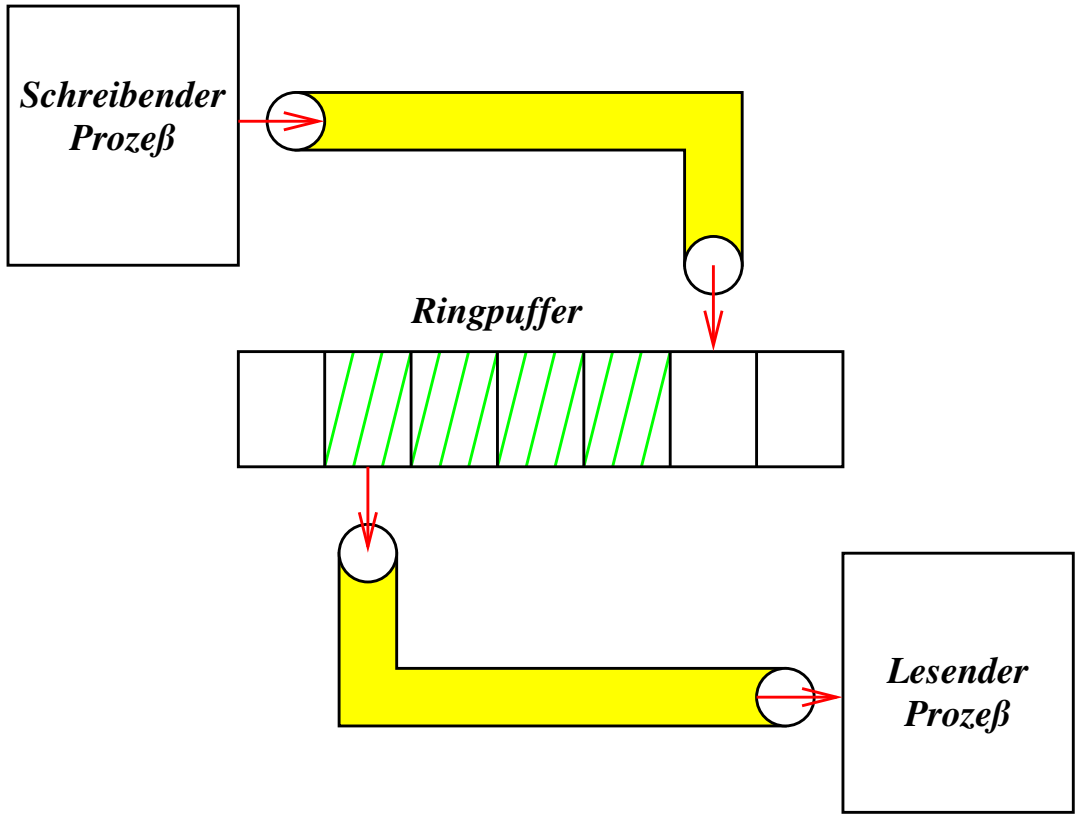
```
thales$ ypcat passwd | cut -d: -f5 | cut -d' ' -f1 |
> sort | uniq -c | sort -rn | head
  94 Michael
  85 Daniel
  83 Tobias
  78 Florian
  75 Alexander
  65 Sebastian
  61 Thomas
  61 Matthias
  60 Markus
  57 Andreas
thales$
```

- Welches sind die 10 häufigsten Vornamen unserer Benutzer?
- Dank Pipelines und dem Unix-Werkzeugkasten lässt sich diese Frage schnell beantworten.
- Die Notation und die zugehörige Art der Interprozesskommunikation wurde von Douglas McIlroy, einem der Mitautoren der ersten Unix-Shell, in den 70er-Jahren entwickelt und hat sehr zur Popularität von Unix beigetragen.

Aufbau einer Pipeline



- Pipelines sind unidirektionale Kommunikationskanäle. Die beiden Enden einer Pipeline werden über verschiedene Dateiverbindungen angesprochen.
- Sie werden innerhalb des Unix-Betriebssystems mit Hilfe eines festdimensionierten Ringpuffers implementiert.

