

Programmieren mit R für Einsteiger



Berry Boessenkool



frei verwenden, zitieren

2022-04-14 19:41

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 0.1 Willkommen
- 0.2 Fünf-Minuten Showcase
- 0.3 Einrichtung: R & Rstudio
- 0.4 Übungsaufgaben

- ▶ **Berry**: Geoökologie @ Uni Potsdam, Dozent am HPI
- ▶ R Fan seit 2010
- ▶ R-Pakete  , Training & Beratung  , Community 

- ▶ **Pia**: Medizin @ University of St Andrews, Edinburgh Scotland
- ▶ Master Digital Health am HPI (Digital Health Center, DHC)
- ▶ RKI Intensivregister: Grafiken für Kristenstäbe / Bürger*innen

- ▶ **Bert**: Leiter Lehrstuhl Digital Health - Connected Healthcare (HPI)
- ▶ Studiengangsverantwortlicher Masterprogramm Digital Health
- ▶ R für Analyse von gesundheits-relevanten Daten aus dem Alltag

- ▶ Grundlagen und Anwendungen (möglichst konkret)
- ▶ Freude am Programmieren
- ▶ Gelerntes in eigenen Projekten verwenden
- ▶ effiziente und reproduzierbare Arbeit
- ▶ Inhaltlicher Ablauf auf openHPI
- ▶ Video pro Lektion
- ▶ Übungsaufgaben auf CodeOcean (im Browser) / in Rstudio
- ▶ Fragen? -> **Kursforum!** [Diskussionen] (unter den Videos erstellen)

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 0.1 Willkommen
- 0.2 Fünf-Minuten Showcase
- 0.3 Einrichtung: R & Rstudio
- 0.4 Übungsaufgaben

- ▶ 5 Minuten Beispiel für die Nutzung von R und Rstudio
 - ▶ Als 'Live Coding' gezeigt, d.h. der Code wird im Skript entwickelt und vorgeführt
 - ▶ Die nachfolgenden Folie zeigt den Code zur Referenz
-
- ▶ Ziel ist nicht, alles im Detail zu verstehen,
 - ▶ sondern 'Appetit' auf R zu bekommen :)
 - ▶ Am Kursende kannst du diese Sachen auch
-
- ▶ sit back, relax, enjoy the show...

Showcase Code

```
# R als Taschenrechner: -> 'sinnvolles' Ergebnis
7 * 6

# Objekte erstellen um später damit zu arbeiten:
alter <- 33
alter + 1          # so alt bin ich nächstes Jahr
2022 - alter      # so finde ich raus, wann ich geboren wurde, falls ich das mal vergesse

# Daten einlesen:
wetter <- read.table(file="wetter.txt", header=TRUE)

# Aus einer Tabelle eine Spalte auswählen:
wetter$Regen

# Graphik - Scatterplot für Korrelation (Zusammenhang, kann aber dritte Gründe haben):
plot(wetter$Sonne, wetter$Temperatur, col="orange", pch=16, main="Viel Sonne an warmen Tagen")

# Graphik - Zeitreihe für Entwicklung / Saisonalität / Trend:
wetter$Datum <- as.Date(wetter$Datum, format="%Y-%m-%d")
plot(wetter$Datum, wetter$Luftdruck, type="l", col="salmon", lwd=2, xaxt="n")

# Pakete von anderen R Nutzern:
library(berryFunctions)
monthAxis()
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 0.1 Willkommen
- 0.2 Fünf-Minuten Showcase
- 0.3 Einrichtung: R & Rstudio
- 0.4 Übungsaufgaben



- ▶ Programmiersprache für Datenanalyse / -visualisierung und Statistik in Forschung und Wirtschaft
- ▶ kostenlos, open source (nachvollziehbar, erweiterbar)
- ▶ große Nutzer-community (viele Methoden)
- ▶ macht deine Arbeit effizient und produktiv



R Studio

- ▶ Integrated Development Environment (IDE) für R:
Umgebung zur Entwicklung von Code, mit R integriert

Installation

- ▶ [Anleitung](#)
- ▶ Für den Kurs bitte eine aktuelle R **Version** (> 4.0) nutzen

Übersicht Rstudio

The screenshot displays the RStudio IDE interface. The top menu bar includes File, Edit, Code, View, Plots, Session, Build, Debug, Profile, Tools, and Help. The top toolbar contains icons for file operations like Open, Save, Print, and Run, along with a 'Go to file/function' search bar and an 'Addins' dropdown.

Editor pane: Shows two open files: 'analysis.R' and 'r_5min.R'. The code in 'analysis.R' is as follows:

```
1 # R in 5 minutes
2 # Berry Boessenkool
3
4 # R as calculator:
5 7 * 6
6
7 # create objects for later
8 height <- 183
9 height - 5
10
11
12
13
14
15
16
```

Environment pane: Displays the variable 'height' with the value 183 in the Global Environment.

Plots pane: Shows a scatter plot with 'Grafiken' (Graphics) overlaid. The x-axis ranges from -3 to 3, and the y-axis ranges from -2 to 3. The plot contains numerous colored data points.

Console pane: Displays the R command `> 7 * 6` and its output `[1] 42`, followed by `> height <- 183`, `> height - 5`, and `[1] 178`.

Annotations: Four callout boxes highlight key features: 'Skripte (.R Dateien)' points to the Editor pane, 'Objekte' points to the Environment pane, 'Grafiken' points to the Plot pane, and 'Die Konsole zum tatsächlichen R' points to the Console pane.

Skript vs Console

The screenshot shows the RStudio interface. On the left, there are two tabs: "analysis.R" and "r_5min.R". The "analysis.R" tab contains R code, including comments like "# R in 5 minutes" and "# Berry Boessenkool". The "r_5min.R" tab shows the output of running the script, including the calculation of $7 * 6$ resulting in 42, and the assignment of height to 183. In the center, a large orange callout box says "Skript: Code schreiben". On the right, the "Environment" tab shows a variable "height" with a value of 183. Below it, a scatter plot displays a cloud of colored points.

Skript: Code schreiben

Code wird hier ausgeführt
+ Ergebnisse angezeigt

Code auch in Console möglich

The screenshot shows the RStudio interface. In the top-left pane, there are two files open: 'analysis.R' and 'r_5min.R'. The 'analysis.R' file contains the following R code:

```
1 # R in 5 minutes
2 # Berry Boessenkool
3
4 # R as calculator:
5 7 * 6
6
7 # create objects for later usage:
8 height <- 183
9 height - 5
10
11
12
13
14
15
16
```

In the bottom-left pane, the 'Console' tab is active, showing the following session history:

```
C:/Dropbox/R/R_in_5_Minutes> > 7 * 6
[1] 42
> height <- 183
> height - 5
[1] 178
> |
```

A large, semi-transparent callout bubble contains the German text 'länger behalten' (keep longer) above 'kurz was prüfen' (check something quickly).

In the top-right pane, the 'Environment' tab is selected, showing a single entry: 'height' with the value '183'. In the bottom-right pane, a scatter plot is displayed with data points colored by value.

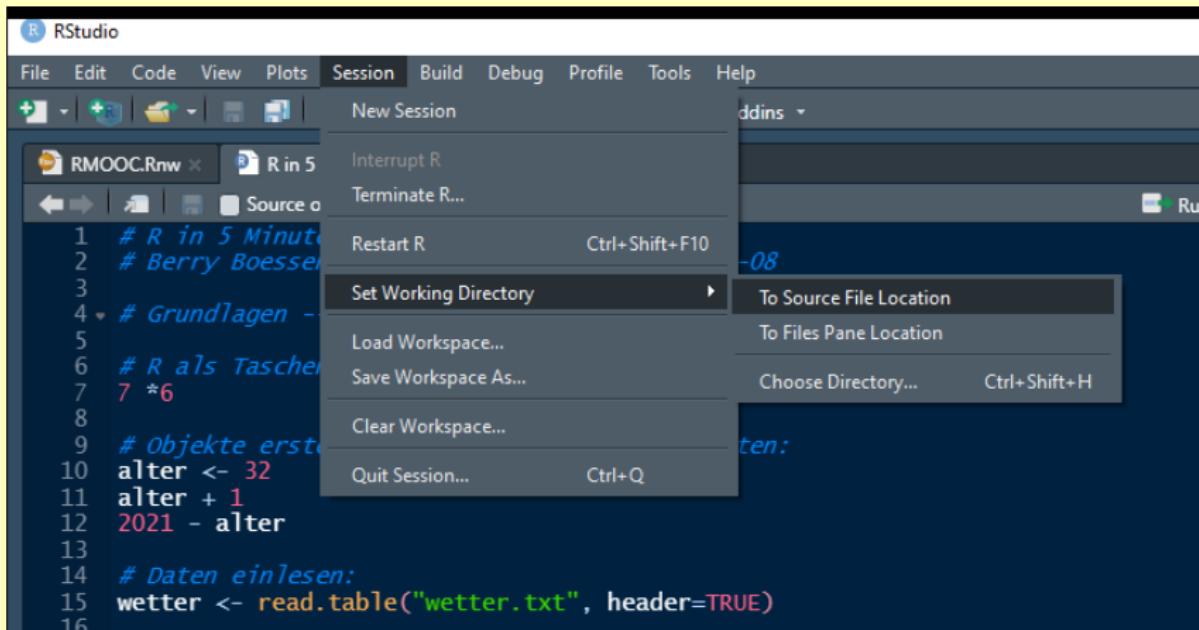
Zeilen ausführen

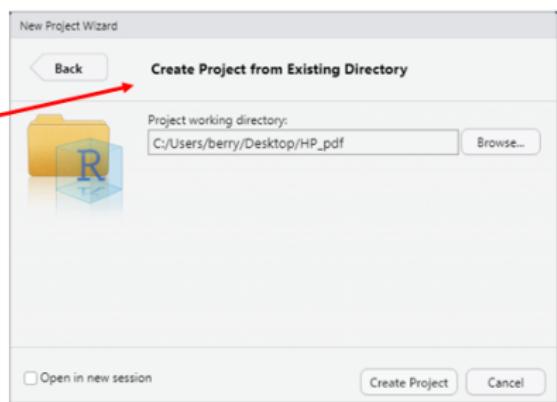
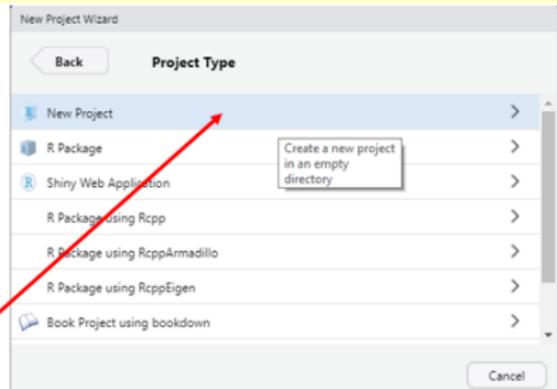
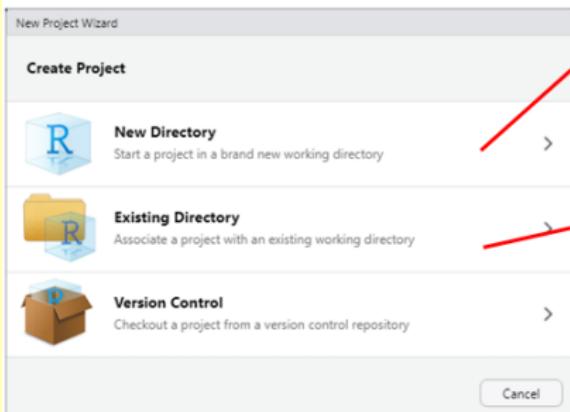
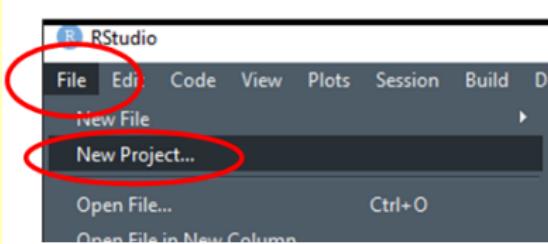
The screenshot shows the RStudio interface. At the top, there's a menu bar with File, Edit, Code, View, Plots, Session, Build, Debug, Profile, Tools, Help. Below the menu is a toolbar with various icons. A red circle highlights the 'Run' and 'Source' buttons in the toolbar. The main workspace shows two script files: 'analysis.R' and 'r_5min.R'. The 'analysis.R' file contains R code, including comments like '# R in 5 minutes' and '# Berry Boessenkool'. A callout bubble from this area contains the text 'Code an R schicken:' followed by two keyboard shortcuts: 'STRG + Enter: Auswahl / Zeile' and 'STRG + Shift + S: ganzes Skript'. In the bottom-left, the 'Console' tab is active, showing the command '> 7 * 6' and its output '[1] 42'. To the right of the console is a scatter plot with colored data points. The top-right corner of the slide features the HPI logo.

Einrichtung der R Arbeitsumgebung:

- ▶ R & Rstudio installieren und nutzen
- ▶ Skripte
- ▶ Zeilen ausführen

Für einfache Skripte:





Soll deine Arbeit reproduzierbar sein, setze unter
Rstudio - Tools - Global Options - General

OFF: Restore .Rdata into workspace at startup
Save workspace to .RData on exit: **NEVER**

Weitere hilfreiche **Rstudio Einstellungen**

Im Folgenden einige praktische Tastaturkürzel aus
rviews.rstudio.com/categories/tips-and-tricks

Rstudio keyboard shortcuts (**ALT + SHIFT + K**)

STRG + **ENTER** im Skript: Zeile / Auswahl an R senden

UP / **DOWN** in der Console: letzte Befehle

STRG + **UP** Befehlsgeschichte

STRG + **SHIFT** + **P** vorherige Auswahl (mit Änderungen) senden

STRG + **SHIFT** + **S** / **ENTER** Gesamtes Skript ausführen

STRG + **SHIFT** + **N** Neue Skriptdatei anlegen

STRG + **O** / **S** Datei öffnen / Skript speichern

STRG (+ **SHIFT**) + **TAB** nächstes (vorheriges) Skript

ALT + Maus für Mehrzeilen-Cursor. oder: **STRG** + **ALT** + **UP** / **DOWN**

Windows Bildschirmrotation ausschalten: Desktop Rechtsclick - Grafikoptionen - Tastenkombinationen -

deaktivieren

ALT + **UP** / **DOWN** Zeile im Skript verschieben

STRG + **1** Cursor auf Panel (1:source, 2:console, 3:help, 4:history, 5:files, 6:plot...)

STRG + **SHIFT** + **1** / **2** / **3** / ... Panel Vollbild

STRG + **SHIFT** + **C** Zeile auskommentieren

STRG + **SHIFT** + **O** Inhaltsübersicht (# abschnitt --)

STRG + **SHIFT** + **M** pipe operator einfügen

- ▶ Working directory (Arbeitsverzeichnis)
- ▶ Projekte
- ▶ Effektiv arbeiten in Rstudio

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 0.1 Willkommen
- 0.2 Fünf-Minuten Showcase
- 0.3 Einrichtung: R & Rstudio
- 0.4 Übungsaufgaben

Zu jeder Lektion in diesem Kurs gibt es interaktive Code-übungen ($n=25$), die aus 5 - 15 Aufgaben mit steigender Komplexität bestehen. Sie sind über die openHPI-Plattform zugänglich (nicht per URL direkt, da der Login über openHPI erfolgt).

Exercise 1

[Edit item](#) [Statistics](#)

Instructions:

Click the button below to launch the exercise.

 This is a graded exercise.  10.0 points

 [Launch exercise tool](#)

Sie können im Browser gelöst werden oder (besser): heruntergeladen und in Rstudio gelöst werden.

Für jede Woche gibt es eine unbewertete Spielwiese mit dem Code der Folien.

Übungen auf CodeOcean - ausführen

Sobald die Aufgabe geöffnet ist, kannst du im Skript schreiben und es ausführen durch Klicken auf 'Ausführen' (ALT + R)

The screenshot shows the CodeOcean exercise interface for an R exercise. At the top, there's a browser header with the URL <https://codeocean.openphi.de/exercises/721/implement>. Below the header, the CodeOcean logo and navigation links for Administration, English, Help, and user profile are visible.

The main content area has a breadcrumb navigation: EXERCISES / R EXERCISE MASTER TEMPLATE / IMPLEMENT. A progress bar indicates 0% completion. A keyboard shortcut 'ALT + r' is highlighted above the 'Run' button.

The interface includes several buttons: 'Collapse Action Sidebar', 'Run', 'Score', 'Request Comments', and 'Collapse Output Sidebar'. On the left, a 'Files' sidebar lists files: examples_1.R, examples_2.R, and t_dataset.txt. The main area contains an R script editor with the following code:

```

1 # Structure of task files
2
3 # Task 1 -----
4 # Create an object named 'my_first_object' with the
5 # number 99.
6
7 # Make sure to save the script (CTRL + S) before running
8 # the following:
8 codeoceanR::rt_score()
# You can conveniently save + source (= run full script
# including previous line)
10 # by clicking on "Source" (topright if script window) or
# pressing CTRL + SHIFT + S.
11
12 |
13
14 # Task 2 -----
15 # Create another object with the integer values from 5
15 till 15.
16 # The desired objectnames is already included for your
# convenience.
17 # Replace the zero with the intended code for the
# solution.
18 my_second_object <- 5:15
19 my_second_object
20
21
22 # Now continue in examples_2.R
23

```

To the right of the code editor is a 'Run' button and an output window showing the results of the 'rt_score()' function:

```

> codeoceanR::rt_score()
NULL
> my_second_object <- 5:15
> my_second_object
[1] 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

```

Übungen auf CodeOcean - bewerten

So oft du willst kannst du deine Lösungen überprüfen lassen durch Klicken auf 'Bewerten' (ALT + S)

ster template

The screenshot shows the CodeOcean interface. At the top right is a red HPI logo. Below it, a progress bar shows 100% completion with the text '(Show)' next to it. On the left, there's a toolbar with 'Run', 'Score' (highlighted in orange), and 'Request Comments'. A keyboard shortcut 'ALT + S' is displayed above the toolbar. The main area contains a R script with numbered lines. Lines 1-13 are comments about task structures and saving. Lines 14-21 implement Task 1, creating an object 'my_first_object' with value 99. Lines 22-25 implement Task 2, creating another object 'my_second_object' with value 5:15. The output sidebar shows 'Collapse Output Sidebar'. The 'Results' section indicates 1 test file has been executed. A summary card for 'Test File 1 (examples_tests.R)' shows: Passed Tests (8 out of 8), Score (8 out of 8), Feedback ('Well done. All tests have been passed.'), and Error Messages. Below the summary card, the text 'Score: 100%' is displayed next to a green progress bar.

```

1 # Structure of task files
2
3 # Task 1 -----
4 # Create an object named 'my_first_object' with the
5 # number 99.
6 my_first_object <- 99
7
8 # Make sure to save the script (CTRL + S) before running
# the following:
9 codeoceanR::rt_score()
10 # You can conveniently save + source (= run full script
# including previous line)
11 # by clicking on "Source" (topright if script window) or
# pressing CTRL + SHIFT + S.
12
13
14 # Task 2 -----
15 # Create another object with the integer values from 5
# till 15.
16 # The desired objectnames is already included for your
# convenience.
17 # Replace the zero with the intended code for the
# solution.
18 my_second_object <- 5:15
19
20
21 # Now continue in examples_2.R
22

```

Bewerte oft, da die Meldungen immer spezifischer werden, je näher du der gewünschten Lösung kommst. Übertrage am Ende den Punktestand an openHPI durch Klicken auf "Code zur Bewertung abgeben".

Du kannst die Übungen in Rstudio lösen und dadurch in der normalen R-Arbeitsumgebung arbeiten, eine Zeile / Auswahl von Code ausführen, die Autovervollständigung nutzen, teilweise offline arbeiten (außer beim Bewerten), Tastaturkürzel verwenden, Debugging-Tools genießen, integrierte Grafikausgaben sowie Hilfe, Paketverwaltung, Versionskontrolle und mehr erhalten.

Hierfür musst du einmalig das Paket `codeoceanR` installieren: [Anleitung](#)

Für jede Übung:

- ▶ 1. via OpenHPI die CodeOcean Übung öffnen
- ▶ 2. downloaden, in geeignetem Ordner auf dem Rechner speichern
(entpacken optional)

➤ R exercise master template

```
1 # Structure of task
2
3 # Task 1 -----
4 # Create an object :
5 # number 99.
6
7 # Make sure to save
8 # the following:
9 codeoceanR::irt_scoring
10 # You can conveniently
11 # include previous
# by clicking on "S"
# pressing CTRL + SH
```

Gelegentlich meldet CodeOcean den Fehler "Sorry, something went wrong".
-> Ignorieren, wenn der Download beginnt. Andernfalls Seite neu laden.

- ▶ 3. Die CodeOcean Registerkarte im Browser schließen (damit CO das dortige ungelöste Skript nicht automatisch speichert)

Übungen in Rstudio - Start

- 4. folgendes in R / Rstudio ausführen:

```
codeoceanR::rt_create()
```

- - bestätigen, den Browser Tab geschlossen zu haben
- - Datei auswählen (wenn entpackt, irgendeine Datei innerhalb des Ordners)

The screenshot shows the RStudio interface with the following details:

- Code Editor:** An R script named "Untitled1.R" is open, containing the following code:


```
1 install.packages("remotes")
2 remotes::install_github("openHPI/codeoceanR")
3 codeoceanR::rt_create()
4
5
```
- Console Output:** The output of the executed code is displayed, including messages about package installation and the creation of a temporary directory.
- File Selection Dialog:** A "Select File" dialog box is overlaid on the RStudio interface, showing a list of files in the "Rexercises" folder. The file "R_exercise.zip" is selected.
- Environment View:** The environment pane shows that the environment is currently empty.
- File Explorer:** The file browser shows the "Rexercises" folder containing the "R_exercise.zip" file.

Übungen in Rstudio - Aufgaben bearbeiten

`rt_create` sollte ein neues Rprojekt in einer separaten Rstudio-Instanz öffnen mit bereits geöffneten Übungsskriptdateien.
Kontaktiere Berry, wenn das nicht klappt.

```

1 Structure of task 1
2
3 # Task 1 ----
4 # Create an object named 'my_first_object' with the number 99.
5
6
7 # Make sure to save the script (CTRL + S) before running the following:
8 codemavenR::rt_score()
9 # You can conveniently save + source (= run full script including previous line)
10 # by clicking on "Source" (topright of script window) or pressing CTRL + SHIFT + S.
11
12
13
14 # Task 2 ----
15 # Create another object with the integer values from 5 till 15.
16 # The desired objectname is already included for your convenience.
17 # Replace the zero with the intended code for the solution.
18 my_second_object <- 0
19
20
21 # Now continue in examples_2.R
22
23 (Top Level) : R Script ...

```

Console Terminal Jobs

C:\Users\berry\Desktop\Recessories\R_exercise\#
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> |

Environment History Connections Tutorial

R Global Environment

Environment is empty

Files Plots Packages Help Viewer

New Folder Delete Rename More

Name	Size
..co	105 B
.Rhistory	14 B
Rprojuser	
scripts	
examples_1.R	654 B
examples_2.R	1.2 KB
Exercise.txt	330 B
t_dataset.txt	96 B
zz_R_exercise.Rproj	207 B

Die Übung kann jederzeit mit der `zz_* .Rproj` Datei geöffnet werden.

Übungen in Rstudio - bewerten

`codeoceanR::rt_score()`

sendet deinen Code an CodeOcean (sichtbar bei erneutem Öffnen im Browser), führt das Testskript aus und zeigt die Rückmeldungen in Rstudio. Ganzes Skript ausführen (source): **CTRL + SHIFT + S**

The screenshot shows the RStudio interface with the following details:

- Code Editor:** The main pane displays the R script `grex6_Graphics2_1.R`. The code uses the `codeoceanR::rt_score()` function to analyze three sections of code labeled A1, A2, and A3. The A1 section plots controls in a cancer dataset. The A2 section plots maximum daily temperatures at La Guardia Airport. The A3 section uses a probability density distribution instead of frequency.
- Environment Tab:** Shows the global environment with objects `A1`, `A2`, and `A3`.
- Output Tab:** Shows the results of the `rt_score()` function, indicating 6 test cases (T1-T6) and their correctness (e.g., T1: correct, T6: file does not exist).
- Plots Tab:** Displays a histogram titled "Histogram of airq" showing the frequency of air quality levels (airquality\$Temp) from 50 to 100.
- Console Tab:** Shows the command `source('C:/.../prog11_grex6_Graphics2_1.R')` and the resulting output regarding test cases T1-T8.

interaktive Übungsaufgaben

- ▶ auf CodeOcean
- ▶ mit verstecktem Skript zum Testen deiner Lösungen
- ▶ in Rstudio: Übung runterladen, Registerkarte schließen,
`codeoceanR::rt_create()` ausführen
- ▶ mehrmals Punkte testen lassen (Score), nur einmal einreichen
(Submit)
- ▶ Scoring-Meldungen werden zunehmend spezifischer

- 0. Intro
 - 1. Grundlagen
 - 2. Datentypen
 - 3. Tabellen
 - 4. Grafiken
-
- 1.1 Syntax
 - 1.2 Hilfe
 - 1.3 Vektoren
 - 1.4 Statistik

```
4*9  
## [1] 36
```

Code in diesen Folien ist mit grauen Kästen hinterlegt und farbig markiert (syntax-highlighting). R Ausgaben stehen hinter `##`.

`[1]` wird im Abschnitt 2.3 (Vektoren) erklärt.

Kommentare (nach einem Hashtag) werden von R ignoriert.
Sie machen Code für Menschen verständlich = leichter lesbar:

```
2 + 4.8 # Punkt als Dezimaltrennzeichen  
## [1] 6.8
```

```
2+4.8 # Leerzeichen egal für R, hilfreich für Lesbarkeit
```

```
3^2  
## [1] 9
```

```
sqrt(81) # Wurzel (square root)
## [1] 9
```

```
abs(-12) # Betrag (absolute value)
## [1] 12
```

```
log(100) # natürlicher Logarithmus (ln) mit Basis e (2.72)
## [1] 4.60517
```

```
log10(100) # Logarithmus mit Basis 10
## [1] 2
```

```
exp(3) # Exponentialfunktion e^3
## [1] 20.08554
```

```
alter <- 15.4
```

Rstudio: Tastaturtasten **ALT** + **-** drücken für **<-**

```
alter # ist jetzt im Workspace (quasi der R Speicher)
```

```
## [1] 15.4
```

```
alter + 5
```

```
## [1] 20.4
```

alter ist unverändert 15.4. Zum Ändern überschreiben:

```
alter <- 37.1
```

```
alter # immer die aktuelle Version, keine Geschichte dabei
```

```
## [1] 37.1
```

Groß-/Kleinschreibung (case) beachten:

```
Alter # ist kein existierendes Object
```

```
## Fehler: Objekt 'Alter' nicht gefunden
```

Objekte

```
ls() # Eigene Objekte im Workspace auflisten  
## [1] "alter"  
  
rm(alter) # ein Objekt löschen
```

```
pi # Eingebaute Konstante  
## [1] 3.141593
```

```
pi <- 3 # das kann überschrieben werden  
sin(pi/2) # aber dann kommt nicht mehr ganz 1 raus ...  
## [1] 0.997495
```

Empfehlung: bestehende Namen wie `pi`, `sin` nicht verwenden. Wenn ein eigenes Objekt `pi` existiert, wird nicht das eingebaute `pi` genutzt.
Gute Objektnamen sind **kurz aber aussagekräftig**, zB `tempMaxBerlin`.
Übliche Konventionen sind `lowerCamelStandard` und `unter_strich`.
Den alten `punkt.standard` bitte nicht mehr verwenden. Der hat in anderen Programmiersprachen eine besondere Bedeutung.

Funktionen werden mit runden Klammern aufgerufen (ausgeführt):

```
log(7.4) # Funktionsaufruf
```

```
## [1] 2.00148
```

```
log(x=7.4) # explizite Benennung des Arguments
```

```
## [1] 2.00148
```

Argumente haben Namen. Diese können weggelassen werden, sofern sie in der richtigen Reihenfolge stehen.

`log` hat ein weiteres Argument `base`. Wenn das (wie bisher) nicht angegeben wird, wird 2.718 verwendet. Das ist der Standardwert für `base` (default). Für benutzerdefinierte Basis:

```
log(x=200, base=12)
```

```
## [1] 2.1322
```

Argumentnamen können abgekürzt werden, sofern sie einmalig sind:

```
log(200, b=12)
```

```
## [1] 2.1322
```

Syntax, Objekte, Operatoren, Funktionen:

- ▶ `+ , - , * , / , ^`
- ▶ Leerzeichen und Kommentare (`#`) machen Code leichter lesbar
- ▶ `pi , sqrt , abs , log , log10 , exp`
- ▶ Objekte: `ALT + -` für Zuweisungspfeil (`<-`)
- ▶ Objektnamen Case sensitive
- ▶ `ob_jekt` oder `objekt`, nicht: `pi , daten , ...`
- ▶ `ls , rm`
- ▶ `funktion(1, argument=2, arg=3)`

Operatoren 2.0 ; Exponentielle Darstellung

```
sin(15 * pi/180) # Grad zu dezimal
## [1] 0.247404

factorial(5) # Fakultät: n! = 1*2*3*4*...*n
## [1] 120

exp(1) # eulersche Zahl e
## [1] 2.718282

e^3 # geht so nicht
## Fehler: Objekt 'e' nicht gefunden

3.91 * 10^-3 # wissenschaftliche Schreibweise: 3,91 E-3
## [1] 0.00391

3.91e-3 # scientific notation: keine Leerzeichen erlaubt
## [1] 0.00391

1e6 # schnell eine Million schreiben (ohne 6 Nullen)
## [1] 1e+06

options(scipen=9) # bis 1e9 wird ab jetzt ausgeschrieben
1e6 ; 1e14
## [1] 1000000
## [1] 1e+14
```

Technisch kann `=` statt `<-` für Zuweisungen verwendet werden.

Gemäß **style guide** sollte `=` nur für `Funktion(arg="wert")` verwendet werden.

`median(x <- 1:10)` erstellt auch `x` im `globalenv()` workspace,
`median(x=1:10)` nicht.

blog.revolutionanalytics.com, csgillespie.wordpress.com

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 1.1 Syntax
- 1.2 Hilfe
- 1.3 Vektoren
- 1.4 Statistik

Dokumentation eingebauter Funktionen

`help("append") # Doku der Funktion 'append' öffnen`

`?append # Schnellvariante um weniger zu tippen`

Noch schneller: **F1** drücken, während der Cursor auf dem Befehl ist

Paket, in dem die Funktion enthalten ist

Titel & Beschreibung,
manchmal zusätzliche Info
im Abschnitt **Details** oder **Note**

Argumente, ggf. mit Defaults (Standardwerte)

Beschreibung der Argumente

Ausgabe der Funktion (zurückgegebener Wert)

Verweise, oft auch unter **See Also**

Beispiele, oft sehr hilfreich!

Weitere Info zum Paket



(**Fn** bei Laptops)

```
help.search("append") # Alle verfügbaren Dokts mit Bezug  
??append # auch hier wieder eine kürzere Variante  
  
help.start() # offline Handbücher und Material
```

- ▶ Kursforum für dieses MOOC
- ▶ StackOverflow für Programmierfragen <- Wichtigste Ressource
- ▶ (online) Buch: Grolemund & Wickham (2017) - R for Data Science
- ▶ Deutsches Buch: Uwe Ligges (2005) - Programmieren mit R
- ▶ Reference Card: Tom Short & Jonas Stein (2013)
- ▶ base und advanced Cheatsheets von Rstudio
- ▶ Mehr unter bookdown.org/brry/course/resources.html

- ▶ Online R Instanzen: rdrr.io/snippets, cocalc.com, colab.to/r

Antworten auf R Fragen finden:

- ▶ Dokumentationen von Funktionen aufrufen (`? / F1`)
- ▶ Stackoverflow
- ▶ Kursforum
- ▶ RefCard & Bücher

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 1.1 Syntax
- 1.2 Hilfe
- 1.3 Vektoren
- 1.4 Statistik

Vektoren in R sind keine geometrischen Konstrukte, sondern eine geordnete Menge. (ordered set of values).

Vektoren werden erstellt mit `c` (Combine / Concatenate). Einträge werden mit einem Komma getrennt.

```
zahlen <- c(3, 7, -2.7654321, 11, 3.8, 9)
```

Objekt aufrufen (anzeigen):

```
zahlen
```

```
## [1] 3.000000 7.000000 -2.765432 11.000000 3.800000  
## [6] 9.000000
```

```
print(zahlen, digits=3) # Explizit anzeigen, mit Optionen
```

```
## [1] 3.00 7.00 -2.77 11.00 3.80 9.00
```

Vektoren II: Folgen

```
1:5 # Ganze Zahlen (integers) von : bis  
## [1] 1 2 3 4 5
```

```
rep(1:4, times=3) # Zahlen mehrfach wiederholen  
## [1] 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4
```

```
rep(1:3, each=3, times=2)  
## [1] 1 1 1 2 2 2 3 3 3 1 1 1 2 2 2 3 3 3
```

```
seq(from=3, to=-1, by=-0.5) # Sequenz  
# Für absteigende Folgen muss 'by' negativ sein  
## [1] 3.0 2.5 2.0 1.5 1.0 0.5 0.0 -0.5 -1.0
```

```
seq(1.32, 6.1, length.out=9) # 9 Elemente  
## [1] 1.3200 1.9175 2.5150 3.1125 3.7100 4.3075 4.9050  
## [8] 5.5025 6.1000
```

```
seq(1.32, 6.1, len=15) # Argumentnamen abkürzbar
```

Indexing: Submengen auswählen -> Eckige Klammern

```
vek <- c(3, 7, -2, 11, 4, 9)
```

```
vek[1] # Erstes Element zurückgeben  
## [1] 3
```

AltGr + 8 / 9,
Option + 5 / 6

```
vek[2:4] # Mehrere Elemente auswählen  
## [1] 7 -2 11
```

```
vek[ c(2,5,1,6,1) ] # Flexible Reihenfolge  
## [1] 7 4 3 9 3
```

```
vek[-2] # Alle Elemente außer das zweite  
## [1] 3 -2 11 4 9
```

```
vek[-(1:3)] # Alle Elemente außer den ersten drei  
## [1] 11 4 9
```

```
vek[-1:3] # geht nicht  
## Fehler in vek[-1:3]: only 0's may be mixed with negative subscripts  
-1:3      # weil -1 und 1 nicht beides erfüllt werden kann  
## [1] -1 0 1 2 3
```

head/tail, str, class, length

```
a <- seq(from=1, to=100, by=0.1)
head(a) # Die ersten 6 Elemente anzeigen
## [1] 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.5

tail(a, 8) # Die letzten 8 Elemente
## [1] 99.3 99.4 99.5 99.6 99.7 99.8 99.9 100.0

a[2] <- 87 # Einzelnes Element eines Objekts ändern
head(a) # das Objekt 'a' ist jetzt anders
## [1] 1.0 87.0 1.2 1.3 1.4 1.5

str(a) # Struktur: Datentyp, [Dimension], erste Werte
## num [1:991] 1 87 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 ...
## [1] "numeric"

length(a) # Länge (Anzahl Elemente) des Vektors
## [1] 991
```

```
2 * 7
```

```
## [1] 14
```

```
2:9 * 7          # 7 wird so oft wiederholt wie nötig
```

```
## [1] 14 21 28 35 42 49 56 63
```

```
2:9 * c(7,1)    # Dieses Konzept heißt "Recycling"
```

```
## [1] 14 3 28 5 42 7 56 9
```

```
2:9 * c(7,1,2) # Ergebnis mit Warnung, wenn's nicht passt
```

```
## Warning in 2:9 * c(7, 1, 2): longer object length is  
not a multiple of shorter object length
```

```
## [1] 14 3 8 35 6 14 56 9
```

Zusammenfassung

Vektoren erstellen und indizieren:

- ▶ `c` , `:` , `rep` , `seq`
- ▶ `v[n]` , `v[-n]` , `v[m:n]` , `v[-(m:n)]`
- ▶ `head` , `tail` , `str` , `class` , `length`
- ▶ Recycling

Vektoren mit Namen

```
Punktestand <- c(Christoph=19, Berry=17, "Anna Lena"=22)
```

Leerzeichen in Namen besser vermeiden

```
Punktestand[2] # Index: Position
```

```
## Berry
```

```
## 17
```

```
Punktestand["Berry"] # Index: Name
```

```
## Berry
```

```
## 17
```

```
names(Punktestand) # 'Punktestand' ist ein "named vector"
```

```
## [1] "Christoph" "Berry"      "Anna Lena"
```

```
names(Punktestand) <- LETTERS[1:3]
```

```
names(Punktestand)[2] <- "NeuerName"
```

Punktestand

```
##          A NeuerName          C
```

```
##          19           17          22
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 1.1 Syntax
- 1.2 Hilfe
- 1.3 Vektoren
- 1.4 Statistik

Statistische Maßzahlen I: Mittelwert, Streuung, Wertebereich

Vektor mit Körpergrößen:

```
groesse <- c(149.3, 173.6, 172.2, 172.9, 161.6, 179.2,  
           164.8, 162.8, 180.5, 165.1, 181.7, 171.4,  
           172.1, 148.1, 161.1, 171.9, 186.9) # cm
```

```
mean(groesse) # Mittelwert
```

```
## [1] 169.1294
```

```
var(groesse) # Varianz: cm^2
```

```
## [1] 112.591
```

```
sd(groesse) # Standardabweichung: cm
```

```
## [1] 10.61089
```

```
min(groesse) # Minimum
```

```
## [1] 148.1
```

```
max(groesse) # Maximum
```

```
## [1] 186.9
```

```
range(groesse) # Wertebereich
```

```
## [1] 148.1 186.9
```

Statistische Maßzahlen II: auch ohne Normalverteilung

```
median(groesse) # Ausreißer-unabhängig (anders als mean)
## [1] 171.9
```

```
mad(groesse)      # Median absolute deviation
## [1] 10.82298
```

```
quantile(groesse) # Anteil < bestimmte Werte
##      0%    25%    50%    75%   100%
## 148.1 162.8 171.9 173.6 186.9
```

```
quantile(groesse, probs=0.80) # 80% ist hier drunter
##     80%
## 178.08
```

```
summary(groesse)
##      Min. 1st Qu. Median      Mean 3rd Qu.      Max.
## 148.1   162.8 171.9   169.1 173.6   186.9
```

Zeigt auch Anzahl NAs an (falls vorhanden), kann auch für Tabellen verwendet werden, siehe entsprechenden Abschnitt 3.1

Sortierungen

```
groesse <- round(groesse[1:8])      ;      groesse
## [1] 149 174 172 173 162 179 165 163
```

```
sort(groesse) # Aufsteigend sortieren
## [1] 149 162 163 165 172 173 174 179
```

```
sort(groesse, decreasing=TRUE)
## [1] 179 174 173 172 165 163 162 149
```

```
order(groesse)
## [1] 1 5 8 7 3 4 2 6
```

Das kleinste ist an Stelle 1, das zweitkleinste in `groesse[5]` , etc.

```
gewicht <- c(49, 77, 66, 91, 69, 72, 73, 74)
```

```
gewicht[order(groesse)] # Sortieren nach Reihenfolge Größe
## [1] 49 69 74 73 66 91 77 72
```

Zufallszahlen

```
sample(0:9, size=7)          # Zufällig Werte aus Vektor ziehen
## [1] 2 7 1 4 9 8 6

sample(0:9, size=7, replace=TRUE)      # Ziehen mit Zurücklegen
## [1] 5 6 9 0 7 6 5
```

Kontinuierliche Verteilungen:

```
rnorm(n=5, mean=20, sd=3.5)          # aus Normalverteilung
## [1] 21.9 19.0 20.4 19.9 11.2

rexp(n=5, rate=1/20)                 # Exponentialverteilung
## [1] 7.27 23.47 22.79 8.56 29.17

runif(n=5, min=15, max=25)          # Gleichverteilung (uniform)
## [1] 22.8 19.3 24.3 22.7 17.6

rbeta(n=5, shape1=3, shape2=9)       # Beta-verteilung
## [1] 0.1879 0.0687 0.2998 0.4172 0.1498
```

Diskrete Verteilungen:

```
rpois(n=5, lambda=20)              # Poisson-verteilung
## [1] 19 13 23 29 29

rbinom(n=5, size=100, prob=1/5)     # Binomial-verteilung
## [1] 27 16 21 27 22
```

Statistische Maßzahlen, Sortierungen und Zufallszahlen:

- ▶ `mean`, `var`, `sd`
- ▶ `min`, `max`, `range`, `median`, `quantile`, `summary`
- ▶ `round`, `sort`, `order`(`decreasing`)
- ▶ `sample`, `rnorm` etc

unique und duplicated

```
val <- c(1, 7, 3, 3, 8, 5, 6, 6, 6, 7)  
  
unique(val) # ursprüngliche Reihenfolge beibehalten  
## [1] 1 7 3 8 5 6  
  
duplicated(val)  
## [1] FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE  
## [9] TRUE TRUE  
  
duplicated(val, fromLast=TRUE)  
## [1] FALSE TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE  
## [9] FALSE FALSE
```

```
werte <- c(149.3, 173.6, 172.2, 172.9, 161.6, 179.2, 164.8, 142.8)
```

```
round(werte, digits=-1) # Auf 10er runden
## [1] 150 170 170 170 160 180 160 140
round(werte, -2) # Auf 100er runden
## [1] 100 200 200 200 200 200 200 100
round(werte/5)*5 # Auf 5er runden
## [1] 150 175 170 175 160 180 165 145
```

Optionen zur Ausgabe

```
pi  
## [1] 3.141593
```

Das Verhalten von R kann in vielen Optionen angepasst werden, z.B. für den Umgang mit Warnmeldungen oder Ausgaben (printed output).

