Blockpraktikum zur Statistik mit R

26. März 2012

Sören Gröttrup

Institut für Mathematische Statistik
Universität Münster
SS 2012

Gliederung

1. Organisation und erste Schritte in R
   - Literatur- und sonstige Hinweise
   - Programmstart und Befehlsmodus
   - Funktionen und Argumenttypen
   - Variablen und Skripte
2. Datenstrukturen
   - Vektoren
   - Matrizen
   - Datentabellen
   - Listen
   - Arrays, Zeitreihen, ...
   - Einlesen aus externen Dateien
3. Programmierung
   - Funktionen in R schreiben
   - Schleifen und Abfragen

Gliederung

1. Organisation und erste Schritte in R
   - Literatur- und sonstige Hinweise
   - Programmstart und Befehlsmodus
   - Funktionen und Argumenttypen
   - Variablen und Skripte
2. Datenstrukturen
   - Vektoren
   - Matrizen
   - Datentabellen
   - Listen
   - Arrays, Zeitreihen, ...
   - Einlesen aus externen Dateien
3. Programmierung
   - Funktionen in R schreiben
   - Schleifen und Abfragen

Organisation

- 10:00 - 18:00 im SRA: Theorie und betreute Aufgabenbearbeitung
- Freitag Vormittags 10:00 - 12:00 Zeit für Aufgabenbearbeitung
- Mittagspause: ca. 12:15 - 14:00
- Es darf/soll in 2er Gruppen gearbeitet werden, um die Aufgaben zu lösen
- Materialen (Übungszettel, Folien, Lösungen, ...) befinden sich auf der Praktikums-Homepage: `http://wwwmath.uni-muenster.de/statistik/lehre/SS12/PrakStat/`

Literatur

Silke Ahlers
Einführung in die Statistik mit R
http://wwwmath.uni-muenster.de/statistik/lehre/SS12/PrakStat/Skript.pdf

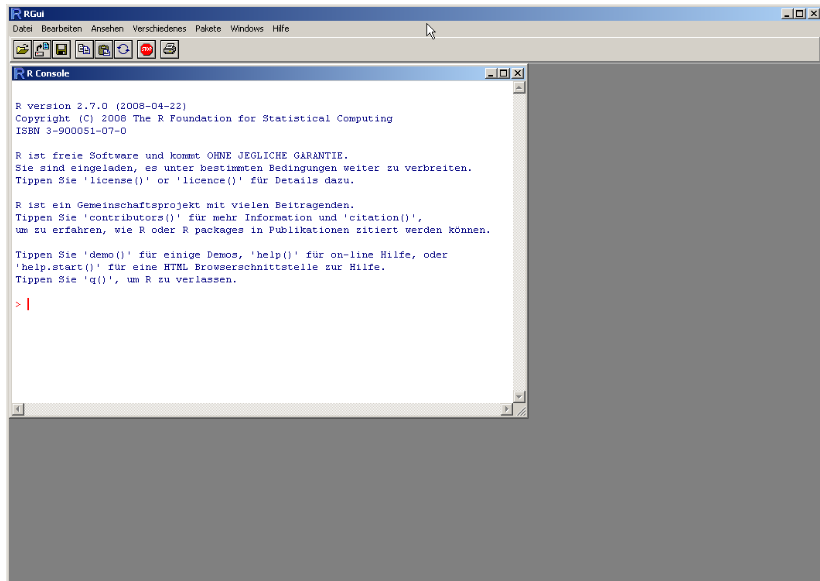
Peter Dalgaard
Introductory Statistics with R
Springer

Christine Duller
Einführung in die nichtparametrische Statistik mit SAS und R
Springer

Fahrmeir, Künstler, Pigeot, Tutz
Statistik. Der Weg zur Datenanalyse
Springer

Programmstart

- Loggen Sie sich unter CentOS ein
- Öffnen Sie eine Konsole
- Führen Sie `rdesktop -f zivtserv.uni-muenster.de` aus
- Loggen Sie sich nun unter Windows ein
- Starten Sie R (Start → Programme → R)


RGui
Datei Bearbeiten Ansehen Verschiedenes Pakete Windows Hilfe
R Console
R version 2.7.0 (2008-04-22)
Copyright (C) 2008 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0
R ist freie Software und kommt OHNE JEGLICHE GARANTIE.
Sie sind eingeladen, es unter bestimmten Bedingungen weiter zu verbreiten.
Tippen Sie 'license()' or 'licence()' für Details dazu.
R ist ein Gemeinschaftsprojekt mit vielen Beitragenden.
Tippen Sie 'contributors()' für mehr Information und 'citation()',
um zu erfahren, wie R oder R packages in Publikationen zitiert werden können.
Tippen Sie 'demo()' für einige Demos, 'help()' für on-line Hilfe, oder
'help.start()' für eine HTML Browserschnittstelle zur Hilfe.
Tippen Sie 'q()', um R zu verlassen.
>

Warum R als Statistiksoftware nutzen?

