Inhalt

Programmierumgebung

- Wir benutzen die Programmiersprache C++.
- Wir behandeln nur die Programmierung unter LINUX mit den GNU Compilern.
- Windows: On your own.
- Wir setzen Grundfertigkeit im Umgang mit LINUX-Rechnern voraus:
  - Shell, Kommandozeile, Starten von Programmen.
  - Dateien, Navigieren im Dateisystem.
  - Erstellen von Textdateien mit einem Editor ihrer Wahl.
- Idee des Kurses: „Lernen an Beispielen“, keine rigorose Darstellung.
- Blutige Anfänger sollten zusätzlich ein Buch lesen (siehe Literaturliste).

Workflow

C++ ist eine „kompilierte“ Sprache. Um ein Programm zur Ausführung zu bringen sind folgende Schritte notwendig:

1. Erstelle/Ändere den Programmtext mit einem **Editor**.
2. Übersetze den Programmtext mit dem **C++-Übersetzer** (auch C++-Compiler) in ein Maschinenprogramm.
3. Führe das Programm aus. Das Programm gibt sein Ergebnis auf dem Bildschirm oder in eine Datei aus.
4. Interpretiere Ergebnisse. Dazu benutzen wir weitere Programme wie **gnuplot**.
5. Falls Ergebnis nicht korrekt, gehe nach 1!

Wichtige UNIX-Befehle

`ls`	Zeige Inhalt des aktuellen Verzeichnisses
`cd`	Wechsle ins Home-Verzeichnis
`cd <verzeichnis>`	Wechsle in das angegebene `verzeichnis` (im aktuellen Verzeichnis)
`cd ..`	Gehe aus aktuellem Verzeichnis heraus
`mkdir <verzeichnis>`	Erstelle neues `verzeichnis`
`cp <datei1> <datei2>`	Kopiere `datei1` auf `datei2` (`datei2` kann durch Verzeichnis ersetzt werden)
`mv <datei1> <datei2>`	Benenne `datei1` in `datei2` um (`datei2` kann durch Verzeichnis ersetzt werden, dann wird `datei1` dorthin verschoben)
`rm <datei>`	Lösche `datei`
`rm -rf <verzeichnis>`	Lösche `verzeichnis` mit allem darin

Hallo Welt!

Öffne die Datei `hallowelt.cc` mit einem Editor:

```
$ gedit hallowelt.cc &
```

```
// hallowelt.cc (Dateiname als Kommentar)
#include <iostream>  // notwendig zur Ausgabe

int main ()
{
  std::cout << "Numerik␣0␣ist␣leicht:" << std::endl;
  std::cout << "1+1=" << 1+1 << std::endl;
}
```

- `iostream` ist eine sog. „Headerdatei“
- `#include` erweitert die „Basissprache“.
- `int main ()` braucht man immer: „Hier geht’s los“.
- `{ ... }` klammert Folge von Anweisungen.
- Anweisungen werden durch Semikolon abgeschlossen.

Hallo Welt laufen lassen

- Gebe folgende Befehle ein:

```
$ g++ -o hallowelt hallowelt.cc
$ ./hallowelt
```

- Dies sollte dann die folgende Ausgabe liefern:

```
Numerik 0 ist ganz leicht:
1+1=2
```

(Zahl-) Variablen

- Aus der Mathematik: „$x \in M$“. Variable x nimmt einen beliebigen Wert aus der Menge M an.
- Geht in C++ mit: `M x;`
- **Variablendefinition**: `x` ist eine Variable vom **Typ** `M`.
- Mit **Initialisierung**: `M x(0);`
- Ohne Initialisierung ist der Wert von Variablen der „eingebauten“ Typen nicht definiert (hängt davon ab was gerade zufällig an der Stelle im Speicher stand).

```
// zahlen.cc
#include <iostream>
int main ()
{
  unsigned int i; // uninitialisierte natürliche Zahl
  double x(3.14); // initialisierte Fließkommazahl
  float y(1.0);   // einfache Genauigkeit
  short j(3);     // eine "kleine" Zahl
  std::cout << "(i+x)*(y+j)=" << (i+x)*(y+j) << std::endl;
}
```

Andere Typen

- C++ kennt noch viele weitere Typen.
- Typen können nicht nur Zahlen sondern viele andere Informationen repräsentieren.
- Etwa Zeichenketten: `std::string`
- Oft muss man dazu weitere Headerdateien angeben.

```
// string.cc
#include <iostream>
#include <string>
int main ()
{
  std::string m1("Zeichen");
  std::string leer("␣␣␣");
  std::string m2("kette");
  std::cout << m1+leer+m2 << std::endl;
}
```

- Jede Variable *muss* einen Typ haben. Strenge Typbindung.