- Typische Größen des Ringbuffers sind 64 Kilobyte (Linux, OS X) oder 20 Kilobyte (Solaris 10).
- Wenn der Puffer vollständig gefüllt ist, wird ein Prozess, der ihn weiter zu füllen versucht, blockiert, bis wieder genügend Platz zur Verfügung steht.
- Wenn der Puffer leer ist, wird ein lesender Prozeß blockiert, bis der Puffer sich zumindest partiell füllt.
- Dies ist vergleichbar mit der Datenstruktur einer FIFO-Queue (*first in, first out*) mit explizit begrenzter Kapazität.
- Der POSIX-Standard unterstützt sowohl benannte Pipelines als auch solche, die mit Hilfe des Systemaufrufs *pipe*() erzeugt werden. Die benannten Pipelines sind aber kaum noch in Gebrauch, da die bidirektionalen UNIX-Domain-Sockets (mehr dazu später) normalerweise bevorzugt werden.

Konstruktion einer Pipeline

pipehello.c

```
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <sys/wait.h>
enum {PIPE_READ = 0, PIPE_WRITE = 1};
int main() {
   int pipefds[2];
   if (pipe(pipefds) < 0) {
      perror("pipe"); exit(1);
   }
   pid_t child = fork();
   if (child < 0) {
      perror("fork"); exit(1);
   }
   if (child == 0) {
      close(pipefds[PIPE_WRITE]);
      char buf[32];
      ssize_t nbytes;
      while ((nbytes = read(pipefds[PIPE_READ],
            buf, sizeof buf)) > 0) {
         if (write(1, buf, nbytes) < nbytes) exit(1);
      }
      exit(0);
   }
   close(pipefds[PIPE_READ]);
   const char message[] = "Hello!\n";
   write(pipefds[PIPE_WRITE], message, sizeof message - 1);
   close(pipefds[PIPE_WRITE]);
   wait(0);
}
```

pipehello.c

```
enum {PIPE_READ = 0, PIPE_WRITE = 1};
int main() {
   int pipefds[2];
   if (pipe(pipefds) < 0) {
      perror("pipe"); exit(1);
   }
   /* ... */
}
```

- Mit dem Systemaufruf *pipe* wird eine Pipeline erzeugt.
- Zurückgegeben wird dabei ein Array mit zwei Dateiverbindungen, die auf das lesende (Index 0) und das schreibende (Index 1) Ende verweisen.
- Eine Interprozesskommunikation auf Basis von *pipe* lässt sich nur über *fork* aufbauen, indem das entsprechende andere Ende der Pipeline an einen neu erzeugten Prozess vererbt wird.
- Solche Pipelines können also nur zwischen verwandten Prozessen existieren, bei denen ein gemeinsamer Urahn diese mit *pipe* angelegt hat.

Schreibende Seite einer Pipeline

pipehello.c

```
pid_t child = fork();
if (child < 0) {
   perror("fork"); exit(1);
}
if (child == 0) {
   /* ... */
}
close(pipefds[PIPE_READ]);
const char message[] = "Hello!\n";
write(pipefds[PIPE_WRITE], message, sizeof message - 1);
close(pipefds[PIPE_WRITE]);
wait(0);
```

- Der in eine Pipeline schreibende Prozess sollte das nicht genutzte Ende der Pipeline (hier das lesende) schließen. (Mehr dazu später.)
- Danach kann auf das schreibende Ende ganz normal mit *write* (oder auch darauf aufbauend der *stdio*) geschrieben werden.
- Sobald dies abgeschlossen ist, sollte das schreibende Ende geschlossen werden, damit ein Eingabe-Ende auf der anderen Seite der Pipeline erkannt werden kann.

Lesende Seite einer Pipeline

pipehello.c

```
if (child == 0) {
   close(pipefds[PIPE_WRITE]);
   char buf[32];
   ssize_t nbytes;
   while ((nbytes = read(pipefds[PIPE_READ],
         buf, sizeof buf)) > 0) {
      if (write(1, buf, nbytes) < nbytes) exit(1);
   }
   exit(0);
}
```

- Der von einer Pipeline lesende Prozess sollte das nicht genutzte Ende der Pipeline (hier das schreibende) schließen. (Mehr dazu später.)
- Danach kann auf das lesende Ende ganz normal mit *read* (oder auch darauf aufbauend der *stdio*) geschrieben werden.
- Die Schleife kopiert einfach alle Eingaben aus der Pipeline zur Dateiverbindung 1 (Standard-Ausgabe).
- Sobald alle schreibenden Enden geschlossen und der Ringpuffer geleert sind, wird ein Eingabe-Ende erkannt.

