

Einführung in die Datenanalyse mit R (700104)

Kursskript



Dr. Johannes SIGNER
Abteilung Wildtierwissenschaften
Büsgenweg 3
37077 Göttingen

jsigner@uni-goettingen.de

Dr. Kai HUSMANN
Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung
Büsgenweg 1
37077 Göttingen

kai.husmann@uni-goettingen.de



Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
Georg-August-Universität Göttingen



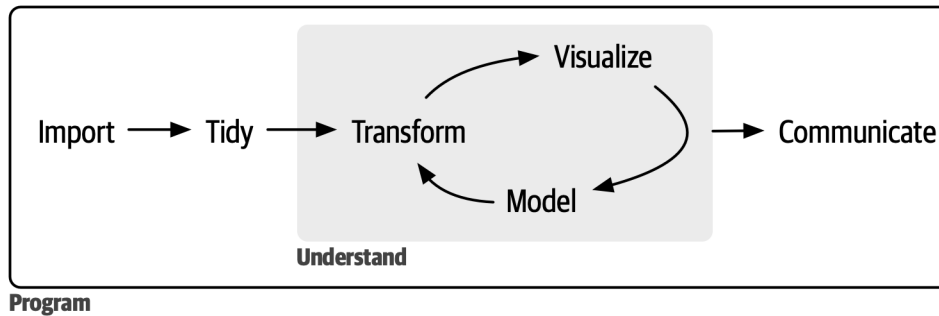
¹³ Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe](#)
¹⁴ [unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](#).

¹⁵ Zitiervorschlag:
¹⁶ Signer, J. und Husmann, K. (2023) Skript zur Vorlesung Einführung in die Datenanalyse mit R, Georg-
¹⁷ August-Universität Göttingen.

¹⁸ Letzte Aktualisierung: 29. November 2023

Vorwort und Danksagung

Lernziel des Kurses ist die Einführung in die Arbeit, Visualisierung und Analyse von (forstlichen) Datensätzen mit dem Statistikprogramm *R*. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Datenverarbeitung. Statistische Methoden werden nur an wenigen Stellen exemplarisch angewendet. Ein typisches Data Science Projekt besteht laut Wickham et al. (<https://r4ds.hadley.nz/>) aus 4 Stufen.



Wir werden uns in diesem Kurs insbesondere mit den ersten beiden Stufen *Import* und *Tidy* beschäftigen und uns im Schritt *Understand* nur mit sehr einfachen *Models* befassen.

Weitere Materialien als dieses Kursskript und die Übungsaufgaben (StudIP) werden nicht benötigt. Die gelöste Übungsaufgaben dieses Skriptes werden Ihnen über StudIP zugänglich gemacht. Dort werden auch ggf. Ankündigungen bekanntgegeben. Um die Credits für den Kurs zu erhalten, müssen Sie am Ende des Kurses eine mündliche Prüfung ablegen. Für die Prüfung werden Sie zwei zufällig gezogene Prüfungsfragen aus dem Dokument "Übungen: Einführung in die Datenanalyse mit R" bearbeiten und vortellen. Nach einer 15-minütigen Vorbereitungszeit beträgt die Prüfungszeit weitere 15 Minuten. In der Prüfungszeit präsentieren Sie zunächst Ihre Lösung und beantworten anschließend vertiefende Fragen zu Ihrer Lösung und daraufhin auch zum gesamten Lehrinhalt des Kurses.

Dieses Vorlesungsskript ist ein R Markdown-Dokument, das mit R und RStudio erstellt wurde. Das Dokument besteht aus Fließtext, R Code und den entsprechenden Code-Ergebnissen. Die grau hinterlegten Codepassagen sind kurze R-Skripte. Falls das Skript eine Konsolenausgabe erzeugt, ist diese direkt mit "###" markiert (diese Begriffe werden in Kapitel 1.2 näher erläutert).

Dank für Anmerkungen gilt Markus Benesch, Sofie Biberacher und Josephine Trisl. Teile des Unterkapitels zu Schleifen und Kontrollstrukturen sind an das R Skript des Kurses Computergestützte Datenanalyse von Robert Nuske, Nikolas von Lüpke und Joachim Saborowski angelehnt. Des Weiteren wurden Beispiele aus dem frei Verfügbaren Dokument *R for Data Science* (<https://r4ds.hadley.nz/intro.html>) entnommen.

44 Inhaltsverzeichnis

45	1 R und RStudio	3
46	1.1 Installation von R und RStudio	3
47	1.2 Erste Schritte in R	3
48	1.3 Gute Praxis bei der Programmierung	5
49	2 Variablen, Funktionen und Datentypen	7
50	2.1 Variablen beim Programmieren	7
51	2.2 Datentypen	8
52	2.3 Funktionen	9
53	2.4 Datenstrukturen	10
54	2.5 Funktionen	11
55	3 Vektoren	13
56	3.1 Funktionen zum Arbeiten mit Vektoren	15
57	3.2 Statistische Funktionen	16
58	3.3 Beispiel Fotofallen	17
59	3.4 Arbeiten mit logischen Werten	18
60	3.5 Zugreifen auf Elemente eines Vektors (=Untermengen)	20
61	3.6 Der <code>%in%</code> -Operator	21
62	4 Faktoren (factors)	23
63	5 Spezielle Einträge	25
64	5.1 NA	25
65	5.2 NULL	26
66	5.3 Inf	26
67	6 data.frames oder Tabellen	28
68	6.1 Wichtige Funktionen zum Arbeiten mit <code>data.frames</code>	29
69	6.2 Zugreifen auf Elemente eines <code>data.frame</code>	30
70	7 Schreiben und lesen von Daten	33
71	7.1 Textdateien	33
72	8 Erstellen von Abbildungen	35
73	8.1 Base Plot	35
74	8.1.1 Mehrere Panels	39
75	8.1.2 Speichern von Abbildungen	41
76	8.2 Histogramme	42
77	8.3 Boxplots	44
78	8.4 ggplot2: Eine Alternative für Abbildungen	46
79	8.4.1 Multipanel Abbildungen	53
80	8.4.2 Plots kombinieren	55

81	8.4.3 Speichern von plots	58
82	9 Mit Daten arbeiten	59
83	9.1 dplyr eine Einführung	59
84	9.2 Arbeiten mit gruppierten Daten	62
85	9.3 pipes oder %>%	63
86	9.4 Joins	64
87	9.5 'long' and 'wide' Datenformate	66
88	9.6 Auswählen von Variablen	67
89	9.7 Einzelne Beobachtungen abfragen (slice())	69
90	9.8 Spalten trennen	72
91	10 Arbeiten mit Text	74
92	10.1 Arbeiten mit Text	74
93	10.2 Finden von Textmustern	75
94	11 Arbeiten mit Zeit	78
95	11.1 Arbeiten mit Zeitintervallen	79
96	11.2 Formatieren von Zeit	80
97	12 Aufgaben Wiederholen (for-Schleifen)	82
98	12.1 Schleifen	82
99	12.1.1 Wiederholen von Befehlen mit for().	82
100	12.1.2 Wiederholen von Befehlen mit while()	85
101	12.2 Bedingte Ausführung von Codeblöcken	85
102	13 (R)markdown	87
103	13.1 Markdown Grundlagen	87
104	13.2 R und Markdown	88
105	14 Räumliche Daten in R	90
106	14.1 Was sind räumliche Daten	90
107	14.2 Koordinatenbezugssystem	90
108	14.3 Vektordaten in R	90
109	14.4 Arbeiten mit Vektordaten	92
110	14.5 Rasterdaten in R	94
111	15 FAQs (Oft gefragtes)	99
112	15.1 Arbeiten mit Daten	99
113	15.1.1 Einlesen von Exceldateien	99
114	16 Zusätzliche Aufgaben	100
115	16.1 Arbeiten mit Daten	102
116	17 Literatur	104

1 R und RStudio

1.1 Installation von R und RStudio

Als ersten Schritt müssen Sie R und RStudio installieren. Dabei ist wichtig zu unterscheiden, dass R und RStudio zwei unterschiedliche Programme sind. R ist die eigentliche Programmiersprache mit der wir arbeiten. RStudio hingegen ist eine sogenannte Entwicklungsumgebung¹, die das Arbeiten mit R vereinfachen soll.

Sie können also mit R arbeiten ohne RStudio (was unüblich ist), aber nicht mit RStudio ohne R.

Gehen Sie für die Installation von R, auf die Website <https://cloud.r-project.org/> und laden Sie die für ihren Computer passende R-Version herunter und folgen Sie den Installationsanweisungen. In Linux können Sie R über die Kommandozeile installieren.

Für die Installation von RStudio gehen Sie zu der Website <https://posit.co/download/rstudio-desktop/#download> und laden die richtige Version für Ihr Betriebssystem herunter und folgen Sie den Installationsanweisungen.

1.2 Erste Schritte in R

RStudio bietet eine Vielzahl von Funktionen, die uns das Arbeiten mit R erleichtern können. Öffnen Sie RStudio. Sie erhalten eine leere Entwicklungsumgebung. Als erstes bietet es sich an, ein neues Skript zu erstellen. Gehen Sie dafür auf das Menü: **File** » **New File** » **R Script** oder klicken Sie die Tastenkombination *Strg* + *Umschalt* + *N* (**Strg** + **⇧** + **N**).

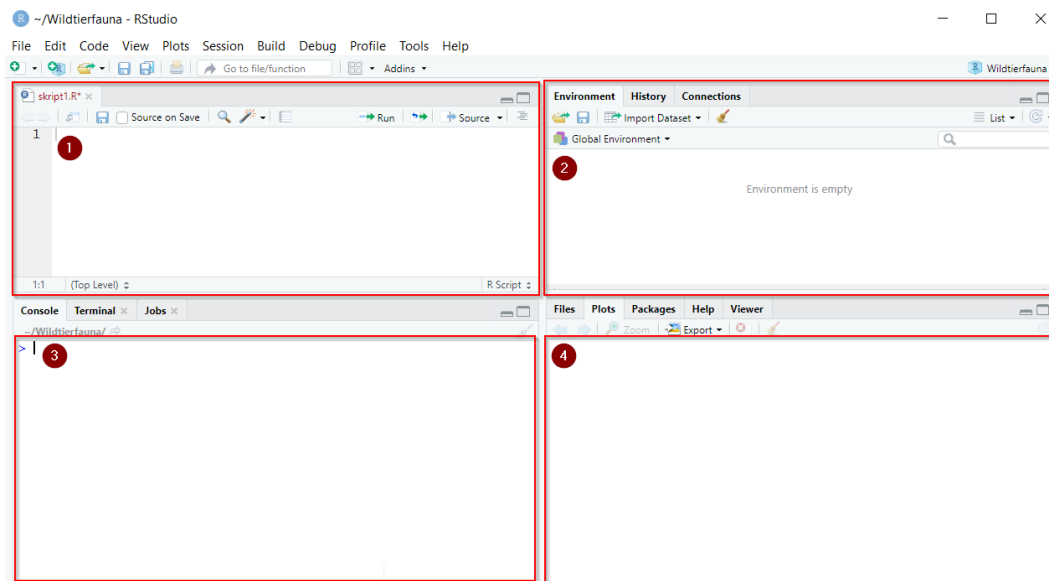


Abbildung 1: RStudio Panes.

RStudio besteht nun aus vier sogenannten **Panes** oder Ausschnitten (siehe auch Abbildung 1). Die Ausschnitte sind wie folgt gegliedert:

1. Hier werden Skripte angezeigt, d.h., hier wird meist R Code geschrieben und dokumentiert. Der Code wird

¹Oder auch IDE (=Integrated Development Environment) genannt.

beim Schreiben noch nicht ausgeführt (siehe Punkt 3), dennoch sollten Sie Code immer so schreiben, dass er Zeile für Zeile abgeschickt werden kann. Sie sollten nie Code schreiben, bei dem Sie zwischen den Zeilen hin und her springen müssen.

2. Der zweite Ausschnitt erteilt Auskunft über den *Workspace*. Im Workspace werden alle verfügbaren Objekte angezeigt.

3. Die eigentliche R-Konsole wird in Ausschnitt 3 dargestellt. Hier wird in der Regel wenig Code eingegeben. Der normale Workflow ist vom Skript Code an die Konsole zu schicken. Erst durch das Abschicken in die Konsole wird der Code (bzw. die Teile des Codes, die Sie abschicken) ausgeführt.

4. Der vierte Ausschnitt enthält mehrere Reiter. Der Reiter *Files* zeigt den Verzeichnisbaum an. Im Reiter *Plots* werden Plots angezeigt, wenn diese im Code aufgerufen werden. Hilfeseiten zu Funktionen werden im Reiter *Help* angezeigt.

Einfache Rechenoperationen können auch direkt in der R-Konsole durchgeführt werden. Prinzipiell könnten Sie alle Operationen direkt in die Konsole tippen. Der Nachteil und der Grund, warum dies keine gute Praxis ist, ist, dass der Code zwar ausgeführt jedoch nicht gespeichert wird. Code der nicht als Skript gespeichert wird, ist also nicht dokumentiert. Tippen Sie die folgenden Operationen in die Konsole.

```
10 + 5
```

```
## [1] 15
```

```
20 - 10
```

```
## [1] 10
```

```
10 * 3
```

```
## [1] 30
```

```
100 / 19
```

```
## [1] 5.263158
```

Sie sehen Ihren Code in rot und das Ergebnis dieser Operation in weiß darunter. Die Zahl in `[]` gibt die Dimension des Ergebnisses an. Hier also `[1]` für eine Angabe. Dieses Skript wurde in R Markdown geschrieben (siehe Vorwort). R Markdown verbindet Text und Code. Die Ergebnisse des Codes werden unter dem grau hinterlegten *Codechunk* dargestellt. Darstellung und Farbe des Codes und der Ergebnisse sind jedoch nicht immer exakt so wie sie es in der R Konsole wären.

Weitere häufig verwendete Operationen sind `^` für eine beliebige Potenz, z.B. $2^3 = 2^3 = 8$. Analog dazu gibt es die Funktion `sqrt()` zum berechnen von Wurzeln und viele weitere Funktionen. Wenn Sie einen code abschicken, der nicht funktioniert bekommen Sie statt des Ergebnisses eine Fehlermeldung, welche bestenfalls einen Hinweis zur Korrektur enthält.

Meist verwenden wir jedoch **Skripte**, um den R-Code zu schreiben und ihn dann an die Konsole “zu schicken”. Dies hat den Vorteil, dass alle Schritte nachvollziehbar bleiben und Analysen beliebig oft wiederholt werden können. Nach der Ausführung bleibt der Code erhalten und Sie dokumentieren Ihre Berechnungen automatisch mit. Stellen Sie sich den Code im R-Skript wie ein Kochbuch vor. Wenn wir R-Code in einem R-Skript geschrieben haben gibt es mehrere Möglichkeiten diesen Code abzuschicken/ auszuführen. Wir können eine Zeile abschicken, indem wir entweder auf *Run* klicken (Abbildung 2) oder die Tastenkombination *Strg +*

170 *Enter* (**Strg** + **↵**) tippen. Mehrere Zeilen abzuschicken und nacheinander ausführen zu lassen ist möglich,
 171 indem diese Zeilen markiert werden bevor Sie *Run* klicken oder die Tastenkombination tippen. Ein Klick auf
 172 *Source* bzw. die Tastenkombination *Strg* + *Umschalt* + *Enter* (**Strg** + **⇧** + **↵**).

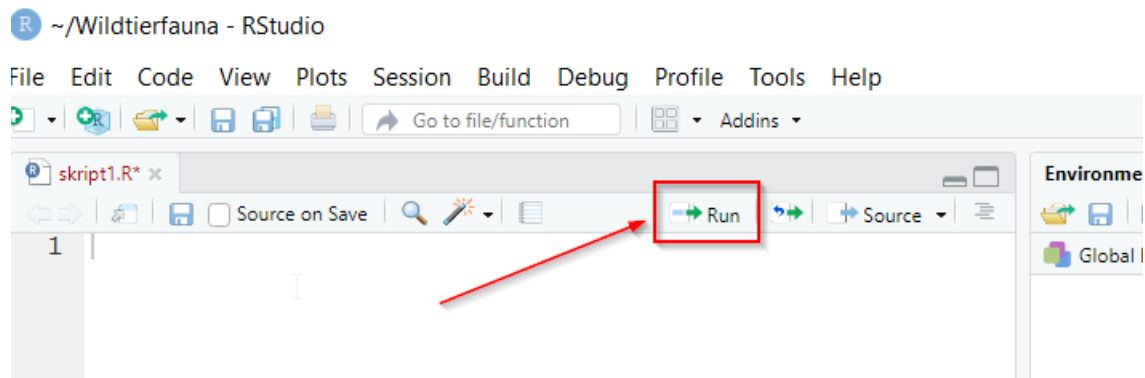


Abbildung 2: Zeilenweises Ausführen von Code in RStudio.

173 Wenn Sie die Codezeile abgeschickt haben, sehen Sie diese Zeile in der Konsole und direkt darunter das
 174 Ergebnis sowie die Dimension des Ergebnisses, also genauso, als hätten Sie den Code direkt in die Konsole
 175 getippt. Die Konsole erkennt, wenn Sie einen unvollständigen Code abschicken. In der Konsole sehen Sie in
 176 diesem Fall kein Ergebnis, sondern ein + unter der abgeschickten Zeile. Sie können nun eine weitere Zeile zur
 177 vervollständigung abschicken oder in der Konsole *Escape* (**Esc**) drücken, um abzubrechen.

178 1.3 Gute Praxis bei der Programmierung

179 Es gibt eine gute Praxis, wie der Stil der Codes sein sollte. Die sog. *Style Guides* sind eine Art generelle
 180 Vereinbarung bei der Programmierung. Style Guides sind selbstverständlich optional und wer viel programmiert,
 181 wird mit der Zeit evtl. einen eigenen Stil entwickeln. Dennoch bieten Style Guides gerade beim Einstieg in die
 182 Programmierung eine gute Orientierungshilfe und erleichtern vor allem das Arbeiten im Team. Der wichtigste
 183 und umfangreichste Style Guide für R ist <https://style.tidyverse.org/index.html>. Wir empfehlen, die Kapitel
 184 **Welcome**, **Files** und **Syntax** zu lesen, bevor Sie mit dem Programmieren beginnen. Ein weiterer berühmter
 185 Syle Guide ist von Google <https://google.github.io/styleguide/>.

186 Vielleicht die wichtigste Praxis beim Programmieren ist das Kommentieren. **Kommentare** sind ein wichtiger
 187 Bestandteil der Skripte in R und allen anderen Skript- und Programmiersprachen. Sie werden lernen, dass die
 188 Kommentarfunktion ein wesentlicher Vorteil gegenüber Klickprogrammen darstellt. Ein Kommentar ist Text
 189 in einem (R-)Code, der der Dokumentation dient und von der R Konsole ignoriert wird. Sämtliche Zeilen, die
 190 mit dem Zeichen **#** beginnen, werden nicht ausgeführt, wenn Sie an die Konsole gesendet werden. Seien Sie
 191 nicht sparsam mit Kommentaren, sondern benutzen Sie sie um Ihren Code zu strukturieren, ihre Berechnungen
 192 zu für sich selbst und andere zu erläutern und, um Ergebnisse zu beschreiben oder zu interpretieren.

```
# sqrt(a)
# Berechnen der Quadratwurzel
sqrt(81)
```

193 **##** [1] 9

Sie können Kommentare auch verwenden, um Code, den sie später vielleicht wieder aktivieren wollen, auszukommentieren. Im vorherigen Codeblock wurde der Funktionsaufruf `sqrt(a)` auskommentiert. Die Zeile `# Berechnen der Quadratwurzel` wird bei der Ausführung ebenfalls ignoriert. Es empfiehlt sich, komplexere Abläufe zu kommentieren, damit andere im Team verstehen, warum und wie etwas gemacht wurde. Ganz besonders gilt das jedoch für einen selbst. Oft sind in der Zukunft Zusammenhänge nicht mehr so klar, wie sie beim Schreiben des Codes waren.

Aufgabe 1: Ausführen von Quellcodes

Öffnen Sie RStudio, erstellen Sie ein neues Skript und speichern Sie dieses unter dem Namen `skript1.R` ab. Tippen oder kopieren Sie folgenden Code in das Skript:

```
# Einfache Rechenoperationen
1 + 3
2^7

# Einfache Funktion
sqrt(20)
```

Führen Sie nun alle Zeilen aus.

2 Variablen, Funktionen und Datentypen

2.1 Variablen beim Programmieren

Ergebnisse aus Berechnungen (wie oben angeführt), aber auch z. B. aus komplexeren Operationen, werden in Variablen abgespeichert. Man kann sich eine Variable wie eine Hülle (oder bildlich gesprochen wie eine Schachtel) vorstellen, in die man etwas hinein legen kann und darauf zu einem späteren Zeitpunkt wieder zugreifen kann. Z. B. weist der folgende Ausdruck der Variable `alter` den Wert 102 zu.

```
alter <- 102
```

Variablen können Objekte in R speichern. Ein Objekt, im einfachsten Fall ein einzelner Wert, kann mit der Anweisung `<-` einer Variablen zugewiesen werden. Der nachfolgende Code weist der Variable `a` den Wert 10 zu.

```
a <- 10
a
```

```
## [1] 10
```

Man kann mit `=` oder `<-` einer Variable einen Wert zuweisen. Der Unterschied ist in den meisten Fällen vernachlässigbar, es wird aber allgemein empfohlen `<-` (`=` ist schlechter Stil) zu verwenden.

Wir können beliebige Variablen erstellen, z.B.

```
abc <- 10
name <- "Johannes"
```

Variablenamen dürfen nicht mit einer Zahl beginnen und müssen aus einem Wort bestehen. Die Variablen erscheinen nach der Definition im *Environment* Tab in Pane 2.

- `a_123 <- 10` ist ok
- `123_a <- 10` erzeugt einen Fehler

Vorsicht: Groß- und Kleinschreibung muss beachtet werden.

```
name <- "Johannes"
name
```

```
## [1] "Johannes"
```

Das Aufrufen der Variable

```
Name
```

führt zu einem Fehler.

Wir können dann mit den Werten, die in Variablen gespeichert sind, ganz normale Rechenoperationen durchführen.

```
a <- 10
b <- 5
a + b
```

229 ## [1] 15

```
b / a
```

230 ## [1] 0.5

```
a^b
```

231 ## [1] 1e+05

232 Das Ergebnis kann natürlich wieder in einer neuen Variable gespeichert werden.

```
ergebnis <- a + b  
ergebnis
```

233 ## [1] 15

```
ergebnis2 <- ergebnis * 2  
ergebnis2
```

234 ## [1] 30

235 Mit der Funktion `rm()` können Variablen, können nicht mehr benötigte Variablen, wieder gelöscht werden. Alternativ können Variablen auch überschrieben werden. Es gibt keine Möglichkeit gelöschte oder überschriebene Variablen wiederherzustellen. Sie müssen ggf. neu berechnet werden.

```
var1 <- "irgendwas"  
exists("var1") # TRUE, also ja, eine Variable mit diesem Namen existiert
```

238 ## [1] TRUE

```
rm(var1)  
exists("var1") # FALSE, also nein, eine Variable mit diesem Namen existiert nicht.
```

239 ## [1] FALSE

240 2.2 Datentypen

241 Es wurde bereits erwähnt, dass Daten in Variablen gespeichert werden können. Die Variablen, in denen die
242 Daten (oder auch Berechnungen oder ganze Funktionen) gespeichert werden, heißen in R Objekte. Wenn
243 Sie beispielsweise Messwerte einer Fotofalle speichern möchten, dann hat diese Fotofalle einen Namen (z.B.
244 Kamera1) und nach einiger Zeit im Wald wurden hoffentlich auch einige Fotos aufgenommen. Wir nehmen
245 einmal an, dass nach drei Wochen 132 Fotos von Rehen gemacht wurden.

246 Wir können jetzt sowohl den Namen der Fotofalle, als auch die Anzahl Fotos die aufgenommen wurden, in
247 zwei Variablen abspeichern.

```
kamera_name <- "Kamera_1"  
anzahl_rehe <- 132
```

248 In den zwei vorherigen Zeilen Code haben wir zwei Objekte (im Sinne von R) erstellt. Das erste Objekt heißt
249 kamera_name und das zweite Objekt heißt anzahl_rehe. In dem Beispiel handelt es sich also um zwei sehr
250 einfache Objekte, in denen jeweils ein Wert gespeichert ist. Auffällig ist, dass beide Objekte unterschiedliche

Datentypen haben. `kamera_name` ist vom Typ `character` (also Text). Das zweite Objekt, `anzahl_rehe`, ist vom Typ `numeric` (also eine Zahl, wir unterscheiden hier nicht weiter²). Zusätzlich zu diesen zwei Typen (`character` und `numeric`), gibt es noch einen weiteren wichtigen Typ: nämlich das logische Wahr oder Falsch (in R: `TRUE` und `FALSE`) und noch weitere Datentypne auf die wir zunächst nicht eingehen (tippen Sie `?typeof` für eine Übersicht aller Datentypen). Zurückkommend auf das Beispiel mit den Fotofallen, könnte eine mögliche Fragestellung sein, ob auf einem der Fotos ein Fuchs gesehen wurde oder nicht. Dazu würden wir eine neue Variable `fuchs_gesehen` anlegen und diese auf `TRUE` setzen, da ein Fuchs gesehen wurde.

```
fuchs_gesehen <- TRUE
```

Wenn Sie sich nicht sicher, um welchen Typen es sich handelt, können sie ihn mit `str` abfragen.

```
typeof(fuchs_gesehen)
```

```
## [1] "logical"
```

`TRUE` wird intern als 1 gespeichert und `FALSE` als 0. Es ist möglich mit `TRUE`s und `FALSE`s zu rechnen.

```
TRUE + TRUE
```

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

```
FALSE + FALSE
```

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

```
TRUE + FALSE
```

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

2.3 Funktionen

Ein zweiter wesentlicher Bestandteil beim Arbeiten mit R sind Funktionen. Während eine Variable etwas *speichert*, tut eine Funktion etwas. Beispielsweise zieht die Funktion `sqrt()` die Quadratwurzel aus einer Zahl.

```
sqrt(a)
```

```
## [1] 3.162278
```

Funktionen sind in R in der Regel daran zu erkennen, dass sie immer mit dem Funktionsnamen, gefolgt von runden Klammern `()`, aufgerufen werden. Der große Umfang an Funktionen für die statistische Datenanalyse und wissenschaftliche Datenverarbeitung ist der Hauptgrund für den Erfolg von R in der Wissenschaft. Im vorherigen Beispiel wurde die Funktion mit dem Namen `sqrt()` aufgerufen. Das Objekt `a` haben wir bereits vorhin definiert (zur Erinnerung `a <- 10`). Die Funktion `sqrt()` arbeitet jetzt mit dem Objekt `a`, das in diesem Zusammenhang auch **Argument** genannt wird. Argumente sind die Objekte, die eine Funktion als Input benötigt. Die Hilfeseite jeder Funktion enthält eine Liste aller Argumente. Argumente von Funktionen haben Namen, diese müssen jedoch nicht angegeben werden, wenn die Reihenfolge der Argumente, wie in der Hilfeseite angegeben, berücksichtigt wird. Im vorherigen Beispiel, haben wir die Funktion `sqrt(a)` aufgerufen und keinen Argumentnamen angegeben. Aus den Hilfeseiten für die Funktion `sqrt()` (siehe auch

²Für Interessierte, man unterscheidet weiter zwischen Ganzzahlen (`int`) und Gleitkommazahlen (`double`) unterscheiden.

278 nachfolgender Abschnitt) ist zu entnehmen, dass die Funktion `sqrt()` nur ein Argument mit dem Namen `x`
 279 hat. Das heißt, der vollständige Aufruf der Funktion `x` wäre.

```
sqrt(x = a)
```

```
## [1] 3.162278
```

281 Um mehr über eine Funktion zu erfahren (z. B. die Bedeutung von Argumenten zu verstehen oder heraus-
 282 zufinden, was eine Funktion zurück gibt), können wir die Hilfeseiten konsultieren. Es gibt unterschiedliche
 283 Wege, um zu einer Hilfeseite zu gelangen.

- 284 1. In die Konsole `?<Name der Funktion>` tippen. Also, wenn wir Hilfe für die Funktion `mean()` möchten,
 285 könnten wir einfach `?mean` in die Konsole tippen.
- 286 2. Analog zu 1), können wir mit der Funktion `help` die Hilfeseite für eine Funktion aufrufen (z.B. wenn
 287 wir wieder die Hilfe für die Funktion `mean()` lesen möchten, dann könnten wir auch `help(mean)` in die
 288 Konsole tippen).
- 289 3. In R Studio kann man auch auf das **Help**-Tab (Pane 4) klicken und dann einfach eine Funktion suchen
 290 (siehe Abbildung 1).
- 291 4. Wenn der Cursor in RStudio auf einer Funktion ist, kann man mit der Taste F1 die dazugehörige
 292 Hilfeseite aufrufen.

293 2.4 Datenstrukturen

294 Verfolgen wir das Beispiel mit den Fotofallen etwas weiter. Es handelt sich um ein systematisches Monitoring.
 295 D. h., es wurde nicht nur eine Fotofalle ausgebracht, sondern insgesamt 15 Stück. Dieser Umstand erfordert
 296 komplexere Objekte. Nachfolgend sind die Anzahl Rehphotos für jede der 15 Fotofallen aufgeführt: 132, 79,
 297 129, 91, 138, 144, 55, 103, 139, 105, 96, 146, 95, 118, 107.

298 Die Frage, die sich jetzt stellt, ist: Wie kann man diese Daten sinnvoll organisieren? Zusätzlich zur Anzahl der
 299 fotografierten Rehe soll jede Fotofalle eine eindeutige ID haben (`Kamera_1`, ..., `Kamera_15`) und wir wissen,
 300 dass jeweils 5 Fotofallen in drei unterschiedlichen Revieren aufgestellt waren (Fotofalle 1 bis 5 in Revier A,
 301 Fotofalle 6 bis 10 in Revier B und Fotofalle 11 bis 15 in Revier C). Wir könnten für jede Kamera und jeden
 302 Wert ein einzelnes Objekt mit je einem Wert erstellen. Dass das zu Aufwändig wäre, leuchtet unmittelbar ein:

```
# 1. Kamera
name1 <- "Kamera_1"
anzahl_rehe1 <- 132
revier_1 <- "Revier A"

# 2. Kamera
name2 <- "Kamera_2"
anzahl_rehe2 <- 79
revier_2 <- "Revier A"

# usw.
```

303 Wenn wir so vorgehen würden, hätten wir 45 Objekte mit je einem Eintrag. Dieser Ansatz und führt schnell

zu einem unübersichtlichen *Workspace*³. Wir werden im Verlauf sinnvollere Objekte (Vektoren oder Data Frames) für diesen Zweck kennenlernen.

Aufgabe 2: Variablen

Verwenden Sie die folgenden Daten

```
a <- 2
b <- "100"
p <- FALSE
```

und berechnen sie:

- $10 * a$
- $a / 144$ und speichern Sie das Ergebnis in einer neuen Variablen `e` zwischen.
- Was ist das Ergebnis von $a + b$?
- Was ist das Ergebnis von $a + p$?

```
10 * a
e <- a / 144
a + b
a + p
```

2.5 Funktionen

Ein zweiter wesentlicher Bestandteil beim Arbeiten mit R sind Funktionen. Während eine Variable etwas *speichert*, *tut* eine Funktion etwas. Beispielsweise zieht die Funktion `sqrt()` die Quadratwurzel aus einer Zahl.

```
sqrt(a)
```

```
## [1] 1.414214
```

Funktionen sind in R in der Regel daran zu erkennen, dass sie immer mit dem Funktionsnamen, gefolgt von runden Klammern (`()`), aufgerufen werden. Im vorherigen Beispiel wurde die Funktion mit dem Namen `sqrt()` aufgerufen. Das Objekt `a` haben wir bereits vorhin definiert (zur Erinnerung `a <- 10`). Die Funktion `sqrt()` arbeitet jetzt mit dem Objekt `a`, das in diesem Zusammenhang auch **Argument** genannt wird.