- Freie Software (kostenfrei, offen)
- Plattformunabhängig
- Funktionsbibliotheken für viele Anwendungen
- Erweiterbarkeit & Flexibilität
- Datenschnittstelle zu SPSS, SAS u. a. Statistikdatenformaten
- Gute Dokumentation & Online-Hilfen

Befehlsmodus

- R bietet eine interaktive Umgebung, den *Befehlsmodus*, in dem man Daten direkt eingeben und analysieren kann
- Befehlsmodus dient als *Taschenrechner*, z. B. können die Grundrechenarten `+`, `-`, `*`, `/` direkt eingegeben werden
- Zum Potenzieren muss ^ benutzt werden

Beispiel

- `4+5*5.7`
- `5/6-2`
- `2^3`

Mathematische Funktionen

- Die Eingabe `2^0.5` liefert das Ergebnis $2^{0.5} = \sqrt{2} \cong 1.414214$
- Einfacher: Eingabe von `sqrt(2)` (sqrt = square root)
- Auch andere mathematische Funktionen sind bereits in R implementiert, etwa Logarithmus, Sinus, Cosinus, ...

Beispiel

- `tan(7/8)`
- `exp(3.72)`
- `abs(sin(5))`

- Übersicht wichtiger Funktionen: http://wwwmath.uni-muenster.de/statistik/lehre/SS12/PrakStat/R-Befehle.pdf

Obligatorische und optionale Argumente einer Funktion

Zwei verschiedene Typen von Funktionsargumenten: *obligatorische* und *optionale*.

Beispiel:

- Funktion `round(x,digits)` rundet die Zahl `x` auf `digits` Stellen
- Die zu rundende Zahl `x` ist hierbei ein *obligatorisches Argument*
- `digits` dagegen ist *optional* mit Standardwert 0, d. h. wird es nicht im Funktionsaufruf übergeben, so rundet R auf eine ganze Zahl

Beispiel

- `round(x=sqrt(2), digits=3)`
- `round(x=sqrt(2))`

Argumentnamen

- Kennt man die Reihenfolge der Argumente im sogenannten *Kopf* der Funktion, so kann man Werte direkt eingeben
- Andernfalls: Eingabe mit „Name = ·“ (Reihenfolge spielt keine Rolle)

Beispiel

- `round(sqrt(2),3)`
- `round(digits=3,x=sqrt(2))`

Hilfeseiten

- Welche Argumente eine Funktion besitzt, lässt sich mit den Hilfeseiten herausfinden: `help(round)` oder kürzer `?round`
- Mit `args` lässt sich herausfinden, welche Argumente eine Funktion erhält, welche davon optional sind und welche Standardwerte sie in diesem Fall besitzen

Beispiel

- `help(cos)`
- `?choose`
- `args(round)`

Variablenzuweisung I

- Will man mit dem Resultat einer Funktionsauswertung weitere Berechnungen durchführen, so ist es sinnvoll das Ergebnis einer Variablen zuzuweisen
- Dies geschieht mit dem *Zuweisungsoperator* `<-`
- Links vom Operator steht der Name der Variablen, dem die Daten zugeordet werden sollen, z. B. `y <- tan(7/8)`
- Eingabe des Variablennames im Befehlsmodus ruft Inhalt der Variablen auf

Beispiel

- `y <- tan(7/8)`
- `y`
- `y+y`
- `y <- 3*y`
- `y`

Variablenzuweisung II

- R achtet auf Groß- und Kleinschreibung: Die Eingabe von `Y` liefert einen Fehler
- Variablennamen dürfen aus Buchstaben, Zahlen und dem Punkt „.“ bestehen
- Sie beginnen aber immer mit einem Buchstaben
- Übergabe nach rechts mit `->`

Beispiel

- `2*y->z`
- `z`

Variablen im Workspace

- Auflistung aller im Workspace benutzten Variablen: `ls()`
- Variable löschen: `rm()`

Beispiel

- `ls()`
- `rm(z)`
- `z`

Skripte

Eine längere Funktion oder eine Abfolge von vielen Befehlen, sollten nicht direkt im Befehlsmodus definiert werden, sondern in einem *Skript*

- Unter *Datei* → *Neues Skript* kann man ein neues Skript erstellen
- Befehle ausführen: Markieren und `Strg + R` drücken
- Kommentare schreiben mit `#`, alle Zeichen dahinter werden ignoriert und nicht im Befehlsmodus ausgeführt
- Mit `Strg + S` speichert man ein Skript als `.R` Datei

Die Lösungen der Aufgaben müssen ebenfalls als R Skript gespeichert werden.

