Erweitern und Einbetten von Python

Rainer Grimm

Training, Coaching und Technologieberatung

Erweitern und einbetten

Erweitern

1. Konvertiere die Werte von Python nach C/C++.
2. Verwende die konvertierten Werte um die C/C++-Funktionaliät auszuführen.
3. Konvertiere die Ergebnisse von C/C++ nach Python zurück.

Einbetten

1. Konvertiere die Werte von C/C++ nach Python.
2. Verwende die konvertierten Werte um die Python-Funktionaliät auszuführen.
3. Konvertiere die Ergebnisse von Python nach C/C++ zurück.

Erweitern und einbetten

Python erweitern

Python einbetten

Python erweitern

- Shared Library
- Ctypes
- Native
- SWIG
- pybind11

Erzeugen einer Shared Library (Linux)

Die Shared Library soll aus den folgenden Dateien bestehen.

helloWorld.h

```
#include <stdio.h>

void helloWorld();
```

helloWorld.c

```
#include "helloWorld.h"

void helloWorld() {
    printf("Hello World\n");
}
```

Erzeugen einer Shared Library (Linux)

Schritte zum Erzeugen und Verwenden einer Shared Library:

1. Positionsunabhängigen Code erzeugen

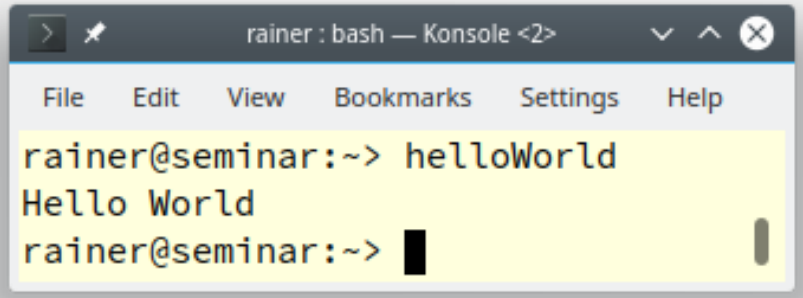
   ```
   gcc -c -fpic helloWorld.c
   ```

2. Shared Library erzeugen

   ```
   gcc -shared -o libhelloWorld.so helloWorld.o
   ```

3. Linker und Runtime die Pfade bekannt machen

   ```
   gcc -LPathToSharedLib -Wl,-rpath=PathToSharedLib -o
   helloWorldShared main.c -lhelloWorld
   ```



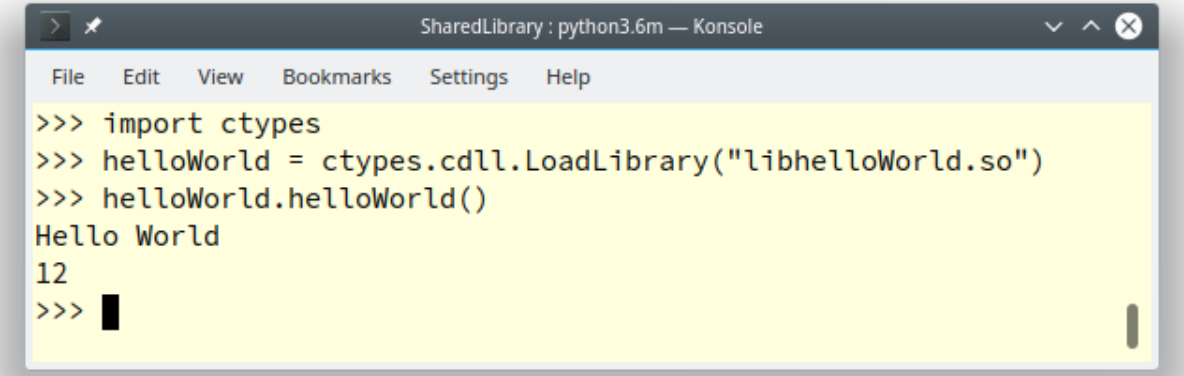
Python erweitern

- Shared Library
- Ctypes
- Native
- SWIG
- pybind11

`ctypes` (Linux)