Argumente von Funktionen haben Namen, diese müssen jedoch nicht angegeben werden, wenn die Reihenfolge der Argumente berücksichtigt wird. Im vorherigen Beispiel, haben wir einfach die Funktion `sqrt(a)` aufgerufen und keinen Argumentnamen angegeben. Aus den Hilfeseiten für die Funktion `sqrt()` (siehe auch nachfolgender Abschnitt) ist zu entnehmen, dass die Funktion `sqrt()` ein Argument mit dem Namen `x` hat. Das heißt, der vollständige Aufruf der Funktion `x` wäre.

```
sqrt(x = a)
```

³Als *Workspace* werden alle Objekte bezeichnet, die in einer R-Session zur Verfügung stehen. Siehe Liste im *Environment* in Pane 2.

328 ## [1] 1.414214

329 Um mehr über eine Funktion zu erfahren (z.B. die Bedeutung von Argumenten zu verstehen oder heraus-
330 zufinden, was eine Funktion zurück gibt), können wir die Hilfeseiten konsultieren. Es gibt unterschiedliche
331 Wege, um zu einer Hilfeseite zu gelangen.

- 332 1. In die Konsole `?<Name der Funktion>` tippen. Also, wenn wir Hilfe für die Funktion `mean()` möchten,
333 könnten wir einfach `?mean` in die Konsole tippen.
- 334 2. Analog zu 1), können wir mit der Funktion `help` die Hilfeseite für eine andere Funktion aufrufen (z.B.
335 wenn wir wieder die Hilfe für die Funktion `mean()` lesen möchten, dann könnten wir auch `help(mean)`
336 in die Konsole tippen).
- 337 3. In RStudio kann man auch auf das **Help**-Panel klicken und dann einfach eine Funktion suchen (siehe
338 Abbildung 1).
- 339 4. Wenn der Cursor in RStudio auf einer Funktion ist, kann man mit der Taste F1 die dazugehörige
340 Hilfeseite aufrufen.

3 Vektoren

Die gute Nachricht zuerst. Sie haben bereits Vektoren erstellt in R (und dies wahrscheinlich nicht bewusst wahrgenommen). Wenn Sie nämlich ein Objekt mit einem Element erstellen (z.B., `a <- 10`), wird ein Vektor der Länge eins erstellt. Das heißt, der Vektor enthält genau ein Element (einen Eintrag). Vektoren sind also kein neues Objekt für Sie, sondern Sie lernen jetzt, dass die Ihnen schon bekannten Objekte Vektoren heißen und sie auch mehrere Elemente in eine mObjekt speichern können.

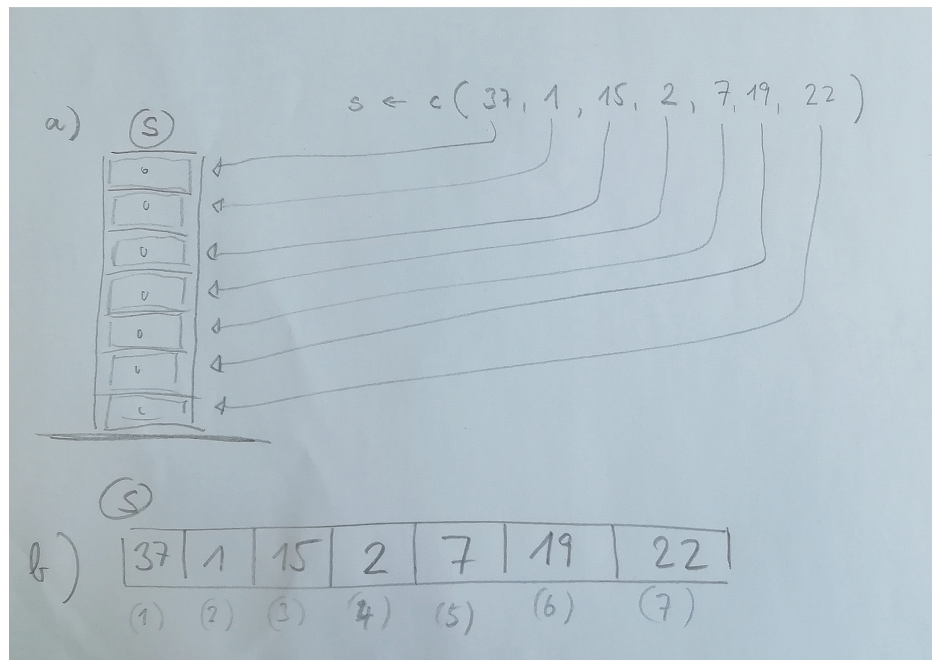


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Vektors in R.

Sie können sich Vektoren wie einen Schubladenschrank vorstellen (siehe auch Abbildung 3). Wichtig ist dabei, dass man in jede Schublade immer nur ein Element verstauen kann und alle Elemente im Schubladenschrank den gleichen Datentyp haben müssen. Etwas allgemeiner gesprochen heißt das, dass alle Elemente eines Vektors vom gleichen Datentyp sein müssen.

Es gibt zahlreiche Funktionen zum Erstellen von Vektoren (einige davon werden wir im weiteren Verlauf des Moduls kennenlernen). Die wohl wichtigste Funktion ist `c()`. Dabei steht `c` für *combine* oder *concatenate*. Die Funktion `c()` fügt einzelne Elemente in einen Vektor zusammen (und zwar genau in der Reihenfolge wie diese Elemente an `c()` übergeben werden). `c()` ist sozusagen die Funktion, die für Sie mehrere Elemente zu einem Vektor zusammensetzt. `c()` erwartet folglich nur Elemente als Argumente.

Gehen wir nochmals zurück zu Abbildung 3, in der schematisch dargestellt wird, wie ein Vektor `s` mit 7 Elementen (in diesem Fall Zahlen) erstellt wird.

```
s <- c(37, 1, 15, 2, 7, 19, 22)
```

Die Funktion `c()` ordnet jetzt bildlich gesprochen die Zahl 37 der ersten Schublade zu, die Zahl 1 der zweiten Schublade und so weiter. Wenn Sie jetzt einfach `s` in die Konsole tippen, können Sie alle Elemente von `s` sehen:


```
s
```

```
## [1] 37 1 15 2 7 19 22
```

In Abbildung 3b wird der Vektor `s` nochmals systematisch dargestellt. Dabei sieht man z. B., dass 37 an der ersten Position des Vektors gespeichert wird und 22 an der letzten Position des Vektors gespeichert wird.

Die Grundrechenarten (+, -, /, *) und viele andere Funktionen funktionieren genau gleich mit Vektoren deren Länge > 1 ist. Sie werden elementweise durchgeführt. Wir können beispielsweise zu jedem Element von `s` 10 addieren

```
s + 10
```

```
## [1] 47 11 25 12 17 29 32
```

oder `s` mit sich selbst multiplizieren. Zu beachten ist also, dass es sich bei Vektorberechnungen in R zunächst nicht um Vektorrechnungen handelt, wie Sie sie aus der linearen Algebra kennen. Für die sog. Matrizenoperationen der linearen Algebra werden die Operatoren in R mit `% %` umschlossen, also bspw. `s %*% s`.

```
s * s
```

```
## [1] 1369 1 225 4 49 361 484
```

Neben der Funktion `c()` gibt es zahlreiche weitere Funktionen, um Vektoren zu erstellen. Sehr häufig braucht man Vektoren von Zahlenfolgen. Solche Vektoren können mit der Funktion `seq()` erstellt werden. Im einfachsten Fall benötigt `seq()` zwei Argumente: `from` und `to`⁴.

```
seq(from = 1, to = 10)
```

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

```
(1 : 10)
```

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

Man kann dann auch noch die Schritte angeben, mit denen erhöht wird.

```
seq(from = 1, to = 10, by = 2)
```

```
## [1] 1 3 5 7 9
```

```
380
```

Aufgabe 3: Vektoren erstellen

Sie haben den BHD (Brusthöhendurchmesser) in cm von vier Bäumen gemessen: 13, 15.3, 23, 9

- Erstellen Sie einen Vektor mit dem Namen `bhd` in dem Sie die Werte speichern
- Transformieren sie die BHD-Werte in mm.
- Berechnen Sie die Fläche des BHD in cm^2 (nehmen Sie dafür an, dass ein Baum kreisrund ist).

⁴Weil solche Vektoren so häufig vorkommen gibt es hier eine Abkürzung. Man kann `seq(from, to, by = 1)` mit `from:to` abkürzen. Also `1:10` würde auch alle Zahlen von 1 bis 10 zurückgeben.

3.1 Funktionen zum Arbeiten mit Vektoren

Die Funktionen `head()` und `tail()` geben die ersten bzw. letzten `n` Elemente eines Vektors zurück. `n` hat einen voreingestellten Wert von 6, dieser kann natürlich angepasst werden.

```
head(s)
```

```
## [1] 37  1 15  2  7 19
```

```
head(s, n = 3)
```

```
## [1] 37  1 15
```

```
tail(s, n = 2)
```

```
## [1] 19 22
```

Die Funktion `length()` gibt die Länge eines Vektors wieder.

```
length(s)
```

```
## [1] 7
```

Der Typ der Elemente eines Vektors kann mit der Funktion `class` abgefragt werden:

```
class(s)
```

```
## [1] "numeric"
```

Die eindeutigen Elemente eines Vektors können mit der Funktion `unique()` abgefragt werden.

```
unique(s)
```

```
## [1] 37  1 15  2  7 19 22
```

Mit der Funktion `table` kann die Häufigkeit verschiedener Elemente abgefragt werden.

```
table(s)
```

```
## s
```

```
##  1  2  7 15 19 22 37
```

```
##  1  1  1  1  1  1  1
```

Schlussendlich kann man mit der Funktion `sort()` und `rev()` die Position von Elementen in einem Vektor ändern. Die Funktion `rev` dreht die Elemente einmal um

```
rev(s)
```

```
## [1] 22 19  7  2 15  1 37
```

während `sort()` einen Vektor nach seinen Elementen sortiert⁵.

```
sort(s)
```

```
## [1]  1  2  7 15 19 22 37
```

⁵Auch für `sort()` gibt es ein zusätzliches Argument, das es ermöglicht die Elemente in absteigender Reihenfolge zu sortieren. Schauen Sie sich dazu, und auch für weitere Funktionen, die Hilfeseiten an.

Die Funktion `rep()` wiederholt einen Vektor.

```
rep(s, times = 2)
```

```
## [1] 37 1 15 2 7 19 22 37 1 15 2 7 19 22
```

Anstelle des Arguments `times` kann auch das Argument `each` verwendet werden. Der Unterschied liegt darin, dass `times` den gesamten Vektor `times`-Mal wiederholt und `each` jedes Element.

```
a <- 1:4
rep(a, times = 2)
```

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

```
rep(a, each = 2)
```

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

Aufgabe 4: Arbeiten mit Vektoren

Es liegen jeweils zwei BHD-Messungen von vier Bäumen vor:

```
bhd <- c(32, 33, 23, 21, 21, 27, 18, 12)
```

Diese wurden immer abwechselnd mit zwei unterschiedlichen Messgeräten durchgeführt wurden.

Erstellen Sie einen Vektor von der Länge 8 mit den Einträgen, die immer abwechselnd G1 und G2 sind und für die zwei Geräte stehen.

3.2 Statistische Funktionen

Zahlreiche statistische Funktionen können auf Vektoren angewendet werden, hier sind nur die wichtigsten aufgeführt: `mean()` berechnet den Mittelwert, `median()` berechnet den Median und `sd()` die Standardabweichung.

```
mean(s)
```

```
## [1] 14.71429
```

```
median(s)
```

```
## [1] 15
```

```
sd(s)
```

```
## [1] 12.76341
```

Eine weitere, sehr häufig verwendete Funktion ist `sample()`. Mit `sample()` werden `size` Elemente zufällig aus einem Vektor, mit oder ohne Zurücklegen (mit Zurücklegen wird gezogen, wenn das Argument `replace = TRUE` gesetzt wird), gezogen.

```
sample(s, size = 1) # 1 Element
```

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

```
sample(s, size = 3) # 2 Elemente
```

```
## [1] 15 7 22
```

Wenn `size` weggelassen wird, dann bekommt man gleich viele Elemente zurück (wie der Vektor lang ist), d.h. der Vektor wird nur permutiert.

3.3 Beispiel Fotofallen

Für den weiteren Verlauf wollen wir noch einmal zu dem Beispiel mit den Fotofallen zurückkommen. Wir können jetzt 3 Vektoren erstellen, jeweils einen für die ID, die Anzahl Rehphotos und das Revier. Dabei werden zwei weitere Funktionen eingeführt (`paste` und `rep`).

Als erstes erstellen wir einen Vektor mit den Anzahlen Rehphotos. Das geht einfach mit `c()`:

```
anzahl_rehe <- c(132, 79, 129, 91, 138, 144, 55, 103, 139,
                 105, 96, 146, 95, 118, 1007)
```

Als zweites erstellen wir einen Vektor mit den IDs. Zur Erinnerung, diese sollten die Werte `Kamera_1` bis `Kamera_15` haben. Ein erster Ansatz könnte sein, dass wir einfach 15 Fotofallen schreiben und dann die Zahlen 1 bis 15 dahinter.

```
ids <- c("Kamera_1", "Kamera_2", "Kamera_3", "Kamera_4", "Kamera_5",
        "Kamera_6", "Kamera_7", "Kamera_8", "Kamera_9", "Kamera_10",
        "Kamera_11", "Kamera_12", "Kamera_13", "Kamera_14", "Kamera_15"
)
```

Dieser Ansatz ist unbefriedigend, da wir 15 mal das Wort “Kamera” tippen müssen. Wir können das Problem in zwei kleinere Probleme zerlegen: 1) 15 mal das Wort Kamera erstellen und die Zahlen 1 bis 15 erstellen, 2) die zwei Vektoren aus 1) “zusammenkleben”.

Ein Vektor kann mit der Funktion `rep` wiederholt werden, das heißt wir können ganz einfach 15 mal das Wort “Kamera” erstellen und speichern das Zwischenergebnis in einem Vektor `v1`.

```
v1 <- rep("Kamera", 15)
```

Im nächsten Schritt müssen wir die Zahlen 1 bis 15 erstellen, auch dieses Zwischenergebnis speichern wir in einem neuen Vektor `v2`.

```
v2 <- 1:15
```

Jetzt müssen wir lediglich die Vektoren `v1` und `v2` “zusammenkleben”. Dafür gibt es die Funktion `paste`, die zwei Vektoren elementweise verbindet, dabei wird das Argument `sep` als Trennzeichen verwendet. In unserem Fall wäre das also.

```
ids <- paste(v1, v2, sep = "_")
ids
```

```

453 ## [1] "Kamera_1" "Kamera_2" "Kamera_3" "Kamera_4" "Kamera_5" "Kamera_6"
454 ## [7] "Kamera_7" "Kamera_8" "Kamera_9" "Kamera_10" "Kamera_11" "Kamera_12"
455 ## [13] "Kamera_13" "Kamera_14" "Kamera_15"

```

Mehr Funktionen zum Umgang mit Zeichenketten folgen in Kapitel “Arbeiten mit Text”. Dann fehlt jetzt lediglich der Vektor mit den Revieren. Hier könnten wir erneut auf die Funktion `rep` zurückgreifen.

```
rep(c("Revier A", "Revier B", "Revier C"), 5)
```

```

458 ## [1] "Revier A" "Revier B" "Revier C" "Revier A" "Revier B" "Revier C"
459 ## [7] "Revier A" "Revier B" "Revier C" "Revier A" "Revier B" "Revier C"
460 ## [13] "Revier A" "Revier B" "Revier C"

```

Das Ergebnis stimmt noch nicht ganz, da wir 5 mal `Revier A` usw. brauchen. Mit dem zusätzlichen Argument `each = 5` können wir genau zu diesem Ergebnis kommen.

```

reviere <- rep(c("Revier A", "Revier B", "Revier C"), each = 5)
reviere

```

```

463 ## [1] "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier B"
464 ## [7] "Revier B" "Revier B" "Revier B" "Revier B" "Revier B" "Revier C"
465 ## [13] "Revier C" "Revier C" "Revier C"

```

466

Aufgabe 5: Statistische Funktionen

469 1. Berechnen Sie den Mittelwert und Median für die Anzahl Fotos.

470 2. Erstellen Sie die folgende Konsolenausgabe:

```

471 ## [1] "Die mittlere Anzahl von Rehphotos beträgt 171.8 Rehe pro Standort."

```

3.4 Arbeiten mit logischen Werten

473 Weniger bekannt sind die sogenannte booleschen Rechenregeln, also das Rechnen mit wahr (TRUE) und falsch (FALSE). Dabei werden die folgenden Operationen am häufigsten verwendet.

- 475 • Gleichheit (==)
- 476 • Ungleichheit (!=)
- 477 • Größer (>) und kleiner (<)
- 478 • Größer gleich (>=) und kleiner gleich (<=)

479 Das Ergebnis von logischen Operatoren ist immer TRUE oder FALSE.

480 Bei Vektoren kommt es immer zu einer elementweisen Anwendung. Wir können beispielsweise abfragen, an welchen Fotofallenstandorten mehr als 100 Rehe fotografiert wurden:

```
anzahl_rehe > 100
```

```

482 ## [1] TRUE FALSE TRUE FALSE TRUE TRUE FALSE TRUE TRUE TRUE FALSE TRUE

```

```
## [13] FALSE TRUE TRUE
```

Das Ergebnis ist ein Vektor vom Datentyp `logi` in der selben Länge wie `anzahl_rehe`.

Wir können z. B. abfragen, welche Fotofallenstandorte sich in Revier B befinden.

```
reviere == "Revier B"
```

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

```
## [13] FALSE FALSE FALSE
```

Des Weiteren können logische Ausdrücke miteinander verknüpft werden. Dies geschieht mit einem logischen Und (&) oder einem logischen Oder (|). Für das logische Und müssen beide Ausdrücke ein `TRUE` zurückgeben, um ein `TRUE` zu erhalten. Für ein logisches Oder reicht es, wenn einer der beiden Ausdrücke `TRUE` zurückgibt, um ein `TRUE` zu erhalten.

Damit können wir nun z. B. die beiden vorherigen Abfragen verbinden. Die erste Abfrage ist: Hat eine Fotofalle mehr als 100 Rehe fotografiert und stand die Fotofalle in Revier B.

```
anzahl_rehe > 100 & reviere == "Revier B"
```

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

```
## [13] FALSE FALSE FALSE
```

Das war jetzt eine Abfrage mit einem logischen Und. Würden wir ein logisches Oder verwenden, dann bekommen wir für alle Elemente ein `TRUE`, die entweder in Gebiet B stehen oder mehr als 100 Rehfotos aufgezeichnet haben.

```
anzahl_rehe > 100 | reviere == "Revier B"
```

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

```
## [13] FALSE TRUE TRUE
```

Das Arbeiten mit logischen Werten kann fürs Erste etwas abstrakt erscheinen, aber wir werden im folgenden Abschnitt (Abschnitt 3.5) zahlreiche Anwendungsbeispiele dafür sehen.

Aufgabe 6: Arbeiten mit logischen Werten

Überlegen Sie für jede Aufgabe erst, was das richtige Ergebnis ist, und überprüfen Sie dieses dann mit R.

1. `TRUE | FALSE`

2. `FALSE & TRUE`

3. `(FALSE & TRUE) | TRUE`

4. `(2 != 3) | FALSE`

5. `FALSE + 10`

6. `TRUE + 10`

7. `TRUE + 10 == FALSE + 10`

8. `sum(c(TRUE, TRUE, FALSE, FALSE))`

3.5 Zugreifen auf Elemente eines Vektors (=Untermengen)

Sehr oft wollen wir auf bestimmte Werte in einer Datenstruktur zugreifen. Beispielsweise könnte es uns interessieren, wie viele Rehe im Mittel auf allen Fotofallen aus Revier A gesehen wurden. Das Zugreifen auf Elemente mit bestimmten Eigenschaften ist die häufigste Anwendung für logische Operationen in R. Aus diesem Grund ist das Unterkapitel “Arbeiten mit logischen Werten” auch Teil des Kapitels “Vektoren”.

Bei Vektoren kann auf die einzelnen Elemente mit eckigen Klammern (`[]`, diese werden auch Indizierungsklammern genannt) zugegriffen werden. Der Ausdruck `anzahl_rehe[2]` gibt die Anzahl an fotografierten Rehen für die zweite Fotofalle zurück, also die zweite Stelle des Vektors `anzahl_rehe`. Es gibt zwei Möglichkeiten, was in die eckigen Klammern geschrieben werden kann: 1.) die Positionen der Elemente die man zurückhaben möchte, wie eben beschrieben. Ist es mehr als ein Element, dann muss ein Vektor mit den Positionen übergeben werden. Die 2.) Möglichkeit der Indizierung ist also ein logischer Vektor in der gleichen Länge des Vektors, den ich indizieren möchte. Es werden alle Elemente zurückgegeben, bei denen in dem logischen Vektor `TRUE` eingetragen ist.

1.) Abfragen des zweiten Elements in dem Vektor `anzahl_rehe`:

```
anzahl_rehe[2]
```

```
## [1] 79
```

2.) Abfragen aller Elemente aus `anzahl_rehe`, die aus dem Revier A stammen.

```
ist_a <- reviere == "Revier A"
anzahl_rehe[ist_a]
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

```
# oder alternativ mit Methode 1.)
anzahl_rehe[1:5] # da `1:5` einen Vektor mit allen Zahlen von 1 bis 5 erstellt.
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

Hier ist nochmals hervorzuheben, dass innerhalb der eckigen Klammer mit dem Befehl `c(1, 2, 3, 4, 5)` bzw. `1:5` ein Vektor erstellt wird, der die Position der Elemente angibt, die zurückgegeben werden sollen.

Aufgabe 7: Zugreifen auf Vektorelemente

Erstellen Sie einen neuen Vektor `bhd`

```
bhd <- c(12, 32, 39, 41, 12, 30)
```

- Wählen Sie aus dem Vektor `bhd` nur das 2. und 3. Element aus.
- Wählen Sie aus dem Vektor `bhd` das letzte Element aus.
- Wählen Sie aus dem Vektor `bhd` das letzte Element aus, ohne die Zahl 6 zu schreiben.

Alternativ könnte das gleiche Ergebnis mit einem logischen Vektor erreicht werden. Für eine bessere Übersichtlichkeit wird erst ein Vektor `sub` erstellt, in dem die logischen Werte gespeichert werden:

```
sub <- c(TRUE, TRUE, TRUE, TRUE, TRUE, FALSE, FALSE, FALSE,
        FALSE, FALSE, FALSE, FALSE, FALSE, FALSE, FALSE, FALSE)
anzahl_rehe[sub]
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

Das Erstellen des `sub`-Vektors ist mühsam und wenig zielführend. Wenn wir auf die Erkenntnisse aus dem vorherigen Kapitel zurückgreifen, kann dies leicht automatisiert werden, indem wir einfach abfragen, welche Elemente in Revier zu Revier A gehören.

```
sub <- reviere == "Revier A"
anzahl_rehe[sub]
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

Das kann nochmals vereinfacht werden, indem wir den Hilfsvektor `sub` einfach weglassen und den Ausdruck direkt in die eckigen Klammern ziehen.

```
anzahl_rehe[reviere == "Revier A"]
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

Wenn wir jetzt noch den Mittelwert der Anzahl fotografierten Rehe aus Revier A bilden möchten, erweitert sich der Ausdruck um einen Funktionsaufruf zur Funktion `mean`.

```
mean(anzahl_rehe[reviere == "Revier A"])
```

```
## [1] 113.8
```

Aufgabe 8: logische Werte

Verwenden Sie nochmals den Vektor mit den Anzahl Rehen die an unterschiedlichen Fotofallenstandorten fotografiert wurden.

```
anzahl_rehe <- c(132, 79, 129, 91, 138, 144, 55, 103, 139, 105, 96, 146, 95, 118, 107)
```

1. Wählen Sie alle Standorte aus für die Aussage zu $90 \leq x < 120$ zu trifft (wobei x für die Anzahl Fotos an einem Standort steht).
2. Berechnen Sie die mittlere Anzahl Fotos für alle in 1) ausgewählten Standorte.

3.6 Der %in%-Operator

Häufig wollen wir mehrere Elemente aus einem Vektor auswählen, die in einem anderen Vektor enthalten sind. Als einfaches Beispiel nehmen wir zwei Vektoren:


```
arten <- c("FI", "BU")
messungen_arten <- c("FI", "BU", "BU", "EI", "EI", "BI", "FI", "BI", "EI")
```

567 Wenn wir aus dem Vektor `messungen_arten` alle FI auswählen wollen, können wir dies mit einem logischen
568 `==` machen:

```
messungen_arten[messungen_arten == "FI"]
```

```
569 ## [1] "FI" "FI"
```

```
# oder
```

```
messungen_arten[messungen_arten == arten[1]]
```

```
570 ## [1] "FI" "FI"
```

571 Etwas komplizierter wird es, wenn wir zwei oder mehr Elemente auswählen wollen. Dies geht auch mit
572 logischen Operationen.

```
messungen_arten[messungen_arten == arten[1] | messungen_arten == arten[2]]
```

```
573 ## [1] "FI" "BU" "BU" "FI"
```

574 Diese Herangehensweise wird aber für > 2 Elemente in `arten` sehr mühsam und fehleranfällig. Eine Alternative
575 bietet der `%in%`-Operator. Dieser testet, ob Elemente eines Vektors in einem zweiten Vektors enthalten sind.
576 Der Operator ist also eine verkürzte Schreibweise für hintereinander durchgeführte logische Oder Abfragen.

```
messungen_arten %in% arten
```

```
577 ## [1] TRUE TRUE TRUE FALSE FALSE FALSE TRUE FALSE FALSE
```

```
messungen_arten[messungen_arten %in% arten]
```

```
578 ## [1] "FI" "BU" "BU" "FI"
```

579

580 *Aufgabe 9: Auswählen von Elementen in einem Vektor (%in%)*

581

582 Der Vector `LETTERS` ist in R vorhanden und enthält die Buchstaben von A bis Z.

```
LETTERS
```

```
583 ## [1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K" "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S"
```

```
584 ## [20] "T" "U" "V" "W" "X" "Y" "Z"
```

585 Wählen Sie aus `LETTERS` nur die Vokale aus.

4 Faktoren (*factors*)

R besitzt einen besonderen Datentyp – *Faktoren* (engl. *factors*) – zum speichern von diskreten Kovariaten (z.B. Baumart, Augenfarbe oder Automarke). Faktoren erlauben es Daten vom Typ `character` effizienter abzuspeichern. Dabei wird jeder eindeutiger Wert (=Level) mit einer Zahl codiert und dann werden nur diese Zahlen zusammen mit einer Tabelle zum Nachschauen der Werte gespeichert (siehe dazu auch [McNamara and Horton 2018](#)). Faktoren haben im Gegensatz zu Zeichenketten zusätzliche Eigenschaften. Man kann sie z. B. sortieren.

Mit der Funktion `factor()` kann ein Faktor erstellt werden. Im einfachsten Fall wird nur ein Vektor übergeben.

```
a <- c("FI", "BU", "FI", "EI", "EI", "FI", "FI")
factor(a)
```

```
## [1] FI BU FI EI EI FI FI
## Levels: BU EI FI
```

Ohne weitere Spezifikation werden die Werte *Levels* alphabetisch angeordnet (das kann später z. B. beim Erstellen von Abbildungen wichtig sein), dies kann jedoch durch die Verwendung des Arguments `levels` gesteuert werden.

```
factor(a, levels = c("FI", "BU", "EI"))
```

```
## [1] FI BU FI EI EI FI FI
## Levels: FI BU EI
```

Es ist auch möglich, die Beschriftung (= labels) der unterschiedlichen Levels anzugeben mit dem Argument `labels`.

```
af <- factor(a, levels = c("FI", "BU", "EI"),
             labels = c("Fichte", "Buche", "Eiche"))
af
```

```
## [1] Fichte Buche Fichte Eiche Eiche Fichte Fichte
## Levels: Fichte Buche Eiche
```

Mit der Funktion `levels()`, können die unterschiedlichen Levels eines Faktors abgefragt und auch gesetzt werden.

```
levels(af)
```

```
## [1] "Fichte" "Buche" "Eiche"
```

```
levels(af) <- c("Fi", "Bu", "Ei")
af
```

```
## [1] Fi Bu Fi Ei Ei Fi Fi
## Levels: Fi Bu Ei
```

Schlussendlich kann man mit der Funktion `relevel()` die Referenzkategorie eines Faktors (der erste Level) angepasst werden. Das ist kann z. B. für lineare Modelle wichtig sein.

```
af
```

```
## [1] Fi Bu Fi Ei Ei Fi Fi
```

```
## Levels: Fi Bu Ei
```

```
relevel(af, "Bu")
```

```
## [1] Fi Bu Fi Ei Ei Fi Fi
```

```
## Levels: Bu Fi Ei
```

Mit der Funktion `as.character()` kann ein Faktor wieder als Variable vom Typ `character` dargestellt werden.

```
as.character(af)
```

```
## [1] "Fi" "Bu" "Fi" "Ei" "Ei" "Fi" "Fi"
```

Achtung mit der Funktion `as.numeric()` erhält man die interne Kodierung von Faktoren.

```
af
```

```
## [1] Fi Bu Fi Ei Ei Fi Fi
```

```
## Levels: Fi Bu Ei
```

```
as.numeric(af)
```

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

Fichte ist das erste Level des Faktors, deshalb erhalten alle Fichteneinträge den Wert 1. Bucheneinträge erhalten den Wert 2 und 3 für Eichen.

```
625
```

Aufgabe 10: Faktoren

Verwenden Sie den Vektor `staedte` und erstellen Sie einen Vektor mit der Anordnung der `levels` in umgekehrter alphabetischer Reihenfolge.

```
staedte <- c("Berlin", "Aachen", "Berlin", "Ulm", "Aachen",  
            "Berlin", "Berlin", "Aachen", "Ulm", "Ulm")
```

5 Spezielle Einträge

In vielen Fällen werden spezielle Einträge benötigt, bspw. bei

- fehlenden Einträge `NA`,
- leeren Einträgen `NULL`,
- undefinierten Einträgen `NaN` (Not a Number) oder
- unendlichen Zahlen (`Inf`).

Spezielle Einträge sind reservierte Namen. Sie können nicht überschrieben werden.

5.1 NA

R verfügt über einen speziellen Wert für fehlende Einträge. Auch wenn in Vektoren eigentlich nur ein Datentyp erlaubt ist, sind `NA` zwischen den anderen Einträgen erlaubt. Der Datentyp des Vektors wird durch `NA` Einträge nicht verändert.

```
na1 <- c("foo", NA, "foo")
str(na1)
```

```
## chr [1:3] "foo" NA "foo"
```

```
na2 <- c(3, 6, NA)
str(na2)
```

```
## num [1:3] 3 6 NA
```

Der logische Operator zum Test auf fehlende Wert ist `is.na()`. Dieser kann genauso wie die bereits bekannten logischen Operatoren bspw. zum Filtern verwendet werden. Die `na.omit()` Funktion entfernt `NA` aus dem Datensatz.