- Nach *pipe* und *fork* haben zwei Prozesse jeweils beide Enden der Pipeline.
- Ein Eingabe-Ende auf der lesenden Seite wird genau dann (und nur dann!) erkannt, wenn **alle** schreibenden Enden geschlossen sind.
- Wenn also die lesende Seite es versäumt, die schreibende Seite zu schließen, wird sie kein Eingabe-Ende erkennen, wenn der andere Prozess seine schreibende Seite schließt.
- Stattdessen käme es zu einem endlosen Hänger.

- Genau dann (und nur dann!) wenn es kein Ende der Pipeline zum Lesen mehr gibt, führt das Schreiben auf das Ende zum Schreiben zur Zustellung des *SIGPIPE*-Signals bzw. dem Fehler *EPIPE*.
- Wenn die schreibende Seite es versäumt, ihr Ende zum Lesen zu schließen und der lesende Prozess aus irgendwelchen Gründen terminiert, ohne die Pipeline auslesen zu können, dann füllt sich zunächst der Ringpuffer und danach wird die schreibende Seite endlos blockiert.
- Entsprechend gäbe es wieder einen endlosen Hänger.
- Deswegen ist es von kritischer Bedeutung, dass die nicht benötigten Enden nach *fork* bei beiden Prozessen sofort geschlossen werden, um diese Probleme zu vermeiden.

Behandlung von *SIGPIPE*

sigpipe.c

```
int main() {
   int pipefds[2];
   if (pipe(pipefds) < 0) {
      perror("pipe"); exit(1);
   }
   pid_t child = fork();
   if (child < 0) {
      perror("fork"); exit(1);
   }
   if (child == 0) {
      close(pipefds[PIPE_WRITE]);
      char buf[32];
      ssize_t nbytes = read(pipefds[PIPE_READ],
            buf, sizeof buf);
      if (nbytes > 0) {
         if (write(1, buf, nbytes) < nbytes) exit(1);
      }
      exit(0);
   }
   close(pipefds[PIPE_READ]);
   struct sigaction action = {0}; action.sa_handler = sigpipe_handler;
   if (sigaction(SIGPIPE, &action, 0) < 0) {
      perror("sigaction"); exit(1);
   }
   while (!sigpipe_received) {
      const char message[] = "Hello!\n";
      write(pipefds[PIPE_WRITE], message, sizeof message - 1);
   }
   close(pipefds[PIPE_WRITE]); wait(0);
}
```

sigpipe.c

```
volatile sig_atomic_t sigpipe_received = 0;

void sigpipe_handler(int sig) {
   sigpipe_received = 1;
}
```

- Der Signalbehandler für *SIGPIPE* setzt hier nur eine globale Variable, so dass entsprechend getestet werden kann.
- Alternativ könnte als Signalbehandler auch *SIG_IGN* eingetragen werden. Das würde keine Funktion benötigt werden und es müsste dann explizit jede *write*-Operation überprüft werden. Wenn niemand mehr das andere Ende lesen kann, würde *errno* auf *EPIPE* gesetzt werden.

sigpipe.c

```
if (child == 0) {
   close(pipefds[PIPE_WRITE]);
   char buf[32];
   ssize_t nbytes = read(pipefds[PIPE_READ],
         buf, sizeof buf);
   if (nbytes > 0) {
      if (write(1, buf, nbytes) < nbytes) exit(1);
   }
   exit(0);
}
```

- Anders als zuvor ruft der neu erzeugte Prozess *read* nur ein einziges Mal auf und endet dann.
- Sobald sich dieser Prozess mit *exit* verabschiedet, bleibt kein lesendes Ende der Pipeline mehr offen, so dass damit dann die schreibende Seite das Signal *SIGPIPE* erhält, sobald sie in die Pipeline weiterhin schreibt.

sigpipe.c

```
close(pipefds[PIPE_READ]);
struct sigaction action = {0};
action.sa_handler = sigpipe_handler;
if (sigaction(SIGPIPE, &action, 0) < 0) {
   perror("sigaction"); exit(1);
}
while (!sigpipe_received) {
   const char message[] = "Hello!\n";
   write(pipefds[PIPE_WRITE], message, sizeof message - 1);
}
close(pipefds[PIPE_WRITE]);
wait(0);
```