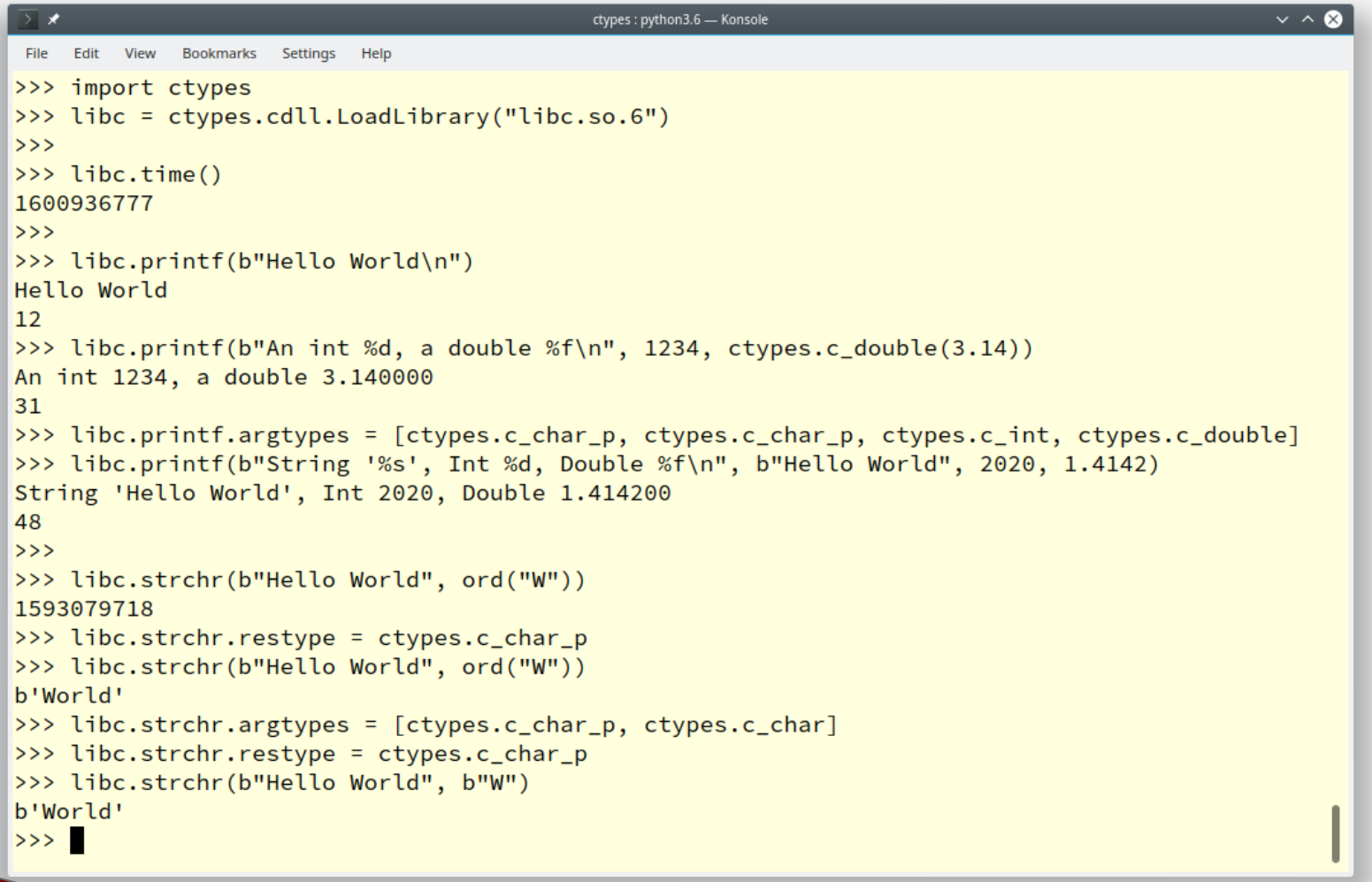
Die Library `ctypes` erlaubt es, Funktionen in Shared Libraries aufzurufen.

- Aufruf der Shared Library `libhelloWorld.so`.



`ctypes` (Linux)

Die Library `ctypes` erlaubt es, die `libc` zu verwenden.



Python erweitern

- Shared Library
- Ctypes
- **Native**
- SWIG
- pybind11

Native

Python um das Modul `helloWorld.c` erweitern.

Die Datei `helloWorld.c` muss als Erweiterungs-modul (Shared Library) erzeugt werden.

Native

- Implementieren des Erweiterungs-Moduls

```
1   #include <Python.h>
2
3   static PyObject* method_helloWorld(PyObject*, PyObject*);
4
5 > static PyMethodDef HelloWorld[] = {···
9
10 > static struct PyModuleDef helloWorldModule = {···
17
18 > static PyObject* method_helloWorld(PyObject* self, PyObject* args) {···
26
27 > PyMODINIT_FUNC PyInit_helloWorld(void) {···
```

  - Zugriff auf die Python-API (1)
  - Deklaration der C-Funktion (3)
  - Definition der Methodentabelle (5)
  - Definition des Moduls (10)
  - Definition der C-Funktion (18)
  - Initialisierung des Modules (27)

Native

- Definition Methodentabelle

```
static PyMethodDef HelloWorld[] = {
    {"helloWorld", method_helloWorld, METH_VARARGS, "Hello"},
    ...
    {NULL, NULL, 0, NULL}
};
```

- `"helloWorld"` : Name der Python Methode
- `method_helloword`: Name der C-Funktion
- `METH_VARARGS`: Aufrufkonvention für C-Funktion
- `"Hello"`: Dokumentationsstring
- `...`: weitere Methoden
- `{NULL, NULL, 0, NULL}`: Sentinel