`digits` regelt, wieviele relevante Nachkommastellen angezeigt werden (bezogen auf die Größenordnung der Zahl):

```
oo <- options(digits=3) # ca 2 Nachkommastellen anzeigen  
oo # bisheriger Wert jetzt in oo (old options)  
## $digits  
## [1] 7
```

```
pi  
## [1] 3.14
```

```
options(oo) ; rm(oo) # Einstellungen zurücksetzen
```

```
sample(1:50, 3)
## [1] 18 45  5
sample(1:50, 3)
## [1] 37 29 22
```

Für die Folien immer wieder die gleichen "Zufallszahlen" erzeugen
-> Startpunkt für den RNG (Random Number Generator) setzen:

```
set.seed(12345)
```

```
sample(1:50, 3)
## [1] 14 16 26
```

```
set.seed(12345)
sample(1:50, 3)
## [1] 14 16 26
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 2.1 Funktionen
- 2.2 Logik
- 2.3 Zeichenketten
- 2.4 Kategorien
- 2.5 Pakete

Funktionen: Code systematisiert wieder verwendbar machen

```
dividiere <- function(zahl, divisor=5)
{
  ausgabe <- zahl / divisor
  ausgabe <- round(ausgabe, digits=4)
  return(ausgabe)
}
```

AltGr + 7 / 0

Option + 8 / 9

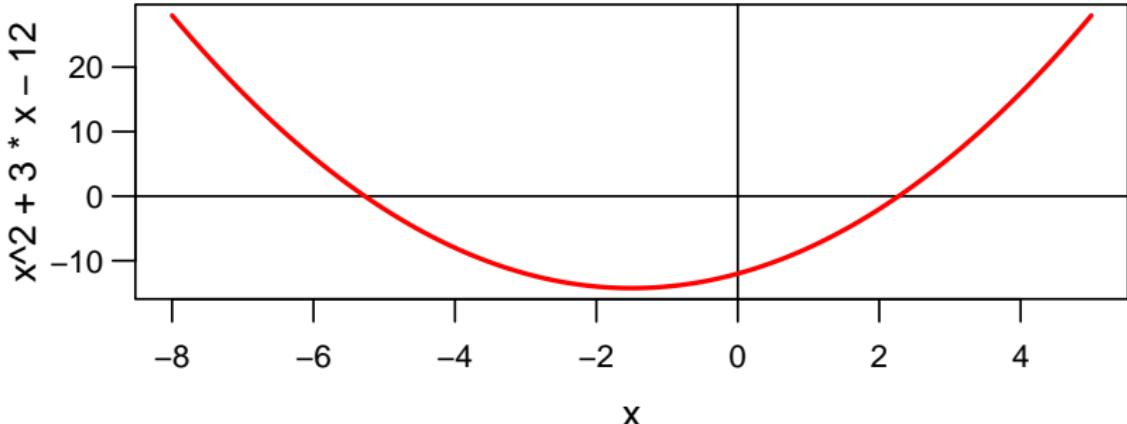
Eigene Funktion ausführen (wie andere Befehle auch):

```
dividiere(zahl=23, divisor=7) # jetzt aufrufbar
## [1] 3.2857
```

```
dividiere(23) # Standardwert (5) für 'divisor' verwendet
## [1] 4.6
```

Mit Funktionen kann die Prüfroutine in den Übungsaufgaben euren Code für verschiedene Inputs ausführen und prüfen.

Beispiel: PQ-Formel für Nullstellen einer quadratischen Funktion



```
function(p,q) # y = x^2 + px + q  
{  
  w <- sqrt( p^2 / 4 - q )  
  c(-p/2-w, -p/2+w)  
}
```

```
## [1] -5.274917 2.274917
```

```
dividiere <- function(zahl, divisor=5) # Bsp. von vorhin
{
  ausgabe <- zahl / divisor
  ausgabe <- round(ausgabe, digits=4)
  return(ausgabe)
}
```

Der Code innerhalb der Funktion (body) wird von R in einem separaten Environment ausgeführt.

Objekte innerhalb der Funktion (`zahl`, `divisor` & `ausgabe` im Beispiel) sind lokal bzw. temporär und werden nicht im normalen Workspace (global environment) angelegt.

Sie sind danach nicht im `globalenv()` verfügbar.

Return / geschweifte Klammern

`return()` beendet die Ausführung der Funktion. Code danach wird nicht aufgerufen.

`return()` kann weggelassen werden, dann wird das Ergebnis der letzten Anweisung (statement, "expression") zurück gegeben:

```
dividiere <- function(number, divisor=5){  
  output <- number / divisor  
  round(output, digits=4)  
}
```

Bei Funktionen, die nur eine einzige Anweisung (expression) enthalten, sind die geschweiften Klammern optional:

```
normalisiere <- function(x) (x-min(x)) / (max(x)-min(x))  
# von -7 bis 13 normieren auf 0 bis 1  
normalisiere( c(8,-7,13,2,3) )  
## [1] 0.75 0.00 1.00 0.45 0.50
```

Funktionen um Code mehrfach zu verwenden:

- ▶ `meineFunktion <- function(x) {x+7}`
- ▶ Workspace: Objekte normalerweise im "global environment"
- ▶ Objekte innerhalb einer Funktion in temporärer Umgebung (environment)
- ▶ `return` am Ende von Funktionen ist optional
- ▶ `{}` sind optional, wenn die Funktion nur einen Befehl enthält

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 2.1 Funktionen
- 2.2 Logik
- 2.3 Zeichenketten
- 2.4 Kategorien
- 2.5 Pakete

Boolean = logical = Wahrheitswerte

```
7 > 4
## [1] TRUE      SHIFT + <
```

```
7 > 42
## [1] FALSE
```

T # = TRUE. T kann überschrieben werden, nicht nutzen

```
## [1] TRUE
```

```
! 7 > 4          # NICHT-Operator (Negierung, Gegenteil)
## [1] FALSE
```

```
TRUE & TRUE      SHIFT + 6          # UND-operator
## [1] TRUE
TRUE & FALSE
## [1] FALSE
```

```
TRUE | FALSE     AltGr + <, Option + 7 # ODER-operator
## [1] TRUE
```

Logische Operatoren I: Vektoren

```
x <- c(1, 2, 3, 4, 5)
y <- c(4, 5, 6, 7, 1)
```

Viele Operatoren sind vektorisiert, gehen also für einen ganzen Vektor:

```
x > 3
## [1] FALSE FALSE FALSE TRUE TRUE
y < 6
## [1] TRUE TRUE FALSE FALSE TRUE
```

```
x>3 & y<6      # für Vektor mit mehreren Wahrheitswerten
## [1] FALSE FALSE FALSE FALSE TRUE
x>3 | y<6
## [1] TRUE TRUE FALSE TRUE TRUE
```

`&&` und `||` evaluieren nur den ersten Wert:

```
x>3 && y<6      # für einen einzigen Wahrheitswert
## [1] FALSE
```

```
werte <- c(28, 29, 30, 32, 31, 32)
```

```
werte < 30
## [1] TRUE  TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE
werte <= 30
## [1] TRUE  TRUE  TRUE FALSE FALSE FALSE
```

```
werte > 30
## [1] FALSE FALSE FALSE  TRUE  TRUE  TRUE
werte >= 30
## [1] FALSE FALSE  TRUE  TRUE  TRUE  TRUE
```

```
werte == 30
## [1] FALSE FALSE  TRUE FALSE FALSE FALSE
werte != 30
## [1] TRUE  TRUE FALSE  TRUE  TRUE  TRUE
```

Logische Operatoren III: which, any, all

```
werte <- c(28, 29, 30, 32, 31, 32)
werte < 30
## [1] TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE
```

```
which(werte < 30) # -> Index: Stellen mit TRUE im Vektor
## [1] 1 2
```

```
which(werte == max(werte))
## [1] 4 6
```

```
which.max(werte) # nur der Index des ersten Auftretens!
## [1] 4
```

```
any(werte < 30) # ist mindestens eins der T/F Werte wahr?
## [1] TRUE
```

```
all(werte < 30) # sind alle TRUE?
## [1] FALSE
```

```
werte < 30
## [1] TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE
as.numeric(werte < 30) # intern als Zahl: 0=FALSE, 1=TRUE
## [1] 1 1 0 0 0 0
sum(werte < 30) # Anzahl TRUES im Vektor
## [1] 2
mean(werte < 30) # Anteil TRUE Werte
## [1] 0.3333333
```

Logische Selektion (= Subsetting, Indexing)

```
werte <- c( 28, 29, 30, 32, 31, 32)
namen <- c("a", "b", "c", "d", "e", "f")

namen[4]
## [1] "d"

werte < 30
## [1] TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE FALSE

namen[werte < 30]
## [1] "a" "b"
```

Zum Auswählen mit logischen Werten ("Filtern") sollten beide Vektoren gleich lang sein.

Zusammenfassung

Logische Werte, Größenvergleich:

- ▶ `TRUE`, `FALSE` (nicht nutzen: `T`, `F`)
- ▶ `!`, `&`, `|`, `&&`, `||`
- ▶ `<`, `>`, `<=`, `>=`, `==`, `!=`
- ▶ `which`, `which.max`, `any`, `all`, `sum`, `mean`
- ▶ `vec[logical]`

Gleichheit nur für ganze oder gerundete Zahlen prüfen!

```
0.4 - 0.1 == 0.3          # nicht das erwartete Ergebnis!  
## [1] FALSE
```

```
print(0.4-0.1 , digits=22)  
## [1] 0.3000000000000004
```

```
round(0.4 - 0.1, digits=5) == round(0.3, digits=5)    # OK  
## [1] TRUE
```

```
all.equal(0.4 - 0.1, 0.3) # Hat eine Fehlertoleranz  
## [1] TRUE
```

Variante für Vektoren:

```
berryFunctions::almost.equal(c(6.34, 9.69, 3.77), 9.69)  
## [1] FALSE TRUE FALSE
```

Mehr solcher Tücken im **R inferno**.

```
T           # kann abgekürzt werden, allerdings:  
## [1] TRUE  
T <- 99      # kann T überschrieben werden  
T <- FALSE   # Streich: heimlich beim Kollegen eintippen ;)  
TRUE <- 77    # ist geschützt  
## Fehler in TRUE <- 77: invalid (do_set) left-hand side  
to assignment
```

```
xor(TRUE, FALSE) # EXKLUSIVES ODER (genau 1 von 2 wahr?)  
## [1] TRUE
```

```
isTRUE(T); isTRUE(F); isTRUE(NA) # T, F, F (für NAs)
```

A & B sowie A && B unterscheiden sich in einer weiteren Sache.

Wenn A falsch ist, wird in der zweiten Variante B gar nicht ausgewertet, weil die Ausgabe kein Vektor sein kann, wo noch ein TRUE auftreten könnte.

```
rechnung <- function(out){cat("Rechnung läuft\n") ; out}
```

Ausgabe beider 'rechnung'-Aufrufe:

```
rechnung(FALSE) & rechnung(TRUE)  
## Rechnung läuft  
## Rechnung läuft  
## [1] FALSE
```

Nur die linke Instanz wird ausgeführt:

```
rechnung(FALSE) && rechnung(TRUE)  
## Rechnung läuft  
## [1] FALSE
```

& hat Vorrang vor | (operator precedence, wie * vor +):

```
berryFunctions::TFtest(a|b&c, a|(b&c), (a|b)&c, na=FALSE)
##      a      b      c -- a | b & c -- a | (b & c) -- (a | b) & c
## 1  TRUE   TRUE   TRUE      TRUE      TRUE      TRUE
## 2  TRUE   TRUE FALSE      TRUE      TRUE      FALSE
## 3  TRUE FALSE  TRUE      TRUE      TRUE      TRUE
## 4  TRUE FALSE FALSE      TRUE      TRUE      FALSE
## 5 FALSE   TRUE  TRUE      TRUE      TRUE      TRUE
## 6 FALSE   TRUE FALSE     FALSE     FALSE     FALSE
## 7 FALSE FALSE  TRUE     FALSE     FALSE     FALSE
## 8 FALSE FALSE FALSE     FALSE     FALSE     FALSE
```

Siehe auch [?Syntax](#)

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 2.1 Funktionen
- 2.2 Logik
- 2.3 Zeichenketten
- 2.4 Kategorien
- 2.5 Pakete

Zeichenketten Grundlagen

```
"Moin Moin" # Anführungsstriche:  
'guten Tag' # beide Sorten möglich  
  
satz <- "Dies ist kein einheitlicher Satz"  
class(satz)  
## [1] "character"  
  
nchar(satz) # Anzahl Zeichen  
## [1] 32  
  
tolower(satz)  
## [1] "dies ist kein einheitlicher satz"  
toupper(satz)  
## [1] "DIES IST KEIN EINHEITLICHER SATZ"  
  
substr(satz, start=7, stop=16) # Leerzeichen zählen mit  
## [1] "st kein ei"  
  
cat(satz) # concatenate and type  
## Dies ist kein einheitlicher Satz
```

```
paste("Wort", 1:4) # vektorisiert: 'Wort' 4 mal recycelt
## [1] "Wort 1" "Wort 2" "Wort 3" "Wort 4"

paste("Wort", 1:4, sep="_/") # Eigene Trennzeichenkette
## [1] "Wort_1" "Wort_2" "Wort_3" "Wort_4"

paste0("Wort", 1:4) # Leerer charstring '' als separator
## [1] "Wort1" "Wort2" "Wort3" "Wort4"
```

Mehrere Elemente zu einer einzigen Zeichenkette zusammenfügen:

```
paste0("Wort", 1:4, collapse="-")
## [1] "Wort1-Wort2-Wort3-Wort4"

toString(c("Diese", 1:5, "Wörter")) # kommagetrennt
## [1] "Diese, 1, 2, 3, 4, 5, Wörter"
```

```
satz
## [1] "Dies ist kein einheitlicher Satz"
worte <- strsplit(satz, split=" ")[[1]]
```

`strsplit` gibt eine List als Ausgabe. Um das erste Element auszuwählen (das einen Vektor mit 5 Einträgen hat), nutzen wir doppelte eckige Klammern.

```
worte
## [1] "Dies"           "ist"            "kein"
## [4] "einheitlicher" "Satz"
```

Zeichenketten suchen

```
worte
## [1] "Dies"      "ist"       "kein"      "einheitlicher" "Satz"

match("kein", worte) # Index des ersten gleichen Eintrages
## [1] 3

match("ei", worte)           # nur komplette Übereinstimmungen
## [1] NA

"kein" %in% worte          # Logischer Wert, ob Eintrag vorkommt
## [1] TRUE

grep("ei", worte)           # in welchen Elementen 'ei' vorkommt
## [1] 3 4

grep("ei", worte, value=TRUE) # Worte, die 'ei' enthalten
## [1] "kein"      "einheitlicher"

grepl("ei", worte)          # für jedes Wort: ist 'ei' enthalten?
## [1] FALSE FALSE  TRUE  TRUE FALSE
```

```
worte
## [1] "Dies"      "ist"       "kein"      "einheitlicher" "Satz"

# Ersetze jeweils den ersten Fund:
sub(pattern="ei", replacement="EI", x=worte)
## [1] "Dies"      "ist"       "kEIn"
## [4] "EInheitlicher" "Satz"

# Ersetze alle Vorkommnisse (Aufreten) von 'ei'
gsub(pattern="ei", replacement="EI", x=worte)
## [1] "Dies"      "ist"       "kEIn"
## [4] "EInhEItlicher" "Satz"
```

Zeichenketten (Character strings):

- ▶ "zeichen", 'kette', nchar, tolower, toupper
- ▶ paste (sep,collapse), paste0, toString
- ▶ substr, strsplit
- ▶ match, %in%, grep, grepl
- ▶ sub, gsub

Zeichenketten: Sonderzeichen Backslash

Ein Backslash signalisiert, dass danach was besonderes kommt.

```
cat("Satz mit\nZeilenumbruch") # \newline
## Satz mit
## Zeilenumbruch
cat("1\t9","1234\t9","12345678\t9", sep="\n") # \tabstop
## 1      9
## 1234   9
## 12345678       9
```

AltGr + ⚡,

Option + Shift + 7

```
cat("Satz mit \" Symbol") # Anführungsstrich
## Satz mit " Symbol
cat('Satz mit " Symbol') # weniger Tipparbeit :)
## Satz mit " Symbol
```

```
cat("Satz mit \\ literal") # Backslash selbst
## Satz mit \ literal
```

```
cat("Zeichenkette mit \U{0B00} Grad Symbol") # \Unicode
## Zeichenkette mit ° Grad Symbol
```

```
v <- c("ab-cdefg-hij-k-lmn", "opqrstuvwxyz")
v
## [1] "ab-cdefg-hij-k-lmn" "opqrstuvwxyz"

w <- strsplit(v, split="-")
w # Ein Element für jedes Element im Ursprungsvektor
## [[1]]
## [1] "ab"      "cdefg"   "hij"     "k"       "lmn"
##
## [[2]]
## [1] "opqrstuvwxyz" "wxyz"

w[[1]]
## [1] "ab"      "cdefg"   "hij"     "k"       "lmn"
```

```
worte
## [1] "Dies"      "ist"       "kein"      "einheitlicher" "Satz"

# für jedes Wort: an welcher Stelle 'ei' anfängt
c(regex("ei", worte)) # -1 wenn nicht drin
## [1] -1 -1  2  1 -1
gregexpr("ei", worte) # ditto: alle Stellen -> list
## -1      -1       2       1, 5      -1
```

regulärer Ausdruck (regex): Großschreibung, Anfang / Ende

grep: global search for a regular expression, print out matched lines

```
x <- c("abz", "Abz", "yzab", "abyz", "nichts")
```

```
grep("ab", x, v=T) # value=TRUE abgekürzt für kurze Folien
## [1] "abz"  "yzab" "abyz"
```

```
grep("ab", x, v=T, ignore.case=TRUE) # Großschreibung egal
## [1] "abz"  "Abz"  "yzab" "abyz"
```

```
grep("^ab", x, v=T) # caret: Muss anfangen mit
## [1] "abz"  "abyz"
```

```
grep("yz", x, v=T)
## [1] "yzab" "abyz"
```

```
grep("yz$", x, v=T) # dollar: Muss enden mit
## [1] "abyz"
```

Siehe auch: `startsWith` und `endsWith`

regulärer Ausdruck (regex): Wildcards

```
x <- c("cfu", "cfgu", "cfghu", "cnu", "cmu")
```

```
grep("c.u", x, v=T) # . : irgendein beliebiges Zeichen
## [1] "cfu" "cnu" "cmu"
```

```
grep("c.*u", x, v=T) # .*: egal wieviele beliebige Zeichen
## [1] "cfu"    "cfgu"   "cfghu"  "cnu"    "cmu"
```

```
grep("c.{2}u", x, v=T) # .{2}: genau 2 beliebige Zeichen
## [1] "cfgu"
```

```
grep("c(f|n)u", x, v=T) # (x/y): x oder y
## [1] "cfu" "cnu"
```

```
grep("c[kmf]u", x, v=T) # [xyz]: irgendeins dieser Zeichen
## [1] "cfu" "cmu"
```

```
grep("c[^km]u", x, v=T) # [^xyz]: nicht diese Zeichen (normal ^anfang)
## [1] "cfu" "cnu"
```

```
grep("c[k-o]u", x, v=T) # [a-zA-Z]: zwischen a und Z
## [1] "cnu" "cmu"
```

regulärer Ausdruck (regex): Wiederholungen

repetition quantifiers für Häufigkeit des vorangehenden items:

```
x <- c("cd", "cxd", "cxxd", "cxxxd", "cxxxxd")
```

```
grep("cxd", x, v=T)
```

```
## [1] "cxd"
```

```
grep("cx?d" , x, v=T) # ?: 0 oder 1 mal
```

```
## [1] "cd"   "cxd"
```

```
grep("cx*d" , x, v=T) # *: 0 oder mehrfach
```

```
## [1] "cd"   "cxd"   "cxxd"   "cxxxd"   "cxxxxd"
```

```
grep("cx+d" , x, v=T) # +: einmal oder öfter
```

```
## [1] "cxd"   "cxxd"   "cxxxd"   "cxxxxd"
```

```
grep("cx{2}d" , x, v=T) # {n}: n mal
```

```
## [1] "cxxd"
```

```
grep("cx{2,}d" , x, v=T) # {n,}: n mal oder öfter
```

```
## [1] "cxxd"   "cxxxd"   "cxxxxd"
```

```
grep("cx{2,3}d" , x, v=T) # {n,m}: n bis m mal
```

```
## [1] "cxxd"   "cxxxd"
```

regulärer Ausdruck (regex): Regex Operatoren ignorieren

```
". \ | ( ) [ { ^ $ * + ?" # regex metacharacters
```

```
x <- c("ab.de", "abde", "a^bcde", "bcde")
```

```
grep("^bc", x, value=TRUE)  
## [1] "bcde"
```

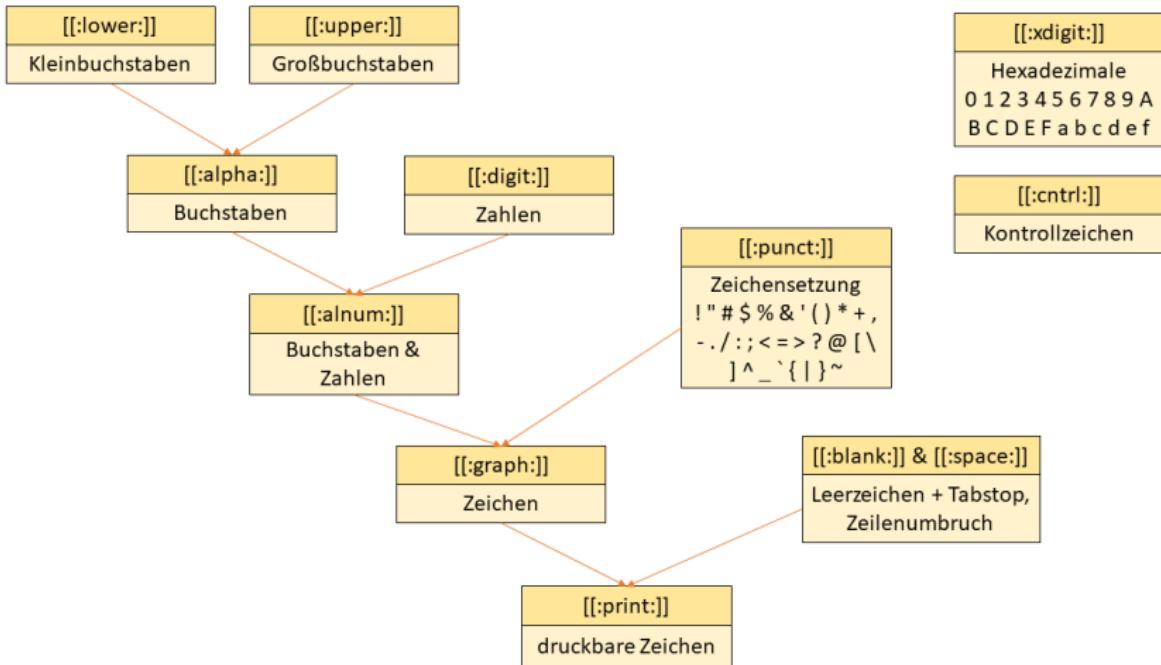
```
grep("^bc", x, value=TRUE, fixed=TRUE) # ohne regex  
## [1] "a^bcde"
```

```
grep(".de", x, value=TRUE)  
## [1] "ab.de" "abde" "a^bcde" "bcde"
```

```
grep("\\.de", x, value=TRUE) # echter Punkt (mit regex)  
## [1] "ab.de"
```

Fertige Sammlungen von Zeichenketten

```
grep("[UV[:digit:]WX]", c("ab3d", "abUd", "abcd"), v=T)  
## [1] "ab3d" "abUd"
```



- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 2.1 Funktionen
- 2.2 Logik
- 2.3 Zeichenketten
- 2.4 Kategorien
- 2.5 Pakete

Factors = kategoriale Variablen

```
factor(c("Boot", "Auto", "Zug", "Auto", "Boot"))
## [1] Boot Auto Zug  Auto Boot
## Levels: Auto Boot Zug
```

Standardmäßig alphabetisch sortiert. Für ordinalskalierte Kategorien:

```
factor(c("Boot", "Auto", "Zug", "Auto", "Boot"),
       levels=c("Boot", "Zug", "Auto"))
## [1] Boot Auto Zug  Auto Boot
## Levels: Boot Zug Auto
```

```
state.region[37] # eingebauter Datensatz mit factors
## [1] West
## Levels: Northeast South North Central West
```

```
class(state.region)
## [1] "factor"
```

```
levels(state.region)
## [1] "Northeast"      "South"          "North Central"
## [4] "West"
```

Häufigkeitstabellen

```
table(state.region) # Anzahl Vorkommen pro Wert
## state.region
##      Northeast          South       North      Central        West
##                 9             16            12            13

noten <- c(3,5,2,3,1,2,2,3,5,2,2,2,1,3,4,4,2,4,3,6,3,1)
table(noten, dnn=NULL) # dnn: Dimensionsnamen weglassen
## 1 2 3 4 5 6
## 3 7 6 3 2 1

names(table(noten))
## [1] "1" "2" "3" "4" "5" "6"

geschlecht <- c("m","m","m","w","d","w","w","m","m","d","w",
               "d","w","m","w","w","w","w","w","w","d","m","w")
table(geschlecht, noten) # Kreuztabelle (contingency table)
##           noten
## geschlecht 1 2 3 4 5 6
##             d 1 2 0 0 0 1
##             m 0 1 4 0 2 0
##             w 2 4 2 3 0 0
```

tagged (grouped) apply: eine Funktion gruppenweise anwenden

```
head(state.name) # Zeichenkette
## [1] "Alabama"      "Alaska"       "Arizona"      "Arkansas"
## [5] "California"   "Colorado"

head(state.region) # Kategorie (factor)
## [1] South West  West  South West  West
## Levels: Northeast South North Central West

nchar(state.name[1:6])
## [1] 7 6 7 8 10 8

tapply(X=state.name, INDEX=state.region, FUN=nchar)
## $Northeast
## [1] 11 5 13 13 10 8 12 12 7
## $South
## [1] 7 8 8 7 7 8 9 8 11 14 8 14 9 5 8 13
## `$North Central`
## [1] 8 7 4 6 8 9 8 8 12 4 12 9
## $West
## [1] 6 7 10 8 6 5 7 6 10 6 4 10 7
```

tagged (grouped) apply: aggregieren

```
mean_charlen <- function(x) mean(nchar(x))

mean_charlen(state.name)
## [1] 8.44

tapply(X=state.name, INDEX=state.region, FUN=mean_charlen)
##      Northeast          South North Central           West
##      10.111111      9.000000     7.916667     7.076923
```

Wenn die Funktion immer genau einen einzigen Wert ausgibt, simplifiziert **tapply** das Ergebnis.

Hier wird die Dimension auf einen Vektor* mit 4 Werten reduziert.

*: technisch gesehen ein Array

Für kleine, temporäre Sachen muss die Funktion nicht separat erstellt werden, sondern kann namenslos verwendet werden (anonymous function):

```
tapply(X=state.name, INDEX=state.region,
       FUN=function(x) mean(nchar(x)) )
```

Intern sind Kategorien als Zahlen hinterlegt:

```
as.numeric(state.region)[c(37, 7, 27)]  
## [1] 4 1 3
```

Falls Zahlen als Factors eingelesen werden, würde `as.numeric(x)` die Levels geben, erst `as.numeric(as.character(x))` die eigentlichen Zahlen:

```
as.numeric(as.factor(19:17))  
## [1] 3 2 1  
  
# NICHT 19, 18, 17, sondern deren Levels
```

Mehr Details zu factors in [Advanced R](#).

Kategoriale Variablen in R:

- ▶ `factor`, `levels`
- ▶ `table` für Häufigkeitstabelle
- ▶ `tapply` (Werte, Kategorien, Funktion)
- ▶ Praktisch um Daten zu gruppieren, zB farblich in Grafiken
- ▶ intern als Integers hinterlegt, vorsicht mit `as.numeric`

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 2.1 Funktionen
- 2.2 Logik
- 2.3 Zeichenketten
- 2.4 Kategorien
- 2.5 Pakete

- ▶ Viele R Nutzer schreiben Code für spezifische Aufgaben.
- ▶ Wenn das auch für andere nützlich sein könnte, wird das oft in einem R Paket verpackt. Das ist eine vorgegebene Form für Quellcode inkl. Dokumentation, Anleitung und Beispiele.
- ▶ Wenn umfangreiche Auflagen erfüllt sind, kann das auf CRAN veröffentlicht werden (Comprehensive R Archive Network).
- ▶ Dort sind >18'000 **Pakete** verfügbar, siehe **CRAN Task Views**

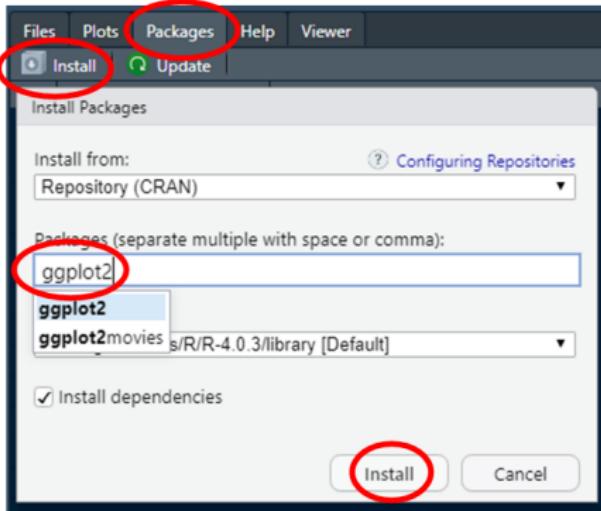
R Pakete installieren

Ein R Package downloaden und installieren:

```
install.packages("ggplot2")
```

Muss nur einmal ausgeführt werden, braucht keine admin Rechte.

Kann auch manuell in Rstudio gemacht werden:



Selten benötigt: Rückgängig machen mit `remove.packages("packagename")`

Ein Paket aus der lokalen Bibliothek (library) laden:

```
library("ggplot2")
```

Ist in jeder neuen R Session benötigt.

Sollte als Code im Skript stehen, damit das Skript reproduzierbar ist.

Danach sind die Funktionen aus dem Paket direkt nutzbar.

Bei gleichnamigen Funktionen in mehreren Paketen wird das verwendet, welches zuletzt geladen wurde.

Damit klar ist, aus welchem Package eine Funktion verwendet wird, ist die `Paket::Funktion()` Struktur

```
rdwd::findID("Potsdam")
```

eindeutiger (und sicherer) als

```
library(rdwd)
```

```
findID("Potsdam")
```

regelmäßig updaten - mit dem Rstudio button oder
`update.packages()`

Für nicht installierte Pakete kommt eine irreführende Fehlermeldung:

```
library("xx")
## Fehler in library("xx"): there is no package called
'xx'
```

Einfach installieren mit:

```
install.packages("xx")
```

```
## package 'xx' is not available for this version of R
```

Diese Warnung deutet meist auf einen Tippfehler hin.

Mit dem Rstudio Packages - Install Menü lassen sich die weitgehend vermeiden.

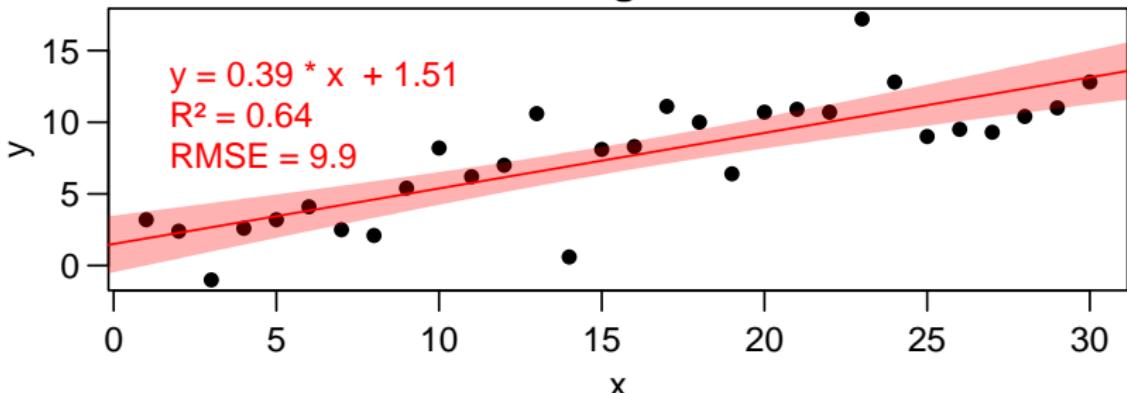
R Pakete bei Bedarf automatisch installieren

```
# Wenn ein Paket nicht verfügbar ist, dann installiere es:
if(!requireNamespace("berryFunctions", quietly=TRUE))
  install.packages("berryFunctions")
```

Mehr unter bookdown.org/brry/course/packages

```
x <- 1:30
y <- c(3.2, 2.4, -1, 2.6, 3.2, 4.1, 2.5, 2.1, 5.4, 8.2,
      6.2, 7, 10.6, 0.6, 8.1, 8.3, 11.1, 10, 6.4, 10.7,
      10.9, 10.7, 17.2, 12.8, 9, 9.5, 9.3, 10.4, 11, 12.8)
berryFunctions::linReg(x, y, pos1="topleft")
```

linear regression



Immer mitgelieferte Pakete (base R):

- ▶ geladen: `base`, `datasets`, `utils`, `grDevices`, `graphics`, `stats`, `methods`
- ▶ manuell zu laden: `compiler`, `grid`, `parallel`, `splines`, `tcltk`, `tools`

Definition (Source code) einer Funktion anschauen:

- ▶ ohne Klammern aufrufen: `append` statt `append()`
- ▶ auf github öffnen: `berryFunctions::funSource` (`F7` mit `rskey`)
 - ▶ base R: github.com/wch/r-source/src/library/base (stats, parallel, ...)
 - ▶ CRAN: github.com/cran
- ▶ `head` - `UseMethod` - `methods(head)` - zB `head.matrix` (`mehr`)
- ▶ `abs` - `.Primitive` - `do_abs` in `src/main/names.c` und `/arithmetic.c`

Online Hilfe CRAN package Funktionen (ohne installieren):

www.rdocumentation.org

R Pakete mit weiterführendem Code (auf CRAN auch geprüft):

- ▶ `install.packages` (einmalig, manuell OK)
- ▶ `library` (in jedem Script)
- ▶ `Paket::Funktion()` macht Ursprung einer Funktion deutlich
- ▶ `requireNamespace` prüft, ob ein Paket geladen werden kann
- ▶ `berryFunctions::funSource` für Quellcode auf github

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

data.frames erstellen

Tabellarische Daten werden in R fast immer als `data.frame` angelegt. Jede Spalte kann einen eigenen Datentyp haben (numeric, character, factor, logical, etc).