- Beim übergeordneten Prozess wird zunächst der Signalbehandler für *SIGPIPE* eingesetzt.
- Danach wird solange in die Pipeline geschrieben, bis das Signal endlich eintrifft.

sigpipe2.c

```
close(pipefds[PIPE_READ]);
sigignore(SIGPIPE);
ssize_t nbytes;
do {
   const char message[] = "Hello!\n";
   nbytes = write(pipefds[PIPE_WRITE],
      message, sizeof message - 1);
} while (nbytes > 0);
if (errno != EPIPE) perror("write");
close(pipefds[PIPE_WRITE]);
wait(0);
```

- Alternativ könnte *SIGPIPE* ignoriert werden.
- Dann ist die Überprüfung der *write*-Operationen zwingend notwendig.

- Pipelines werden sehr gerne eingesetzt, um die Ausgabe eines Kommandos auszulesen und/oder die zugehörige Eingabe zu generieren.
- POSIX bietet für diese Funktionalität auf Basis der *stdio* die Funktionen *popen*() und *pclose*() an.
- Da *popen* in jedem Falle das erste Argument mitsamt Sonderzeichen an die Shell weiterreicht, ist dies nicht ohne Sicherheitsrisiken, die sich bei dieser Schnittstelle leider nicht vermeiden lassen.
- Das Sicherheitsrisiko ist beispielsweise gegeben, wenn Teile des ersten Arguments durch Benutzereingaben beeinflussbar sind.
- Deswegen ist von dieser Schnittstelle abzuraten.
- Besser ist es, direkt mit *pipe*, *fork* und *execvp* zu arbeiten, so dass keine Gefahr besteht, dass Kommandozeilenargumente als Programmieranweisung in der Shell missverstanden werden.

Schnittstelle für Pipelines zu Kommandos

pconnect.h

```
#include <unistd.h>

enum {PIPE_READ = 0, PIPE_WRITE = 1};
typedef struct pipe_end {
   int fd;
   pid_t pid;
   int wstat;
} pipe_end;

/*
 * create a pipeline to the given command;
 * mode should be either PIPE_READ or PIPE_WRITE;
 * return a filled pipe_end structure and 1 on success
 * and 0 in case of failures
 */
int pconnect(const char* path, char* const* argv,
      int mode, pipe_end* pipe_con);

/*
 * close pipeline and wait for the forked-off process to exit;
 * the wait status is returned in pipe->wstat;
 * 1 is returned if successful, 0 otherwise
 */
int phangup(pipe_end* pipe_end);
```

pconnect.h

```
typedef struct pipe_end {
   int fd;
   pid_t pid;
   int wstat;
} pipe_end;
```

- In der Verwaltungsstruktur wird von *pconnect* die Prozess-ID des neu erzeugten Prozesses und der Dateideskriptor zur Pipeline notiert.
- Wenn *phangup* aufgerufen wird, kann auf das Ende dieser Prozess-ID mit *waitpid* gewartet werden.
- Der zurückgelieferte Status wird dann in *wstat* abgelegt.

pconnect.c

```
int pconnect(const char* path, char* const* argv,
      int mode, pipe_end* pipe_con) {
   int pipefds[2];
   if (pipe(pipefds) < 0) return 0;
   int myside = mode; int otherside = 1 - mode;
   fflush(0);
   pid_t child = fork();
   if (child < 0) {
      close(pipefds[0]); close(pipefds[1]);
      return 0;
   }
   if (child == 0) {
      close(pipefds[myside]);
      dup2(pipefds[otherside], otherside);
      close(pipefds[otherside]);
      execvp(path, argv); exit(255);
   }
   close(pipefds[otherside]);
   int flags = fcntl(pipefds[myside], F_GETFD);
   flags |= FD_CLOEXEC;
   fcntl(pipefds[myside], F_SETFD, flags);
   pipe_con->pid = child;
   pipe_con->fd = pipefds[myside];
   pipe_con->wstat = 0;
   return 1;
}
```

pconnect.c

```
int pconnect(const char* path, char* const* argv,
      int mode, pipe_end* pipe_con) {
   int pipefds[2];
   if (pipe(pipefds) < 0) return 0;
   int myside = mode; int otherside = 1 - mode;
   fflush(0);
   pid_t child = fork();
   if (child < 0) {
      close(pipefds[0]); close(pipefds[1]);
      return 0;
   }
   /* ... */
}
```