Mehr Ein- und Ausgabe

```
// eingabe.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <iomanip>  // für setprecision
#include <cmath>    // für sqrt
int main ()
{
  double x(0.0);
  std::cout << "Gebe␣eine␣Zahl␣ein:␣";
  std::cin >> x;
  std::cout << "Wurzel(x)=␣"
            << std::scientific << std::showpoint
            << std::setprecision(15)
            << sqrt(x) << std::endl;
}
```

- Eingabe geht mit `std::cin >> x;`
- Standardmäßig werden nur 6 Nachkommastellen ausgegeben. Das ändert man mit `std::setprecision`. `std::scientific` sorgt für eine Ausgabe im Format `mantisseeexponent` (z.B. `1.0e+04`, `std::showpoint` erzwingt die Ausgabe von Nullen am Ende.
- Für die Verwendung der Manipulatoren mit Argument muss die Headerdatei `iomanip` eingebunden werden.

Zuweisung

- Den Wert von Variablen kann man ändern. Sonst wäre es langweilig :-)
- Dies geht mittels Zuweisung:

```
double x(3.14); // Variablendefinition mit Initialisierung
double y;       // uninitialisierte Variable
y = x;          // Weise y den Wert von x zu
x = 2.71;       // Weise x den Wert 2.71 zu, y unverändert
y = (y*3)+4;    // Werte Ausdruck rechts von = aus
                // und weise das Resultat y zu!
```

Blöcke

- Block: Sequenz von Variablendefinitionen und Anweisungen in geschweiften Klammern.

```
{
  double x(3.14);
  double y;
  y = x;
}
```

- Blöcke können rekursiv geschachtelt werden.
- Eine Variable ist nur in dem Block *sichtbar*, in dem sie definiert ist sowie in allen darin enthaltenen Blöcken:

```
{
  double x(3.14);
  {
    double y;
    y = x;
  }
  y = (y*3)+4; // geht nicht, y nicht mehr sichtbar.
}
```

Whitespace

- Das Einrücken von Zeilen dient der besseren Lesbarkeit, es ist (fast) nicht vorgeschrieben, aber extrem nützlich.
- `#include`-Direktiven müssen *immer* einzeln auf einer Zeile stehen.
- Ist das folgende Programm lesbar?

```
// whitespace.cc
#include <iostream> // includes auf eigener Zeile!
#include <iomanip>
#include <cmath>
int main(){double x(0.0);
std::cout<<"Gebe␣eine␣lange␣Zahl␣ein:␣";std::cin >> x;
std::cout<<"Wurzel(x)=␣"<<std::scientific<<std::showpoint
<<std::setprecision(16)<<sqrt(x)<< std::endl;}
```

`If`-Anweisung

- Aus der Mathematik kennt man eine „Zuweisung“ der folgenden Art.
  Für $x \in \mathbb{R}$ setze

$$y = |x| = \begin{cases} x & \text{falls } x \geq 0 \\ -x & \textit{sonst} \end{cases}$$

- Dies realisiert man in C++ mit einer `If`-Anweisung:

```
double x(3.14), y;
if (x>=0)
{
  y = x;
}
else
{
  y = -x;
}
```

Varianten der `If`-Anweisung

- Die geschweiften Klammern kann man weglassen, wenn der Block nur eine Anweisung enthält:

```
double x(3.14), y;
if (x>=0)
  y = x;
else
  y = -x;
```

- Der `else`-Teil ist optional:

```
double x=3.14;
if (x<0)
  std::cout << "x␣ist␣negativ!" << std::endl;
```

- Weitere Vergleichsoperatoren sind `< <= == >= > !=`
- Beachte: `=` für Zuweisung, aber `==` für den Vergleich zweier Variablen/Werte!

`While`-Schleife

- Bisher: Sequentielle Abfolge von Befehlen wie im Programm angegeben.
- Eine Möglichkeit zur Wiederholung bietet die `While`-Schleife:

  `while (` *Bedingung* `)`

  `{` *Schleifenkörper* `}`
- Beispiel:

```
int i=0; while (i<10) { i=i+1; }
```

- Bedeutung:
  1. Teste Bedingung der `While`-Schleife
  2. Ist diese *wahr* dann führe Anweisungen im Schleifenkörper aus, sonst gehe zur ersten Anweisung nach dem Schleifenkörper.
  3. Gehe nach 1.
- Anweisungen im Schleifenkörper beeinflussen normalerweise den Wahrheitswert der Bedingung.
- Endlosschleife: Wert der Bedingung wird nie *falsch*.