Native

- Definition des Moduls

```
static struct PyModuleDef helloWorldModule = {
    PyModuleDef_HEAD_INIT,
    "helloWorld",
    "Hello World message",
    -1,
    HelloWorld
};
```

- `"helloWorld"`: Name des Moduls
- `"Hello World message"`: Dokumentation des Moduls
- -1: Größe des Interpreter-Zustands (Zustand wird in einer globalen Variable gespeichert)
- `HelloWorld`: Namen der Methodentabelle

Native

- Initialisierung des Modules

```
PyMODINIT_FUNC PyInit_helloWorld(void) {
    return  PyModule_Create(&helloWorldModule);
}
```

  - `PyMODINIT_FUNC:` gibt ein `PyObject*` zurück
  - `PyInit_helloWorld:` Initialisierungsfunktion
    - `PyInit_`<Name des Modules>
    - wird beim Laden des Modules automatisch aufgerufen
  - `PyModule_Create(&helloWorldModule)`
    - erzeugt das neue Module
    - gibt es an den Aufrufer zurück

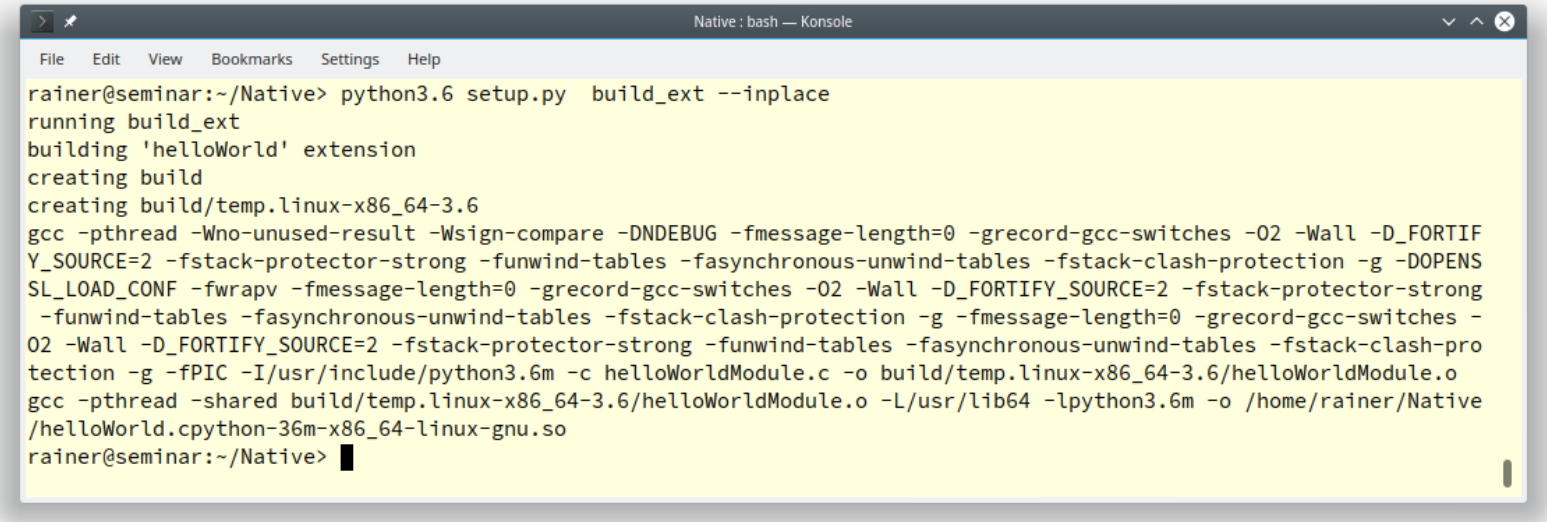
Native

Erzeugung des Moduls mit dem Python Modul disutils