```
is.na(na1)
```

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

```
na.omit(na1)
```

```
## [1] "foo" "foo"
```

```
## attr(,"na.action")
```

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

```
## attr(,"class")
```

```
## [1] "omit"
```

Die bereits bekannten logischen Operationen ergeben `NA`, wenn Sie auf Daten angewendet werden, die `NA` enthalten. Berechnungen mit `NA` ergeben ebenfalls `NA`. Bei der angewandten Programmierung müssen sie also darauf achten, dass Ihre Daten frei von `NA` sind oder sie fangen die `NA` vorher ab.

```
na2 < 3
```

```
## [1] FALSE FALSE NA
```

```
1 + NA
```

```
## [1] NA
```

Viele R Funktionen haben eingebaute Methoden zum Umgang mit NA. Die Funktion `mean()` bspw. ergibt (wie die meisten Funktionen) standardmäßig NA wenn sie auf Vektoren mit Datenlücken angewendet wird, es sei denn man stellt innerhalb der Funktion ein, dass Datenlücken entfernt werden sollen.

```
mean(na2)
```

```
## [1] NA
```

```
mean(na2, na.rm = TRUE)
```

```
## [1] 4.5
```

5.2 NULL

Im Gegensatz zu NA wird NULL für leere Einträge verwendet, und nicht für fehlende Einträge. Da in der Mathematik leere Einträge und fehlende Einträge unterschiedliche Informationen darstellen, können diese beiden Fälle unterschieden werden. Mit der Funktion `is.null()` kann man überprüfen, ob ein Element in einem Vektor NULL ist oder nicht.

5.3 Inf

Die größtmögliche Zahl in R ist $1.7976931 \cdot 10^{308}$. Größere Zahlen werden als unendlich gespeichert und verarbeitet.

```
10^309
```

```
## [1] Inf
```

```
2 * Inf
```

```
## [1] Inf
```

```
1 + Inf
```

```
## [1] Inf
```

```
3 / 0
```

```
## [1] Inf
```

```
-3 / 0
```

```
## [1] -Inf
```

```
3 / Inf
```

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

Infinity kann mit `is.infinite` und `is.finite` getestet werden. Relationäre Operatoren funktionieren erwartungsgemäß.

```
inf1 <- c(Inf, 0, 3, -Inf, 10)
is.infinite(inf1)
```

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

```
is.finite(inf1)
```

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

```
inf1 < 3
```

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

```
681
```

682 *Aufgabe 11: Vektoren mit speziellen Einträgen*

```
683
```

684 Verwenden Sie den Vektor

```
foo <- c(13563, -13156, -14319, 16981, 12921, 11979, 9568, 8833, -12968, 8133)
```

- 685
- Nehmen Sie jeden Eintrag hoch 75. Filtern Sie alle unendlichen Einträge aus dem Vektor.
- 686
- Wie viele Einträge sind unendlich negativ?

687 Verwenden Sie den Vektor

```
foo <- c(4.3, 2.2, NULL, 2.4, NaN, 3.3, 3.1, NULL, 3.4, NA, Inf)
```

688 Sind die folgenden Einträge richtig oder falsch? Überlegen Sie zunächst selbst bevor Sie die Aussagen in R
689 testen.

- 690
- Die Länge des Vektors ist 9.
- 691
- `is.na()` ergibt 2 Mal TRUE.
- 692
- `foo[9] + 4 / Inf` ergibt NA

693 Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert von `foo`.

6 data.frames oder Tabellen

Im vorherigen Teilabschnitt haben wir gesehen, wie mehrere Elemente des gleichen Datentyps in einem Vektor zusammengefasst werden können. Abschließend wurde anhand des Fotofallenbeispiels gezeigt, wie Vektoren eingesetzt werden können, um andere Vektoren zu indizieren. Wir erstellten drei Vektoren, die jeweils die Merkmalsausprägungen eines Merkmals aller Fotofallenstandorte speichern. In statistischer Sprache, sind die Fotofallen die Beobachtungen (oder auch Merkmalsträger genannt) und die Informationen zu den Fotofallen (also ID, Anzahl Rehe und das Revier) die Merkmale. Jeder beobachtete Wert (z.B. die 132 fotografierten Rehe von Kamera 1) ist dann eine Merkmalsausprägung.

Sie können sich ein `data.frame` wie eine Tabelle aus einem Tabellenkalkulationsprogramm vorstellen. Es gibt Zeilen in denen die Beobachtungen gespeichert sind und Spalten, die die Merkmale speichern. In unserem Fall gäbe es 15 Zeilen (eine Zeile für jede Fotofalle) und drei Spalten (jeweils eine Spalte für ID, Anzahl Rehe und Revier). Der Befehl zum Erstellen eines `data.frames` aus Vektoren in R ist `data.frame()`. Für unser Beispiel wäre es:

```
monitoring <- data.frame(
  ID = ids,
  anzahl_rehe = anzahl_rehe,
  revier = reviere
)
monitoring
```

```
##           ID anzahl_rehe  revier
## 1 Kamera_1      132 Revier A
## 2 Kamera_2       79 Revier A
## 3 Kamera_3      129 Revier A
## 4 Kamera_4       91 Revier A
## 5 Kamera_5      138 Revier A
## 6 Kamera_6      144 Revier B
## 7 Kamera_7       55 Revier B
## 8 Kamera_8      103 Revier B
## 9 Kamera_9      139 Revier B
## 10 Kamera_10     105 Revier B
## 11 Kamera_11      96 Revier C
## 12 Kamera_12     146 Revier C
## 13 Kamera_13      95 Revier C
## 14 Kamera_14     118 Revier C
## 15 Kamera_15     107 Revier C
```

Auf der linken Seite der Gleichungen stehen die Spaltenname des Data Frames. Im vorhergehenden Codebeispiel wurde ein `data.frame` erstellt und in die Variable `monitoring` gespeichert. Die Funktion `data.frame()` nimmt als Argumente beliebig viele Paare, die immer aus einem Namen und einem Vektor mit dazugehörigen Werten bestehen. D.h., dass (wie bei den Vektoren) immer eine Spalte vom selben Typ sein muss, es aber für jede Beobachtung (=Zeile) Merkmale von unterschiedlichen Typen geben kann. Data Frames sind die

Standard-Objekte zum Speichern wissenschaftlicher Daten.

6.1 Wichtige Funktionen zum Arbeiten mit `data.frames`

Wichtige Funktionen um das Arbeiten mit `data.frames` zu erleichtern sind wieder `head()` und `tail()`, um die ersten bzw. letzten `n` Zeilen eines `data.frames` anzuzeigen.

```
head(monitoring, n = 2)
```

```
##           ID anzahl_rehe   revier
## 1 Kamera_1         132 Revier A
## 2 Kamera_2         79  Revier A
```

Oder für die letzten 2 Beobachtungen.

```
tail(monitoring, 2)
```

```
##           ID anzahl_rehe   revier
## 14 Kamera_14         118 Revier C
## 15 Kamera_15         107 Revier C
```

Mit den Funktion `nrow()` und `ncol()` können die Anzahl Zeilen und die Anzahl Spalten abgefragt werden:

```
nrow(monitoring)
```

```
## [1] 15
```

```
ncol(monitoring)
```

```
## [1] 3
```

Mit der Funktion `str()` (kurz für *structure*) kann schnell ein Überblick über sämtliche Variablen und deren Datentypen verschafft werden.

```
str(monitoring)
```

```
## 'data.frame':   15 obs. of  3 variables:
## $ ID           : chr  "Kamera_1" "Kamera_2" "Kamera_3" "Kamera_4" ...
## $ anzahl_rehe: num  132 79 129 91 138 144 55 103 139 105 ...
## $ revier      : chr  "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier A" ...
```

Aufgabe 12: `data.frame`

Stellen Sie sich vor, Sie machen eine kleine Umfrage, in der Sie fünf Menschen nach ihrem Studienfach, Semester und Alter befragen. Erstellen Sie einen `data.frame` mit dem Namen `umfrage1` für diese Informationen und fragen Sie entweder fünf Mitstudierende oder erfinden Sie die Daten einfach.

6.2 Zugreifen auf Elemente eines `data.frame`

Für `data.frames` gilt genau das gleiche Prinzip. Nur dass wir jetzt zwei Dimensionen berücksichtigen müssen: nämlich die Zeilen und die Spalten. Wir können immer noch mit eckigen Klammern (`[]`) auf Elemente innerhalb eines `data.frames` zugreifen, müssen aber jetzt die *Zeile*(*n*) und die *Spalte*(*n*) angeben, die wir haben möchten. Die Schreibweise ist immer `[Zeile(n), Spalte(n)]`. Für Zeilen und Spalten gelten genau die gleichen Regeln wie für Vektoren. Wir können entweder einen Vektor mit den Positionen für die gewünschten Zeilen und Spalten angeben oder einen logischen Vektor, der besagt welche Zeilen und Spalten wir zurückhaben möchten.

Wenn wir z. B. die Anzahl Rehfotos von der vierten Fotofalle abfragen möchten, könnte man das so machen.

```
monitoring[4, 2]
```

```
## [1] 91
```

Alternativ, kann man den Spaltennamen auch einfach Ausschreiben. Dies hat beim Programmieren den Vorteil, dass der Code lauffähig bleibt, falls sich die Reihenfolge der Spalten in der Datengrundlage ändert. Nachteil ist entsprechend, dass der Code nicht mehr läuft, falls die Variablennamen sich ändern.

```
monitoring[4, "anzahl_rehe"]
```

```
## [1] 91
```

Wenn wir die Anzahl fotografierte Rehe von den ersten fünf Fotofallen abfragen möchten, dann müssen wir für die Zeilen einen Vektor mit den Zahlen 1 bis 5 übergeben, für die Spalten ändert sich nichts.

```
monitoring[1 : 5, "anzahl_rehe"]
```

```
## [1] 132 79 129 91 138
```

Wenn wir nun nicht nur die Anzahl fotografierte Rehe zurückhaben möchten, sondern auch noch das Revier für die ersten fünf Fotofallen, dann müssen wir für die Spalten lediglich das Revier hinzufügen.

```
monitoring[1 : 5, c("anzahl_rehe", "revier")]
```

```
##   anzahl_rehe   revier
```

```
## 1         132 Revier A
```

```
## 2          79 Revier A
```

```
## 3         129 Revier A
```

```
## 4          91 Revier A
```

```
## 5         138 Revier A
```

Wenn wir alle Spalten und/oder Zeilen eines `data.frames` abfragen möchten, dann kann man diese Position einfach frei lassen. Eine Abfrage für die ersten fünf Spalten aller Fotofallen würde so aussehen.

```
monitoring[1 : 5, ]
```

```
##      ID anzahl_rehe   revier
```

```
## 1 Kamera_1         132 Revier A
```

```
## 2 Kamera_2          79 Revier A
```

```
## 3 Kamera_3         129 Revier A
```

```

785 ## 4 Kamera_4          91 Revier A
786 ## 5 Kamera_5          138 Revier A

```

```

787

```

788 *Aufgabe 13: Abfragen von Werten*

```

789

```

790 Wir nehmen folgende Werte aus Übung 12 an:

```

umfrage1 <- data.frame(
  fach = c("Forst", "Bio", "Chemie", "Physik", "Forst"),
  semester = c(2, 3, 2, 1, 5),
  alter = c(21, 22, 21, 20, 23)
)

```

- 791 • Wählen Sie nur die ersten drei Zeilen aus und die erste und zweite Spalte aus.
- 792 • Wählen Sie alle Zeilen und die erste und dritte Spalte aus.
- 793 • Wählen Sie alle Spalten und die erste, dritte und vierte Zeile aus.

```

794

```

795 Mit dem `$`-Zeichen kann bei `data.frames` direkt auf Spalten zugegriffen werden. Wenn wir z. B. für alle
 796 Fotofallen die Anzahl gesehener Rehe abfragen möchten, gibt es jetzt drei Möglichkeiten:

- 797 1. über das `$`-Zeichen direkt die Spalten ansprechen.

```

monitoring$anzahl_rehe

```

```

798 ## [1] 132 79 129 91 138 144 55 103 139 105 96 146 95 118 107

```

- 799 2. Die Positionen für die Zeilen leer lassen und die Spalte abfragen.

```

monitoring[, "anzahl_rehe"]

```

```

800 ## [1] 132 79 129 91 138 144 55 103 139 105 96 146 95 118 107

```

- 801 3. Alle Zeilen und die Spalte explizit angeben.

```

monitoring[1 : nrow(monitoring), "anzahl_rehe"]

```

```

802 ## [1] 132 79 129 91 138 144 55 103 139 105 96 146 95 118 107

```

803 Anmerkung zu 3), der Ausdruck `1:nrow(monitoring)` ergibt einen Vektor mit den Zahlen 1 bis 15, da
 804 `nrow(monitoring) = 15` ist. So eine Schreibweise ist zu empfehlen, wenn die Dimension des Vektors variabel
 805 ist.

806 Schlussendlich kann man einen `data.frame` genauso mit logischen Vektoren abfragen, wie mit Vektoren.
 807 Ein Beispiel wäre, wenn wir alle Fotofallen abfragen möchten, die mehr als 100 Rehphotos gemacht haben. Der
 808 erste Schritt wäre abzufragen, ob eine Fotofalle mehr als 100 Rehphotos gemacht hat.

```

monitoring$anzahl_rehe > 100

```

```

809 ## [1] TRUE FALSE TRUE FALSE TRUE TRUE FALSE TRUE TRUE TRUE FALSE TRUE
810 ## [13] FALSE TRUE TRUE

```

811 Das Ergebnis ist ein Vektor mit 15 Elementen. Hat eine Fotofalle mehr als 100 Rehphotos gemacht ist das
 812 entsprechende Element des Vektors `TRUE` ansonsten `FALSE`. In dem `data.frame monitoring` steht in jeder
 813 Zeile eine Beobachtung (also eine Fotofalle). Nun wollen wir genau diese Fotofallen haben, die mehr als 100
 814 Rehphotos gemacht gemacht haben.

```
monitoring[monitoring$anzahl_rehe > 100, ]
```

```

815 ##           ID anzahl_rehe   revier
816 ## 1 Kamera_1         132 Revier A
817 ## 3 Kamera_3         129 Revier A
818 ## 5 Kamera_5         138 Revier A
819 ## 6 Kamera_6         144 Revier B
820 ## 8 Kamera_8         103 Revier B
821 ## 9 Kamera_9         139 Revier B
822 ## 10 Kamera_10        105 Revier B
823 ## 12 Kamera_12        146 Revier C
824 ## 14 Kamera_14        118 Revier C
825 ## 15 Kamera_15        107 Revier C

```

826

827 *Aufgabe 14: Abfragen von Werten 2*

828

829 Verwenden Sie erneut den Datensatz aus Übung 13 und führen Sie folgende Abfragen durch:

- 830 • Alle Spalten für Studierende die Forstwissenschaften studieren.
- 831 • Alle Spalten für Studierende die Chemie oder Physik studieren.
- 832 • Die Spalte `fach` und `semester` für Studierende die 22 oder älter sind.

7 Schreiben und lesen von Daten

7.1 Textdateien

Bis jetzt haben wir Daten immer in R erstellt, dies ist eine eher unnatürliche Situation. In den meisten Fällen bekommen Sie Daten aus Felderhebungen, Sensoren oder sonstigen Quellen. Diese Daten müssen dann in R eingelesen werden. Daten liegen meist in einer tabellarischen Form und als Textdatei vor⁶.

Die Funktion `read.table` erlaubt es eine Textdatei in R einzulesen. Dabei sind fürs Erste drei Argumente wichtig:

- **file:** Der Pfad zur Datei die eingelesen werden soll. Dieser kann *absolut* oder *relativ* sein. Ein absoluter Pfad gibt den Ort der Datei, die gelesen werden soll, komplett an (auf einem Windows Rechner wäre das wahrscheinlich `C:/Users/...`). Im Gegensatz dazu gibt ein relativer Pfad den Ort an, an dem die Datei, die eingelesen werden soll, relativ zum aktuellen Arbeitsverzeichnis (working directory) von R an. Man kann das Arbeitsverzeichnis von R mit der Funktion `setwd()` setzen, es hat sich jedoch als sinnvoller erwiesen mit R Studio-Projekten zu arbeiten (mehr dazu im nächsten Abschnitt).
- **header:** Dieses Argument gibt an, ob die erste Zeile eine Kopfzeile mit den Spaltenüberschriften ist. Meist haben wir eine Kopfzeile, dann wäre `header = TRUE` richtig.
- **sep:** Das Trennzeichen zwischen verschiedenen Spalten. Es ist meist ein Leerzeichen (), Komma (`,`) oder Strichpunkt (`;`).

Die Datei `fotofallen.csv` finden Sie auf StudIP und kann einfach heruntergeladen werden. Sie können sich die Datei mit jedem Texteditor oder auch mit Excel oder Libre Office ansehen. Die Datei kann mit dem folgenden Befehl in R eingelesen werden. Hier wurde die Datei in einem R Studio-Projekt in ein Unterverzeichnis `data` abgelegt.

```
dat <- read.table("data/fotofallen.csv", header = TRUE, sep = ",")
head(dat)
```

```
##          ID anzahl_rehe   revier
## 1 Kamera_1         132 Revier A
## 2 Kamera_2          79 Revier A
## 3 Kamera_3         129 Revier A
## 4 Kamera_4          91 Revier A
## 5 Kamera_5         138 Revier A
## 6 Kamera_6         144 Revier B
```

Es gibt viele Varianten der Funktion `read.table()`. Beispielsweise hat die Funktion `read.csv()` bereits die Argumente `sep = ','` und `header = TRUE` gesetzt. Die Funktion `read.csv2()` hat das Argument `sep = ';'` gesetzt. Sie müssen natürlich darauf achten, dass sie die csv Dateien mit den gleichen Spezifikationen einlesen, mit denen sie gespeichert wurde. Siehe dazu auch die Hilfeseite von `read.table()`.

Mit der Funktion `write.table()` kann ein `data.frame` auf die Festplatte geschrieben werden.

⁶Natürlich gibt es viele weitere Formate wie Daten vorliegen können, diese werden aber an dieser Stelle nicht weiter behandelt. Es sei lediglich auf das Paket `readxl` verwiesen, falls Sie Daten von MS Excel direkt in R einlesen möchten.

866

Aufgabe 15: Lesen und Schreiben von Dateien

869 Lesen Sie die Datei `kompliziert.txt` ein. Schauen Sie die Hilfeseite an und vergewissern Sie sich, dass Sie
870 wissen was die Argumente `header`, `sep`, `dec` und `skip` bewirken. Setzen die Argumente richtig, damit die
871 Datei `kompliziert.txt` folgendes Ergebnis liefert.

8 Erstellen von Abbildungen

Abbildungen sind ein elementarer Baustein statistischer Analysen und deshalb von Beginn an Teil von R. **R is a free software environment for statistical computing and graphics.** Es gibt unterschiedliche Systeme einen Plot zu erstellen. In diesem Kurs werden wir kurz *Base Plots* vorstellen und dann das Zusatzpaket `ggplot2` vorstellen.

8.1 Base Plot

Die wichtigsten Grafiken für die einfache Datendarstellung sind schnell verfügbar. Etwas komplexere oder spezielle Grafiken erfordern mehr Programmieraufwand (folgt teilweise noch). Für viele komplexere Diagramme existieren bereits Codebeispiele oder Pakete. Es lohnt sich z. B. einen Blick in die R Graph Gallery (<https://r-graph-gallery.com/index.html>) zu werfen, bevor Sie beginnen komplexe Abbildungen zu erstellen. Stellen sie sich die einfache Grafik Schnittstelle (**base plots**) als zweidimensionale Leinwand vor, auf die Sie durch Code Ebene für Ebene Grafikelemente legen:

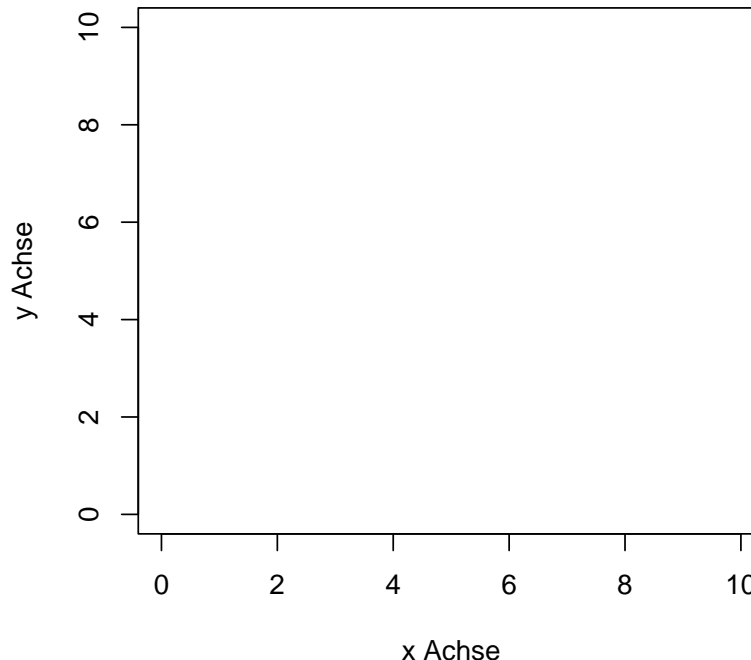
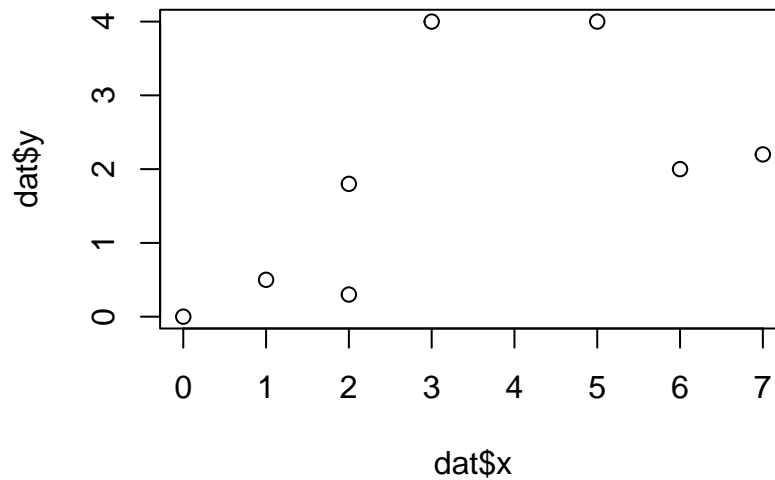


Abbildung 4: Beispiel einer leeren Grafikschnittstelle.

Hier drei einfache Beispiele für Abbildungen mit nur einer Ebene.

```
dat <- data.frame(
  x = c(0, 1, 2, 2, 3, 5, 6, 7),
  y = c(0, 0.5, 1.8, 0.3, 4, 4, 2, 2.2)
)

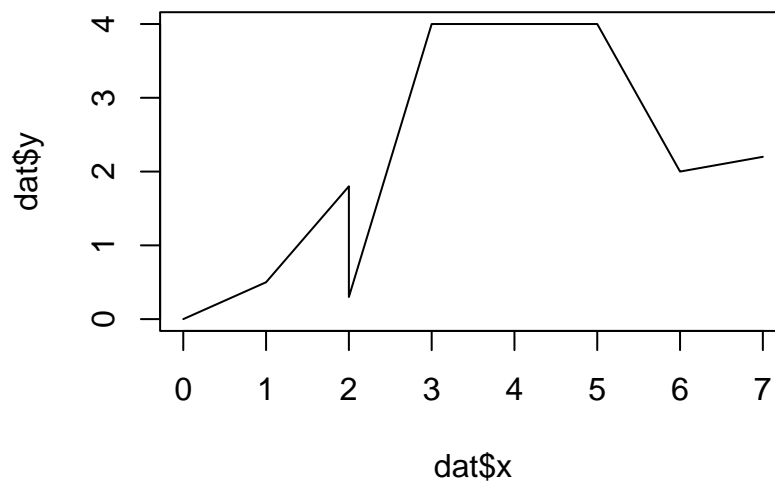
plot(dat$x, dat$y, type = "p")
```



885

886 Mit dem Argument `type` kann die Art der Darstellung gesteuert werden. Der Standardwert ist `type = "p"`
887 (für `points`). Wir können den selben Plot mit Linien (`type = "l"`)

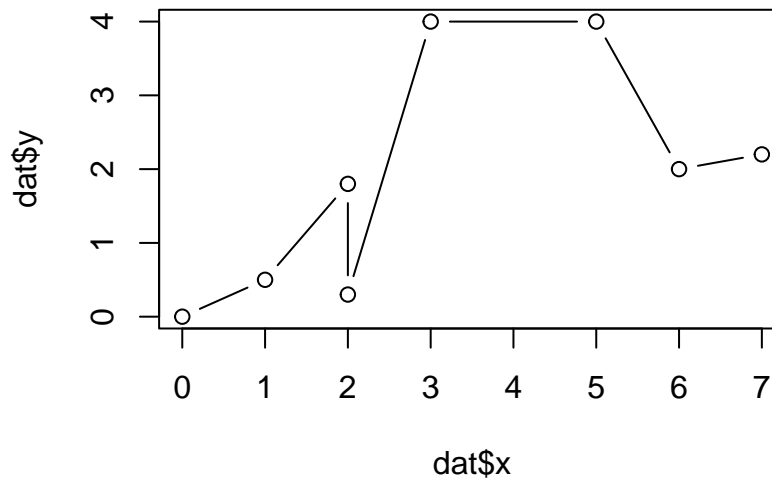
```
plot(dat$x, dat$y, type = "l")
```



888

889 oder mit Linien und Punkten (`type = "b"` für `both`)

```
plot(dat$x, dat$y, type = "b")
```



darstellen.

Aufgabe 16: Base Plot 1

Laden Sie den Datensatz `bhd_1.txt` und erstellen Sie eine Abbildung mit dem Alter jedes Baumes auf der x-Achse und dem BHD auf der y-Achse.

Sie können entweder eine Grafik mit einem Befehl erzeugen (High-Level) oder die einzelnen Ebenen nacheinander erzeugen (Low-Level). Sie können jeder Ebenen durch zusätzliche Befehle innerhalb des Funktionsaufrufs Elemente hinzufügen. Mit jeder neuen Ebene können Sie die vorigen Ebenen jedoch nicht mehr verändern. Die wichtigsten Argumente der `plot` Funktion sind:

- `type` - Diagrammtyp
- `col` - Farbe
- `main` - Titel
- `sub` - Untertitel
- `pch` - Punktsymbol
- `lty` - Linientyp
- `lwd` - Linienstärke
- `xlab` bzw. `ylab` - Achsenbeschriftungen
- `xlim`, `ylim` - Grenzen der Achsenanschnitte
- `axes` - Sollen die Achsen eingezeichnet werden? Oder leer gelassen werden, um sie nachträglich als low-level Ebene einzuzichnen?
- `ann` - Achsenbeschriftung kann ganz weggelassen werden.

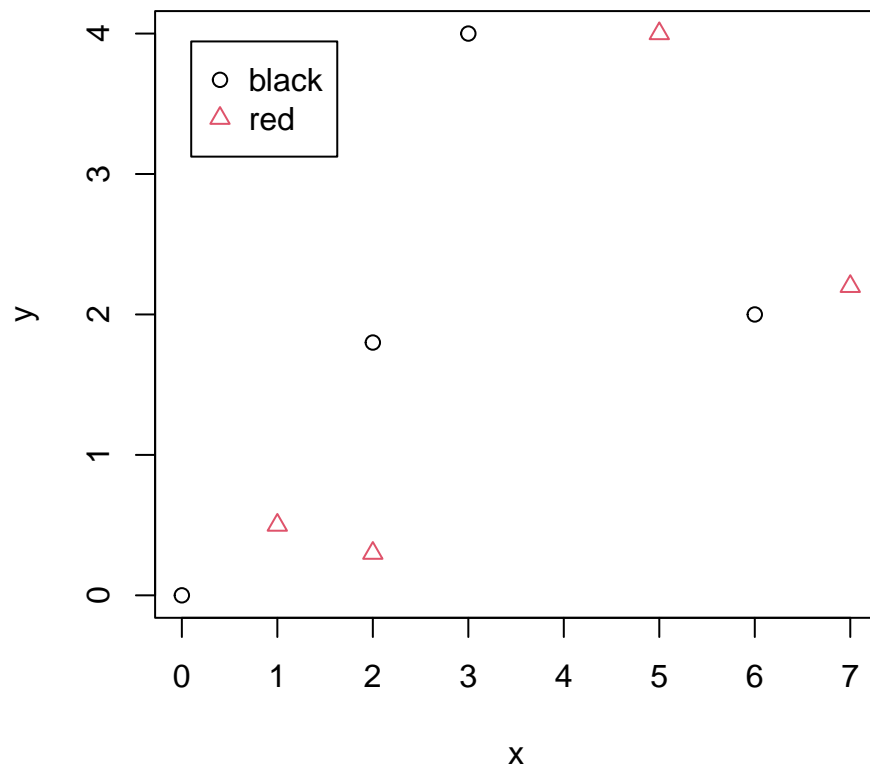
Sehen Sie sich die Hilfeseiten `?plot.default()` oder `?par()` an für weiter Informationen. Dort finden Sie auch eine vollständige Liste der Befehle. Einige Argumente können als Vektor übergeben werden. Hier z. B. die Farben und die Punktsymbole.


```

dat <- data.frame(
  x = c(0, 1, 2, 2, 3, 5, 6, 7),
  y = c(0, 0.5, 1.8, 0.3, 4, 4, 2, 2.2),
  col = rep(c(1, 2), 4)
)

plot(x = dat$x, y = dat$y, col = dat$col, pch = dat$col, xlab = "x", ylab = "y")
legend(x = "topleft", inset = 0.05, legend = c("black", "red"),
      col = c(1, 2), pch = c(1, 2))

```



917

918

919 Aufgabe 17: Anpassen von Plots

920

921 Verwenden Sie den Datensatz aus Übung 16 und passen Sie die Abbildung wie folgt an:

- 922 • Beschriften Sie die x- und y-Achse sinnvoll.
- 923 • Fügen Sie eine Überschrift hinzu.
- 924 • Wählen Sie ein anderes Symbol.
- 925 • Stellen Sie die Symbole in rot dar.

926

927 Über Low-Level Funktionen können einer Grafik Schnittstelle nacheinander Elemente hinzugefügt werden.
 928 Die wichtigsten Funktionen sind

- `points()` - Fügt Punkte ein
- `lines()` - Fügt Linien ein
- `text()` - Fügt Text ein
- `legend()` - Fügt eine Legende ein
- `abline()` - Fügt eine Gerade ein
- `curve()` - Fügt eine mathematische Funktion ein
- `arrows()` - Fügt Pfeile ein
- `grid()` - Fügt Hilfslinien ein

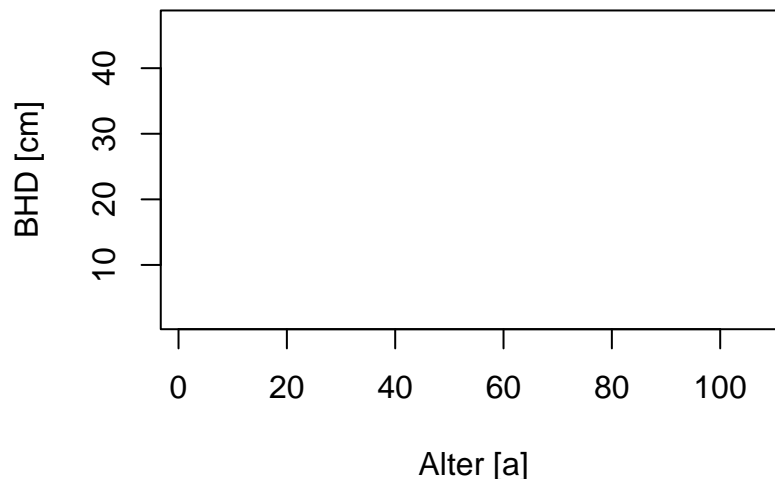
Dabei ist der Aufbau zunächst grundsätzlich wie in Abbildung 5 dargestellt. Der Vorteil von Low-Level Funktionen ist, dass die einzelnen Level mehr Funktionen bieten als die High-Level Funktion und, dass Sie sich die Reihenfolge der Ebenen definieren können.

Legenden können im base plot nur als Low-Level Funktion hinzugefügt werden. Mit der Funktion `legend` werden die Einträge und die entsprechenden Punktsymbole oder Linientypen dargestellt. In der folgenden Abbildung wird eine Legende in der linken oberen Ecke eingefügt.

