆ `loc` wurde zuvor mit telldir ermittelt
- Funktions-Prototypen:

```
long int telldir(DIR *dirp);
void seekdir(DIR *dirp, long int loc);
```

U5-2 Dateiattribute

- **stat(2)/lstat(2)** liefern Datei-Attribute aus dem Inode
- Funktions-Prototypen:

```
int stat(const char *path, struct stat *buf);

int lstat(const char *path, struct stat *buf);
```

- Argumente:
  - `path`: Dateiname
  - `buf`: Zeiger auf Puffer, in den Inode-Informationen eingetragen werden
- Rückgabewert: 0 wenn OK, -1 wenn Fehler
- Beispiel:

```
struct stat buf;
stat("/etc/passwd", &buf); // Fehlerabfrage...
printf("Dateigroesse /etc/passwd: %ld\n", buf.st_size);
```

1 stat: Ergebnisrückgabe im Vergleich zur readdir

- problematische Rückgabe auf funktionsinternen Speicher wie bei **`readdir`** gibt es bei **`stat`** nicht
- Grund: **`stat`** ist ein Systemaufruf - Vorgehensweise wie bei **`readdir`** wäre gar nicht möglich
  - ➤ Vergleiche Vorlesung *B| V Betriebssystemebene* Seite 3
  - ➤ **`readdir`** ist komplett auf Ebene 3 implementiert (Teil der Standard-C-Bibliothek - Laufzeitbibliothek, siehe Vorlesung *B | V Maschinenprogramme* Seite 15 und 19)
  - ➤ **`stat`** ist nur ein Systemaufruf(-stumpf), die Funktion selbst ist Teil des Betriebssystems (Ebene 2)
- der logische Adressraum auf Ebene 3 (Anwendungsprogramm) ist nur eine Teilmenge (oder sogar komplett disjunkt) von dem logischen Adressraum auf Ebene 2 (Betriebssystemkern)
  - ➤ Betriebssystemspeicher ist für Anwendung nicht sichtbar/zugreifbar
  - ➤ Funktionen der Ebene 2 können keine Zeiger auf ihre internen Datenstrukturen an Ebene 3 zurückgeben

1 stat / lstat: stat-Struktur

- `dev_t st_dev;` Gerätenummer (des Dateisystems) = Partitions-Id
- `ino_t st_ino;` Inodenummer (Tupel st_dev,st_ino eindeutig im System)
- `mode_t st_mode;` **Dateimode, u.a. Zugriffs-Bits und Dateityp**
- `nlink_t st_nlink;` Anzahl der (Hard-) Links auf den Inode (Vorl. 7-30)
- `uid_t st_uid;` UID des Besitzers
- `gid_t st_gid;` GID der Dateigruppe
- `dev_t st_rdev;` DeviceID, nur für Character- oder Blockdevices
- `off_t st_size;` **Dateigröße in Bytes**
- `time_t st_atime;` Zeit des letzten Zugriffs (in Sekunden seit 1.1.1970)
- `time_t st_mtime;` Zeit der letzten Veränderung (in Sekunden ...)
- `time_t st_ctime;` Zeit der letzten Änderung der Inode-Information (...)
- `unsigned long st_blksize;` Blockgröße des Dateisystems
- `unsigned long st_blocks;` Anzahl der von der Datei belegten Blöcke

1 stat- Zugriffsrechte

- in dem Strukturelement `st_mode` sind die Zugriffsrechte (12 Bit) und der Dateityp (4 Bit) kodiert.
- UNIX sieht folgende Zugriffsrechte vor (davor die Darstellung des jeweiligen Rechts bei der Ausgabe des ls-Kommandos)
  - `r` lesen (getrennt für *User*, *Group* und *Others* einstellbar)
  - `w` schreiben (analog)
  - `x` ausführen (bei regulären Dateien) bzw. Durchgriffsrecht (bei Dir.)
  - `s` setuid/setgid-Bit: bei einer ausführbaren Datei mit dem Laden der Datei in einen Prozess (exec) erhält der Prozess die Benutzer (bzw. Gruppen)-Rechte des Dateieigentümers
  - `s` setgid-Bit: bei einem Verzeichnis: neue Dateien im Verzeichnis erben die Gruppe des Verzeichnisses statt der des anlegenden Benutzers
  - `t` bei Verzeichnissen: es dürfen trotz Schreibrecht im Verzeichnis nur eigene Dateien gelöscht werden

2 getpwuid

- Funktions-Prototyp:

```
#include <pwd.h>
struct passwd *getpwuid(uid_t uid);
```

- struct passwd:
  - char *pw_name; /* user's login name */
  - uid_t pw_uid; /* user's uid */
  - gid_t pw_gid; /* user's gid */
  - char *pw_gecos; /* typically user's full name */
  - char *pw_dir; /* user's home dir */
  - char *pw_shell; /* user's login shell */

3 getgrgid

- Prototyp:

```
#include <grp.h>
struct group *getgrgid(gid_t gid);
```

- struct group:
  - char *gr_name; /* the name of the group */
  - char *gr_passwd; /* the encrypted group password */
  - gid_t gr_gid; /* the numerical group ID */
  - char **gr_mem; /* vector of pointers to member names */