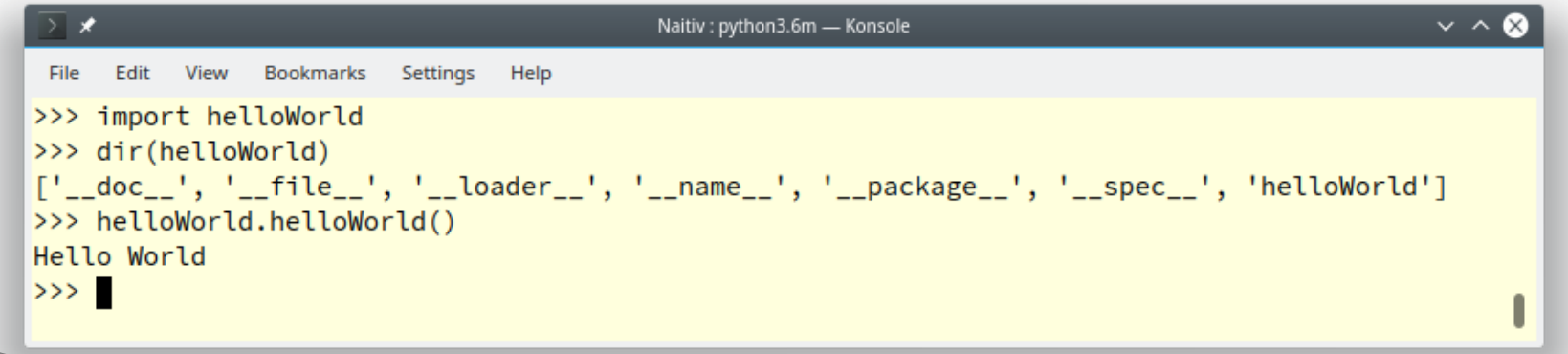
```
from distutils.core import setup, Extension

def main():
    setup(name = "helloWorld",
          version = "1.0.0",
          description = "Python extension to the hello world C-function.",
          author = "Rainer Grimm",
          author_email = "schulung@ModernesCpp.de",
          ext_modules=[Extension("helloWorld", ["helloWorldModule.c"])])

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Native

- Bauen des Erweiterungsmoduls



- Verwenden des Erweiterungsmoduls



Python erweitern

- Shared Library
- Ctypes
- Native
- **SWIG**
- pybind11

SWIG

SWIG erzeugt Interfaces, sodass C/C++ mit anderen Programmiersprachen interagieren kann.

SWIG

- unterstützt C99 und C++98 bis C++17
- erzeugt Wrapper für die folgenden Programmiersprachen
  - C#
  - D
  - Java
  - Javascript
  - Perl
  - Python
  - PHP
  - Ruby

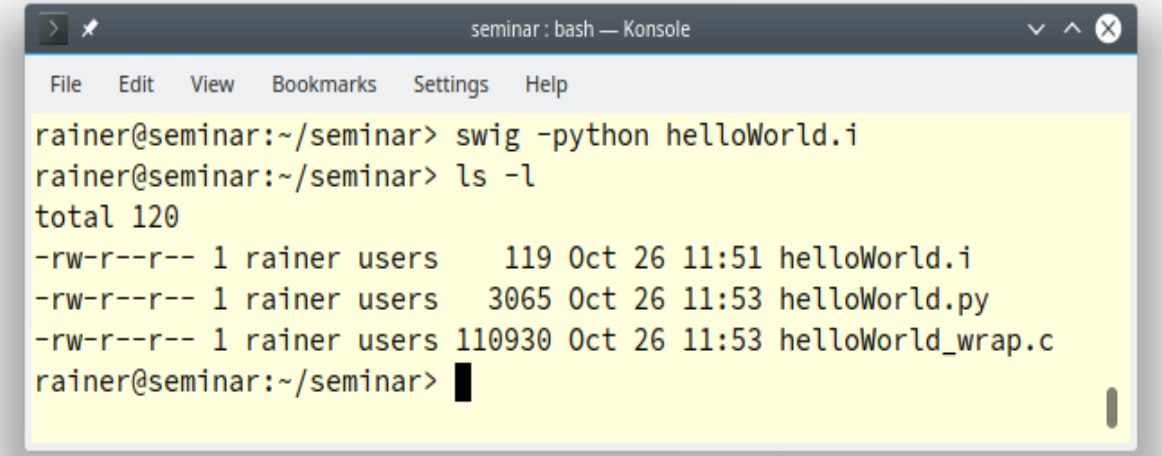
SWIG

- Definition des Interfaces