```
?data.frame
```

```
bdf <- data.frame(Zahlen=11:14, Buchstaben=letters[1:4],  
                    Booleans=(1:4)>2)  
bdf # bdf: BeispielDataFrame  
##   Zahlen Buchstaben Booleans  
## 1     11          a     FALSE  
## 2     12          b     FALSE  
## 3     13          c      TRUE  
## 4     14          d      TRUE
```

data.frames anschauen

Große Tabellen nicht komplett anzeigen (überfüllt die Console)

-> `str` und `summary` verwenden (und auch `head` / `tail`):

```
str(bdf)
## 'data.frame': 4 obs. of 3 variables:
##   $ Zahlen     : int 11 12 13 14
##   $ Buchstaben: chr "a" "b" "c" "d"
##   $ Booleans   : logi FALSE FALSE TRUE TRUE

summary(bdf) # Hilfreiche Info pro Spalte
##          Zahlen        Buchstaben        Booleans
##  Min.   :11.00    Length:4            Mode :logical
##  1st Qu.:11.75    Class :character   FALSE:2
##  Median :12.50    Mode   :character   TRUE :2
##  Mean   :12.50
##  3rd Qu.:13.25
##  Max.   :14.00
```

Untermenge (Subset): data.frame-Auswahl nach Position (Index)

Zum Indexing eckige Klammern verwenden (wie bei Vektoren), allerdings zwei Dimensionen angeben (kommagetrennt):

```
bdf[ 3 , 1 ] # Wert in der dritten Zeile, erste Spalte  
## [1] 13
```

```
bdf[ , 2 ] # Alle Zeilen, zweite Spalte (-> Vektor)  
## [1] "a" "b" "c" "d"
```

```
bdf[2, ] # Alle Spalten = komplette Zeile (-> data.frame)  
## Zahlen Buchstaben Booleans  
## 2      12          b      FALSE
```

```
?"[ " # für die Dokumentation über Subsetting
```

```
nrow(bdf)  
## [1] 4
```

```
ncol(bdf) # Siehe auch dim(bdf)  
## [1] 3
```

data.frame Auswahl mit Spaltennamen

```
bdf[, "Booleans"]  
## [1] FALSE FALSE TRUE TRUE
```

Mit Rstudio autocompletion (**TAB**-taste): **\$** (**Shift** + **4**)

```
bdf$Booleans  
## [1] FALSE FALSE TRUE TRUE
```

```
colnames(bdf)  
## [1] "Zahlen"      "Buchstaben"   "Booleans"
```

```
colnames(bdf)[2] <- "Zeichen"    # Ändert das Objekt bdf  
bdf  
##   Zahlen Zeichen Booleans  
## 1     11      a    FALSE  
## 2     12      b    FALSE  
## 3     13      c    TRUE  
## 4     14      d    TRUE
```

Auswahl mehrerer Zeilen / Spalten

```
bdf[2:3, ] # Zeilen 2 bis 3  
##   Zahlen Zeichen Booleans  
## 2      12      b    FALSE  
## 3      13      c     TRUE
```

```
bdf[c(4,1), ] # Vektoren zum Indizieren  
##   Zahlen Zeichen Booleans  
## 4      14      d     TRUE  
## 1      11      a    FALSE
```

```
bdf[bdf$Buchstaben=="c", ] # Logische Werte: 'Filtern'  
## [1] Zahlen Zeichen Booleans  
## <0 rows> (or 0-length row.names)
```

```
bdf[-2, 2:1] # Negativ-auswahl wie bei Vektoren  
##   Zeichen Zahlen  
## 1      a    11  
## 3      c    13  
## 4      d    14
```

Spalten ändern / hinzufügen / löschen

bestehende Spalte überschreiben:

```
bdf$Zahlen <- 45:48
```

neue Spalte am Ende hinzufügen:

```
bdf$Zeit3000m <- c(12.08, 10.27, 11.79, 13.50)
```

bdf

```
##   Zahlen Zeichen Booleans Zeit3000m
## 1     45      a    FALSE    12.08
## 2     46      b    FALSE    10.27
## 3     47      c     TRUE    11.79
## 4     48      d     TRUE    13.50
```

Spalte entfernen:

```
bdf$Zeichen <- NULL
```

bdf

```
##   Zahlen Booleans Zeit3000m
## 1     45    FALSE    12.08
## 2     46    FALSE    10.27
## 3     47     TRUE    11.79
## 4     48     TRUE    13.50
```

data.frame Tipps und Tricks

Spaltenauswahl

- ▶ `df[, 2]` wählt immer die zweite Spalte aus
- ▶ `df[, "name"]` ist unabhängig der Spaltenreihenfolge und von der Lesbarkeit her besser verständlich (außer man weiß genau, was die zweite Spalte beinhaltet)
- ▶ `df$name` ist weniger Tipparbeit und kann mit Autocompletion ohne Tippfehler eingegeben werden

Generelle Tipps

- ▶ Wenn `nrow(df) == NULL` zurückgibt, könnte df ein Vektor sein.
- ▶ `NROW(df)` zeigt `length(df)`, wenn df ein Vektor ist.
- ▶ Objekte konvertieren mit `as.data.frame(theMatrix)`
- ▶ Wenn Spaltennamen mit einer Zahl anfangen, wird der Prefix "X" oder "V" (Variable) vorgesetzt. Das kann besonders beim Einlesen von Daten passieren.

(eingebaute) data.frames in Rstudio

Das eingebaute (im R Package `datasets` mitgelieferte) DataFrame `BOD` kann mit `str(BOD)` angeschaut werden.

Die Dokumentation dazu wird geöffnet mit `F1` bzw. `?BOD`.

`data(BOD)` lädt das (zunächst als unausgewertetes `promise`) ins GlobalEnv workspace. Sobald z.B. `head(BOD)` ausgeführt ist, wird das in Rstudio regulär gelistet.

Durch Klicken auf den Objektnamen öffnet sich `View(Objekt)` mit der Möglichkeit zum temporären Sortieren und Selektieren.

Durch Klicken auf den blauen Pfeil öffnet sich `str(Objekt)`.

The screenshot shows the RStudio interface with the 'airquality' dataset loaded into the environment. A red arrow points from the 'View' button in the toolbar to the 'View' button in the tooltip for the 'airquality' object in the environment pane. Another red arrow points from the 'str' button in the tooltip to the 'str' button in the tooltip for the 'BOD' object in the environment pane. A large red box highlights the 'Auswahl + Sortierung' (Selection + Sorting) feature in the 'View' tooltip for the 'airquality' object.

	Ozone	Solar.R	Wind	Temp	Month	Day
53	NA	59	1.7	76	6	22
121	118	225	2.3	94	8	29
126	73	183	2.8	93	9	3
117	168	228	3.1	91	8	25
99	12	228	3.1	91	7	7
62	135	269	4.1	84	7	1
54	NA	91	4.6	76	6	23
66	64	175	4.6	83	7	5
98	66	NA	4.6	87	8	6

View
str

Data
 airquality 153 obs. of 6 variables
 iris 150 obs. of 5 variables
 \$ Sepal.Length: num 5.1 4.9 4.7 4.6 5 5.4 4.6 5 ...
 \$ Sepal.Width: num 3.5 3 3.2 3.1 3.6 3.9 3.4 3 ...
 \$ Petal.Length: num 1.4 1.4 1.3 1.5 1.4 1.7 1.4 ...
 \$ Petal.Width : num 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.4 0.3 ...
 \$ Species : Factor w/ 3 levels "setosa", "vers...

Values
 BOD <Promise>

Tabellen erstellen und indizieren:

- ▶ `data.frame`, `str`, `summary`
- ▶ `nrow`, `ncol`, `colnames`
- ▶ `df[r,c]`, `df[r,]`, `df[,c]`, `df[,"cname"]`,
`df[,c("cn1","cn2")]`
- ▶ `$cname`, `$newCol <-`

Spalte als data.frame ausgeben

```
bdf[ , "Booleans"]                      # -> Vektor
## [1] FALSE FALSE  TRUE  TRUE

bdf[ , "Booleans", drop=FALSE ]    # -> data.frame
##   Booleans
## 1 FALSE
## 2 FALSE
## 3  TRUE
## 4  TRUE

bdf["Booleans"]          # Ohne Komma -> data.frame ACHTUNG
```

Nicht nutzen! `objekt[index]` ist für Vektoren!
R kann das, aber der Leser deines Codes nicht.

```
rownames(bdf) <- c("Alex", "Berry", "Christoph", "Daniel")
bdf
##           Zahlen Booleans Zeit3000m
## Alex          45     FALSE      12.08
## Berry         46     FALSE      10.27
## Christoph    47      TRUE      11.79
## Daniel        48      TRUE      13.50

bdf["Berry", ]
##           Zahlen Booleans Zeit3000m
## Berry         46     FALSE      10.27
```

- ▶ `tabelle[, spalte, drop=FALSE]` wenn ein `data.frame` statt eines Vektors gewollt ist (Syntax `tabelle[spalte]` nicht nutzen)
- ▶ `rownames`

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

Matrizen erstellen (Tabelle eines einzigen Datentyps)

```
matrix(data=1:6 , nrow=2, ncol=3)
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     1     3     5
## [2,]     2     4     6

m <- matrix(1:6 , nrow=2, ncol=3, byrow=TRUE)
m
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     1     2     3
## [2,]     4     5     6

dim(m) ; nrow(m) ; ncol(m) ; length(m)
## [1] 2 3
## [1] 2
## [1] 3
## [1] 6

class(m) # zwei Klassen: array ist Überklasse von matrix
## [1] "matrix" "array"
```

Elementweise Multiplikation zweier Matrizen

```
m
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     1     2     3
## [2,]     4     5     6

m * 2    # Multiplikation per Element
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     2     4     6
## [2,]     8    10    12

n <- matrix(rep(0:1,each=3), ncol=3) ; n
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     0     0     1
## [2,]     0     1     1

m * n                      # pro Element, auch für +, -, etc
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     0     0     3
## [2,]     0     5     6
```

```
colnames(m) <- c("A", "B", "C")      # wie bei data.frames  
rownames(m) <- c("row1", "row2")  
  
m[1,1] <- 989 # Matrix ändern (manipulation)  
  
m  
##          A B C  
## row1  989 2 3  
## row2    4 5 6
```

Matrizen haben einen einzigen Datentyp für das ganze Objekt

Wird ein Element zu einer Zeichenkette geändert, werden alle konvertiert:

```
m[1,1] <- "a"
m
##      A    B    C
## row1 "a" "2" "3"
## row2 "4" "5" "6"
```

Nicht nur Spalten werden als Vektor ausgegeben (wie bei data.frames), sondern auch Zeilen:

```
m["row1", ]
##      A    B    C
## "a" "2" "3"

class(m["row1", ])                                # -> Vektor
## [1] "character"
is.vector(m["row1", ])                            # nur 1 Datentyp -> downcast
## [1] TRUE

m[ c(1,2,3,5) ] # Auswahl mit 1D Vektor -> nächste Folie
## [1] "a" "4" "2" "3"
```

Matrizen sind intern Vektoren - aber mit Dimensionsinfo

```
v <- 1:20      ;      is.matrix(v)
## [1] FALSE

dim(v) <- c(2, 10)
v
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7] [,8] [,9] [,10]
## [1,]     1     3     5     7     9    11    13    15    17    19
## [2,]     2     4     6     8    10    12    14    16    18    20
is.matrix(v)
## [1] TRUE

dim(v) <- NULL
v
##  [1]  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

dim(v) <- c(4, 5)      ;      v
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
## [1,]     1     5     9    13    17
## [2,]     2     6    10    14    18
## [3,]     3     7    11    15    19
## [4,]     4     8    12    16    20
```

`is.atomic(obj)` zeigt TRUE für Vektoren und Matrizen (und Arrays)

Funktion anwenden auf Zeilen / Spalten einer Matrix I

```
m <- matrix(1:12, ncol=4) ; m
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]    1    4    7   10
## [2,]    2    5    8   11
## [3,]    3    6    9   12
```

```
rowSums(m) # + colSums. Achtung: rowsum() ist was anderes
## [1] 22 26 30
```

```
colMeans(m) # siehe auch rowMeans
## [1] 2 5 8 11
```

```
# Funktion 'median' auf Spalten anwenden:
apply(m, MARGIN=2, median)
## [1] 2 5 8 11
```

Funktion anwenden auf Zeilen / Spalten einer Matrix II

```
m
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]     1     4     7    10
## [2,]     2     5     8    11
## [3,]     3     6     9    12
```

MARGIN=1: x Dimension behalten:

```
apply(m, MARGIN=1, FUN=median)
## [1] 5.5 6.5 7.5
```

Weitere Argumente, die an 'median' weitergegeben werden

```
apply(m, MARGIN=1, FUN=median, na.rm=TRUE)
## [1] 5.5 6.5 7.5
```

apply(m, 1, function(x) sum(x==2)) # *anonyme Funktion*

```
## [1] 0 1 0
```

apply(m, 1, FUN=function(x) cat(toString(x), " - "))

```
## 1, 4, 7, 10 - 2, 5, 8, 11 - 3, 6, 9, 12 -
```

```
## NULL
```

`matrix`: Tabelle eines einzigen Datentypes

- ▶ `matrix` (`nrow`, `ncol`, `byrow`), `ncol`, `nrow`, `dim`, `length`
- ▶ Arithmetische Operationen erfolgen per Element
- ▶ `colnames`, `rownames`
- ▶ `rowMeans`, `colSums`, `apply` (`X=mat`, `MARGIN`, `FUN`)

über die Diagonale drehen / spiegeln (Zeilen und Spalten vertauschen)

```
m
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]     1     4     7    10
## [2,]     2     5     8    11
## [3,]     3     6     9    12
```

`t(m) # transponieren`

```
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]     1     2     3
## [2,]     4     5     6
## [3,]     7     8     9
## [4,]    10    11    12
```

Matrizenmultiplikation

```
m <- matrix(1:6 , nrow=2, ncol=3, byrow=TRUE)
```

```
m
```

```
##      [,1] [,2] [,3]
```

```
## [1,]    1    2    3
```

```
## [2,]    4    5    6
```

```
n <- matrix(rep(1:5,each=3), ncol=5)
```

```
n
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
```

```
## [1,]    1    2    3    4    5
```

```
## [2,]    1    2    3    4    5
```

```
## [3,]    1    2    3    4    5
```

```
m %*% n
```

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5]
```

```
## [1,]    6   12   18   24   30
```

```
## [2,]   15   30   45   60   75
```

?"%" # für die Dokumentation Anführungsstriche setzen

Data.frames können umgewandelt werden:

```
d <- data.frame(AA=5:8, BB=6:9)
```

```
class(d)
```

```
## [1] "data.frame"
```

```
dm <- as.matrix(d) ; dm
```

```
## AA BB
```

```
## [1,] 5 6
```

```
## [2,] 6 7
```

```
## [3,] 7 8
```

```
## [4,] 8 9
```

```
class(dm)
```

```
## [1] "matrix" "array"
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

Dateien einlesen (Daten importieren)

Generelle Syntax:

```
eine_tabelle <- read.table(file="dateiname.txt")
```

Eingelesene Daten immer prüfen!

(90% der Fehler Downstream passieren, weil das ignoriert wird):

```
daten_objekt_name <- read.table("Datei.txt")
str(daten_objekt_name)
```

Häufig benötigte Argumente:

```
read.table("Datei.txt", header=TRUE, dec=",", sep="\t")
```

Häufige Argumente für `read.table`

```
read.table(file="Dateiname.txt",      # kann auch URL sein
header=TRUE,                 # Erste Zeile als Spaltennamen lesen
dec=",",                     # Komma als Dezimaltrennzeichen
sep="_",                     # Unterstrich als Spaltentrenner ("|t" -> tabstop)
fill=TRUE,                   # unvollständige Zeilen mit NAs am Ende füllen
skip=12,                     # Erste 12 Zeilen ignorieren (zB mit Metadaten)
comment.char="%",            # Zeilen ab % ignorieren (Standard: # wie in R Code)
na.strings=c(-999, "NN"),     # Kennzeichnung Fehlwerte
stringsAsFactors=FALSE,       # Zeichenketten nicht in factors umwandeln
text="1,2,3",                 # kleiner Beispieldatensatz im Skript
...)
...)
```

Der `stringsAsFactors` Default ist `FALSE` seit R Version 4.0.0 (2020-04-24).

```
read.table(header=TRUE, sep=",", text="
Beispiel, Spalte
Sinn, 42
Bond, 007")
## Beispiel Spalte
## 1 Sinn 42
## 2 Bond 7
```

- ▶ `read.csv()` : comma separated values (`read.table` mit anderen Standardwerten)
- ▶ `read.fwf()` : feste Spaltenbreiten (fixed width formatted data)
- ▶ `readLines()` : Zeilen als Zeichenketten-Vektor einlesen
- ▶ `scan()` : selten benötigt (auch im Kern von `read.table` verwendet)

Komplexe Dateien:

- ▶ `readxl::read_excel()` : Exceldateien, siehe github.com/tidyverse/readxl
- ▶ `readBin()` : für binäre Dateien
- ▶ `raster::raster` / `rgdal::readGDAL` : Geodaten (grd, asc, tif)
- ▶ `ncdf4::nc_open()` + `ncdf4::ncvar_get` : NetCDF Dateien

Häufige Fehlermeldungen mit `read.table`

<p>Error in scan(file, what, nmax, sep, dec, quote, skip, nlines, na.strings, : line _ did not have _ elements</p>	<p><code>header</code>, <code>sep</code> oder <code>fill</code> richtig angeben.</p>
<p>Warning message: <code>In read.table("_txt", _) :</code> <code>incomplete final line found by</code> <code>readTableHeader on 'C:_.txt'</code></p>	<p>Manuell am Ende der Datei einen Zeilenumbruch einfügen (ENTER). line break = line feed (LF) = newline = carriage return (CR).</p>
<p><code>str(gelesenesDataframe)</code> zeigt "factor" in manchen numerischen Spalten</p>	<p>Datei prüfen! ggf. <code>dec</code> richtig angeben</p>

Schwere von Fehlermeldungen:

error: Funktion bricht ab, Lösung notwendig

warning: Funktion macht ggf. was falsches. Nur ignorieren, wenn Grund bekannt aber nicht lösbar.

Daten mit Tausenderzeichen "3,590.18" einlesen:

```
df$spalte <- as.numeric(gsub(","," ", df$spalte))
```

Riskant: Kommas manuell ersetzen:

```
df$spalte <- as.numeric(gsub(",",".", df$spalte))
```

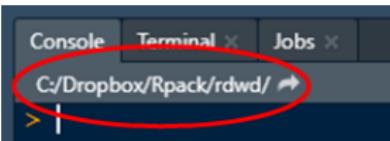
R liest und schreibt Dateien im Arbeitsverzeichnis (working directory).
Quick and dirty:

```
setwd("C:/Users/berry/Projekt_XY") # set working directory
```

Windows Nutzer: \ ist eine Unsitte von Microsoft. Beim Kopieren eines Pfades aus dem Datei-Browser (Explorer) alle ersetzen mit / .

Generell **mit Rstudio Projekten arbeiten**, siehe Folie im Abschnitt 1.2.

Aktuelles Arbeitsverzeichnis zeigen mit `getwd()`



Immer relative Dateinamen nutzen, also Dateien die im WD vorliegen:

```
tabelle <- read.table("Unterordner/Datei.txt")
```

```
dir() # Verfügbare Dateinamen im WD anzeigen
```

Hilfreiche Funktionen:

```
getwd() # Aktuelles Working Directory (WD) zeigen  
setwd("../") # WD eine Ebene höher setzen  
  
dir() # Dateien / Ordner im WD auflisten  
dir(recursive=TRUE) # Auch Items in Unterordner anzeigen  
dir("../other_subfolder") # in anderem Ordner  
  
file.create() # Dateien erstellen  
file.rename() # Dateien umbenennen  
file.remove() # Dateien löschen, siehe auch unlink()  
file.copy() # Dateien kopieren  
file.exists() # Dateinamen auf Existenz prüfen  
  
dir.create() # Ordner erstellen  
dir.exists() # Ordnerpräsenz prüfen
```

```
write.table(x=mynewdata, file="output.txt",
            quote=FALSE, row.names=FALSE,
            fileEncoding="UTF-8")
```

Randnotiz: Daten niemals manuell ändern:

```
newtable <- edit(oldtable)
# oder auch kürzer:
fix(mytable) # behält nichtmal die alten Daten
```

Das wäre nicht reproduzierbar. Besser ein Skript schreiben:

```
mytable[265, "Temperatur"] <- 17.53 # original 175.3 vermutlich Typo
mytable[1:24, "Messwert"] <- NA # falsche Messmethode am ersten Tag
```

Daten einlesen:

- ▶ `setwd`, `dir`, Rstudio projects
- ▶ `file.rename`, `file.exists`, `dir.create`, ...
- ▶ `read.table`(file, header, dec, sep, skip), `write.table`
- ▶ `read.csv`, `read.fwf`, `readxl::read_excel`, `scan`
- ▶ `str`

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen**
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

`cbind / rbind`: Tabellen unverändert und ungeprüft zusammenfügen

`cbind`: Spalten nebeneinander zusammenlegen

`rbind`: Zeilen untereinander zusammenlegen

Die Dimension muss passen und die Spalten/Zeilennamen übereinstimmen

```
bdf <- data.frame(Zahl=11:13, Gruppe=letters[1:3])
```

```
cbind(data.frame(Poisson=rpois(3,80)), bdf) # column-bind
```

```
## Poisson Zahl Gruppe
```

```
## 1      92    11     a
```

```
## 2      74    12     b
```

```
## 3      80    13     c
```

```
zeile <- data.frame(Zahl=2, Gruppe="neu") ; zeile
```

```
## Zahl Gruppe
```

```
## 1    2    neu
```

```
rbind(bdf, zeile) # row-bind: Spaltennamen müssen gleich sein
```

```
## Zahl Gruppe
```

```
## 1    11     a
```

```
## 2    12     b
```

```
## 3    13     c
```

```
## 4    2     neu
```

Matrizen verbinden I: rbind

```
p <- matrix(11:16, ncol=3) # 2 x 3
q <- matrix(21:32, ncol=4) # 3 x 4
r <- matrix(31:39, ncol=3) # 3 x 3
```

p	q	r
11 13 15	21 24 27 30	31 34 37
12 14 16	22 25 28 31	32 35 38
23 26 29 32	33 36 39	

`rbind(p,r)` # *row-bind: Anzahl Spalten muss gleich sein*

```
##      [,1] [,2] [,3]
## [1,]    11   13   15
## [2,]    12   14   16
## [3,]    31   34   37
## [4,]    32   35   38
## [5,]    33   36   39
```

`rbind(p,q)` # *Error: 3 und 4 Spalten*

`## Fehler in rbind(p, q): number of columns of matrices
must match (see arg 2)`

Matrizen verbinden II: cbind

```
p <- matrix(11:16, ncol=3) # 2 x 3
q <- matrix(21:32, ncol=4) # 3 x 4
r <- matrix(31:39, ncol=3) # 3 x 3
```

p	q	r
11 13 15	21 24 27 30	31 34 37
12 14 16	22 25 28 31	32 35 38
23 26 29 32	33 36 39	

`cbind(q,r) # column-bind: nrow muss gleich sein`

```
##      [,1] [,2] [,3] [,4] [,5] [,6] [,7]
## [1,]    21   24   27   30   31   34   37
## [2,]    22   25   28   31   32   35   38
## [3,]    23   26   29   32   33   36   39
```

`cbind(p,r) # Error: 2 und 3 Zeilen`

`## Fehler in cbind(p, r): number of rows of matrices must
match (see arg 2)`

```
Teilnehmer <- read.table(  
  header=TRUE, text="  
Name Alter  
Alexa 27  
Berry 32  
Chris 14  
David 45")
```

```
Probanden <- read.table(  
  header=TRUE, text="  
Person Groesse Gewicht  
Berry 1.83 82  
Chris 1.43 51  
David 1.75 72  
Erika 1.67 57")
```

Informationen aus beiden Datensätzen zusammenfügen (für Namen die in beiden Tabellen vorkommen):

```
merge(Teilnehmer, Probanden, by.x="Name", by.y="Person")  
##   Name Alter Groesse Gewicht  
## 1 Berry  32    1.83    82  
## 2 Chris  14    1.43    51  
## 3 David  45    1.75    72
```

Daten verknüpfen: `merge` ||

Bei gleichen Namen erfolgt die Spaltenwahl automatisch:

```
colnames(Probanden)[1] <- "Name"
```

```
merge(Teilnehmer, Probanden)
##   Name Alter Groesse Gewicht
## 1 Berry    32     1.83     82
## 2 Chris    14     1.43     51
## 3 David    45     1.75     72
```

Alle Zeilen behalten, fehlende Angaben mit NAs füllen:

```
merge(Teilnehmer, Probanden, all=TRUE) # all.x / all.y
##   Name Alter Groesse Gewicht
## 1 Alexa   27      NA      NA
## 2 Berry    32     1.83     82
## 3 Chris    14     1.43     51
## 4 David    45     1.75     72
## 5 Erika    NA     1.67     57
```

Daten zusammenführen:

- ▶ `cbind` , `rbind`
- ▶ `merge` (`by`, `all`)

Mehrere Tabellen zusammenführen I: Datensatz

```
LIST_WITH_DFS <- list(  
  data.frame(date=1:4, AA=11:14),  
  data.frame(date=2:6, BB=22:26),  
  data.frame(date=3:7, CC=33:37)  
)  
LIST_WITH_DFS  
## [[1]]  
##   date AA  
## 1     1 11  
## 2     2 12  
## 3     3 13  
## 4     4 14  
##  
## [[2]]  
##   date BB  
## 1     2 22  
## 2     3 23  
## 3     4 24  
## 4     5 25  
## 5     6 26  
##  
## [[3]]  
##   date CC  
## 1     3 33  
## 2     4 34  
## 3     5 35  
## 4     6 36  
## 5     7 37
```

```
LIST_WITH_DFS
## [[1]]
##   date AA
## 1 1 11
## 2 2 12
## 3 3 13
## 4 4 14
```

```
## [[2]]
##   date BB
## 1 2 22
## 2 3 23
## 3 4 24
## 4 5 25
## 5 6 26
```

```
## [[3]]
##   date CC
## 1 3 33
## 2 4 34
## 3 5 35
## 4 6 36
## 5 7 37
```

```
Reduce(merge, LIST_WITH_DFS)
```

```
##   date AA BB CC
## 1 1 11 23 33
## 2 2 12 22 34
```

```
Reduce(function(...) merge(..., all=TRUE), LIST_WITH_DFS)
```

```
##   date AA BB CC
## 1 1 11 NA NA
## 2 2 12 22 NA
## 3 3 13 23 33
## 4 4 14 24 34
## 5 5 NA 25 35
## 6 6 NA 26 36
## 7 7 NA NA 37
```

```
LIST_WITH_DFS <- lapply(LIST_WITH_DFS, function(x)
                           {colnames(x) <- c("date", "XX"); x})
```

LIST_WITH_DFS

```
## [[1]]                                ## [[2]]                                ## [[3]]
##   date XX                            ##   date XX                            ##   date XX
## 1   1 11                             ## 1   2 22                             ## 1   3 33
## 2   2 12                             ## 2   3 23                             ## 2   4 34
## 3   3 13                             ## 3   4 24                             ## 3   5 35
## 4   4 14                             ## 4   5 25                             ## 4   6 36
## 5   6 26
```

```
do.call(rbind, LIST_WITH_DFS)
```

```
##   date XX
## 1   1 11
## 2   2 12
## 3   3 13
## 4   4 14
## 5   2 22
## 6   3 23
## 7   4 24
## 8   5 25
## 9   6 26
## 10  3 33
## 11  4 34
## 12  5 35
## 13  6 36
## 14  7 37
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

```
df <- data.frame(A=11:20, B=21:30)
df[3,2] <- NA
```

```
df
##      A   B
## 1    11  21
## 2    12  22
## 3    13  NA
## 4    14  24
## 5    15  25
## 6    16  26
## 7    17  27
## 8    18  28
## 9    19  29
## 10   20  30
```

```
is.na(df)
##           A     B
## [1,] FALSE FALSE
## [2,] FALSE FALSE
## [3,] FALSE  TRUE
## [4,] FALSE FALSE
## [5,] FALSE FALSE
## [6,] FALSE FALSE
## [7,] FALSE FALSE
## [8,] FALSE FALSE
## [9,] FALSE FALSE
## [10,] FALSE FALSE
```

```
na.omit(df)
##      A   B
## 1    11  21
## 2    12  22
## 4    14  24
## 5    15  25
## 6    16  26
## 7    17  27
## 8    18  28
## 9    19  29
## 10   20  30
```

na.rm-Argument

```
df
##      A   B
## 1  11 21
## 2  12 22
## 3  13 NA
## 4  14 24
## 5  15 25
## 6  16 26
## 7  17 27
## 8  18 28
## 9  19 29
## 10 20 30
```

```
mean(df$A)
## [1] 15.5
```

```
mean(df$B)
## [1] NA
```

Mittelwert der nicht-NA Einträge:

```
mean(df$B, na.rm=TRUE)
## [1] 25.77778
```

Nah dran am Original:

```
mean(21:30)
## [1] 25.5
```

Für Summe gefährlich (wächst mit Anzahl):

```
sum(df$B, na.rm=TRUE)
## [1] 232
```

sum(21:30) # na.rm unterschätzt Summe !!

```
## [1] 255
```

NA-Imputation: fehlende Werte mit Schätzungen füllen

Mit Mittelwert / Median / Min / Max / ... der anderen Werte füllen:

```
df$B[is.na(df$B)] <- mean(df$B, na.rm=TRUE)
```

```
df$B[is.na(df$B)] <- median(df$B, na.rm=TRUE)
```

Letzte Beobachtung fortsetzen (locf: last observation carried forwards):

```
df[3,2] <- NA
zoo::na.locf(df$B)           # Zuweisung nicht vergessen
## [1] 21 22 22 24 25 26 27 28 29 30
```

Linear interpolieren:

```
approx(df$B, n=length(df$B))$y # y siehe nächste Folie
## [1] 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
zoo::na.approx(df$B) # weniger Tippen :)
## [1] 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
```

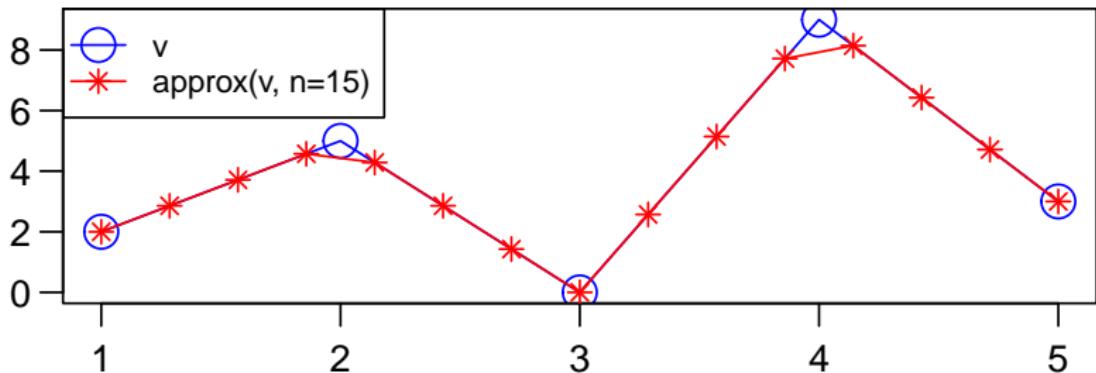
Komplexe (multivariate) Modellierung -> Statistikkurse

Hinweis zu `approx`

`approx` gibt immer die Elemente `x` und `y` raus, unabhängig der ursprünglichen Spaltennamen.

So können Grafikfunktionen direkt damit umgehen.

```
v <- c(2,5,0,9,3)
approx(v, n=15)
## $x
## [1] 1.000000 1.285714 1.571429 1.857143 2.142857 2.428571 2.714286 3.000000
## [9] 3.285714 3.571429 3.857143 4.142857 4.428571 4.714286 5.000000
## $y
## [1] 2.000000 2.857143 3.714286 4.571429 4.285714 2.857143 1.428571 0.000000
## [9] 2.571429 5.142857 7.714286 8.142857 6.428571 4.714286 3.000000
```



Fehldaten managen:

- ▶ `NA` , `is.na`
- ▶ `na.omit`
- ▶ `mean` / `median` / `sum` / ...(`na.rm=TRUE`)

NA-imputation:

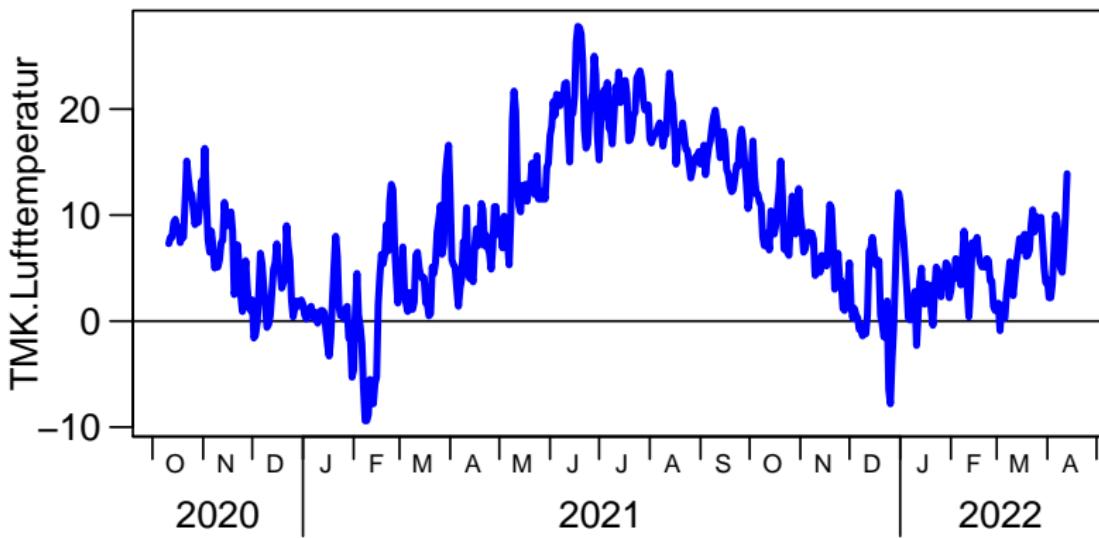
- ▶ `x[is.na(x)] <- median(x, na.rm=TRUE)`
- ▶ `x <- zoo::na.locf(x)`
- ▶ `x <- zoo::na.approx(x)`

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

- ▶ NOAA Wetterdaten ncdc.noaa.gov/pub/data (USA)
- ▶ DWD Wetterdaten opendata.dwd.de (Deutschland), [rdwd](#)
- ▶ data.fivethirtyeight.com
- ▶ data.unicef.org (ggf .xls als Dateiendung hinzufügen)
- ▶ github.com/okulbilisim/awesome-datasience#data-sets
- ▶ github.com/caesar0301/awesome-public-datasets
- ▶ ropensci.org/packages/index.html
- ▶ dataviz.tools/category/data-sources/
- ▶ StorytellingWithData dataviz challenge 2018
- ▶ datasetsearch.research.google.com

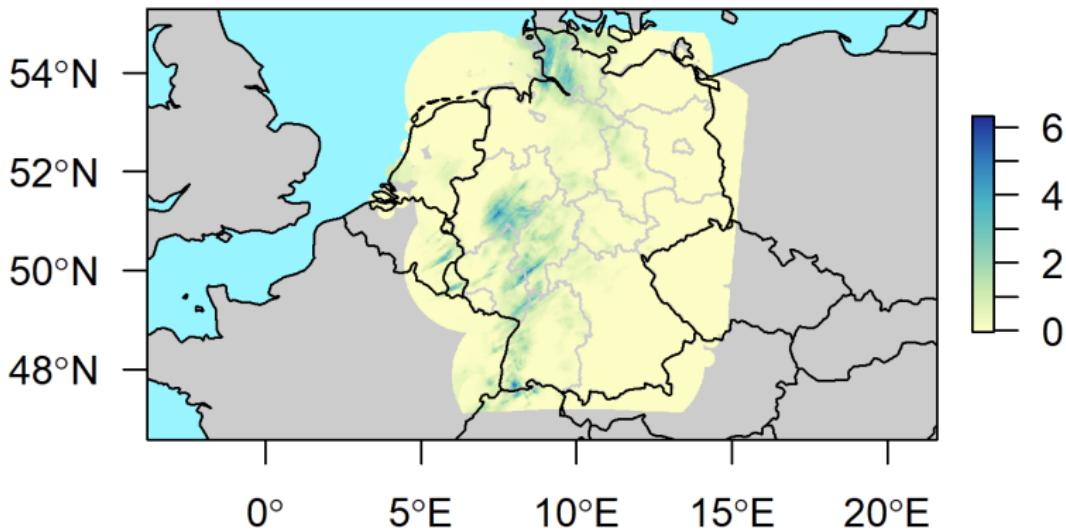
```
# install.packages("rdwd")
library(rdwd)
link <- selectDWD("Potsdam", res="daily", var="kl", per="r")
clim <- dataDWD(link, varnames=TRUE)
plotDWD(clim, "TMK.Lufttemperatur", line0=TRUE)
```



DWD-Radardaten automatisiert einlesen mit rdwd

```
link <- "hourly/radolan/historical/bin/2020/RW202004.tar.gz"  
rad <- dataDWD(link, base=gridbase, joinbf=TRUE, selection=702)  
plotRadar(rad$dat, main="2020-04-30 05:50 [mm] ")
```

2020-04-30 05:50 [mm]



Datenquellen

- ▶ Beispiele für frei verfügbare Ressourcen
- ▶ `rdwd` für Wetterdaten

Für diese Lektion gibt es keine Übungsaufgaben

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken
- 3.1 DataFrames
- 3.2 Matrizen
- 3.3 Dateien einlesen
- 3.4 Zusammenführen
- 3.5 Fehldaten
- 3.6 Datenquellen
- 3.7 Listen, Daten- & Objekttypen

Listen I

Eine `list` kann pro Element ein beliebiges R Objekt enthalten:

```
beispiel <- list(Ersteller="Berry",
                    Tabelle=data.frame(a=426:424, b=rexp(3)),
                    Sequenz=303:297 )
```

```
beispiel
## $Ersteller
## [1] "Berry"
## $Tabelle
##      a      b
## 1 426 0.2667456
## 2 425 0.9632938
## 3 424 1.6303822
## $Sequenz
## [1] 303 302 301 300 299 298 297
```

```
str(beispiel) # siehe auch head, tail, summary
## List of 3
## $ Ersteller: chr "Berry"
## $ Tabelle : 'data.frame': 3 obs. of  2 variables:
##   ..$ a: int [1:3] 426 425 424
##   ..$ b: num [1:3] 0.267 0.963 1.63
## $ Sequenz : int [1:7] 303 302 301 300 299 298 297
```

Listen II

```
beispiel[3]    # -> list (mit 1 Element)
## $Sequenz
## [1] 303 302 301 300 299 298 297
beispiel[[3]] # -> Element selbst (Hier: Vektor 7 Zahlen)
## [1] 303 302 301 300 299 298 297

beispiel$Sequenz # mit Namen indizieren
## [1] 303 302 301 300 299 298 297
beispiel$NichtExistent # -> kein Fehler!!, sondern NULL
## NULL

lapply(beispiel, class) # class auf jedes Element anwenden
## $Ersteller
## [1] "character"
## $Tabelle
## [1] "data.frame"
## $Sequenz
## [1] "integer"

sapply(unname(beispiel), class) # simplifizieren
## [1] "character" "data.frame" "integer"
```

Datentypen I

R hat verschiedene Datentypen: Zahlen wie 42.6, Zeichenketten wie "R ist toll", Koplexe Zahlen wie 8+4i, Kategorien mit as.factor(c("blau", "rot")), Logische oder Boolsche Werte c(TRUE, FALSE) und weitere.