Pendel (analytische Lösung; `while`-Schleife)

- Die Auslenkung des Pendels mit der Näherung $\sin(\phi) \approx \phi$ und $\phi(0) = \phi_0$, $\phi'(0) = 0$ lautet:

$$\phi(t) = \phi_0 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{l}}t\right).$$

- Das folgende Programm gibt diese Lösung zu den Zeiten $t_i = i\Delta t$, $0 \leq t_i \leq T$, $i \in \mathbb{N}_0$ aus:

Pendel (analytische Lösung, `while`-Schleife)

```
// pendelwhile.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <cmath>    // mathematische Funktionen
int main ()
{
  double l(1.34);   // Pendellänge in Meter
  double phi0(0.2); // Amplitude im Bogenmaß
  double dt(0.05);  // Zeitschritt in Sekunden
  double T(30.0);   // Ende in Sekunden
  double t(0.0);    // Anfangswert

  while ( t<=T )
  {
    std::cout << t << "␣"
              << phi0*cos(sqrt(9.81/l)*t)
              << std::endl;
    t = t + dt;
  }
}
```

Wiederholung (for-Schleife)

- Möglichkeit der Wiederholung: `for`-Schleife:

  `for ( Anfang ; Bedingung ; Inkrement )`

  `{ Schleifenkörper }`

- Beispiel:

```
for (int i=0; i<=5; i=i+1)
{
  std::cout << "Wert␣von␣i␣ist␣" << i << std::endl;
}
```

- Enthält der Block nur eine Anweisung dann kann man die geschweiften Klammern weglassen.
- Wird die *Schleifenvariable* direkt in der `for`-Anweisung definiert, so ist sie nur innerhalb des Schleifenkörpers sichtbar.
- Die `for`-Schleife kann auch mittels einer `while`-Schleife realisiert werden.

Pendel (analytische Lösung, `for`-Schleife)

```
// pendel.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <cmath>    // mathematische Funktionen
int main ()
{
  double l(1.34);   // Pendellänge in Meter
  double phi0(0.2); // Amplitude im Bogenmaß
  double dt(0.05);  // Zeitschritt in Sekunden
  double T(30.0);   // Ende in Sekunden
  for (double t=0.0; t<=T; t=t+dt)
  {
    std::cout << t << "␣"
              << phi0*cos(sqrt(9.81/l)*t)
              << std::endl;
  }
}
```

Visualisierung mit `Gnuplot`

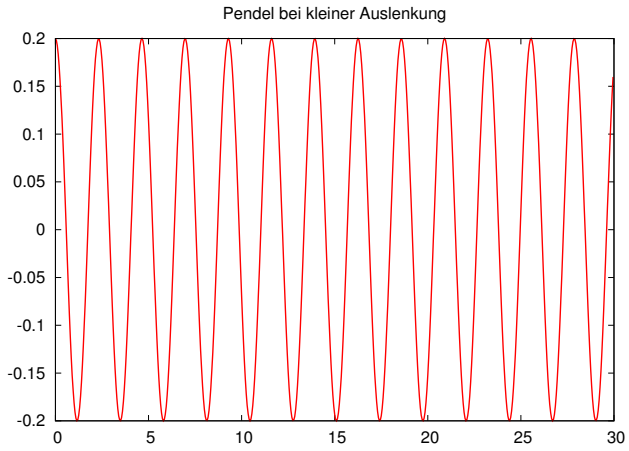
- `Gnuplot` erlaubt einfache Visualisierung von Funktionen $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ und $g : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \to \mathbb{R}$.
- Für $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ genügt eine zeilenweise Ausgabe von Argument und Funktionswert.
- Umlenken der Ausgabe eines Programms in eine Datei:

```
$ ./pendel > pendel.dat
```

- Starte `gnuplot`

```
$ gnuplot

gnuplot> plot "pendel.dat"with lines
```



Geschachtelte Schleifen

- Ein Schleifenkörper kann selbst wieder eine Schleife enthalten, man spricht von *geschachtelten* Schleifen.
- Beispiel:

```
for (int i=1; i<=10; i=i+1)
  for (int j=1; j<=10; j=j+1)
    if (i==j)
      std::cout << "i␣gleich␣j:␣" << std::endl;
    else
      std::cout << "i␣ungleich␣j!" << std::endl;
```

besser:

```
for (int i=1; i<=10; i=i+1)
{
  for (int j=1; j<=10; j=j+1)
  {
    if (i==j)
      std::cout << "i␣gleich␣j:␣" << std::endl;
    else
      std::cout << "i␣ungleich␣j!" << std::endl;
  }
}
```

