U2 2. Übung

- Vorstellen der Aufgabe 1: lilo
- Fehlerbehandlung
- Nachtrag zu Subversion
- Debugging mit GDB und valgrind
- Nachtrag zu dynamischer Speicherverwaltung
- Generisches Sortieren mit **qsort(3)**
- Aufgabe 2: wsort

U2-1 Fehlerbehandlung

- Fehler können aus unterschiedlichsten Gründen im Programm auftreten
  - ➤ Systemressourcen erschöpft
    ➠ **malloc(3)** schlägt fehl
  - ➤ Fehlerhafte Benutzereingaben (z.B. nicht existierende Datei)
    ➠ **open(2)** schlägt fehl
  - ➤ Transiente Fehler (z.B. nicht erreichbarer Server)
    ➠ **connect(2)** schlägt fehl
  - ➤ ...
- Gute Software **erkennt Fehler**, führt eine **angebrachte Behandlung** durch und gibt eine **aussagekräftige Fehlermeldung** aus
  - ◆ Kann das Programm trotz des Fehlers sinnvoll weiterlaufen?
  - ◆ Beispiel 1: Ermittlung des Hostnamens zu einer IP-Adresse für Logeintrag
    ➠ Fehlerbehandlung: IP-Adresse im Log eintragen, Programm läuft weiter
  - ◆ Beispiel 2: Kopierprogramm: Öffnen der Quelldatei schlägt fehl
    ➠ Fehlerbehandlung: Kopieren nicht möglich, Programm beenden

1 Fehler in Bibliotheksfunktionen

- Fehler treten häufig in Funktionen der C-Bibliothek auf
  - ➤ erkennbar i.d.R. am Rückgabewert (Manpage, Sektion **RETURN VALUES**)
- Die Fehlerursache wird über die globale Variable **`errno`** übermittelt
  - ➤ Fehlercode für jeden möglichen Fehler (siehe **errno(3)**)
  - ➤ Der Wert **`errno=0`** ist reserviert, alles andere ist ein Fehlercode
  - ➤ Bibliotheksfunktionen setzen **`errno`** im Fehlerfall (sonst nicht *zwingend*)
  - ➤ Bekanntmachung im Programm durch Einbinden von **`errno.h`**
- Fehlercodes können mit den Funktionen **perror(3)** und **strerror(3)** ausgegeben bzw. in lesbare Strings umgewandelt werden

```
char *mem = malloc(...); // malloc gibt im Fehlerfall
if(NULL == mem) {        // NULL zurück
    perror("malloc");    // Alternative zu strerror + fprintf
    exit(EXIT_FAILURE);  // Programm mit Fehlercode beenden
}
```

2 Fehlererkennung

- Signalisierung von Fehlern normalerweise durch Rückgabewert
- Nicht bei allen Funktionen möglich, z.B. **fgets(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
```

- Rückgabewert `NULL` sowohl im Fehlerfall als auch bei `End-of-File`
- Erkennung im Fall von I/O-Streams mit **ferror(3)** und **feof(3)**

```
while (fgets(buffer, 102, stdin) != NULL) {
    ...
}
// EOF oder Fehler?
if (ferror(stdin)) {
    // Fehler
}
```

U2-2 Nachtrag zu Subversion

1 Versionierungsschema

- Subversion nummeriert fortlaufend ab Revision 0 (1,2,3,...)
- spezielle Revisionsschlüsselwörter
  - HEAD: aktuelle Version des Repositories (neuste Version)
  - BASE: Revision eines Eintrags (Datei, Verzeichnis) der Arbeitskopie
  - COMMITTED: Letzte Änderungsrevision eines Eintrags älter als BASE
  - PREV: COMMITTED-1
- Revision zu einem bestimmten Zeitpunkt
  - {"2010-10-19 14:42"}

2 Kommentar bei commit

- Beim Aufruf von **`svn commit`** öffnet sich normalerweise ein Editor
  - Im CIP ist dieses der Editor **`joe`**
    - Zum Speichern und Verlassen des Editors **`Strg-k x`** drücken
    - Hilfemenü öffnet sich mit **`Strg-k h`**
  - Anderer Editor kann über die Umgebungsvariable **`EDITOR`** ausgewählt werden