Funktionen und Operatoren können nicht immer alle verarbeiten:

```
zahl <- "1.3"
2 * zahl           # Fehler, weil 'zahl' eine Zeichenkette ist
## Fehler in 2 * zahl: non-numeric argument to binary operator
2 * as.numeric(zahl)
## [1] 2.6

zahl             # 'zahl' ist unverändert eine Zeichenkette
## [1] "1.3"
is.numeric(zahl)
## [1] FALSE
mode(zahl) # intern noch präziser: typeof
## [1] "character"
```

Beim Zusammenfassen mehrerer Datentypen werden diese (ohne Warnmeldung) transformiert:

```
c(42, "67")  
## [1] "42" "67"
```

```
c(42, TRUE)  
## [1] 42  1
```

Weil ein Vektor in R immer aus einem einzigen Datentyp besteht (für alle Einträge).

Übersicht: Datentypen (in Änderungsreihenfolge, order of coercion)

`c(TRUE, 7) -> 1, 7 ; c(7, "z") -> "7" "z"`

adv-r.had.co.nz/Data-structures

Beschreibung	Beispiel	typeof	class
Leere Menge	<code>NULL</code>	<code>NULL</code>	<code>NULL</code>
Nicht angegeben	<code>NA</code>	<code>logical</code>	<code>logical</code>
Wahrheitswerte	<code>c(T, F, FALSE, TRUE)</code>	<code>logical</code>	<code>logical</code>
Kategorie	<code>factor("Links")</code>	<code>integer</code>	<code>factor</code>
Ganze Zahlen	<code>4:6 ; 7L</code>	<code>integer</code>	<code>integer</code>
Kommazahlen	<code>8.7</code>	<code>double</code>	<code>numeric</code>
Komplexe Zahlen	<code>5+3i</code>	<code>complex</code>	<code>complex</code>
Zeichenkette	<code>"R ist toll"</code>	<code>character</code>	<code>character</code>
Datum	<code>as.Date("2020-06-26")</code>	<code>double</code>	<code>Date</code>
Uhrzeit	<code>Sys.time()</code>	<code>double</code>	<code>POSIXct</code>
Funktion	<code>ncol</code>	<code>closure</code>	<code>function</code>

`as.character(3.14)` konvertiert Datentypen ; `is.integer(4:6)` prüft.

`str` zeigt eine Abkürzung von `class`. Weitere seltene Typen: raw, environment, promise, ...

`mode` ≈ `typeof`, aber integer/double -> numeric ; closure/special/builtin -> function.

Bei date/time bestimmt das zuerst auftretende die Output class.

Alles was in R existiert, ist ein Objekt (auch eine Funktion)

Objekte haben Klassen und dafür bestehen Methoden.

`str` z.B. zeigt unterschiedliche Ausgaben, abhängig der `class`.

```
v <- c(6.3,2) ; df <- data.frame(1:4,4:1) ; m <- matrix(1:6)
```

```
str(v)
```

```
## num [1:2] 6.3 2
```

```
str(df)
```

```
## 'data.frame': 4 obs. of 2 variables:
```

```
## $ X1.4: int 1 2 3 4
```

```
## $ X4.1: int 4 3 2 1
```

```
str(m)
```

```
## int [1:6, 1] 1 2 3 4 5 6
```

```
str	append)
```

```
## function (x, values, after = length(x))
```

```
length(v) # für Vektoren dim(m)
```

```
## [1] 2 ## [1] 6 1
```

```
colnames(df) # für Tabellen which(v > 4) # für logicals
```

```
## [1] "X1.4" "X4.1" ## [1] 1
```

Übersicht: Objekttypen

Objekt	Beispiel	typeof	class
Vektor	<code>c(pi, 2)</code> siehe Datentypen
Matrix	<code>matrix(9:15, ncol=2)</code>	...	matrix
Array	<code>array(letters, dim=c(2,6,4))</code>	...	array
Tabelle	<code>data.frame(4:5,B=c("a","b"))</code>	list	data.frame
Liste	<code>list(e11=7:15, e12="big")</code>	list	list
Funktion	<code>function(x) 12+0.5*x</code>	closure	function
...	<code>lm(b ~ a)</code>	list	lm

Eine `matrix` hat einen einzigen Datentyp. Wenn ein Element geändert wird, werden alle konvertiert (in **Änderungsreihenfolge**).

Ein `data.frame` kann mehrere Datentypen haben, einen pro Spalte.

Eine `list` kann alles kombinieren, auch eine weitere Liste.

`is.atomic(Objekt)` zeigt TRUE (**vector, matrix, array**) oder FALSE

`is.vector(Objekt)` zeigt TRUE sehr unerwartet

`as.matrix(Objekt)` konvertiert ein Objekt zwangsweise.

Listen:

- ▶ `list`, `str`, `summary` etc.
- ▶ `list$elementname`, `list[[index]]`
- ▶ `lapply`, `sapply(liste, funktion)`

Übersicht über Daten- und Objekt-typen:

- ▶ Datentypen: numeric (integer,double), character, logical, complex
- ▶ `class`, `mode`, `typeof`
- ▶ Objekttypen: vector, matrix, array, data.frame, list
- ▶ Übersichten

Für diese Lektion gibt es keine Übungsaufgaben

Vorsicht bei `is.vector`:

- FALSE für `factor` / `date` / `time` - TRUE für `list` siehe SO Frage

Nutze `is.atomic(x) && is.null(dim(x))`

Datentypen

	<code>is.vector</code>	<code>is.atomic</code>
<code>null</code>	FALSE	TRUE
<code>na</code>	TRUE	TRUE
<code>logi</code>	TRUE	TRUE
<code>factor</code>	FALSE	TRUE
<code>int</code>	TRUE	TRUE
<code>double</code>	TRUE	TRUE
<code>complex</code>	TRUE	TRUE
<code>char</code>	TRUE	TRUE
<code>date</code>	FALSE	TRUE
<code>time</code>	FALSE	TRUE
<code>func</code>	FALSE	FALSE

Objekttypen

	<code>is.vector</code>	<code>is.atomic</code>
<code>vector</code>	T/F	TRUE
<code>matrix</code>	FALSE	TRUE
<code>array</code>	FALSE	TRUE
<code>data.frame</code>	FALSE	FALSE
<code>list</code>	TRUE	FALSE
<code>function</code>	FALSE	FALSE
<code>lm</code>	FALSE	FALSE

```
class(m)
## [1] "matrix" "array"
```

Nicht verwenden:

```
if( class(m) == "matrix" ) message("m ist eine Matrix")
## Warning in if (class(m) == "matrix") message("m ist eine
Matrix"): the condition has length > 1 and only the first
element will be used
## m ist eine Matrix
```

verwenden:

```
if( inherits(m, "matrix") ) message("m ist eine Matrix")
## m ist eine Matrix
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick



Quellen: mirlab.org, desirableplants.com, 3.bp.blogspot.com

```
head(iris)
##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
## 1          5.1         3.5          1.4         0.2  setosa
## 2          4.9         3.0          1.4         0.2  setosa
## 3          4.7         3.2          1.3         0.2  setosa
## 4          4.6         3.1          1.5         0.2  setosa
## 5          5.0         3.6          1.4         0.2  setosa
## 6          5.4         3.9          1.7         0.4  setosa

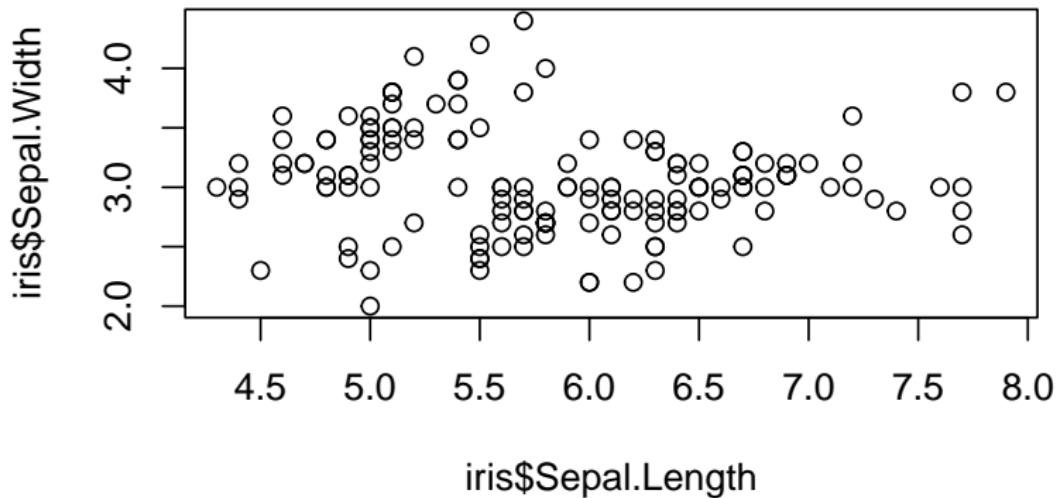
str(iris)
## 'data.frame': 150 obs. of  5 variables:
## $ Sepal.Length: num  5.1 4.9 4.7 4.6 5 ...
## $ Sepal.Width : num  3.5 3 3.2 3.1 3.6 ...
## $ Petal.Length: num  1.4 1.4 1.3 1.5 1.4 ...
## $ Petal.Width : num  0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 ...
## $ Species: Factor w/ 3 levels "setosa","versicolor",...: 1 1 1 1 ...

?iris # Detaillierte Dokumentation
```

Streudiagramme (Scatterplots): `plot(x,y)`

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
# Zeilenumbrüche mit eingerücktem Code (indentation)
# verhindern nerviges horizontales Scrollen
```

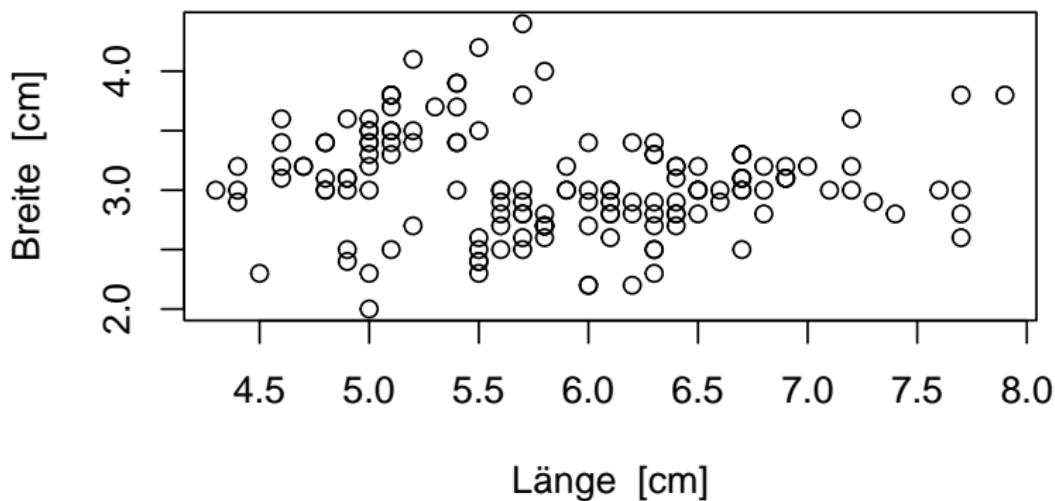
Beim Fehler "Figure margins too large",
das Rstudio Plots Panel größer ziehen.



Achsenbeschriftungen, Titel

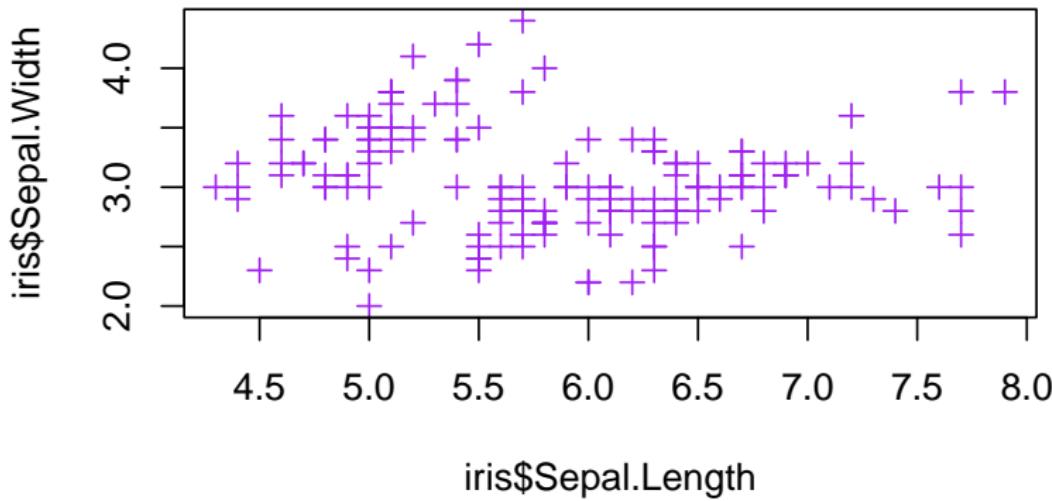
```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      xlab="Länge [cm]", ylab="Breite [cm]",  
      main="Kelchblätter Schwertlilien") # Überschrift
```

Kelchblätter Schwertlilien



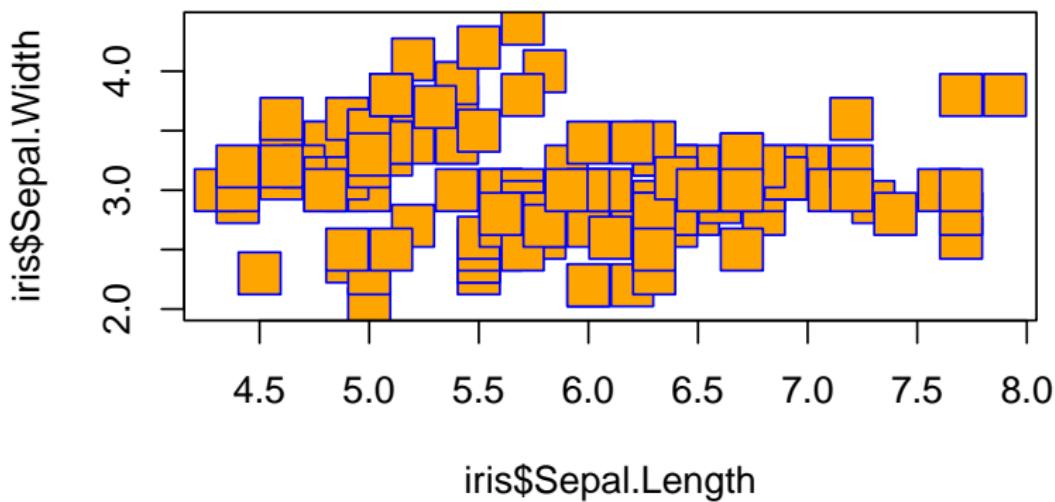
Farbe, Symbol |

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      col="purple", pch=3)  
# col: COLOR, pch: Point Character
```



Farbe, Symbol II

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      pch=22, col="blue", bg="orange", cex=2.8)  
# bg: BackGround, cex: Character Expansion
```



plot (x, y, pch = _)

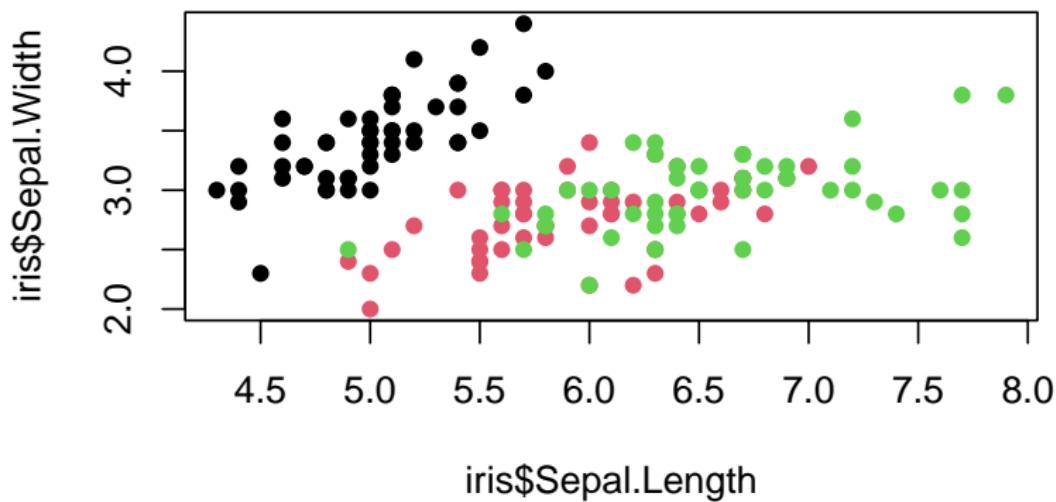
0	1	2	3	4	5	6	
□	○	△	+	×	◇	▽	
7	8	9	10	11	12	13	14
⊗	*	◇	⊕	⊗	田	⊗	□
15	16	17	18	19	20		
■	●	▲	◆	●	●		
21	22	23	24	25	21:25 mit bg füllbar		
●	■	◆	▲	▼			

Farben Übersicht (mehr in bF Anhang)

1	peru	dimgrey	indianred	darksalmon	mediumpurple
2	pink	hotpink	lawngreen	darkviolet	midnightblue
3	plum	magenta	lightblue	dodgerblue	darkgoldenrod
4	snow	oldlace	lightcyan	ghostwhite	darkslateblue
5	white	skyblue	lightgray	lightcoral	darkslategray
6	azure	thistle	lightgrey	lightgreen	darkslategrey
7	beige	cornsilk	lightpink	mediumblue	darkturquoise
8	black	darkblue	limegreen	papayawhip	lavenderblush
#0399FF	brown	darkcyan	mintcream	powderblue	lightseagreen
grey	coral	darkgray	mistyrose	sandybrown	palegoldenrod
grey1	green	darkgrey	olivedrab	whitesmoke	paleturquoise
grey5	ivory	deeppink	orangered	darkmagenta	palevioletred
grey20	khaki	honeydew	palegreen	deepskyblue	blanchedalmond
grey40	linen	lavender	peachpuff	floralwhite	cornflowerblue
grey60	wheat	moccasin	rosybrown	forestgreen	darkolivegreen
grey80	bisque	navyblue	royalblue	greenyellow	lightgoldenrod
grey99	maroon	seagreen	slateblue	lightsalmon	lightslateblue
grey100	orange	seashell	slategray	lightyellow	lightslategray
red	orchid	aliceblue	slategrey	navajowhite	lightslategrey
tan	purple	burlywood	steelblue	saddlebrown	lightsteelblue
tan1	salmon	cadetblue	turquoise	springgreen	mediumseagreen
tan3	sienna	chocolate	violetred	yellowgreen	mediumslateblue
tan4	tomato	darkgreen	aquamarine	antiquewhite	mediumturquoise
blue	violet	darkkhaki	blueviolet	darkseagreen	mediumvioletred
cyan	yellow	firebrick	chartreuse	lemonchiffon	mediumaquamarine
gold	darkred	gainsboro	darkorange	lightskyblue	mediumspringgreen
navy	dimgray	goldenrod	darkorchid	mediumorchid	lightgoldenrodyellow

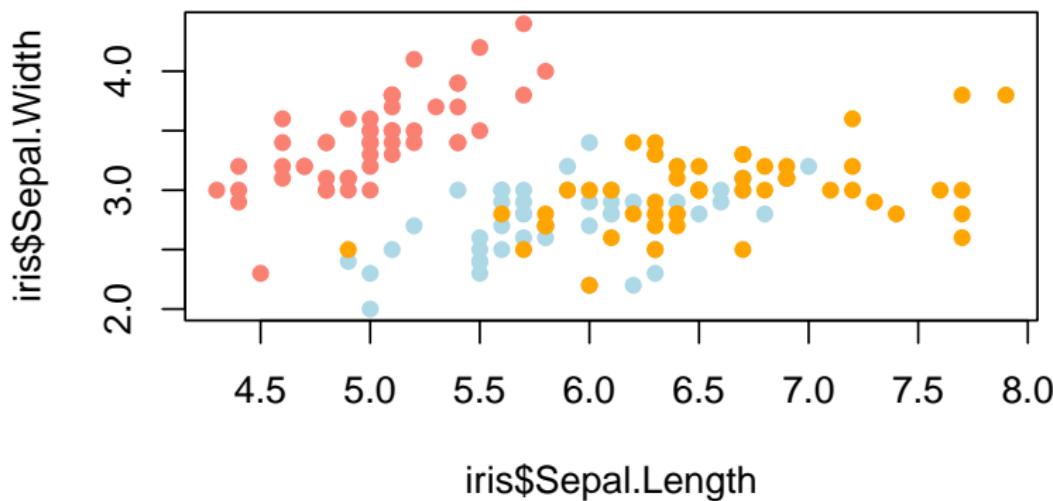
Vector mit Farben

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width, pch=16,  
      col=iris$Species) # Species ist ein factor  
# Schnellfarben 1:3 aus palette()
```



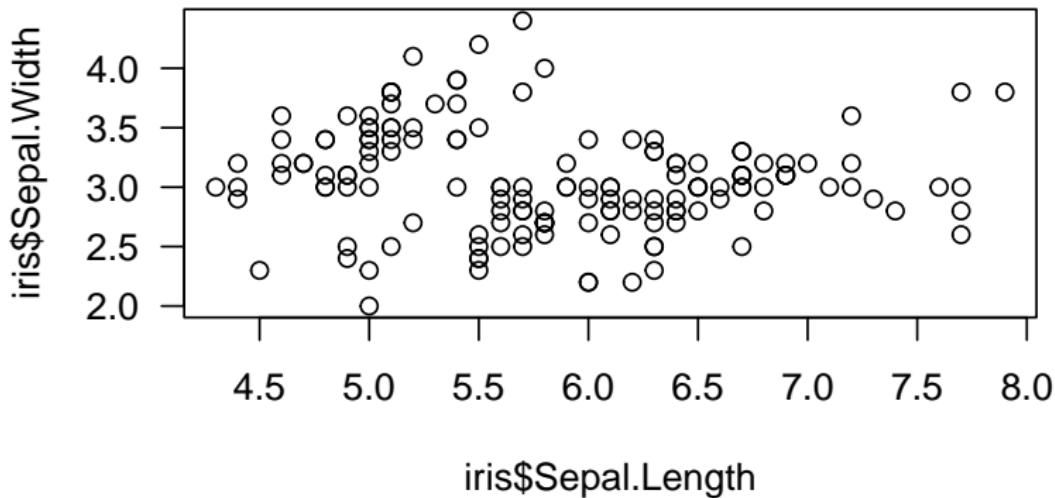
Vektor mit selbst definierten Farben

```
farben <- c("salmon", "lightblue", "orange")
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width, pch=16,
      col=farben[iris$Species])
```



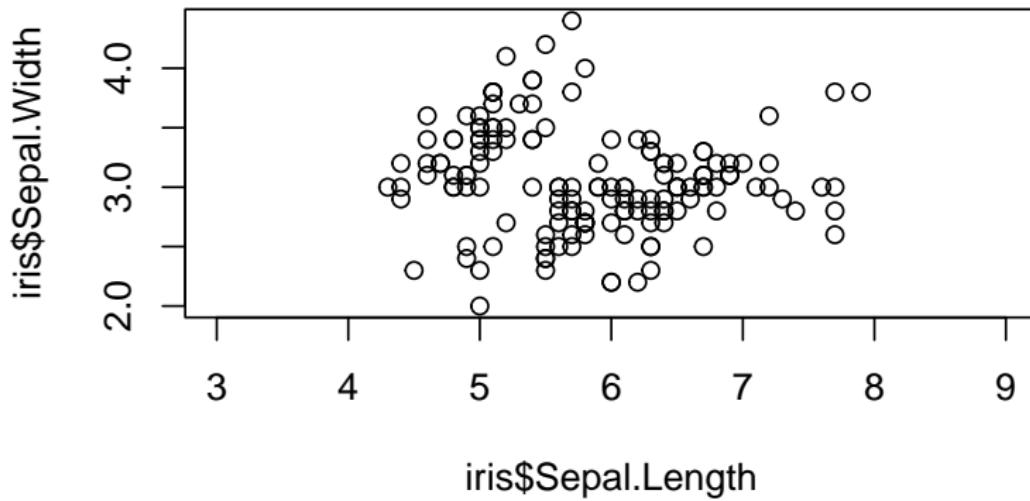
Orientierung Achsenbeschriftung

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      las=1)  
# las: LabelAxisStyle (Zahlen aufrecht)
```



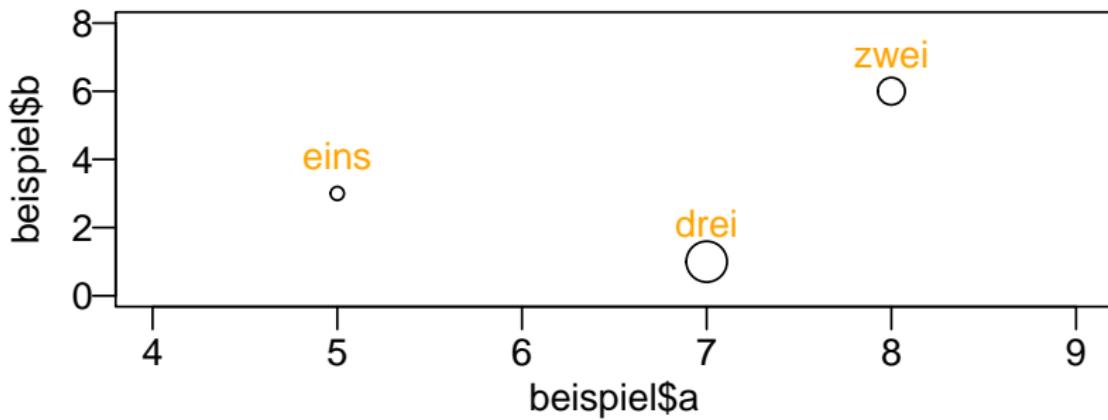
Achsenbereich

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      xlim=c(3,9) )  
      # xlim: X axis LIMits, analog für ylim
```



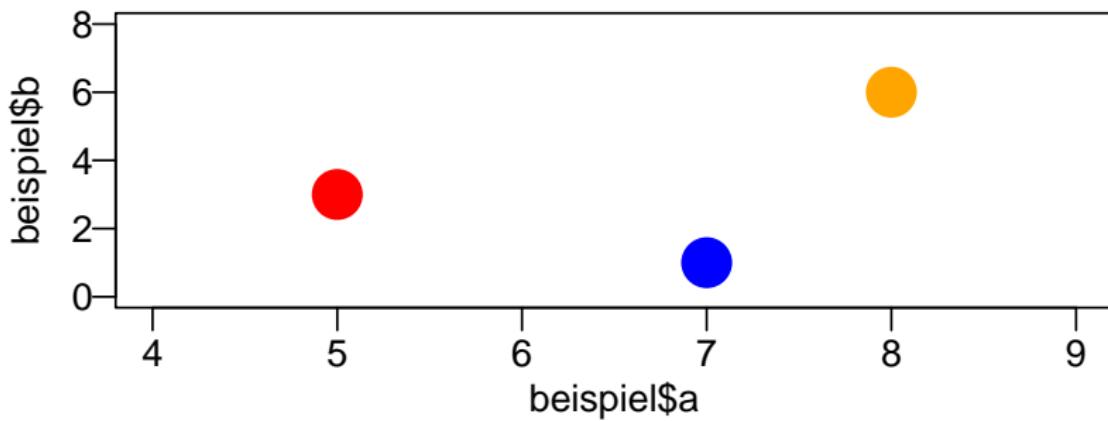
Vektorisierung I

```
beispiel <- read.table(header=TRUE, text=""  
a b wert index  
5 3 eins 1  
8 6 zwei 2  
7 1 drei 3 ")  
  
plot(beispiel$a, Beispiel$b, ylim=c(0,8), xlim=c(4,9),  
     cex=Beispiel$index*0.8)  
# Vektor mit Character Expansion Größen
```



Vektorisierung II

```
beispiel <- read.table(header=TRUE, text="  
a b wert index  
5 3 eins 1  
8 6 zwei 2  
7 1 drei 3 ")  
  
farben <- c("red", "orange", "blue")  
plot(beispiel$a, Beispiel$b, col=farben[beispiel$index],  
      ylim=c(0,8), xlim=c(4,9), cex=3, pch=16)
```

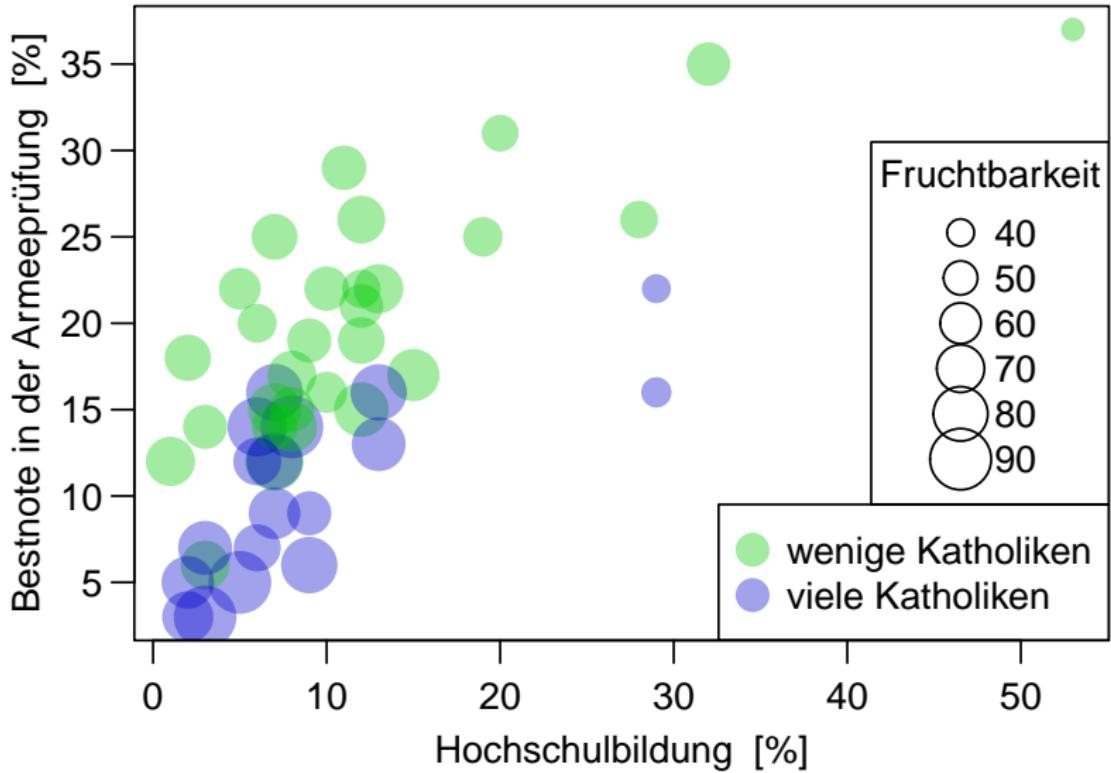


Streudiagramme - Häufige `plot` Argumente:

```
plot(  
  x, y,                                     # Punkt-koordinaten  
  xlab="Mein Label [km]", ylab="",          # Achsenbeschriftung  
  main="Grafiktitel",                      # Überschrift  
  xlim=c(20,80), ylim=1:0,                  # limits (können umgekehrt sein)  
  col="red", # Punktfarbe(n)  
  pch=0,    # point character (Symbol)  
  cex=1.8,  # character expansion (Symbolgröße)  
  las=1     # label axis style (Achsenzahlen aufrecht)  
)
```

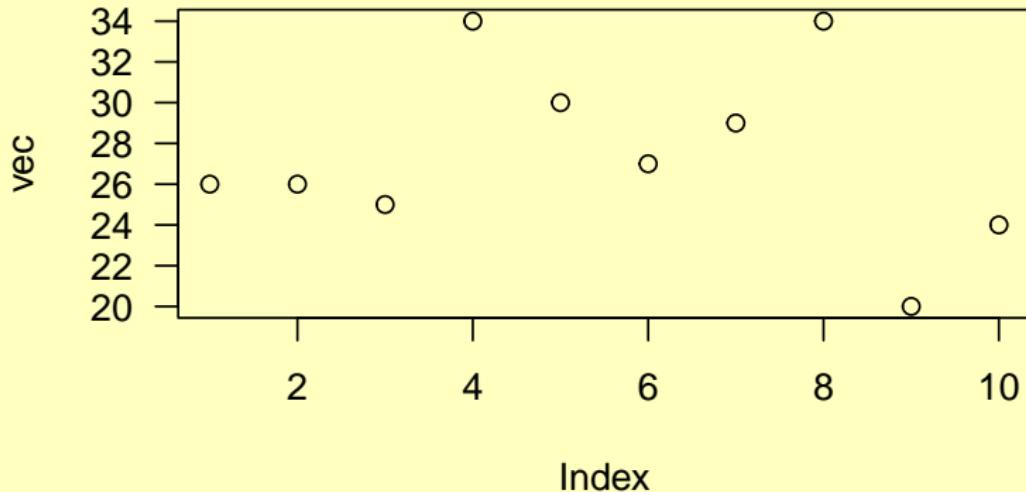
Paul Murrell mnemonics

Schweiz, 1888



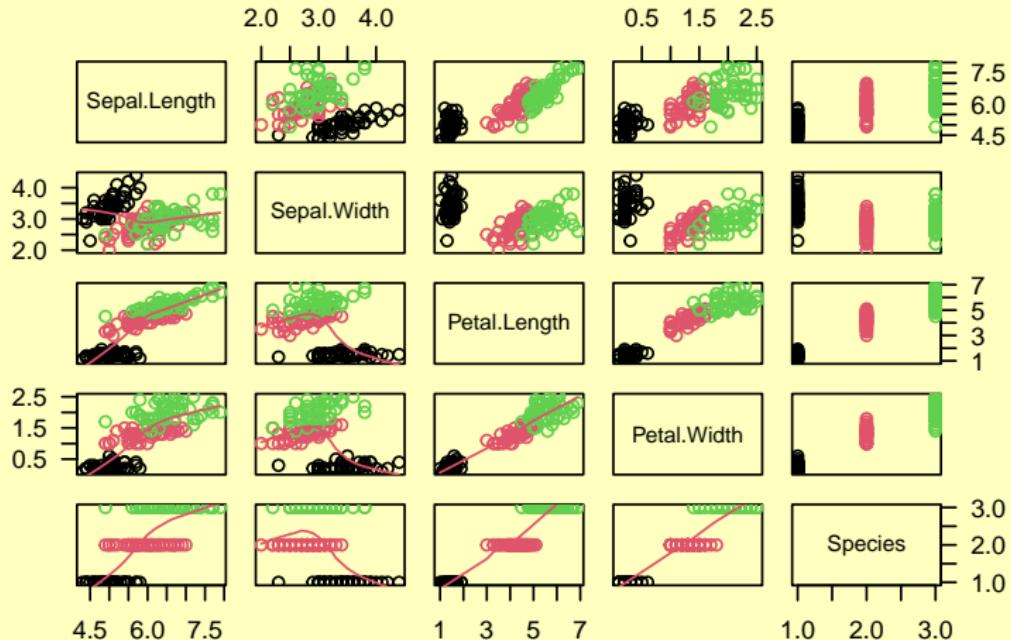
Vektor als Input