Numerische Lösung des Pendels

- Volles Modell für das Pendel aus der Einführung:

$$\frac{d^2\phi(t)}{dt^2} = -\frac{g}{l}\sin(\phi(t)) \qquad \forall t > 0,$$

$$\phi(0) = \phi_0, \qquad \frac{d\phi}{dt}(0) = u_0.$$

- Umschreiben in System erster Ordnung:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = u(t), \qquad \frac{d^2\phi(t)}{dt^2} = \frac{du(t)}{dt} = -\frac{g}{l}\sin(\phi(t)).$$

- Eulerverfahren für $\phi^n = \phi(n\Delta t)$, $u^n = u(n\Delta t)$:

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \Delta t\, u^n \qquad \phi^0 = \phi_0$$

$$u^{n+1} = u^n - \Delta t\,(g/l)\,\sin(\phi^n) \qquad u^0 = u_0$$

Pendel (expliziter Euler)

```
// pendelnumerisch.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <cmath>    // mathematische Funktionen

int main ()
{
  double l(1.34);  // Pendellänge in Meter
  double phi(3.0); // Anfangsamplitude in Bogenmaß
  double u(0.0);   // Anfangsgeschwindigkeit
  double dt(1E-4); // Zeitschritt in Sekunden
  double T(30.0);  // Ende in Sekunden
  double t(0.0);   // Anfangszeit

  std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  while (t<T)
  {
    t = t + dt;          // inkrementiere Zeit
    double phialt(phi);// merke phi
    double ualt(u);     // merke u
    phi = phialt + dt*ualt;              // neues phi
    u = ualt - dt*(9.81/l)*sin(phialt);// neues u
    std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  }
}
```

Übungsaufgaben

1. Schreiben Sie ein Programm, das Sie nach Ihrem Vornamen, Nachnamen und Alter fragt und anschließend etwas in der folgenden Art auf den Bildschirm schreibt:

```
Ihr Name ist Peter Bastian.
Sie sind 51 Jahre alt.
```

2. Verändert Sie das Programm so, dass es ausrechnet wievielen Monaten, Tagen, Stunden, Minuten und Sekunden Ihr Alter entspricht (Sie dürfen Schaltjahre vernachlässigen). Die Ausgabe sollte in etwa so aussehen:

```
Ihr Name ist Peter Bastian.
Sie sind 51 Jahre alt.
Das entspricht
612 Monaten
oder 18666 Tagen
oder 447984 Stunden
oder 26879040 Minuten
oder 1612742400 Sekunden.
```

Übungsaufgaben

3. Bei der Fibonacci Folge: 1 1 2 3 5 8 13 21 34 $\cdots$ erhält man das nächste Folgenglied durch Addieren der jeweils letzten zwei Glieder der Folge:

$$\begin{aligned} Fib(0) &= 0 \\ Fib(1) &= 1 \\ Fib(n) &= Fib(n-1) + Fib(n-2) \end{aligned}$$

Schreiben Sie ein Programm, das vom Benutzer die Anzahl von Folgengliedern abfragt und dann entsprechend viele Elemente der Fibonacci Folge ausgibt.

Funktionsaufruf und Funktionsdefinition

- In der Mathematik gibt es das Konzept der *Funktion*.
- In C++ auch.
- Sei $f : \mathbb{R} \to \mathbb{R}$, z.B. $f(x) = x^2$.
- Wir unterscheiden den *Funktionsaufruf*

```
double x,y;
y = f(x);
```

- und die *Funktionsdefinition*. Diese sieht so aus:

Rückgabetyp Funktionsname (*Argumentliste*)

{ *Funktionsrumpf* }

- Beispiel:

```
double f (double x)
{
  return x*x;
}
```

Komplettbeispiel zur Funktion

```
// funktion.cc
#include <iostream>

double f (double x)
{
  return x*x;
}

int main ()
{
  double x(2.0);
  std::cout << "f(" << x << ")=" << f(x) << std::endl;
}
```

- Funktionsdefinition muss vor Funktionsaufruf stehen.
- Formales Argument in der Funktionsdefinition entspricht einer Variablendefinition.
- Beim Funktionsaufruf wird das Argument (hier) *kopiert*.
- `main` ist auch nur eine Funktion.

