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

Wintersemester 2021/2

Zitiervorschlag:
Signer, J. und Husmann, K. (2021) Skript zur Vorlesung Einführung in die Datenanalyse mit R, Georg-August-Universität Göttingen.

Letzte Aktualisierung: 23. Oktober 2021

Danksagung

Dank für Anmerkungen gilt Markus Benesch, Sofie Biberacher und Josephine Trisl. Teile des Unterkapitels zu Schleifen und Kontrollstrukturen ist an das R Skript des Kurses Computergestützte Datananalyse von Robert Nuske, Nikolas von Lüpke und Joachim Saborowski angelehnt.

Inhaltsverzeichnis

1 R und RStudio **3**
1.1 Installation von R und RStudio . . . 3
1.2 Erste Schritte in R . . . 3
1.3 Kommentare . . . 5

2 Variablen, Funktionen und Datentypen **6**
2.1 Variablen beim Programmieren . . . 6
2.2 Datentypen . . . 7
2.3 Funktionen . . . 8
2.4 Datenstrukturen . . . 8
2.5 Funktionen . . . 9

3 Vektoren **11**
3.1 Funktionen zum Arbeiten mit Vektoren . . . 12
3.2 Statistische Funktionen . . . 14
3.3 Beispiel Fotofallen . . . 15
3.4 Arbeiten mit logischen Werten . . . 16
3.5 Zugreifen auf Elemente eines Vektors (=Untermengen) . . . 18
3.6 Der `%in%`-Operator . . . 19

4 Faktoren (`factors`) **21**

5 Spezielle Einträge **23**
5.1 `NA` . . . 23
5.2 `NULL` . . . 24
5.3 `Inf` . . . 24

6 `data.frames` oder Tabellen **26**
6.1 Wichtige Funktionen zum Arbeiten mit `data.frames` . . . 27
6.2 Zugreifen auf Elemente eines `data.frame` . . . 27

7 Schreiben und lesen von Daten **31**
7.1 Textdateien . . . 31

8 Erstellen von Abbildungen **33**
8.1 Base Plot . . . 33
8.1.1 Mehrere Panels . . . 37
8.1.2 Speichern von Abbildungen . . . 38
8.2 Histogramme . . . 39
8.3 Boxplots . . . 42
8.4 `ggplot2`: Eine Alternative für Abbildungen . . . 44
8.4.1 Multipanel Abbildungen . . . 51
8.4.2 Plots kombinieren . . . 52

8.4.3 Speichern von plots 55

9 Mit Daten arbeiten **56**
9.1 `dplyr` eine Einführung 56
9.2 Arbeiten mit gruppierten Daten 59
9.3 `pipes` oder `%>%` 60
9.4 Joins 61
9.5 'long' and 'wide' Datenformate 63
9.6 Auswählen von Variablen 64
9.7 Einzelne Beobachtungen abfragen (`slice()`) 66
9.8 Spalten trennen 69

10 Arbeiten mit Text **71**
10.1 Arbeiten mit Text 71
10.2 Finden von Textmustern 72

11 Arbeiten mit Zeit **75**
11.1 Arbeiten mit Zeitintervallen 76
11.2 Formatieren von Zeit 77

12 Aufgaben Wiederholen (`for`-Schleifen) {kontrollstrukturen} **79**
12.1 Schleifen 79
12.1.1 Wiederholen von Befehlen mit `for()`. 79
12.1.2 Wiederholen von Befehlen mit `while()` 82
12.2 Bedingte Ausführung von Codeblöcken 82

13 (R)markdown **84**
13.1 Markdown Grundlagen 84
13.2 R und Markdown 85

14 Räumliche Daten in R **87**
14.1 Was sind räumliche Daten 87
14.2 Koordinatenbezugssystem 87
14.3 Vektordaten in R 87
14.4 Arbeiten mit Vektordaten 89
14.5 Rasterdaten in R 90

15 FAQs (Oft gefragtes) **95**
15.1 Arbeiten mit Daten 95
15.1.1 Einlesen von Exceldateien 95

16 Zusätzliche Aufgaben **96**
16.1 Arbeiten mit Daten 98

17 Literatur **100**

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 Entwicklungsumgebung,[1] die das Arbeiten mit R vereinfachen soll.

Wichtig ist, dass man kann mit R arbeiten ohne RStudio, aber man kann nicht mit RStudio arbeiten 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.

Für die Installation von RStudio, gehen Sie zu der Website (https://rstudio.com/products/rstudio/download/#download) und laden Sie wieder die richtige Version für Ihren Computer 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).

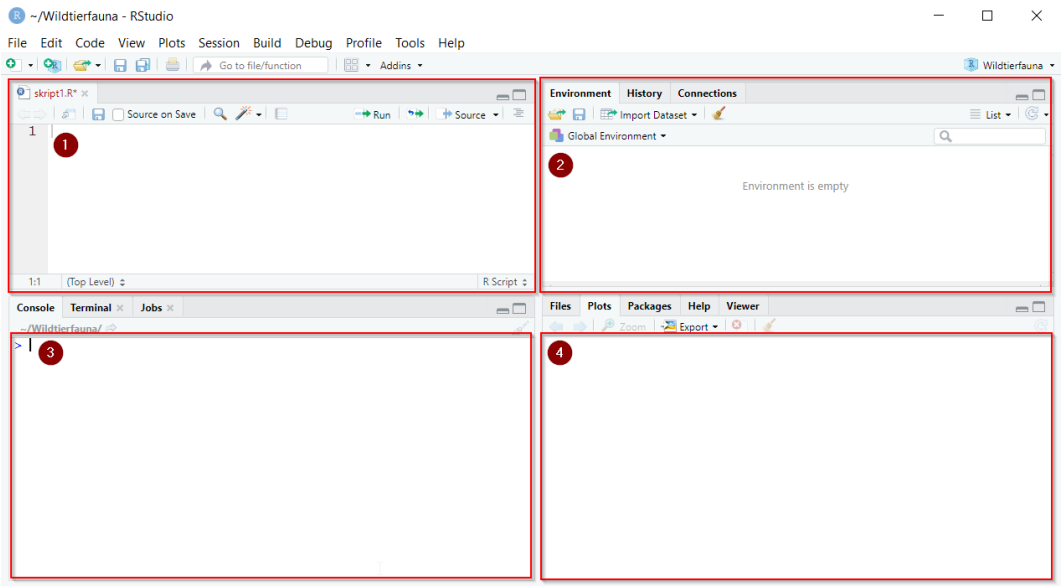


Abbildung 1: RStudio Panes.

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

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

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

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.
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 lassen sich in der R-Konsole durchführen.

```
10 + 5
```

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

```
20 - 10
```

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

```
10 * 3
```

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

```
100 / 19
```

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

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.

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. Wenn wir R-Code in einem R-Skript geschrieben haben gibt es mehrere Möglichkeiten diesen Code auszuführen. Wir können entweder auf *Run* drücken (Abbildung 2) oder mit der Tastenkombination *Strg + Enter* (Strg+↵) den Code an die Konsole schicken.

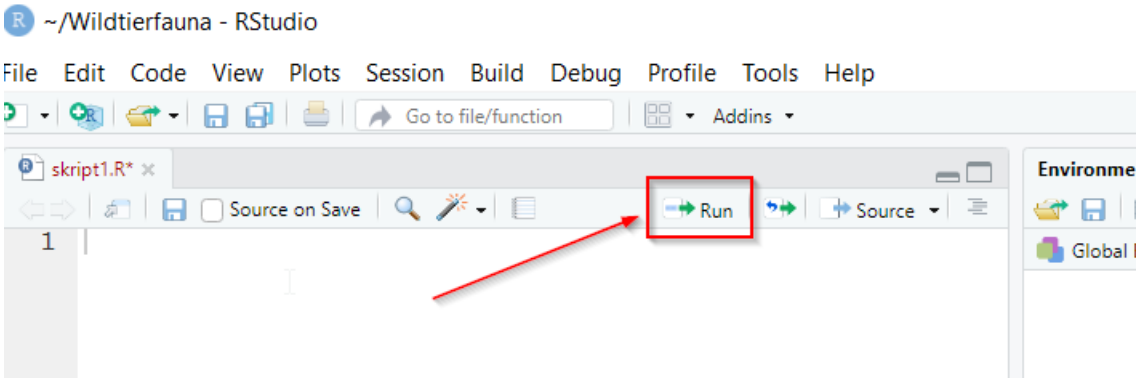


Abbildung 2: Ausführen von Code in RStudio..

1.3 Kommentare

Ein wichtiger Bestandteil für das Arbeiten mit Skripten in R sind Kommentare. Ein Kommentar ist Text in einem R-Skript, der der Dokumentation dient und von R ignoriert wird. Sämtliche Zeilen, die mit dem Zeichen `#` beginnen, werden im weiteren ignoriert.

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

```
## [1] 9
```

Im vorherigen Codeblock wurde der Funktionsaufruf `sqrt(a)` kommentiert. Die Zeile `# Berechnen der Quadratwurzel` wird bei der Ausführung ignoriert. Es empfiehlt sich, komplexere Abläufe zu kommentieren damit andere (z.B. Kommilitonen / Kommilitoninnen) verstehen, wieso etwas gemacht wurde und wie es 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 aus deutlich 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 `<-` zu verwenden.

Wir können beliebige Variablen erstellen, z.B.

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

Variablennamen dürfen mit keiner Zahl beginnen und müssen aus einem Wort bestehen.

- `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
```

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

```
b / a
```

```
## [1] 0.5
```

```
a^b
```

```
## [1] 1e+05
```

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

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

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

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

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

Mit der Funktion `rm()` können Variablen, können nicht mehr benötigte Variablen, wieder gelöscht werden.

2.2 Datentypen

Es wurde bereits erwähnt, dass Variablen als Objekte gespeichert werden. Objekte sind Datenstrukturen, die Objekte bzw. Messwerte aus der Realität abbilden. Wenn Sie beispielsweise eine Fotofalle in einem Wald ausbringen, dann hat diese Fotofalle einen Namen (z.B. `Kamera1`) und nach einiger Zeit im Wald wurden hoffentlich auch einige Fotos aufgenommen. Wir nehmen einmal an, dass nach drei Wochen 132 Fotos von Rehen gemacht wurden.

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

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

In den zwei vorherigen Zeilen Code haben wir zwei Objekte (im Sinne von R) erstellt. Das erste Objekt heißt `kamera_name` und das zweite Objekt heißt `anzahl_rehe`. Auffällig ist, dass beide Objekte einen unterschiedlichen Datentyp 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 weiter[2]). Zusätzlich zu diesen zwei Typen (`character` und `numeric`) gibt es noch einen dritten wichtigen Typ: nämlich das logische Wahr oder Falsch (in R: `TRUE` und `FALSE`). 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 wieder eine neue Variable `fuchs_gesehen` anlegen und diese auf `TRUE` setzen, da ein Fuchs gesehen wurde.

```
fuchs_gesehen <- TRUE
```

[2] Für Interessierte, man kann natürlich zwischen Ganzzahlen (`int`) und Gleitkommazahlen (`double`) unterscheiden.

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. Im vorherigen Beispiel wurde die Funkion 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)
```

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

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

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

2.4 Datenstrukturen

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

Die Frage, die sich jetzt stellt, ist: Wie kann man diese Daten sinnvoll organisieren? Zusätzlich zur Anzahl der fotografierten Rehe soll jede Fotofalle eine eindeutige ID haben (`Kamera_1`, ..., `Kamera 15`) und wir wissen, dass jeweils 5 Fotofallen in drei unterschiedlichen Revieren aufgestellt waren (Fotofalle 1 bis 5 in Revier A, Fotofalle 6 bis 10 in Revier B und Fotofalle 11 bis 15 in Revier C).

Ein erster, wenn auch nicht wirklich sinvoller, Ansatz könnte sein, dass wir für jede Fotofalle drei Objekte erstellen:

```
# 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.
```

Wenn wir so vorgehen würden, hätten wir 45 Objekte. Dieser Ansatz ist nicht sehr effizient und führt schnell zu einem unübersichtlichen *Workspace*[3]. Wir werden im Verlauf unterschiedliche Datenstrukturen kennenlernen.

Aufgabe 2: Variabeln

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.