Gliederung

1. Organisation und erste Schritte in R
   - Literatur- und sonstige Hinweise
   - Programmstart und Befehlsmodus
   - Funktionen und Argumenttypen
   - Variablen und Skripte
2. Datenstrukturen
   - Vektoren
   - Matrizen
   - Datentabellen
   - Listen
   - Arrays, Zeitreihen, . . .
   - Einlesen aus externen Dateien
3. Programmierung
   - Funktionen in R schreiben
   - Schleifen und Abfragen

Vektorenerstellung

- Vektoren erzeugt man in `R` mit der Funktion `c`
- Die Erzeugung eines Vektors mit den Daten $x_1, \ldots, x_n$ erhält man durch Eingabe von `c(`$x_1, \ldots, x_n$`)`
- Variablenzuweisung: Genauso wie mit "normalen" Zahlen

Beispiel

- `c(3,0,-4,16)`
- `c(sin(-5),-5.66, -5*6)`
- `Messung <- c(6,7,5,5,12)`
- `Messung`

Häufig genutzte Vektoren I

Es gibt eine Reihe von Funktionen, die spezielle Vektoren erstellen:

- Einen Vektor mit n Nullen erhält man mit `numeric(n)`
- Der *Doppelpunktoperator* `n:m` erstellt den Vektor $(n, n+1, \ldots, m)$ im Fall $n < m$ bzw. den Vektor $(n, n-1, \ldots, m)$ im Fall $n > m$
- Der *Sequenz-Befehl* `seq(from, to, by)` erstellt man den Vektor, dessen 1. Eintrag `from` ist und es folgen Werte im Abstand `by` bis zum Punkt `to` (bzw. dem nächstkleineren Wert, falls `to` kein Vielfaches)

Beispiel

- `numeric(10)`
- `1:10`
- `-3:-7`
- `seq(from=0,to=100,by=2)`

Häufig genutzte Vektoren II

- Will man das Intervall [`a,b`] in `n` gleichgroße Stücke teilen: `seq(from=a,to=b,length.out=n)`
- Mit dem *Repeat-Befehl* `rep(x,times=n)` wird der Vektor `x` sooft wiederholt, wie das Argument `times` angibt
  - Ist `n` eine natürliche Zahl so wird `x` genau `n` mal hintereinder geschrieben
  - Ist `n` ein Vektor gleicher Länge, so wird der *i*-te Eintrag von `x` genau n_i mal dupliziert

Beispiel

- `seq(0,1,length.out=1000)`
- `rep(1:2,3)`
- `rep(1:5,5:1)`

Komponentenzugriff I

Auf die Einträge eines Vektors `x` greift man mit `x[n]` zu. Beispiele:

- Die *i*-te Komponente von `x` erhält man durch `x[i]`
- Die 2., 4. und 7. Komponente erhält man durch `x[c(2,4,7)]`
- Negative Werte lassen den entsprechenden Eintrag weg, mit `x[c(-1,-3)]` würde man alle Einträge bis auf den 1. und 3. erhalten
- Negative und positive Werte dürfen nicht gemischt werden

Beispiel

- `Messung[4]`
- `Messung[2:5]`
- `Messung[-3]`

Logische Operatoren

Will man Komponenten nach Bedingungen auswählen, so geschieht dies unter Benutzung von *logischen Operatoren*

==	gleich	!=	ungleich
<	kleiner	>	größer
<=	kleiner gleich	>=	größer gleich

Diese Operationen liefern als Ergebnis `TRUE` oder `FALSE` bzw. einen Vektor mit diesen Einträgen

Beispiel

- `4 < 2`
- `2*6 == 12`
- `Messung >= 7`

Komponentenzugriff II

Besteht bei `x[n]` der Vektor `n` aus `TRUE` und `FALSE` Einträgen, so enthält `x[n]` den *i*-ten Eintrag von `x`, falls n_i `TRUE` ist Beispiel:

- Durch `Messung[Messung >= 7]` erhält man alle Messungen, die einen Wert größer (oder gleich) 7 besitzen
- Die Positionen dieser Werte innerhalb des Vektors kann man mit der Funktion `which` herausfinden

Beispiel

- `Messung[Messung>6]`
- `which(Messung>=7)`
- `Messung[Messung==5]`

Logische Vektorfunktionen

- `any(n)` überprüft, ob in `n` *mindestens* ein `TRUE` vorkommt
- `all(n)` überprüft, ob in `n` *alle* Einträge `TRUE` sind
- `TRUE` und `FALSE` entsprechen den Zahlen 1 bzw. 0

Beispiel

- `any(c(TRUE,FALSE,TRUE))`
- `any(Messung<6)`
- `all(Messung<6)`
- `exp(TRUE) + 5*TRUE`

Weitere Vektorfunktionen

Es gibt eine Fülle nützlicher Funktionen, die man auf einen Vektor anwenden kann

- Mit `sum(x)` erhält man etwa die Summe alle Komponenten von `x`
- Mit `min(x)` das Minimum der Einträge, mit `max(x)` das Maximum
- Mit `length(x)` die Anzahl der Komponenten von `x`
- Mit `sort(x)` sortiert man `x` *aufsteigend*, das optionale Argument `decreasing` ändert dies

Beispiel

- `prod(Messung)`
- `sort(Messung)`
- `sort(Messung, decreasing = TRUE)`

Vektorarithmetik I

- Auch elementare Funktionen (Addition einer Zahl, Sinusfunktion, etc.) lassen sich auf Vektoren anwenden
- Die Auswertung geschieht *komponentenweise*
- Vorsicht: Der Doppelpunktoperator bindet stärker als Addtion, Multiplikation, usw., d. h. `1:5+1` ist von `1:(5+1)` verschieden

Beispiel

- `log(Messung)`
- `Messung * 4`
- `round(exp(Messung), 2)`
- `1:5+1`
- `1:(5+1)`

Vektorarithmetik II

- Ebenso nützlich ist die Vektorarithmetik `v+w`, `v*w`, `v^w`, ... für Vektoren $v = (v_1, \dots, v_n)$ und $w = (w_1, \dots, w_m)$
- Für $m = n$ geschieht die Auswertung komponentenweise
- Ist n ein Vielfaches von m, so geschieht die Auswertung zyklisch, d. h.

$$v + w = (v_1 + w_1, \dots, v_m + w_m, v_{m+1} + w_1, \dots, v_n + w_m)$$

Der entstehende Vektor hat demnach Länge n

Beispiel

- `Messung - 1:5`
- `c(8,2,4,3) + c(-10,20)`
- `(1:6)^(2:3)`

Qualitative Merkmale (Faktoren)

- Für die Eingabe von Daten bei einem qualitativem Merkmal müssen die Komponenten aus *Zeichenketten* bestehen, die in Hochkommata eingschlossen sind, z. B. `c("blau","grün","gelb")`
- Zur Beseitigung der Hochkommata dient die Funktion `factor`, diese macht aus einem Vektor ein *Faktor*, d. h. ein qualitatives Merkmal
- Die *Level* (unterschiedliche Ausprägungen) des Faktors `f` erhält man mit `levels(f)`

Beispiel

- `Geschlecht <- c("m", "w", "w", "m", "w")`
- `Geschlecht <- factor(Geschlecht)`
- `Geschlecht`
- `levels(Geschlecht)`
- `Messung[Geschlecht=="w"]`

Einträge benennen

Die Einträge eines Vektors `v` lassen sich für einen einfacheren Zugriff benennen

- Syntax: `v <- c(Name1=Wert1, Name2=Wert2, ...)`
- Die Ausgabe im Befehlsmodus ist dann zweizeilig: In der 1. Zeile stehen die Namen, in der 2. die Einträge (Werte) des Vektors
- Alternativer Zugriff auf die Einträge von `v` mit `v["Name1"]`

Beispiel

- `v <- c(Vorname="Max", Nachname="Mustermann")`
- `v`
- `v["Nachname"]`

Einträge umbenennen

- Abfrage der Namenseinträge durch `names(v)`
- Umbenennen mit `names(v) <- n` wobei `n` ein Vektor gleicher Länge wie `v` ist, der aus Zeichenketten besteht
- Löschung mit `names(v) <- NULL`

Beispiel

- `names(Messung) <- c("a","b","c","d","e")`
- `Messung`
- `Messung["e"]`

Die Abschnitte 1 (Grundlagen) und 2 (Vektoren) des Aufgabenblattes können jetzt bearbeitet werden.