```
vec <- c(26,26,25,34,30,27,29,34,20,24)  
plot(vec, las=1) # Index 1:n auf der X-Achse
```



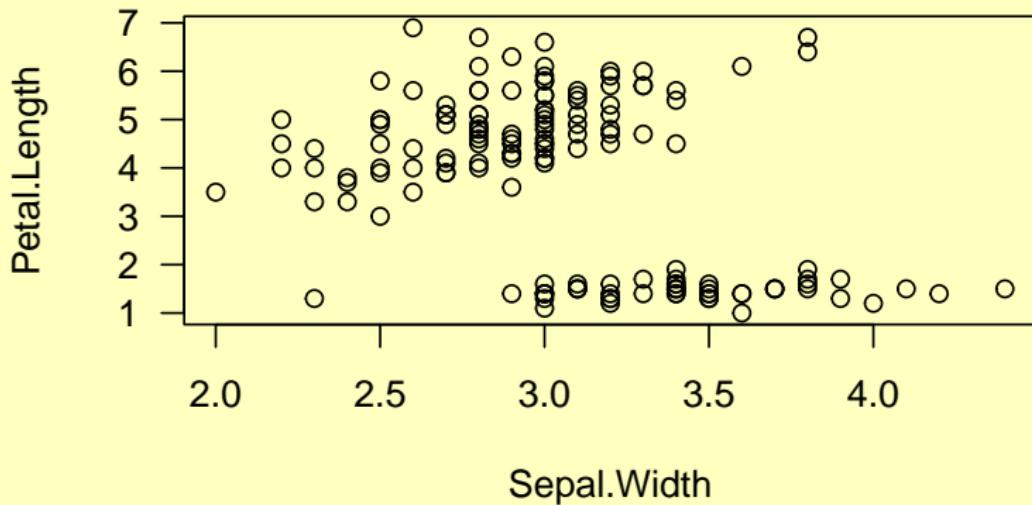
data.frame als Input -> pairs -plot

```
plot(iris, col=iris$Species, lower.panel=panel.smooth)
```

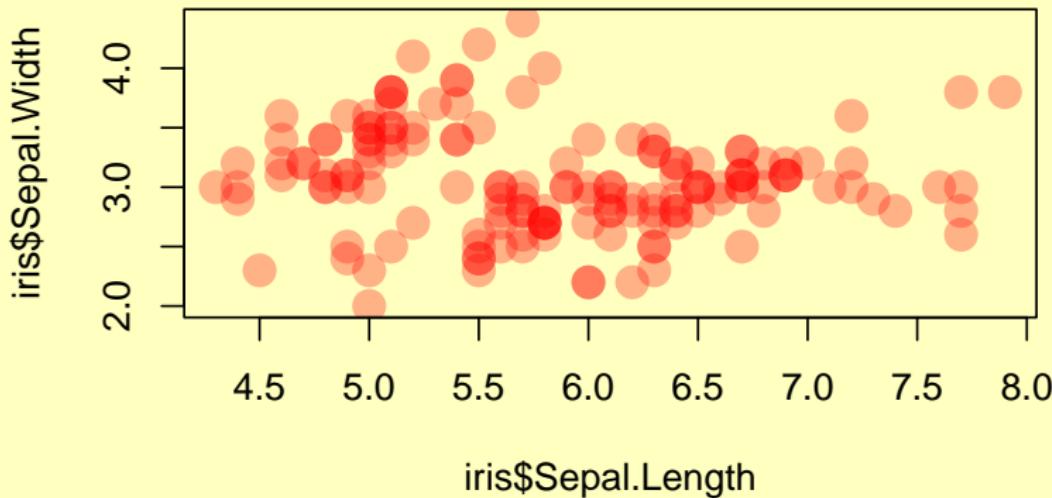


data.frame als Input

```
plot(iris[,2:3],  
     las=1)  
# Achsenbeschriftungen automatisch aus Spaltennamen
```



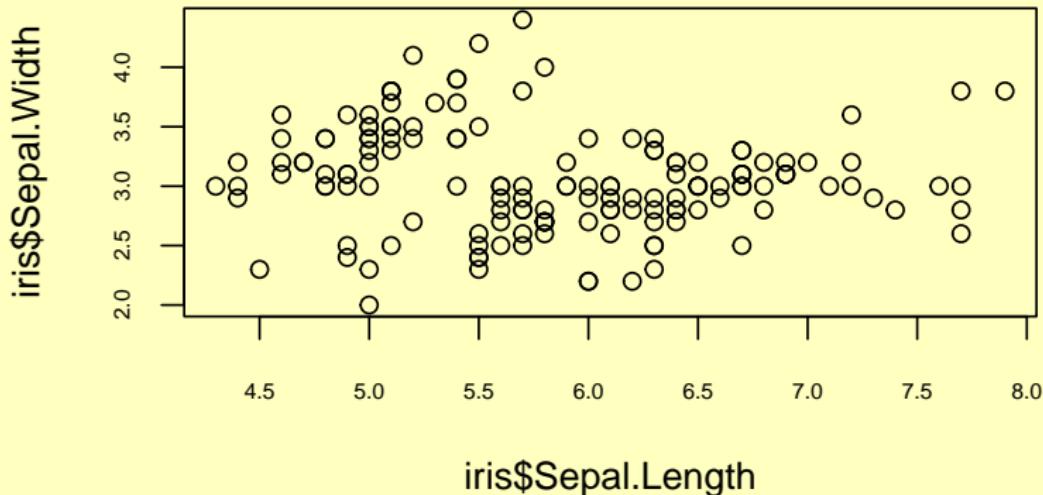
```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width, cex=2,  
      col=berryFunctions::addAlpha("red"), pch=16)  
# addAlpha("red", alpha=0.3) erzeugt "#FF00004D"
```



Größe/Farbe/Schriftart verschiedener Elemente

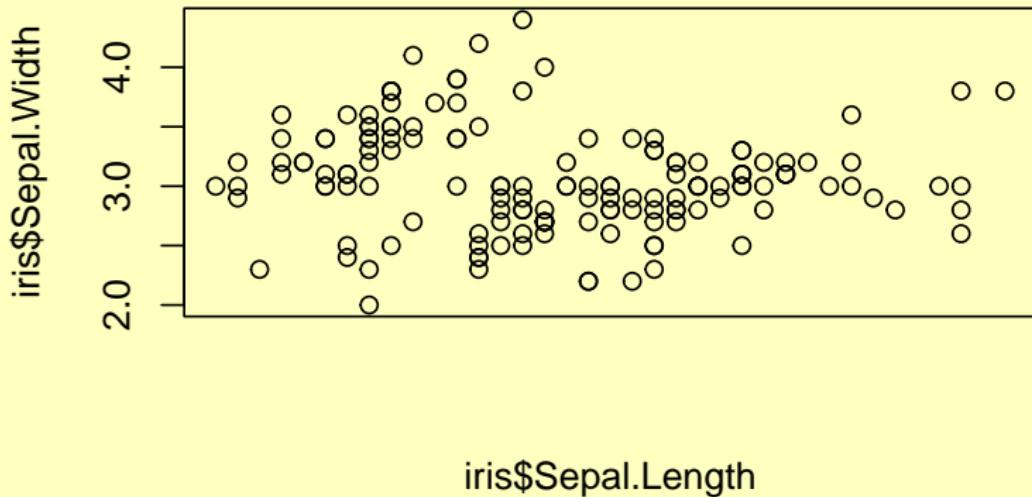
```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      main="Zweizeilige\nÜberschrift", # font=3: kursiv  
      col.main="forestgreen", cex.axis=0.6, font.main=3)
```

Zweizeilige Überschrift



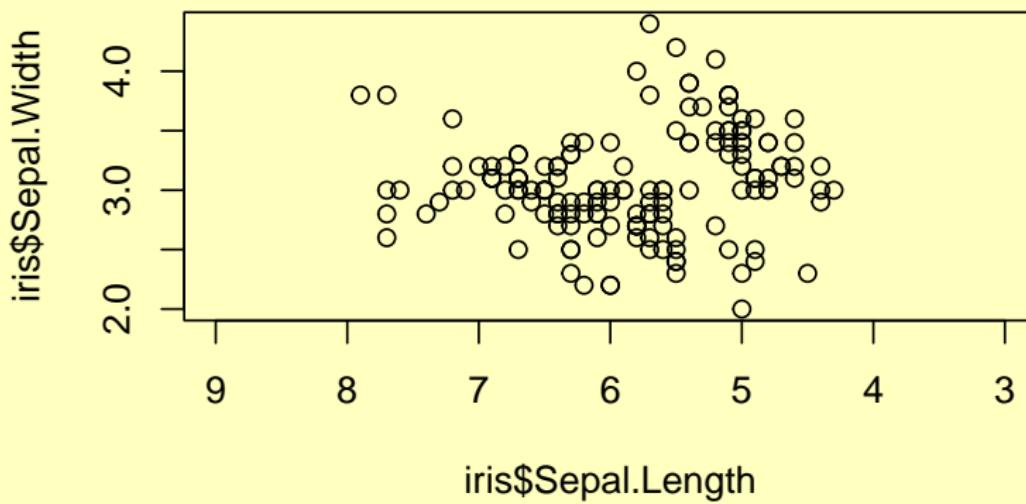
Achsenbeschriftung unterdrücken

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      xaxt="n")  
# xaxt: X Axis Type, n = none, nichts, nada, niente
```



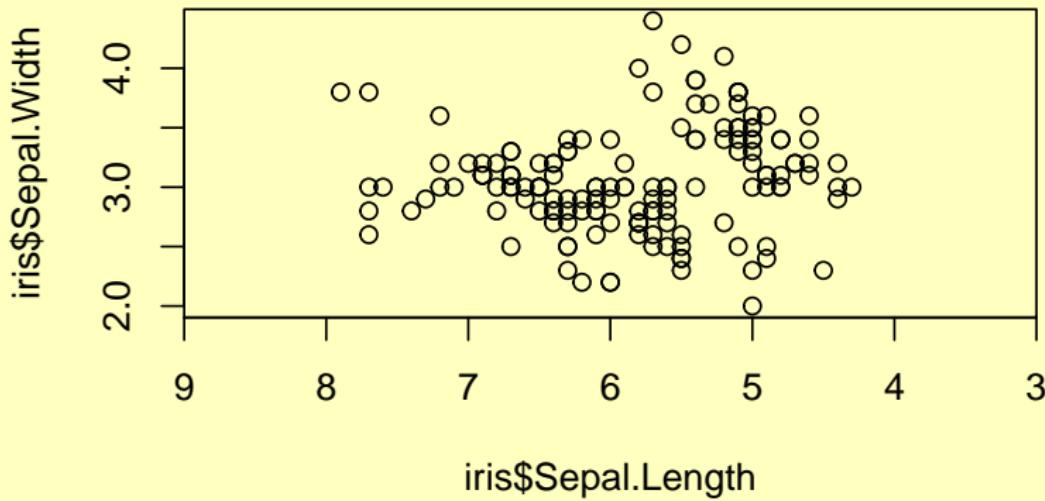
invertierte Achse

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      xlim=c(9,3) )  
# kann grafisch verwirrend sein
```



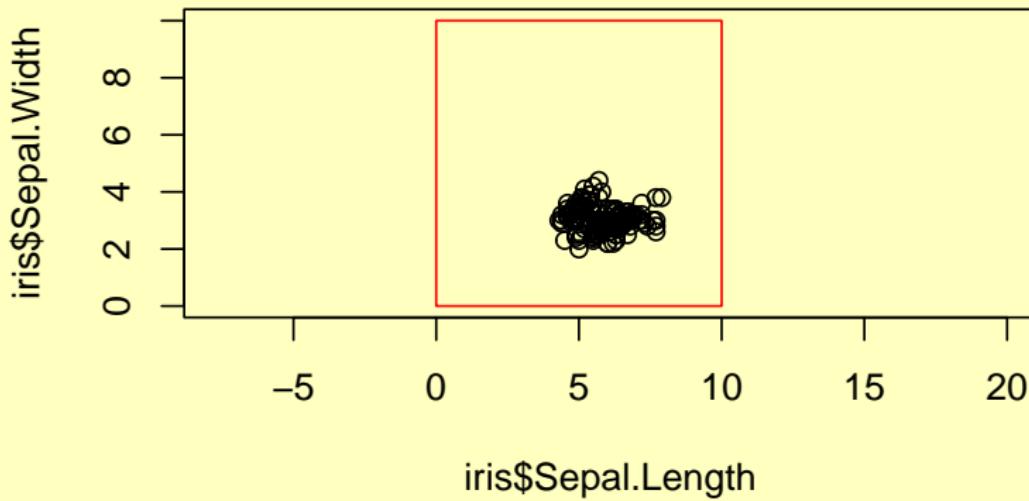
Achsenbereich genau

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      xlim=c(9,3), xaxs="i") # i=internal / r=regular  
# xaxs: X Axis Style. ("r" erweitert range je um 4%)
```



aspectratio: x zu y Verhältnis

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      ylim=c(0,10), asp=1)  
# xlim automatisch (Abstand pro Einheit wie für y)
```

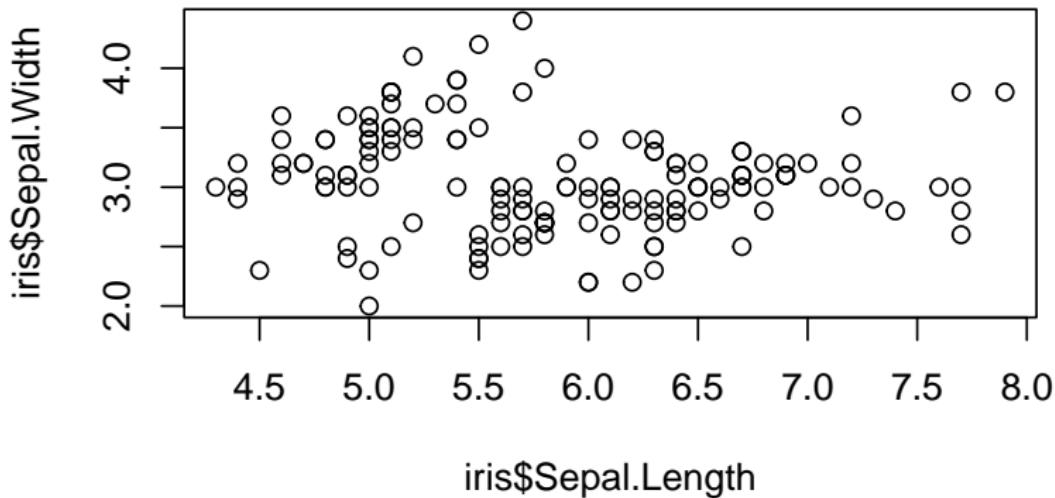


- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

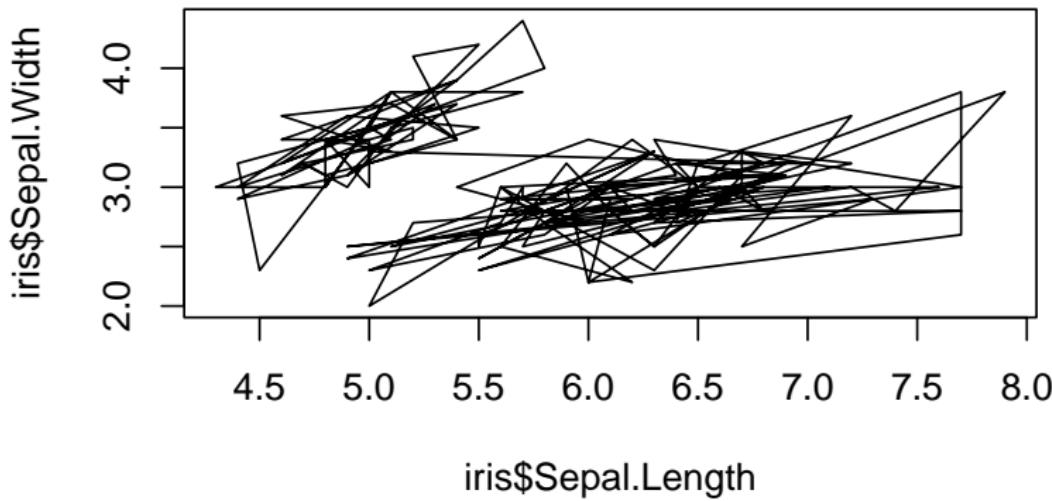
Bisher haben wir Punktdiagramme gezeichnet

```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      type="p")  
# "p" (Punkte) ist der Standardwert (default)
```



Linien-diagramm, zB für Zeitreihen

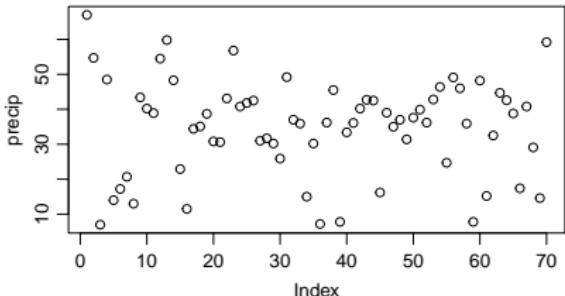
```
plot(iris$Sepal.Length, iris$Sepal.Width,  
      type="l")  
      # type: l für Linien
```



Linien und Punkte

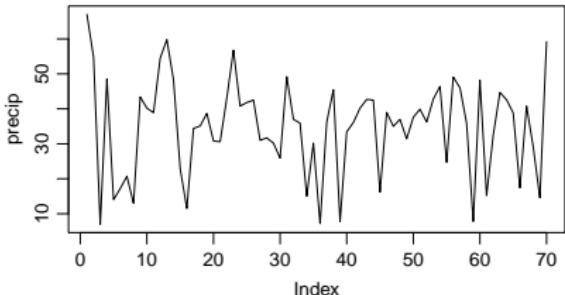
default: Points

```
plot(precip, type="p")
```



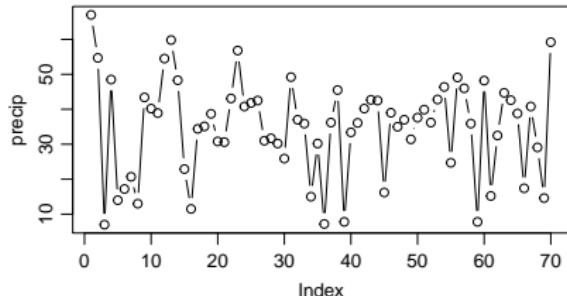
Lines

```
plot(precip, type="l")
```



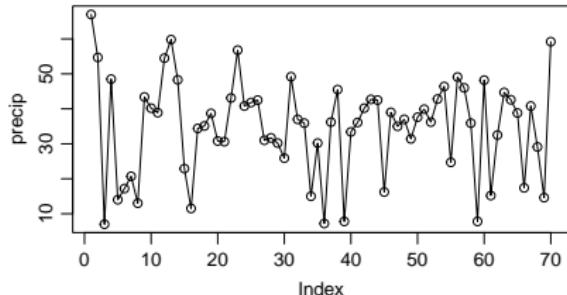
Both

```
plot(precip, type="b")
```



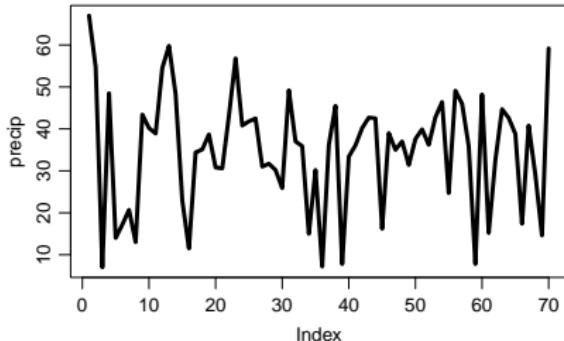
both Overplotted

```
plot(precip, type="o")
```

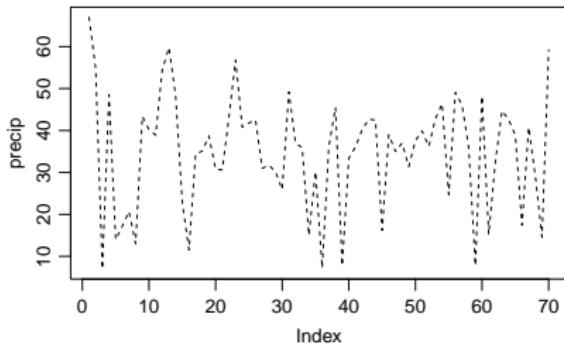


Linientypen

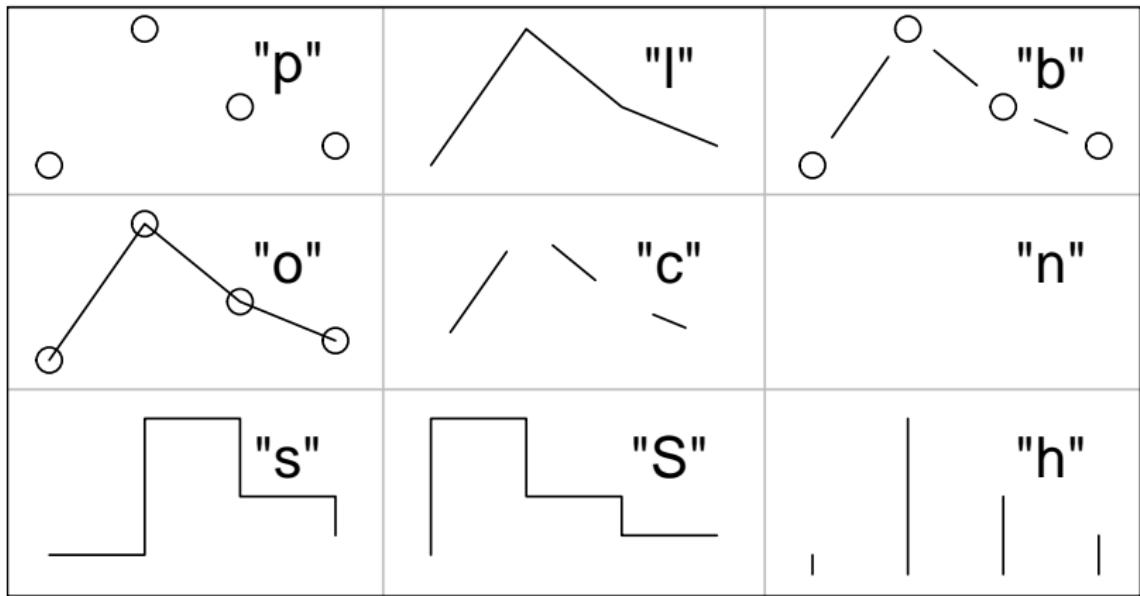
```
plot(precip, type="l", lwd=3.5) # Line Width
```



```
plot(precip, type="l", lty=2) # Line Type
```



plot (x, y, type = _)



plot (x, y, lty = __)

"blank" (no line) 0

"solid" (default) 1

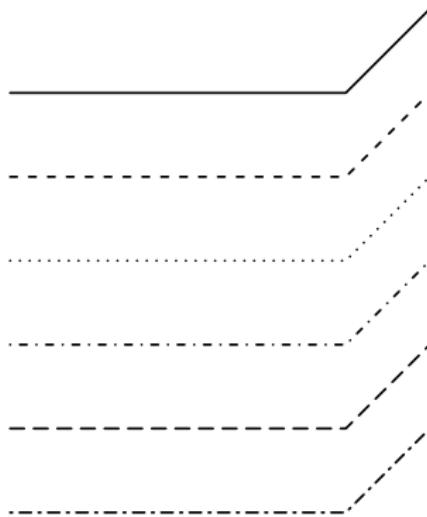
"dashed" 2

"dotted" 3

"dotdash" 4

"longdash" 5

"twodash" 6



Liniengrafiken - Häufige `plot` Argumente:

```
plot(  
  x, y,      # Punkt-koordinaten  
  type="l",   # zeichne Linien anstatt Punkte  
  lwd=3,     # line width (Liniendicke)  
  lty=2      # line type (durchgehend/gestrichelt/gepunktet)  
)
```

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme**
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

Zwei eingebaute Datensätze

```
str(longley)
## 'data.frame': 16 obs. of 7 variables:
## $ GNP.deflator: num 83 88.5 88.2 89.5 96.2 98.1 99 100 ...
## $ GNP          : num 234 259 258 285 ...
## $ Unemployed   : num 236 232 368 335 ...
## $ Armed.Forces: num 159 146 162 165 ...
## $ Population   : num 108 109 110 111 ...
## $ Year         : int 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 ...
## $ Employed     : num 60.3 61.1 60.2 61.2 ...
```

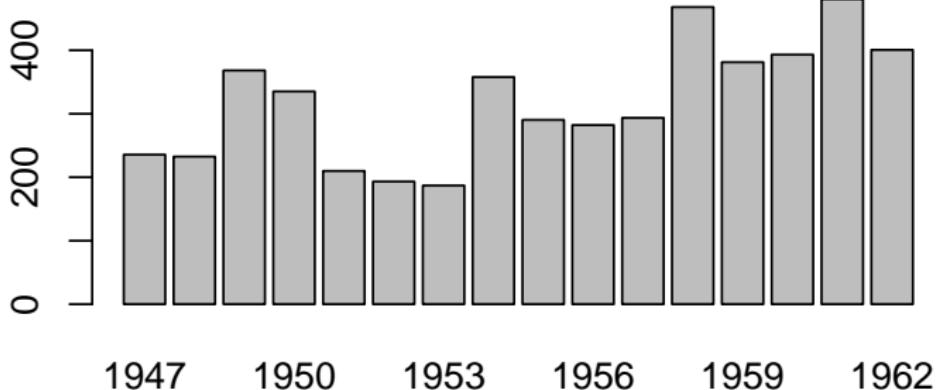
VADeaths

	Rural	Male	Rural	Female	Urban	Male	Urban	Female
## 50-54	11.7		8.7		15.4		8.4	
## 55-59	18.1		11.7		24.3		13.6	
## 60-64	26.9		20.3		37.0		19.3	
## 65-69	41.0		30.9		54.6		35.1	
## 70-74	66.0		54.3		71.1		50.0	

```
data("longley") # lädt das ins globalenv()
# Rstudio str + View danach erklickbar
```

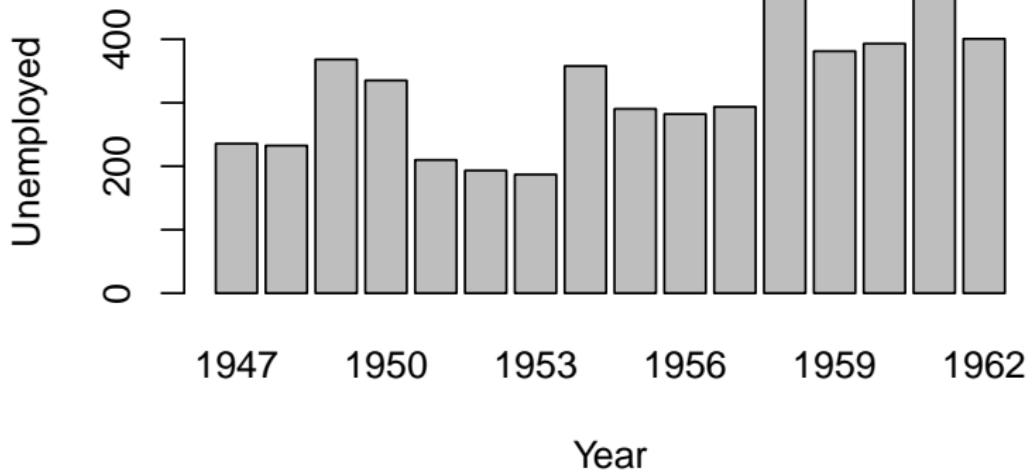
Säulendiagramme

```
barplot(longley$Unemployed, names.arg=longley$Year)
```

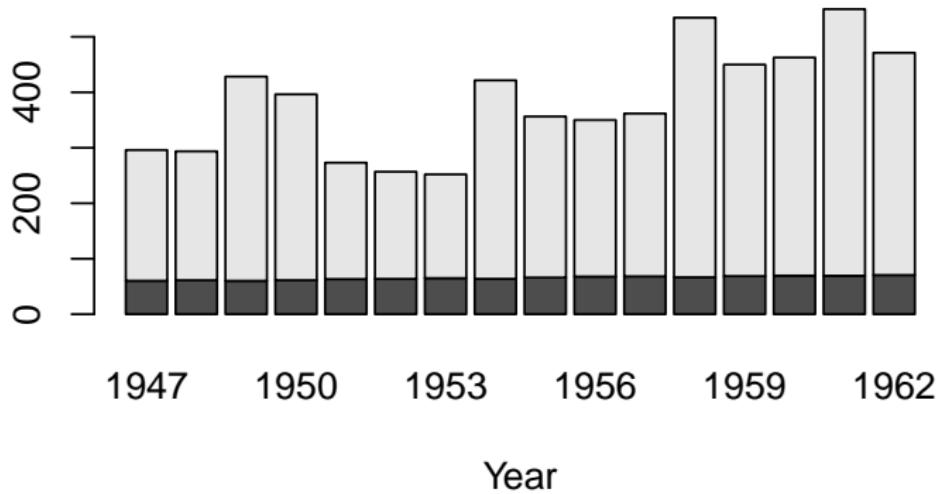


```
barplot(Unemployed ~ Year, data=longley)
```

AltGr + +, Option + N (+ Space)

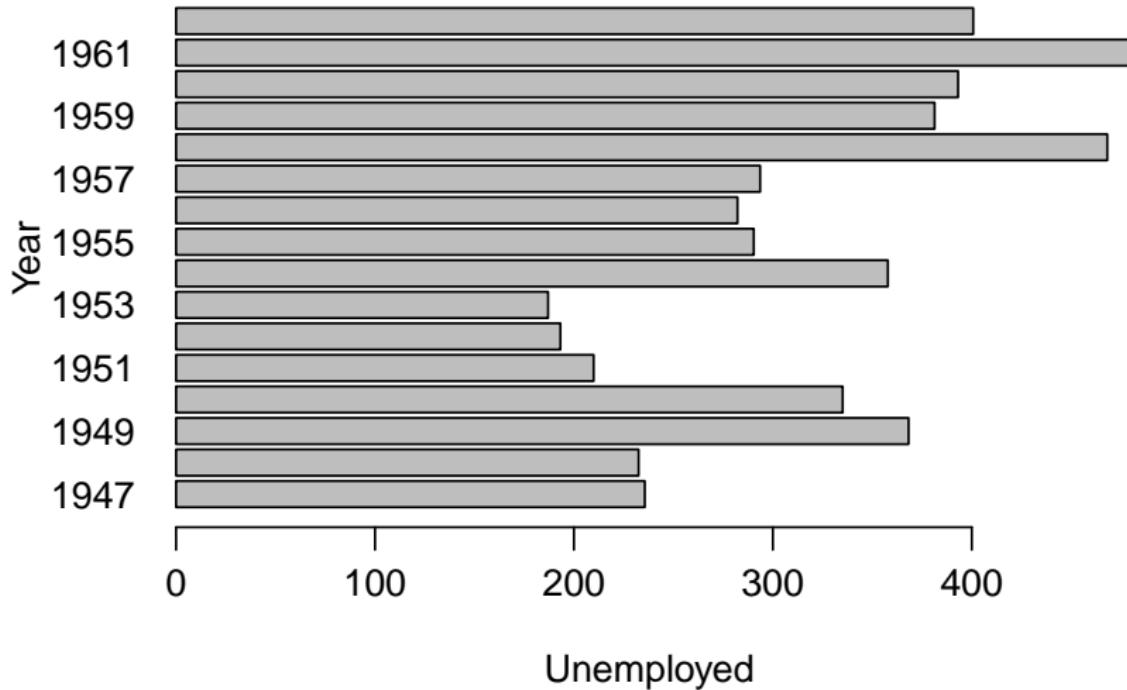


```
barplot(cbind(Employed, Unemployed) ~ Year, data=longley)
```



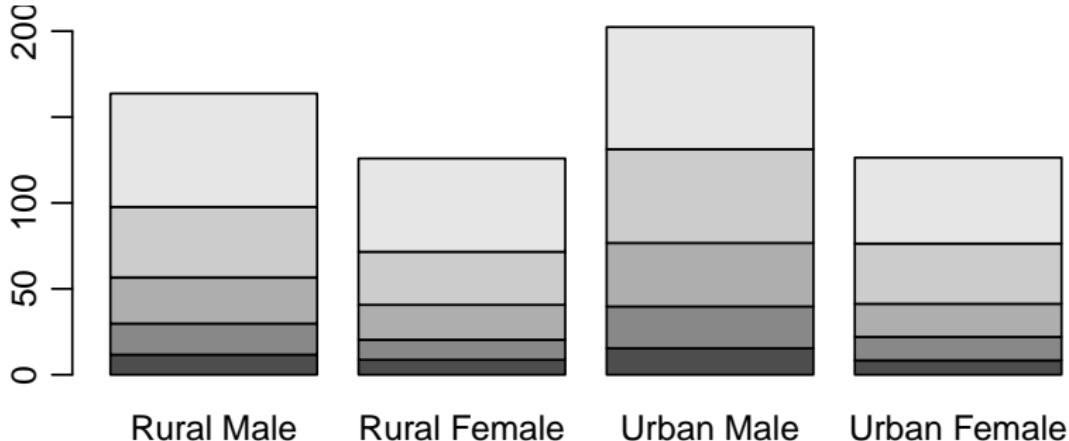
Balkendiagramm: horizontales Säulendiagramm

```
barplot(Unemployed~Year, data=longley, horiz=TRUE, las=1)
```



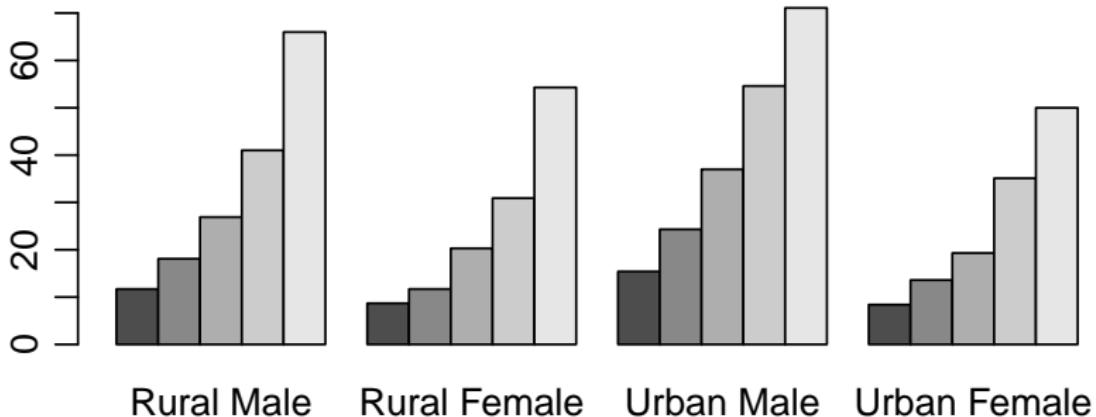
Balkendiagramm für eine Matrix

```
barplot(VADeaths)
```



Balkendiagramm: Gruppiert statt gestapelt

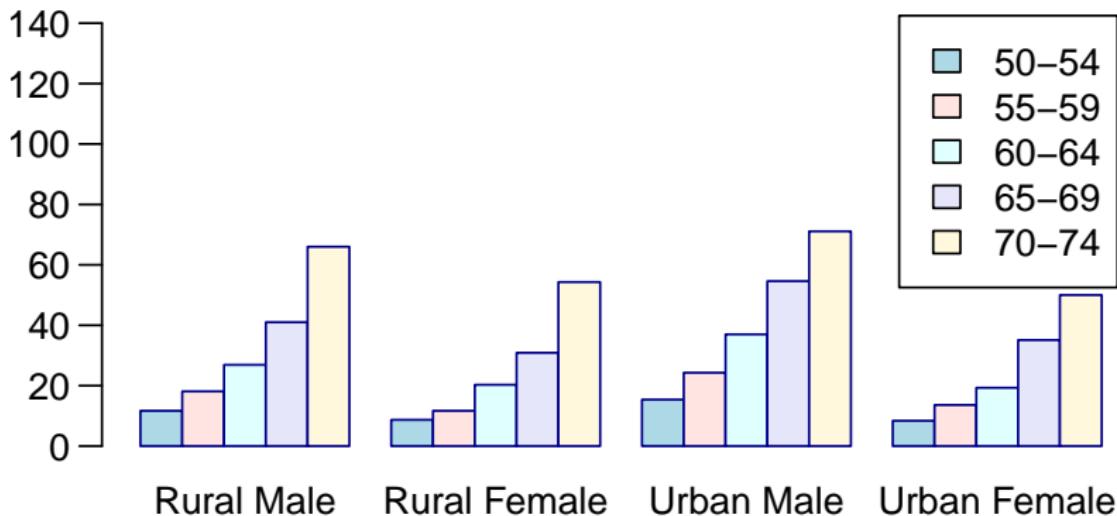
```
midpoints <- barplot(VADeaths, beside=TRUE)
```