[3] Als *Workspace* werden alle Objekte bezeichnet, die in einer R-Session zur Verfügung stehen.

```r
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 Funkion 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.

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

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

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

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

3 Vektoren

Die gute Nachricht zuerst, Sie haben bereits Vektoren erstellt in R (und dies wahrscheinlich nicht bewusst wahrgenommen). Wenn Sie nämlich eine Variable erstellen (z.B., `a <- 10`), wird ein Vektor der Länge eins erstellt, das heißt der Vektor enthält genau ein Element.

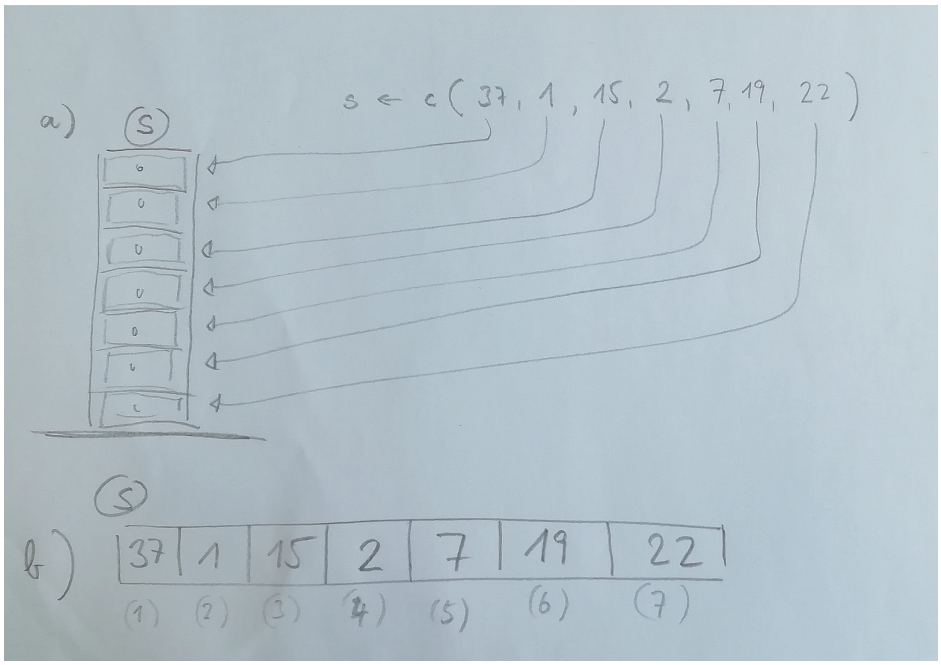


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Vektors in R.

Sie können sich Vektoren wie einen Schubladenschrank vorstellen (siehe auch Abbildung 3). Wichtig ist dabei, dass man in jede Schublade immer nur ein Element vom gleichen Typ verstauen kann. 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).

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

```
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, 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.

```
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
```

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
```

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).

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
```

[4] Weil 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.

```
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 sortiert[5].

```
sort(s)
```

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

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)
```

[5] Auch 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.

```
## [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` weg gelassen 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 Rehfotos und das Revier. Dabei werden zwei weitere Funktionen eingeführt (`paste` und `rep`).

Als erstes erstellen wir einen Vektor mit den Anzahlen Rehfotos. 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
```

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

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)
```

```
##  [1] "Revier A" "Revier B" "Revier C" "Revier A" "Revier B" "Revier C"
##  [7] "Revier A" "Revier B" "Revier C" "Revier A" "Revier B" "Revier C"
```

```
## [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
```

```
##  [1] "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier A" "Revier B"
##  [7] "Revier B" "Revier B" "Revier B" "Revier B" "Revier C" "Revier C"
## [13] "Revier C" "Revier C" "Revier C"
```

Aufgabe 5: Statistische Funktionen

1. Berechnen Sie den Mittelwert und Median für die Anzahl Fotos.
2. Erstellen Sie die folgende Ausgabe:

```
## [1] "Die mittlere Anzahl von Rehfotos beträgt 171.8 Rehe pro Standort."
```

3.4 Arbeiten mit logischen Werten

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

- Gleichheit (`==`)
- Ungleichheit (`!=`)
- Größer (`>`) und kleiner (`<`)
- Größer gleich (`>=`) und kleiner gleich (`<=`)

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

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

```
anzahl_rehe > 100
```

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

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.

`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
```

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, wieviele Rehe im Mittel auf allen Fotofallen aus Revier A gesehen wurden.

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. Es gibt zwei Möglichkeiten, was in die eckigen Klammern geschrieben werden kann: 1) die Positionen der Elemente die man zurückhaben möchte. Ist es mehr als ein Element, dann muss man einfach einen Vektor mit den Positionen übergeben; 2) ein logischer Vektor von der gleichen Länge, es werden alle Elemente zurückgegeben bei denen ein `TRUE` steht.

Abfragen des zweiten Elements in dem Vektor `anzahl_rehe`:

```
anzahl_rehe[2]
```

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

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

```
anzahl_rehe[c(1, 2, 3, 4, 5)]
```

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

```
# oder schneller
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)
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")
```

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

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

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

```
# oder
messungen_arten[messungen_arten == arten[1]]
```

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

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

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

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

Diese Herangehensweise wird aber für > 2 Elemente in `arten` sehr mühsam. Eine Alternative bietet der `%in%`-Operator. Dieser testet, ob Elemente eines Vektors in einem zweiten Vektors enthalten sind.

```
messungen_arten %in% arten
```

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

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

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

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

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

```
LETTERS
```

```
##  [1] "A" "B" "C" "D" "E" "F" "G" "H" "I" "J" "K" "L" "M" "N" "O" "P" "Q" "R" "S"
## [20] "T" "U" "V" "W" "X" "Y" "Z"
```

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).

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 bzw. 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 für lineare Modell 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. Bucheinträge erhalten den Wert 2 und 3 für Eichen.

Aufgabe 10: Faktoren

Verwenden Sie den Vektor `staedte` und erstellen Sie einen Vektor mit der Anordung 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 überspeichert 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 Opertator 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 * 10^308`. Größere Zahlen werden als unendlich gespeichert.

```
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.

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

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

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

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

```r
inf1 < 3
```

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

Aufgabe 11: Vektoren mit spezeillen Einträgen

Verwenden Sie den Vektor

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

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

Verwenden Sie den Vektor

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

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

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

Berechnen Sie den arithmetischen Mittelwert von `foo`.

6 data.frames oder Tabellen

Im vorherigen Teilabschnitt haben wir gesehen, wie mehrere Werte des gleichen Typs in einem Vektor zusammengefasst werden können. Abschließend wurde anhand des Fotofallenbeispiels gezeigt, wie Vektoren eingesetzt werden können. 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.frame`s 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
```

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 immer eine Spalte vom selben Typ sein muss, es aber für jede Beobachtung (=Zeile) Merkmale von unterschiedlichen Typen geben kann.

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 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 ein `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 Spalten. Wir können immer noch mit eckigen Klammern (`[]`) auf Elemente innerhalb

eines `data.frame`s 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.

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

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

Wenn wir die Anzahl fotografierter 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 fotografierter 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.frame`s 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
## 4 Kamera_4          91 Revier A
## 5 Kamera_5         138 Revier A
```

Aufgabe 13: Abfragen von Werten

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)
)
```

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

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

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

```
monitoring$anzahl_rehe
```

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

2. Einfach die Positionen für die Zeilen leer lassen und die Spalte abfragen.

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

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

3. Alle Zeilen und die Spalte explizit angeben.

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

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

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

Schlussendlich kann man einen data.frame auch mit logischen Vektoren abfragen. Ein Beispiel wäre, wenn wir alle Fotofallen abfragen möchten, die mehr als 100 Rehfotos gemacht haben. Der erste Schritt wäre abzufragen, ob eine Fotofalle mehr als 100 Rehfotos gemacht hat.

```
monitoring$anzahl_rehe > 100
```

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

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

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

```
##           ID anzahl_rehe   revier
## 1   Kamera_1         132 Revier A
## 3   Kamera_3         129 Revier A
## 5   Kamera_5         138 Revier A
## 6   Kamera_6         144 Revier B
## 8   Kamera_8         103 Revier B
## 9   Kamera_9         139 Revier B
## 10 Kamera_10         105 Revier B
## 12 Kamera_12         146 Revier C
## 14 Kamera_14         118 Revier C
## 15 Kamera_15         107 Revier C
```

Aufgabe 14: Abfragen von Werten 2

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

- Alle Spalten für Studierende die Forstwissenschaften studieren.
- Alle Spalten für Studierende die Chemie oder Physik studieren.
- 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 von Dritten, Sensoren oder sonstigen Quellen. Diese Daten müssen dann in R eingelesen werden. Daten liegen meist in einer tabellarischen Form und als Textdatei vor[6].

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 (auch working directory) von R an. Man kann das Arbeitsverzeichnis von R mit der Funktion `setwd()` setzen, es hat sich jedoch als sinnvoller erwiesen mit RStudio-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. Die Datei kann mit dem folgenden Befehl in R eingelesen werden. Hier wurde die Datei in einem RStudio-Projekt in ein Verzeichnis `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. Siehe dazu auch die Hilfeseite von `read.table()`. Diese kann entweder mit `?read.table` oder `help("read.table")` aufgerufen werden.

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

[6] Natürlich 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.

Aufgabe 15: Lesen und Schreiben von Datein

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

8 Erstellen von Abbildungen

Abbildungen sind ein elemantarer Baustein statistischer Analysen und deshalb von Beginn an Teil von R. Es gibt unterschiedliche Systeme einen Plot zu erstellen. In diesem Krus 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). Stellen sie sich die einfache Grafik Schnittstelle als zweidimensionale Leinwand vor, auf die Sie durch Code Ebene für Ebene Grafikelemente zeichnen:

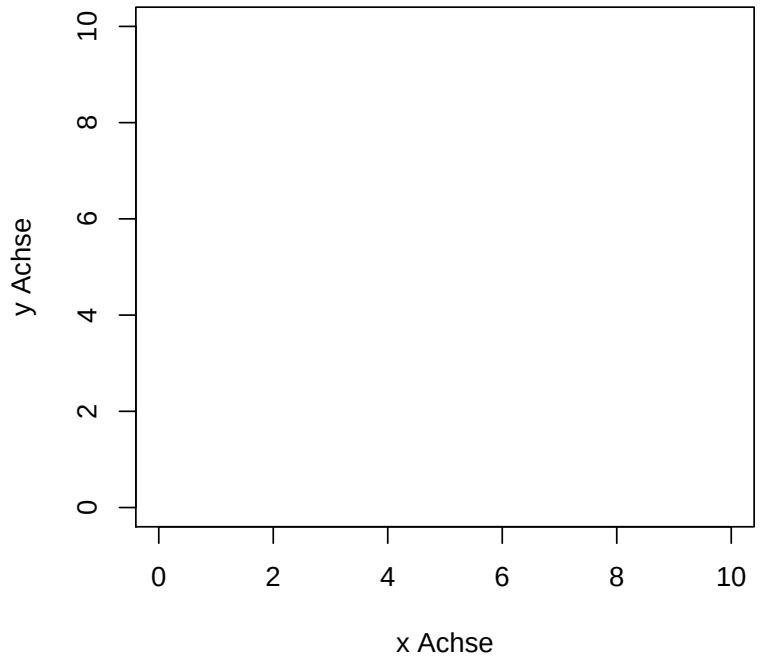
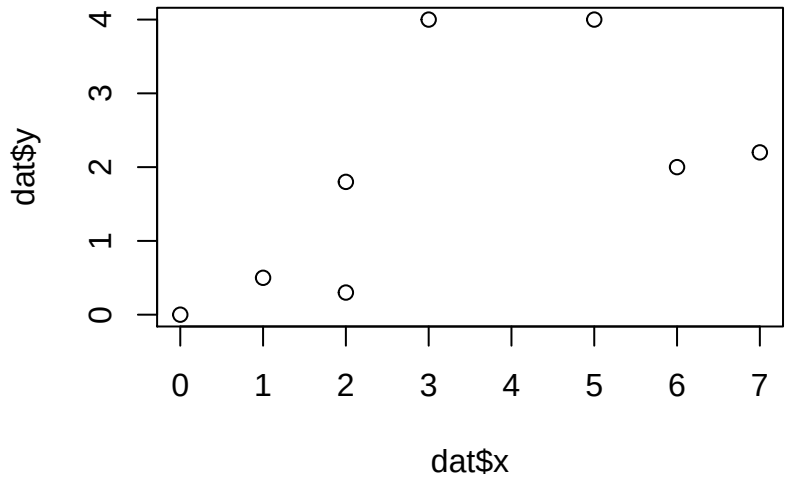


Abbildung 4: Beispiel einer leeren Grafikschnittstelle.

Hier drei einfache Bespiele für Abbildungen mit nur einer Ebene.