Matrizen

- Mit dem Befehl `matrix(data,nrow,ncol,byrow(=FALSE))` lässt sich eine *Matrix* in `R` erzeugen.
- `data` ist der Vektor, mit dem die Matrix gefüllt werden soll
- `nrow` die Anzahl der Zeilen, `ncol` die Anzahl der Spalten (es genügt, wenn man eines angibt)
- Optional: `byrow = TRUE` gibt an, dass `data` Zeilenweise in die Matrix eingefüllt wird

Beispiel

- `matrix(1:9,3)`
- `matrix(1:12,3,byrow=TRUE)`
- `A<-matrix(c(3,4,0,1),2)`
- `B<-matrix(9:6,2)`

Zugriff auf Matrizeneinträge

Auf die Einträge einer Matrix greift man wieder mit dem `[]` Operator zu. Hier muss dieser jedoch die Koordinate des Eintrags enthalten.

- `A[3,2]` liefert den 3. Zeileneintrag der 2. Spalte der Matrix `A`
- Mit `A[,2]` erhält man die komplette 2. Spalte von `A`
- Mit `A[3,]` die komplette 3. Zeile
- Mit `A[c(2,7,13),]` die 2., 7. und 13. Zeile (als Matrix)

Beispiel

- `A[1,1] + A[2,2]`
- `A[2,] * A[,1]`

Matrizenfunktionen

Auch für Matrizen gibt es in R eingebaute Funktionen

- Dimensionen einer Matrix: `dim(A)`
- Transponieren: `t(A)`
- Matrizenmultiplikation: `A %*% B` (Vorsicht: `A * B` multipliziert komponentenweise)
- Determinantenberechnung: `det(A)`
- Lineares Gleichungssystem $Ax = b$ lösen mit `solve(A,b)`
- ...

Beispiel

- `A %*% B`
- `det(A)`
- `solve(A,c(5,2))`

Die `apply` Funktion

Wendet man Funktionen wie `sum`, `min` oder `max` auf die Matrix an, so werden alle Einträge der Matrix berücksichtigt.

Beispiel

- `sum(A)`
- `min(A)`

Mit `apply(X, Margin, FUN)` führt man die Funktion `FUN` nur auf Zeilen (`MARGIN=1`) oder Spalten (`MARGIN=2`) der Matrix `X` aus.

Beispiel

- `apply(A, 1, sum)`
- `apply(A, 2, min)`

Datentabellen

- Nachteil von Matrizen: Alle Einträge sind vom gleichen Typ!
- In *Datentabellen* können Werte von Merkmalen *unterschiedlichen* Typs (Zahlen, Faktoren) gespeichert werden
- Jedem Merkmal muss die gleiche Anzahl von Beobachtungen zugrundeliegen
- Befehl: `data.frame(merkmal1=werte1,merkmal2=werte2,...)`

Beispiel

- `Tabelle <- data.frame(Geschlecht = c("m", "w", "w"), Alter = c(24,32,20))`
- `Tabelle`

Zugriff auf Datentabellen

- Zugriff auf Einträge wie bei Matrizen mit dem `[]` Operator
- Auf die Spalten kann man mit dem `$` Operator zugreifen, d. h. die „Alter"-Spalte erhält man durch `Tabelle$Alter`

Beispiel

- `Tabelle[3,2]`
- `Tabelle[2,]`
- `Tabelle$Geschlecht`

Hinzufügen von Spalten oder Zeilen

- Spalten hinzufügen mit `cbind(x1, x2, ...)`
- Die Funktion "verbindet" die Datentabellen (oder Vektoren, Matrizen) `x1, x2, ...` zu einer Datentabelle (oder Matrix)
- `x1, x2, ...` müssen die gleiche Anzahl von Zeilen besitzen, oder die Zeilenanzahlen sind Vielfache voneinander (zyklisches Verbinden)
- Analog: Zeilen verbinden mit `rbind(x1, x2, ...)`

Beispiel

- `rbind(Tabelle, c("m",27))`
- `cbind(B, c(9,4))`
- `rbind(1:3, 9:7, -2:0)`
- `rbind(matrix(1:16,4),0,-1:-2,101:104)`

Teiltabellen

- Die Funktion `subset(x, condition, select)` bietet die Möglichkeit, aus einer Tabelle `x` kleinere Datensätze gemäß der Bedingung `condition` auszuwählen
- Mit dem optionalen Argument `select` ist es möglich, nur gewisse Spalten auszuwählen