```
plot(dat$alter, dat$bhd, ylab = "BHD [cm]", xlab = "Alter [a]", col = as.numeric(dat$art), pch = as.nu
```

```
## Warning in plot.xy(xy, type, ...): NAs durch Umwandlung erzeugt
```

```
## Warning in plot.xy(xy, type, ...): NAs durch Umwandlung erzeugt
```



Mit diesem grundsätzlichen Aufbau sollten Sie bereits in der Lage sein auch komplexe Grafiken schnell zu gestalten. Wenn Sie mehrere Diagramme in einem Plot arrangieren möchten, können Sie mit dem `par()` Befehl ein Arrangement definieren. Sie haben dann zusätzlich zu den bereits bekannten Grafikregionen noch äußere Ränder (*outer margins*). Siehe Abbildung 6.

8.1.1 Mehrere Panels

Mit der Funktion `par()` kann auch eingestellt werden, dass ein Plot aus mehreren Subplots (= Panels) besteht. Die Argumente `mfrow` und `mfcol` können `par()` übergeben werden und kontrollieren die Anzahl Zeilen und Spalten für den Plot.

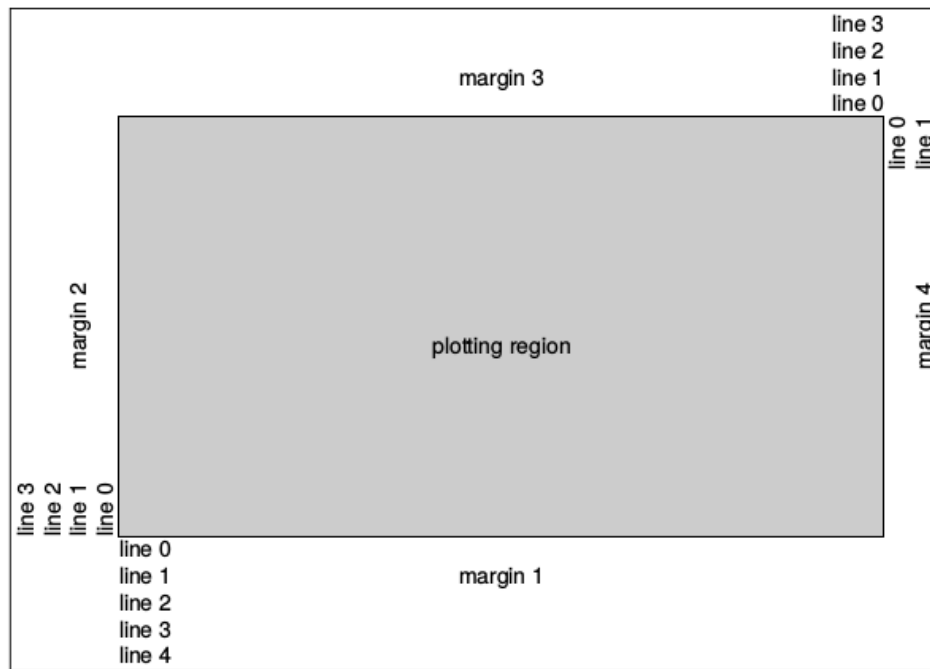


Abbildung 5: Grafikregionen eines base plots in R.

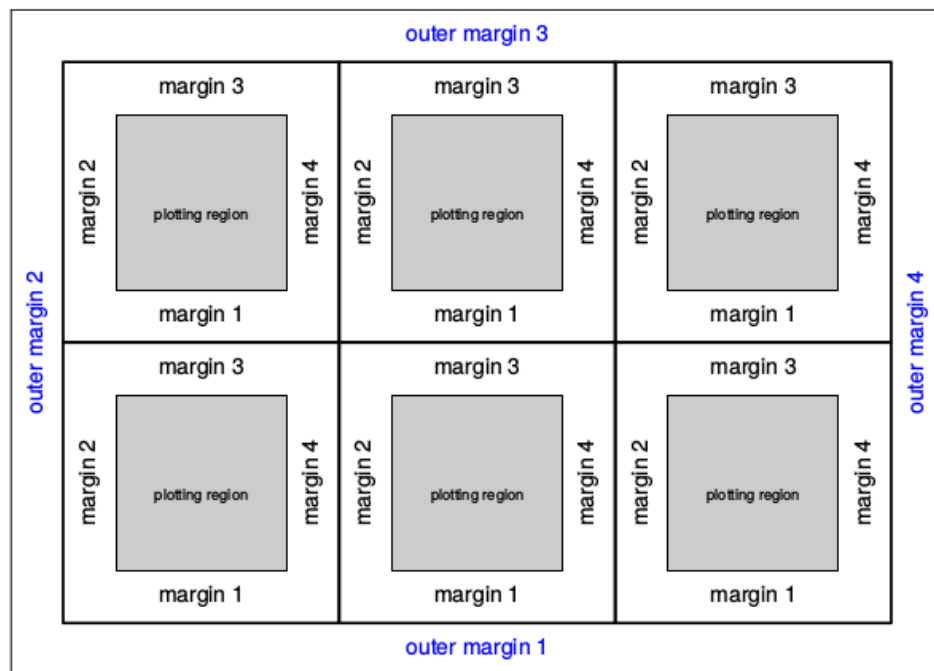
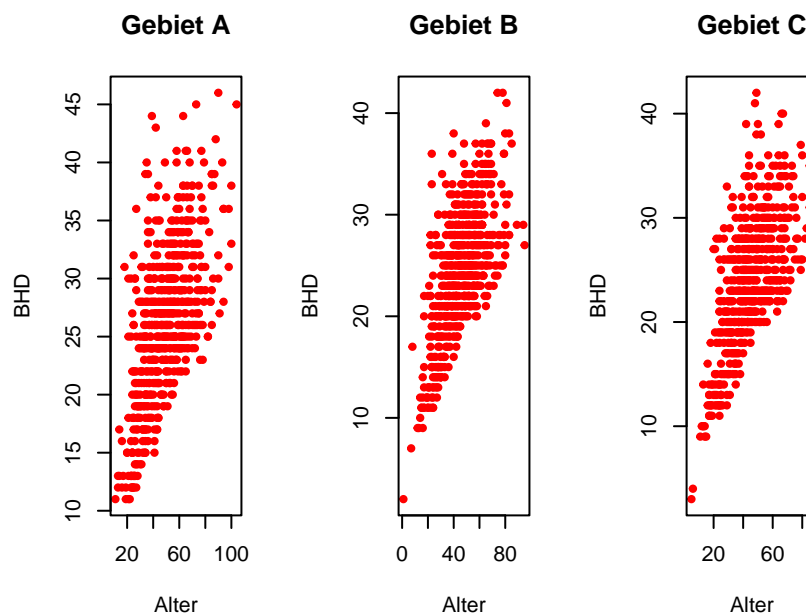


Abbildung 6: Schematischer Aufbau mehrere Diagramme in einem plot am Beispiel einer 3 x 2 Grafik.

```
par(mfrow = c(1, 3))
```

955 Teilt den Plot in eine Zeile und drei Zeilen (= drei Plots nebeneinander).

```
# Erstes Panel
plot(bhd ~ alter, xlab = "Alter", ylab = "BHD", pch = 20, col = "red",
     data = dat[dat$gebiet == "A", ], main = "Gebiet A")
# Zweites Panel
plot(bhd ~ alter, xlab = "Alter", ylab = "BHD", pch = 20, col = "red",
     data = dat[dat$gebiet == "B", ], main = "Gebiet B")
# Drittes Panel
plot(bhd ~ alter, xlab = "Alter", ylab = "BHD", pch = 20, col = "red",
     data = dat[dat$gebiet == "C", ], main = "Gebiet C")
```



956

957 Vergessen Sie nicht am Ende nochmals `par(mfrow = c(1, 1))` zu setzen, damit wieder nur ein Plot angezeigt
 958 wird.

959 8.1.2 Speichern von Abbildungen

960 Wenn nicht anders angegeben, wird die Abbildung zunächst nur in der RStudio Grafik Schnittstelle abgebildet
 961 (rechts unten). Von dort aus kann die Abbildung exportiert werden. Es bietet sich jedoch an das Speichern der
 962 Abbildung direkt im Code zu programmieren. Mögliche Formate die Abbildung als Vektorgrafik zu speichern
 963 sind

- 964 • `pdf()` oder
- 965 • `postscript()`.

966 Beispiele für Rastergrafiken sind

- 967 • `png()`,
- 968 • `bmp()` oder

• `jpeg()`.

Die Grafikschnittstelle ist dann Ihre “Leinwand”. Mit dem Befehl `dev.off()` trennen Sie die Verbindung zur Schnittstelle wieder. Ihre “Leinwand” wird also wieder geschlossen. So lange die Schnittstelle geöffnet ist werden alle Low-Level Befehle an die Ausgabedatei gesendet. Hier am Beispiel einer PDF.

```
pdf("Grafik.pdf", height = 5)           # Öffnen der PDF Schnittstelle
plot(bhd ~ alter, type = "b", axes = FALSE, # Abbildung produzieren, Ohne Achsen
     data = dat)
axis(side = 1, line = 1)                 # Achsen als High-Level Funktion hinzufügen
axis(side = 2, line = 1, las = 2)        # Sehen Sie selbst in der Hilfe was las bedeutet
dev.off()                                # Schnittstelle schließen
```

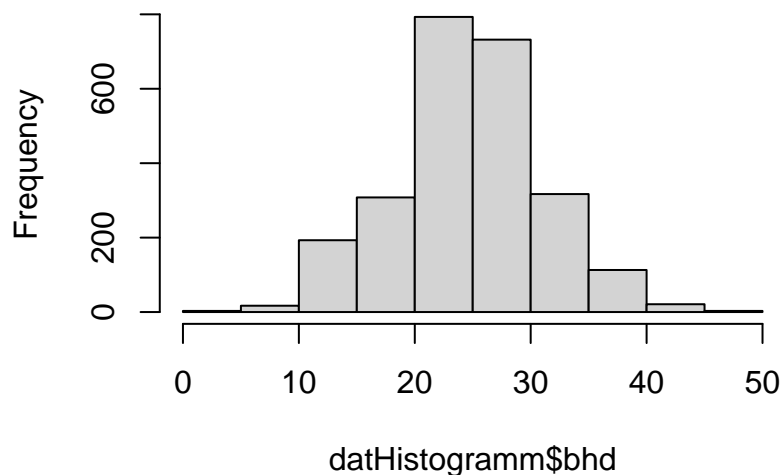
Achtung, wenn Sie die Funktion `dev.off()` nicht aufrufen, werden alle nachfolgenden Plots in die gleiche Datei geschrieben. Falls Sie nach einem Versuch einen Plot zu speichern plötzlich keine weiteren Plots mehr sehen, führen Sie einige Mal die Funktion `dev.off()` aus.

8.2 Histogramme

Neben den Streudiagrammen (*Scatterplots*, oder auch einfach x-y Diagramm) sind *Histogramme* in der angewandten Datenanalyse ein weiterer wichtiger Abbildungstyp. An Histogrammen wird die Häufigkeit von Beobachtungen nach Gruppen dargestellt. Sie sind deshalb so wichtig, weil man aus ihnen relevante Informationen über die Verteilung der Daten ablesen kann. So werden auf einen Blick der Zusammenhang von Beobachtungshäufigkeit und Streuung deutlich, sowie auch die Form der Verteilung und ihre Schiefe. Die Interpretation werden wir bei den Boxplots noch weiter vertiefen.

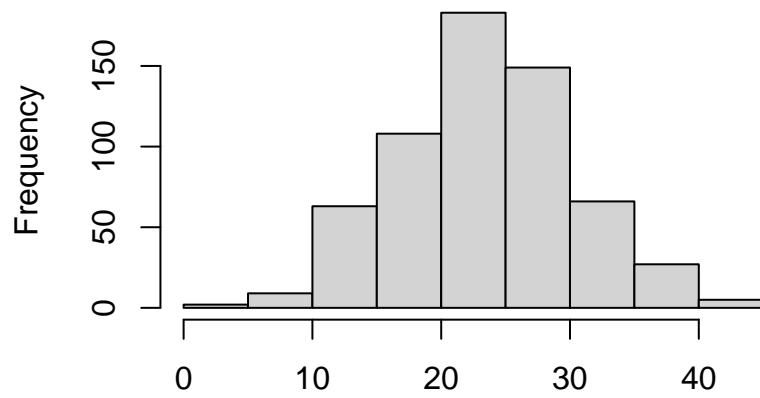
```
datHistogramm <- read.table("data/bhd_1.txt", header = TRUE)
# Über alle Baumarten
hist(datHistogramm$bhd)
```

Histogram of datHistogramm\$bhd



```
# Nur für Eichen, Standardeinstellungen
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"])
```

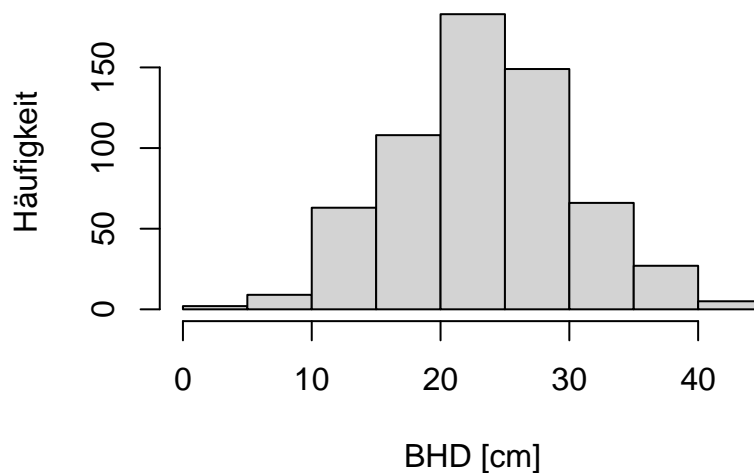
Histogram of datHistogramm\$bhd[datHistogramm\$art == "EI"]



```
datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"]
```

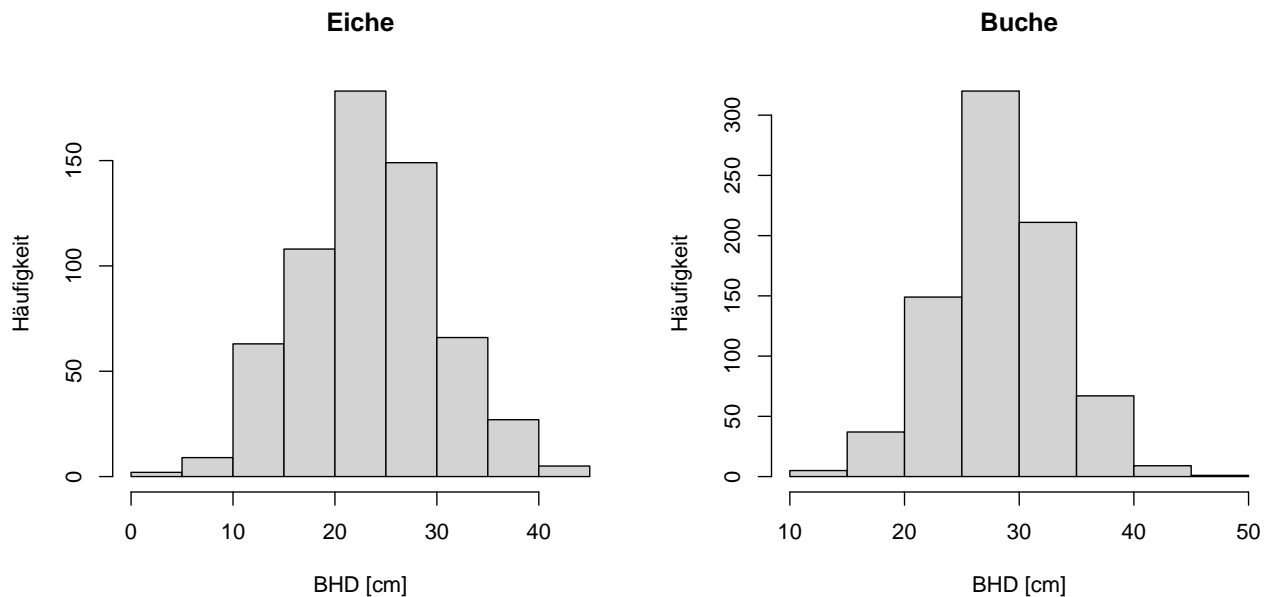
```
# Nur für Eichen, geänderte High-Level Einstellungen
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"],
      xlab = "BHD [cm]", ylab = "Häufigkeit",
      main = "Anzahl der Eichen")
```

Anzahl der Eichen



```
par(mfrow = c(1, 2))
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"],
      xlab = "BHD [cm]", ylab = "Häufigkeit",
      main = "Eiche")
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "BU"],
```

```
xlab = "BHD [cm]", ylab = "Häufigkeit",
main = "Buche")
```



```
par(mfrow = c(1, 1)) # Alte Grafikeinstellungen wiederherstellen
```

8.3 Boxplots

Oft möchte man die Verteilung einer stetigen Variablen in Abhängigkeit einer diskreten Variable beschreiben oder Visualisieren. Ein Beispiel dafür wäre die BHD-Verteilung für unterschiedliche Baumarten. Eine häufige Darstellungsform für solche Daten sind *Boxplots*.

Boxplots bestehen aus drei Komponenten:

1. Eine *Box*, die den Bereich zwischen 0.25 und 0.75 Percentil abdeckt, diese Distanz wird auch die IQR (Interquartile Rage), bezeichnet. Zusätzlich wird die Box durch den Median (als dicke horizontale Linie) unterteilt.
2. Einzelne Punkte Ausreißer. Als Ausreißer werden Punkte bezeichnet, die $> 1.5IQR$ vom unteren oder oberen Ende der Box entfernt sind.
3. Eine senkrechte Linie von jeder Seite der Box bis zum letzten "Nicht-Ausreißer-Punkt". Diese Linie wird auch oft als *Whisker* bezeichnet.

Mit R kann mit der Funktion `boxplot()` ein Boxplot erstellt werden. Diese Funktion kann in zwei unterschiedlichen Ausprägungen verwendet werden.

1. `boxplot(x)` erzeugt einen Boxplot für die Variable `x`.
2. `boxplot(x ~ y)` erzeugt einen oder mehrere Boxplots für `x` aber gruppiert nach `y`, dabei sollte `y` eine kategoriale Variable sein. `x` und `y` können auch die Spaltennamen eines `data.frames` sein, dann muss das `data.frame` mit dem Argument `data` zusätzlich übergeben werden.

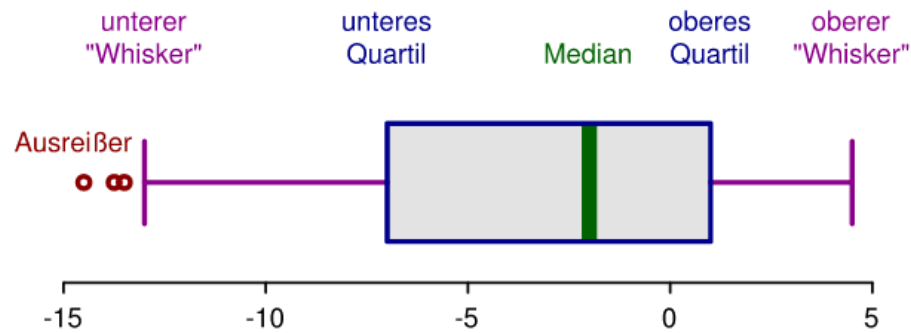
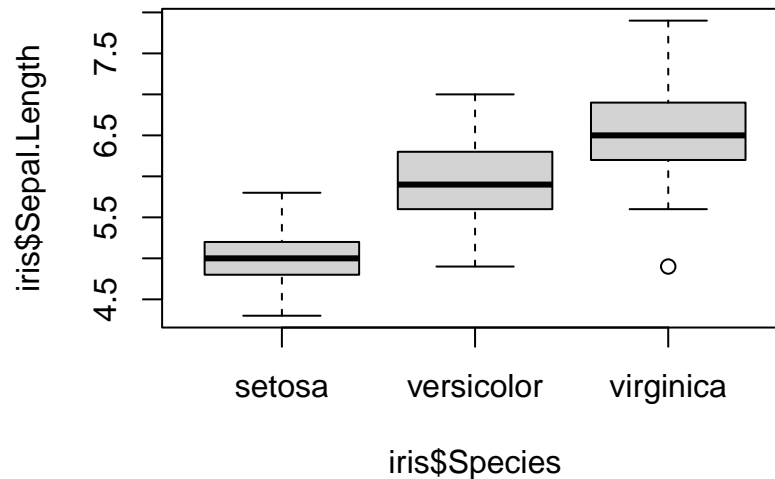


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Boxplots (Quelle: Von RobSeb - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14697172>).

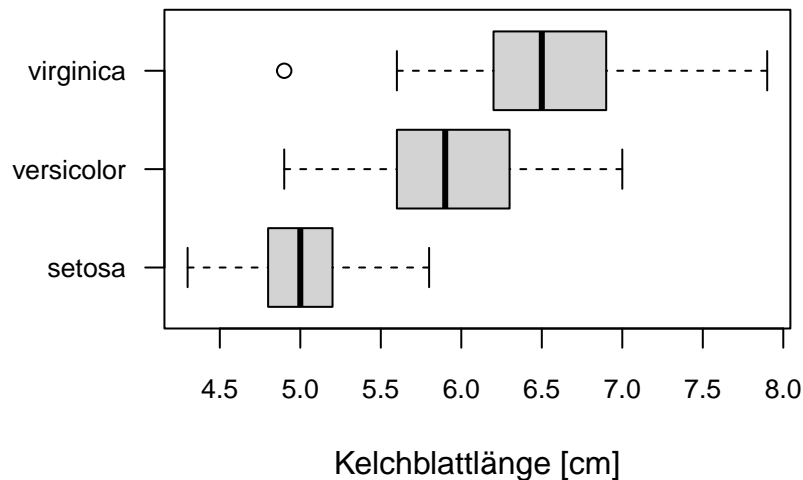
```
boxplot(iris$Sepal.Length ~ iris$Species)
```



1007

1008 Etwas eleganter ist es wenn wir das Argument `data` verwenden und den Plot etwas anpassen.

```
boxplot(
  Sepal.Length ~ Species, data = iris, ylab = NULL, xlab = "Kelchblattlänge [cm]",
  horizontal = TRUE, las = 1, cex.axis = 0.8
)
```

Aufgabe 18: Boxplots

- Lesen Sie erneut den Datensatz `daten/bhd_1.txt` ein und speichern Sie diesen in die Variable (`dat_bhd`).
- Wie viele BHD-Messungen gibt es für jedes Gebiet?
- Erstellen Sie für jedes Gebiet einen Plot

Erstellen Sie einen Plot mit 3 Subplots, jeweils mit einem Boxplot für die ersten drei Studienggebiete, in dem der BHD für jede Baumart dargestellt wird.

8.4 ggplot2: Eine Alternative für Abbildungen

`ggplot2` ist ein alternatives Plotting-System in *R*. Sie können mit `ggplot2` also grundsätzlich Abbildungen mit dem selben Inhalt erstellen wie mit Base Plots. Die Syntax und die optische Darstellung unterscheiden sich jedoch grundsätzlich. `ggplot2` basiert auf den *grammar of graphics* von Leland Wilkinson. Die Idee ist, alle nötigen Informationen der Abbildung miteinander zu verknüpfen. `ggplot2` ist also diametral zu Base Plots. Mit diesen gebündelten Informationen kann `ggplot2` die Abbildung automatisch verschönern. So werden bspw. die Legenden automatisch erzeugt und auch die Formatierungen automatisch an die Datenlage angepasst. `ggplot2` nimmt der*dem Entwickler*in also Arbeit ab. Dadurch sind die Abbildungen schon ohne viel Nacharbeit schick. Nachteil ist, dass der*dem Entwickler*in weniger Möglichkeiten zur Einstellung zur Verfügung stehen und nuterspezifische Sonderwünsche somit schwerer umsetzbar sind. Sehen Sie sich das *Cheatsheet* zu `ggplot2` an. Es ist in RStudio unter `Help >> Cheatsheets` zu finden.

Bei `ggplot2` sind Anweisungen zu den Daten und Anweisungen zur Darstellung voneinander getrennt. Die Daten werden in den Ästhetikbefehl übergeben und dort klassifiziert. Dann folgen die Darstellungsanweisungen. Ähnlich wie bei Base Plots werden die Grafikelemente ebenenweise nacheinander programmiert, jedoch mit einem `+` verbunden. Und hier liegt der wesentliche Unterschied zu Base Plots. Durch die `+` werden die Ebenen zu einem Befehl verbunden und damit gleichzeitig erstellt.

Die Erweiterung wird zunächst geladen⁷. Falls nicht schon geschehen, muss sie vorher installiert werden.

⁷Wir haben bis jetzt immer nur mit *base R* gearbeitet. D.h. wir haben nur Funktionen verwendet, die *R* bereits zur Verfügung stellt. Eine der großen Stärken von *R* sind die Erweiterungen (oder auch Pakete genannt). `ggplot2` ist so eine Erweiterung, die

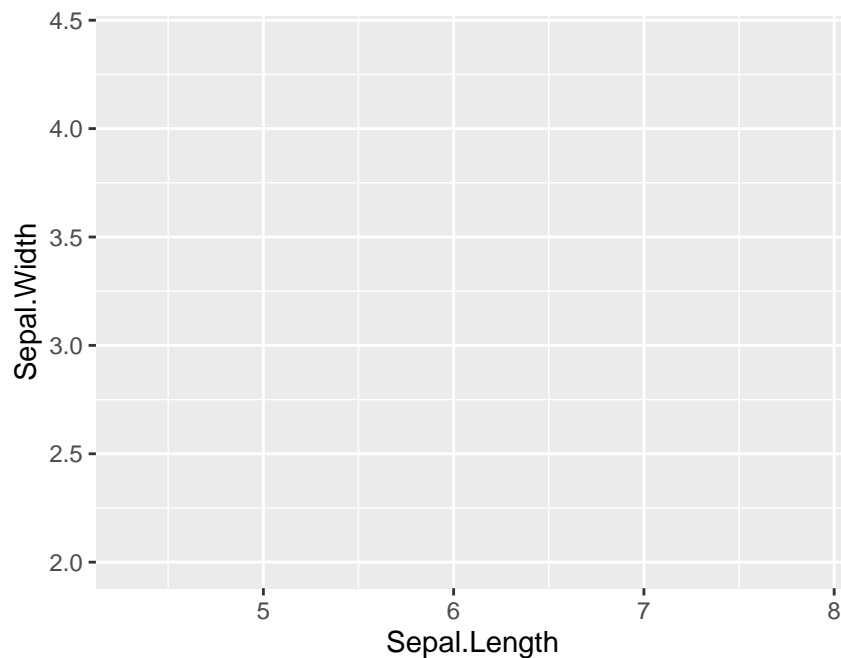
Wir laden außerdem den Datensatz `iris`. Der Datensatz ist in R fest integriert. Siehe `?iris` für mehr Informationen.

```
library(ggplot2)
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
```

Die Ästhetik wird bspw. folgendermaßen definiert.

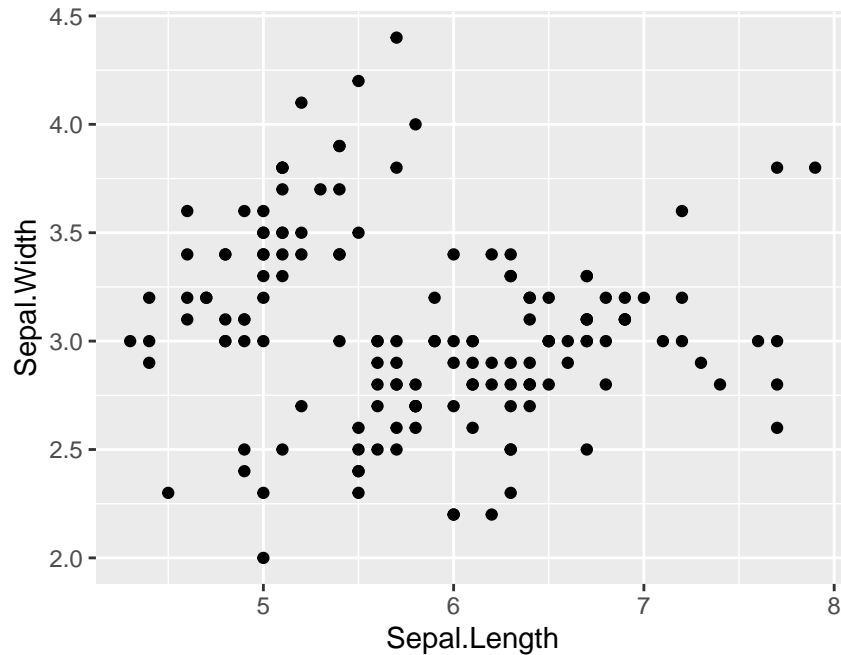
```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width))
```



Dieser Befehl zeichnet noch keine Daten. Die Daten werden lediglich herangezogen, um einen leeren Plot für die Daten zu erstellen. In dem Beispiel wird die Variable `Sepal.Length` aus dem `data.frame` `iris` als x und `Sepal.Width` als y Variable definiert. Diese Informationen stehen den folgenden Layern nun zur Verfügung, sodass nach den `+` nur noch x und y verwendet werden müssen. Um bspw. einen Scatterplot zu erstellen wird ein `geom_point()` Layer hinzugefügt. x und y werden automatisch an `geom_point` übergeben. Weitere Einstellung sind in diesem Beispiel nicht notwendig, wären jedoch möglich. Siehe `?geom_point()`.