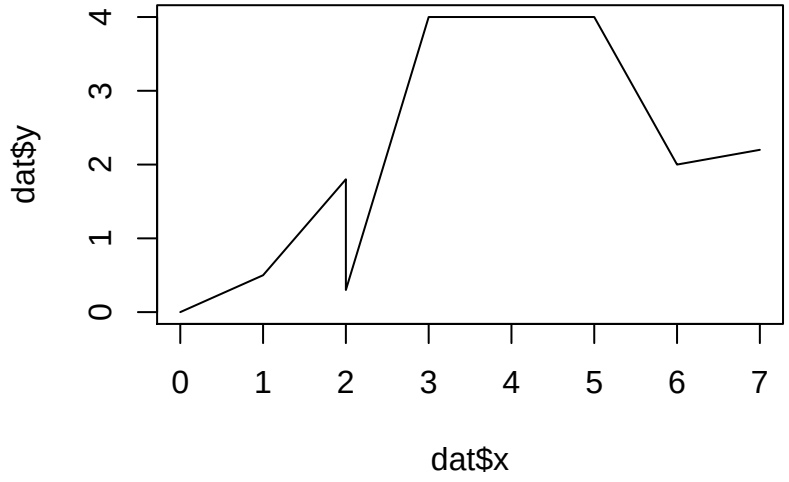
```
dat <- data.frame(
  x = c(0,   1,   2,   2, 3, 5, 6, 7),
  y = c(0, 0.5, 1.8, 0.3, 4, 4, 2, 2.2)
)

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



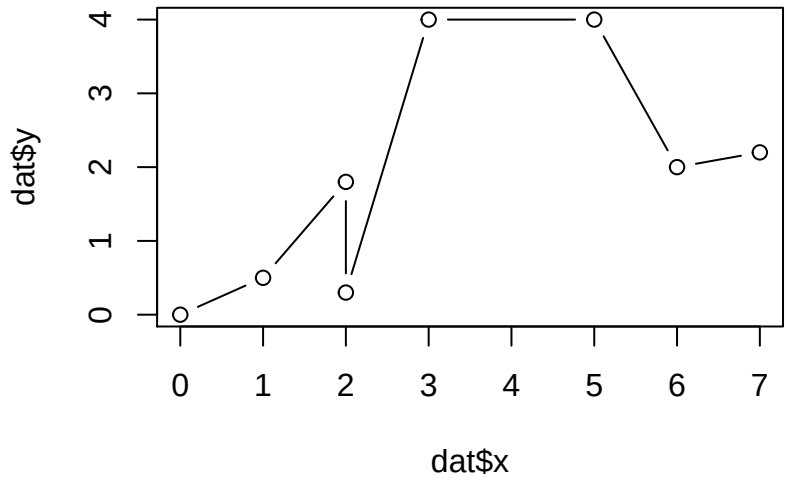
Mit dem Argument `type` kann die Art der Darstellung gesteuert werden. Der Standardwert ist `type = "p"` (für points). Wir können den selben Plot mit Linien (`type = "l"`)

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



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

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



darstellen.

Aufgabe 16: Base Plot 1

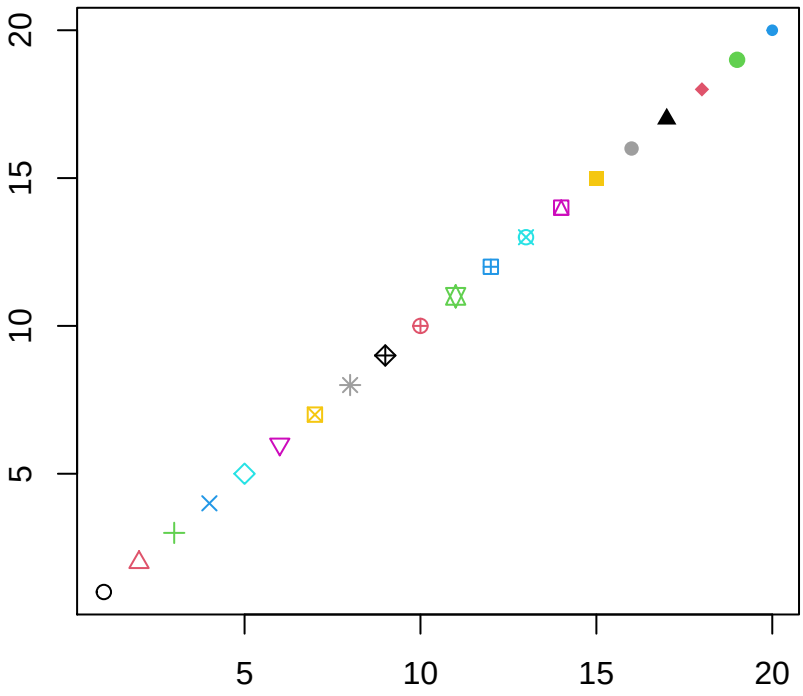
Laden Sie den Datensatz `bhd_1.txt` und erstellen Sie eine Abbildung mit dem Alter jedes Baumes auf der x-Achse und dem BHD auf der y-Achse.

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 und Einstellungen ändern. Die wichtigsten 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-lewel Ebene einzuzeichnen?
- `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.

```
plot(1:20, 1:20, pch = c(1 : 20), col = c(1 : 20), ann = FALSE)
```



Aufgabe 17: Anpassen von Plots

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

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

Über Low-Level Funktionen können einer Grafik Schnittstelle nacheinander Elemente hinzugefügt werden. 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.

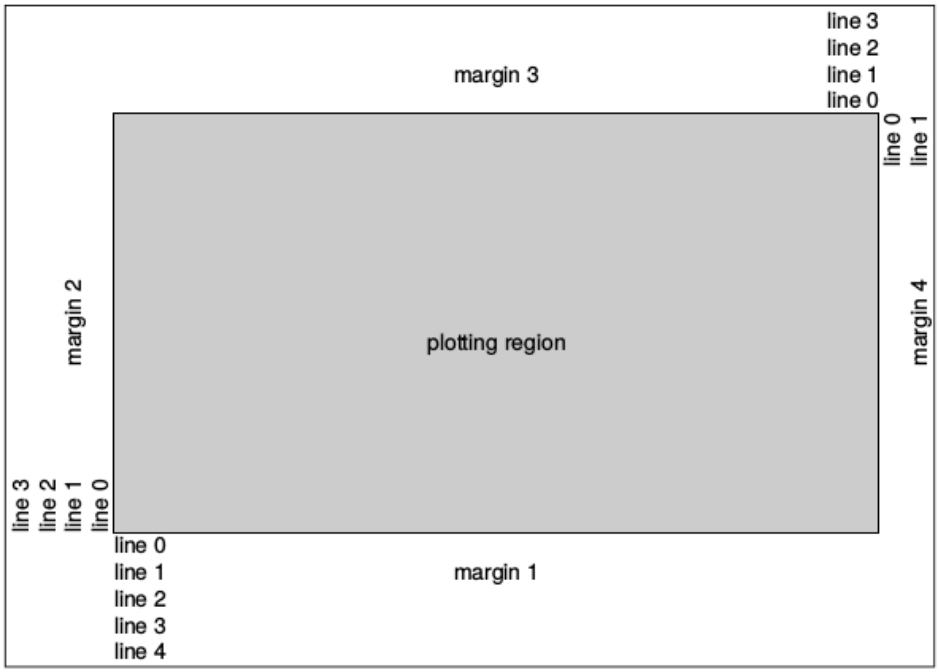


Abbildung 5: Grafikregionen eines base plots in R.

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.

```
par(mfrow = c(2,2))
```

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")
```

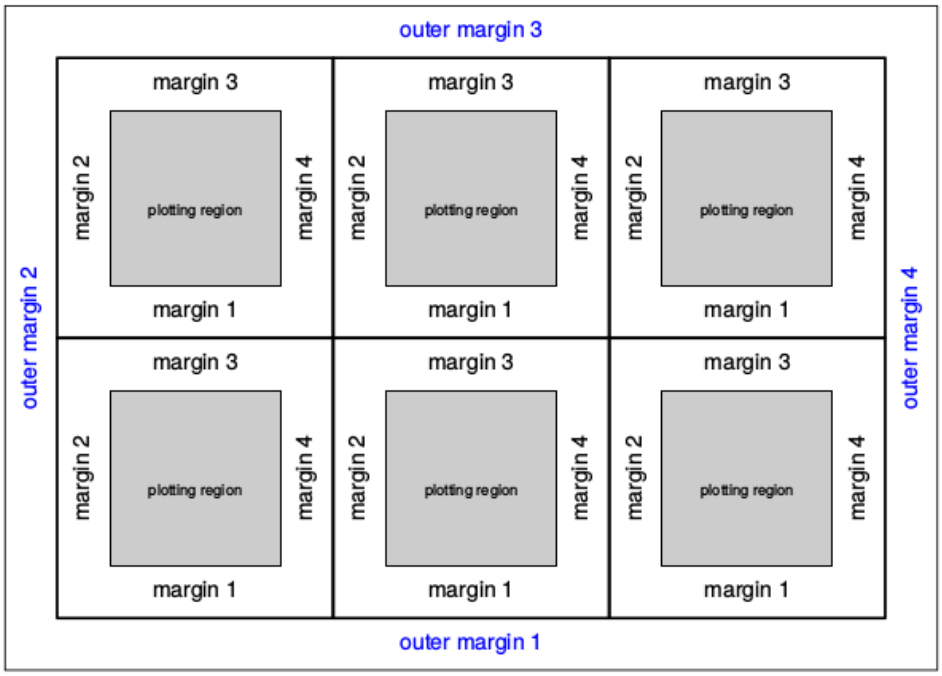
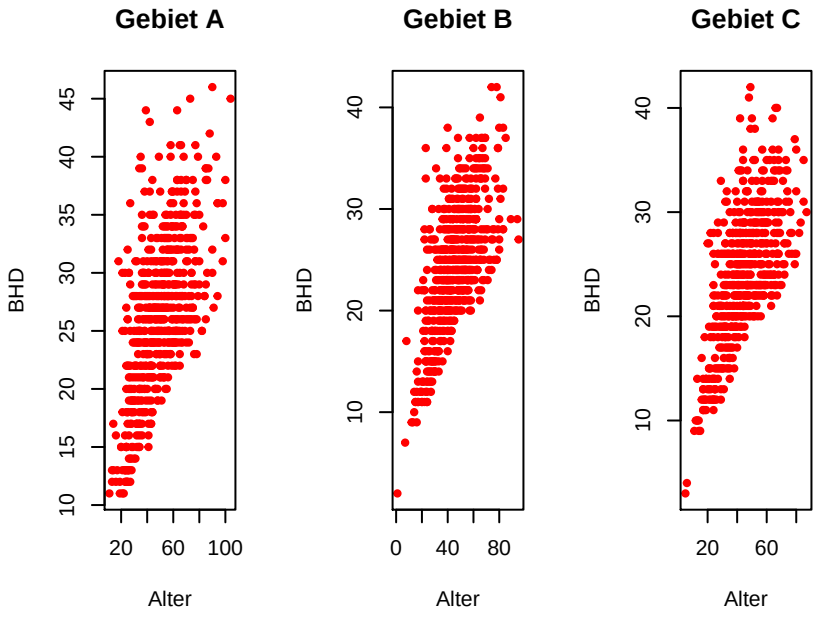


Abbildung 6: Schematischer Aufbau mehrere Diagramme in einem plot am Beispiel einer 3 x 2 Grafik.



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

8.1.2 Speichern von Abbildungen

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

sind

- `pdf()` oder
- `postscript()`.

Beispiele für Rastergrafiken sind

- `png()`,
- `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.