```
/* hello.i */

%module helloWorld
%{
#include "helloWorld.h"
%}

extern void helloWorld();
```

SWIG

- Erzeugen der Wrapper für Python



  - `helloWorld_wrap.c`
    - Low-level Wrapper, der mit der restlichen Applikation gelinkt werden muss
  - `helloWorld.py`
    - High-level Code, der in Python importiert wird

SWIG

- Implementierung der C-Funktionalität
  - `helloWorld.h`

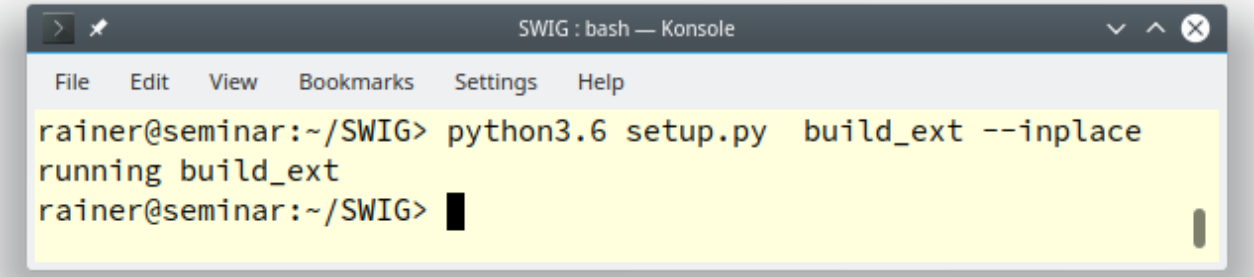
```
1   #include <stdio.h>
2
3   void helloWorld();
```

  - `helloWorld.c`

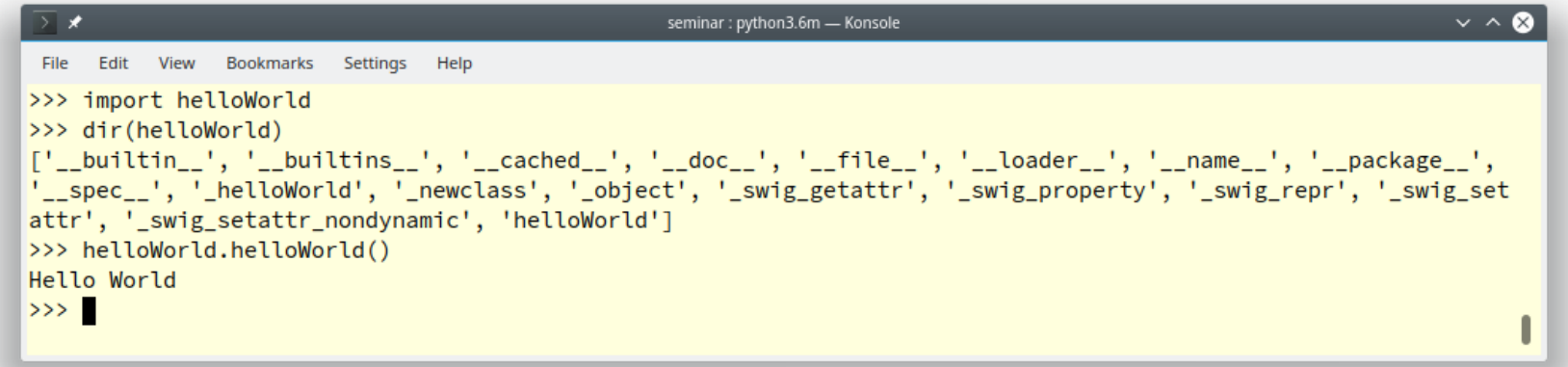
```
1   #include "helloWorld.h"
2
3   void helloWorld() {
4       printf("Hello World\n");
5   }
```

SWIG

- Bauen des Erweiterungsmoduls



- Verwendung des Erweiterungsmoduls



Python erweitern

- Shared Library
- Ctypes
- Native
- SWIG
- **pybind11**

pybind11

pybind11 - Seamless operability between C++11 and Python

- Ist vollständig in Headerdateien implementiert
- Basiert auf Boost.Python
- C++ Datententypen lassen sich in Python verwenden (erweitern)
- Python Datentypen lassen sich in in C++ verwenden (einbetten)

pybind11

- Kernfeature
  - Lambda Ausdrücke
  - Funktionen
    - Argumente per Value, Referenz oder Zeiger annehmen
    - Überladen
  - Klassen
    - Methoden und Attribute
    - Einfach- und Mehrfachvererbung
    - Virtualität
  - Biblitiothek
    - STL
    - Smart Pointer

pybind11

```cpp
#include <pybind11/pybind11.h>

int add(int i, int j) {
    return i + j;
}

PYBIND11_MODULE(function, m) {
    m.def("add", &add, "A function which adds two numbers");
}
```

- `#include <pybind11/pybind11.h>:` C++11/Python Bindung
- `PYBIND11_MODULE:` wird durch `import` aufgerufen
- `function:` Name des Moduls
- `m:` Variable vom Typ `py::module_`
- `m.def:` macht die Funktion Python bekannt

pybind11

- Konvention

```
namespace py  = pybind11;
```

- Funtionen
  - Schlüsselwortargumente

```
m.def("add", &add, "A function which adds two numbers",
      py::arg("i"), py::arg("j"));
```

  - Defaultargumente