```
midpoints
##      [,1] [,2] [,3] [,4]
## [1,]  1.5  7.5 13.5 19.5
## [2,]  2.5  8.5 14.5 20.5
## [3,]  3.5  9.5 15.5 21.5
## [4,]  4.5 10.5 16.5 22.5
## [5,]  5.5 11.5 17.5 23.5
```

Balkendiagramm: Legende

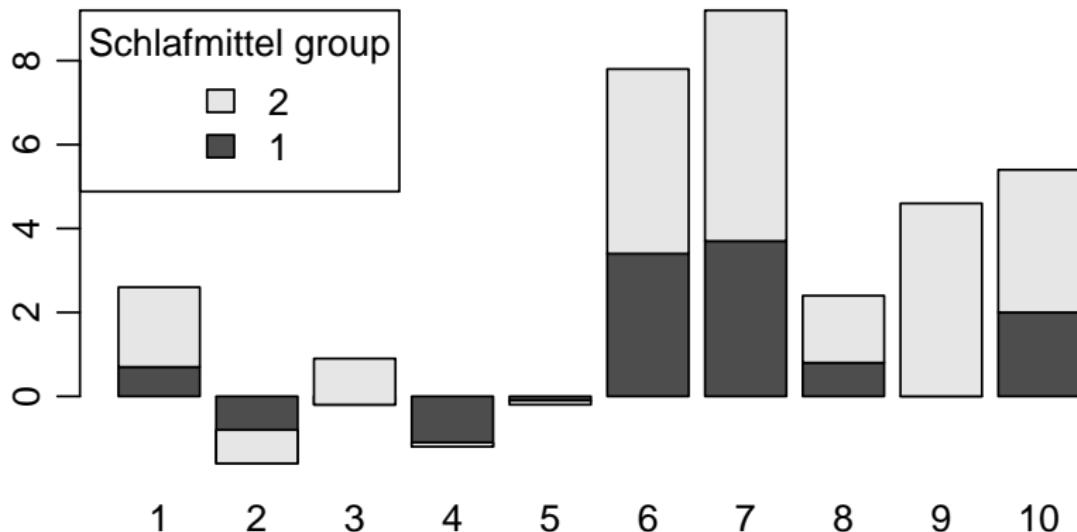
```
barplot(VADeaths, beside=TRUE, las=1,  
        col=c("lightblue","mistyrose","lightcyan",  
              "lavender","cornsilk"),  
        legend=TRUE, ylim=c(0, 150), border="darkblue")
```



Formula doppelt gruppiert

```
head(sleep, 3)
##   extra group ID
## 1    0.7     1  1
## 2   -1.6     1  2
## 3   -0.2     1  3
```

```
barplot(extra~group+ID, data=sleep, legend=TRUE,
        args.legend=list(title="Schlafmittel group", x="topleft"))
```



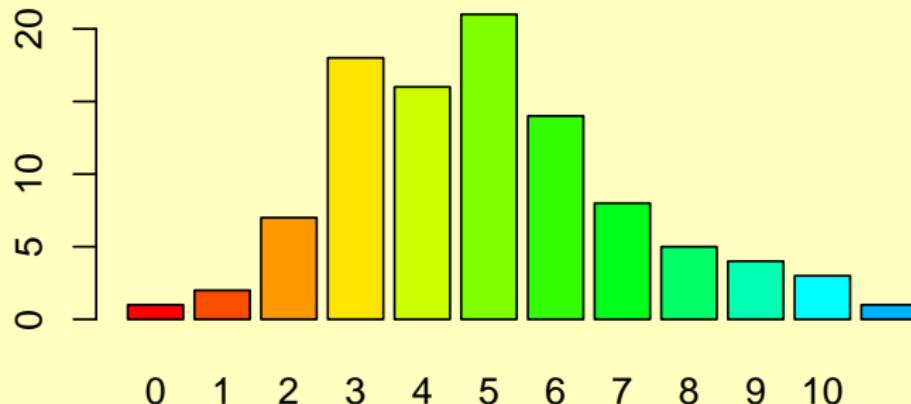
Säulen- und Balkendiagramme:

- ▶ `barplot`
- ▶ Formula interface: `y~x`, `y~x1+x2`, `cbind(y1,y2)~x` (`paste`)

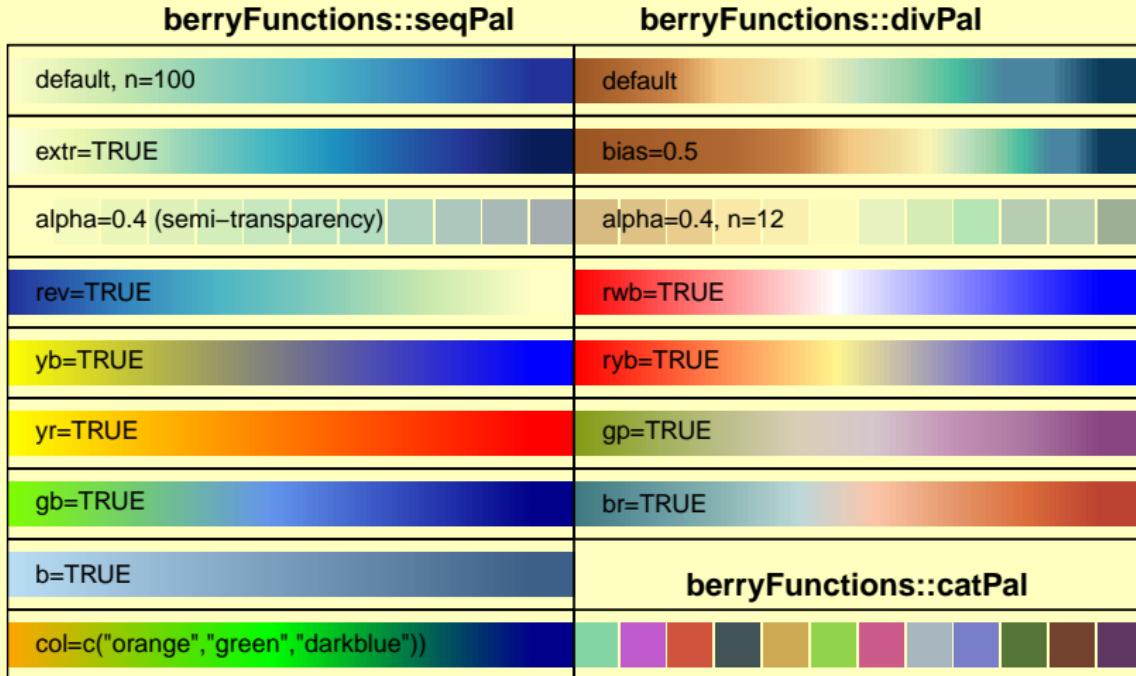
`barplot` Argumente:

- ▶ `height`
- ▶ `horiz`
- ▶ `las`, `col`, `ylim`
- ▶ `beside`
- ▶ `legend`

```
zahlen <- table(stats::rpois(100, lambda=5))  
bp <- barplot(zahlen, col=rainbow(20))
```

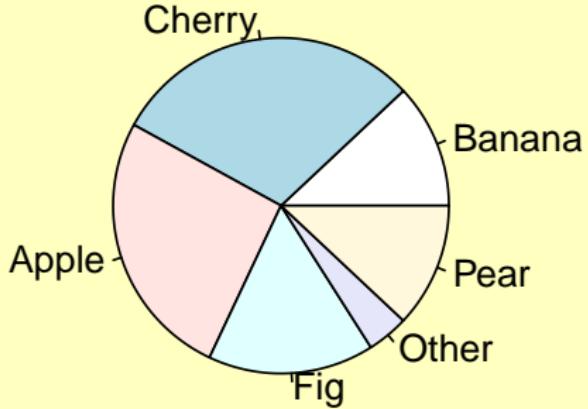


```
berryFunctions::showPal()
```



Tortendiagramme nicht verwenden

```
vec <- c(12, 30, 26, 16, 4, 12)
names(vec) <- c("Banana", "Cherry", "Apple", "Fig", "Other", "Pear")
pie(vec)
```



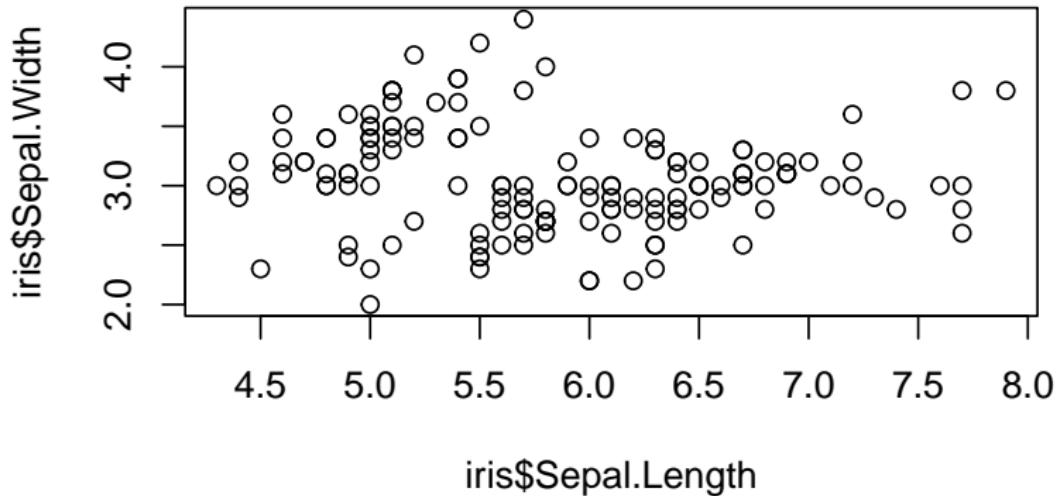
Wenn Diagrammbetrachter Proportionen vergleichen können sollen, wähle lieber Balkendiagramme, siehe z.B. [death to pie charts](#) oder [save the pies for dessert](#).

- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen**
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

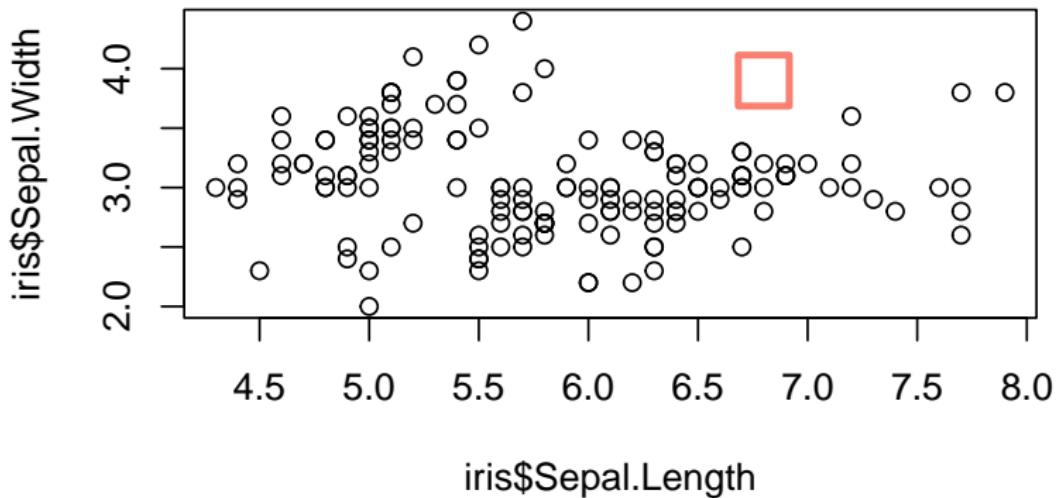
High-level-Befehle wie `plot` erzeugen eine komplette, neue Grafik

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)  
# Datensatz siehe Abschnitt 4.1 Punktdiagramme
```



Low-level-Befehle fügen einer bestehenden Grafik etwas hinzu

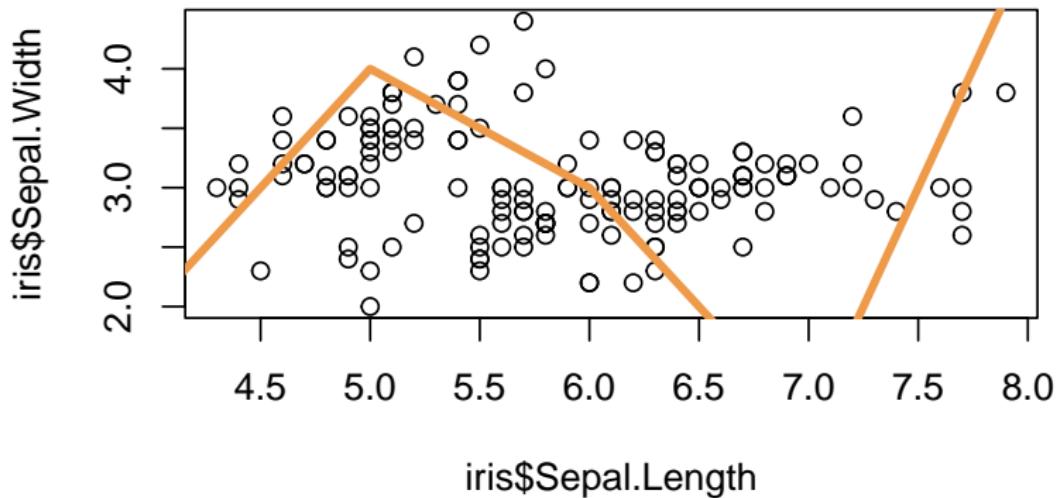
```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
points(x=6.8, y=3.9, pch=0, cex=3, col="salmon", lwd=3)
```



points und lines akzeptieren viele Argumente von plot.default

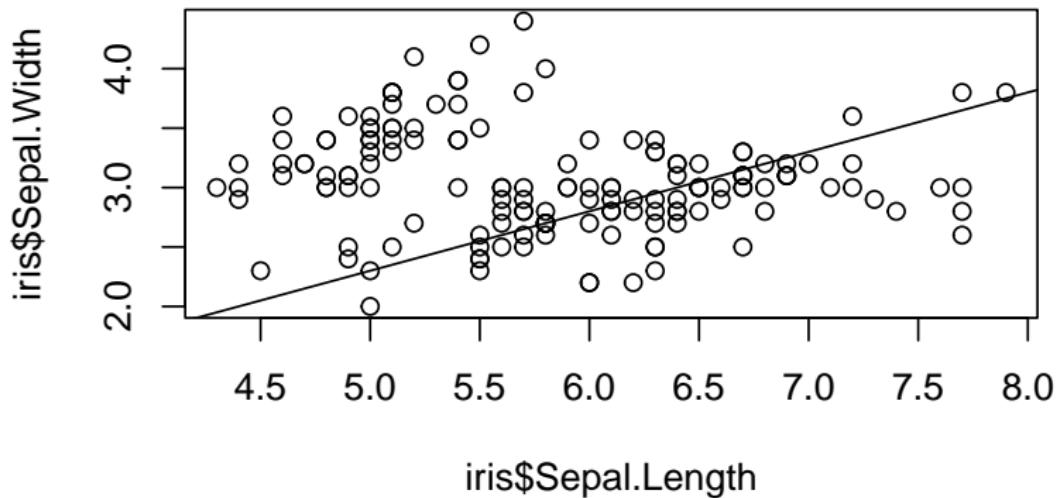
HPI

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
lines(x=4:8, y=c(2,4,3,1,5), lwd=3.5, col="tan2")
```



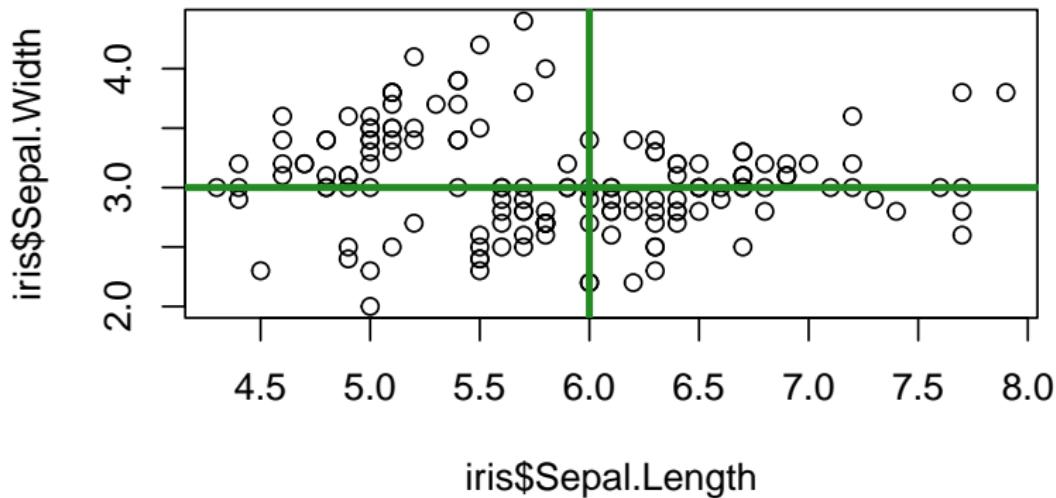
Geraden

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
abline(a=-0.2, b=0.5) # y-Achsen-Schnittpunkt, Steigung
```



vertikale / horizontale Linien

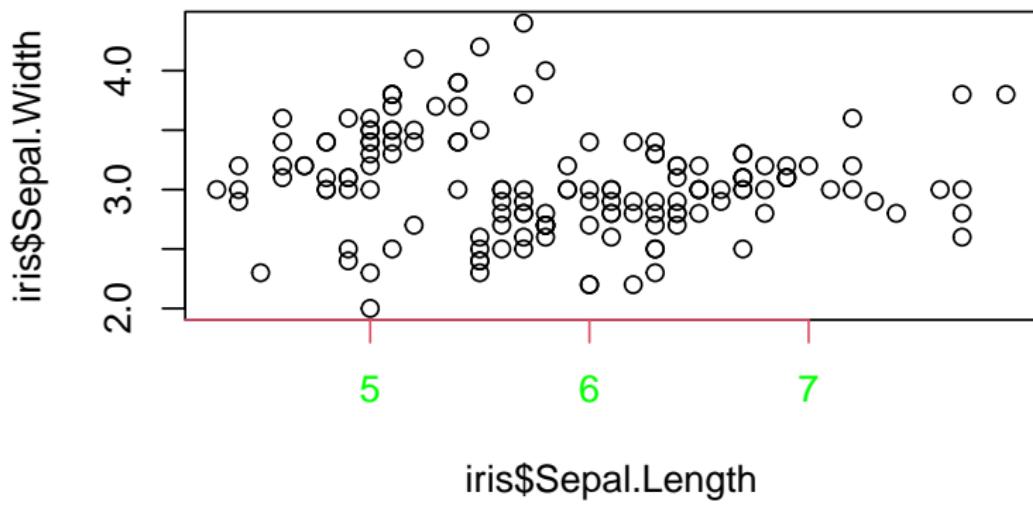
```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
abline(h=3, v=6, lwd=3, col="forestgreen")
```



Achsen

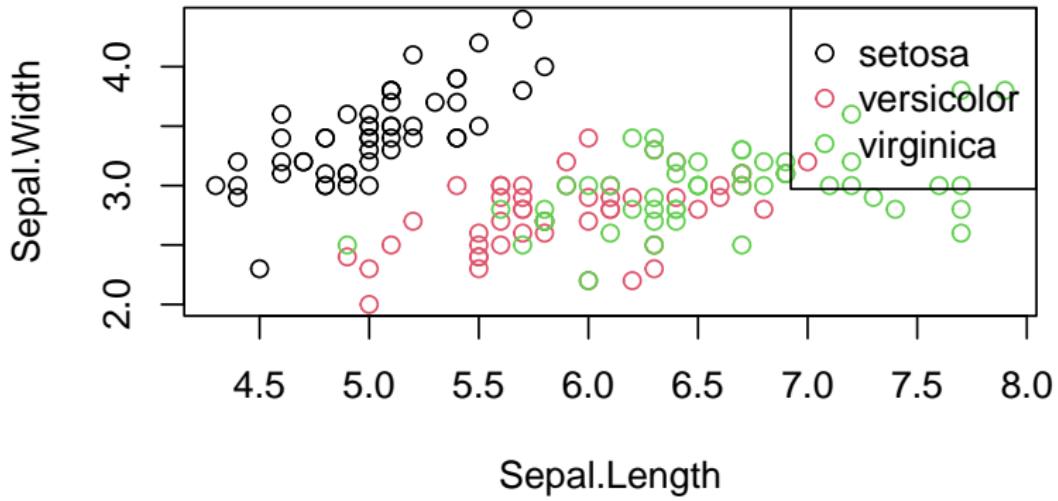
```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width, xaxt="n")
axis(side=1, at=4:7, col="#DF536B", col.axis="green")
```

at weglassen für automatische Zahlenbestimmung



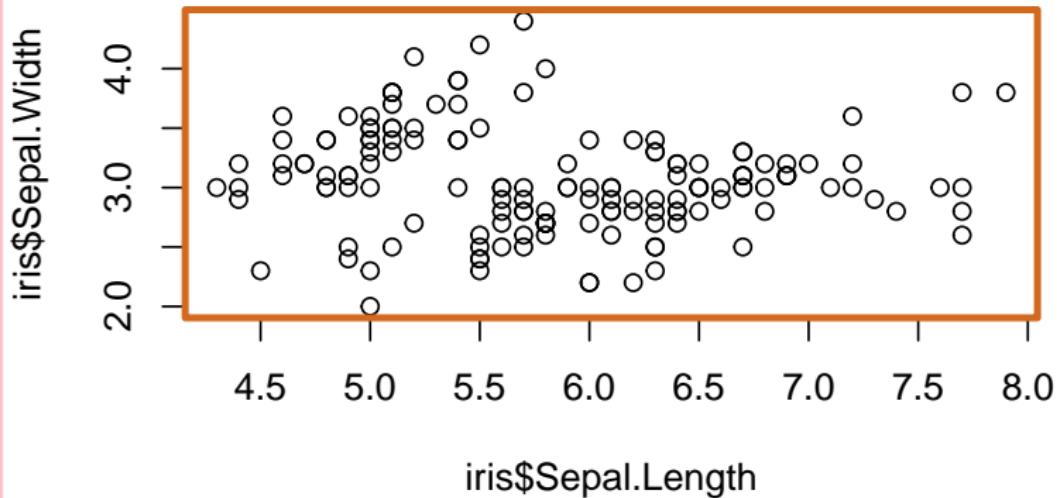
Legende

```
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris, col=Species)
legend("topright", levels(iris$Species), col=1:3, pch=1)
```



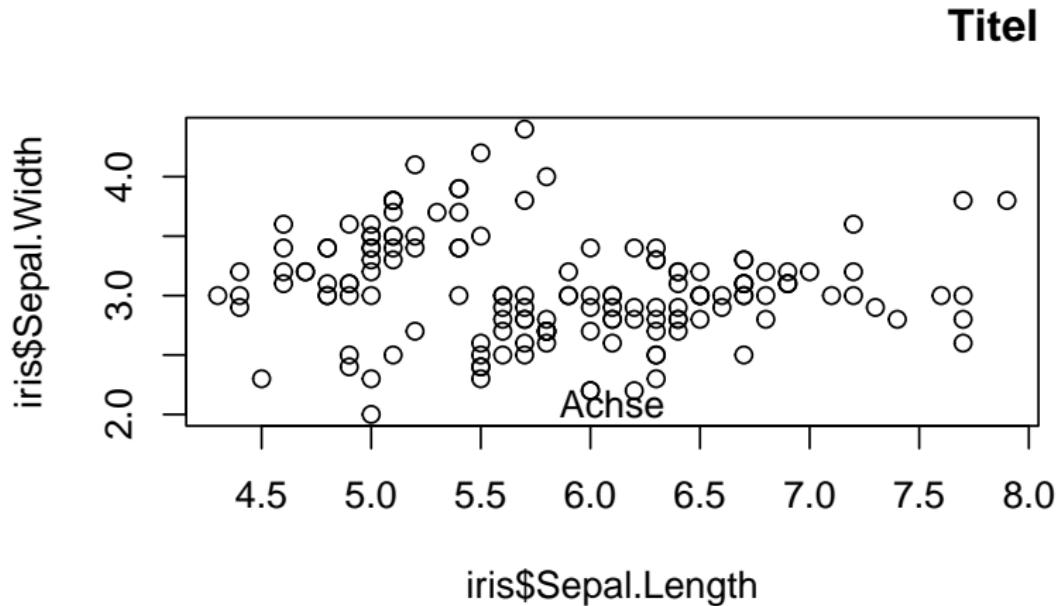
Umrandung

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
box(col="chocolate", lwd=3) ; box("outer", col="pink")
```



Titel-elemente nachträglich hinzufügen

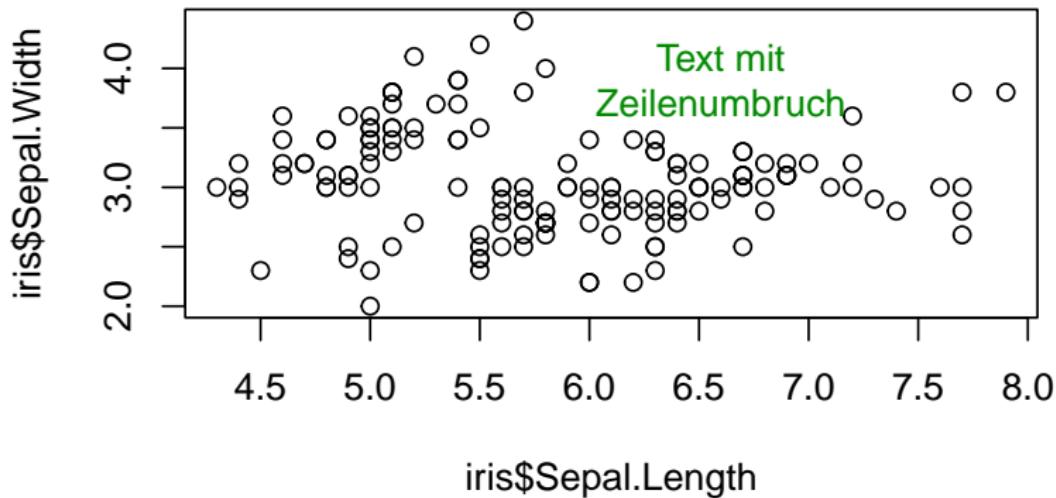
```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
title(main="Titel", adj=1) ; title(xlab="Achse", line=-1)
```



Text in der Grafik

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
text(6.6, 3.9, "Text mit\nZeilenumbruch", col="green4")
```

Die Argumentnamen sind `x`, `y`, `labels`

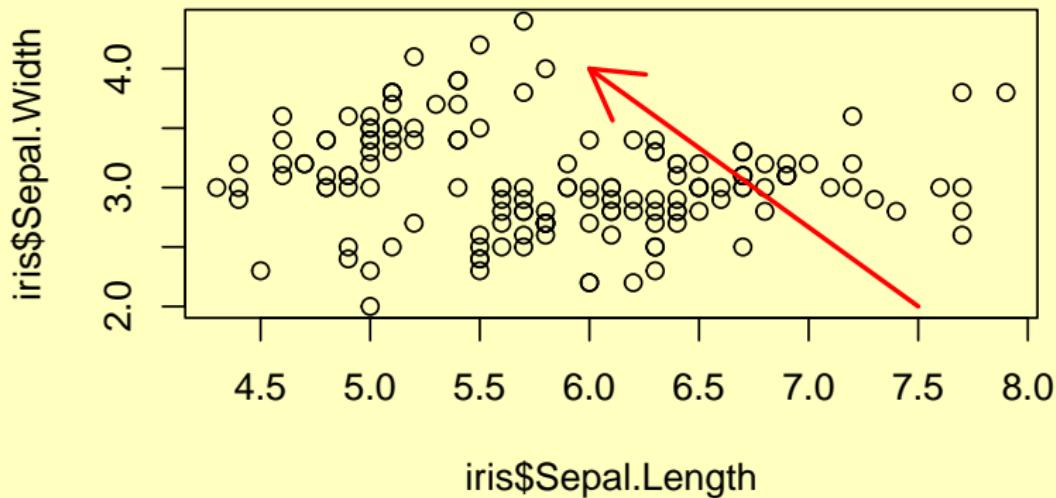


flexible Diagramme mit Low-level-Befehlen:

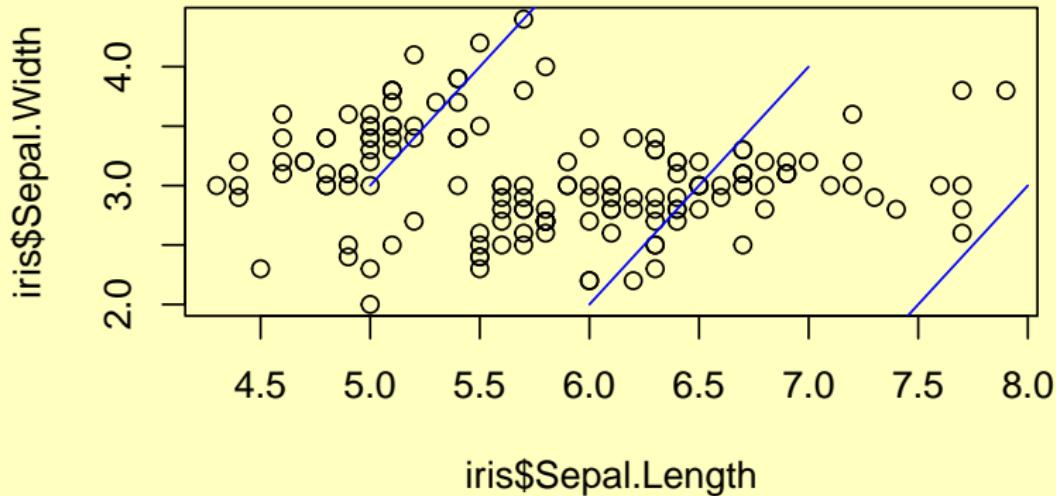
- ▶ `points`, `lines`, `abline`
- ▶ `axis`, `legend`, `box`
- ▶ `title`, `text`

Schöne Anwendungsbeispiele

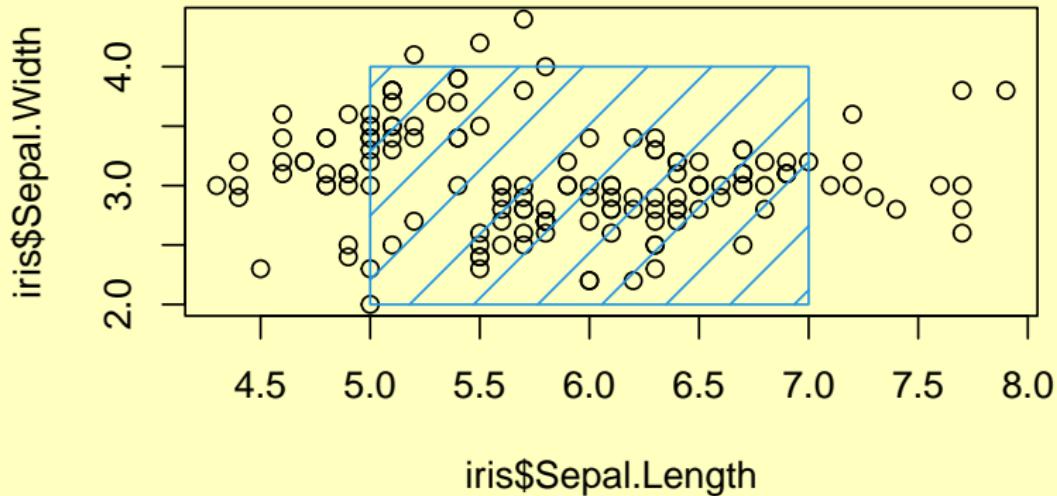
```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
arrows(x0=7.5,y0=2, x1=6,y1=4, col="red", lwd=2)
```



```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
segments(x0=5:7, y0=3:1, x1=6:8, y1=5:3, col="blue")
```

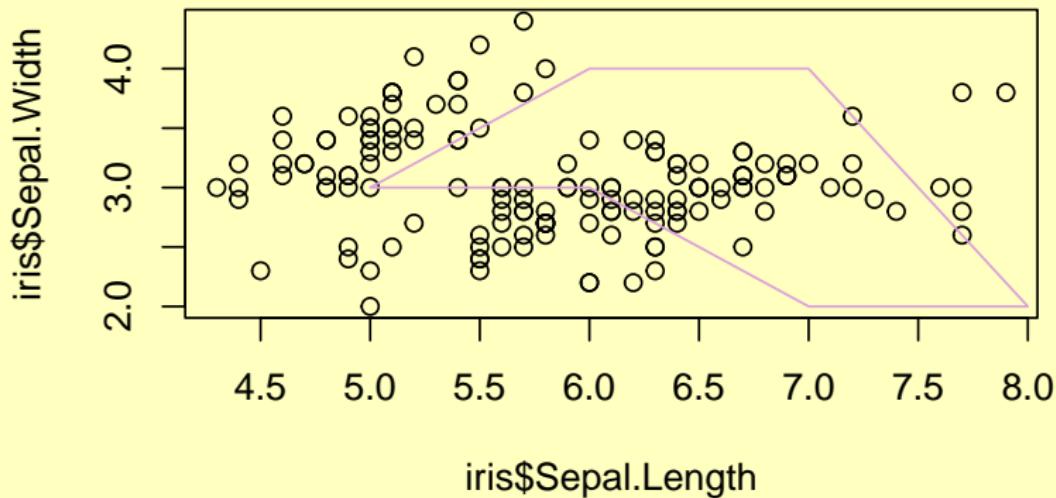


```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
rect(xleft=5, ybottom=2, xright=7, ytop=4, col=4, density=5)
```

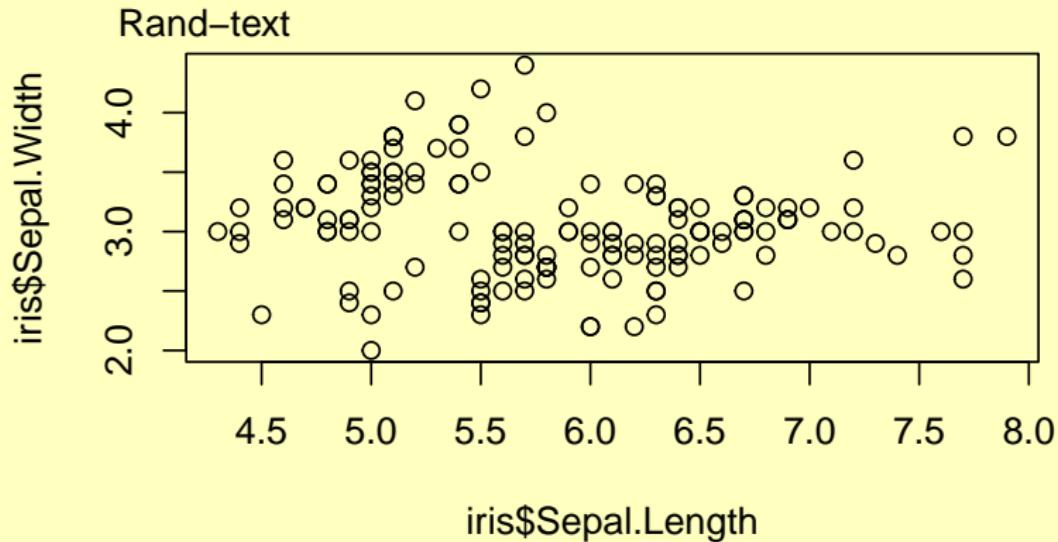


Polygone

```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
polygon(x=c(5,6,7,8,7,6), y=c(3,4,4,2,2,3), border="plum")
```



```
plot(x=iris$Sepal.Length, y=iris$Sepal.Width)
mtext(side=3, text="Rand-text", line=0.2, adj=-0.1)
```

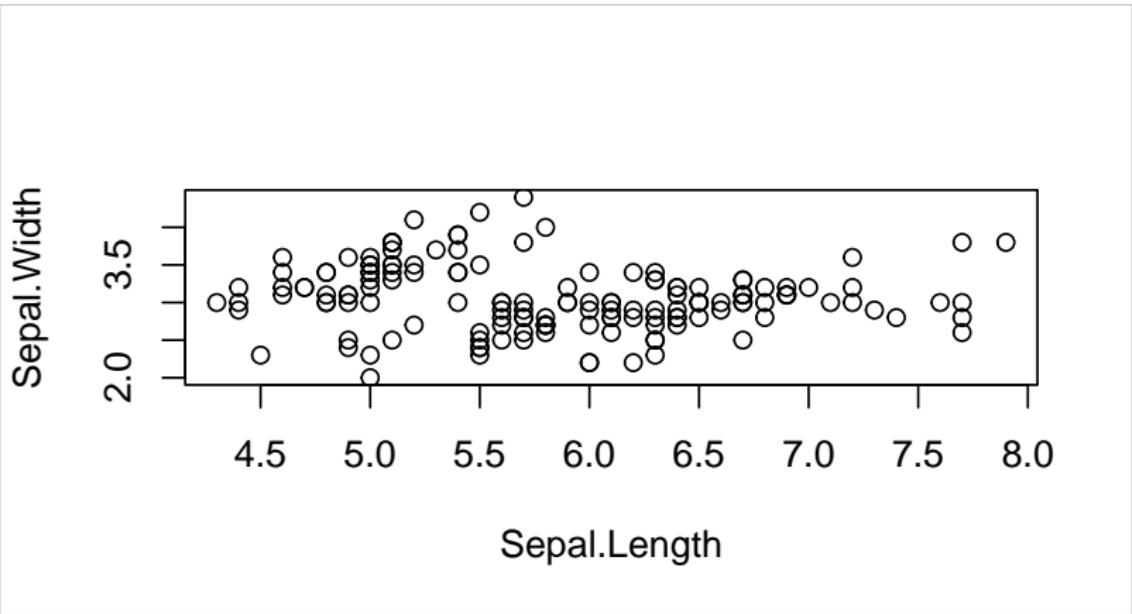


- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

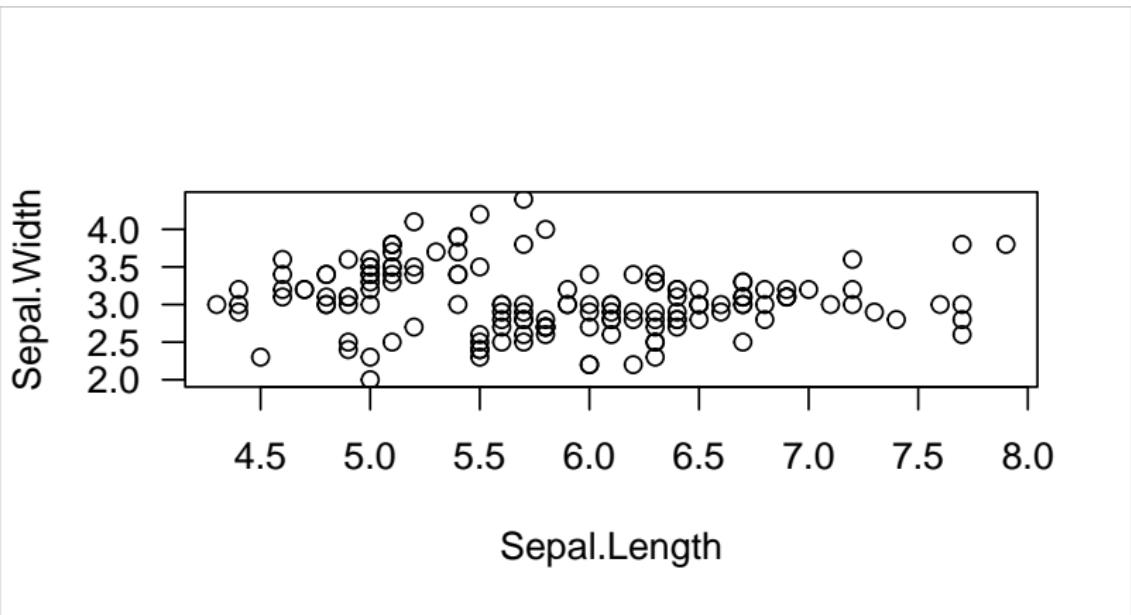
par : Default Parameter einer Grafik

```
# default (standard) Parameter:  
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris)
```