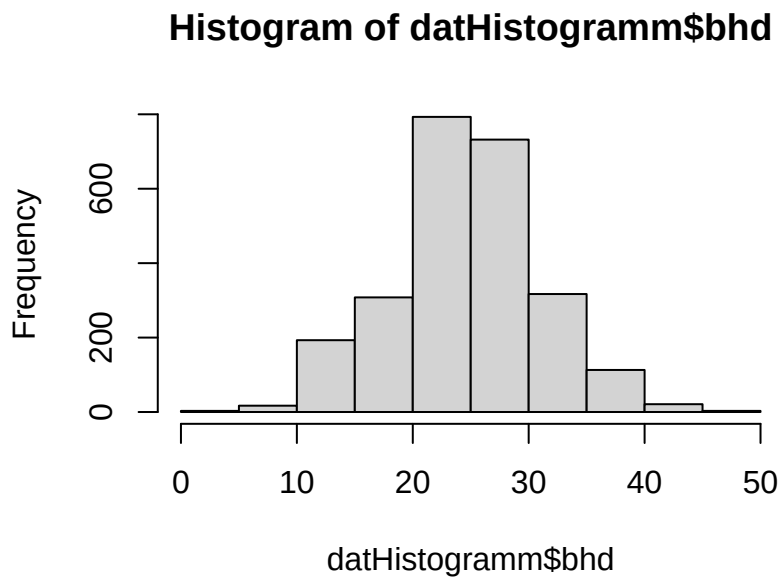
```
pdf("Grafik.pdf",  height = 5)          # Öffnen der PDF Schnittstelle
plot(bhd ~ alter, type = "b", axes = FALSE,   # Abbildung produzieren, Ohne Achsen
     data = dat)
axis(side = 1, line = 1)                # Achsen als High-Level Funktion hinzufügen
axis(side = 2, line = 1, las = 2)       #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

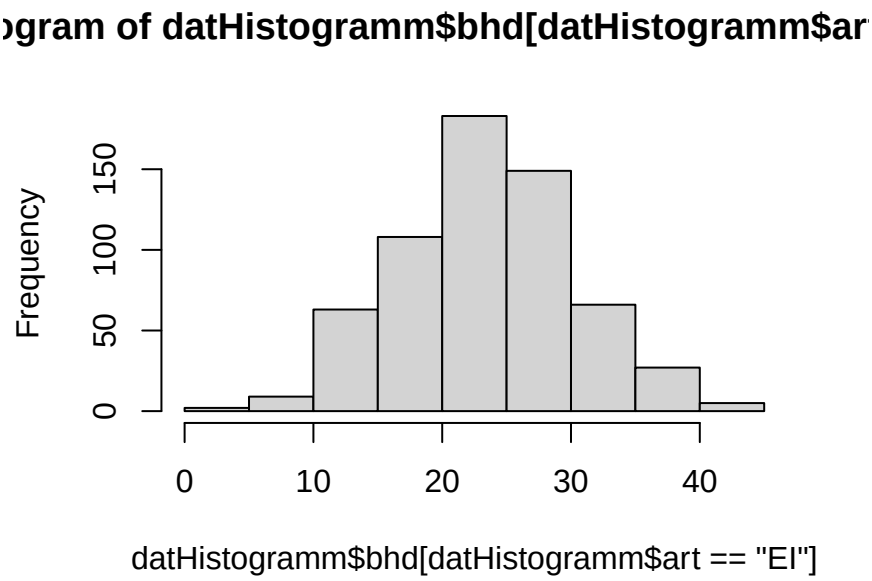
8.2 Histogramme

Neben den Streuungsdiagrammen (*Scatterplots*, oder auch einfach x-y Diagramm) sind *Histogramme* in der angewandten Datananalyse 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 Boxlots noch weiter vertiefen.

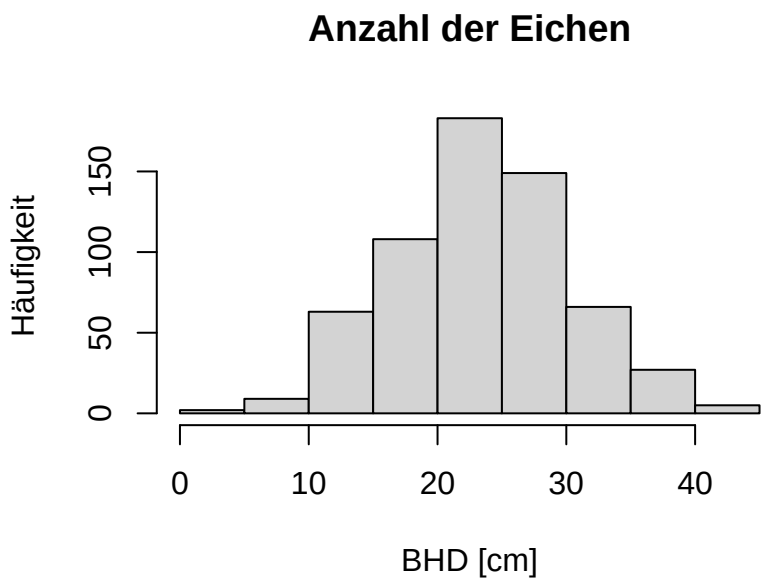
```
datHistogramm <- read.table("data/bhd_1.txt", header = TRUE)
# Über alle Baumarten
hist(datHistogramm$bhd)
```



881
```
# Nur für Eichen, Standardeinstellungen
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"])
```



882
```
# Nur für Eichen, geänderte High-Level Einstellungen
hist(datHistogramm$bhd[datHistogramm$art == "EI"],
     xlab = "BHD [cm]", ylab = "Häufigkeit",
     main = "Anzahl der Eichen")
```

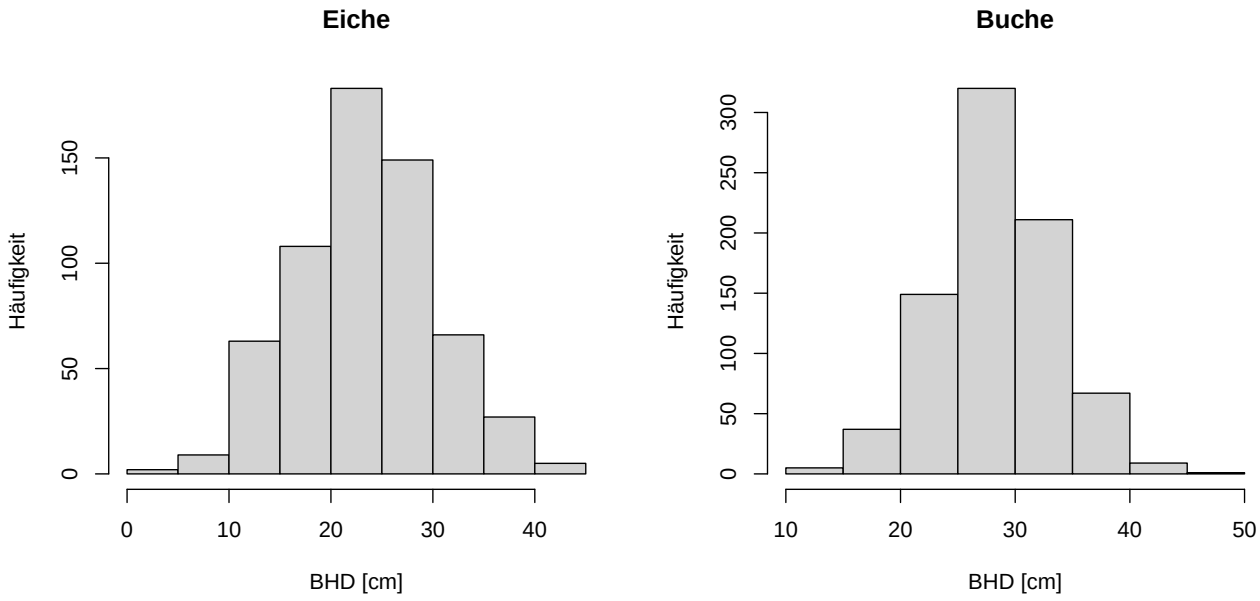


883

884 Eichen und Buchen im 2x1 Plot nebeneinander.

```
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")
```

885



886

```
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 letzen "Nicht-Ausreißer-Punkt". Diese Linie wird auch oft als *Whisker* bezeichnet.

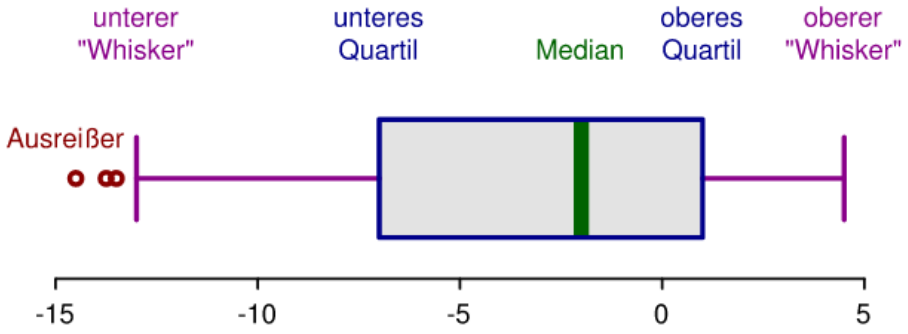
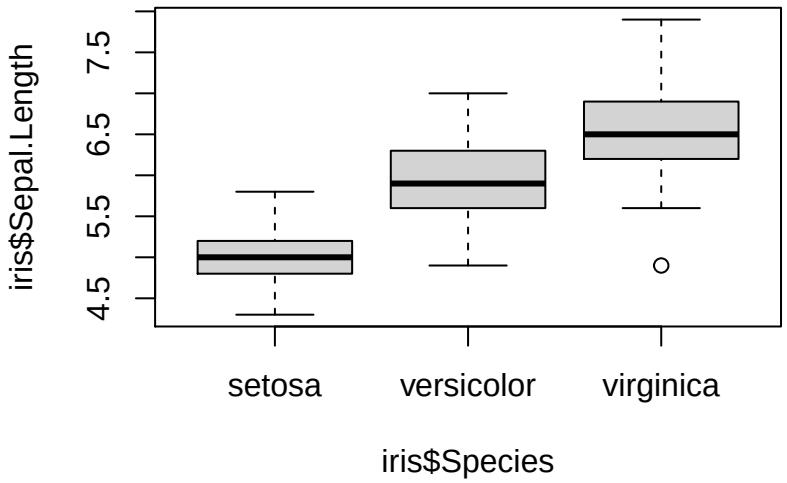


Abbildung 7: Schematische Darstellung eines Boxplots (Quelle: Von RobSeb - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14697172).

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

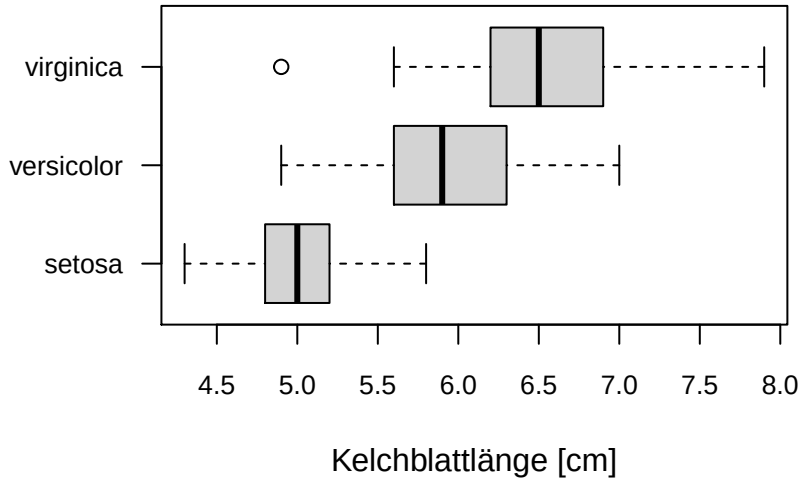
1. `boxplot(x)` erzeugt einen Boxplot für die Variable `x`.
2. `boxplot(x ~ y)` erzeugt einen oder mehrere Boxplots für `x` aber gruppiert nach `y`, dabei sollte `y` eine kategorische Variable sein. `x` und `y` können auch die Spaltennamen eines `data.frames` sein, dann muss das `data.frame` mit dem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

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



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 Studiengebiet?
- Erstellen Sie einen Plot mit 3 Subplots, jeweils mit einem Boxplot für die ersten drei Studiengebiete, 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 geladen[7]. Falls nicht schon geschehen, muss sie vorher installiert werden. Wir laden außerdem den Datensatz iris. Der Datensatz ist in R fest integriert. Siehe ?iris für mehr Informationen.

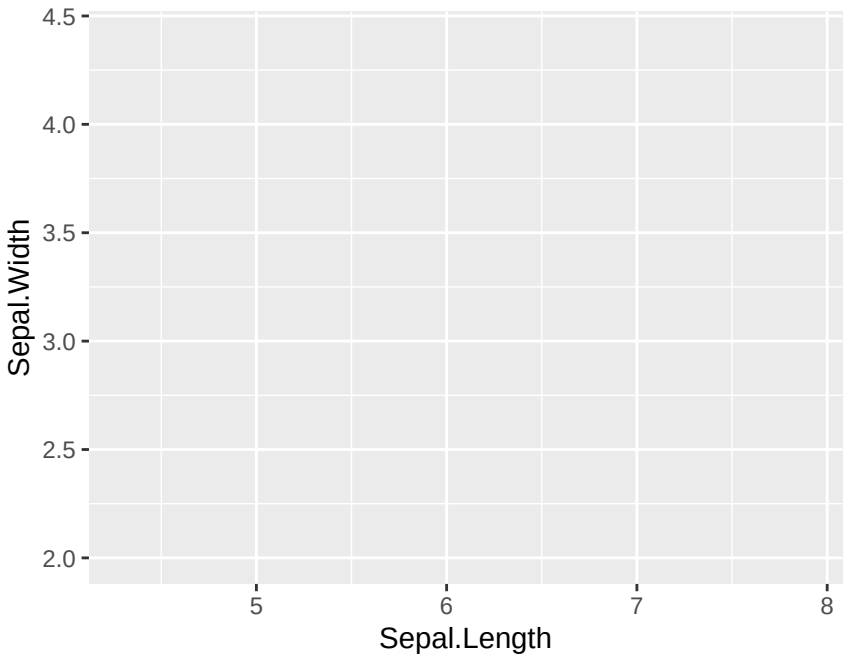
```
library(ggplot2)
head(iris)
```

```
##   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.

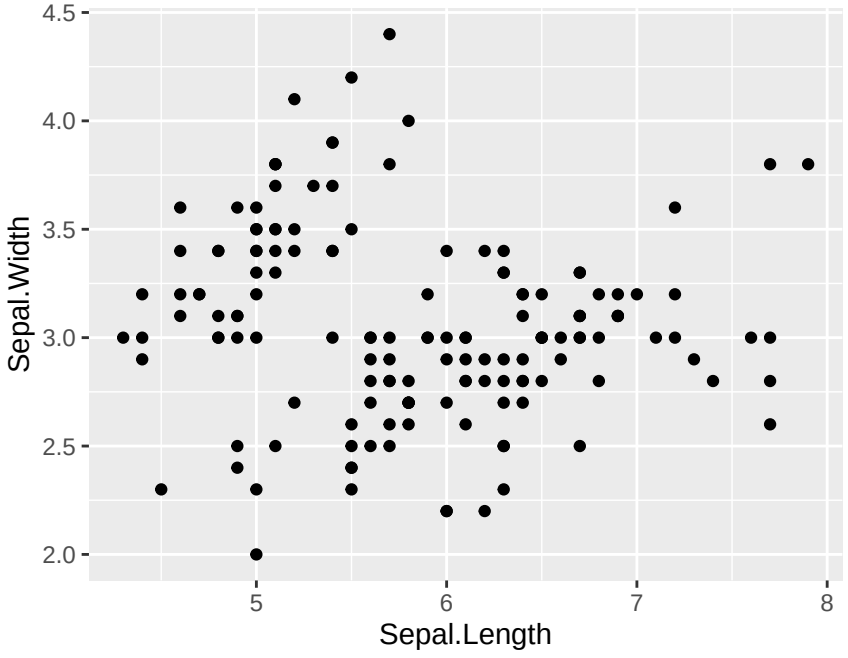
```
ggplot(iris, aes(x = Sepal.Length, y = Sepal.Width))
```

[7] Wir 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 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.



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()
```



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()` demm 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.