Beispiel

- `subset(Tabelle, Geschlecht == "w")`
- `subset(Tabelle, Geschlecht == "w", select = Alter)`

`split` Funktion

- Die Funktion `split(x,f)` teilt Tabelle `x` in Gruppen ein, die durch den Faktor (Zeichenkettenvektor) `f` definiert werden
- Das Ergebnis ist eine Liste mit sovielen Einträgen, wie `f` Level besitzt
- Jeder Eintrag der Ergebnisliste ist eine Tabelle und es gilt:
  Die Zeile *i* von `x` befindet sich in der Tabelle zur Gruppe g, falls der *i*-te Eintrag in `f` genau g ist

Beispiel

- `s <- split(Tabelle, Tabelle$Geschlecht)`
- `s`
- `s$m`
- `s$w`

Listen

Eine Liste besteht aus Elementen beliebigen Typs und Einträgen beliebiger Länge

- Erstellung mit `l<-list(name1=wert1, name2=wert2, ...)`
- Zugriff auf das 1. Element mit `l$name1` oder `l[[1]]`

Beispiel

- `l<-list(Text=c("bla","blu"), Mat=A)`
- `l`
- `l[[1]]`
- `l$Mat`
- `s`

Einträge einer Liste herausfinden

Viele Funktionen in `R` liefern eine Liste als Ergebnis zurück. Die Namen der Einträge einer Liste `l` findet man mit Hilfe von `str(l)` heraus. Beispiel:

- Die Funktion `eigen(A)` berechnet numerisch Eigenwerte und -vektoren der Matrix `A`
- Wendet man `str` darauf an, erhält man das Resultat

```
List of 2
$ values : num [1:2] 3 1
$ vectors: num [1:2, 1:2] 0.447 0.894 0 1
```

Beispiel

- `eig<-eigen(A)`
- `str(eig)`
- `eig$values`
- `eig$vectors`

Weitere Datenstrukturen

Es gibt noch einige weitere Datenstrukturen, etwa

- *Array* = d-dimensionalen Datensatz (R Befehl: `array`)
- *Zeitreihe* = Vektor mit Zeitangabe (R Befehl: `ts`)
- . . .
- Die Struktur der Variablen `v` lässt sich mit `str(v)` herausfinden

Beispiel

- `str(Tabelle)`
- `str(A)`
- `str(l)`

Einlesen von Tabellen aus externen Dateien

- Tabellen aus externen Dateien einlesen: Ein Backslash \ im Pfad muss mit \\ angegeben werden (unter Windows)

`read.table("Pfad")`	liest externen Datensatz ein
`read.csv("Pfad")`	liest durch Kommata getrennte Spalten
`read.delim("Pfad")`	liest Tab-getrennte Spalten

- Argumente der Funktionen:

`header = TRUE`	In 1. Zeile stehen die Spaltennamen
`sep`	Wie sind Spalteneinträge getrennt? ("," oder ".")
`dec`	Wie ist Dezimalpunkt angegeben? ("," oder ".")

- Tabelle wird in `R` als `data.frame` hinterlegt.

Gliederung

1. Organisation und erste Schritte in R
   - Literatur- und sonstige Hinweise
   - Programmstart und Befehlsmodus
   - Funktionen und Argumenttypen
   - Variablen und Skripte
2. Datenstrukturen
   - Vektoren
   - Matrizen
   - Datentabellen
   - Listen
   - Arrays, Zeitreihen, . . .
   - Einlesen aus externen Dateien
3. Programmierung
   - Funktionen in R schreiben
   - Schleifen und Abfragen

Eigene Funktionen schreiben

Eine eigene Funktion `f` erstellt man in R mit

```
f <- function(Argumente) {
     Körper der Funktion
     return(Ergebnis)
}
```

- *Argumente* müssen in der Form `arg1, arg2, ...` angegeben werden, optionale Argumente gibt man durch `arg=Wert` an
- Im *Körper der Funktion* können beliebig viele Anweisungen stehen
- Alle im Körper definiertern Variablen sind *lokal*, d. h. man kann sie außerhalb der Funktion nicht nutzen
- Das *Ergebnis* ist das, was die Funktion am Ende "ausspuckt", also etwa eine Zahl, ein Vektor oder eine Liste

Beispiel: eigene Funktion schreiben

Wir wollen eine Funktion `f` schreiben, die $f(x, y) = x^y - x$ berechnet. y soll dabei ein optionales Argument mit Standardwert 2 sein. Dies geht mit

```
f <- function(x, y=2) {
    erg<-x^y-x
    return(erg)
}
```