```
alice@faui01[~]$ export EDITOR=vim
```

    - Umgebungsvariable ist nur in dieser Shell-Sitzung gültig
    - Durch Eintragen des Kommandos in die Konfigurationsdatei der eigenen Shell (z.B. **`~/.bashrc`**) wird der Standardeditor für jede neue Shell geändert

- Übergabe des Kommentars als Argument von **`svn commit`**:

```
alice@faui01[/proj/i4sp/alice]$ svn commit -m "Ich schreibe
lieber gleich in die Befehlszeile und nicht in den Editor"
```

2 Exkurs: Quoting von Zeichen mit Sonderbedeutung

- Sonderzeichen (wie **<**, **>**, **&**, Leerzeichen) soll als Argument übergeben werden:

```
cd Eigene Dateien
```

- Problem: die Shell interpretiert diese Zeichen
  - im Beispiel das Leerzeichen als Trenner mehrerer Argumente
  - das Kommando wird mit zwei Argumenten ausgeführt: *Eigene* und *Dateien*
- Lösung: Quoting nimmt Zeichen die Sonderbedeutung:
  - Voranstellen von \ nimmt genau einem Zeichen die Sonderbedeutung
    \ selbst wird durch \\ eingegeben
  - Klammern des gesamten Arguments durch **" "**,
    " selbst wird durch **\"** angegeben
  - Klammern des gesamten Arguments durch **’ ’**,
    ’ selbst wird durch **\’** angegeben

```
cd "Eigene Dateien"; cd ’Eigene Dateien’; cd Eigene\ Dateien
```

3 Basisoperationen

- diff: Lokale Änderungen der Arbeitskopie anzeigen

```
alice@faui01[/proj/i4sp/alice/trunk]$ svn status
M       hallo
alice@faui01[/proj/i4sp/alice/trunk]$ svn diff
Index: hallo
===================================================================
--- hallo       (revision 23)
+++ hallo       (working copy)
@@ -0,0 +1 @@
+welt
```

- revert: Änderungen an Arbeitskopie zurücksetzen

```
alice@faui01[/proj/i4sp/alice/trunk]$ svn revert hallo
Reverted 'hallo'
alice@faui01[/proj/i4sp/alice/trunk]$ svn status
alice@faui01[/proj/i4sp/alice/trunk]$
```

3 Basisoperationen

- list/ls: Dateien/Verzeichnisse im Repository anzeigen

```
alice@faui01[/proj/i4sp/alice]$ svn ls
branches/
trunk/
```

- log: Historie anzeigen

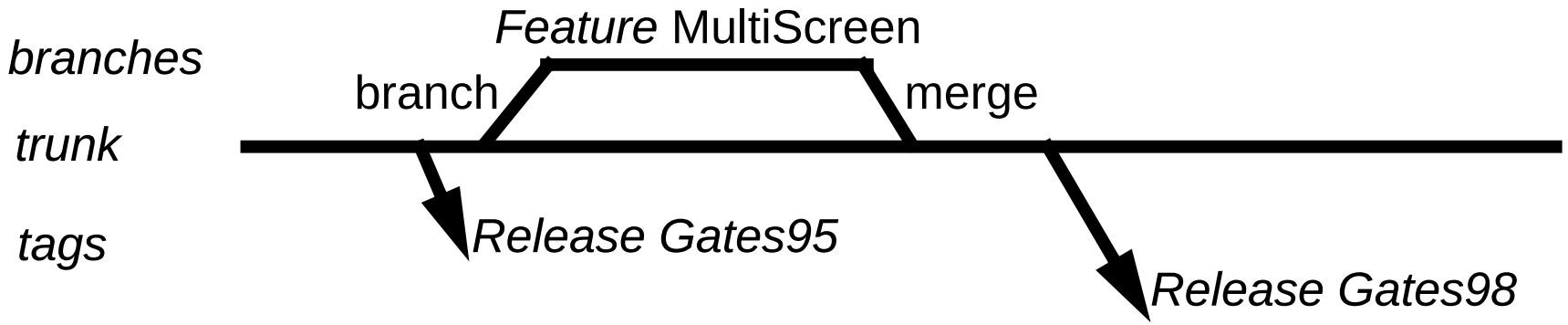
```
alice@faui01[/proj/i4sp/alice]$ svn log
------------------------------------------------------------------------
r1 | www-data | 2010-04-20 15:03:14 +0200 (Tue, 20 Apr 2010) | 1 line

init repository
------------------------------------------------------------------------
```

- move/mv: Datei umbenennen oder verschieben
- copy/cp: Datei/Teilbaum kopieren