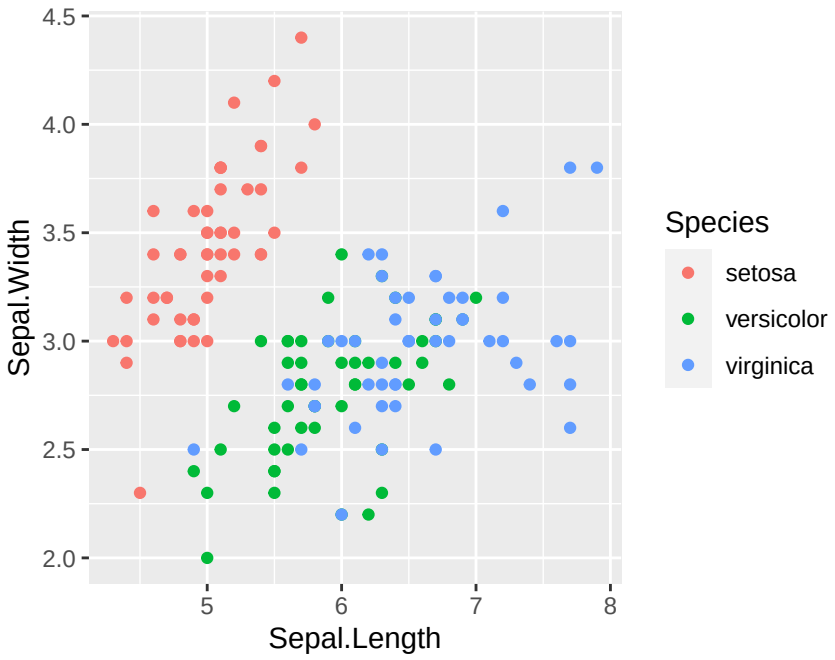
Welche Geometrie die richtige ist, richtet nach dem Typ der darzustellenden Variablen. Beispielsweise bietet sich `geom_point()` an, wenn man zwei kontinuierliche Variable darstellen möchte. Wenn man hingegen die Verteilung von einer kontinuirlichen Variable darstellen möchte, dann bietet sich ein Histogram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

Aufgabe 20: Abbildungen mit ggplot2

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

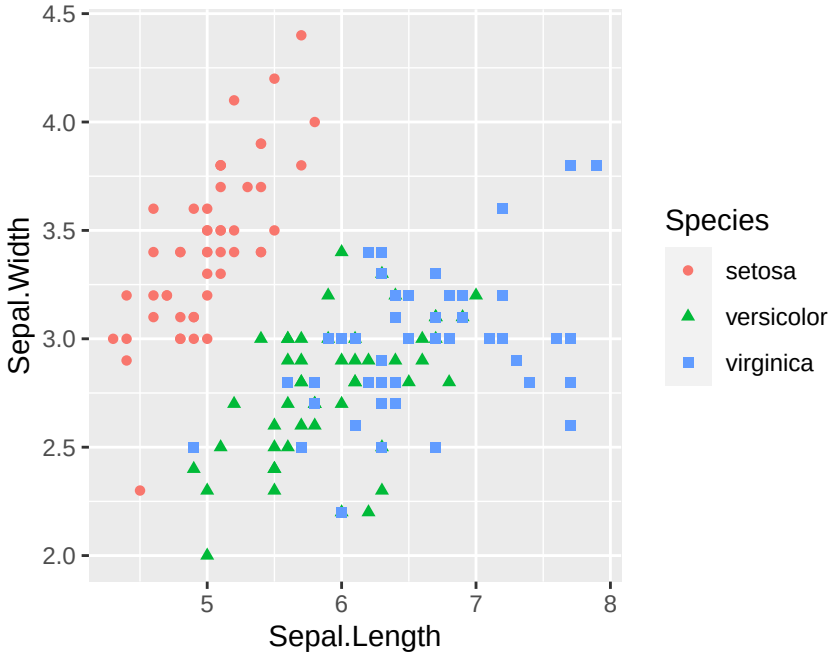
Eine der Stärken von `ggplot2` ist, dass man den Wert unterschiedlicher Variable auf unterschiedlichen Komponenten des Plots abbilden kann. Wir haben bis jetzt ein bzw. zwei Variable auf der x- und y-Achse abgebildet. Wir können aber ein weitere Variablen verwenden um das Aussehen des Plots zu beeinflussen. 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 Farbe[8]. Gleichermaßen 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()
```

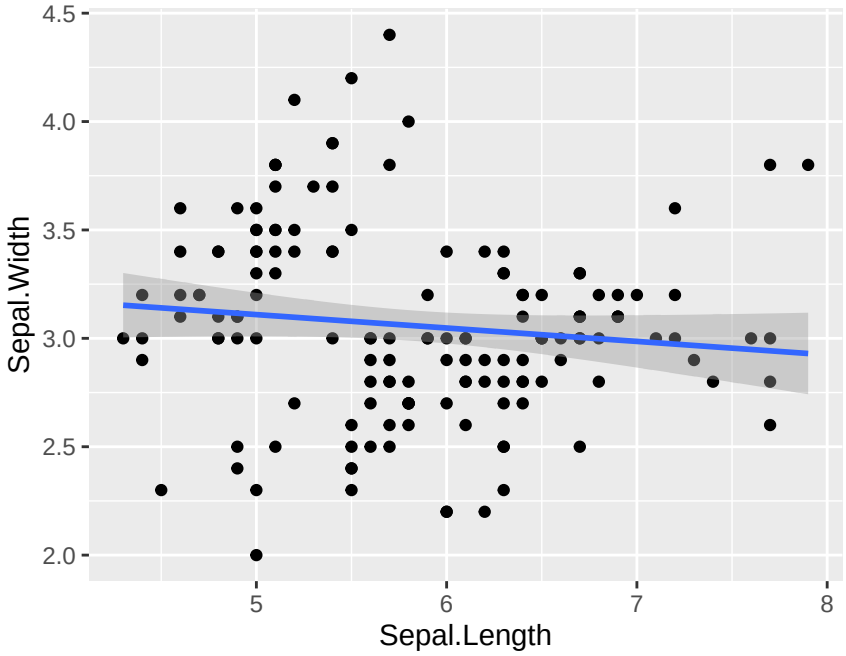


In dem Plot ist die Information zu der Art redundant (einmal als Farbe und einmal Symbolart).

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

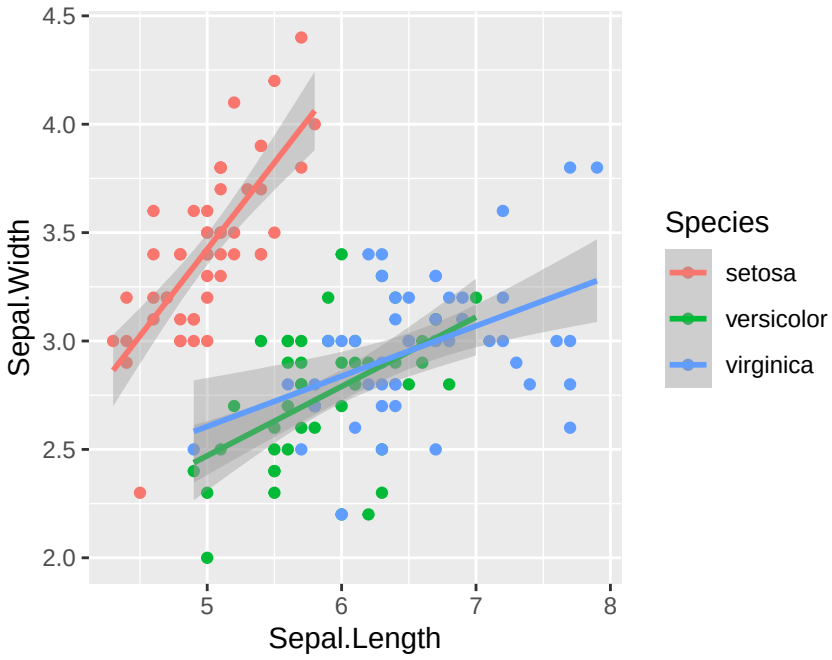
[8] Natürlich könnte man auch die Farbe anpassen.

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



Mit `method = "lm"` wird festgelegt, dass die Trendlinie gerade sein soll (es wird eine lineare Einfachregression angepasst). Wenn wird wieder eine gruppierende Variable einführen (z.B. die Beobachtungen nach Art auf 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")
```



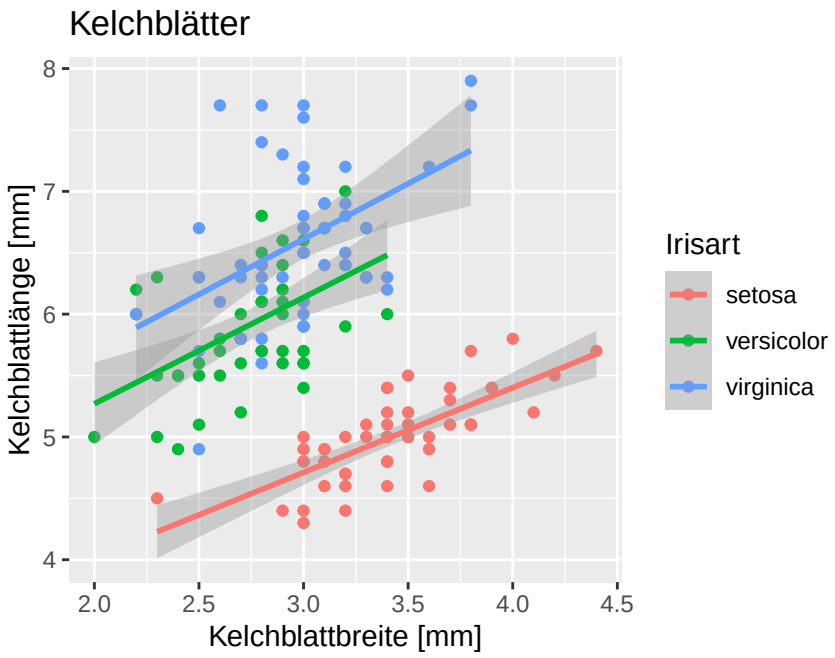
Aufgabe 21: Anpassen von Plots

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")
```

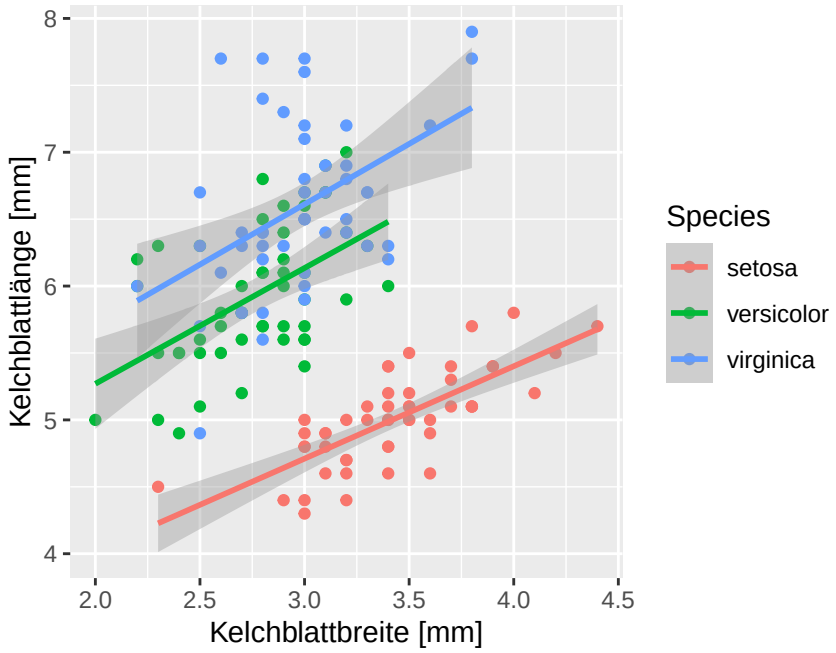


Statt einen langen Befehl zu tippen, kann ein `ggplot()` auch zwischengespeichert und wieder aufgerufen bzw. angepasst werden. Das ist vor allem sinnvoll, wenn mehrere Abbildungen auf dem selben Zwischenergebnis aufbauen sollen.

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

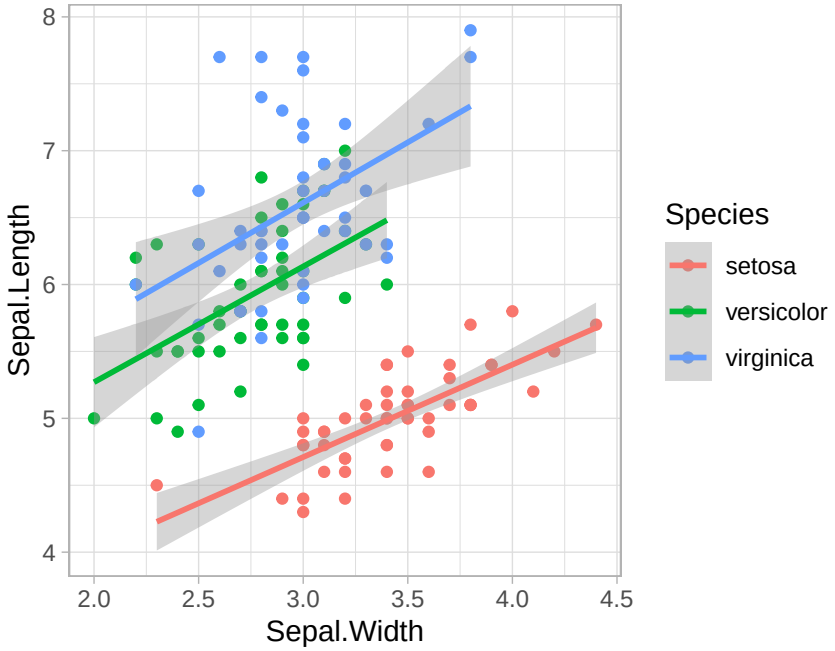
Wir können jetzt mit `p1` weiter arbeiten und beispielsweise eine Beschriftung hinzufügen.

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



Oder auch den ganzen Plot anpassen. Dafür gibt es *themes*. Es gibt eine Reihe von vorgefertigten *themes* oder man kann diese auch selber erstellen (das ist aber nicht Teil dieses Kurses).