```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width)) + geom_point()
```

einmal mit `install.packages("ggplot2")` installiert werden muss. Danach muss man das Paket am Anfang jeder Session mit `library(ggplot2)` laden, damit die Funktionen aus dem Paket zur Verfügung stehen.



Aufgabe 19: Abbildungen mit ggplot2

Verwenden Sie die Daten aus Aufgabe 16 und erstellen Sie einen Scatterplot mit `ggplot2` wie in Aufgabe 16.

Wir haben mit der Funktion `geom_point()` dem Plot eine Punktgeometrie hinzugefügt. Es gibt noch viele weitere Geometrien. Die wichtigsten sind:

- `geom_line()` für eine Linie.
- `geom_histogram()` um ein Histogramm zu erstellen.
- `geom_boxplot()` um einen Boxplot zu erstellen.
- `geom_bar()` um ein Säulendiagramm zu erstellen.

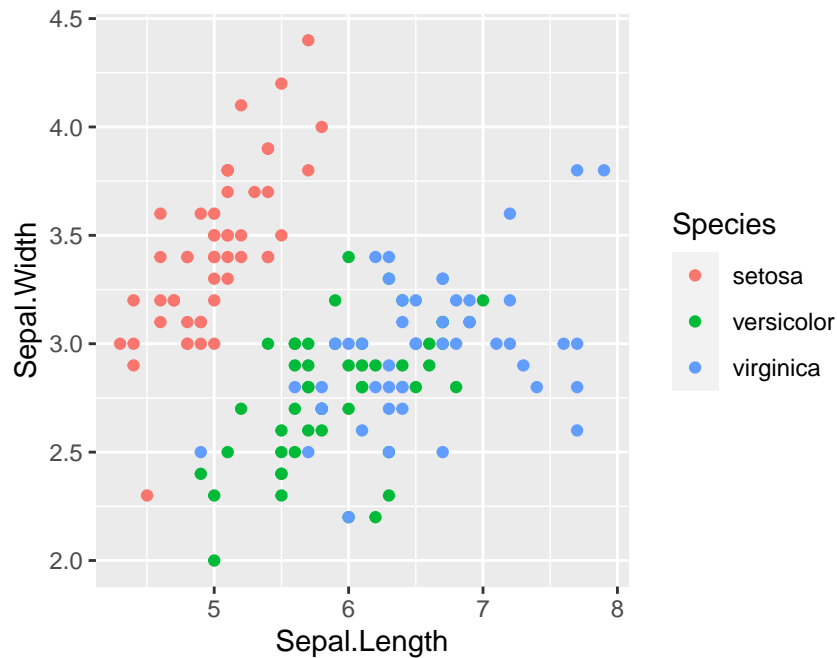
Welche Geometrie die richtige ist, richtet nach dem Typ der darzustellenden Variablen. Beispielsweise bietet sich `geom_point()` an, wenn man zwei kontinuierliche Variable darstellen möchte. Wenn man hingegen die Verteilung von einer kontinuierlichen Variable darstellen möchte, dann bietet sich ein Histogramm (`geom_histogram()`) oder auch eine geschätzte Dichte (z.B. `geom_density()`) an.

Aufgabe 20: Abbildungen mit ggplot2

Verwenden Sie den Iris Datensatz und erstellen Sie mit `ggplot2` einen Plot der die Verteilung der Länge der Kelchblätter zeigt (Spalte `Sepal.Length`).

Eine der Stärken von ggplot2 ist, dass man den Wert unterschiedlicher Variable auf unterschiedlichen Komponenten des Plots abbilden kann. Wir haben bis jetzt ein bzw. zwei Variable auf der x- und y-Achse abgebildet. Wir können aber ein weitere Variablen verwenden um das Aussehen des Plots zu beeinflussen. Beispielsweise können wir die Farbe der Punkte (für `geom_point()`) mit dem Argument `col` beeinflussen.

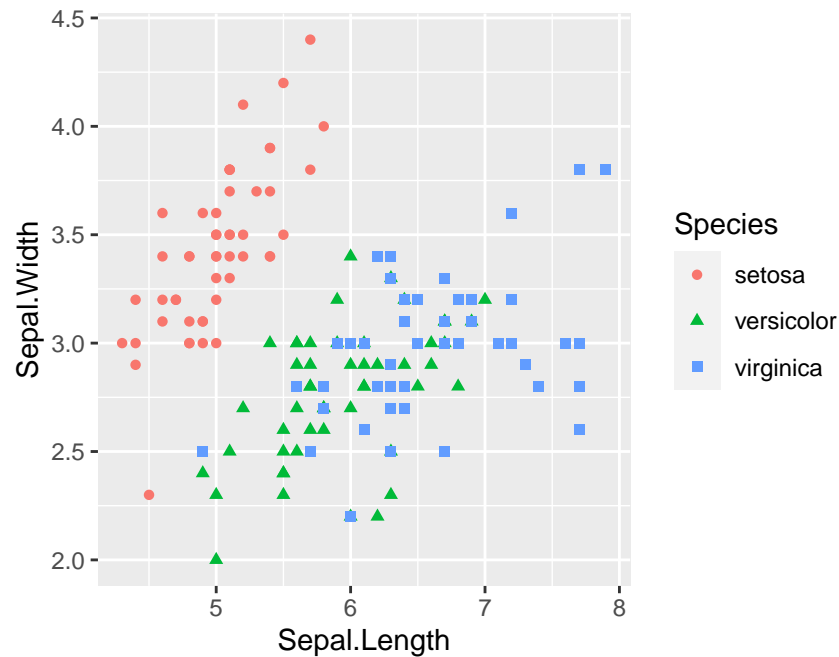
```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width, col = Species)) +  
  geom_point()
```



Somit bekommt jede Irisart eine eigene Farbe⁸. Gleichmaßen können wir die Punktart (`shape`), die Punktgröße (`size`) etc. anpassen.

```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width,  
  col = Species, shape = Species)) +  
  geom_point()
```

⁸Natürlich könnte man auch die Farbe anpassen.

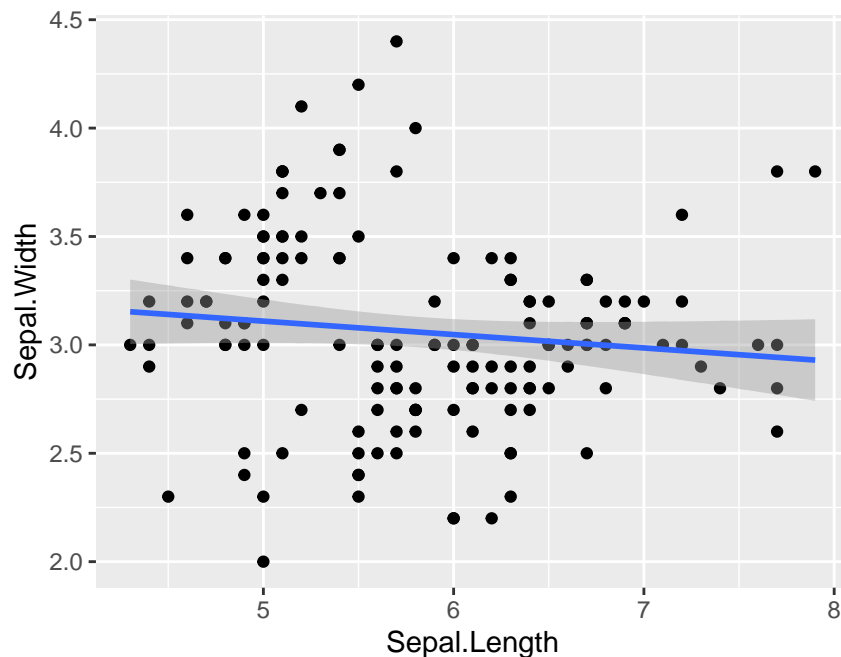


1081

1082 In dem Plot ist die Information zu der Art redundant (einmal als Farbe und einmal Symbolart).

1083 Ein weitere sehr nützliche Geometrie ist `geom_smooth()`, die es erlaubt eine Trendlinie hinzuzufügen.

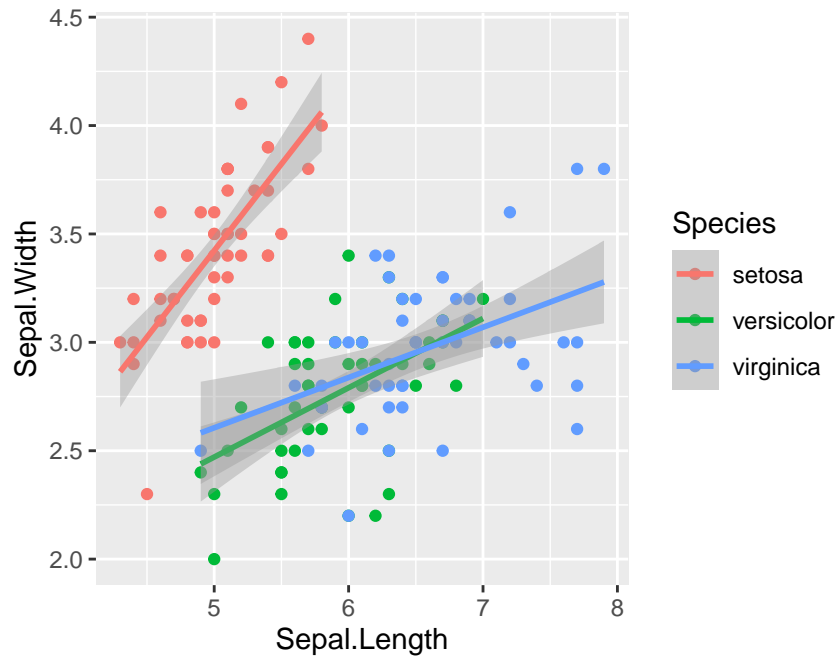
```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width)) +  
  geom_point() + geom_smooth(method = "lm")
```



1084

1085 Mit `method = "lm"` wird festgelegt, dass die Trendlinie gerade sein soll (es wird eine lineare Einfachregression
1086 angepasst). Wenn wird wieder eine gruppierende Variable einführen (z.B. die Beobachtungen nach Art auf
1087 die Farbe aufteilen), wir das von `geom_smooth()` berücksichtigt.

```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width, col = Species)) +
  geom_point() + geom_smooth(method = "lm")
```



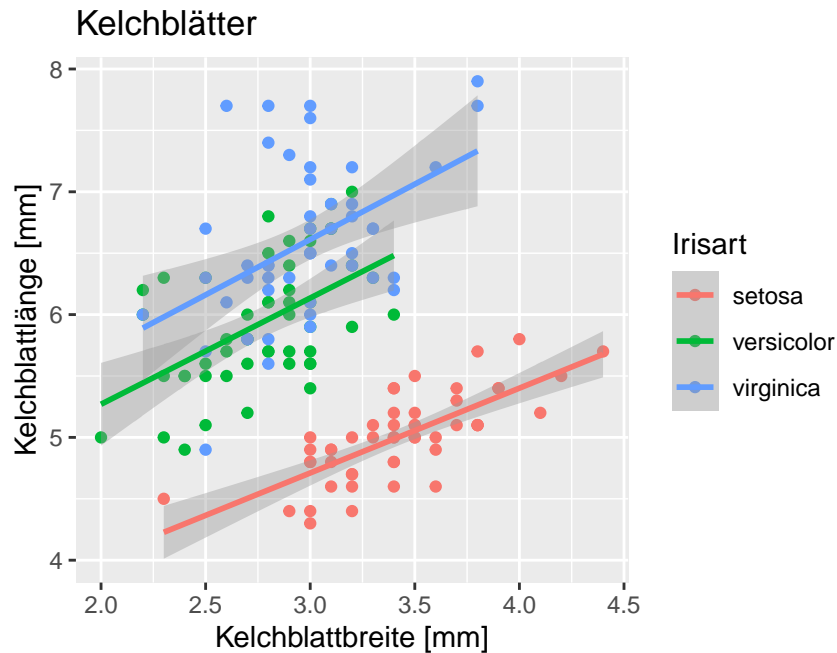
Aufgabe 21: Anpassen von Plots

Lesen Sie den Datensatz `data/bhd_1.txt` ein und erstellen Sie einen Boxplot für die Verteilung des BHDs für jede Baumart. In einem zweiten Schritt verwenden Sie erst `col = gebiet` und dann `fill = gebiet`. Welchen Unterschied stellen Sie fest?

```
dat <- read.table("data/bhd_1.txt", header = TRUE)
head(dat)
ggplot(dat, aes(art, bhd, fill = gebiet)) + geom_boxplot()
```

Mit der Funktion `labs()` werden die Beschriftungen geändert.

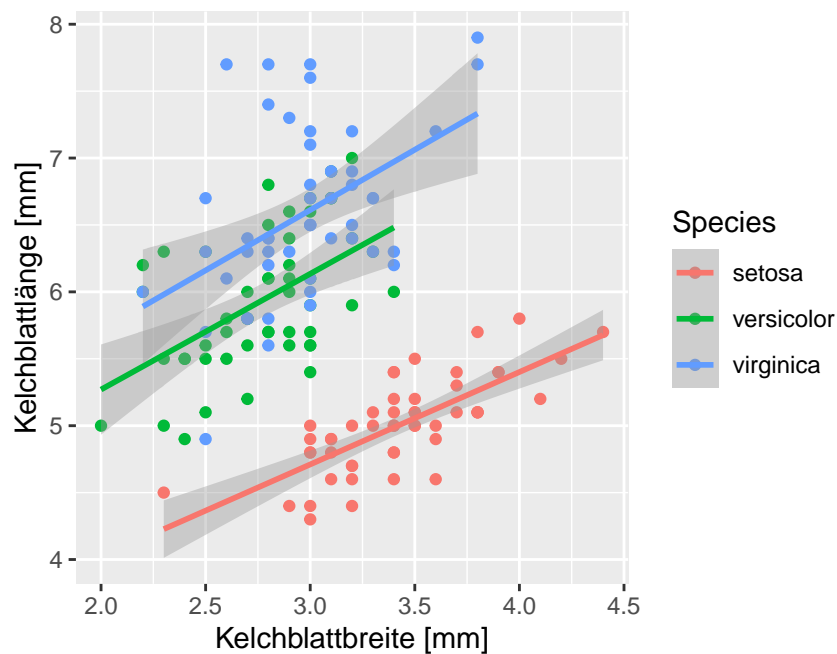
```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Width, y = Sepal.Length, color = Species)) +
  geom_point() + geom_smooth(method = "lm") +
  labs(x = "Kelchblattbreite [mm]", y = "Kelchblattlänge [mm]",
       title = "Kelchblätter", color = "Irisart")
```



```
p1 <- ggplot(iris, aes(x = Sepal.Width, y = Sepal.Length, color = Species)) +  
  geom_point() + geom_smooth(method = "lm")
```

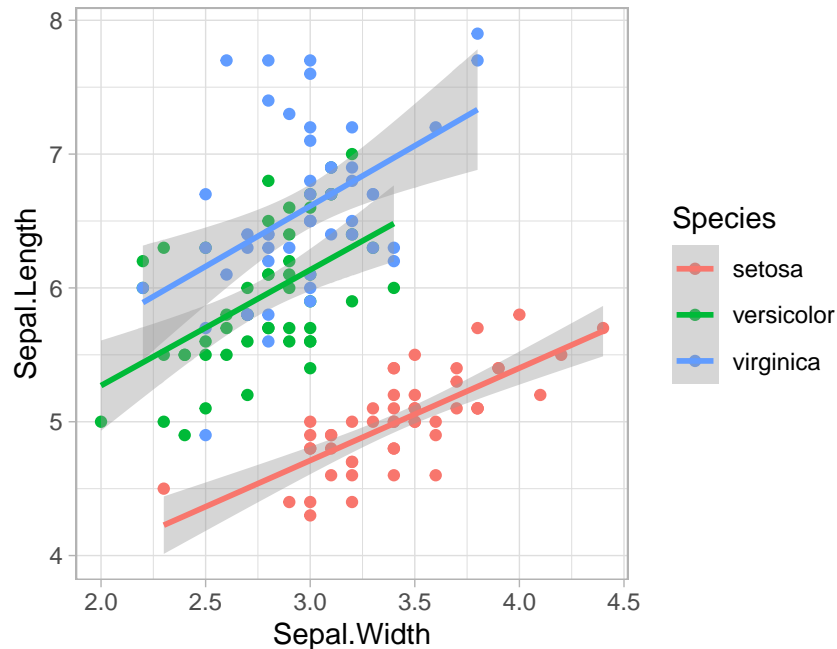
Wir können jetzt mit `p1` weiter arbeiten und beispielsweise eine Beschriftung hinzufügen.

```
p1 + labs(x = "Kelchblattbreite [mm]", y = "Kelchblattlänge [mm]")
```



oder man kann diese auch selber erstellen (das ist aber nicht Teil dieses Kurses).

```
p1 + theme_light()
```

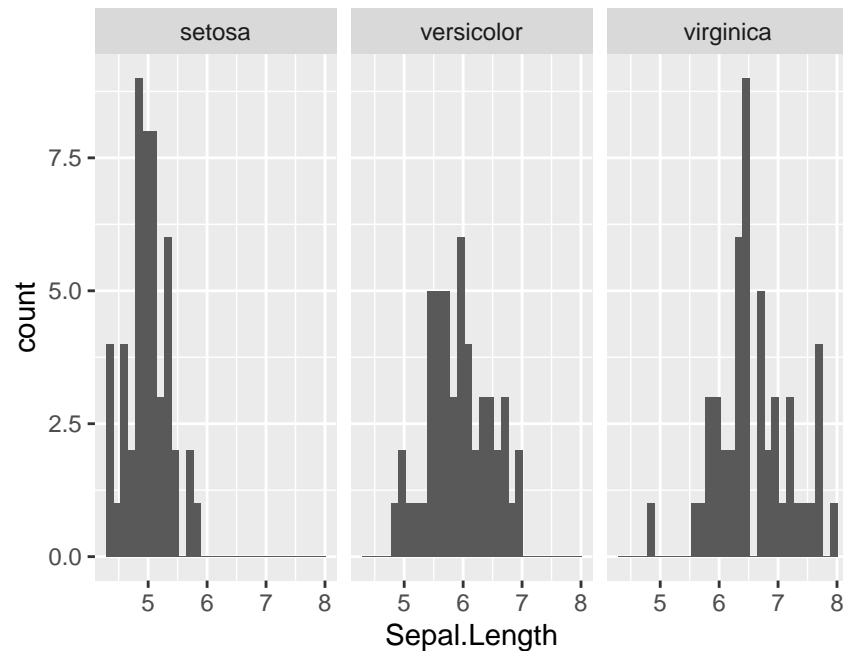


Weitere *themes* sind: `theme_bw()`, `theme_linedraw()` oder `theme_dark()`. Es gibt extra Pakete die viele zusätzliche weitere *themes* an bieten. Dazu gehört z.B. das Paket `ggthemes`.

8.4.1 Multipanel Abbildungen

Mit `ggplot2` kann man einfach Abbildungen erstellen, die mehrere Panels haben. Das bedeutet, dass eine oder mehrere weitere Variablen gibt, die einen Plot in mehrere Subplots teilt. Dafür gibt es zwei Funktionen: `facet_grid()` und `facet_wrap()`.

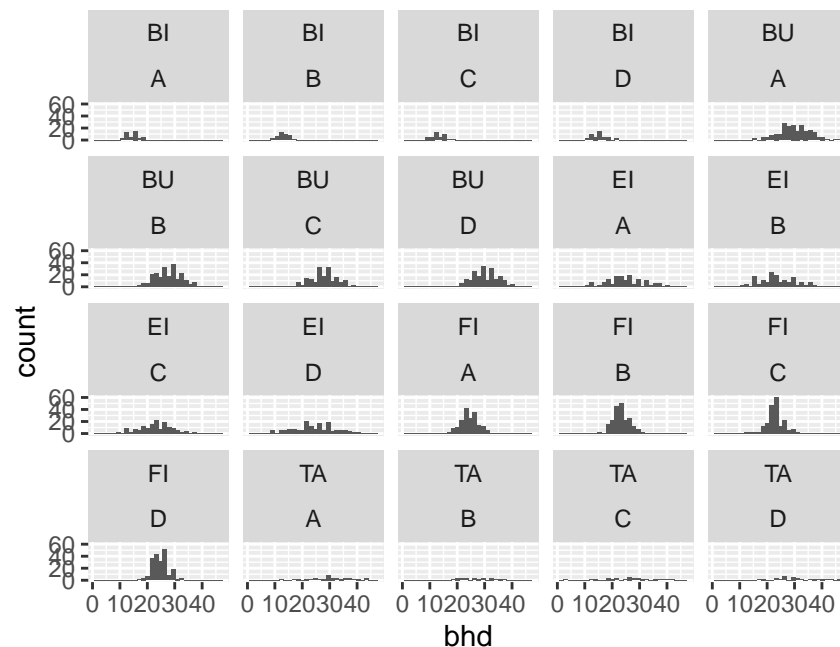
```
ggplot(iris, aes(Sepal.Length)) + geom_histogram() +  
  facet_grid(~ Species)
```

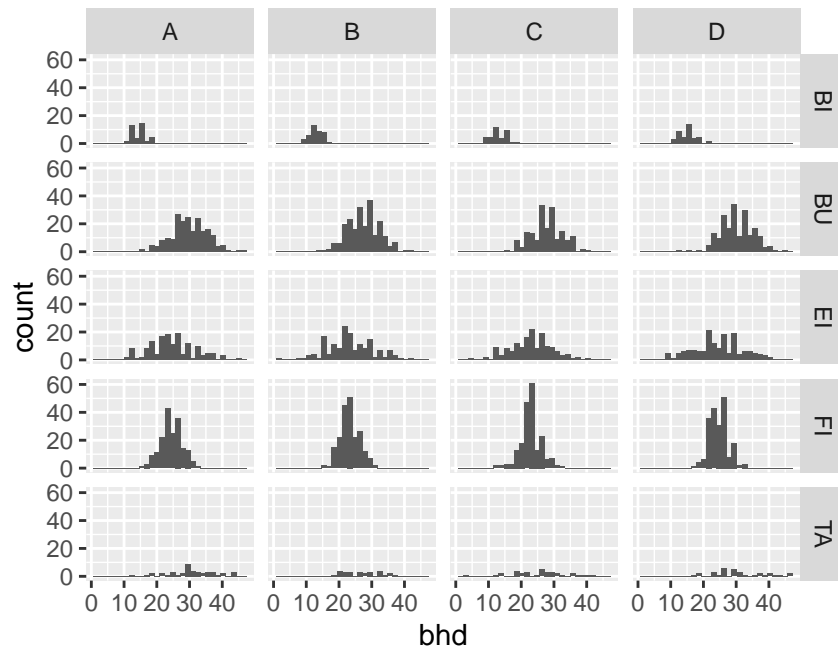



Die Funktion `facet_grid()` erzeugt einen *Grid*, während `facet_wrap()` für jedes Panel eine eigene Überschrift erzeugt.

Aufgabe 22: Multipanel Abbildungen

Lesen Sie erneut den Datensatz `daten/bhd_1.txt` ein und speichern Sie diesen in die Variable (`dat_bhd`). Erstellen Sie für jede Art und Gebiet ein Histogramm. Welche Unterschiede können Sie feststellen, wenn Sie `facet_grid()` oder `facet_wrap()` verwenden?





8.4.2 Plots kombinieren

Es gibt Situationen in denen **unterschiedliche** Plots miteinander kombiniert werden müssen. Im vorherigen Abschnitt wurde dies immer anhand einer gruppierenden Kovariate gemacht. Aber es gibt auch Situationen, in denen das nicht möglich ist. Beispielsweise wenn ein Histogramm und ein Scatterplot vom gleichen Datensatz zusammengefasst werden sollen. Dafür bietet sich das Paket **patchwork** an⁹.

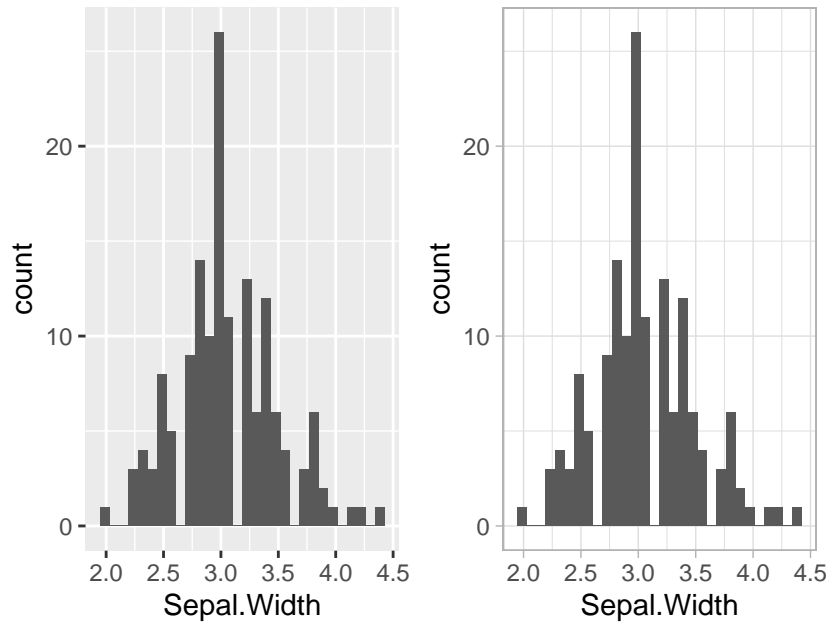
Als erstes können wir zwei (oder natürlich auch mehrere Plots) erstellen. Hier unterscheiden sich die Plots lediglich durch das Aussehen.

```
p1 <- ggplot(iris, aes(Sepal.Width)) + geom_histogram()
p2 <- p1 + theme_light()
```

Dann müssen können wir diese Plots ebenfalls mit + zusammenfügen.

```
library(patchwork)
p1 + p2
```

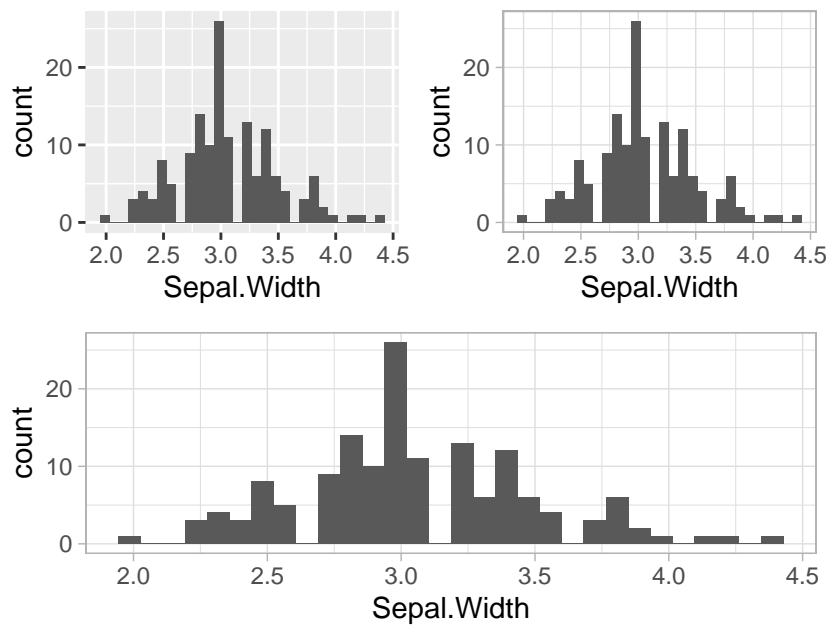
⁹Auch dieses Paket müssen Sie einmalig mit `install.packages("patchwork")` installieren.



1131

1132 Natürlich können auch weitere Plots hinzugefügt werden (auch in unterschiedlichen Dimensionen):

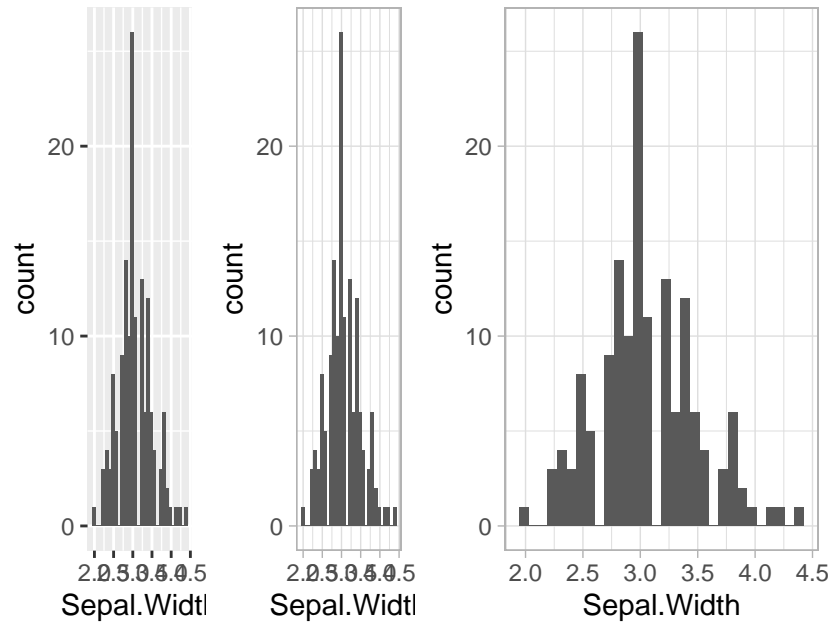
```
(p1 + p2) / p2
```



1133

1134 Des weiteren können mit `|` auch Plots gegenüber gestellt werden.

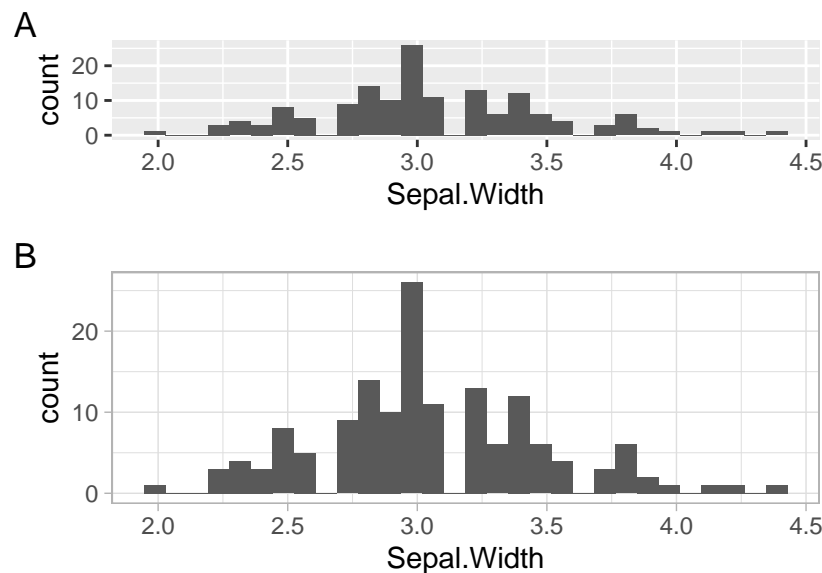
```
(p1 + p2) | p2
```



Weitere Optionen können mit `plot_layout()` und `plot_annotation()` angepasst werden. Mit `plot_layout()` kann die Anordnung der Plots bestimmt werden (z.B. über die Argument `nrow` und `ncol`), sowie deren *relative* Größe (über die Argumente `widths` und `heights`). Mit der Funktion `plot_annotation()` können zusätzliche Beschriftungen hinzugefügt werden, wie beispielsweise eine Titel (Argument `title`) oder ein Buchstabe/Zahl für jedes Element (Argument `tag_levels`).