```
alice@faui01[trunk]$ svn cp aufgabe1 ../branches/aufgabe1
# aufgabe1 in trunk wurde in branches kopiert
```

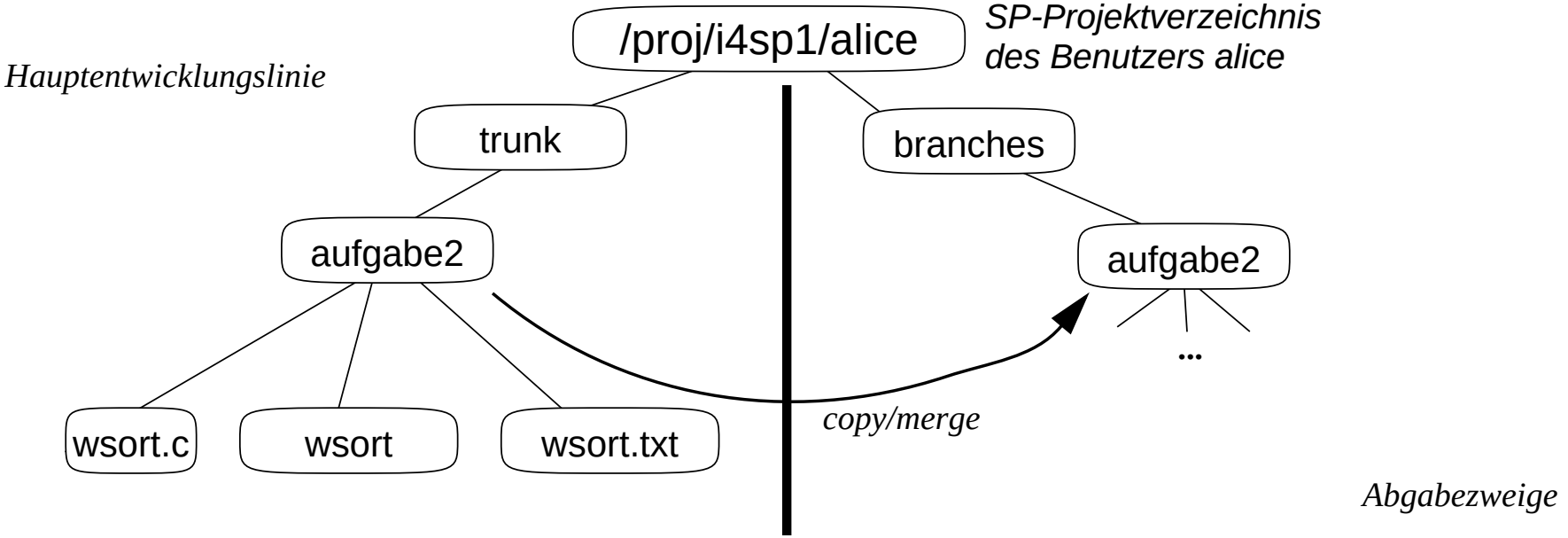
4 Konventionelles Repository-Layout

SVN-Repository des Projekts *Gates*



- Unterteilung des Wurzelverzeichnisses
  - Hauptentwicklungslinie: *trunk*
  - Verzeichnis mit Entwicklungszweigen: *branches*
  - Eingefrorene Versionen: *tags*
- Größere Features können von der Hauptlinie entkoppelt in einem eigenen Zweig (*branch*) entwickelt werden und nach Fertigstellung wieder in die Hauptlinie eingebracht (*merge*) werden
- Besondere Versionen können benamt (*getaggt*) werden (z.B. Release)

5 Funktionsweise der SP-Abgabe

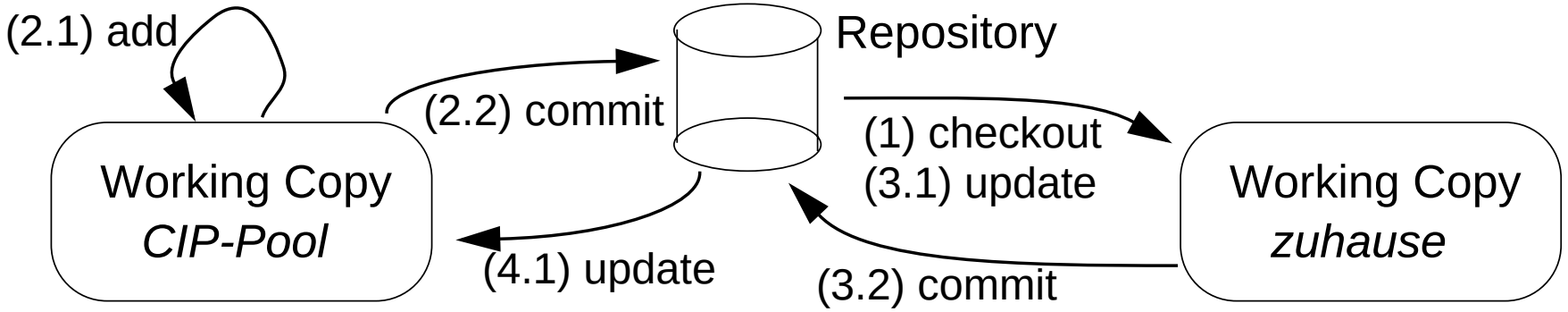


- Zur Abgabe wird ein Abgabezweig für jede Aufgabe in *branches* erzeugt
  - Eine erfolgreiche Abgabe ist durch Aufruf der folgenden URL erkennbar:

    `https://www4.informatik.uni-erlangen.de/i4sp/ss11/sp1/<login>/branches/<aufgabe>/`

    - Dort werden die Dateien angezeigt, die zur Bewertung herangezogen werden