```
p1 + theme_light()
```

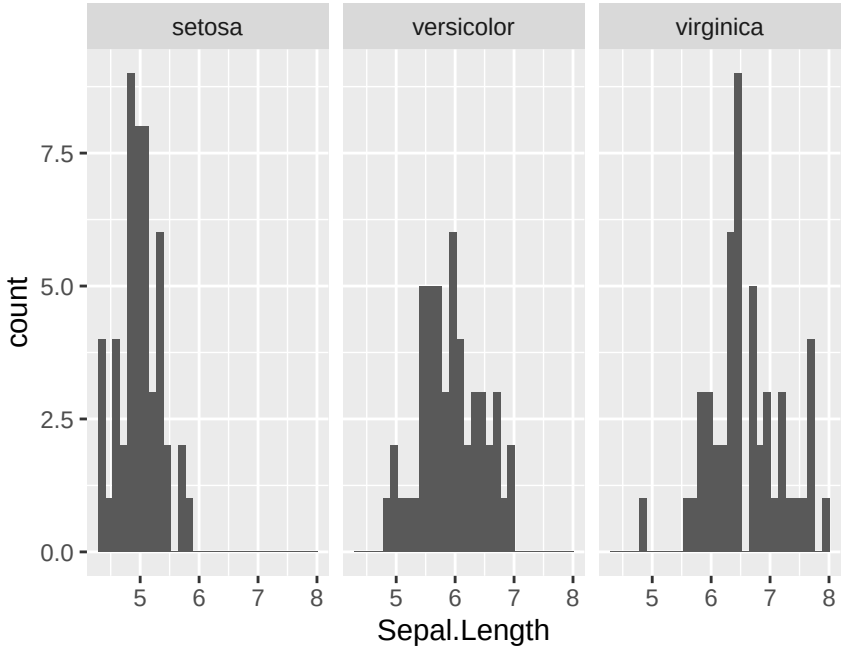


Weitere *themes* sind: `theme_bw()`, `theme_linedraw()` oder `theme_dark()`. Es gibt extra Pakete die viele zusätzliche weitere *themes* an bieten. Dazu gehört z.B. das Paket `ggthemes`.

8.4.1 Multipanel Abbildungen

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

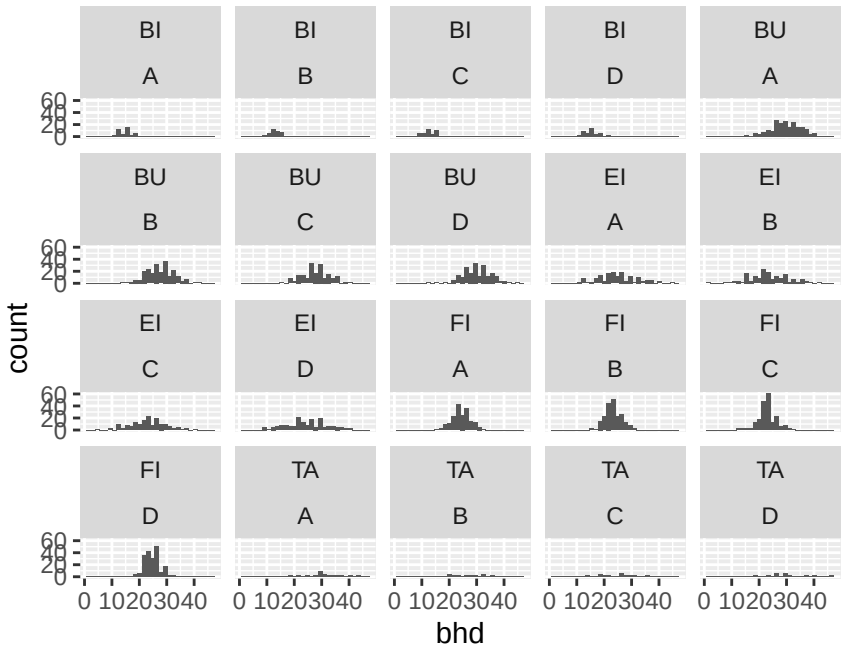
```
ggplot(iris, aes(Sepal.Length)) + geom_histogram() +
   facet_grid(~ Species)
```

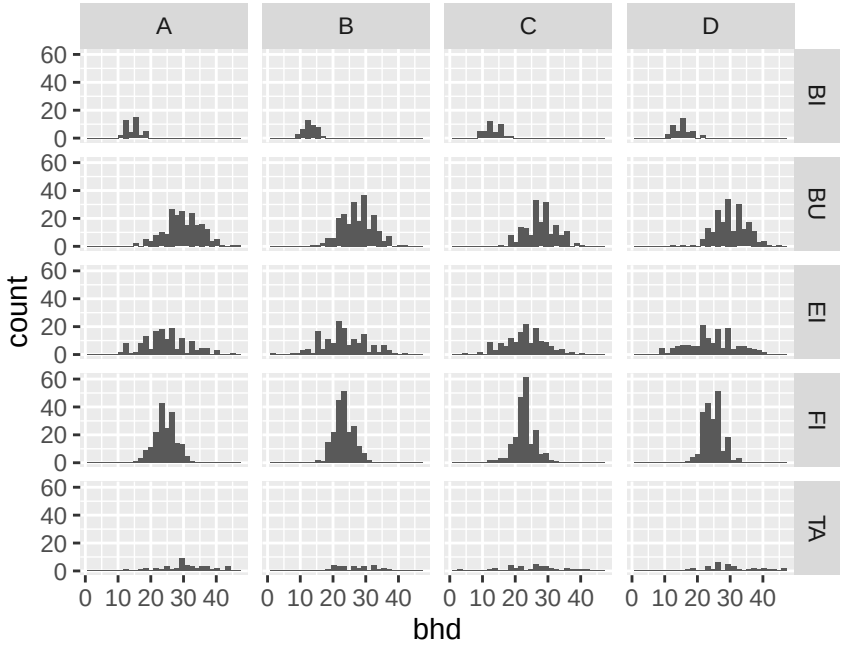


Die Funktion `facet_grid()` erzeugt einen *Grid*, während `facet_wrap()` für jedes Panel eine eigene Überschrift erzeugt.

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` an[9].

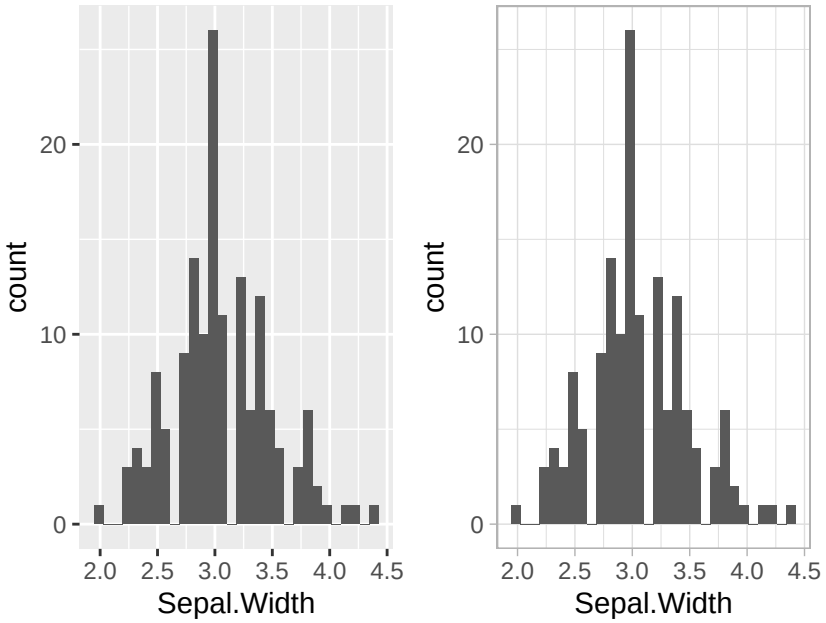
Als erstes können wir zwei (oder natürlich auch mehrere Plots) erstellen. Hier unterscheiden sich die Plots lediglich durch das Aussehen.

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

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

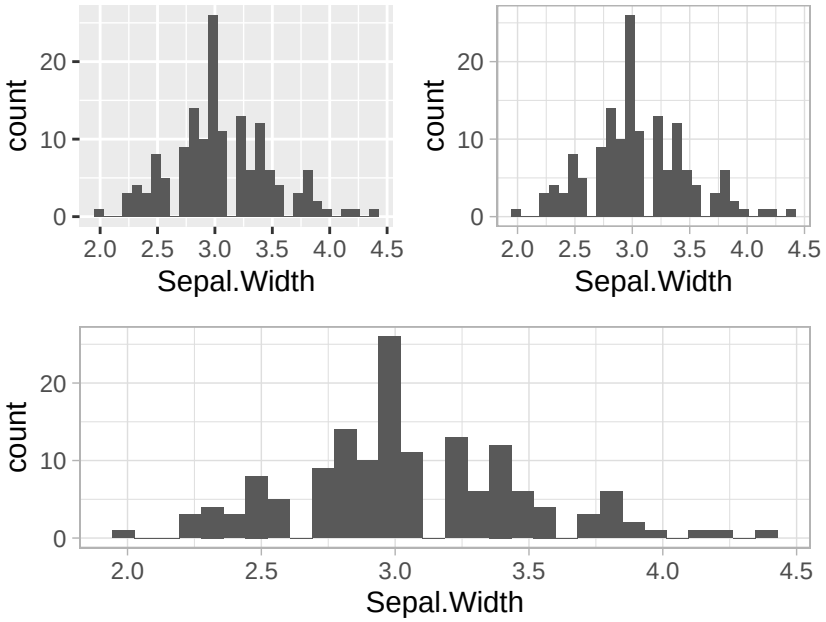
Dann müssen können wir diese Plots ebenfalls mit + zusammenfügen.

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



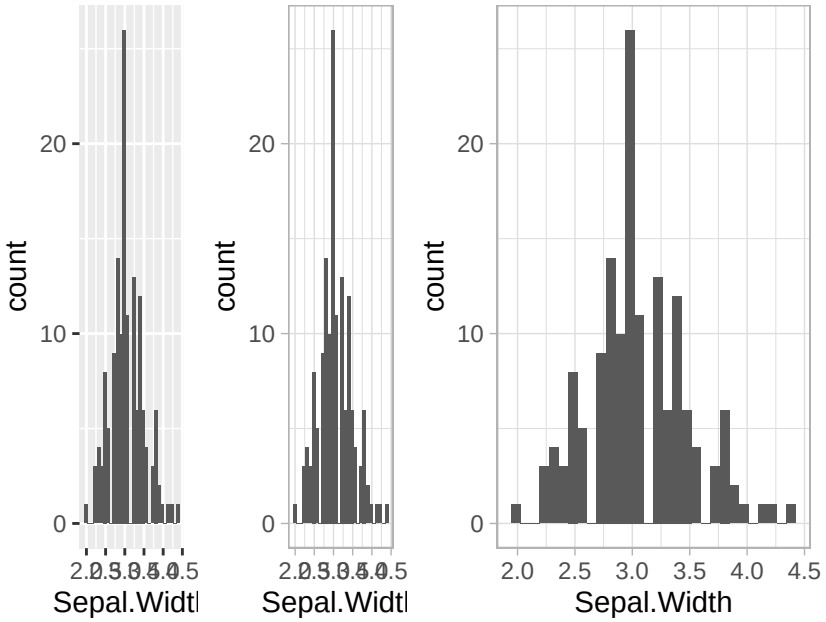
Natürlich können auch weitere Plots hinzugefügt werden (auch in unterschiedlichen Dimensionen):

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



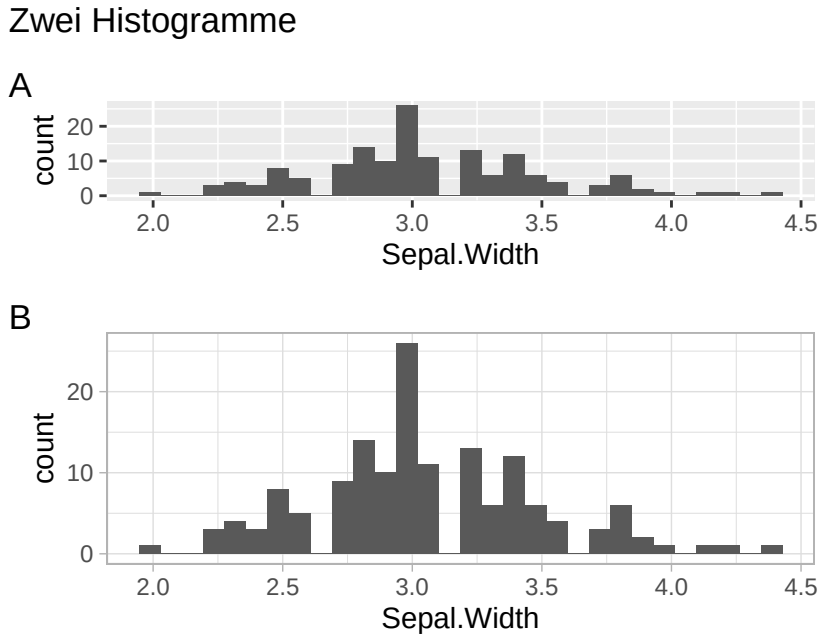
Des weiteren können mit | auch Plots gegenüber gestellt werden.

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



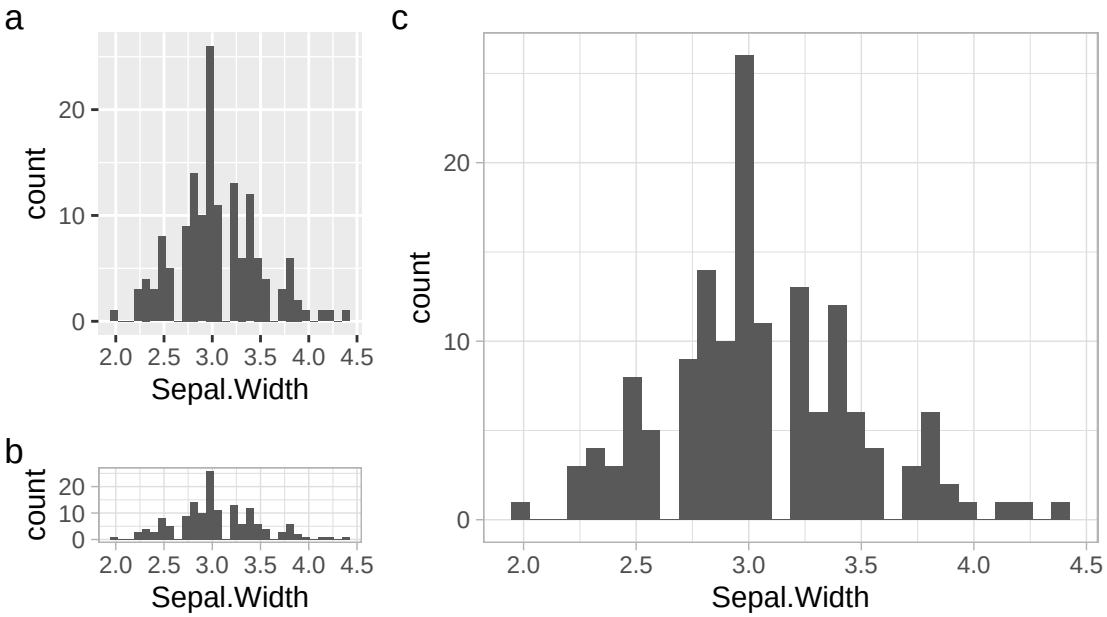
Weitere Optionen können mit `plot_layout()` und `plot_annotation()` angepasst werden. Mit `plot_layout()` kann die Anordnung der Plots bestimmt werden (z.B. über die Argument `nrow` und `ncol`), sowie deren *relative* Größe (über die Argumente `widths` und `heigths`). Mit der Funktion `plot_annotation()` 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")
```