Weiteres zum Verständnis der Funktion

- Der Name des formalen Arguments in der Funktionsdefinition ändert nichts an der Semantik der Funktion (Sofern es überall geändert wird):

```
double f (double y)
{
  return y*y;
}
```

- Das Argument wird hier kopiert, d.h.:

```
double f (double y)
{
  y = 3*y*y;
  return y;
}

int main ()
{
  double x(3.0),y;
  y = f(x); // ändert nichts an x!
}
```

Weiteres zum Verständnis der Funktion

- Argumentliste kann leer sein (wie in der Funktion `main`):

```
double pi ()
{
  return 3.14;
}

y = pi(); // Klammern sind erforderlich!
```

- Der Rückgabetyp `void` bedeutet „keine Rückgabe“

```
void hello ()
{
  std::cout << "hello" << std::endl;
}

hello();
```

Weiteres zum Verständnis der Funktion

- Mehrere Argumente werden durch Kommata getrennt:

```
double g (int i, double x)
{
  return i*x;
}

std::cout << g(2,3.14) << std::endl;
```

Referenzargumente

- Das Kopieren der Argumente einer Funktion kann verhindert werden indem man das Argument als *Referenz* definiert:

```
void Square(double x, double& y)
{
  y = x*x;
}

double x(3), y;
Square(x,y); // y hat nun den Wert 9, x ist unverändert.
```

- Statt eines Rückgabewertes kann man also auch ein (zusätzliches) Argument modifizieren.
- Insbesondere kann man so den Fall mehrerer Rückgabewerte realisieren.
- Referenzargumente bieten sich auch an, wenn Argumente „sehr groß“ sind und damit das Kopieren sehr zeitaufwendig ist.
- Der aktuelle Parameter im Aufruf *muss* dann eine Variable sein.

Pendelsimulation als Funktion

```
// pendelmitfunktion.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <cmath>    // mathematische Funktionen

void simuliere_pendel (double l, double phi, double u)
{
  double dt   = 1E-4;
  double T    = 30.0;
  double t    = 0.0;

  std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  while (t<T)
  {
    t = t + dt;
    double phialt(phi),ualt(u);
    phi = phialt + dt*ualt;
    u = ualt - dt*(9.81/l)*sin(phialt);
    std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  }
}
```

Pendelsimulation als Funktion

```
int main ()
{
  double l(1.34); // Pendellänge in Meter
  double phi(3.0);// Anfangsamplitude in Bogenmaß
  double u(0.0);  // Anfangsgeschwindigkeit
  simuliere_pendel(l,phi,u);
}
```

Funktionsschablonen

- Oft macht eine Funktion mit Argumenten verschiedenen Typs einen Sinn.
- z.B. braucht man die Funktion

```
double Square (double x)
{
  return x*x;
}
```

  oft auch mit `float` oder `int`.
- Man könnte die Funktion für jeden Typ definieren, z.B.

```
float Square (float x)
{
  return x*x;
}
```

  Das ist natürlich sehr umständlich. (Es darf mehrere Funktionen gleichen Namens geben, sog. *overloading*).

Funktionsschablonen

- In C++ gibt es mit Funktionsschablonen (engl.: *function templates*) eine Möglichkeit den Typ variabel zu lassen:

```
template<typename T>
T Square(T y)
{
  return y*y;
}
```

- `T` steht hier für einen beliebigen Typ.

Pendelsimulation mit Templates

```
// pendelmitfunktionstemplate.cc
#include <iostream> // header für Ein-/Ausgabe
#include <cmath>    // mathematische Funktionen

template<typename Number>
void simuliere_pendel (Number l, Number phi, Number u)
{
  Number dt(1E-4);
  Number T(30.0);
  Number t(0.0);
  Number g(9.81/l);

  std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  while (t<T)
  {
    t = t + dt;
    Number phialt(phi),ualt(u);
    phi = phialt + dt*ualt;
    u = ualt - dt*g*sin(phialt);
    std::cout << t << " " << phi << std::endl;
  }
}
```

Pendelsimulation mit Templates

```
int main ()
{
  float l1(1.34);  // Pendellänge in Meter
  float phi1(3.0); // Anfangsamplitude in Bogenmaß
  float u1(0.0);   // Anfangsgeschwindigkeit
  simuliere_pendel(l1,phi1,u1);

  double l2(1.34);  // Pendellänge in Meter
  double phi2(3.0); // Anfangsamplitude in Bogenmaß
  double u2(0.0);   // Anfangsgeschwindigkeit
  simuliere_pendel(l2,phi2,u2);
}
```