```
p1 + p2 +
  plot_layout(ncol = 1, heights = c(0.3, 0.7)) +
  plot_annotation(title = "Zwei Histogramme", tag_levels = "A")
```

Zwei Histogramme

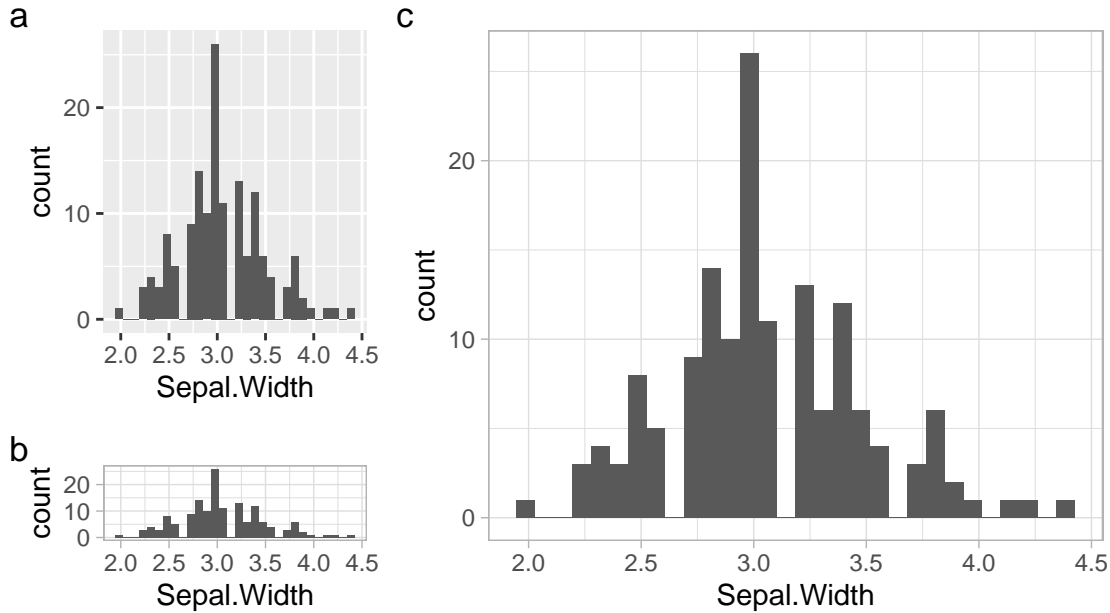


1142

1143 **Aufgabe 23: Mehrere Plots zusammenfügen**

1144

1145 Versuchen Sie die folgende Zusammenstellung der Plots nachzumachen:



1146

1147 **8.4.3 Speichern von plots**

1148 Sie können mit `ggsave()` eine zwischen-gespeicherte Abbildung exportieren, indem Sie den Variablennamen
 1149 übergeben. Wenn Sie keine Variable übergeben, wird automatisch die letzte Abbildung gespeichert. Das
 1150 Dateiformat wird aus dem Dateinamen übernommen.

```
ggsave("letzteAbb.png")
ggsave(p1, "zwischengespeicherteAbb.png")
```

9 Mit Daten arbeiten

9.1 dplyr eine Einführung

`dplyr` ist eine Erweiterung von R (= Paket), die das Ziel hat den Umgang mit Daten einfacher und schneller zu machen.

`dplyr` definiert 5 Verben, um mit Daten zu arbeiten. Diese sind:

- `filter`
- `select`
- `arrange`
- `mutate`
- `summarise`

```
dat <- data.frame(id = 1:5,
                  plot = c(1, 1, 2, 2, 3),
                  bhd = c(50, 29, 13, 23, 25),
                  alter = c(10, 30, 31, 24, 25))
```

Damit die Funktionen aus `dplyr` verwendet werden können, müssen wir als erstes das Paket `dplyr` laden.

```
library(dplyr)
```

Sollte dies zu einer Fehlermeldung führen, dann müssen Sie das Paket `dplyr` erst installieren. Dafür müssen Sie **einmalig** `install.packages("dplyr")` installieren.

`dplyr` stellt unterschiedliche Funktionen zum Arbeiten mit Daten zur Verfügung. Es gibt fünf Grundfunktionen für die am häufigsten vorkommenden Operationen. Mit der Funktion `filter()` können unterschiedliche Beobachtungen gefiltert werden:

```
filter(dat, bhd > 10)
```

```
##   id plot bhd alter
## 1  1    1  50    10
## 2  2    1  29    30
## 3  3    2  13    31
## 4  4    2  23    24
## 5  5    3  25    25
```

Es können auch mehrere Spalten verwendet werden.

```
filter(dat, bhd > 10, bhd < 40)
```

```
##   id plot bhd alter
## 1  2    1  29    30
## 2  3    2  13    31
## 3  4    2  23    24
## 4  5    3  25    25
```

Natürlich kann genau das gleiche Ergebnis mit dem ‘normalen’ R erreicht werden, dies wäre dann:

```
dat[dat$bhd > 10 & dat$bhd < 40, ]
```

```
1180 ##   id plot bhd alter
1181 ## 2  2   1  29   30
1182 ## 3  3   2  13   31
1183 ## 4  4   2  23   24
1184 ## 5  5   3  25   25
```

1185 Eine weitere Funktion aus dem Paket `dplyr` ist `select()`. Damit können Spalten aus einem `data.frame`
 1186 ausgewählt werden. Dabei können auch die Spaltennamen unbenannt werden.

```
select(dat, bhd)
```

```
1187 ##   bhd
1188 ## 1  50
1189 ## 2  29
1190 ## 3  13
1191 ## 4  23
1192 ## 5  25
```

```
select(dat, bhd, id)
```

```
1193 ##   bhd id
1194 ## 1  50  1
1195 ## 2  29  2
1196 ## 3  13  3
1197 ## 4  23  4
1198 ## 5  25  5
```

```
select(dat, BHD = bhd, id)
```

```
1199 ##   BHD id
1200 ## 1  50  1
1201 ## 2  29  2
1202 ## 3  13  3
1203 ## 4  23  4
1204 ## 5  25  5
```

1205 Mit der Funktion `arrange()` können die Beobachtungen in einem `data.frame` sortiert werden.

```
arrange(dat, bhd)
```

```
1206 ##   id plot bhd alter
1207 ## 1  3   2  13   31
1208 ## 2  4   2  23   24
1209 ## 3  5   3  25   25
1210 ## 4  2   1  29   30
1211 ## 5  1   1  50   10
```

Mit der Funktion `desc()` kann die Anordnung in absteigender Reihenfolge sortiert werden.

```
arrange(dat, desc(bhd))
```

```
##   id plot bhd alter
## 1  1    1   50    10
## 2  2    2   29    30
## 3  3    5    3   25
## 4  4    4    2   23
## 5  5    3    2   13
```

Mit der Funktion `mutate()` kann man eine neue Spalte hinzufügen.

```
mutate(dat, bhd_mm = bhd * 10, fl = pi * (bhd/2)^2)
```

```
##   id plot bhd alter bhd_mm      fl
## 1  1    1   50    10    500 1963.4954
## 2  2    2   29    30    290  660.5199
## 3  3    3    2   13    130  132.7323
## 4  4    4    2   23    230  415.4756
## 5  5    5    3   25    250  490.8739
```

```
mutate(dat, mean_bhd = mean(bhd))
```

```
##   id plot bhd alter mean_bhd
## 1  1    1   50    10       28
## 2  2    2   29    30       28
## 3  3    3    2   13       28
## 4  4    4    2   23       28
## 5  5    5    3   25       28
```

Mit der Funktion `summarise()` können Spalten zusammengefasst werden.

```
summarise(
  dat,
  mean_bhd = mean(bhd),
  mean_sd = sd(bhd)
)
```

```
##   mean_bhd mean_sd
## 1       28 13.63818
```

Aufgabe 24: Datenmanipulation mit dplyr

1. Laden Sie den Datensatz `data/bhd_1.txt`
2. Berechnen Sie folgende Werte für alle Einträge und speichern Sie die Ergebnisse in `erg1`

- mittlerer bhd
- maximales alter
- die Standardabweichung des BHDs
- die Anzahl Bäume mit einem BHD > 30

9.2 Arbeiten mit gruppierten Daten

Zusätzlich können `mutate` und `summarise` auch auf gruppierte Daten angewendet werden. Dafür müssen wir erst die Funktion `group_by()` aufrufen und als Argumente die Variablen übergeben, die die Gruppen definieren.

```
dat1 <- group_by(dat, plot)
mutate(dat, bhd_m = mean(bhd)) # bhd über alle Bäume
```

```
##   id plot bhd alter bhd_m
## 1  1   1  50    10    28
## 2  2   1  29    30    28
## 3  3   2  13    31    28
## 4  4   2  23    24    28
## 5  5   3  25    25    28
```

```
mutate(dat1, bhd_m = mean(bhd)) # bhd pro Plot
```

```
## # A tibble: 5 x 5
## # Groups:   plot [3]
##       id plot  bhd alter bhd_m
##   <int> <dbl> <dbl> <dbl> <dbl>
## 1     1     1     50     10  39.5
## 2     2     1     29     30  39.5
## 3     3     2     13     31   18
## 4     4     2     23     24   18
## 5     5     3     25     25   25
```

```
summarise(dat, bhd_m = mean(bhd))
```

```
##   bhd_m
## 1     28
```

```
summarise(dat1, bhd_m = mean(bhd))
```

```
## # A tibble: 3 x 2
##   plot bhd_m
##   <dbl> <dbl>
## 1     1  39.5
## 2     2   18
## 3     3   25
```

Aufgabe 25: dplyr mit gruppierten Daten

1. Laden Sie den Datensatz `data/bhd_1.txt`
2. Berechnen Sie für jede Baumart und Standort die folgenden Werte:
 - mittlerer `bhd`
 - maximales `alter`
 - die Standardabweichung des BHDs
 - die Anzahl Bäume mit einem BHD > 30
3. Ordnen Sie das Ergebnis nach Baumart und BHD.

9.3 pipes oder %>%

Mit *Pipes* (`%>%`) kann man das Ergebnis einer Funktion einfach an eine nachfolgende Funktion weiterreichen.

```
a <- c(5, 3, 2, NA)
```

Wir kennen bis jetzt:

```
mean(na.omit(a))
```

```
## [1] 3.333333
```

Mit *Pipes*, die durch das Symbol `%>%` dargestellt werden¹⁰, können wir das etwas vereinfachen und nacheinander schreiben:

```
na.omit(a) %>% mean
```

```
## [1] 3.333333
```

Oder sogar

```
a %>% na.omit %>% mean
```

```
## [1] 3.333333
```

Aufgabe 26: Pipes %>%

Wiederholen Sie die letzte Aufgabe, aber diesmal ohne Zwischenergebnisse zu speichern:

1. Laden Sie den Datensatz `data/bhd_1.txt`.
2. Berechnen Sie für jede Baumart und Standort die folgenden Werte:
 - mittlerer `bhd`
 - maximales `alter`
 - die Standardabweichung des BHDs

¹⁰In RStudio kann `%>%` mit der Tastenkombination `Strg + Umschalt + m` (`(Strg) + (↑) + (m)`) eingefügt werden.

- die Anzahl Bäume mit einem BHD > 30

3. Ordnen Sie das Ergebnis nach Baumart und BHD.

9.4 Joins

Eine weitere häufige Aufgabe beim Daten Management ist es Daten zusammenzuführen. Nehmen Sie an, dass wir folgende Aufnahmen gemacht haben

```
aufnahmen <- data.frame(
  id = 1:3,
  bhd = c(20, 31, 74)
)
```

und jeder Baum lediglich mit einer `id` versehen wurde. In einer zweiten Tabelle wurden dann weitere Daten zu Bäumen gespeichert (z.B. die Art, das Studiengebiet usw).

```
metadaten <- data.frame(
  id = 2:4,
  art = c("Ta", "Bu", "Bu"),
  gebiet = c("A", "B", "B")
)
```

Ziel ist es jetzt die Bäume aus `aufnahmen` mit den Informationen aus den `metadaten` zu verbinden. Dazu dient `id` als Bindeglied (oft auch Schlüssel genannt).

Dazu gibt es vier Möglichkeiten.

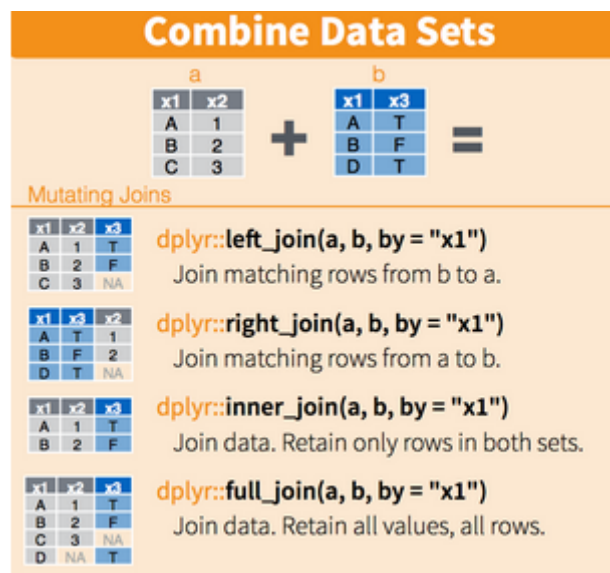


Abbildung 8: Joins (Quelle Rstudio)

Zur Durchführung gibt es in base R die Funktion `merge()`. Wir werden aber gleich die Funktionen aus dem Paket `dplyr` verwenden.

```
library(dplyr)
left_join(aufnahmen, metadaten, by = "id")
```

```
1311 ##   id bhd  art gebiet
1312 ## 1  1  20 <NA>   <NA>
1313 ## 2  2  31   Ta     A
1314 ## 3  3  74   Bu     B
```

```
right_join(aufnahmen, metadaten, by = "id")
```

```
1315 ##   id bhd art gebiet
1316 ## 1  2  31 Ta     A
1317 ## 2  3  74 Bu     B
1318 ## 3  4  NA Bu     B
```

```
inner_join(aufnahmen, metadaten, by = "id")
```

```
1319 ##   id bhd art gebiet
1320 ## 1  2  31 Ta     A
1321 ## 2  3  74 Bu     B
```

```
full_join(aufnahmen, metadaten, by = "id")
```

```
1322 ##   id bhd  art gebiet
1323 ## 1  1  20 <NA>   <NA>
1324 ## 2  2  31   Ta     A
1325 ## 3  3  74   Bu     B
1326 ## 4  4  NA   Bu     B
```

1327 by kann auch unterschiedliche Spalten in den beiden `data.frames` ansprechen:

```
metadaten <- data.frame(
  baum_id = 2:4,
  art = c("Ta", "Bu", "Bu"),
  gebiet = c("A", "B", "B")
)
```

```
left_join(aufnahmen, metadaten, by = c("id" = "baum_id"))
```

```
1328 ##   id bhd  art gebiet
1329 ## 1  1  20 <NA>   <NA>
1330 ## 2  2  31   Ta     A
1331 ## 3  3  74   Bu     B
```

1332

1333 *Aufgabe 27: Verbinden von Daten*

1334

- 1335 • Lesen Sie die Datensätze `daten/bhd_2.txt` und `daten/bhd_2_meta.txt` ein.

- Stellen Sie sicher, dass es für den `bhd` keine fehlenden Werte gibt (entfernen sie entsprechende Zeilen)
- Fügen Sie zu den Metadaten (gespeichert in `bhd_2_meta`) die Anzahl Bäume und den mittleren `bhd` hinzu pro Gebiet.

9.5 'long' and 'wide' Datenformate

Wickham (2014) propagiert das Prinzip von *tidy* Data. Nach diesem Prinzip sollten Daten wie folgt organisiert sein:

- Jede Zeile ist ein Merkmalsträger/Subjekt/Objekt (z.B. eine Person, ein Baum).
- Jede Spalte ist eine Variable (=Merkmal) die den Merkmalsträger beschreibt.
- Jede Zelle ist genau ein Wert (=Merkmalprägung), nämlich der Wert, der Variable für den Merkmalsträger.

Zum Beispiel enthalten Spaltennamen oft Informationen, die eigentlich in einer Variable gespeichert werden sollten. Folgendes Beispiel gibt die BHD Messung von 3 Bäumen in 3 Jahren wieder.

```
dat <- tibble(
  id = 1:3,
  bhd2015 = c(30, 31, 32),
  bhd2026 = c(31, 31, 33),
  bhd2017 = c(34, 32, 33)
)
```

Diese Daten sind jetzt im **wide**-Format gespeichert und nicht optimal, weil Information über die Daten (nämlich das Jahr der Aufnahme in den Spaltennamen gespeichert sind). Besser wäre eine Struktur mit nur drei Spalten: `id`, `jahr` und `bhd`. Um die Daten in so eine Struktur zu bringen, gibt es die Funktion `pivot_longer()` aus dem Paket `tidyr`.

```
library(tidyr)
dat1 <- pivot_longer(dat, cols = bhd2015:bhd2017)
dat1
```

```
## # A tibble: 9 x 3
##       id name    value
##   <int> <chr>   <dbl>
## 1     1  bhd2015    30
## 2     1  bhd2026    31
## 3     1  bhd2017    34
## 4     2  bhd2015    31
## 5     2  bhd2026    31
## 6     2  bhd2017    32
## 7     3  bhd2015    32
## 8     3  bhd2026    33
## 9     3  bhd2017    33
```

Wenn wir die Spalten für die Variable und den Wert sinnvoll benennen möchten, können wir das über die Argumente `names_to` und `value_to` machen.

```
dat1 <- pivot_longer(dat, cols = bhd2015:bhd2017, names_to = "jahr", values_to = "bhd")
dat1
```

```
## # A tibble: 9 x 3
##       id jahr      bhd
##   <int> <chr>   <dbl>
## 1     1    1 bhd2015    30
## 2     2    1 bhd2026    31
## 3     3    1 bhd2017    34
## 4     4    2 bhd2015    31
## 5     5    2 bhd2026    31
## 6     6    2 bhd2017    32
## 7     7    3 bhd2015    32
## 8     8    3 bhd2026    33
## 9     9    3 bhd2017    33
```

Analog zu der Funktion `pivot_longer()` gibt es auch die Funktion `pivot_wider()`, um vom Daten vom long-Format ins wide-Format zu transformieren.

```
pivot_wider(dat1, names_from = jahr, values_from = bhd)
```

```
## # A tibble: 3 x 4
##       id bhd2015 bhd2026 bhd2017
##   <int>   <dbl>   <dbl>   <dbl>
## 1     1     30     31     34
## 2     2     31     31     32
## 3     3     32     33     33
```

1386

Aufgabe 28: Zeitliche Verlauf von BHDs

1387
1388

In der Datei `bhd_3.csv` befinden sich gemessene BHDs (in cm) von unterschiedlichen Bäumen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Erstellen Sie ein Liniendiagramm, das den zeitlichen (x-Achse) Verlauf der BHDs (y-Achse) für die unterschiedlichen Bäume darstellt.

9.6 Auswählen von Variablen

1392

Sobald die Datensätze etwas umfangreicher werden (d.h. es gibt mehrere Spalten in einem `data.frame`), können innerhalb vieler `dplyr`-Funktionen spezielle Funktionen verwendet werden, um Variablen auszuwählen.

1394

Wenn die genaue Position der Spalten bekannt ist, kann man mit dem `:`-Operator und der Position Spalten auswählen:

1396

```
iris %>% select(1:3) %>% head(3)
```

```
##       Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length
```

1397

```

1398 ## 1      5.1      3.5      1.4
1399 ## 2      4.9      3.0      1.4
1400 ## 3      4.7      3.2      1.3

```

1401 Diese Vorgehensweise kann gefährlich sein, da sich manchmal Spalten verschieben und sich somit die
 1402 Positionen ändern. Eist besser Spalten immer explizit anzusprechen.

```
iris %>% select(Sepal.Length, Sepal.Width, Petal.Length) %>% head(3)
```

```

1403 ##      Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length
1404 ## 1      5.1      3.5      1.4
1405 ## 2      4.9      3.0      1.4
1406 ## 3      4.7      3.2      1.3

```

1407 `select()` erlaubt es, auch hier den `:-`Operator zu verwenden:

```
iris %>% select(Sepal.Length:Petal.Length) %>% head(3)
```

```

1408 ##      Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length
1409 ## 1      5.1      3.5      1.4
1410 ## 2      4.9      3.0      1.4
1411 ## 3      4.7      3.2      1.3

```

1412 Es gibt auch einige spezielle Funktionen, um Spalten innerhalb eines `select()`-Aufrufs auszuführen:

- 1413 • `starts_with()`: Hier kann man ein Muster angeben, mit dem ein Text anfangen muss.
- 1414 • `ends_with()`: Diese Funktion ist analog zu `starts_with()`, jetzt wird aber am Ende des Spaltennamens nach dem Muster gesucht.
- 1415 • `contains()`: Hier kann ein Muster übergeben werden, das irgendwo im Spaltennamen sein muss.
- 1416 • `everything()`: Mit dieser Funktion werden alle Spalten ausgewählt.
- 1417 • `last_col()`: Mit dieser Funktion wird nur die letzte Spalte ausgewählt (dass ist die Spalte, die ganz rechts ist).

1420 Sämtliche Auswahlen können mit `-` umgekehrt werden.

```
iris %>% select(starts_with("Sepal")) %>% head(3)
```

```

1421 ##      Sepal.Length Sepal.Width
1422 ## 1      5.1      3.5
1423 ## 2      4.9      3.0
1424 ## 3      4.7      3.2

```

```
iris %>% select(-starts_with("Sepal")) %>% head(3)
```

```

1425 ##      Petal.Length Petal.Width Species
1426 ## 1      1.4      0.2  setosa
1427 ## 2      1.4      0.2  setosa
1428 ## 3      1.3      0.2  setosa

```

1429 `select()` bietet auch noch die Möglichkeit, Spalten namen zu ändern.

```
iris %>% select(sep_width = Sepal.Width) %>% head(3)
```

```
1430 ##    sep_width
1431 ## 1         3.5
1432 ## 2         3.0
1433 ## 3         3.2
```

```
1434
```

1435 *Aufgabe 29: Auswählen von Spalten*

```
1436
```

1437 In der Datei `messungen_1.csv` sind Messungen von zwei Sensoren enthalten für die ersten vier Monate eines
 1438 Jahres. Führen Sie folgende Abfragen durch:

- 1439 1. Wählen Sie alle Messungen für Januar aus.
- 1440 2. Wählen Sie alle Messungen für Januar und März aus.

1441 9.7 Einzelne Beobachtungen abfragen (`slice()`)

1442 Mit dem Befehl `slice()` kann man einzelne Beobachtungen (= Zeilen) aus einem `data.frame` abfragen.

```
slice(iris, c(1, 9, 18))
```

```
1443 ##    Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1444 ## 1         5.1         3.5         1.4         0.2  setosa
1445 ## 2         4.4         2.9         1.4         0.2  setosa
1446 ## 3         5.1         3.5         1.4         0.3  setosa
```

1447 Davon gibt es drei nützliche Varianten: 1) `slice_head()` und `slice_tail()`; 2) `slice_max()` und
 1448 `slice_min()`; 3) `slice_random()`.

1449 `slice_head()` und `slice_tail()` sind analog zu `head()` und `tail()`, aber mit dem entscheidenden Unter-
 1450 schied, dass Gruppierungen berücksichtigt werden. Wenn keine Gruppierung in den Daten vorhanden ist, gibt
 1451 es keinen Unterschied.

```
iris %>% head(n = 2)
```

```
1452 ##    Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1453 ## 1         5.1         3.5         1.4         0.2  setosa
1454 ## 2         4.9         3.0         1.4         0.2  setosa
```

```
iris %>% slice_head(n = 2)
```

```
1455 ##    Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1456 ## 1         5.1         3.5         1.4         0.2  setosa
1457 ## 2         4.9         3.0         1.4         0.2  setosa
```

1458 Sobald jedoch eine gruppierende Variable eingeführt wird, gibt `slice_head()` die ersten `n` Beobachtungen
 1459 für jede Gruppe zurück und `head()` für den gesamten Datensatz.


```
# base head
iris %>% group_by(Species) %>%
  head(n = 2)
```

```
1460 ## # A tibble: 2 x 5
1461 ## # Groups:   Species [1]
1462 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1463 ##         <dbl>         <dbl>         <dbl>         <dbl> <fct>
1464 ## 1         5.1         3.5         1.4         0.2 setosa
1465 ## 2         4.9         3         1.4         0.2 setosa
```

```
# dplyr slice_head
iris %>% group_by(Species) %>%
  slice_head(n = 2)
```

```
1466 ## # A tibble: 6 x 5
1467 ## # Groups:   Species [3]
1468 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1469 ##         <dbl>         <dbl>         <dbl>         <dbl> <fct>
1470 ## 1         5.1         3.5         1.4         0.2 setosa
1471 ## 2         4.9         3         1.4         0.2 setosa
1472 ## 3         7         3.2         4.7         1.4 versicolor
1473 ## 4         6.4         3.2         4.5         1.5 versicolor
1474 ## 5         6.3         3.3         6         2.5 virginica
1475 ## 6         5.8         2.7         5.1         1.9 virginica
```

1476 `slice_tail()` funktioniert analog zu `slice_head()` mit dem einzigen Unterschied, dass nicht die ersten `n`
 1477 Zeilen zurück gegeben werden sondern die letzten `n` Zeilen.

1478 `slice_max()` und `slice_min()` geben die Beobachtung mit dem maximalen bzw. minimalen Wert einer
 1479 Variable zurück. Auch hier werden Gruppen berücksichtigt.

```
iris %>% slice_max(Sepal.Length)
```

```
1480 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width   Species
1481 ## 1         7.9         3.8         6.4         2 virginica
```

1482 Und mit Gruppen:

```
iris %>% group_by(Species) %>%
  slice_max(Sepal.Length)
```

```
1483 ## # A tibble: 3 x 5
1484 ## # Groups:   Species [3]
1485 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width Species
1486 ##         <dbl>         <dbl>         <dbl>         <dbl> <fct>
1487 ## 1         5.8         4         1.2         0.2 setosa
1488 ## 2         7         3.2         4.7         1.4 versicolor
```

```
1489 ## 3          7.9          3.8          6.4          2  virginica
```

1490 `slice_min()` funktioniert genau gleich, nur dass die Beobachtung (=Zeile) mit dem kleinsten Wert einer
 1491 Variable zurück gegeben wird.

1492 Die Funktion `slice_sample()` erlaubt es zufällige Beobachtungen zu ziehen. Dabei kann über das Argument `n`
 1493 die Anzahl an Beobachtungen angegeben werden oder über das Argument `prop` der Anteil an Beobachtungen.

```
slice_sample(iris, n = 5)
```

```
1494 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width   Species
1495 ## 1          6.5          2.8          4.6          1.5 versicolor
1496 ## 2          6.3          3.3          4.7          1.6 versicolor
1497 ## 3          7.2          3.2          6.0          1.8  virginica
1498 ## 4          4.9          3.6          1.4          0.1    setosa
1499 ## 5          6.0          2.7          5.1          1.6 versicolor
```

1500 Das Ergebnis ist bei jedem von Ihnen anders, da es sich um eine zufällige Ziehung handelt. Wenn Sie diese
 1501 Ergebnisse wiederholen möchte, können Sie über `set.seed()` die zufällige Ziehung reproduzierbar machen.

```
set.seed(123)
slice_sample(iris, n = 5)
```

```
1502 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width   Species
1503 ## 1          4.3          3.0          1.1          0.1    setosa
1504 ## 2          5.0          3.3          1.4          0.2    setosa
1505 ## 3          7.7          3.8          6.7          2.2 virginica
1506 ## 4          4.4          3.2          1.3          0.2    setosa
1507 ## 5          5.9          3.0          5.1          1.8 virginica
```

1508 Wenn beispielsweise 5% der Beobachtungen gezogen werden sollen, kann dies so gemacht werden:

```
slice_sample(iris, prop = 0.05)
```

```
1509 ##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length Petal.Width   Species
1510 ## 1          7.7          3.8          6.7          2.2  virginica
1511 ## 2          5.5          2.5          4.0          1.3 versicolor
1512 ## 3          5.5          2.6          4.4          1.2 versicolor
1513 ## 4          6.5          3.0          5.2          2.0  virginica
1514 ## 5          6.1          3.0          4.6          1.4 versicolor
1515 ## 6          6.3          3.4          5.6          2.4  virginica
1516 ## 7          5.1          2.5          3.0          1.1 versicolor
```

1517 `slice_sample()` berücksichtigt ebenfalls Gruppen. Mit den Argumenten `replace` und `weight_by` dann die
 1518 Zufallsziehung genauer spezifiziert werden. `replace` sagt, ob eine gezogenen Beobachtung wieder zurück gelegt
 1519 wird oder nicht. Mit dem Argument `weight_by` können optional gewichte für jede Beobachtung vergeben
 1520 werden.

Aufgabe 30: Daten beschreiben

Verwenden Sie den Datensatz `bhd_1.txt` und finden Sie für jedes Gebiet und Art die Beobachtung mit kleinsten BHD.

9.8 Spalten trennen

Ein gut geplanter Datensatz besteht aus Beobachtungen (Zeilen), Variablen (Spalten) und in jeder Zelle ist immer ein *genau* ein Wert gespeichert. Leider gibt es oft Datensätze, bei denen mehr als ein Wert pro Zelle gespeichert wurde. Die Funktion `seperate()` kann helfen solche Daten zu trennen.

Wir verwenden einen erfunden Datensatz zu Beobachtungen von Tieren und einer geschätzten Distanz zu diesen Tieren.

```
dat <- tibble(
  id = 1:4,
  beobachtung = c("10m, Reh", "100m, Reh", "20m, Fuchs", "40,Reh"),
)
```

In der Spalte `beobachtung` sind zwei Informationen gespeichert: Die Distanz zur Beobachtung und die Art. Das ist ungünstig, weil wir so weder nach Tierart noch nach distanz filtern können. Mit der Funktion `seperate()`, können wir Beobachtungen einer Spalte in mehrere Spalten trennen. Dafür muss der Spaltennamen (Argument `col`), die neuen Spaltennamen (Argument `into`) und das Trennzeichen (Argument `sep`) angegeben werden.

```
seperate(dat, col = beobachtung, into = c("Distanz", "Art"), sep = ",")
```

```
## # A tibble: 4 x 3
##       id Distanz Art
##   <int> <chr>   <chr>
## 1     1    10m    " Reh"
## 2     2   100m    " Reh"
## 3     3    20m    " Fuchs"
## 4     4     40    "Reh"
```

Nach dem Aufruf von `seperate()` gibt es zwei neue Spalten (`Distanz` und `Art`), die die alte Spalte `beobachtung` ersetzen.

Aufgabe 31: Aufräumen

Verwenden Sie den folgenden Datensatz und bringen Sie ihn in eine Form, die sicherstellt dass

- jede Zelle genau einen Wert enthält.
- jede Zeile eine Beobachtung ist.
- die Spaltennamen aus einem ausschlagkräftigen Wort bestehen.

```
dat <- data.frame(  
  Standort = c("a1", "a2", "b1", "b2"),  
  j2019 = c("3 x Fuchs", "4 x Reh", "1 x Fuchs", "2 x Reh"),  
  j2020 = c("2 x Fuchs", "1 x Reh", "", "2 x Fuchs")  
)
```

10 Arbeiten mit Text

Bis jetzt haben wir fast ausschließlich mit Zahlen oder Abbildungen gearbeitet. R bietet aber auch viele Werkzeuge, um mit Text zu arbeiten. Wir wollen hier ein paar Funktionen dafür vorstellen. Als erstes sollte nochmals klargestellt werden, was eigentlich ein Text ist. In R ist alles, das innerhalb von doppelten (") oder einfachen (') Anführungszeichen geschrieben ist, Text.

Anbei einige Beispiele:

```
a <- "Das ist ein kurzer Satz."
b <- "Auch das ist 'moeglich'."
z <- "30"
```

Wichtig ist hier zu sehen, dass `z` nicht als Zahl sondern, als Text interpretiert wird.

```
z + 1
```

```
## Error in z + 1: nicht-numerisches Argument für binären Operator
```

Wenn man sicher ist, dass es sich bei einem Textobjekt um eine Zahl handelt, kann man dies mit der Funktion `as.numeric()` in eine Zahl umwandeln.

```
as.numeric(z) + 1
```

```
## [1] 31
```

Aber mit `a` führt dies wieder zu einem NA-Wert, da `a` nicht in eine Zahl umgewandelt werden kann.

```
as.numeric(a) + 1
```

```
## Warning: NAs durch Umwandlung erzeugt
```

```
## [1] NA
```

10.1 Arbeiten mit Text

Wir wollen erst einmal drei Funktionen besprechen, die es erlauben mit Text zu arbeiten. Die Funktion `nchar()`¹¹ gibt an wie viele Zeichen ein Text hat. Also z.B.