U5-3 Shell-Wildcards

- Erlauben Beschreibung von Mustern für Pfadnamen
  `*`: beliebiger Teilstring (inkl. leerer String)
  `?`: genau ein beliebiges Zeichen
  `[a-d]`: ein Zeichen aus den Zeichen mit ASCII-Codes in ['a'; 'd']
  `[!a-d]`: ein Zeichen aus den Zeichen mit ASCII-Codes **nicht** in ['a'; 'd']

- Weitere und ausführliche Beschreibung siehe **glob(7)**

- Werden von der Shell expandiert, wenn im jeweiligen Verzeichnis passende Dateinamen existieren
  ☞ Quoting notwendig, wenn Muster als Argument übergeben wird

- Die Erweiterung betrifft immer nur einzelne Pfadkomponenten

- Dateien, die mit einem '.' beginnen, müssen explizit getroffen werden

1 Wildcard-Beispiel

```
mikey@lizzy[testdir] ls -a
attest.doc  t1.tar  t2.txt  test2.c  .test.c  test.c  tx.map
# Einfaches Teilstring-Wildcard
mikey@lizzy[testdir] ls test*
test2.c  test.c
# Mehrere Wildcards
mikey@lizzy[testdir] ls *test*
attest.doc  test2.c  test.c
# Einzelzeichen-Match
mikey@lizzy[testdir] ls test?.*
test2.c
# Bereiche
mikey@lizzy[testdir] ls t[1x].*
t1.tar  tx.map
# Invertierung eines Bereichs und Quoting
mikey@lizzy[testdir] find . -name 't[!12].*'
./tx.map
# Matching von Dateien, die mit einem .-Zeichen beginnen
mikey@lizzy[testdir] find . -name '.test*'
./.test.c
```

2 Evaluierung von Wildcard-Mustern in C-Programmen

- Funktion **fnmatch(3)**

```
#include <fnmatch.h>
int fnmatch(const char *pattern, const char *string, int flags);
```

- Prüft, ob das Wildcard-Muster `pattern` den String `string` einschließt
- Flags (0 oder bitweises Oder von ein oder mehreren der folgenden Werte)
  - `FNM_NOESCAPE`: Backslash als reguläres Zeichen interpretieren
  - `FNM_PATHNAME`: Ein Slash in `string` wird nur von einem Slash-Zeichen in `pattern` getroffen, nicht von einem Wildcard-Zeichen
  - `FNM_PERIOD`: Ein führender Punkt in einer Pfadkomponente muss von einem korrespondierenden Punkt in `pattern` getroffen werden
- Rückgabe
  - 0, wenn Muster den Teststring einschließt, sonst `FNM_NOMATCH`
  - andere Werte im Fehlerfall

U5-4 Dateisystem-Systemcalls

- open(2) / close(2)
- read(2) / write(2)
- lseek(2)
- chmod(2)
- fstat(2)
- readlink(2)
- umask(2)
- utime(2)
- truncate(2)

1 open

- Funktions-Prototyp:

```
#include <fcntl.h>
int open(const char *path, int oflag, ... /* [mode_t mode] */ );
```

- Argumente:
  - Maximallänge von path: **PATH_MAX**
  - **oflag**: Lese/Schreib-Flags, Allgemeine Flags, Synchronisierungs I/O Flags
    - Lese/Schreib-Flags: **O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR**
    - Allgemeine Flags: **O_APPEND, O_CREAT, O_EXCL, O_LARGEFILE, O_NDELAY, O_NOCTTY, O_NONBLOCK, O_TRUNC**
    - Synchronisierung: **O_DSYNC, O_RSYNC, O_SYNC**
  - **mode**: Zugriffsrechte der erzeugten Datei (nur bei **O_CREAT**) - siehe **chmod**
- Rückgabewert
  - Filedeskriptor oder -1 im Fehlerfall (**errno** wird gesetzt)

1 open - Flags

- o_EXCL: zusammen mit o_CREAT - nur *neue* Datei anlegen
- o_TRUNC: Datei wird beim Öffnen auf 0 Bytes gekürzt
- o_APPEND: vor jedem Schreiben wird der Dateizeiger auf das Dateiende gesetzt
- o_NDELAY, o_NONBLOCK: Operationen arbeiten nicht-blockierend (bei Pipes, FIFOs und Devices)
  - open kehrt sofort zurück
  - read liefert -1 zurück, wenn keine Daten verfügbar sind
  - wenn genügend Platz ist, schreibt write alle Bytes, sonst schreibt write nichts und kehrt mit -1 zurück
- o_NOCTTY: beim Öffnen von Terminal-Devices wird das Device nicht zum Kontroll-Terminal des Prozesses

1 open - Flags (2)