- Der Index *myside* wird auf zu benutzende Ende des übergeordneten Prozesses gesetzt, *otherside* auf das Ende des neu erzeugten Prozesses.
- Mit *fflush*(0) werden alle Puffer der *stdio* geleert, damit eine Duplizierung von Pufferinhalten durch *fork* vermieden wird.

pconnect.c

```
if (child == 0) {
   close(pipefds[myside]);
   dup2(pipefds[otherside], otherside);
   close(pipefds[otherside]);
   execvp(path, argv); exit(255);
}
close(pipefds[otherside]);
int flags = fcntl(pipefds[myside], F_GETFD); flags |= FD_CLOEXEC;
fcntl(pipefds[myside], F_SETFD, flags);
pipe_con->pid = child; pipe_con->fd = pipefds[myside];
pipe_con->wstat = 0;
return 1;
```

- Beim Kindprozess wird zunächst das nicht benötigte Ende der Pipeline geschlossen. Dann wird mit *dup2* das verbliebene Ende als Standardeingabe bzw. -ausgabe zur Verfügung gestellt. Nach dem *dup2*-Aufruf kann die dann überflüssig gewordene Dateiverbindung geschlossen werden.
- Die Option *FD_CLOEXEC* sorgt dafür, dass diese Dateiverbindung automatisch beim Aufruf einer der *exec*-Varianten geschlossen wird. Dies ist wichtig, falls mehrere Pipelines parallel genutzt werden.

pconnect.c

```
int phangup(pipe_end* pipe) {
   if (close(pipe->fd) < 0) return 0;
   if (waitpid(pipe->pid, &pipe->wstat, 0) < 0) return 0;
   return 1;
}
```

- *phangup* schließt die Verbindung zur Pipeline und wartet darauf, dass der entsprechende Kindprozess terminiert.

Verarbeitung der Ausgabe eines Kommandos

rwhousers.c

```
const char rwho_path[] = "/usr/bin/rwho";

/*
 * invoke rwho and get list of users that are currently logged in;
 * return 1 in case of success, otherwise 0
 */
int get_rwho_users(strlist* users) {
   strlist argv = {0};
   strlist_push(&argv, rwho_path);
   strlist_push0(&argv);
   pipe_end pipe;
   int ok = pconnect(rwho_path, argv.list, PIPE_READ, &pipe);
   strlist_free(&argv);
   if (!ok) return 0;

   stralloc rwho_output = {0};
   ssize_t nbytes;
   char buf[32];
   while ((nbytes = read(pipe.fd, buf, sizeof buf)) > 0) {
      stralloc_catb(&rwho_output, buf, nbytes);
   }
   phangup(&pipe);

   /* ... */
}
```

rwhousers.c

```
strlist argv = {0};
strlist_push(&argv, rwho_path);
strlist_push0(&argv);
pipe_end pipe;
int ok = pconnect(rwho_path, argv.list, PIPE_READ, &pipe);
strlist_free(&argv);
if (!ok) return 0;
```

- Mit der bereits vorgestellten *strlist*-Datenstruktur wird hier eine Kommandozeile zusammengestellt, die von *pconnect* akzeptiert wird. In diesem Beispiel ist sie besonders einfach, weil sie nur aus dem Namen des aufzurufenden Programms */usr/bin/rwho* besteht.
- Aus Sicherheitsgründen werden in so einem Kontext immer gerne absolute Pfade bei Kommandonamen angegeben, damit eine Manipulation durch das Setzen der Umgebungsvariable *PATH* ausgeschlossen bleibt.

rwhousers.c

```
stralloc rwho_output = {0};
ssize_t nbytes;
char buf[32];
while ((nbytes = read(pipe.fd, buf, sizeof buf)) > 0) {
   stralloc_catb(&rwho_output, buf, nbytes);
}
phangup(&pipe);
```

- In dieser Schleife wird die gesamte Ausgabe des aufgerufenen Kommandos eingelesen und in dem *stralloc*-Objekt *rwho_output* abgelegt.
- In der Praxis sind größere Puffergrößen üblich. Im Falle von Pipelines ist es sinnvoll, die Größe des Ringpuffers zu nehmen, falls diese bekannt ist.