  - unterhalb von *branches* sollte nicht von Hand editiert/eingecheckt werden

6 Arbeiten zuhause



(1) Zusätzliche Arbeitskopie(n) erstellen (*checkout,* einmalig)

(2) Start der Arbeit an einer Aufgabe im CIP-Pool
- angelegte Dateien und Verzeichnisse unter Versionskontrolle stellen (*add*)
- Zwischenstand ins Repository einchecken (*commit*)

(3) Arbeit zuhause fortsetzen
- Arbeitskopie zunächst auf den aktuellen Stand bringen (*update*)
- Zwischenstand ins Repository einchecken (*commit*)

(4) Arbeit im CIP-Pool fortsetzen
- Arbeitskopie zunächst auf den aktuellen Stand bringen (*update*)
- ...

U2-3 Debuggen mit dem gdb

- Ein Debugger dient zum Suchen und Finden von Fehlern in Programmen
- Im Debugger kann man u.a.
  - das Programm schrittweise abarbeiten
  - Variablen- und Speicherinhalte ansehen und modifizieren
  - core dumps (Speicherabbilder beim Programmabsturz) analysieren
    - Erlauben von core dumps (in der laufenden Shell):
      z. B. **`limit coredumpsize 1024k`** oder **`limit coredumpsize unlimited`**
- Programm muss mit der Compileroption **`-g`** übersetzt werden