Danach steht `f` zur Verfügung und wird auch unter `ls()` aufgelistet

Beispiel

- `f(3)`
- `f(3,4)`
- `f(1:9,4)`

Abkürzungen

In einigen Spezialfällen lässt sich der Code übersichtlicher gestalten

- Auf die Eingabe von "`return`" kann verzichtet werden: Die letzte Berechnung im Körper wird dann zurückgegeben (dies darf keine Variablenzuweisung sein!)
- Ist der Körper der Funktion leer, so kann auf die geschweiften Klammern verzichtet werden (in der Funktion darf dann nur eine Berechnung stehen!)
- Will man mehrere Anweisungen in *eine* Zeile schreiben, muss man sie mit einem Semikolon voneinander trennen

Beispiel

```
f2 <- function(x,y=2) { erg<-x^y-x; return(erg) }
f3 <- function(x,y=2) { erg<-x^y-x; erg }
f4 <- function(x,y=2) x^y-x
```

Allgemeine Programmierhinweise I

- Verwenden Sie ▶ Skripte
- Verwenden Sie Variablen, um ein Skript flexibel ändern zu können: Wenn man etwa mit 100 Simulationen arbeiten muss, setzt man `n<-100` und arbeitet mit `n`, um später leicht $n = 1000$ Simulationen durchführen zu können
- Verwenden Sie aussagekräftige Variablennamen um den Code lesbarer zu machen: Lieber `sim.anz` statt `n` als Namen für die Simulationsanzahl wählen
- Kommentieren Sie Ihren Code so, dass Sie auch später noch verstehen, was er bewirkt. (Kommentieren Sie bitte Ihre Abgaben)
- Kommentare schreibt man mit #, alle Zeichen dahinter werden ignoriert

Allgemeine Programmierhinweise II

- Verwenden Sie die Vektorarithmetik: Mit ihr lassen sich viele `for` Schleifen umgehen und ein Skript braucht in der Regel weniger Laufzeit
- Speichern Sie ein Skript regelmäßig (mit `Strg + S`) um bei einem Programmabsturz nicht alles neu schreiben zu müssen
- Rücken Sie den Code so ein, dass man auf einen Blick sieht, wo sich zusammengehörige { } Klammern befinden

for Schleife

Schleifenprozesse sind Vorgänge, die vom Programm immer wiederholt werden, bis eine gewisse Bedingung erfüllt ist. Die wichtigsten Schleifen sind die `for`- und die `while`-Schleife.

- Die for-Schleife unterliegt folgender Syntax:
  `for(Name in Vektor) {` *`Körper der Schleife`* `}`
- Dadurch wird eine Variable, die „`Name`" heißt, schrittweise gleich den Elementen des Vektors „`Vektor`" gesetzt
- In jedem Schritt wird für den entsprechenden Wert des Vektors der zugehörige Befehl aus den geschweiften Klammern ausgeführt
- Die Befehle im Körper der Schleife werden also sooft ausgeführt, wie es Elemente im Vektor „`Vektor`" gibt
- Bei nur *einem* Befehl können die { } Klammern weggelassen werden

Beispiele: for Schleife

Beispiel

Wir wollen die Zahlen von 1 bis 100 aufaddieren.

- `sum <- 0`
- `for (j in 1:100) sum <- sum + j`
- `sum`

Beispiel

Wir wollen die ersten 12 Fibonacci-Zahlen erzeugen:

- `Fibo <- numeric(12)`
- `Fibo[1] <- Fibo[2] <- 1`
- `for (i in 3:12) Fibo[i] <- Fibo[i-2]+Fibo[i-1]`
- `Fibo`

Beispiele: for Schleife

Beispiel

Wir wollen die Zahlen von 1 bis 100 aufaddieren.

- `sum <- 0`
- `for (j in 1:100) sum <- sum + j`
- `sum`

Beispiel

Wir wollen die ersten 12 Fibonacci-Zahlen erzeugen:

- `Fibo <- numeric(12)`
- `Fibo[1] <- Fibo[2] <- 1`
- `for (i in 3:12) Fibo[i] <- Fibo[i-2]+Fibo[i-1]`
- `Fibo`

while Schleife

- Bei einer `for` Schleife ist klar, wie oft die Befehle im Körper ausgeführt werden
- Will man einen Vorgang wiederholen bei dem man dies nicht weiß, so hilft die `while` Schleife
- Syntax: `while(Bedingung) {` *`Körper der Schleife`* `}`
- Vor jedem Schritt wird die Bedingung überprüft
  - Ist Bedingung `TRUE` $\rightsquigarrow$ Befehle werden ausgeführt
  - Ist Bedingung `FALSE` $\rightsquigarrow$ Schleife wird beendet

Beispiele: while Schleife

Beispiel

Wir wollen die Zahlen von 1 bis n aufaddieren, solange bis die Summe größer als 10000 ist

- `sum <- 0; n<-1`
- `while (sum <= 10000) { sum <- sum + n; n <- n + 1 }`

Beispiel

Wir wollen alle Fibonacci-Zahlen auflisten, die kleiner als 300 sind.