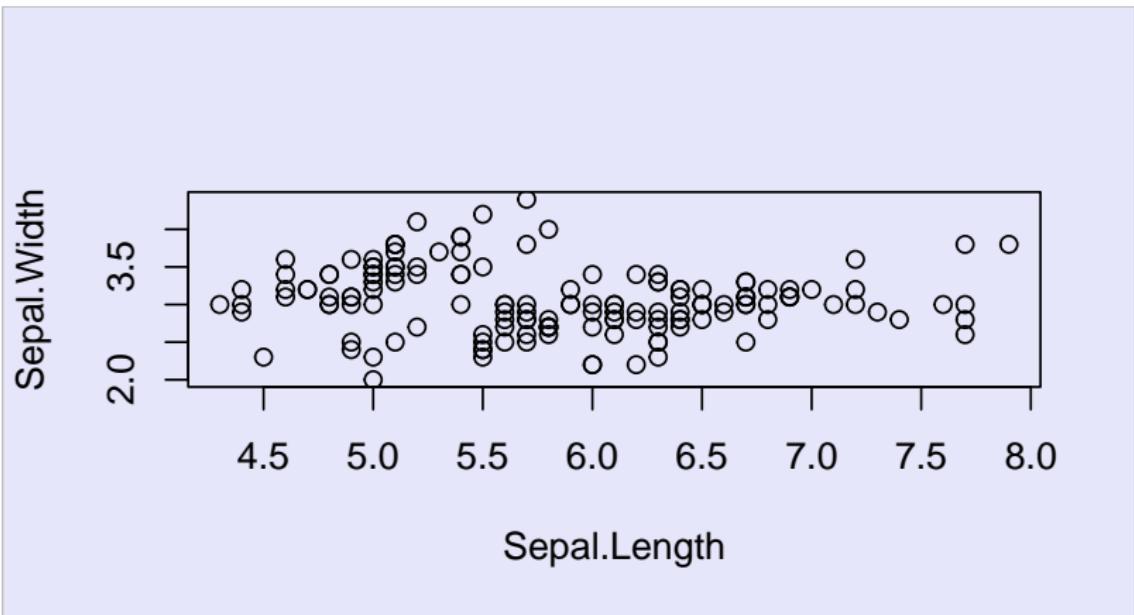
par : Parameter der folgenden Grafiken

```
par(las=1) # ab jetzt für alle Plots im gleichen Device:  
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris)
```

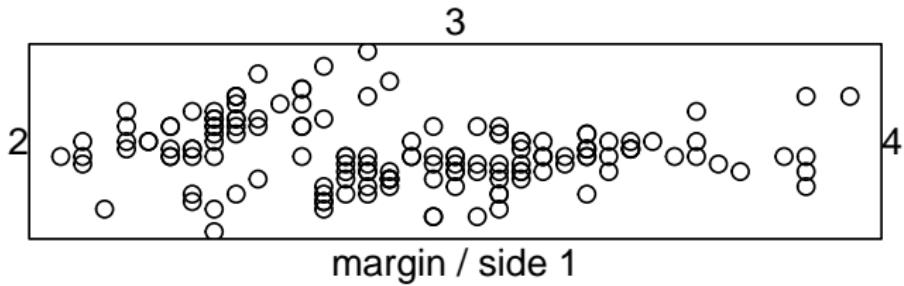


par : bg - background nicht für pch=21:25 sondern für Device

```
par(bg="lavender") # Device = zB pdf, RStudio Grafiken  
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris)
```

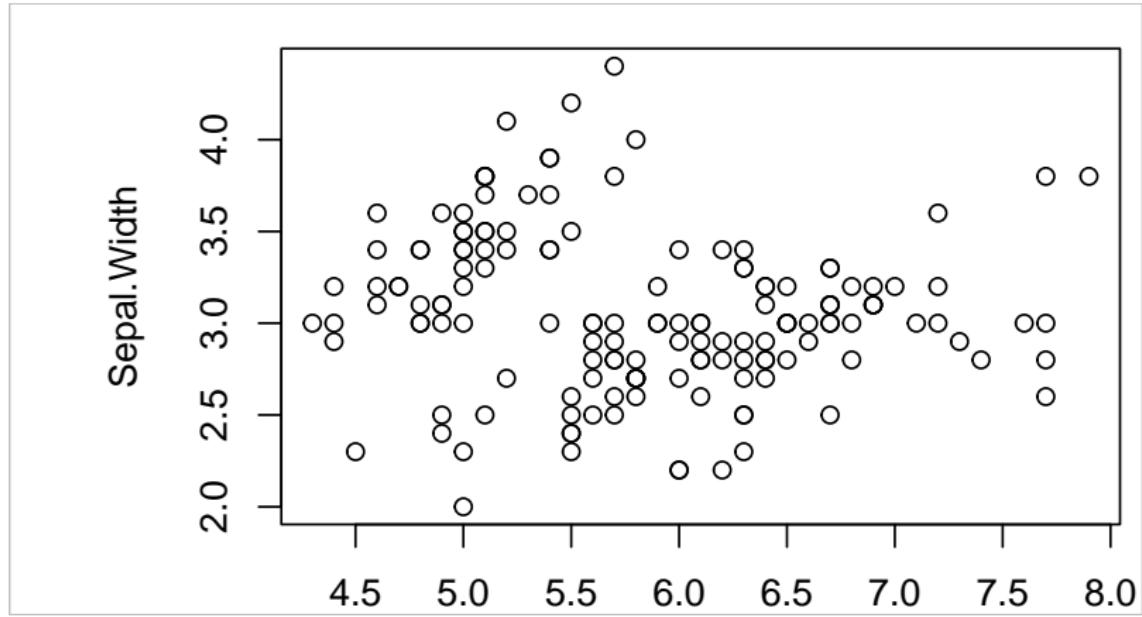


```
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris, axes=F, ann=F)
mtext(c("margin / side 1"), 2:4), side=1:4, las=1) ; box()
```



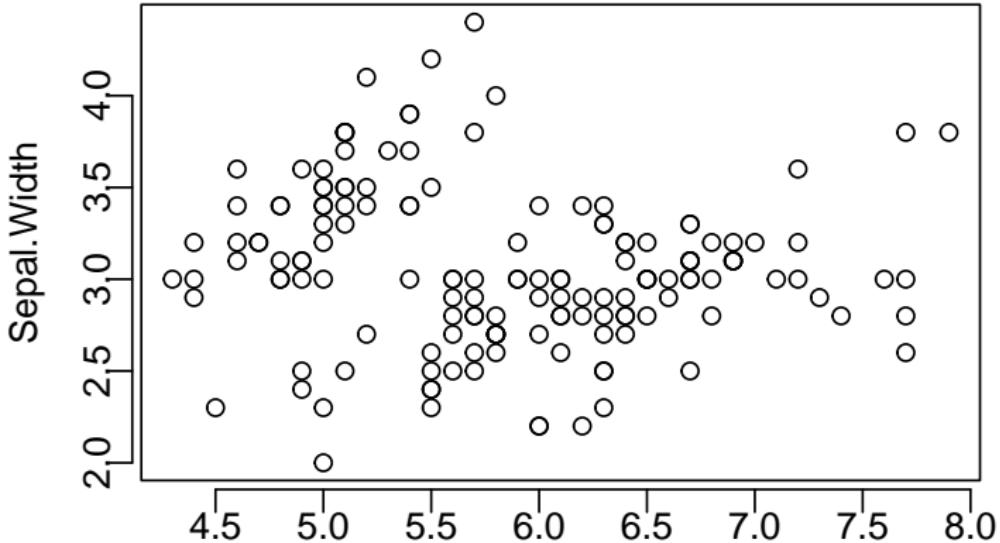
par : mar - margins = Ränder

```
par(mar=c(2,6,1,0.5)) # Einheit: Textzeilen  
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris)
```



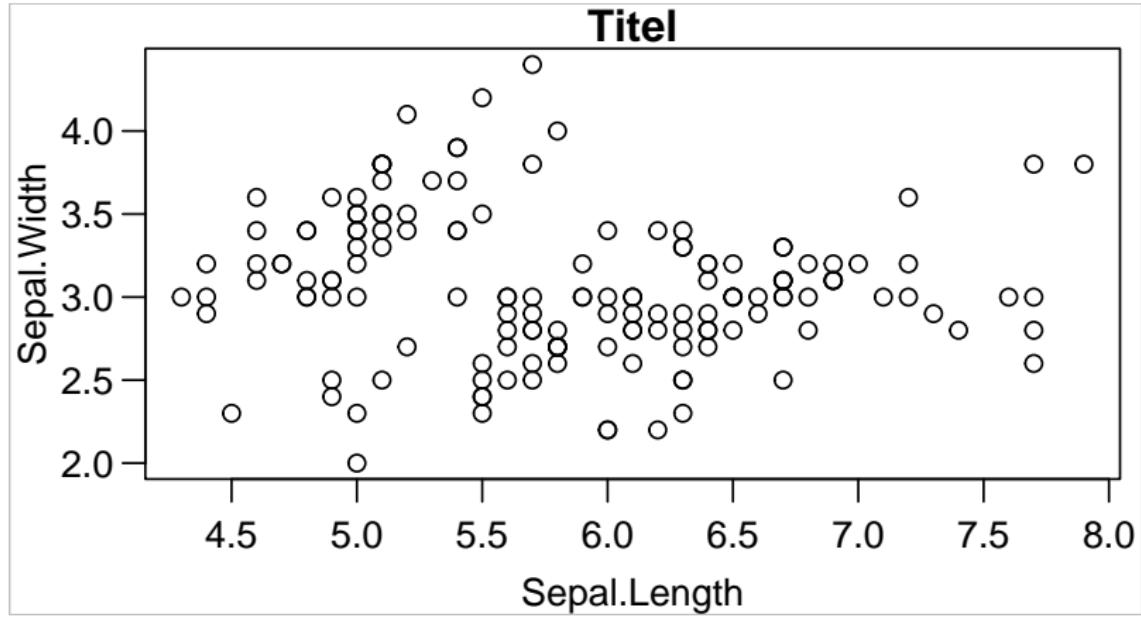
par : mgp - margin placements

```
par(mar=c(2,6,1,0.5), mgp=c(2.1, 0.5, 0.2)) # Abst. Titel,  
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris) # Zahlen, Linie
```



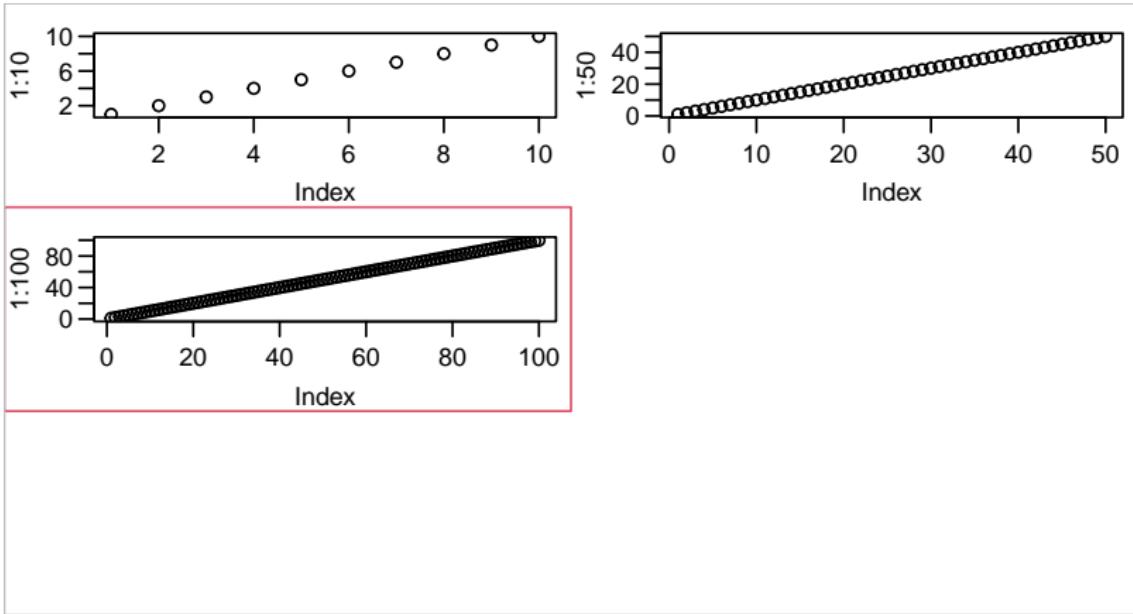
par : Häufig praktisch für minimalistische Ränder

```
par(mar=c(3,3,1,0.5), mgp=c(2,0.7,0), las=1)
plot(Sepal.Width~Sepal.Length, data=iris, main="Titel")
```



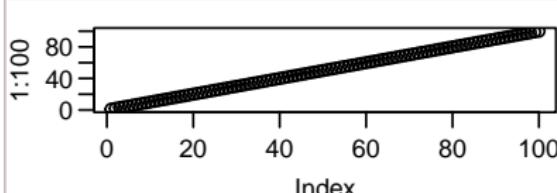
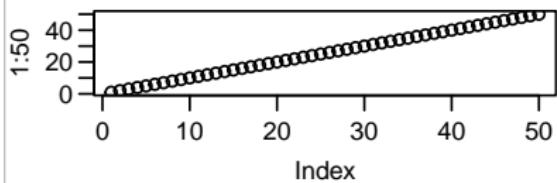
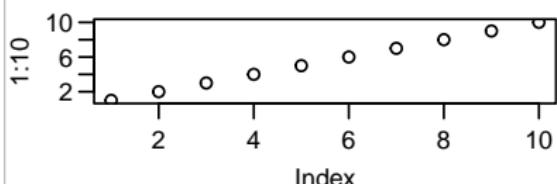
par : **mfrow** - multiple figures, **rowwise** gefüllt

```
par(mfrow=c(3,2), mar=c(3,3,1,0.5), mgp=c(2,0.7,0), las=1)
plot(1:10); plot(1:50); plot(1:100); box("figure", col=2)
```



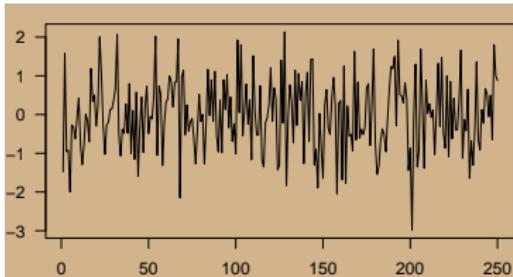
par : mfcoll - multiple figures, columnwise gefüllt

```
par(mfcoll=c(3,2), mar=c(3,3,1,0.5), mgp=c(2,0.7,0), las=1)
plot(1:10); plot(1:50); plot(1:100); box("figure", col=2)
```



par Einstellungen wiederherstellen

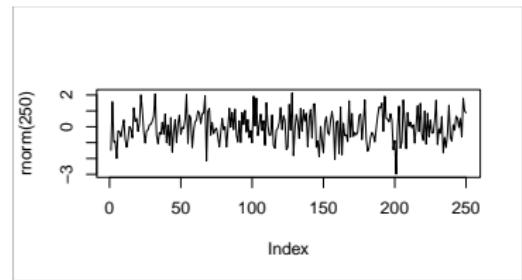
```
op <- par(mar=c(2,2,1,0),
          las=1, bg="tan")
plot(rnorm(250), type="l")
box("figure", col="grey70")
```



```
op # ursprüngliche Parameter
## $mar
## [1] 5.1 4.1 4.1 2.1
## $las
## [1] 0
## $bg
## [1] "transparent"
```

`par(op)`

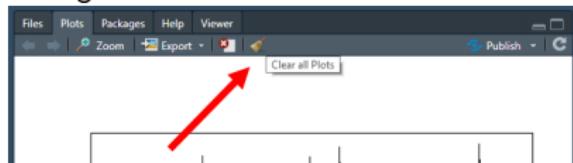
```
plot(rnorm(250), type="l")
box("figure", col="grey70")
```



Alternative:

`dev.off() # graphics.off()`

Device schließen, beim nächsten Plot sind alle Standards wieder hergestellt.
Das geht auch in RStudio:



Multipanel Diagramme

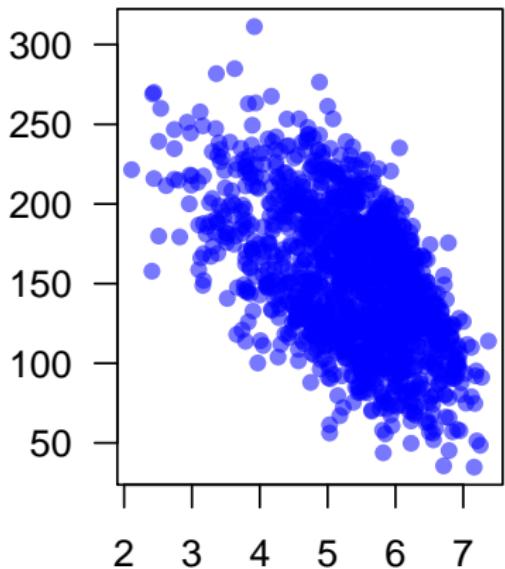
`par` : Einstellungen für Grafiken (Parameter)

► `par (mfrow,mfcol, mar,mgp, las, bg)`

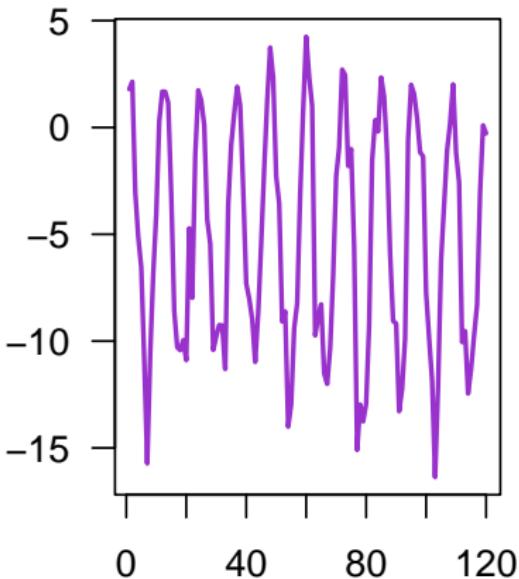
Lösung zur Übungsaufgabe B1

Zugspitze 1900:2020

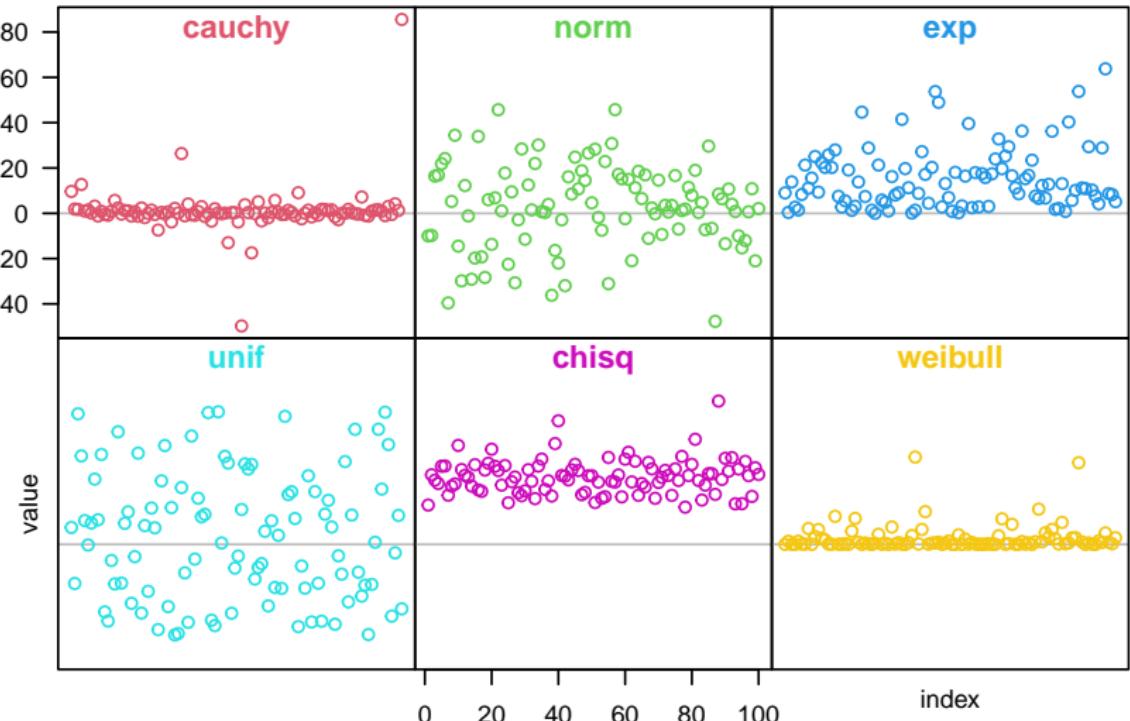
Sonnenscheindauer [Monatsstunden]
vs Wolkenbedeckung [Achtel]



Erste 120 monatliche Temperaturwerte

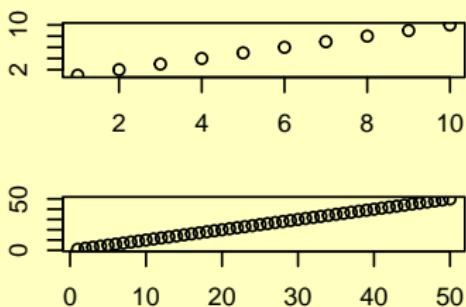


Lösung zur Übungsaufgabe B2

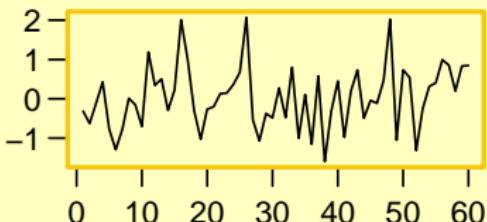
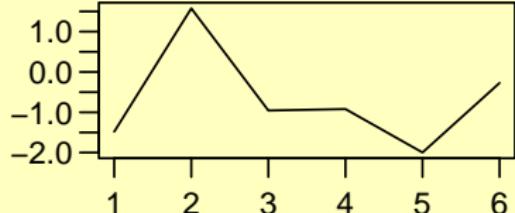


par : oma - outer margins

```
par(oma=c(0,4,3,0), mfcoll=c(3,2), mar=c(3,3,1,0.5) )  
plot(1:10); plot(1:50); title(main="header", outer=TRUE)
```



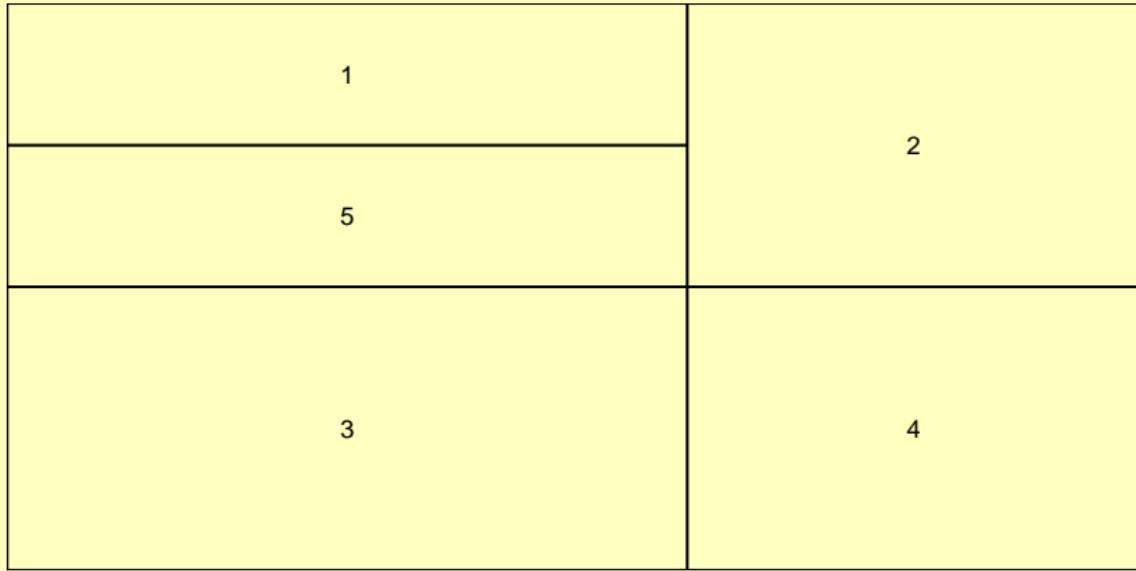
```
par(    mfrow=c(2,2)  , oma=c(0,1,3,0)      )
```



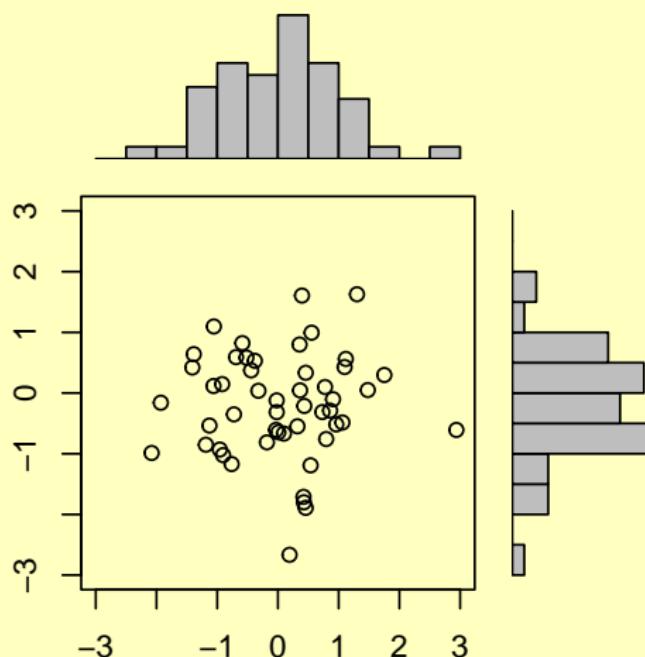
- box() = box('plot')
- box('figure'), after par(mfrow) or layout()
- box('inner')
- box('outer'), if outer margins were set by par(oma)



```
lay <- layout(matrix(c(1,1,2,2,  
                      5,5,2,2,  
                      3,3,4,4,  
                      3,3,4,4), ncol=4, byrow=TRUE),  
              widths=c(6,6,4,4))  
layout.show(lay)
```



Code im Examples-Abschnitt zu `?layout`:



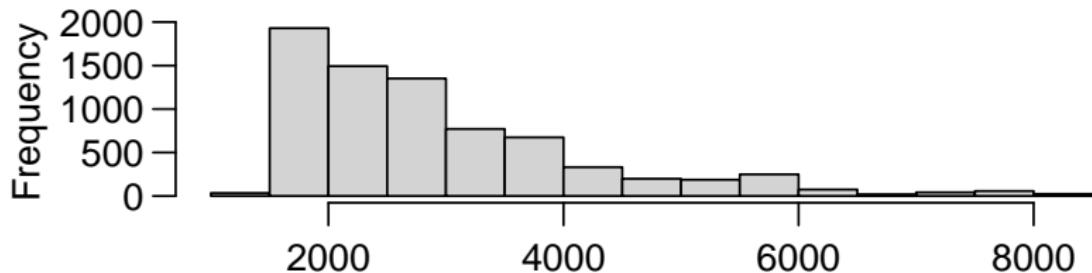
- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

Histogramm: Anzahl Werte pro Bereich

```
h <- hist(EuStockMarkets, las=1, main="Aktienindex 90er")
```

Aktienindex 90er



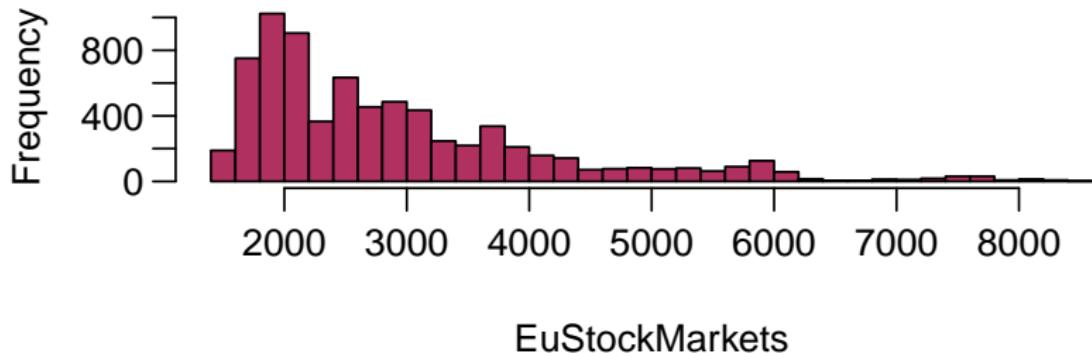
EuStockMarkets

```
str(h)
## List of 6
## $ breaks  : int [1:16] 1000 1500 2000 2500 3000 ...
## $ counts   : int [1:15] 34 1930 1493 1352 771 ...
## $ density  : num [1:15] 9.14e-06 5.19e-04 ...
## $ mids     : num [1:15] 1250 1750 2250 2750 3250 ...
## $ xname    : chr "EuStockMarkets"
## $ equidist: logi TRUE
```

hist : Anzahl bins (Klassen)

```
hist(EuStockMarkets, las=1, breaks=50, col="maroon")
```

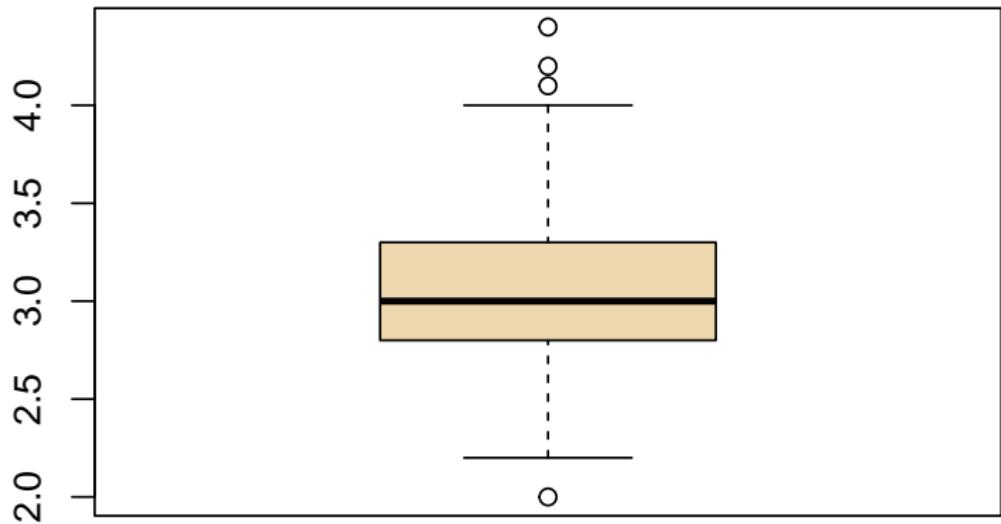
Histogram of EuStockMarkets



Boxplot: Quartile grafisch dargestellt

```
summary(iris$Sepal.Width)
##      Min. 1st Qu. Median      Mean 3rd Qu.      Max.
##      2.000  2.800  3.000  3.057  3.300  4.400

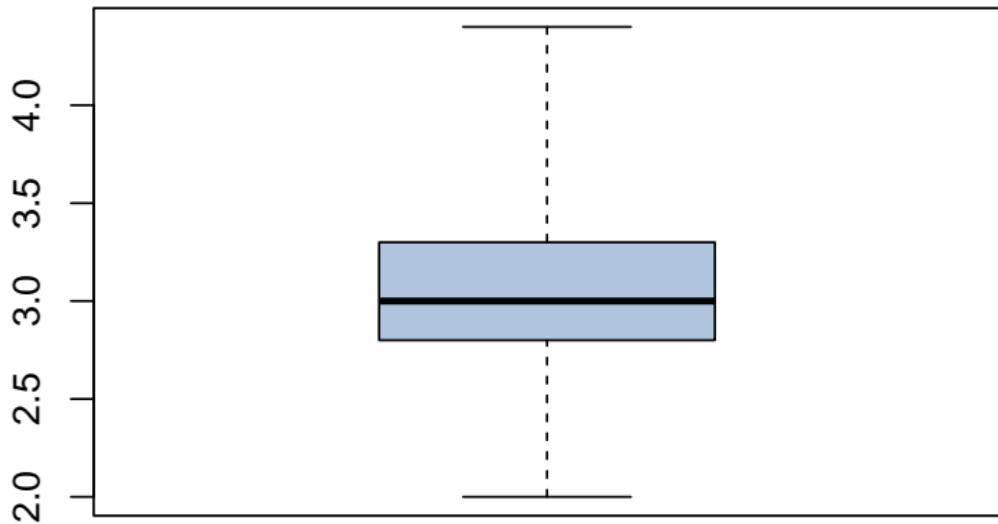
boxplot(iris$Sepal.Width, col="wheat2")
```



Punkte sind meist kein 'Outlier' sondern gehören dazu

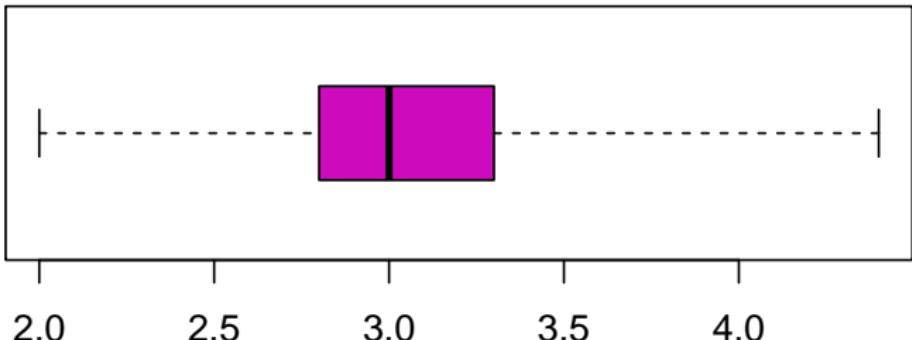
`boxplot()` zeichnet 'Ausreißer' standardmäßig als individuelle Punkte. Die Schwelle dafür, als solche eingestuft zu werden, ist eine willkürliche Distanz außerhalb der IQR Box. (IQR = InterQuartileRange = Spanne zwischen 25% und 75% Quantile der Daten)

```
boxplot(iris$Sepal.Width, range=0, col="lightsteelblue")
```

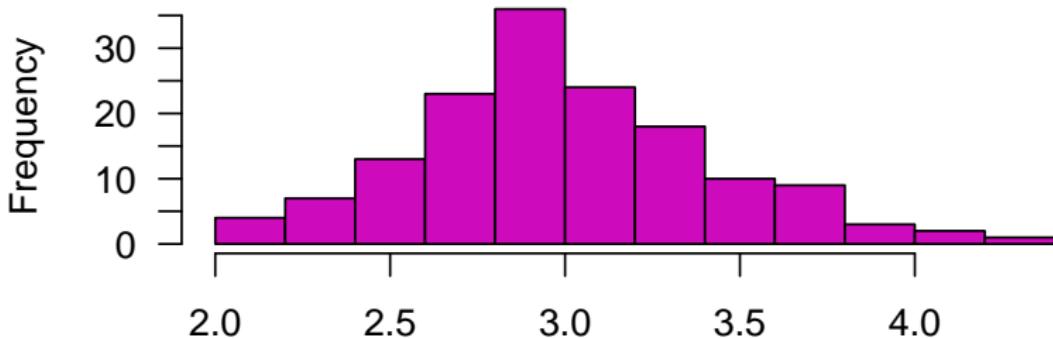


Horizontale Boxplots

```
boxplot(iris$Sepal.Width, horizontal=TRUE, range=0, col=6)
```