```
gcc -g -o hello hello.c
```

- Aufruf des Debuggers mit gdb <Programmname>

```
gdb ./hello
```

1 Auffinden von Fehlern mit Hilfe eines Debuggers

```
void initArray(int *array, unsigned int size) {
    int i;
    for ( i=0; i<=size; i++ ) {
        array[i] = 0;
    }
}

int main(int argc, char *argv[]) {
    int *array;
    int buf[8];

    initArray(buf,8);

    array = buf;
    while ( array != buf+8 ) {
        printf("%d\n", *array);
        array++;
    }

    exit(EXIT_SUCCESS);
}                    /* Auch unter /proj/i4sp1/pub/gdb/gdb.c */
```

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Programmausführung beeinflussen
  - Breakpoints setzen:
    - **`b`** [<Dateiname>:]<Funktionsname>
    - **`b`** <Dateiname>:<Zeilennummer>
  - Starten des Programms mit **`run`** (+ evtl. Befehlszeilenparameter)
  - Fortsetzen der Ausführung bis zum nächsten Stop mit **`c`** (continue)
  - schrittweise Abarbeitung auf Ebene der Quellsprache mit
    - **`s`** (step: läuft in Funktionen hinein)
    - **`n`** (next: behandelt Funktionsaufrufe als einzelne Anweisung)
  - Breakpoints anzeigen: **`info breakpoints`**
  - Breakpoint löschen: **`delete`** ***`breakpoint#`***

2 Referenz: Kommandos des GDBs

- Variableninhalte anzeigen/modifizieren
  - Anzeigen von Variablen mit: **`p`** ***`expr`***
    - ***`expr`*** ist ein C-Ausdruck, im einfachsten Fall der Name einer Variable
  - Automatische Anzeige von Variablen bei jedem Programmstopp (Breakpoint, Step, ...): **`display`** ***`expr`***
  - Setzen von Variablenwerten mit **`set`** <variablenname>**`=`**<wert>
- Ausgabe des Funktionsaufruf-Stacks (backtrace): **`bt`**
- Quellcode an aktueller Position anzeigen: **`list`**
- Watchpoints: Stoppt Ausführung bei Zugriff auf eine bestimmte Variable
  - **`watch`** ***`expr:`*** Stoppt, wenn sich der Wert des C-Ausdrucks ***`expr`*** ändert
  - **`rwatch`** ***`expr:`*** Stoppt, wenn ***`expr`*** gelesen wird
  - **`awatch`** ***`expr:`*** Stopp bei jedem Zugriff (kombiniert **`watch`** und **`rwatch`**)
  - Anzeigen und Löschen analog zu den Breakpoints

U2-4 valgrind

- Nicht immer ist der Debugger das richtige Werkzeug zum Finden von Fehlern (Quellcode ab Mittwoch unter: **`/proj/i4sp1/pub/gdb/lilo.c`**)
- Baukasten von Debugging- und Profiling-Werkzeugen (ausführbarer Code wird durch synthetische CPU auf Softwareebene interpretiert ➔ Ausführung erheblich langsamer!)
  - ◆ Memcheck: erkennt Speicherzugriff-Probleme
    - ➤ Nutzung von nicht-initialisiertem Speicher
    - ➤ Zugriff auf freigegebenen Speicher
    - ➤ Zugriff über das Ende von allokierten Speicherbereichen
    - ➤ Zugriff auf ungültige Stack-Bereiche
    - ➤ …
  - ◆ Helgrind: erkennt Koordinierungsprobleme zwischen mehreren Threads
- Aufrufbeispiel: **`valgrind ./wsort`**

1 Fehler finden mit valgrind

- Zugriffe auf nicht allokierten Speicher finden

```
==11711== Invalid read of size 4
==11711==    at 0x804841B: main (gdb.c:19)
==11711==  Address 0x0 is not stack'd, malloc'd or (recently) free'd
==11711==
==11711==
==11711== Process terminating with default action of signal 11 (SIGSEGV)
==11711==  Access not within mapped region at address 0x0
==11711==    at 0x804841B: main (gdb.c:19)
```

  - In Zeile 19 wurden 4 Byte von Adresse 0x0 gelesen
    - Auch schreibende Zugriffe können entdeckt werden
  - Darauf hin wurde der Prozess beendet

1 Fehler finden mit valgrind

- Auffinden von nicht freigegebenem Speicher

```
==5344== HEAP SUMMARY:
==5344==     in use at exit: 16 bytes in 2 blocks
==5344==   total heap usage: 4 allocs, 2 frees, 32 bytes allocated
```

  - Bei Programmende sind noch 2 Speicherbereiche (Blöcke) belegt
  - Während der Programmausführung wurde viermal **`malloc()`** und nur zweimal **`free()`** aufgerufen
  - Mit Hilfe der Option **`--leak-check=full --show-reachable=yes`** wird angezeigt, wo der Speicher angelegt wurde, der nicht freigegeben wurde.