```
nchar("Hallo")
```

```
## [1] 5
```

```
nchar("30")
```

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

```
nchar("Hallo und Guten Tag!")
```

```
## [1] 20
```

Die Funktion `paste()` erlaubt es verschiedene Variablen mit Text zu verbinden. Wenn wir z. B. die Variablen `vorname <- "Eva"` und `name <- "Meier"` haben und wir wollen eine neue Variable `full_name <- "Eva"`

¹¹`char` ist kurz für *character*.

Meier" erzeugen, dann kann das mit der Funktion `paste()` gemacht werden.

```
vorname <- "Eva"
name <- "Meier"
full_name <- paste(vorname, name)
full_name
```

```
## [1] "Eva Meier"
```

Die Funktion `paste()` hat das Argument `sep`, das auf ein Leerzeichen () gesetzt ist, aber auch anders sein kann und das Trennzeichen definiert.

```
full_name <- paste(vorname, name, sep = ", ")
full_name
```

```
## [1] "Eva, Meier"
```

Die Funktion `substr()` erlaubt es am Anfang oder Ende eines Wortes etwas abzuschneiden. Dabei muss immer die Anfangs- (`start`) und Endposition (`stop`) angegeben werden.

```
substr("Hallo", start = 1, stop = 3)
```

```
## [1] "Hal"
```

```
substr("Hallo", start = 2, stop = 5)
```

```
## [1] "allo"
```

Aufgabe 32: Arbeiten mit Text 1

Verwenden Sie den folgenden Vektor:

```
txt <- c("Versicherung", "Vogel", "Station", "Gutschein", "Statistik", "Stift",
        "Methoden", "Fluss", "Rudel", "Baum", "Haus", "Wahrscheinlich", "Foto",
        "Seife", "Garten", "Auto", "Handy", "Teller", "Kalender")
```

1. Aus wie vielen Buchstaben besteht jedes Wort?
2. Finden Sie das längste Wort.
3. Wie viel Prozent der Wörter fangen mit einem S an?
4. Fügen Sie jedem Wort seine Position im Vektor hinzu. Beispielsweise soll aus `Vogel` "2. Vogel" werden usw.

10.2 Finden von Textmustern

Mit der Funktion `grep()` können Muster in einem Text gefunden werden. Wenn wir beispielsweise folgenden Vektor mit Textelementen haben.

```
txt <- c("Buesgenweg", "Friedlaender Weg", "Berliner Strasse")
```

Und wir wollen alle Straßennamen die ein `weg` haben abfragen, dann können wir folgenden Befehl ausführen:

```
grep("Weg", txt)
```

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

Im zweiten Element von `txt` kommen die Zeichen `Weg` vor. Beachte, in der Standardeinstellung wird zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden. Dies kann mit dem Argument `ignore.case = TRUE` angepasst werden.

```
grep("Weg", txt, ignore.case = TRUE)
```

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

Mit der Funktion `sub` können Zeichen innerhalb einer Zeichenkette ersetzt werden.

So ersetzt der folgende Ausdruck `ae` mit `ä`.

```
sub("ae", "ä", "Friedlaender Weg")
```

```
## [1] "Friedländer Weg"
```

Wenn allerdings das zu ersetzende Zeichen mehr als einmal vorkommt und beide Instanzen ersetzt werden sollen braucht man die Funktion `gsub`.

```
txt <- "Friedlaender Weg und Reinhaeuser Landstrasse sind zwei Strassen in Goettingen."
sub("ae", "ä", txt)
```

```
## [1] "Friedländer Weg und Reinhaeuser Landstrasse sind zwei Strassen in Goettingen."
```

Mit `sub()` wird nur das erste `ae` ersetzt, während `gsub()` *alle* `ae` mit einem `ä` ersetzt.

```
gsub("ae", "ä", txt)
```

```
## [1] "Friedländer Weg und Reinhäuser Landstrasse sind zwei Strassen in Goettingen."
```

Oft ist der genaue Ausdruck den man finden möchte jedoch Variable. Beispielsweise möchte man alle Wörter mit einem Umlaut oder Zahlen finden möchte, kann man das oft abkürzen. Dafür gibt es reguläre Ausdrücke. Wir werden hier nur ein paar beispielhafte Anwendungen besprechen.

Sowohl in den Funktionen `grep()` als auch `(g)sub()` kann mit anstatt dem Muster (immer das erste Argument) aus ein regulärer Ausdruck angegeben werden. Mit `[1-9]` sind alle Zahlen von 1 bis 9 gemeint.

Das Ziel ist es jetzt alle Straßen zu finden, die auch einen Straßenummer haben:

```
txt <- c("Büsgenweg 1", "Berliner Strasse", "Kurze Strasse 13")
```

```
grep("[0-9]", txt)
```

```
## [1] 1 3
```

Damit lässt sich auch das Problem mit groß- und kleingeschriebenen Wörtern lösen.

```
txt <- c("Buesgenweg", "Friedlaender Weg", "Berliner Strasse")
grep("[wW]eg", txt)
```

```
1617 ## [1] 1 2
```

```
1618
```

1619 *Aufgabe 33: Arbeiten mit Text 2*

```
1620
```

1621 Verwenden Sie den folgenden Vektor:

```
txt <- c("Versicherung", "Methoden", "Fluss", "Rudel",  
        "Baum", "Haus", "Foto", "Auffahrt", "Auto", "Handy", "Teller",  
        "Kalender", "Aufbau")
```

1622 1. In wie vielen Wörtern kommt der Doppellaut au vor?

1623 2. Ersetzen Sie in allen Wörtern alle au mit _ _.

```
grep("au", txt)
```

```
1624 ## [1] 5 6 13
```

```
gsub("au", "_ _", txt)
```

```
1625 ## [1] "Versicherung" "Methoden" "Fluss" "Rudel" "B_ _m"
```

```
1626 ## [6] "H_ _s" "Foto" "Auffahrt" "Auto" "Handy"
```

```
1627 ## [11] "Teller" "Kalender" "Aufb_ _"
```


11 Arbeiten mit Zeit

Für den Computer bzw. R ist ein Datum erst einmal nichts anderes als ein Text. Für uns ist es sofort klar, dass der "13.2.2021" der 13. Februar 2021 ist, für den Computer nicht. Wir müssen R also irgendwie sagen, dass die 13 der Tag ist, die 2 der Monat und 2021 das Jahr. Dass der Computer die einzelnen Komponenten erkennt, nennt man *parsen*¹². Das Arbeiten mit Datum und Zeit kann anfangs sehr mühsam sein, aber sobald man einige Grundfertigkeiten erworben hat, kann man viele Aufgaben deutlich schneller und effizienter erledigen. Der erste Schritt ist immer ein Datum zu *parsen*. Wir verwenden dafür Funktionen aus dem Paket **lubridate**. Als erstes müssen wir wieder Paket **lubridate** laden mit:

```
library(lubridate)
```

lubridate bietet eine Vielzahl von Funktionen zum *parsen* von Datum und Zeit, die sich aus:

- **y** für Jahr,
- **m** für Monat,
- **d** für Tag,
- **h** für Stunde,
- **m** für Minute und
- **s** für Sekunde

zusammen setzten. Alle Funktionen nehmen als erstes Argument ein Textstring. Wenn wir z.B. den String 2020-01-20 parsen wollen können wir das mit der Funktion **ymd** machen.

```
ymd("2020-01-20")
```

```
## [1] "2020-01-20"
```

Dabei erkennt **lubridate** in der Regel die Trennzeichen:

```
ymd("2020.01.20")
```

```
## [1] "2020-01-20"
```

```
ymd("2020/01/20")
```

```
## [1] "2020-01-20"
```

```
ymd("2020 01 20")
```

```
## [1] "2020-01-20"
```

Wenn die die Anordnung der einzelnen Komponenten anders ist, gibt es einfach eine andere Funktion.

```
dmy("20.1.2020")
```

```
## [1] "2020-01-20"
```

Jetzt stellt sich die Frage, was der Vorteil ist, wenn R ein Datum parst.

¹²to *parse* heißt zergliedern bzw. grammatikalisch bestimmen.

```
d <- dmy("20.1.2020")
```

Wir können jetzt mit `d` arbeiten und einzelne Komponenten extrahieren.

```
day(d)
```

```
## [1] 20
```

```
month(d)
```

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

```
year(d)
```

```
## [1] 2020
```

Oder auch Zeiteinheiten hinzufügen oder abziehen.

```
d + days(10)
```

```
## [1] "2020-01-30"
```

```
d - years(20)
```

```
## [1] "2000-01-20"
```

```
d + hours(25)
```

```
## [1] "2020-01-21 01:00:00 UTC"
```

Aufgabe 34: Arbeiten mit Datum und Zeit

- Parsen Sie folgende Zeitangaben 23.1.2020, 13.2.1992 20:55:23, Mar/3/97 und 10.7.2020 19:15 und speichern Sie diese in einen Vektor `d`.
- Extrahieren Sie nun aus jedem Element aus `d` das Jahr und die Stunde.
- Fügen zu jedem Element in `d` 10 Tage hinzu.

11.1 Arbeiten mit Zeitintervallen

Mit zwei Zeitpunkten lassen sich Zeitintervalle (**Periods**) erstellen, dafür können wir die Funktion `interval()` aus dem Paket `lubridate` verwenden¹³.

```
anfang <- ymd("2020-03-18")
```

```
ende <- anfang + years(1)
```

```
int <- interval(anfang, ende)
```

Wir können jetzt mit `int` arbeiten und beispielsweise das Intervall verschieben,

¹³Alternativ zur Funktion `interval()` kann auch der `%--%`-Operator verwendet werden. Man könnte `int` auch so erstellen `int <- anfang %--% ende`.

```
int_shift(int, years(3))
```

```
## [1] 2023-03-18 UTC--2024-03-18 UTC
```

die Länge des Intervalls berechnen

```
int_length(int) # in Sekunden
```

```
## [1] 31536000
```

oder testen ob ein Datum innerhalb des Intervalls liegt.

```
ymd("2020-07-1") %within% int
```

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

```
ymd("2021-07-1") %within% int
```

```
## [1] FALSE
```

%within% funktioniert genauso mit Vektoren oder mit mehreren Intervallen. Wir könnten also zwei Intervalle definieren (z.B. Ostern und Pfingsten).

```
ostern <- ymd("2021-04-02") %--% ymd("2021-04-05")
pfingsten <- ymd("2021-05-22") %--% ymd("2021-05-24")
```

Und Überprüfen welche Termine in eines der zwei Intervalle fallen.

```
termine <- ymd("2021-03-29") + weeks(0:10)

# Ostern
termine %within% ostern
```

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

```
# Pfingsten
termine %within% pfingsten
```

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

11.2 Formatieren von Zeit

Für die Ausgabe in Berichten oder Grafiken soll das Datum oft in einer speziellen Form dargestellt werden. Die Funktion `format()` bietet Möglichkeiten ein Datumsobjekt zurück in Text umzuwandeln.

Ein Beispiel wäre `ymd("2021-2-10")` als 10.2.21 auszugeben.

```
d <- ymd("2021-2-21")
format(d, "%d.%m.%y")
```

```
## [1] "21.02.21"
```

Dabei handelt sich bei `%d.%m.%y` um Abkürzungen für die unterschiedlichen Komponenten eines Datumobjekts. Siehe dazu die Hilfeseite von `strptime` (`help(strptime)`).

1690

Aufgabe 35: Arbeiten mit Intervallen

1693 Wie viele Einträge aus dem Vektor `v1` befinden sich in einem Intervall, das zwischen dem 1.3.2021 und dem
1694 5.3.2021 definiert ist.

```
v1 <- c(
  "2021-03-05", "2021-03-03", "2021-03-09", "2021-03-09", "2021-03-09",
  "2021-03-03", "2021-03-08", "2021-03-10", "2021-03-07", "2021-03-10"
)
```

12 Aufgaben Wiederholen (for-Schleifen)

Um einfache Programme zu schreiben, müssen Sie den Ablauf der Programmcodes kontrollieren können. Kontrollieren bedeutet in diesem Zusammenhang, dass Codeabschnitte nur unter definierten Bedingungen ablaufen. Sie programmieren also zwei Sachen. 1) den Code selbst und 2) die Bedingungen die erfüllt sein müssen, damit der Code ausgeführt wird. Diese Kontrollbedingungen ermöglichen es Ihnen generisch zu programmieren. Sie schreiben Ihren Code also nicht speziell maßgeschneidert für ein Problem, sondern so generell, dass er für mehrere Auswertungen funktioniert. Um dies zu gewährleisten müssen Sie bestimmte Situationen vorhersehen und abfangen. Hierbei helfen Ihnen Kontrollstrukturen (**Control Flow**). Grundsätzlich gibt es **Control Flow** Funktionen zur Wiederholung von Codeblöcken (Schleifen) und logische Bedingungen (bedingte Anweisung).

12.1 Schleifen

Bis jetzt wurden alle Skripte einfach der Reihe nach abgearbeitet und zwischendurch bestimmte Programmteile, je nach Situation, selbstständig ausgeführt oder übersprungen. Mit einer Schleife kann man erreichen, dass eine Gruppe von Befehlen (der sog. Schleifenrumpf) mehrfach abgearbeitet wird, zum Beispiel wenn bestimmte Auswertungsschritte auf mehrere Datensätze oder Variablen angewendet oder Funktionen mit unterschiedlichen Parametern oder Startwerten aufgerufen werden sollen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind iterative Algorithmen, in denen die Eingabewerte des aktuellen Iterationsschrittes von einem vorherigen abhängig sind. Besonders in Simulationen kommen Schleifen häufig zum Einsatz, da große Anzahlen von Wiederholungen benötigt werden.

Man unterscheidet zwischen zwei Arten von Schleifen: Bei den `for()`-Schleifen steht die Anzahl der Wiederholungen schon beim Eintritt in die Schleife fest, während die `while()`-Schleifen so lange ausgeführt werden, bis eine Bedingung nicht mehr wahr ist. Mit der Funktion `break` wird eine Schleife abgebrochen und die Programmausführung wird nach der Schleife fortgesetzt.

Die wesentlichen Befehle sind

- `for (i in X) {Code}`

Wiederhole den Code im “Schleifenrumpf” für jedes Element aus `X`.

- `while(Bedingung) {Code}`

Wiederhole den Code im “Schleifenrumpf” so lange die logische Bedingung erfüllt ist.

- `break()`

Brich die Schleife ab.

12.1.1 Wiederholen von Befehlen mit `for()`.

Steht vor Beginn der Schleife fest wie viele Schleifendurchgänge benötigt werden, wenn zum Beispiel in einer Simulation 99 Realisierungen erzeugt oder alle Elemente eines Vektors verarbeitet werden sollen, verwendet man eine `for`-Schleife. Die allgemeine Form der `for`-Schleife ist:

```
X <- c(1 : 3) # Einträge die im Schleifenrumpf abgearbeitet werden.
for(i in X){
  # Schleifenrumpf
  print(i)
}
```

```
1729 ## [1] 1
1730 ## [1] 2
1731 ## [1] 3
```

1732 Das `i` steht in diesem Beispiel für die Schleifen-Variable. Sie muss nicht `i` heißen, sondern kann jeden
 1733 zulässigen Namen annehmen. Das `X` steht für einen existierenden Vektor oder eine existierende Liste bzw.
 1734 einen Ausdruck, der ein solches Objekt liefert (der Objektname ist ebenfalls frei wählbar). `for` und `in` sind
 1735 Schlüsselworte, sie müssen, ebenso wie die runden Klammern, vorhanden sein.

1736 Im ersten Durchgang erhält die Schleifen-Variable `i` den ersten Wert von `X` und der Schleifenrumpf wird
 1737 mit diesem Wert ausgeführt. Die Variable `i` nimmt nacheinander so lange die Werte von `X` an, bis ihr alle
 1738 Elemente zugewiesen wurden.

1739 Das folgende Beispiel wird zwar besser durch die entsprechende Vektoroperation gelöst, zeigt aber sehr
 1740 deutlich die Arbeitsweise der `for`-Schleife.

```
zahlen <- c(2, 3, 5)

for(element in zahlen){
  print(element^2)
}
```

```
1741 ## [1] 4
1742 ## [1] 9
1743 ## [1] 25
```

1744

1745 Aufgabe 36: Schleifen 1

1746

1747 Verwenden Sie den Vektor `k <- c(1, 3, 9, 12, 15)` und schreiben Sie folgende `for`-Schleifen:

- 1748 1. Eine Schleife, die jedes Element aus `k` ausgibt.
- 1749 2. Eine Schleife, die zu jedem Element aus `k` 10 addiert und den neuen Wert ausgibt.
- 1750 3. Eine Schleife wie in 2), aber der neue Wert ($k + 10$) soll jetzt nicht mehr ausgegeben werden, sondern
 1751 in `k10` gespeichert werden. Stellen Sie sicher, dass `k10` wieder von der Länge 5 ist.

1752

1753 Die Funktion `for()` ermöglicht es, einen Befehl beliebig oft zu wiederholen. Z.B. der folgende Ausdruck zieht
 1754 10-Mal eine Stichprobe der Größe 1 aus dem Vektor `v`. Beachten Sie, dass die Schleifen-Variable `i` selbst gar

nicht im Schleifenrumpf vorkommt. Das Ziel dieser Schleife ist nicht die Elemente des Vektors abzuarbeiten, sondern einfach nur den Ausdruck im Schleifenrumpf 10-Mal zu wiederholen.

```
v <- c(1, 4, 2, 3)
for (i in c(1 : 10)) {
  print(sample(v, 1))
}
```

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

Auf gleiche Weise kann man auch über die Variablen eines Dataframes iterieren¹⁴. Das folgende Beispiel hat zum Ziel die Funktionsweise von Schleifen zu verdeutlichen. Schleifen haben in R jedoch den Nachteil, dass sie sehr langsam operieren. Wenn es geht, sollte man Alternativen verwenden. Die Funktionsweise wiederholender Auswertungen wird jedoch mit `for`-Schleifen deutlicher. Aus diesem Grunde werden wir uns in diesem Kurs auf Schleifen beschränken.

```
myLoopDf <- data.frame(a = c(2, 4, 7, 5),
                      b = c("Buche", "Eiche", "Eiche", "Buche"),
                      d = c(50, 60, 55, 80))

for (i in c(1 : 4)) {
  summeAd <- myLoopDf[i, "a"] + myLoopDf[i, "d"]
  print(myLoopDf$b[i])
  print(summeAd)
}
```

```
## [1] "Buche"
## [1] 52
## [1] "Eiche"
## [1] 64
## [1] "Eiche"
## [1] 62
## [1] "Buche"
## [1] 85
```

¹⁴Zur Info: Dieses Beispiel lässt sich schneller mittels der vektorwertigen Operation `apply()` lösen.

Aufgabe 37: for-Schleife

Lesen Sie den Datensatz `bhd_1.txt` ein und verwenden Sie eine `for`-Schleife.

- Ziehen Sie 500-Mal je 35 Beobachtungen für den BHD.
- Berechnen Sie jeweils den Mittelwert aus den 35 Werten.
- Speichern Sie die 500 Mittelwerte in einem neuen Vektor `mittel`.
- Wie ist die Verteilung dieser 500 Mittelwerte zu interpretieren?

12.1.2 Wiederholen von Befehlen mit `while()`

Die `while`-Schleifen finden Anwendung, wenn die Anzahl der zu durchlaufenden Wiederholungen vorher nicht bekannt ist, wie zum Beispiel bei Iterationsverfahren, die bis zu einer gewissen Genauigkeit durchlaufen werden sollen. Die `while`-Schleife besteht in R aus dem Schlüsselwort `while()` und einer Bedingung in runden Klammern.

```
while (Bedingung) {  
  # Schleifenrumpf  
}
```

Sie ist in der praktischen Programmierung nicht so relevant wie die `for`-Schleife. Sie sei deshalb hier nur kurz erwähnt. Die Abbruchbedingung wird jedes Mal geprüft bevor der Schleifenrumpf durchlaufen wird. Die Bedingung wird ausgewertet und wenn diese `TRUE` ist, wird der Schleifenrumpf ausgeführt und danach erneut die Bedingung überprüft. Ist die Bedingung nicht erfüllt, wird der Schleifenrumpf nicht durchgeführt und die Schleife beendet. Ist die Bedingung bereits vor Eintritt in die Schleife nicht erfüllt, wird die Schleife gar nicht erst durchlaufen.

Da `while`-Schleifen also so lange ausgeführt werden, bis die Bedingung nicht mehr erfüllt ist, kann eine Endlosschleife entstehen. Dies kann passieren, wenn man nicht sauber programmiert hat. Wenn innerhalb der Schleife nicht dafür gesorgt wird, dass die Bedingung irgendwann nicht mehr erfüllt wird, so läuft die Schleife immer weiter. Steckt R in einer Schleife fest und reagiert nicht mehr, kann der Befehl unter Linux mit `Strg`+`C` und unter Windows mit `Esc` abgebrochen werden. Alternativ können Sie auf das rote STOP Symbol über der Konsole klicken.

12.2 Bedingte Ausführung von Codeblöcken

Innerhalb eines Skripts ist es mitunter notwendig je nach aktueller Situation unterschiedlich fortzufahren. Die Situation wird mit einem logischen Ausdruck, einer sogenannten Bedingung, geprüft. Je nachdem, ob die Bedingung wahr (`TRUE`) oder falsch (`FALSE`) ist, werden unterschiedliche Programmteile ausgeführt, der jeweils andere Teil bleibt unberücksichtigt. Danach wird in jedem Fall die Programmausführung, mit den auf die bedingte Anweisungen folgenden Anweisung, fortgesetzt. In R kann dies mit dem `if-else`-Konstrukt realisiert werden, welches aus den Schlüsselwörtern `if()` und `else` sowie der in runde Klammern gefassten Bedingung besteht.


```
if(Bedingung){  
  # Anweisungen für Bedingung == TRUE  
} else{  
  # Anweisungen für Bedingung == FALSE  
}
```

1813 Im folgenden Beispiel sollen die bisher abstrakt beschriebenen Vorgänge praktische Anwendung finden. In
1814 dem Beispiel wird zunächst durch zufälliges Ziehen einer Zahl aus dem Bereich eins bis sechs ein Würfelwurf
1815 simuliert. Anschließend wird der Würfelwurf mit einem if-Ausdruck kommentiert. Ist die Bedingung, es wurde
1816 eine Sechs gewürfelt, erfüllt, wird der Code innerhalb der geschweiften Klammern ausgeführt, ansonsten wird
1817 der Klammerinhalt ignoriert.

```
# Würfelwurf simulieren  
x <- sample(1:6, 1)  
# if-Konstrukt zur passgenauen Gratulation  
if (x == 6) {  
  print("Glückwunsch, eine Sechs!")  
}
```

1818 In den meisten Fällen ist es für R irrelevant, ob sich zwischen den verschiedenen Elementen Leerzeichen oder
1819 Zeilenumbrüche befinden. Bei dem else-Ausdruck dagegen wird ein Fehler erzeugt, wenn vor dem **else** nicht
1820 die geschweifte Endklammer der vorausgehenden if- Bedingung steht.

```
# Würfelwurf simulieren  
x <- sample(1:6, 1)  
# if-else-Konstrukt: Gratulation oder Ermutigung  
if(x == 6){  
  print("Glückwunsch, eine Sechs!")  
} else{  
  print("Beim nächsten Wurf klappt's bestimmt.")  
}
```

1821 ## [1] "Beim nächsten Wurf klappt's bestimmt."

1822

1823 Aufgabe 38: Bedingte Programmierung

1824

- 1825
- Wenn keine 6 gewürfelt wurde, lassen Sie zusätzlich ausgeben welche Zahl gewürfelt wurde.
 - Wiederholen Sie den Würfelwurf 10 Mal.
- 1826

13 (R)markdown

13.1 Markdown Grundlagen

Die Idee von Markdown ist, einfach Text strukturieren zu können und das ganze ohne umfangreiche Programme zu erstellen. Im nächsten Abschnitt sehen wir dann, wie man Markdown und R-Code verbinden kann. Hier soll es jedoch erst einmal darum gehen, die einfachsten Bausteine von Markdown vorzustellen.

Am Anfang jedes Dokuments kommt eine Präambel. Diese fängt mit `---` an und hört auch wieder mit `---` auf. Innerhalb der Präambel können dann Metainformationen über das Dokument festgelegt werden, dies beinhaltet im einfachsten Fall: Titel, Autor und Datum. Das würde dann so aussehen:

```
---
title: "Ein Titel"
author: "Der, der es geschrieben hat"
date: "März 2021"
---
```

Danach folgt strukturierter und formatierter Text. Verschiedene Hierarchieebenen von Überschriften können mit der Anzahl an `#` festgelegt werden. So ist eine Überschrift erster Ordnung `# Kapitel` eine Überschrift zweiter Ordnung `## Unterkapitel` usw.

Listen können erstellt werden, wenn man am Anfang jeder Zeile ein `-` oder `1.` schreibt.

```
- Erster Eintrag
- Zweiter Eintrag
- Dritter Eintrag
```

wird zu

- Erster Eintrag
- Zweiter Eintrag
- Dritter Eintrag

Eine zentrale Idee von Markdown ist es Text einfach zu formatieren. Werden eine oder mehrere Wörter mit zwei Sternchen (`**`) eingefasst wird dieser Text **fett** dargestellt. Also aus `**wichtig**` wird **wichtig**. Das gleiche funktioniert auch mit *kursiven* Text, jedoch muss man hier noch ein Sternchen verwenden, also aus `*kursiv*` wird *kursiv*. Soll ein text fett und kursiv sein, kann man drei Sternchen verwenden. Aus `***sehr wichtig***` wird dann ***sehr wichtig***.

Weitere Elemente wie Links oder Abbildungen können einfach eingebunden werden. Links werden mit `[Link text](url)` in den Text integriert. Beispielsweise ist eine gute Idee bei [stackoverflow](https://stackoverflow.com) bei Problemen nach einer Lösung zu suchen. Dieser Link wurde mit `[stackoverflow](www.stackoverflow.com)` erstellt.

Für Abbildungen gibt es einen ganz ähnlichen Syntax. Mit `![Das R Logo](abb/r_logo.png)` wird die Abbildung `r_logo.png` eingebunden mit der Beschriftung: "Das R Logo".



Abbildung 9: Das R Logo

Aufgabe 39: Arbeiten mit markdown

Verwenden Sie das folgende Markdownokument:

```
---
title: "Dokument"
author: "Ihr Name"
date: "März 2021"
---
```

Einleitung

Methoden

1. Kopieren Sie die Vorlage in ein Dokument, das `test.md` heißt.
2. Fügen Sie zwei Überschriften zweiter und dritter Ordnung hinzu.
3. Fügen Sie einen *kursiven* Text hinzu.
4. Fügen Sie einen Link zu einer Website hinzu.
5. Kompilieren Sie die Datei, indem Sie in Rstudio auf **Preview** drücken (Abbildung 10).

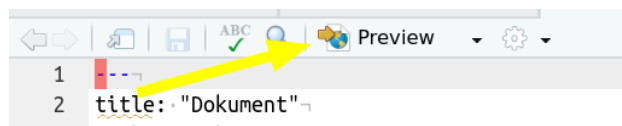


Abbildung 10: Kompilieren einer md-Datei.

13.2 R und Markdown

Markdown macht es bereits einfach Textdokumente und Dokumentationen zu verfassen, aber die wirkliche Stärke liegt in der Möglichkeit R und Markdown zu kombinieren. Man spricht dann von Rmarkdown. Ein weiteres Strukturelement, das wir noch nicht kennen gelernt haben, sind Code-Blöcke.

```
```
a <- 1:10
```

```
1885 a[1]
1886 ```
```

```
1887 erzeugt
```

```
1888 a <- 1:10
1889 a[1]
```

1890 Momentan wird noch kein Code ausgeführt, sondern lediglich der Code, als Code dargestellt. Rmarkdown  
1891 bietet nun die Möglichkeit Code beim *kompilieren*<sup>15</sup> auszuführen. Dafür müssen wir nur einen Code-Block als  
1892 R-Code-Block kennzeichnen.

```
1893 ```{R}
1894 a <- 1:10
1895 a[1]
1896 ```
```

```
1897 erzeugt
```

```
a <- 1:10
a[1]
```

```
1898 ## [1] 1
```

1899 Beachte, die Variable **a** wird beim kompilieren erzeugt und steht dann R zur Verfügung. R-Code-Blöcke  
1900 werden auch als Code Chunks bezeichnet. Diese Chunks können sehr genau angesprochen und angepasst  
1901 werden. Einige wichtige Argumente sind:

- 1902 • **echo**: Gibt an, ob der Quelltext angezeigt werden soll oder nicht.
- 1903 • **result**: Gibt an, ob die Ergebnisse gezeigt werden sollen oder nicht.
- 1904 • **eval**: Diese Option gibt an ob der Chunk ausgeführt werden soll oder nicht.

```
1905
```

#### 1906 **Aufgabe 40: Arbeiten mit Rmarkdown**

1908 Erstellen Sie eine neue Rmarkdown Datei mit dem Namen **test1.Rmd**. Erstellen Sie zwei Code-Chunks. Der  
1909 erste soll nicht angezeigt werden und darin werden die Daten geladen (**bhd\_1.txt**). Im zweiten Chunk plotten  
1910 Sie das Alter der Bäume gegen den BHD. Was passiert mit dem Plot, wenn Sie die Datei kompilieren (drücken  
1911 Sie dazu auf den **Knit**-Knopf; Abbildung 11).



Abbildung 11: Kompilieren einer Rmd-Datei.

<sup>15</sup>Unter kompilieren wird hier das Übersetzen eines Markdowndokuments in ein Ausgabeformat (z.B. pdf oder html) verstanden.

## 14 Räumliche Daten in R

### 14.1 Was sind räumliche Daten

Räumliche Daten sind Beobachtungen, wie wir sie schon oft gesehen haben, mit einem räumlichen Bezug. Der Unterschied zu nicht räumlichen Daten liegt darin, dass räumliche Daten eindeutig im *Raum* verortet werden können. Häufig werden sogenannte Geoinformationssysteme (GIS) zum Arbeiten mit räumlichen verwendet. R kann in vielerlei Hinsicht wie ein GIS eingesetzt werden und hier werden einige Grundfunktionalitäten dafür besprochen. Räumliche Daten werden in zwei unterschiedliche Datentypen unterteilt: Vektor- und Rasterdaten. Vektordaten modellieren einzelne Objekte (= *Features*). Rasterdaten modellieren eine Oberfläche.

Vektordaten bestehen aus zwei Komponenten: 1) einer Geometrie, die die Form und Lage der Daten definiert und 2) Attributen, den tatsächlichen Daten. Räumliche Daten werden oft als *Features* bezeichnet. Ein Feature ist die räumliche Einheit einer Beobachtung. Je nach Art der räumlichen Daten können Features entweder Punkte (z.B. ein Baum), Linien (z.B. eine Straße) oder Polygone (z.B. ein See) sein. Auch können mehrere Geometrien zu einem Feature zusammengefasst werden. Ein Beispiel wäre eine Beobachtung für ein Land, das aber aus mehreren Polygonen bestehen kann (z.B. Festland und Inseln). Features können dann weitere Attribute (= Attributdaten) haben, z.B. eine ID, Name oder was auch immer man gemessen hat.

Rasterdaten bestehen aus einer Oberfläche von gleichgroßen Kacheln (= *Pixel*), die ein Gebiet abdecken. Meist sind Pixel viereckig, aber das ist keine Voraussetzung. Dabei hat jedes Pixel einen Wert (das kann auch ein fehlender Wert sein). Typische Beispiele für Rasterdaten sind Landnutzung oder Seehöhen.