```
m.def("add", &add, "A function which adds two numbers",
      py::arg("i") = 2000, py::arg("j") = 11);
```

pybind11

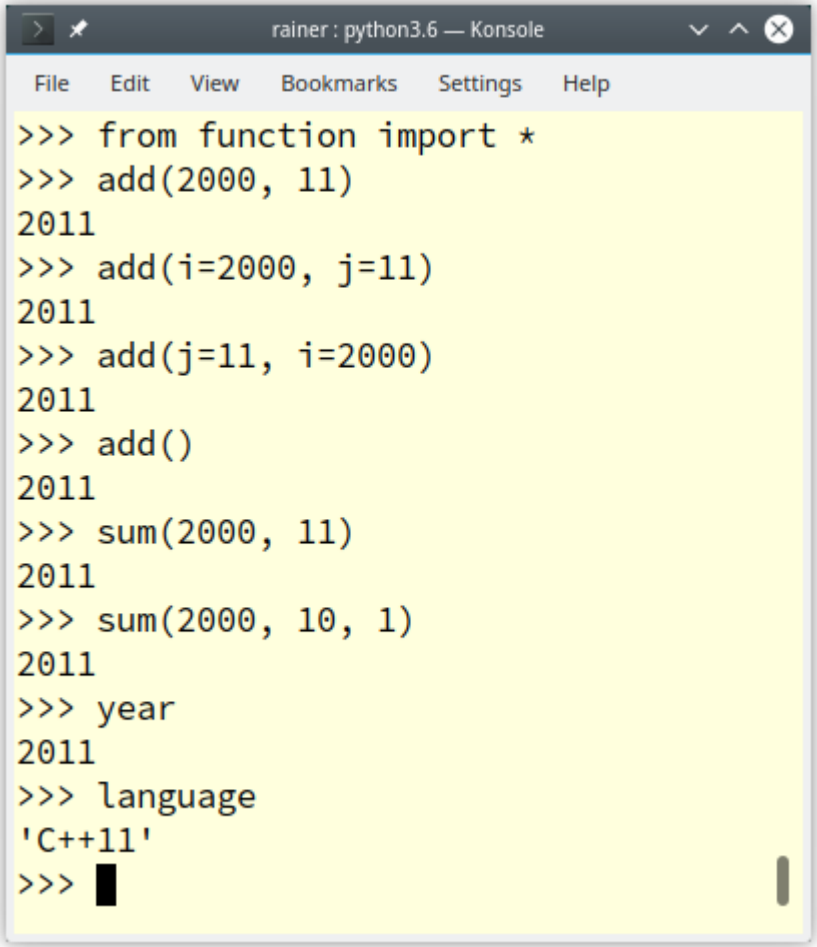
- Funtionen
  - Überladen

```
m.def("sum", py::overload_cast<int, int>(&sum),
      "Sum up two values");
m.def("sum", py::overload_cast<int, int, int>(&sum),
      "Sum up three values");
```

- Variablen

```
m.attr("year") = 2011;
m.attr("language") = "C++11";
```

pybind11


rainer : python3.6 — Konsole
File Edit View Bookmarks Settings Help
>>> from function import *
>>> add(2000, 11)
2011
>>> add(i=2000, j=11)
2011
>>> add(j=11, i=2000)
2011
>>> add()
2011
>>> sum(2000, 11)
2011
>>> sum(2000, 10, 1)
2011
>>> year
2011
>>> language
'C++11'
>>>

pybind11

- Objektorientierung

```
 1 #include <pybind11/pybind11.h>
 2 #include <string>
 3
 4 struct HumanBeing {
 5     HumanBeing(const std::string& n) : name(n) { }
 6     const std::string& getName() const { return name; }
 7     std::string name;
 8 };
 9
10 namespace py = pybind11;
11
12 PYBIND11_MODULE(human, m) {
13     py::class_<HumanBeing>(m, "HumanBeing")
14         .def(py::init<const std::string &>())
15         .def("getName", &HumanBeing::getName);
16 }
```

- `class_`: erzeugt eine Klasse
- `py::init`: benötigt die Parameter des Konstruktors als Template-Argumente

pybind11

- Spezielle Methoden