- Synchronisierung
  - O_DSYNC: Schreibaufruf kehrt erst zurück, wenn Daten in Datei geschrieben wurden (Blockbuffer Cache!)
  - O_SYNC: ähnlich O_DSYNC, zusätzlich wird gewartet, bis Datei-Attribute wie Zugriffszeit, Modifizierungszeit, auf Disk geschrieben sind
  - O_RSYNC | O_DSYNC: Daten die gelesen wurden, stimmen mit Daten auf Disk überein, d.h. vor dem Lesen wird der Buffercache geflushet
    O_RSYNC | O_SYNC: wie O_RSYNC | O_DSYNC, zusätzlich Datei-Attribute

2 close

- Funktions-Prototyp:

```
#include <unistd.h>
int close(int fildes);
```

- Argumente:
  - `fildes`: Filedeskriptor der zu schließenden Datei
- Rückgabewert:
  - 0 bei Erfolg, -1 im Fehlerfall

3 read

- Funktions-Prototyp:

```
#include <unistd.h>
ssize_t read(int fildes, void *buf, size_t nbyte);
```

- Argumente
  - `fildes`: Filedeskriptor, z.B. Rückgabe vom open-Aufruf
  - `buf`: Zeiger auf Puffer
  - `nbyte`: Größe des Puffers
- Rückgabewert
  - Anzahl der gelesenen Bytes oder -1 im Fehlerfall

```
char buf[1024];
int fd;
fd = open("/etc/passwd", O_RDONLY);
if (fd == -1) ...
read(fd, buf, 1024);
```

4 write

- Funktions-Prototyp

```
#include <unistd.h>
ssize_t write(int fildes, const void *buf, size_t nbyte);
```

- Argumente
  - äquivalent zu **read**
- Rückgabewert
  - Anzahl der geschriebenen Bytes oder -1 im Fehlerfall

5 lseek

- Funktions-Prototyp

```
#include <unistd.h>
off_t lseek(int fildes, off_t offset, int whence);
```

- Argumente
  - **fildes**: Filedeskriptor
  - **offset**: neuer Wert des Dateizeigers
  - **whence**: Bedeutung von offset
    - **SEEK_SET**: absolut vom Dateianfang
    - **SEEK_CUR**: Inkrement vom aktuellen Stand des Dateizeigers
    - **SEEK_END**: Inkrement vom Ende der Datei
- Rückgabewert
  - Offset in Bytes vom Beginn der Datei oder -1 im Fehlerfall

6 chmod

- Funktions-Prototyp:

```
#include <sys/stat.h>
int chmod(const char *path, mode_t mode);
```

- Argumente:
  - `path`: Dateiname
  - `mode`: gewünschter Dateimodus, z.B.
    - `S_IRUSR`: lesbar durch Besitzer
    - `S_IWUSR`: schreibbar durch Benutzer
    - `S_IRGRP`: lesbar durch Gruppe
- Rückgabewert: 0 wenn OK, -1 wenn Fehler
- Beispiel:

```
chmod("/etc/passwd", S_IRUSR | S_IRGRP);
```

7 fstat

- Funktions-Prototyp:

```
int fstat(int filedes, struct stat *buf);
```

- wie `stat`, aber Deskriptor einer geöffneten Datei statt Dateiname

8 umask

- Funktions-Prototyp:

```
#include <sys/stat.h>
mode_t umask(mode_t cmask);
```

- Argumente
  - `cmask`: gibt Permission-Bits an, die beim Erzeugen einer Datei ausgeschaltet werden sollen
- Rückgabewert: voriger Wert der Maske

9 readlink

- Funktions-Prototyp:

```
#include <unistd.h>

int readlink(const char *path, char *buf, size_t bufsiz);
```

- Argumente
  - **path**: Dateiname
  - **buf**: Puffer für Link-Inhalt
    - ➤ Vorsicht: es wird einfach der Link-Inhalt in **buf** kopiert - die Daten werden von readlink nicht explizit mit '\0' terminiert
      - ➥ entweder buf mit Nullen initialisieren oder '\0' explizit am Ende des Link-Inhalts eintragen (Rückgabewert von readlink = Länge)
  - **bufsiz**: Größe des Puffers
- Rückgabewert: Anzahl der in buf geschriebenen Bytes oder -1

10 utime

- Funktions-Prototyp:

```
#include <utime.h>
int utime(const char *path, const struct utimbuf *times);
```

- Argumente
  - `path`: Dateiname
  - `times`: Zugriffs- und Modifizierungszeit (in Sekunden)
- Rückgabewert: 0 wenn OK, -1 wenn Fehler
- Beispiel: setze atime und mtime um eine Stunde zurück

```
struct utimebuf times;
struct stat buf;
stat("/etc/passwd", &buf); /* Fehlerabfrage */
times.actime = buf.st_atime - 60 * 60;
times.modtime = buf.st_mtime - 60 * 60;
utime("/etc/passwd", &times); /* Fehlerabfrage */
```

11 truncate

- Funktions-Prototyp:

```
#include <unistd.h>
int truncate(const char *path, off_t length);
```

- Argumente:
  - `path`: Dateiname
  - `length`: gewünschte Länge der Datei
- Rückgabewert: 0 wenn OK, -1 wenn Fehler