- `Fib1 <- Fib2 <- Fibonacci <- 1; upperBound <- 300`
- ```
  while(Fib2<upperBound) {
  Fibonacci <- c(Fibonacci,Fib2)
  oldFib2 <- Fib2
  Fib2 <- Fib1+Fib2
  Fib1 <- oldFib2 }
  ```
  ```

Beispiele: while Schleife

Beispiel

Wir wollen die Zahlen von 1 bis n aufaddieren, solange bis die Summe größer als 10000 ist

- `sum <- 0; n<-1`
- `while (sum <= 10000) { sum <- sum + n; n <- n + 1 }`

Beispiel

Wir wollen alle Fibonacci-Zahlen auflisten, die kleiner als 300 sind.

- `Fib1 <- Fib2 <- Fibonacci <- 1; upperBound <- 300`
-
```
while(Fib2<upperBound) {
Fibonacci <- c(Fibonacci,Fib2)
oldFib2 <- Fib2
Fib2 <- Fib1+Fib2
Fib1 <- oldFib2 }
```

if-else Abfragen

Häufig müssen in die Definition einer Funktion Fallunterscheidungen bzgl. des Outputs in Abhängigkeit von den eingesetzten Werten vorgenommen werden.

- Dazu verwendet man Anweisungen der Art
  `if(Bedingung) {` *`Befehlsfolge`* `}`
  `else {` *`Befehlsfolge`* `}`
- Ist Bedingung `TRUE` $\rightsquigarrow$ Befehlsfolge hinter `if` wird ausgeführt
- Ist Bedingung `FALSE` $\rightsquigarrow$ die hinter `else`
- Will man im `else`-Fall nichts tun, so kann man diese Zeile auch weglassen
- Bei nur *einem* Befehl kann auf die { } Klammern verzichtet werden

Beispiel: if-else Abfragen

Beispiel

g(x) soll $\sin(\sqrt{x})$ berechnen, falls $x \geq 0$ ist, andernfalls NaN ausgeben:

```
g<-function(x) {
  if(x >= 0) return(sin(sqrt(x)))
  else return(NaN)}
```

Beispiel (Indikatorfunktion auf dem abgeschlossenen Einheitsintervall)

```
indikator<-function(x) {
  if(x < 0) return(0)
  else {
    if(x>1) return(0)
    else return(1)
  }
}
```

Beispiel: if-else Abfragen

Beispiel

g(x) soll $\sin(\sqrt{x})$ berechnen, falls $x \geq 0$ ist, andernfalls NaN ausgeben:

```
g<-function(x) {
  if(x >= 0) return(sin(sqrt(x)))
  else return(NaN)}
```

Beispiel (Indikatorfunktion auf dem abgeschlossenen Einheitsintervall)

```
indikator<-function(x) {
  if(x < 0) return(0)
  else {
    if(x>1) return(0)
    else return(1)
  }
}
```

Logische Operatoren II

Da in den Fällen $x < 0$ und $x > 1$ der gleiche Wert zurückgegeben wird, kann man auch beide Bedingungen mit einem logischen ODER miteinander verknüpfen

&	logisches UND
|	logisches ODER
!	logisches NICHT

Beispiel

```
indikator2<-function(x) {
  if(x < 0 | x > 1) return(0)
  else return(1)
}
```

ifelse Funktion

Noch einfacher wird es, wenn man die `ifelse` Funktion benutzt

- Syntax: `ifelse(Bedingung, Wert1, Wert2)`
- Bedingung `TRUE` $\rightsquigarrow$ `Wert1` wird zurückgegegen, andernfalls `Wert2`
- Sowohl Bedingung als auch die Werte können vektorwertig sein (die Ausgabe ist ein Vektor der so lang ist wie der Bedingungsvektor)

Beispiel

- `indikator3<-function(x) ifelse(x<0 | x>1, 0, 1)`
- `ifelse(c(TRUE,FALSE,TRUE,TRUE), 1:2, 0)`