```
def("__repr__", [](const HumanBeing& h) {
    return "HumanBeing: " + h.name;
})
```

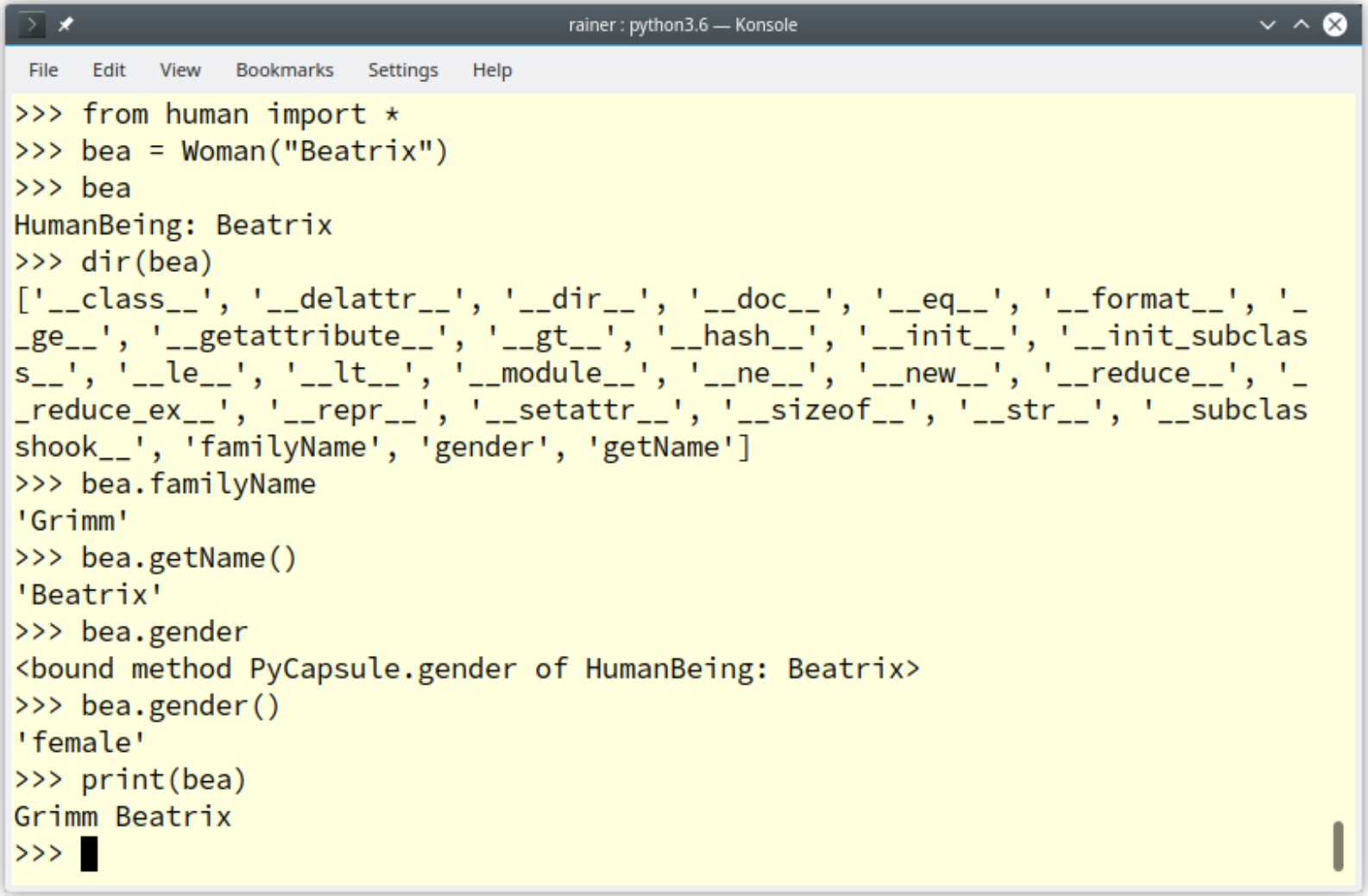
- Attribute

```
def_readwrite("familyName", &HumanBeing::familyName);
```

- Vererbung

```
py::class_<HumanBeing>(m, "HumanBeing")
        .def(py::init<const std::string &>());
py::class_<Woman, HumanBeing>(m, "Woman")
        .def(py::init<const std::string &>())
```

pybind11


rainer : python3.6 — Konsole
File Edit View Bookmarks Settings Help
>>> from human import *
>>> bea = Woman("Beatrix")
>>> bea
HumanBeing: Beatrix
>>> dir(bea)
['__class__', '__delattr__', '__dir__', '__doc__', '__eq__', '__format__', '__ge__', '__getattribute__', '__gt__', '__hash__', '__init__', '__init_subclass__', '__le__', '__lt__', '__module__', '__ne__', '__new__', '__reduce__', '__reduce_ex__', '__repr__', '__setattr__', '__sizeof__', '__str__', '__subclasshook__', 'familyName', 'gender', 'getName']
>>> bea.familyName
'Grimm'
>>> bea.getName()
'Beatrix'
>>> bea.gender
<bound method PyCapsule.gender of HumanBeing: Beatrix>
>>> bea.gender()
'female'
>>> print(bea)
Grimm Beatrix
>>>

Erweitern und einbetten

Python erweitern

Python einbetten

String direkt ausführen

- String ausführen
- Module ausführen
- Funktionen ausführen

String ausführen

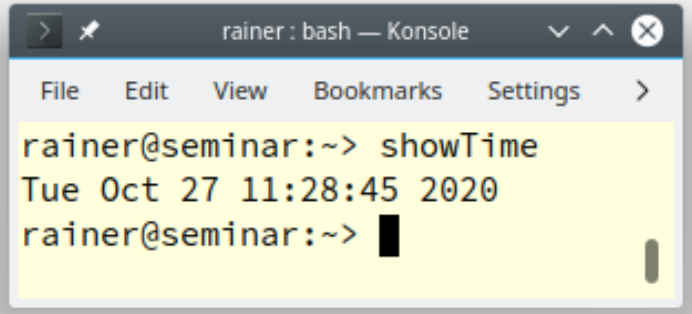
- Implementierung der C-Programms