Aufgabe 23: Mehrere Plots zusammefügen

Versuchen Sie die folgende Zusammenstellung der Plots nachzumachen:



8.4.3 Speichern von plots

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

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

9 Mit Daten arbeiten

9.1 dplyr eine Einführung

dpylr ist ein 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
- arragne
- 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, ]
```

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

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

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

```
##   bhd
## 1  50
## 2  29
## 3  13
## 4  23
## 5  25
```

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

```
##   bhd id
## 1  50  1
## 2  29  2
## 3  13  3
## 4  23  4
## 5  25  5
```

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

```
##   BHD id
## 1  50  1
## 2  29  2
## 3  13  3
## 4  23  4
## 5  25  5
```

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

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

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

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    1  29    30    290  660.5199
## 3  3    2  13    31    130  132.7323
## 4  4    2  23    24    230  415.4756
## 5  5    3  25    25    250  490.8739
```

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

```
##   id plot bhd alter mean_bhd
## 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
```

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 werden[10], 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

[10] In 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.

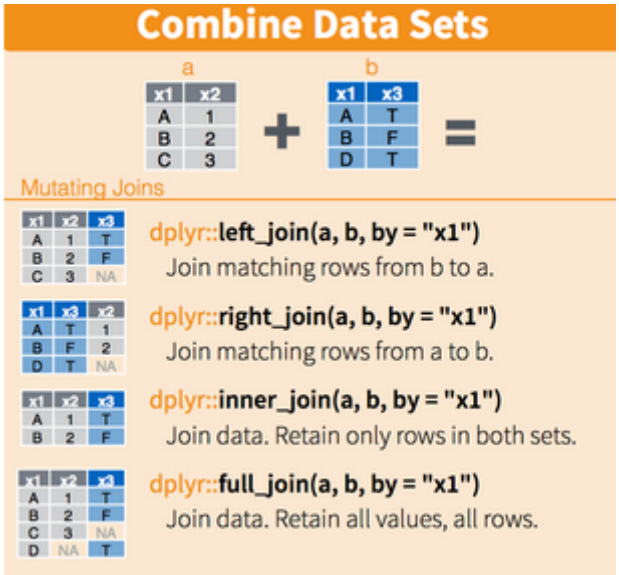


Abbildung 8: Joins (Quelle Rstudio)

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")
```

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

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

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

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

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

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

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

`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"))
```

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

Aufgabe 27: Verbinden von Daten

- 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 (=Mermalausprägung), 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 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
```

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
```

Aufgabe 28: Zeitliche Verlauf von BHDs

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

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.

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

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

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

```
## 1          5.1         3.5          1.4
## 2          4.9         3.0          1.4
## 3          4.7         3.2          1.3
```

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

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

```
##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length
## 1          5.1         3.5          1.4
## 2          4.9         3.0          1.4
## 3          4.7         3.2          1.3
```

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

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

```
##   Sepal.Length Sepal.Width Petal.Length
## 1          5.1         3.5          1.4
## 2          4.9         3.0          1.4
## 3          4.7         3.2          1.3
```

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

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

Sämtliche Auswahlen können mit `-` umgekehrt werden.

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

```
##   Sepal.Length Sepal.Width
## 1          5.1         3.5
## 2          4.9         3.0
## 3          4.7         3.2
```

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

```
##   Petal.Length Petal.Width Species
## 1          1.4         0.2  setosa
## 2          1.4         0.2  setosa
## 3          1.3         0.2  setosa
```

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

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

```
##   sep_width
## 1       3.5
## 2       3.0
## 3       3.2
```

Aufgabe 29: Auswählen von Spalten

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

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

9.7 Einzelne Beobachtungen abfragen (`slice()`)

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

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

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

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

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

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

```
##   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
```

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

```
##   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
```

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Und mit Gruppen:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

```
separate(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.

```r
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: non-numeric argument to binary 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 introduced by coercion
```

```
## [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 <- Ëva"` und `name <- "Meier"` haben und wir wollen eine neue Variable `full_name <- Ëva`

[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 Straßennummer 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)
```

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

Aufgabe 33: Arbeiten mit Text 2

Verwenden Sie den folgenden Vektor:

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

1. In wie vielen Wörtern kommt der Doppellaut `au` vor?
2. Ersetzen Sie in allen Wörtern alle `au` mit `_ _`.

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

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

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

```
##  [1] "Versicherung" "Methoden"     "Fluss"        "Rudel"        "B_ _m"
##  [6] "H_ _s"        "Foto"         "Auffahrt"     "Auto"         "Handy"
## [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 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.

[12] *to 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` verwenden[13].

```
anfang <- ymd("2020-03-18")
ende <- anfang + years(1)

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

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

[13] Alternativ 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 Vekotren oder mit mehren 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 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)`).

Aufgabe 35: Arbeiten mit Intervallen

Wie viele Einträge aus dem Vektor `v1` befinden sich in einem Intervall, das zwischen dem 1.3.2021 und dem 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) {kontrollstrukturen}

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 29) 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 Simulationen 99 Realisierungen erzeugt oder alle Elemente eines Vektors verarbeitet werden sollen, verwendet man eine `for`-Schleife. Die allgemeine Form der `for`-Schleife ist:

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

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

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

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

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

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

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

```
## [1] 4
## [1] 9
## [1] 25
```

Aufgabe 36: Schleifen 1

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

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

Die Funktion `for()` ermöglicht es, einen Befehl beliebig oft zu wiederholen. Z.B. der folgende Ausdruck zieht 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 iterieren[14]. 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
```

[14] Zur 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
}
```

Im folgenden Beispiel sollen die bisher abstrakt beschriebenen Vorgänge praktische Anwendung finden. In dem Beispiel wird zunächst durch zufälliges Ziehen einer Zahl aus dem Bereich eins bis sechs ein Würfelwurf simuliert. Anschließend wird der Würfelwurf mit einem if-Ausdruck kommentiert. Ist die Bedingung, es wurde eine Sechs gewürfelt, erfüllt, wird der Code innerhalb der geschweiften Klammern ausgeführt, ansonsten wird der Klammerinhalt ignoriert.

```
# Würfelwurf simulieren
x <- sample(1:6, 1)
# if-Konstrukt zur passgenauen Gratulation
if (x == 6) {
  print("Glückwunsch, eine Sechs!")
}
```

In den meisten Fällen ist es für R irrelevant, ob sich zwischen den verschiedenen Elementen Leerzeichen oder Zeilenumbrüche befinden. Bei dem else-Ausdruck dagegen wird ein Fehler erzeugt, wenn vor dem `else` nicht 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.")
}
```

```
## [1] "Beim nächsten Wurf klappt's bestimmt."
```

Aufgabe 38: Bedingte Programmierung

- Wenn keine 6 gewürfelt wurde, lassen Sie zusätzlich ausgeben welche Zahl gewürfelt wurde.
- Wiederholen Sie den Würfelwurf 10 Mal.

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 Hierachieebenen 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 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 Markdowndokument:

```
---
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).

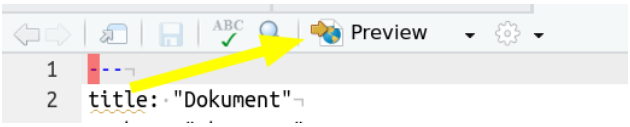


Abbildung 10: Kompilieren einer `md`-Datei.

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
```
```

````
a[1]
```
````

erzeugt

````
a <- 1:10
a[1]
````

Momentan wird noch kein Code ausgeführt, sondern lediglich der Code, als Code dargestellt. Rmarkdown bietet nun die Möglichkeit Code beim *kompilieren*[15] auszuführen. Dafür müssen wir nur einen Code-Block als R-Code-Block kennzeichnen.

````
```{R}
a <- 1:10
a[1]
```
````

erzeugt

```
a <- 1:10
a[1]
```

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

Beachte, die Variable `a` wird beim kompilieren erzeugt und steht dann R zur Verfügung. R-Code-Blöcke werden auch als Code Chunks bezeichnet. Diese Chunks können sehr genau angesprochen und angepasst werden. Einige wichtige Argumente sind:

- `echo`: Gibt an, ob der Quelltext angezeigt werden soll oder nicht.
- `result`: Gibt an, ob die Ergebnisse gezeigt werden sollen oder nicht.
- `eval`: Diese Option gibt an ob der Chunk ausgeführt werden soll oder nicht.

Aufgabe 40: Arbeiten mit Rmarkdown

Erstellen Sie eine neue Rmarkdown Datei mit dem Namen `test1.Rmd`. Erstellen Sie zwei Code-Chunks. Der erste soll nicht angezeigt werden und darin werden die Daten geladen (`bhd_1.txt`). Im zweiten Chunk plotten Sie das Alter der Bäume gegen den BHD. Was passiert mit dem Plot, wenn Sie die Datei kompilieren (drücken Sie dazu auf den `Knit`-Knopf; Abbildung 11).

Abbildung 11: Kompilieren einer `Rmd`-Datei.

[15] Unter kompilieren wird hier das Übersetzten 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 Arbeitem 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 modelieren 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 *Koordiantenbezugssystem* (*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[16].

14.3 Vektordaten in R

Das Paket `sf` stellt Klassen zum Abbilden von Features zur verfügen, 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).