```
==5865== 8 bytes in 1 blocks are still reachable in loss record 1 of 2
==5865==    at 0x48DAF50: malloc (vg_replace_malloc.c:236)
==5865==    by 0x80484B9: insertElement (lilo.c:28)
==5865==    by 0x8048599: main (lilo.c:61)
```

    - In der Zeile 28 wurde der Speicher angelegt
    - Nun im Quellcode Stellen identifizieren, an denen **`free()`**-Aufrufe fehlen

1 Fehler finden mit valgrind

- Auffinden uninitialisierten Speichers

```
==18108== Conditional jump or move depends on uninitialised value(s)
==18108==    at 0x80484AC: insertElement (lilo.c:19)
==18108==    by 0x8048566: main (lilo.c:59)
```

  - In der Funktion **`insertElement()`** in Zeile 19 wird auf uninitialisierten Speicher zugegriffen.
  - Mit Hilfe der Option **`--track-origins=yes`** wird angezeigt, wo der uninitialisierte Speicher angelegt wurde.

```
==18741== Conditional jump or move depends on uninitialised value(s)
==18741==    at 0x80484AC: insertElement (lilo.c:19)
==18741==    by 0x8048566: main (lilo.c:59)
==18741==  Uninitialised value was created by a heap allocation
==18741==    at 0x48DAF50: malloc (vg_replace_malloc.c:236)
==18741==    by 0x80484B9: insertElement (lilo.c:28)
==18741==    by 0x8048549: main (lilo.c:58)
```

U2-5 Dynamische Speicherverwaltung

- Mit malloc() angeforderter Speicher ist nicht initialisiert (U2.19)
- explizite Initialisierung mit **`void *memset(void *s, int c, size_t n)`**

```
memset(numbers, 0, sizeof(int)*n);
```

- Vorinitialisierter Speicher kann mit **`calloc()`** angefordert werden:

  `void *calloc(size_t nelem, size_t elsize)`

```
int *numbers;
numbers = (int *)calloc(n,sizeof(int));
if(numbers == NULL) ...
```

- Verändern der Größe von Feldern, die durch **`malloc()`** bzw. **`calloc()`** erzeugt wurden:

```
neu = (int *)realloc(numbers, (n+10) * sizeof(int));
if(neu == NULL) { ... }
numbers = neu;
```

U2-6 Generisches Sortieren mit qsort

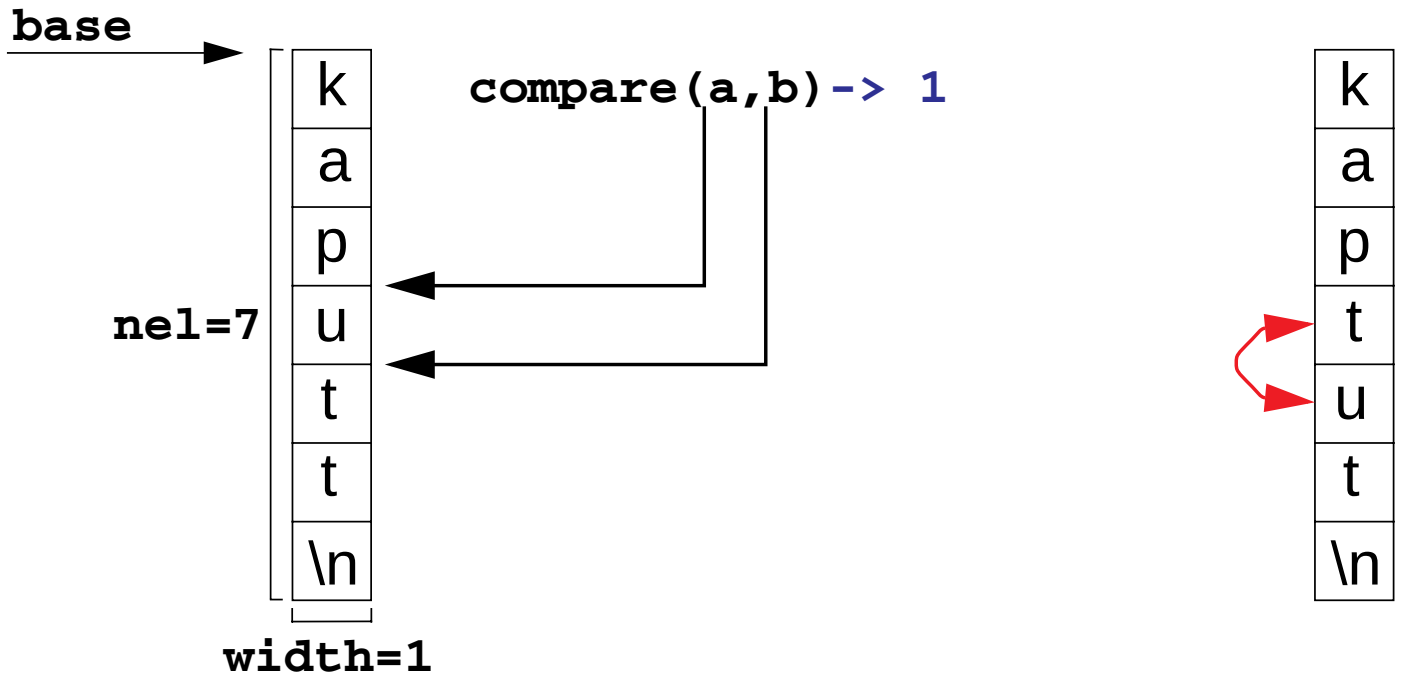
- Vergleich nahezu beliebiger Daten
  - ➤ alle Daten müssen die gleiche Größe haben
- qsort weiß nicht, *was* es sortiert (wie der Vergleich zu bewerkstelligen ist)
  - ➤ Aufrufer stellt Routine zum Vergleich zweier Elemente zur Verfügung
- Prototyp aus **`stdlib.h`**:

```
void qsort(void *base,
           size_t nel,
           size_t width,
           int (*compare) (const void *, const void *));
```

- Bedeutung der Parameter:
  - **base**: Zeiger auf das erste Element des zu sortierenden Feldes
  - **nel**: Anzahl der Elemente im zu sortierenden Feld
  - **width**: Größe eines Elements
  - **compare**: Vergleichsfunktion

1 Arbeitsweise von *qsort(3)*

- **qsort** vergleicht je zwei Elemente mit Hilfe der Vergleichsfunktion
- sind die beiden Elemente falsch angeordnet, werden diese getauscht
- Beispiel:



2 Vergleichsfunktion

- Die Vergleichsfunktion erhält Zeiger auf Feldelemente
  - ➤ da qsort den tatsächlichen Datentyp nicht kennt, ist der generische Prototyp mit void-Zeigern parametriert

```
void qsort(...,int (*compare) (const void *, const void *));
```

  - ➤ die übergebenen Zeiger haben tatsächlich denselben Typ wie das Feld

```
int charcompare(const char *, const char *);
```

  - ➤ Cast erforderlich

- `const`-Zusicherung: Funktion ändert die verglichenen Werte nicht

- Die Funktion vergleicht die beiden Elemente und liefert:
  - ◆ < 0, falls Element 1 kleiner gewertet wird als Element 2 (1, 5 : -4)
  - ◆ 0, falls Element 1 und Element 2 gleich gewertet werden (5, 5 : 0)
  - ◆ > 0, falls Element 1 größer gewertet wird als Element 2 (’z’, ’a’ : 25)

3 Vergleichsfunktion - Cast

- Notation von Funktionstypen

```
int (*) (const void *, const void *)
```

Rückgabetyp — Funktionszeiger — Parameterliste

  - wird ein Name benötigt, wird dieser hinter dem geklammerten `*` notiert

- Cast dann wie bei allen anderen Datentypen

```
int charcompare(const char *, const char *); // Prototyp

int (*compare) (const void *, const void *) =
    (int (*) (const void *, const void *)) charcompare;
```

  - Funktionszeiger-Variable mit Namen `compare`
  - wird die Adresse der typ-inkompatiblen Funktion `charcompare` zugewiesen