```
 1 #include <Python.h>
 2
 3 int main(int argc, char* argv[]) {
 4
 5     Py_Initialize();
 6     PyRun_SimpleString("import time\n"
 7                        "print(time.ctime(time.time()))");
 8     Py_Finalize();
 9
10 }
```

- Python Interpreter initalisieren (5)
- Python Sourcecode ausführen (6)
- Interpreter herunterfahren (8)

String ausführen

- Ausführen des Programms



String ausführen

- String ausführen
- **Modul ausführen**
- Funktionen ausführen

Modul ausführen

Das Modul `showTime.py`

```
import time

print(time.ctime(time.time()))
```

Modul ausführen

- Implementierung der C-Programms

```
 1 #include <Python.h>
 2 #include <stdio.h>
 3
 4 int main(int argc, char* argv[]) {
 5
 6     Py_Initialize();
 7     FILE* pyFile = fopen("showTime.py", "r");
 8     if (pyFile) {
 9         PyRun_SimpleFile(pyFile, "showTime.py");
10         fclose(pyFile);
11     }
12     Py_Finalize();
13 }
```

  - Python Interpreter initalisieren (6)
  - Python Sourcecode ausführen (9)
  - Interpreter herunterfahren (12)

String direkt ausführen

String ausführen

Modul ausführen

Funktionen ausführen

Funktionen ausführen

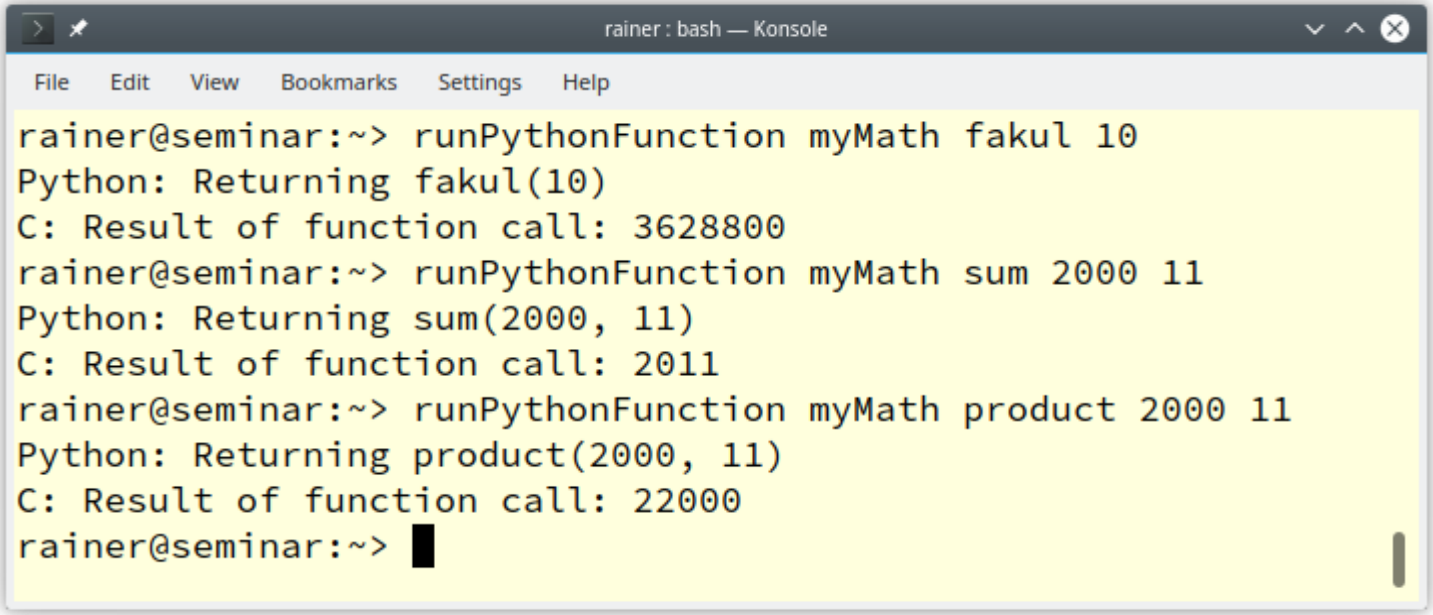
Das Modul `math.py`

```
def fakul(num):
    from functools import reduce
    print("Returning fakul({})".format(num))
    return reduce(lambda x, y: x * y, range(1, num + 1))

def sum(fir, sec):
    print("Returning sum({}, {})".format(fir, sec))
    return fir + sec

def product(fir, sec):
    print("Returning product({}, {})".format(fir, sec))
    return fir * sec
```

Funktionen ausführen

Das C-Programm `runPythonFunction.c` erlaubt es, eine Funktion eines Python Moduls auszuführen.

```
runPythonFunction Modul Funktion Argumente
```



Funktionen ausführen

Folgende Schritte führt die Datei `runPythonFunction.c` aus.

- Lesen der Kommandozeile
- `sys.path` um das lokale Verzeichnis erweitern
- Importieren des Python-Moduls
- Parsen der Funktionsargumente
- Aufruf der Python-Funktion
- Das Ergebnis der Python-Funktion in C verwenden