[16] *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))
```

Daraus könne wir jetzt eine Geometriespalte für einen `data.frame` erstellen

```
geom <- st_sfc(list(goe, han, ber), crs = 4326)
```

Somit haben wir die Geometrie in der Variable `geom` gespeichert, aber noch keine dazugehörigen Attributdaten. 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)
)
```

In einem letzten Schritt möchten wir jetzt die Geometrie (`geom`) und die Attributdaten (`attr`) zusammenführen.

```
staedte <- st_sf(attr, geom = geom)
staedte
```

```
## Simple feature collection with 3 features and 3 fields
## geometry type:  POINT
## dimension:      XY
## bbox:           xmin: 9.732 ymin: 51.5413 xmax: 13.405 ymax: 52.52
## CRS:            EPSG:4326
##         name    bundesland einwohner                   geom
## 1 Goettingen Niedersachsen    119000 POINT (9.9158 51.5413)
## 2   Hannover Niedersachsen    532000  POINT (9.732 52.3759)
## 3     Berlin        Berlin   3650000   POINT (13.405 52.52)
```

Wir können nun mit `staedte` genau so arbeiten wie mit jedem anderen `data.frame` und die Geometrien werden immer 'berücksichtigt'. Zusätzlich kann man eine Reihe von geometrischen Operationen durchführen.

Wenn ein `data.frame` Punkten hat, kann man dies relative einfach mit der Funktion `st_as_sf()` "räumlich" machen. Für das vorherige Beispiel würden wir zuerst einen `data.frame` mit allen Informationen (zur 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:
## GEOGCS["WGS 84",
##     DATUM["WGS_1984",
##         SPHEROID["WGS 84",6378137,298.257223563,
##             AUTHORITY["EPSG","7030"]],
##         AUTHORITY["EPSG","6326"]],
##     PRIMEM["Greenwich",0,
##         AUTHORITY["EPSG","8901"]],
##     UNIT["degree",0.0174532925199433,
##         AUTHORITY["EPSG","9122"]],
##     AUTHORITY["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)
```

```
## Coordinate Reference System:
##   User input: EPSG:3035
##   wkt:
## PROJCS["ETRS89 / LAEA Europe",
##     GEOGCS["ETRS89",
##         DATUM["European_Terrestrial_Reference_System_1989",
##             SPHEROID["GRS 1980",6378137,298.257222101,
##                 AUTHORITY["EPSG","7019"]],
##             TOWGS84[0,0,0,0,0,0,0],
##             AUTHORITY["EPSG","6258"]],
##         PRIMEM["Greenwich",0,
##             AUTHORITY["EPSG","8901"]],
##         UNIT["degree",0.0174532925199433,
##             AUTHORITY["EPSG","9122"]],
##         AUTHORITY["EPSG","4258"]],
##     PROJECTION["Lambert_Azimuthal_Equal_Area"],
```

```
##     PARAMETER["latitude_of_center",52],
##     PARAMETER["longitude_of_center",10],
##     PARAMETER["false_easting",4321000],
##     PARAMETER["false_northing",3210000],
##     UNIT["metre",1,
##         AUTHORITY["EPSG","9001"]],
##     AUTHORITY["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 eine 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"))
```

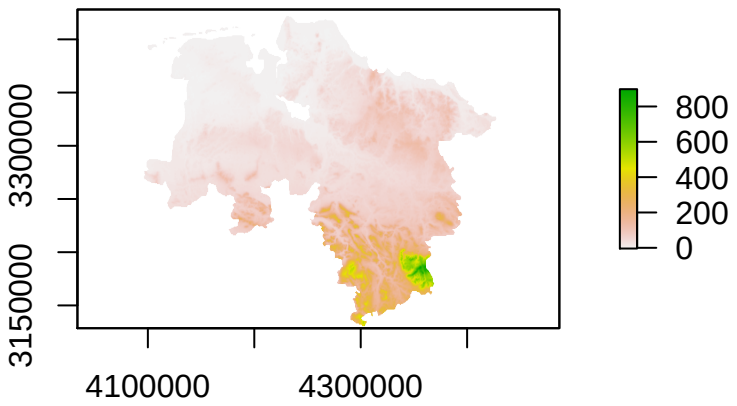
`dem` steht für *Digital Elevation Model* und ist ein Raster mit den Seehöhen in Niedersachsen mit einer 500-m-Auflösung. Wir können diese mit der Funktion `res()`[17] abfragen.

```
res(dem)
```

```
## [1] 500 500
```

Bzw. wir können den Raster auch plotten.

```
plot(dem)
```



[17] 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.

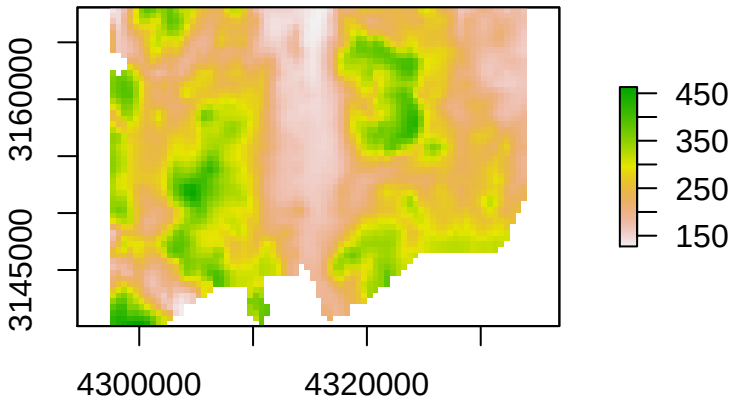
```
goe <- st_read(here::here("data/goettingen/stadt_goettingen.shp"))
```

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)
```

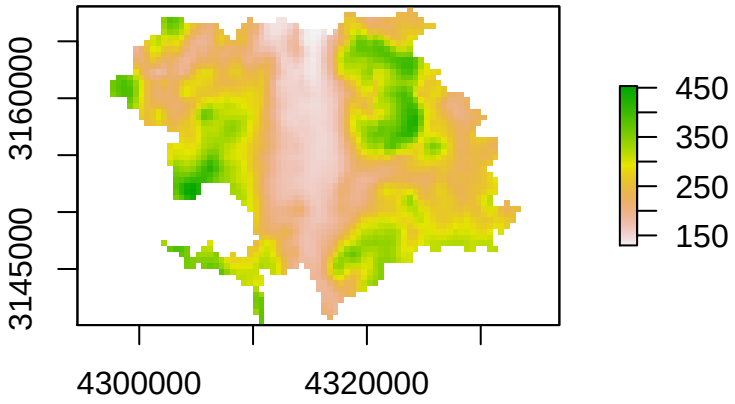
Mit der Funktion `corp()` kann der Raster `dem` auf Göttingen zugeschnitten werden.

```
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.

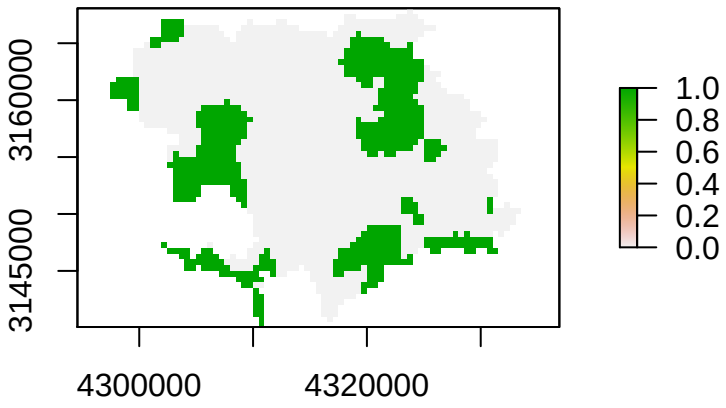
Ein analoges Vorgehen ist auch für Linien und Polygone möglich.

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 Werter 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
```

Aufgabe 41: Arbeiten mit Rastern

Verwenden Sie den Raster `wald.tif`, der auf einer 10 m Auflösung den Waldanteil jeder Rasterzelle angibt[18]. Der EPSG-Code für das KBS von `wald.tif` ist 3035. Nehmen Sie an, dass wenn der Waldanteil in einer Raster größer als 50 % ist, dass die Rasterzelle als Wald klassifiziert werden kann. Wie viel Prozent des Göttinger Stadtgebietes sind Wald? Wie ändert sich dieser Wert, wenn sie 70 % anstatt 50 % als Schwellenwert für Wald annehmen?

Aufgabe 42: Studiendesign

Mit der Funktion `st_sample()` können Sie innerhalb oder entlang eines Features zufällige Punkte legen. Das Argument `n` steuert die Anzahl Punkte und das Argument `type` wie die Punkte angeordnet werden. Für `type` sind für uns die Werte `type = "random"` (komplett zufällig), `type = "regular"` (regelmäßiger Grid) und `type = "hexagonal"` von Bedeutung (ein hexagonaler Grid, d.h. ein secheckiger Raster). Unglücklicherweise ist das Ergebnis von `st_sample()` erst eine Geometrie. Um daraus ein vollständiges `sf`-Objekt zu machen und problemlos weiter arbeiten zu können, müssen Sie nocheinmal die Funktion `st_as_sf()` ausführen.

Stellen Sie sich vor, dass wir die tatsächliche Waldbedeckung des Göttinger Stadgebietes **nicht** kennen und wir eine Studie durchführen, um den Anteil des Göttinger Stadgebietes, der mit Wald bedeckt ist herauszufinden. Erstellen Sie dafür einige unterschiedliche Stichproben (diese können in der Anzahl und Anordnung variieren).

Berechnen Sie für jedes Stichprobendesign den Anteil an Wald und ein dazugehöriges Konfidenzintervall (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 die Stichprobengröße). Nehmen Sie an, dass eine Rasterzelle Wald ist, sobald > 50 % der Rasterzelle mit Wald bedeckt ist.

Aufgabe 43: Räumliche Daten

Verwenden Sie den folgenden Datensatz:

```
set.seed(123)
df1 <- data.frame(
  x = runif(100, 0, 100),
```

[18] 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)
)
```

1. Erstellen Sie ein `sf`-Objekt aus `df1`.
2. Puffern Sie jeden Baum mit seinem Kronendurchmesser.
3. Berechnen Sie die Kronenfläche jedes Baumes. *Hinweis: Die Funktion `st_area()` könnte dafür hilfreich sein.*
4. Welcher Baum hat die größte Kronenfläche?
5. Finden Sie für jede Art, den Baum mit der größten Kronenfläche.

Aufgabe 44: Arbeiten mit räumlichen Daten

1. Lesen Sie das ESRI Shapefile `goettingen/stadt_goettingen.shp` ein.
2. Wie viele Features befinden sind in dem Shapefile?
3. Welches Koordinatenbezugssystem (KBS) hat das Shapefile?
4. Transformieren Sie das Shapefile in das KBS 3035.
5. Erstellen Sie eine neue Spalte `A` in der Sie die Fläche jeder Gemeinde/Stadt speichern.
6. Welche Gemeinde/Stadt (Spalte `GEN`) ist am größten?
7. Wählen Sie nun nur die Stadt Göttingen aus.

Aufgabe 45: Arbeiten mit räumlichen Daten 2

1. Lesen Sie erneut das ESRI Shapefile `goettingen/stadt_goettingen.shp` ein.
2. Lösen sie die Gemeindegrenzen auf (die Funktion `st_union()` könnte hier nützlich sein).
3. Wie groß ist das resultierende Feature?

15 FAQs (Oft gefragtes)

15.1 Arbeiten mit Daten

15.1.1 Einlesen von Exceldateien

Mit der Funktion `read_excel()` aus dem Paket `readxl` können Exceldateien direkt in R eingelesen werden. 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, μ_x ist der Mittelwert von x und σ_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 Ëi", `"Bu"`, `"Fi"`,`"Kie"` oder `"Dou"` ist. TIPP: Sie können den `%in%` Operator verwenden.

16.1 Arbeiten mit Daten

Verwenden Sie erneut die Datensätz 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 weißt 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%?

Aufgabe 54: Datenmanipulation 1

1. Laden Sie nun zusätzlich die Datei `ozelote_fanghistorien.csv` und speichern Sie diese in die Variable (`fh`). In diesem `data.frame` gibt es für jede Session eine Spalte (`V1` bis `V10`). Eine `1` bedeutet, dass mindestens ein Ozelot fotografiert wurde und eine 0 bedeutet, dass kein Ozelot in diesem Zeitraum fotografiert wurde. `NA` heißt, dass die Kamera nicht aktiv war.
2. Wählen Sie nur das 3. Fangereignis (das ist die Spalte `V3`).
3. Wie viele Kameras waren beim 3. Fangereignis aktiv?
4. Vergleichen Sie anhand einer Abbildung, ob sich die Distanz zum Fluss (Spalte `dist_fluss`) zwischen Standorten mit Fotos (`V3 == 1`) und Standorten ohne Fotos (`V3 == 0`) unterscheidet.

Aufgabe 55: Datenmanipulation 2 (etwas knifflig)

1. Verwenden Sie erneut die Daten zu den Fotofallenstandorten und Fanghistorien der Ozelote.
2. Finden Sie alle Fotofallenstandorte an denen ≥ 3 Ozelote fotografiert wurden?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit an Ozelotfotos (pro Fotofallenstandort) und der 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.

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.