rwhousers.c

```
strlist_clear(users);
char* user = rwho_output.s;
for (int i = 0; i < rwho_output.len; ++i) {
   switch (rwho_output.s[i]) {
      case ' ':
         if (user != 0) {
            rwho_output.s[i] = 0;
            strlist_push(users, strdup(user));
            user = 0;
         }
         break;
      case '\n':
         user = rwho_output.s + i + 1;
         break;
   }
}
stralloc_free(&rwho_output);
return 1;
```

sendmail.c

```
const char sendmail_path[] = "/usr/lib/sendmail";
/*
 * return a pipeline opened to /usr/lib/sendmail on the
 * local system; return the opened pipeline and 1 in
 * case of success; 0 in case of failures
 */
int sendmail(char* recipient, char* subject, pipe_end* pipe_con) {
   strlist argv = {0};
   strlist_push(&argv, sendmail_path); strlist_push(&argv, "-t");
   strlist_push0(&argv);
   int ok = pconnect(sendmail_path, argv.list, PIPE_WRITE, pipe_con);
   strlist_free(&argv);
   if (!ok) return 0;
   stralloc header = {0};
   stralloc_cats(&header, "To: "); stralloc_cats(&header, recipient);
   stralloc_cats(&header, "\n");
   stralloc_cats(&header, "Subject: "); stralloc_cats(&header, subject);
   stralloc_cats(&header, "\n\n");
   ssize_t written = 0; ssize_t left = header.len;
   while (left > 0) {
      ssize_t nbytes = write(pipe_con->fd, header.s + written, left);
      if (nbytes < 0) {
         stralloc_free(&header); phangup(pipe_con);
         return 0;
      }
      written += nbytes; left -= nbytes;
   }
   stralloc_free(&header);
   return 1;
}
```

sendmail.c

```
strlist argv = {0};
strlist_push(&argv, sendmail_path);
strlist_push(&argv, "-t");
strlist_push0(&argv);
int ok = pconnect(sendmail_path, argv.list, PIPE_WRITE, pipe_con);
strlist_free(&argv);
if (!ok) return 0;
```

- Hier wird */usr/lib/sendmail* (unter Linux bei */usr/bin/sendmail* zu finden) aufgerufen mit der Option „-t“. Diese Option bittet darum, die Liste der Empfänger der E-Mail dem „To“-Header zu entnehmen.

sendmail.c

```
stralloc header = {0};
stralloc_cats(&header, "To: ");
stralloc_cats(&header, recipient);
stralloc_cats(&header, "\n");
stralloc_cats(&header, "Subject: ");
stralloc_cats(&header, subject);
stralloc_cats(&header, "\n\n");
ssize_t written = 0; ssize_t left = header.len;
while (left > 0) {
   ssize_t nbytes = write(pipe_con->fd, header.s + written, left);
   if (nbytes < 0) {
      stralloc_free(&header);
      phangup(pipe_con);
      return 0;
   }
   written += nbytes; left -= nbytes;
}
```

- Hier wird zunächst der Kopf der E-Mail generiert und dann mit Hilfe einer Schleife geschrieben, da nicht garantiert ist, dass eine einzelne *write*-Operation alles erledigt.

- Ziel einer kleinen Anwendung ist es, festzustellen, ob einer der Freunde, die alle auf der Kommandozeile aufzuzählen sind, gerade angemeldet ist. (Dies erfolgt durch die Auswertung der Ausgabe von *rwho*.)
- Wenn einer oder mehrere Freunde gefunden wurden, dann wird diese freudige Nachricht per E-Mail versandt.
- Um den Abgleich effizient durchführen zu können, wird eine Hash-Tabelle verwendet, in der die Freunde alle eingetragen werden.

Schnittstelle für eine Hash-Tabelle für Zeichenketten 152

strhash.c

```
typedef struct strhash_entry {
   char* key;
   char* value;
   struct strhash_entry* next;
} strhash_entry;
typedef struct strhash {
   unsigned int size, length;
   strhash_entry** bucket; /* hash table */
   unsigned int it_index;
   strhash_entry* it_entry;
} strhash;

/* allocate a hash table with the given bucket size */
int strhash_alloc(strhash* hash, unsigned int size);
/* add tuple (key,value) to the hash, key must be unique */
int strhash_add(strhash* hash, char* key, char* value);
/* remove tuple with the given key from the hash */
int strhash_remove(strhash* hash, char* key);
/* return number of elements */
unsigned int strhash_length(strhash* hash);
/* check existance of a key */
int strhash_exists(strhash* hash, char* key);
/* lookup value by key */
int strhash_lookup(strhash* hash, char* key, char** value);
/* start iterator */
int strhash_start(strhash *hash);
/* fetch next key from iterator; returns 0 on end */
int strhash_next(strhash *hash, char** key);
/* free allocated memory */
int strhash_free(strhash* hash);
```