In R kann sowohl mit Vektor- als auch mit Rasterdaten gearbeitet werden. Für Vektordaten bietet sich das Paket **sf** an und für Rasterdaten das Paket **raster**.

### 14.2 Koordinatenbezugssystem

Eine der Herausforderungen für räumliche Daten ist die eindeutige Verortung im Raum. Dazu braucht man ein *Koordinatenbezugssystem* (*KBS*). Einem KBS liegt ein mathematisches Modell der Erde zugrunde. Die Details zu KBS werden schnell relativ kompliziert und wir beschränken uns hier lediglich darauf, wie KBS verwendet werden können. Dazu müssen wir zwei Fälle unterscheiden: 1) einem Datensatz ein KBS zuweisen und 2) Transformation des KBSs eines Datensatzes in ein anderes KBS. Die technischen Details werden in den folgend Abschnitten besprochen. Für beide Aufgaben müssen wir auf ein KBS verweisen können, ein einfacher Ansatz dafür sind die sogenannten *EPSG-Codes*<sup>16</sup>.

### 14.3 Vektordaten in R

Das Paket **sf** stellt Klassen zum Abbilden von Features zur Verfügung, die dann in einem **data.frame** als Liste gespeichert werden können. In der Regel erstellen wir Features nicht individuell, sondern lesen diese aus externen Datenquellen (z.B. ESRI Shapefile) ein. Zum besseren Verständnis, erstellen wir es einmal manuell.

Wir haben die Koordinaten für drei Städte (Göttingen, Hannover und Berlin) als geografische Koordinaten vorliegen (EPSG = 4326).

<sup>16</sup> *EPSG* steht für European Petrol Survey Group

```
library(sf)
goe <- st_point(x = c(9.9158, 51.5413))
han <- st_point(x = c(9.7320, 52.3759))
ber <- st_point(x = c(13.405, 52.5200))
```

1946 Daraus könne wir jetzt eine Geometriespalte für einen `data.frame` erstellen

```
geom <- st_sfc(list(goe, han, ber), crs = 4326)
```

1947 Somit haben wir die Geometrie in der Variable `geom` gespeichert, aber noch keine dazugehörigen Attributdaten.

1948 Diese können wir jetzt in einem weiteren `data.frame` abspeichern.

```
attr <- data.frame(
 name = c("Goettingen", "Hannover", "Berlin"),
 bundesland = c("Niedersachsen", "Niedersachsen", "Berlin"),
 einwohner = c(119000, 532000, 3650000)
)
```

1949 In einem letzten Schritt möchten wir jetzt die Geometrie (`geom`) und die Attributdaten (`attr`) zusammenführen.  
1950

```
staedte <- st_sf(attr, geom = geom)
staedte
```

1951 ## Simple feature collection with 3 features and 3 fields

1952 ## Geometry type: POINT

1953 ## Dimension: XY

1954 ## Bounding box: xmin: 9.732 ymin: 51.5413 xmax: 13.405 ymax: 52.52

1955 ## Geodetic CRS: WGS 84

1956 ##            name        bundesland einwohner                        geom

1957 ## 1 Goettingen Niedersachsen        119000 POINT (9.9158 51.5413)

1958 ## 2    Hannover Niedersachsen        532000 POINT (9.732 52.3759)

1959 ## 3        Berlin                Berlin    3650000    POINT (13.405 52.52)

1960 Wir können nun mit `staedte` genau so arbeiten wie mit jedem anderen `data.frame` und die Geometrien  
1961 werden immer ‘berücksichtigt’. Zusätzlich kann man eine Reihe von geometrischen Operationen durchführen.

1962 Wenn ein `data.frame` Punkten hat, kann man dies relative einfach mit der Funktion `st_as_sf()` “räumlich”  
1963 machen. Für das vorherige Beispiel würden wir zuerst einen `data.frame` mit allen Informationen (zur  
1964 Geometrie und zu den Attributen erstellen).

```
dat <- data.frame(
 name = c("Goettingen", "Hannover", "Berlin"),
 bundesland = c("Niedersachsen", "Niedersachsen", "Berlin"),
 einwohner = c(119000, 532000, 3650000),
 x = c(9.9158, 9.7320, 13.405),
 y = c(51.5413, 52.3759, 52.5200)
)
```

Dann kann man mit der Funktion `st_as_sf()` weiter arbeiten:

```
staedte1 <- st_as_sf(dat, coords = c("x", "y"), crs = 4326)
```

## 14.4 Arbeiten mit Vektordaten

Es gibt sehr viele Funktionen, um mit räumlichen Daten zu arbeiten, von denen wir hier einige vorstellen.

```
Zeigt das KBS an
st_crs(staedte)
```

```
Coordinate Reference System:
User input: EPSG:4326
wkt:
GEOGCRS["WGS 84",
ENSEMBLE["World Geodetic System 1984 ensemble",
MEMBER["World Geodetic System 1984 (Transit)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G730)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G873)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G1150)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G1674)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G1762)"],
MEMBER["World Geodetic System 1984 (G2139)"],
ELLIPSOID["WGS 84",6378137,298.257223563,
LENGTHUNIT["metre",1]],
ENSEMBLEACCURACY[2.0]],
PRIMEM["Greenwich",0,
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
CS[ellipsoidal,2],
AXIS["geodetic latitude (Lat)",north,
ORDER[1],
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
AXIS["geodetic longitude (Lon)",east,
ORDER[2],
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
USAGE[
SCOPE["Horizontal component of 3D system."],
AREA["World."],
BBOX[-90,-180,90,180]],
ID["EPSG",4326]]
```

Wenn wir jetzt zu einem anderen KBS (z.B. EPSG:3035, ein europäisches projiziertes KBS) umrechnen möchten, können wir das mit

```
s2 <- st_transform(staedte, 3035)
st_crs(s2)
```

```

1999 ## Coordinate Reference System:
2000 ## User input: EPSG:3035
2001 ## wkt:
2002 ## PROJCRS["ETRS89-extended / LAEA Europe",
2003 ## BASEGEOGCRS["ETRS89",
2004 ## ENSEMBLE["European Terrestrial Reference System 1989 ensemble",
2005 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1989"],
2006 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1990"],
2007 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1991"],
2008 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1992"],
2009 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1993"],
2010 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1994"],
2011 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1996"],
2012 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 1997"],
2013 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 2000"],
2014 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 2005"],
2015 ## MEMBER["European Terrestrial Reference Frame 2014"],
2016 ## ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
2017 ## LENGTHUNIT["metre",1]],
2018 ## ENSEMBLEACCURACY[0.1]],
2019 ## PRIMEM["Greenwich",0,
2020 ## ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
2021 ## ID["EPSG",4258]],
2022 ## CONVERSION["Europe Equal Area 2001",
2023 ## METHOD["Lambert Azimuthal Equal Area",
2024 ## ID["EPSG",9820]],
2025 ## PARAMETER["Latitude of natural origin",52,
2026 ## ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
2027 ## ID["EPSG",8801]],
2028 ## PARAMETER["Longitude of natural origin",10,
2029 ## ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
2030 ## ID["EPSG",8802]],
2031 ## PARAMETER["False easting",4321000,
2032 ## LENGTHUNIT["metre",1],
2033 ## ID["EPSG",8806]],
2034 ## PARAMETER["False northing",3210000,
2035 ## LENGTHUNIT["metre",1],
2036 ## ID["EPSG",8807]]],
2037 ## CS[Cartesian,2],
2038 ## AXIS["northing (Y)",north,
2039 ## ORDER[1],
2040 ## LENGTHUNIT["metre",1]],
2041 ## AXIS["easting (X)",east,

```



```

2042 ## ORDER[2],
2043 ## LENGTHUNIT["metre",1]],
2044 ## USAGE[
2045 ## SCOPE["Statistical analysis."],
2046 ## AREA["Europe - European Union (EU) countries and candidates. Europe - onshore and offshore: A"],
2047 ## BBOX[24.6,-35.58,84.73,44.83]],
2048 ## ID["EPSG",3035]]

```

Die Funktion `st_buffer()` erlaubt es Features zu puffern, mit `st_distance()` kann die Distanz zwischen Features berechnet werden, mit `st_area()` kann die Fläche eines Features zu berechnen.

Funktionen wie `st_intersection()`, `st_union()` und `st_difference()` erlauben es geometrische Operationen zwischen unterschiedlichen Features zu berechnen. Für eine ausführliche Diskussion siehe auch hier: <https://geocompr.robinlovelace.net/geometric-operations.html>.

Normalerweise lesen wir Daten von externen Datenquellen (z.B. ESRI Shapefiles). Das geht mit der Funktion `st_read()`.

## 14.5 Rasterdaten in R

Für Rasterdaten gibt es das R-Paket `raster`. Auch hier wollen wir uns wieder auf einige Grundfunktionalitäten konzentrieren. Diese umfassen das Einlesen, Zuschneiden, Rechnen und Abfragen von Rastern.

Mit der Funktion `raster()` kann ein Raster in R eingelesen werden.

```

library(raster)
dem <- raster(here::here("data/dem_3035.tif"))

```

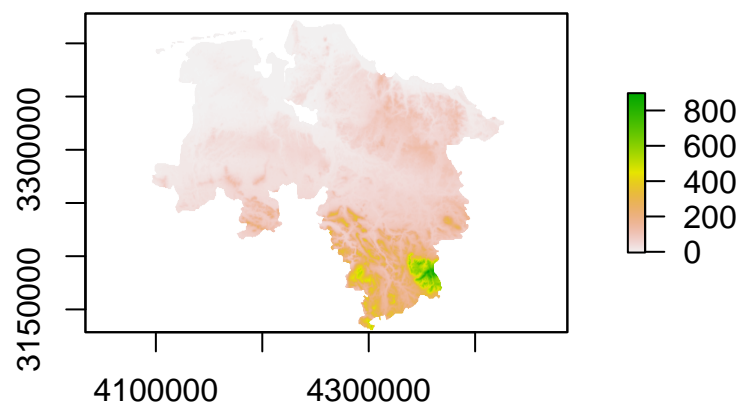
`dem` steht für *Digital Elevation Model* und ist ein Raster mit den Seehöhen in Niedersachsen mit einer 500-m-Auflösung. Wir können diese mit der Funktion `res()`<sup>17</sup> abfragen.

```
res(dem)
```

```
[1] 500 500
```

Bzw. wir können den Raster auch plotten.

```
plot(dem)
```



<sup>17</sup>kurz für *resolution* also Auflösung.

Wenn wir den Raster `dem` auf ein Gebiet zuschneiden wollen (z.B. Göttingen), müssen wir drei Schritte durchführen. Als erstes müssen wir ein Shapefile für Göttingen einlesen.

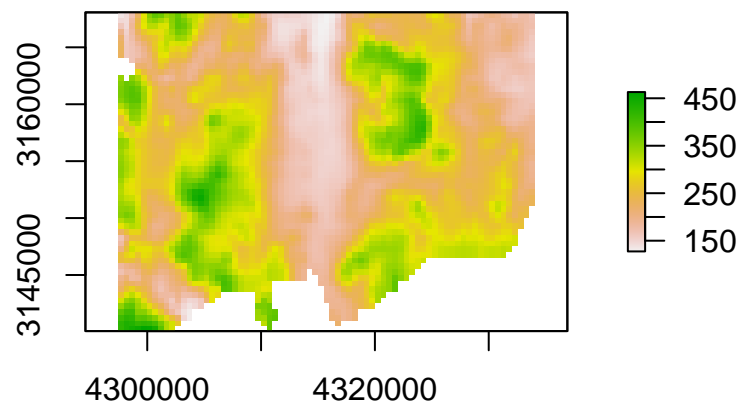
```
goe <- st_read(here::here("data/goettingen/stadt_goettingen.shp"))
```

Dann müssen wir sicher stellen, dass sowohl der Raster `dem` als auch das `sf`-Objekt `goe` im selben KBS sind. Es bietet es sich in der Regel an, das KBS des Vektors zu transformieren. Mit der Funktion `projectRaster()` kann das KBS eines Raster transformiert werden.

```
goe <- st_transform(goe, 3035)
```

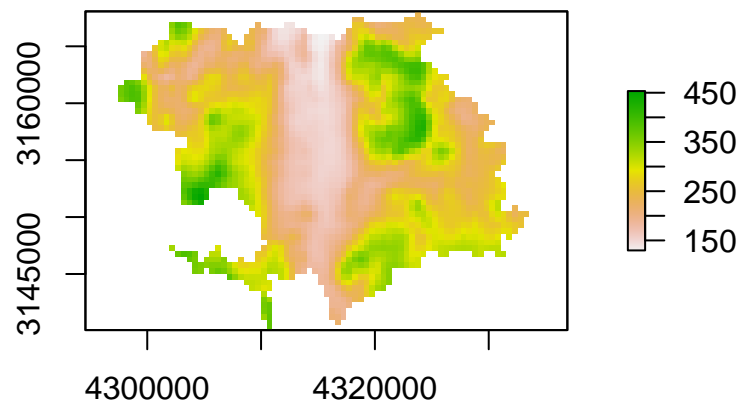
Mit der Funktion `crop()` kann der Raster `dem` auf Göttingen zugeschnitten werden.

```
dem1 <- crop(dem, goe)
plot(dem1)
```



Der Raster hat jetzt die Größe einer Bounding-Box (BBX) von Göttingen (das ist ein Rechteck, das Göttingen umfasst). Mit der Funktion `mask()` kann der Raster auf die genauen Grenzen des Vektors `goe` angepasst werden.

```
dem2 <- mask(dem1, goe)
plot(dem2)
```



Wenn wir an bestimmten Punkten den Wert des Rasters abfragen wollen (z.B. an `cities`) von vorhin, dann gibt es dafür die Funktion `extract`. Dann müssen wir erst sicherstellen, dass `staedte` und `dem` gleichen KBS zu grunde liegt. Dafür transformieren wir einfach `staedte` in das KBS von `dem`. Mit der Funktion `projection()` erhalten wir das KBS des Rasters.

```
s1 <- st_transform(staedte, 3035)
```

Wenn wir das KBS eines Objektes nicht kennen, können wir auch einfach das KBS übergeben. Der folgende Code-Block macht genau das Gleiche mit dem Vorteil, dass wir keinen EPSG-Code angeben müssen.

```
s1 <- st_transform(staedte, projection(dem))
```

Dann können wir für jede Stadt die Seehöhe abfragen:

```
raster::extract(dem, s1)
```

```
[1] 149.18181 57.21486 NA
```

Mit `raster::extract()` rufen wir *eindeutig* die Funktion `extract()` aus dem Paket `raster` auf. Wir müssen das so machen, weil es im Paket `dplyr` auch eine Funktion `extract()` gibt, die wir hier nicht anwenden möchten, da sie einen Fehler verursachen würde.

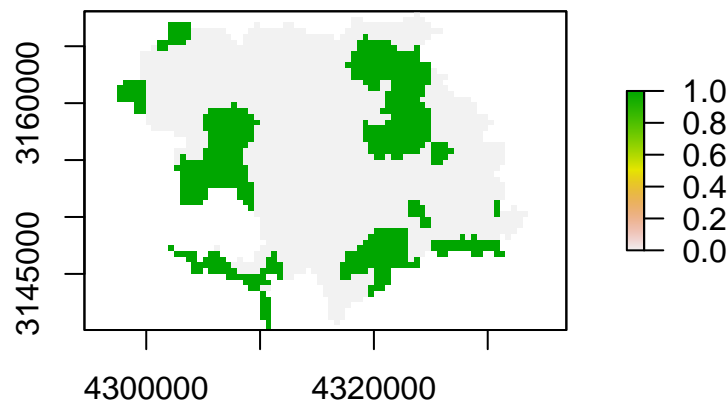
Ein analoges Vorgehen ist auch für Linien und Polygone möglich.

Mit Rastern kann auch einfach gerechnet werden. Wir können z.B. die Seehöhe in Kilometern anstatt Metern berechnen:

```
dem_km <- dem / 1e3
```

Auch logische Operationen sind möglich, wenn wir alle Rasterzellen mit einer Seehöhe von mehr als 300 m in Göttingen suchen, dann geht das so:

```
dem3 <- dem2 > 300
plot(dem3)
```



Wenn wir jetzt auf die Werte des Rasters `dem3` zugreifen wollen, geht das mit eckigen Klammern.

```
head(dem3[])
```

```
[1] NA NA NA NA NA NA
```

Das sind erst einmal viele NA-Werte für die ganzen Zellen, die außerhalb von Niedersachsen liegen. Aber wir können mit so einem Vektor ganz normal arbeiten und z.B. die Fläche des Landes Niedersachsen die eine Seehöhe von mehr als 500m Seehöhe hat ausrechnen.

```
h <- dem3[]
sum(h, na.rm = TRUE) / sum(!is.na(h))
```

```
[1] 0.265713
```

2099

### 2100 *Aufgabe 41: Arbeiten mit Rastern*

2101

2102 Verwenden Sie den Raster `wald.tif`, der auf einer 10 m Auflösung den Waldanteil jeder Rasterzelle angibt<sup>18</sup>.  
 2103 Der EPSG-Code für das KBS von `wald.tif` ist 3035. Nehmen Sie an, dass wenn der Waldanteil in einer  
 2104 Raster größer als 50 % ist, dass die Rasterzelle als Wald klassifiziert werden kann. Wie viel Prozent des  
 2105 Göttinger Stadtgebietes sind Wald? Wie ändert sich dieser Wert, wenn sie 70 % anstatt 50 % als Schwellenwert  
 2106 für Wald annehmen?

2107

### 2108 *Aufgabe 42: Studiendesign*

2109

2110 Mit der Funktion `st_sample()` können Sie innerhalb oder entlang eines Features zufällige Punkte legen. Das  
 2111 Argument `n` steuert die Anzahl Punkte und das Argument `type` wie die Punkte angeordnet werden. Für `type`  
 2112 sind für uns die Werte `type = "random"` (komplett zufällig), `type = "regular"` (regelmäßiger Grid) und  
 2113 `type = "hexagonal"` von Bedeutung (ein hexagonaler Grid, d.h. ein secheckiger Raster). Unglücklicherweise  
 2114 ist das Ergebnis von `st_sample()` erst eine Geometrie. Um daraus ein vollständiges `sf`-Objekt zu machen  
 2115 und problemlos weiter arbeiten zu können, müssen Sie noch einmal die Funktion `st_as_sf()` ausführen.

2116 Stellen Sie sich vor, dass wir die tatsächliche Waldbedeckung des Göttinger Stadgebietes **nicht** kennen und wir  
 2117 eine Studie durchführen, um den Anteil des Göttinger Stadgebietes, der mit Wald bedeckt ist herauszufinden.  
 2118 Erstellen Sie dafür einige unterschiedliche Stichproben (diese können in der Anzahl und Anordnung variieren).

2119 Berechnen Sie für jedes Stichprobendesign den Anteil an Wald und ein dazugehöriges Konfidenzintervall  
 2120 (dieses können Sie mit der Formel  $\hat{p} \pm 1.96 \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$  berechnen, wobei  $\hat{p}$  der geschätzte Waldanteil ist und  $n$   
 2121 die Stichprobengröße). Nehmen Sie an, dass eine Rasterzelle Wald ist, sobald  $> 50\%$  der Rasterzelle mit  
 2122 Wald bedeckt ist.

2123

### 2124 *Aufgabe 43: Räumliche Daten*

2125

2126 Verwenden Sie den folgenden Datensatz:

```
set.seed(123)
df1 <- data.frame(
 x = runif(100, 0, 100),
```

<sup>18</sup>Die können hier <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/> für ganz Europa bezogen werden

```

y = runif(100, 0, 100),
kronendurchmesser = runif(100, 1, 15),
art = sample(letters[1:4], 100, TRUE)
)

```

- 2127 1. Erstellen Sie ein `sf`-Objekt aus `df1`.
- 2128 2. Puffern Sie jeden Baum mit seinem Kronendurchmesser.
- 2129 3. Berechnen Sie die Kronenfläche jedes Baumes. *Hinweis: Die Funktion `st_area()` könnte dafür hilfreich*
- 2130 *sein.*
- 2131 4. Welcher Baum hat die größte Kronenfläche?
- 2132 5. Finden Sie für jede Art, den Baum mit der größten Kronenfläche.

2133

#### 2134 **Aufgabe 44: Arbeiten mit räumlichen Daten**

2135

- 2136 1. Lesen Sie das ESRI Shapefile `goettingen/stadt_goettingen.shp` ein.
- 2137 2. Wie viele Features befinden sich in dem Shapefile?
- 2138 3. Welches Koordinatenbezugssystem (KBS) hat das Shapefile?
- 2139 4. Transformieren Sie das Shapefile in das KBS 3035.
- 2140 5. Erstellen Sie eine neue Spalte `A` in der Sie die Fläche jeder Gemeinde/Stadt speichern.
- 2141 6. Welche Gemeinde/Stadt (Spalte `GEN`) ist am größten?
- 2142 7. Wählen Sie nun nur die Stadt Göttingen aus.

2143

#### 2144 **Aufgabe 45: Arbeiten mit räumlichen Daten 2**

2145

- 2146 1. Lesen Sie erneut das ESRI Shapefile `goettingen/stadt_goettingen.shp` ein.
- 2147 2. Lösen Sie die Gemeindegrenzen auf (die Funktion `st_union()` könnte hier nützlich sein).
- 2148 3. Wie groß ist das resultierende Feature?

## 2149 **15 FAQs (Oft gefragtes)**

### 2150 **15.1 Arbeiten mit Daten**

#### 2151 **15.1.1 Einlesen von Exceldateien**

2152 Mit der Funktion `read_excel()` aus dem Paket `readxl` können Exceldateien direkt in R eingelesen werden.

2153 Ein Export als csv-Datei aus Excel ist nicht notwendig.

## 16 Zusätzliche Aufgaben

### Aufgabe 46: Standardisierung

Unter Standardisierung (oder auch z-Transformation) versteht man die Transformation einer Variable, so dass sie den Mittelwert 0 und die Varianz 1 hat. Die Formel für die Standardisierung ist

$$x_s = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$$

wobei  $x$  die Variable ist,  $\mu_x$  ist der Mittelwert von  $x$  und  $\sigma_x$  ist die Standardabweichung von  $x$ .

Standardisieren Sie folgenden Vektor:

```
h <- c(0, 2, 3, 1, 0, 8, 3.4, 9, 6.8, 2.1)
```

Und speichern Sie das Ergebnis in `h_s`. Vergewissern Sie sich, dass die Standardisierung geklappt hat und berechnen Sie den Mittelwert und Standardabweichung von `h_s`.

### Aufgabe 47: Arbeiten mit logischen Werten

Verwenden Sie nochmals den Vektor mit der Anzahl Rehe, die an unterschiedlichen Fotofallenstandorten fotografiert wurden.

```
anzahl_rehe <- c(132, 79, 129, 91, 138, 144, 55, 103, 139, 105, 96, 146, 95, 118, 1007)
```

Für wie viele Standort trifft die Aussage zu  $90 \leq x < 120$ , wobei  $x$  für die Anzahl Fotos an einem Standort steht.

### Aufgabe 48: Auswählen von Elementen in einem Vektor

Lesen Sie die Datei `bhd_1.txt` ein. Und bearbeiten Sie folgende Aufgaben mit dieser Datei:

- Finden Sie den mittleren BHD aller Eichen.
- Wie viele Beobachtungen haben Sie für Eichen, Fichten und Buchen?
- Finden Sie alle Bäume, die 10, 20, 21, 23, 30, 37, 78, 79, 90, 91, 92 Jahre alt sind.

---

**Aufgabe 49: Arbeiten mit Daten**


---

Wang et al. (2019) haben in einer Fotofallenstudie das Verhalten und die Habitatselektion von Ozeloten im brasilianischen Amazonas untersucht. Ziel dieser Übung ist es mit dem Datensatz etwas vertraut zu werden, wir werden noch keine ökologischen Analysen durchführen. Mehr zu dem Datensatz erfahren Sie [hier](#). Eine etwas angepasste Version des Datensatzes können Sie aus dem StudIP Ordner **daten** (die Datei heißt **ozelote.zip**) herunterladen. Speichern Sie die Datei in ihrem RStudio Projekt und entzippen Sie sie. Der Ordner enthält zwei Dateien, für diese Übung brauchen wir lediglich die Datei **ozelote\_standorte.csv**, die für jeden Fotofallen Standort einige Kovariaten angibt.

Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

1. Lesen Sie die Datei **ozelote\_standorte.csv** in R und speichern Sie das Ergebnis in eine Variable **standorte**.
2. Wie viele Fotofallenstandorte gab es in der Studie?
3. Welcher Standort ist am Höchsten gelegen? Die Spalte **seehoehe** enthält die mittlere Seehöhe.
4. Finden Sie alle Standorte, die in unmittelbarer Nähe zu Flüssen sind. Eine Distanz von  $< 5$  m kann als Schwellenwert angenommen werden. Die Spalte **dist\_fluss** gibt die Distanz zu Flüssen an.
5. Der Datensatz besteht aus verschiedenen Kameras, die jeweils für einen Zeitraum von 12 Tagen in einer Region aufgestellt wurden (Spalte **Region**). Erstellen Sie einen Plot, der den Zusammenhang zwischen der Region und Seehöhe darstellt.

---

**Aufgabe 50: Base Plots**


---

Erstellen Sie die folgende Beispielabbildung Schritt für Schritt selbst über Low-Level Funktionen. Die Rohdaten finden Sie in den Dateien **abbBeispiel.R** und **ertragstafeldaten.csv**.

- Die Wachstumskurve der Region 1 (blau) lautet  $41.45752(1 - \exp(-0.02168x))^{1.61787}$
- Die Wachstumskurve der Region 2 (rot) lautet  $51.11203(1 - \exp(-0.009129x))^{1.202401}$

wobei  $x$  das Baumalter in Jahren angegeben ist. Die 3 schwarzen Linien sind auf der Ertragstafel abgelesen. Die Beschriftungen der 3 Ertragstafelkurven, sowie des Ausreißers, sind Zusatzaufgaben.

---

**Aufgabe 51: ggplot2 Aufgabe**


---

1. Laden Sie den Datensatz **daten/bhd\_1.txt**
2. Erstellen Sie ein Streudiagramm. Bilden Sie dabei den BHD gegen das Alter ab, wobei dies als Subplot für jedes Affnahmegebiet dargestellt werden sollte.
3. Verwenden Sie für jede Baumart eine eigene Farbe.
4. Erstellen Sie für jede Baumart einen Boxplot des BHDs.



5. Teilen Sie die Boxplots aus 4) auf jeweils einen Subplot pro Aufnahmegebiet auf.

### Aufgabe 52: Anwendungsbeispiel kontrollierter Programmabläufe

- Öffnen Sie ein neues, leeres R Skript.
- Laden Sie die Datei "stichprobe.csv" in eine Variable.

```
stpr <- read.csv("data/stichprobe.csv", fileEncoding = "UTF-8")
```

- Filtern Sie den Data Frame so, dass er nur noch die Baumart "Eiche" enthält. Speichern Sie den gefilterten Data Frame in einer NEUEN Variable ab.
- Berechnen Sie die deskriptiven Statistiken `mean()`, `sd()`, `median()`, `min()` und `max()` des Kapitels "Deskriptive Statistik" für den BHD (des gefilterten Data Frames).
- Erstellen Sie ein Histogramm des BHD (ebenfalls mit dem gefilterten Data Frame), zeichnen Sie den arithmetischen Mittelwert als horizontale Linie in das Histogramm ein.
- Speichern Sie den R Code und kopieren Sie ihn in ein neues R Skript.
- Erstellen Sie nun eine Schleife, die alle Statistiken und auch die Abbildung für jede Baumart berechnet. Lassen Sie die Statistiken mit `print()` in die Konsole ausgeben.
- ZUSATZ: Exportieren Sie die Histogramme (bspw. als PDF). TIPP: Verwenden Sie `paste()` um sinnvolle Namen für die Dateien zu erstellen. Machen Sie sich selbst mit der Funktion vertraut.
- ZUSATZ: Sie wollen Fehlermeldungen vermeiden. Deshalb programmieren Sie eine bedingte Ausführung, um die gesamten statistischen Berechnungen und auch die Abbildung. Führen Sie Ihren gesamten Code nur unter der Bedingung aus, dass die Baumart "Ei", "Bu", "Fi", "Kie" oder "Dou" ist. TIPP: Sie können den `%in%` Operator verwenden.

## 16.1 Arbeiten mit Daten

Verwenden Sie erneut die Datensatz von Wang et al. (2019) zu Ozeloten in Brasilien für die nachfolgenden Übungen.

### Aufgabe 53: Datenzusammenfassen

1. Laden Sie die Datei `ozelote_standorte.csv` in R und speichern Sie das Ergebnis in eine Variable `standorte`.
2. Berechnen Sie die Anzahl an Fotofallen für jede Region. Welche Region weist die meisten Fotofallen auf?
3. In welcher Region ist die größte Variabilität der Seehöhe zu finden?
4. In welchen Region beträgt der Anteil an Fotofallen, die < 5m vom nächsten Fluss entfernt sind, mindestens 20%?

2249

---

2250 **Aufgabe 54: Datenmanipulation 1**

---

2251

- 2252 1. Laden Sie nun zusätzlich die Datei `ozelote_fanghistorien.csv` und speichern Sie diese in die Variable  
2253 (`fh`). In diesem `data.frame` gibt es für jede Session eine Spalte (`V1` bis `V10`). Eine 1 bedeutet, dass  
2254 mindestens ein Ozelot fotografiert wurde und eine 0 bedeutet, dass kein Ozelot in diesem Zeitraum  
2255 fotografiert wurde. `NA` heißt, dass die Kamera nicht aktiv war.
- 2256 2. Wählen Sie nur das 3. Fangereignis (das ist die Spalte `V3`).
- 2257 3. Wie viele Kameras waren beim 3. Fangereignis aktiv?
- 2258 4. Vergleichen Sie anhand einer Abbildung, ob sich die Distanz zum Fluss (Spalte `dist_fluss`) zwischen  
2259 Standorten mit Fotos (`V3 == 1`) und Standorten ohne Fotos (`V3 == 0`) unterscheidet.

2260

---

2261 **Aufgabe 55: Datenmanipulation 2 (etwas knifflig)**

---

2262

- 2263 1. Verwenden Sie erneut die Daten zu den Fotofallenstandorten und Fanghistorien der Ozelote.
- 2264 2. Finden Sie alle Fotofallenstandorte an denen  $\geq 3$  Ozelote fotografiert wurden?
- 2265 3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit an Ozelotfotos (pro Fotofallenstandort) und der  
2266 Distanz zum nächsten Fluss (Spalte `dist_fluss`)? Eine Abbildung ist ausreichend.

## 17 Literatur

- Ein guter Überblick über viele der angeschnittenen Themen gibt es in dem [R for data science](#), das online frei zugänglich ist. Das on-line Buch [Hands-On Programming with R]{<https://rstudio-education.github.io/hopr/index.html>} ist eine nicht-Programmierer freundliche Einführung in R.
- McNamara, Amelia, and Nicholas J Horton. 2018. “Wrangling Categorical Data in r.” *The American Statistician* 72 (1): 97–104.
- Wang, Bingxin, Daniel G. Rocha, Mark I. Abrahams, André P. Antunes, Hugo C. M. Costa, André Luis Sousa Gonçalves, Wilson Roberto Spironello, et al. 2019. “Habitat Use of the Ocelot (*Leopardus Pardalis*) in Brazilian Amazon.” *Ecology and Evolution* 9 (9): 5049–62. <https://doi.org/10.1002/ece3.5005>.
- Wickham, Hadley. 2014. “Tidy Data.” *Journal of Statistical Software* 59 (10). <https://doi.org/10.18637/jss.v059.i10>.