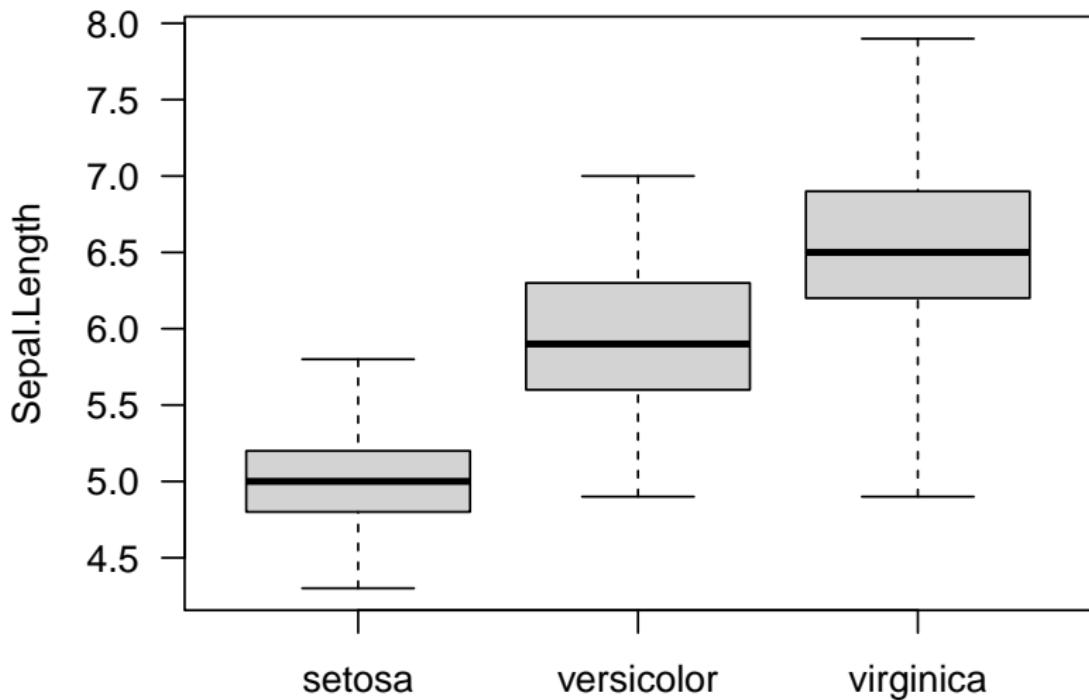


```
hist(iris$Sepal.Width, col=6, main="", las=1)
```



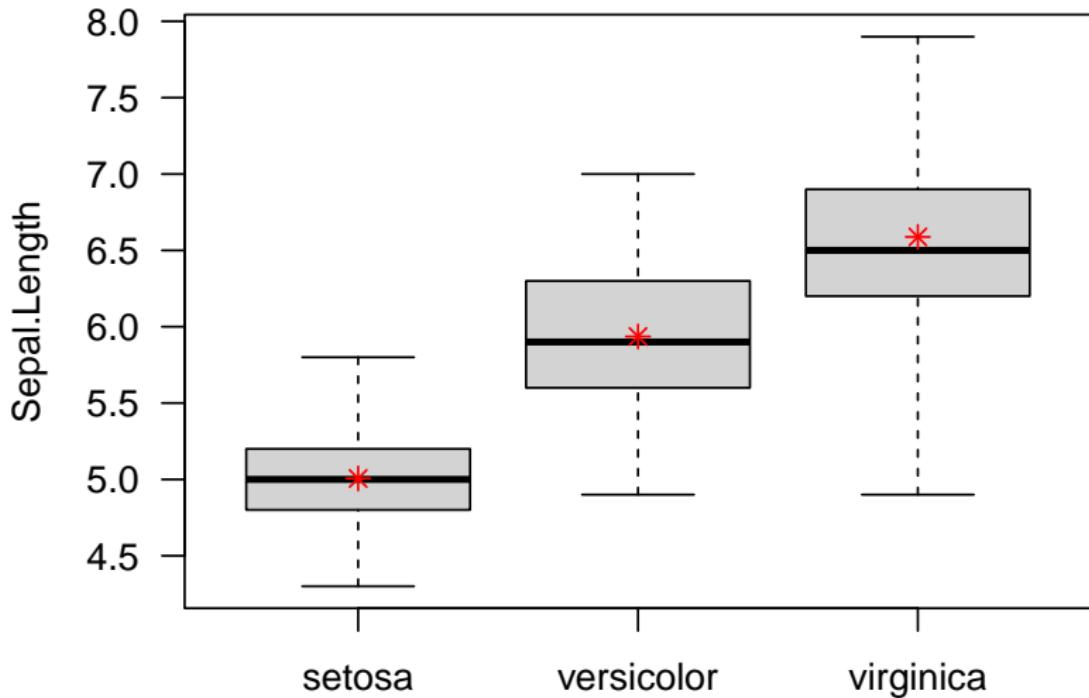
Boxplots mehrerer Spalten

```
boxplot(Sepal.Length ~ Species, data=iris, range=0, las=1)
# auch manchmal hilfreich (+ einfacher als bei barplots):
werte ~ gruppe1+gruppe2 # für doppelt gruppierte Daten
```



Boxplots mit arithmetischen Mittelwerten

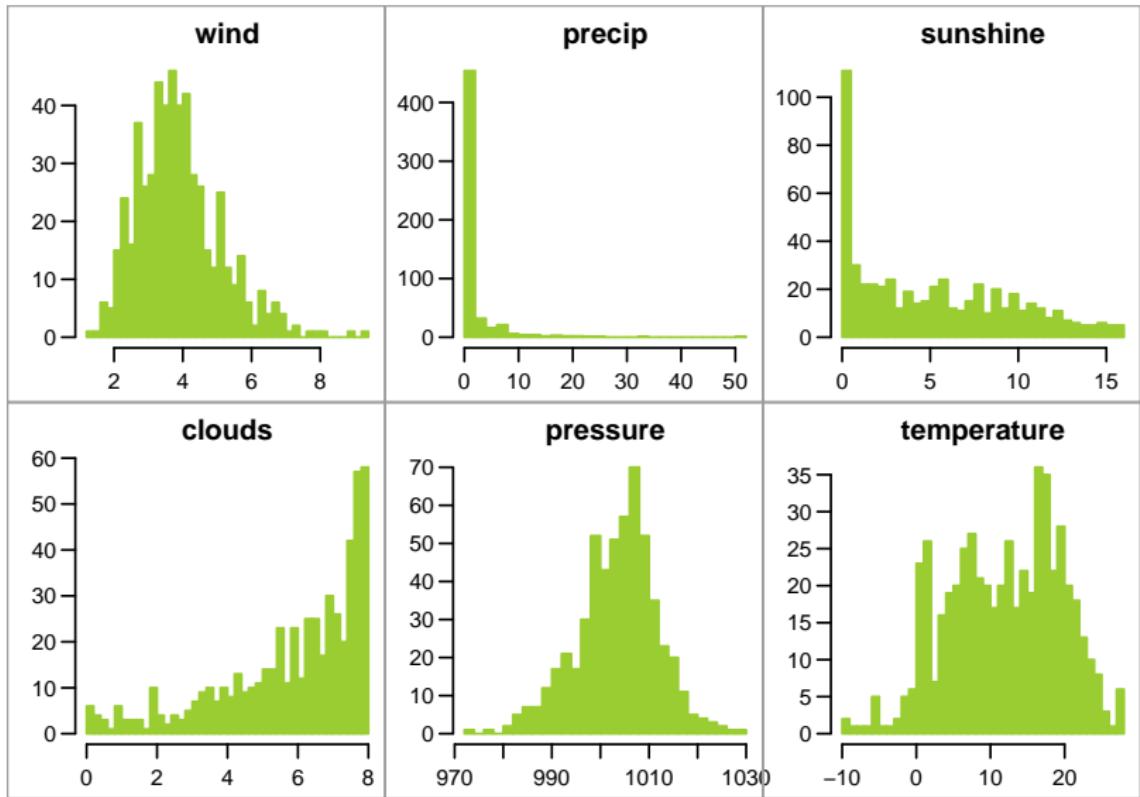
```
boxplot(Sepal.Length ~ Species, data=iris, range=0, las=1)
averages <- tapply(iris$Sepal.Length, iris$Species, mean)
points(1:3, averages, pch=8, col="red")
```



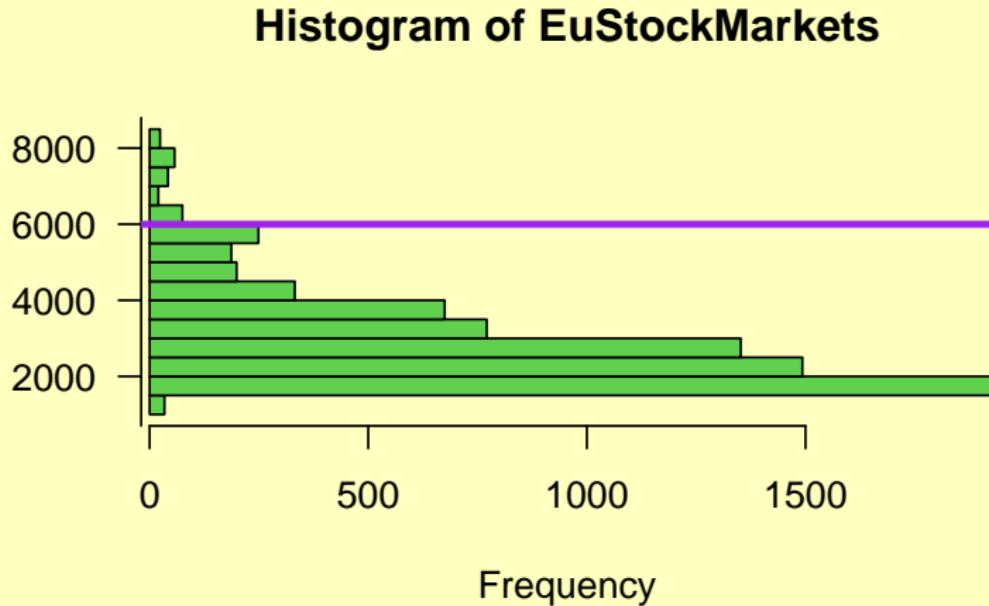
Histogramme und Boxplots: grafische Darstellung der Häufigkeitsverteilung

- ▶ `hist (breaks, las,col,main)`
- ▶ `boxplot (range=0, horizontal)`
- ▶ `boxplot (y ~ x)`
- ▶ Boxplots um viele Gruppen zu vergleichen, Histogramme um die tatsächliche Verteilung zu sehen

Lösung zur Übungsaufgabe B6



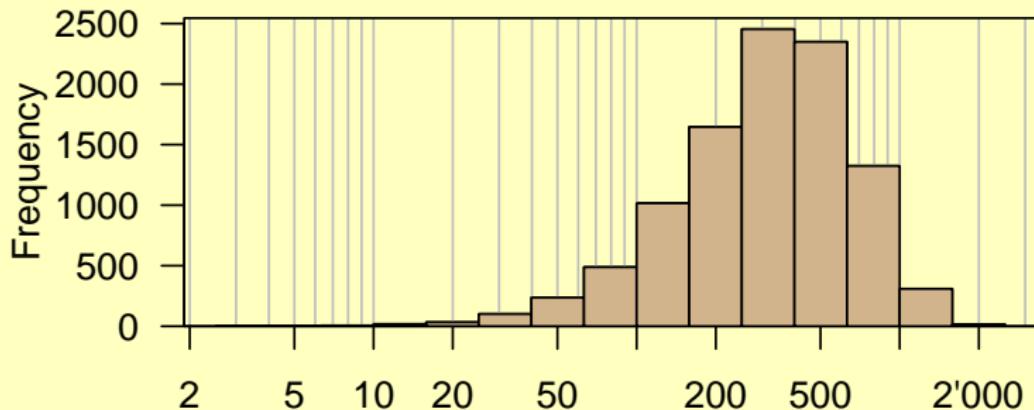
```
hpos <- berryFunctions::horizHist(EuStockMarkets, col=3)
abline(h=hpos(6000), col="purple", lwd=3)
```



Logarithmisches Histogramm

```
berryFunctions::logHist(rbeta(1e4, 2, 50)*1e4, main="LOG")
```

LOG

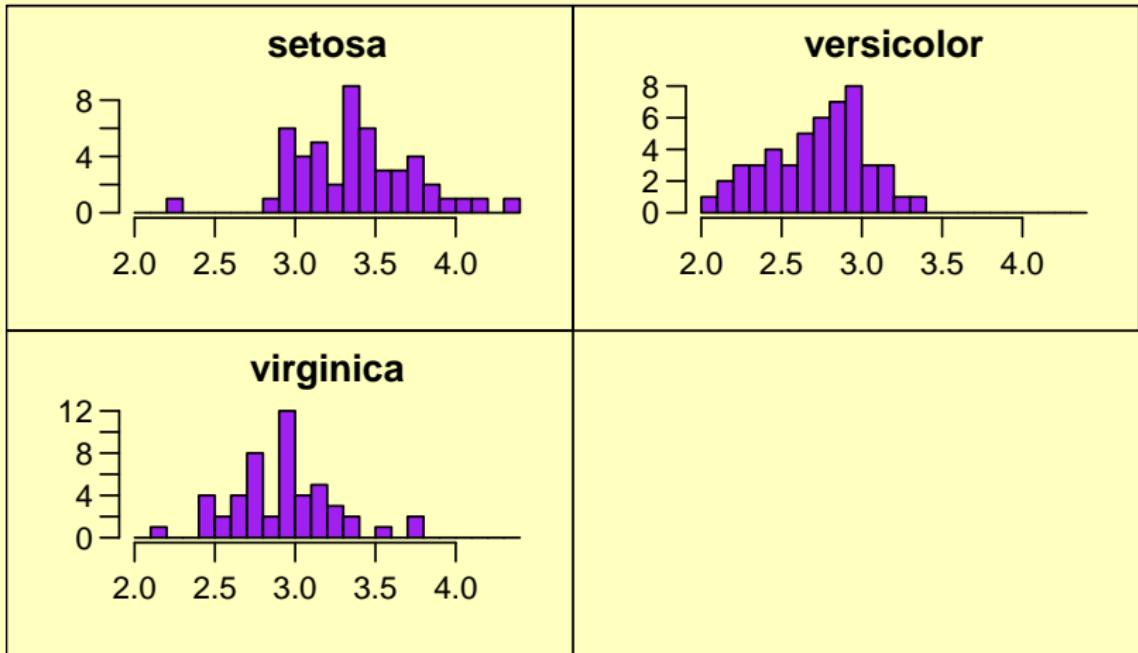


$\text{rbeta}(10000, 2, 50) * 10000$

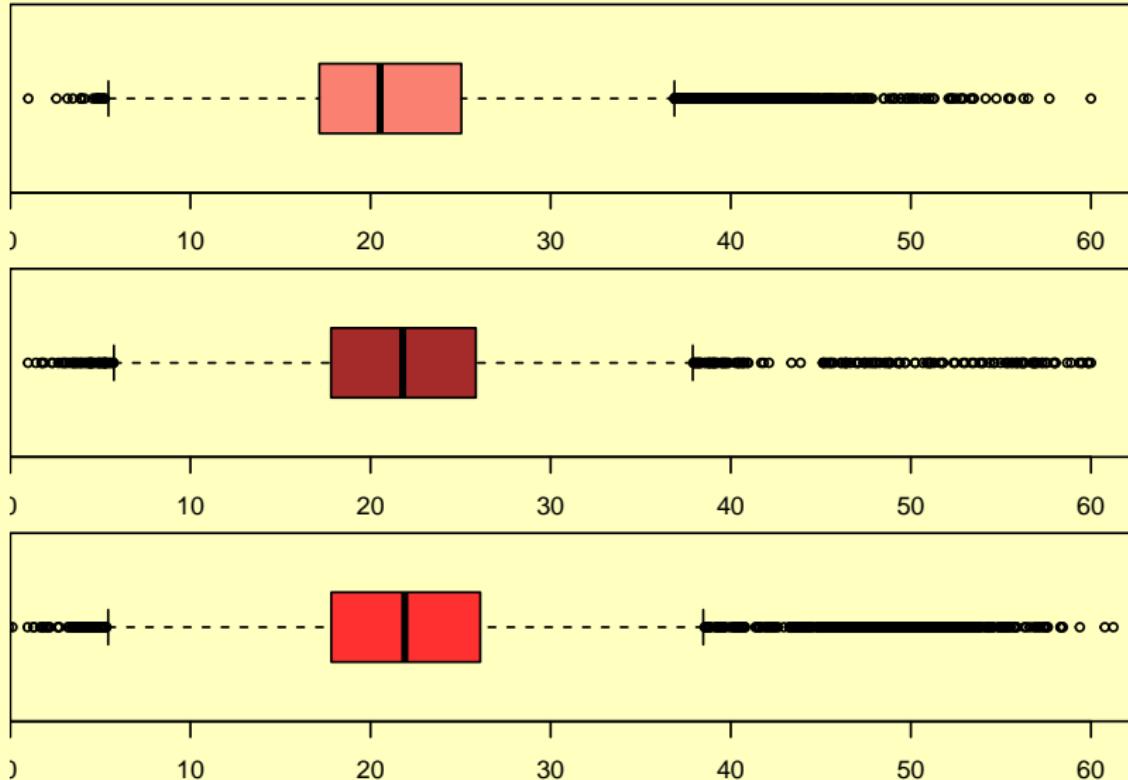
Gruppiertes Histogramm

```
berryFunctions::groupHist(iris, "Sepal.Width", "Species",  
                           unit="cm")
```

Histograms of Sepal.Width [cm] in iris, grouped by Species

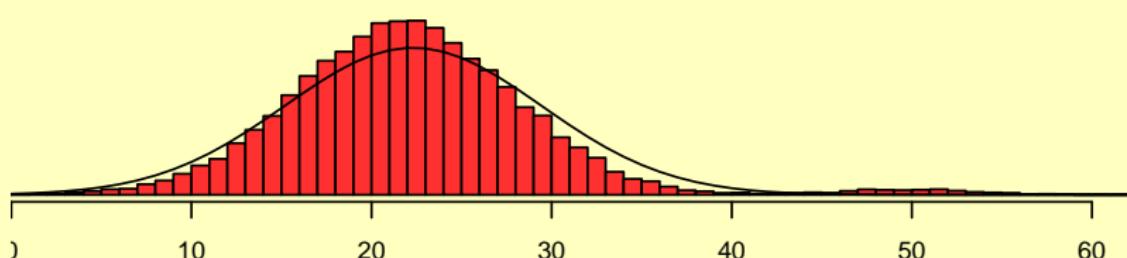
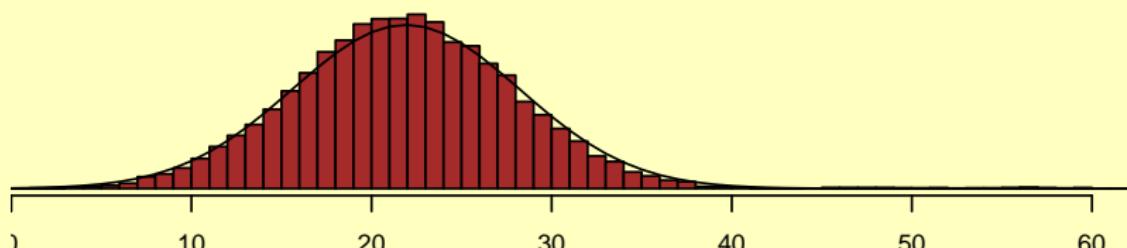
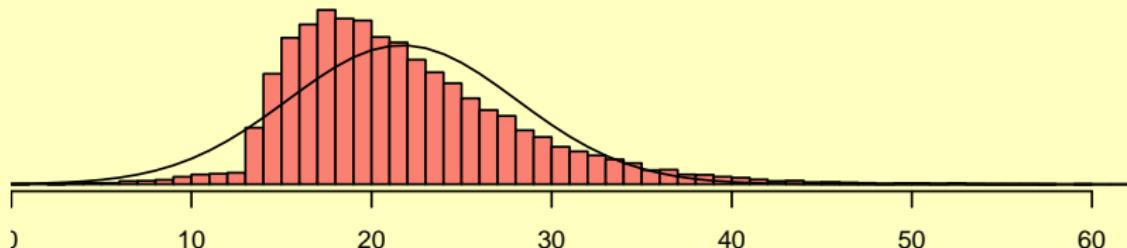


Boxplots sollten nur verglichen werden,



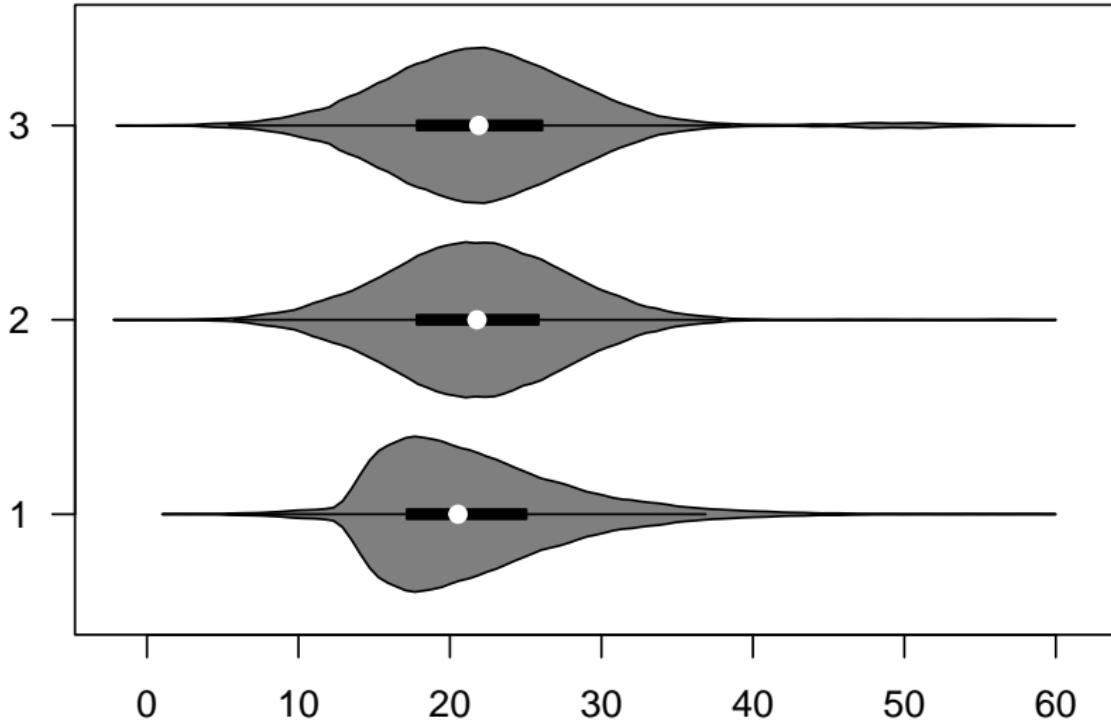
wenn die unterliegende Verteilungen gleich sind!

siehe z.B. why not to trust statistics und boxplot R



Violinplots: guter Mittelweg zwischen Boxplot und Histogramm

```
vioplot::vioplot(x,y,z, h=0.5, horizontal=TRUE)
```



- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

Dateiformate:

PDF : Vektor-grafik (zoombar), mehrere Seiten

PNG : Raster-Grafik, kleine Dateigröße

JPG : Anti-Aliasing, für Fotos (nicht für Grafiken)

```
pdf("MusterGrafik.pdf") # PDF-graphics-device öffnen  
par(mar=c(3,3,1,0), las=1)  
# Einstellungen für die exportierte Grafik  
plot(rnorm(700), col=colors(), col.axis="turquoise")  
# Grafik erscheint nicht im standard Rstudio Device  
dev.off() # externes Device schließen
```

pdf **width** und **height** sind per Default je 7 inches (17.8 cm).

Code einrücken macht Zusammengehörigkeit deutlich (für Menschen, nicht für R).

Jede Grafik hat eine eigene Seite im PDF:

```
pdf("MusterGrafik.pdf", height=5)
  plot(rnorm(700), col=colors(), col.axis="turquoise")
  boxplot(iris)
  hist(rnorm(700))
dev.off()
```

Zeilen gruppieren, geblockt an R senden

```
7777 # irgendwelcher vorhergehender Code
{ pdf("MusterGrafik.pdf")
  boxplot(iris)
  hist(rnorm(700))
  dev.off()
}
888 # weitere andere Sachen
```

Tipps und Tricks zum Exportieren

Alles zwischen `pdf/postscript/png/jpeg/bmp/tiff/xfig/X11/svg`

und `dev.off()` wird in die externe Grafik geschrieben.

Bei einem Fehler innerhalb geblockter Ausführung nicht vergessen,
`dev.off()` manuell aufzurufen.

PDFs in Sumatra (nur auf Windows OS) öffnen, sodass sie editiert werden können, während sie geöffnet sind. Änderungen sind live sichtbar.

Kommt mit Rstudio. [Sumatra Hinweise](#)

Ubuntu: evince (Dokumentbetrachter) + eog (eye of gnome, Bildbetr.)

Grafikdatei von R aus öffnen:

```
{ pdf("MusterGrafik.pdf")
  boxplot(iris)
  dev.off()
  file.show("MusterGrafik.pdf") # Geht nicht bei Umläuten
}
```

```
berryFunctions::openFile()
```

```
berryFunctions::openPDF() # für SumatraPDF
```

Grafiken speichern als PNG

```
png("DateiName.png", width=12, height=9, units="in",
    res=300, bg="transparent", pointsize=14)
par(mar=c(3,3,1,0.5), las=1)
plot(1:20)
title(main="Plot title")
points(5,9)
dev.off()
```

`units` in inches um ggf. auf `pdf` umzusteigen (kann nur inches, keine cm).

Fortlaufende Nummerierung bei mehreren Bildern:

```
png("Bild_%03d.png")
par(bg="thistle")
plot(2:8, type="h", lwd=7) ; plot(1:8)
dev.off() # ohne dev.off ist das letzte Bild noch leer
```

`_%03d.png` `_001.png` Gute Wahl :)

`_%3d.png` `_ 1.png` Leerzeichen in Dateinamen: generell keine gute Idee

`_%d.png` `_1.png` Sortiert nach Dateinamen kommt `10.png` vor `2.png`

Grafiken speichern:

- ▶ `pdf("datei.pdf") ; plot(42) ; dev.off()`
- ▶ PDF-viewer verwenden, der geöffnete Dateien nicht gegen Bearbeitung sperrt
- ▶ `png (width, height, units, res, bg, pointsize)`
- ▶ `{}` um Code geblockt auszuführen

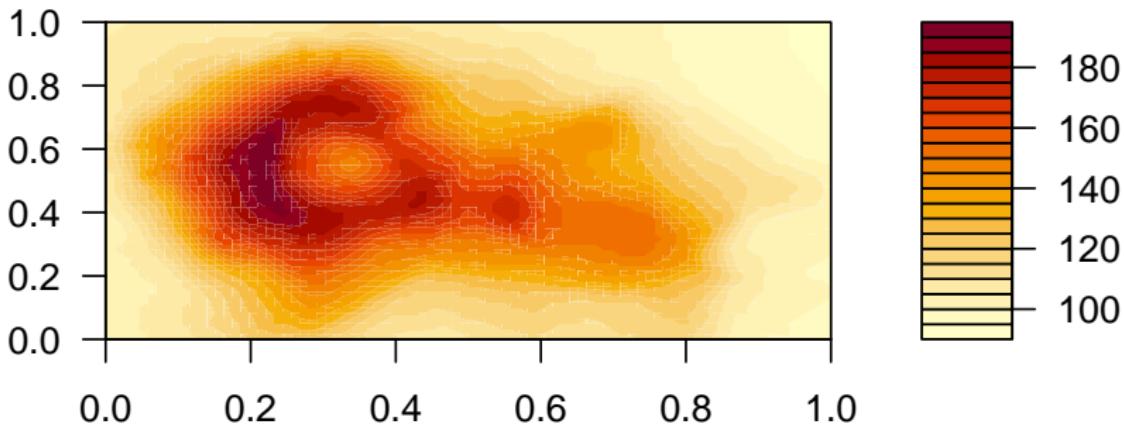
- 0. Intro
- 1. Grundlagen
- 2. Datentypen
- 3. Tabellen
- 4. Grafiken

- 4.1 Punktdiagramme
- 4.2 Liniendiagramme
- 4.3 Balkendiagramme
- 4.4 Hinzufügen
- 4.5 Komposition
- 4.6 Verteilungsplots
- 4.7 Exportieren
- 4.8 Ausblick

Animation

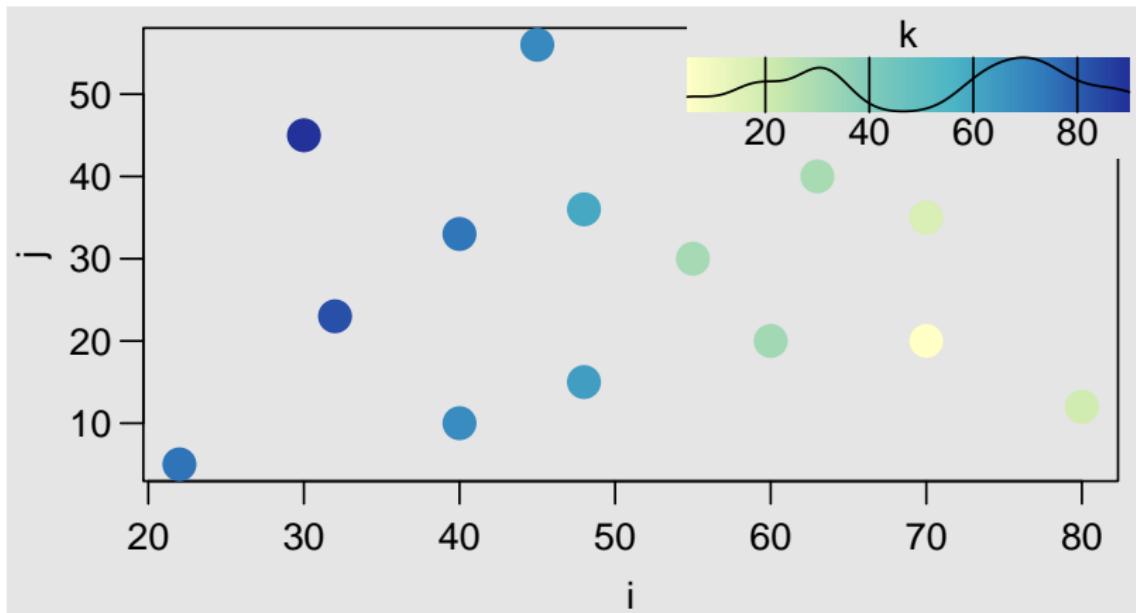
Mit **ffmpeg**:

```
set.seed(12)
volc <- apply(volcano, 1:2, function(x) x+cumsum(rnorm(100)))
library(animation); library(pbapply)
saveVideo(pbsapply(1:100, function(i)
    filled.contour(volc[i,,], zlim=range(volc))),
    video.name="volc.mp4", interval=0.07,
    ffmpeg="C:/ff_folder/bin/ffmpeg.exe")
```



3D Punkte in Farbskala

```
i <- c(22, 40, 48, 60, 80, 70, 70, 63, 55, 48, 45, 40, 30, 32)
j <- c( 5, 10, 15, 20, 12, 20, 35, 40, 30, 36, 56, 33, 45, 23)
k <- c(75, 68, 63, 32, 20, 05, 17, 30, 31, 60, 69, 74, 90, 83)
berryFunctions:::colPoints(i,j,k, add=FALSE, y1=0.75,
                           density=list(bw=5), cex=2)
```



3D Linien in Farbskala

```
tfile <- system.file("extdata/rivers.txt", package="berryFunctions")
rivers <- read.table(tfile, header=TRUE, dec=",")
berryFunctions::colPoints(x,y,n, data=rivers, add=FALSE,
                           lines=TRUE, lwd=3, y1=0.8, density=FALSE)
```

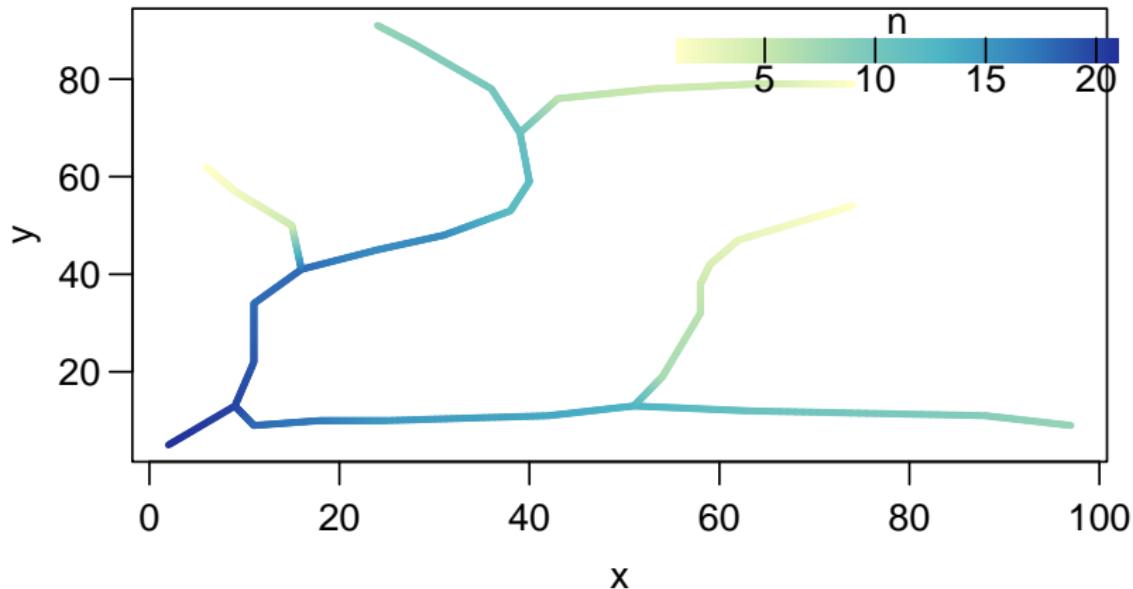


Tabelle in Farbskala

```
berryFunctions::tableColVal(t(longley[5:14,-6]), digits=1,
                             nameswidth=0.2, cex=0.6)
```

t(longley[5:14, -6])	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
GNP.deflator	96.2	98.1	99.0	100.0	101.2	104.6	108.4	110.8	112.6	114.2
GNP	329.0	347.0	365.4	363.1	397.5	419.2	442.8	444.5	482.7	502.6
Unemployed	209.9	193.2	187.0	357.8	290.4	282.2	293.6	468.1	381.3	393.1
Armed.Forces	309.9	359.4	354.7	335.0	304.8	285.7	279.8	263.7	255.2	251.4
Population	112.1	113.3	115.1	116.2	117.4	118.7	120.4	122.0	123.4	125.4
Employed	63.2	63.6	65.0	63.8	66.0	67.9	68.2	66.5	68.7	69.6

Dieses gesamte Kapitel erstellt Grafiken mit dem sogenannten base R.
Ein beliebter 'Dialekt' ist im Paket `ggplot2` verfügbar.

Beide Ansätze haben jeweils Vorteile und ihre Daseinsberechtigung.

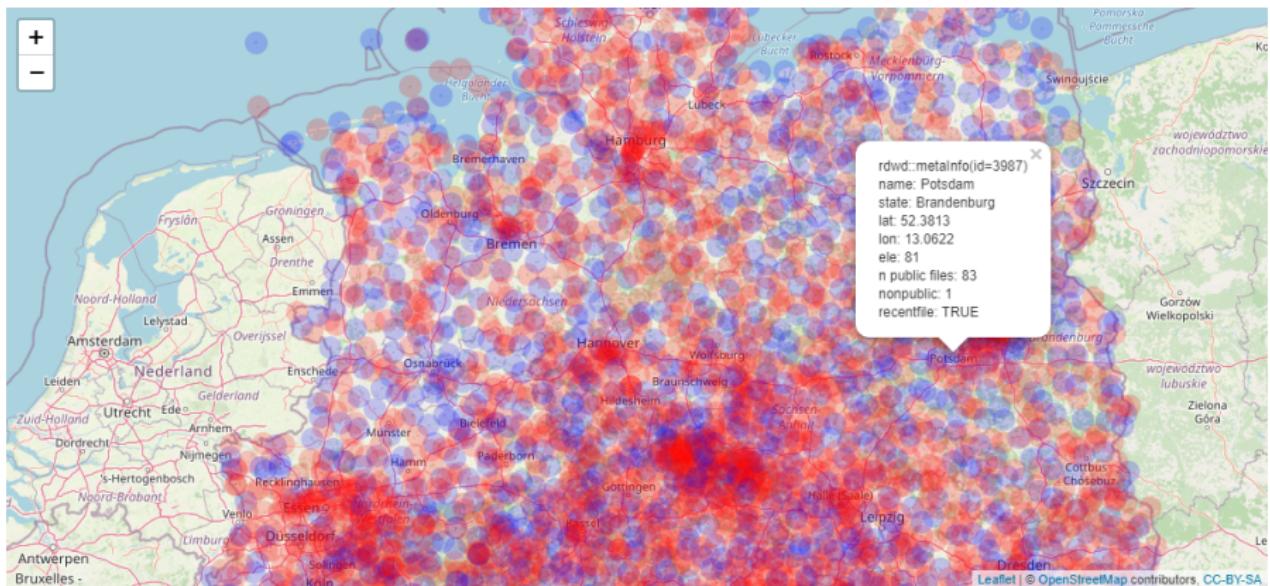
Einige hilfreiche Links dazu:

<http://minimaxir.com/2017/08/ggplot2-web>

https://uc-r.github.io/ggplot_intro

<http://flowingdata.com/2016/03/22/comparing-ggplot2-and-r-base-graphics>

```
library(rdwrd) ; data(geoIndex) ; library(leaflet)
leaflet(geoIndex) %>% addTiles() %>%
  addCircles(~lon, ~lat, radius=900, stroke=F, color=~col) %>%
  addCircleMarkers(~lon, ~lat, popup=~display, stroke=F, color=~col)
```



Verschiedene anwendungsbezogene Grafiken:

- ▶ `berryFunctions::colPoints+tableColVal`
- ▶ `leaflet`
- ▶ `ggplot2` für einen anderen Dialekt

Für diese Lektion gibt es keine Übungsaufgaben

Programmieren mit für Einsteiger