bigbrother.c

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "pconnect.h"
#include "sendmail.h"
#include "strhash.h"
#include "strlist.h"
#include "rwhousers.h"

int main(int argc, char** argv) {
   if (argc <= 2) {
      fprintf(stderr, "Usage: %s email login...\n", argv[0]);
      exit(1);
   }
   char* email = *++argv; --argc;
   strhash friends = {0};
   strhash_alloc(&friends, 4);
   while (--argc > 0) {
      if (!strhash_add(&friends, *++argv, 0)) exit(1);
   }

   /* ... */
}
```

- Alle genannten Freunde werden in die Tabelle *friends* eingefügt.

bigbrother.c

```
strlist users = {0};
if (!get_rwho_users(&users)) exit(1);
strhash found = {0};
strhash_alloc(&found, 4);
for (int i = 0; i < users.len; ++i) {
   if (strhash_exists(&found, users.list[i])) continue;
   if (!strhash_exists(&friends, users.list[i])) continue;
   if (!strhash_add(&found, users.list[i], 0)) exit(1);
}
if (strhash_length(&found) == 0) exit(0);
```

- In der Tabelle *found* werden alle Benutzer notiert, die *rwho* zurücklieferte und die gleichzeitig in der Tabelle *friends* enthalten sind.
- Wenn keine der Freunde gefunden wird, terminiert das Programm danach schlicht mit einem Exit-Code von 0.

bigbrother.c

```
pipe_end pipe_con;
if (!sendmail(email, "Your Friends Are Online!", &pipe_con))
   exit(1);
if (dup2(pipe_con.fd, 1) < 0) exit(1);
printf("Hi, ");
if (strhash_length(&found) == 1) {
   printf("one of your friends is");
} else {
   printf("some of your friends are");
}
printf(" online:\n");
strhash_start(&found);
char* key;
while (strhash_next(&found, &key)) {
   printf("%s\n", key);
}
fclose(stdout);
if (!phangup(&pipe_con)) exit(1);
```

- Die messbare Größe des Pipe-Buffers lässt sich definieren als die maximale Zahl an Bytes, die blockierungsfrei mit *write* in eine Pipe geschrieben werden kann, ohne dass die Gegenseite liest.
- Insbesondere unter Solaris ist die Größe nicht einfach zu ermitteln. Wenn hier *O_NONBLOCK* gesetzt wird und *write* bei einer Zahl von Bytes, die über dem Limit liegt, einen kleineren Wert tatsächlich geschriebener Bytes zurückgibt, dann liegt dieser Wert unter dem theoretischen Maximum.
- Konkret unter Solaris 11:
  - *write*(*fd*, *buf*, 25600) liefert 20480.
  - *write*(*fd*, *buf*, 25599) liefert jedoch 25599.

Wie groß ist der Pipe-Buffer?

measure-pipe.c

```
static int pipe_and_fork(int i, size_t nbytes) {
   int fds[2];
   if (pipe(fds) < 0) die("pipe");
   pid_t pid = fork(); if (pid < 0) die("fork");
   if (pid == 0) {
      close(fds[0]);
      char* buf = malloc(nbytes);
      int fd = fds[1];
      int flags = fcntl(fd, F_GETFL) | O_NONBLOCK;
      fcntl(fd, F_SETFL, flags);
      ssize_t written = write(fd, buf, nbytes);
      if (written < nbytes) exit(255);
      exit(i);
   }
   close(fds[1]);
   return fds[0];
}
```

- Für jeden einzelnen Test wird ein Prozess und eine Pipeline erzeugt. Mit *O_NONBLOCK* wird sichergestellt, dass *write* nicht blockiert.

Wie groß ist der Pipe-Buffer?

measure-pipe.c

```
static unsigned int suck_pipe(int fd, unsigned int expected) {
   char* buf = malloc(expected); if (!buf) die("malloc");
   ssize_t bytes_read = 0;
   while (bytes_read < expected) {
      ssize_t nbytes = read(fd, buf, expected - bytes_read);
      if (nbytes < 0) die("read from pipe");
      if (nbytes == 0) break;
      bytes_read += nbytes;
   }
   close(fd);
   free(buf);
   return bytes_read;
}
```

- Mit *suck_pipe* wird überprüft, wieviel Bytes sich aus der Pipeline auslesen lassen, nachdem der Unterprozess terminiert ist und alle schreibenden Enden geschlossen sind.

Wie groß ist der Pipe-Buffer?

measure-pipe.c

```
static int run_tests(unsigned int nbytes[], unsigned int tests) {
   int pipes[tests];
   for (int i = 0; i < tests; ++i) {
      pipes[i] = pipe_and_fork(i, nbytes[i]);
   }
   // wait for all the forked processes
   int success[tests];
   for (int i = 0; i < tests; ++i) {
      success[i] = 0;
   }
   int wstat;
   pid_t pid;
   while ((pid = wait(&wstat)) > 0) {
      if (WIFEXITED(wstat)) {
         int status = WEXITSTATUS(wstat);
         if (status != 255 && status < MAXPROCESSES) {
            success[status] = 1;
         }
      }
   }
   // evaluate and confirm results
   unsigned int confirmed_len = 0;
   for (int i = 0; i < tests; ++i) {
      if (success[i]) {
         confirmed_len = suck_pipe(pipes[i], nbytes[i]);
         continue;
      }
      break;
   }
   return confirmed_len;
}
```

Wie groß ist der Pipe-Buffer? 160

measure-pipe.c

```
// check for buf sizes that are powers of two
unsigned int test1() {
   unsigned int nbytes[MAXSIZE];
   for (int i = 0; i < MAXSIZE; ++i) {
      nbytes[i] = (1 << i);
   }
   return run_tests(nbytes, MAXSIZE);
}

// check for arbitrary buf sizes
unsigned int test2(unsigned int buflen,
      unsigned int increment, unsigned int tests) {
   unsigned int nbytes[tests];
   for (int i = 0; i < tests; ++i) {
      nbytes[i] = buflen + increment * i;
   }
   return run_tests(nbytes, tests);
}
```

- Zuerst wird die größte Zweierpotenz ermittelt, die blockierungsfrei geschrieben werden kann. Später wird das sukzessive verfeinert.

Wie groß ist der Pipe-Buffer?

measure-pipe.c

```
int main() {
   // check for buf sizes that are powers of two
   unsigned int buflen = test1();
   if (!buflen) {
      printf("pipe buffer size is beyond %d\n", 1 << (MAXSIZE-1)); exit(1);
   }
   // check for buf sizes that are not powers of two
   unsigned int increment = buflen / MAXPROCESSES;
   unsigned int lastlen = 0; unsigned int tests = MAXPROCESSES;
   while (increment > 0) {
      unsigned int len = test2(buflen, increment, tests);
      if (!len) {
         printf("pipe buffer len is possibly %d "
            "but that did not get confirmed\n", buflen); exit(1);
      }
      lastlen = len; buflen = len;
      if (increment > MAXPROCESSES) {
         tests = MAXPROCESSES;
         increment /= MAXPROCESSES;
      } else if (increment > 1) {
         tests = increment; increment = 1;
      } else {
         increment = 0;
      }
   }
   if (lastlen) {
      printf("pipe buffer size = %d\n", lastlen);
   } else {
      printf("pipe buffer size = %d\n", buflen);
   }
}
```

Ergebnisse:

- Solaris 8: 10240
- Solaris 9 und 10: 20480
- Solaris 11: 25599
- Linux: 65536
- OS X: 65536

- Eine unidirektionale Kommunikation is ausreichend, da alle Eingabedaten über *fork()* vererbt werden können.
- Spannend ist die Frage, wieviele Kommunikationskanäle benötigt werden: Ist für jeden Unterprozess eine Pipeline zu erzeugen oder kann eine Pipeline für alle Unterprozesse gemeinsam verwendet werden?
- Bei letzterem stellt sich die Frage, ob sich die Ausgaben verschiedener Unterprozesse in die gleiche Pipeline vermischen können. Hier stellt der POSIX-Standard sicher, dass dies nicht geschieht, sofern die bei *write* angegebene Quantität nicht mehr als *PIPE_BUF* beträgt.
- Konkrete Werte:
  - Solaris 8, 9, 10, 11: 5120
  - Linux: 4096
  - OS X: 512