

**Querschnittsbereich 1:  
Epidemiologie, Medizinische Biometrie und  
Medizinische Informatik**

**- Übungsmaterial -**

Erstellt von Mitarbeitern des IMISE und des ZKS Leipzig

**6. Übung  
Statistische Tests – Teil 1 (t-Tests)**

© Universität Leipzig  
WS 2018/19

**Auswertung von klinischen Studien /  
Statistisches Testen**

---

- **Auswertungspopulation festlegen**
  - Welche Patienten werden in welcher Analyse berücksichtigt?
- **Analyse der Probandencharakteristika**
  - mit Methoden der deskriptiven Statistik (Übung 3)
- **Analyse der primären und sekundären Endpunkte**
  - zur Entscheidung bzgl. der Studienfragestellung → mit Methoden der induktiven Statistik, statistischen Testverfahren
- **Deskription von Nebenwirkungen**
  - mit Methoden der deskriptiven Statistik und ggf. statistischen Tests
- **Weitere explorative Analysen**
  - mit Methoden der deskriptiven Statistik und ggf. statistischen Tests

## Primärer Endpunkt Konfirmatorische Analyse

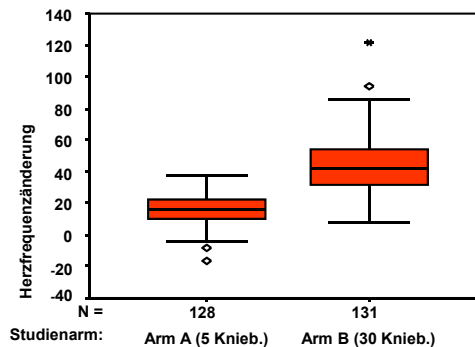
### Wissenschaftliche Fragestellung der Herzsportstudie in Übung 1 (primäres Studienziel)

Unterscheidet sich die mittlere Änderung der Herzfrequenz nach 30 Kniebeugen von der mittleren Änderung der Herzfrequenz nach 5 Kniebeugen?

$$HF_{\text{diff}} = HF_{\text{post}} - HF_{\text{prä}}$$

HF... Herzfrequenz

### Grafische Deskription



## Ablaufschema bei Hypothesentests

Skriptenheft Kapitel 5.6

1. Aufstellen der Hypothesen  $H_0$  und  $H_A$   
(Umsetzen der wissenschaftlichen Fragestellung in stat. Modell)
2. Wahl des Signifikanzniveaus  $\alpha$
3. Wahl des statistischen Tests  
nach Zielstellung, Merkmalsart der Zielgröße, Anzahl der Stichproben
4. Prüfung der Testvoraussetzungen
5. Ermittlung des Akzeptanzbereiches  
Quantil der Prüfverteilung aus Tafel ablesen (bei Rechnungen per Hand)
6. Berechnung der Prüfgröße  
(aus den beobachteten Daten; bei Rechnungen per Hand)
7. Testentscheidung
  - a) Vergleich berechnete Prüfgröße mit Quantil der Prüfverteilung
  - b) Vergleich  $p$ -Wert mit vorgegebenem Signifikanzniveau  $\alpha$
8. Interpretation der Ergebnisse im Kontext der Fragestellung  
(mit Angabe von  $p$  oder Signifikanzniveau  $\alpha$ )

## Statistische Hypothesen

### Aufstellen der Hypothesen $H_0$ und $H_A$

(Umsetzen der wissenschaftlichen Fragestellung in stat. Modell)

**Nullhypothese  $H_0$ :**

**Alternativhypothese  $H_A$ :**

**Hinweis:** Dem statistischen Testen liegt das Falsifizierungsprinzip zugrunde, d.h. man möchte  $H_0$  zugunsten von  $H_A$  ablehnen und damit indirekt beweisen, dass  $H_A$  richtig ist.

## Wahl des Signifikanzniveaus und des statistischen Tests

### Wahl des Signifikanzniveaus $\alpha$

- die Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese abzulehnen, obwohl sie richtig ist (*a/so*: Wahrscheinlichkeit für eine Fehlentscheidung)
- **typische Konventionen:**  $\alpha = 0,05$  oder **0,01** oder **0,001** (nicht zwingend!)

**In dieser Aufgabe sei  $\alpha = 0,05$ .**

### Wahl des statistischen Tests

abhängig von

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| - Zielstellung:              | Mittelwertvergleich                              |
| - Merkmalsart der Zielgröße: | metrisch, normalverteilt                         |
| - Anzahl / Art der Gruppen:  | 2 unabhängige Gruppen vom Umfang $n_1$ und $n_2$ |

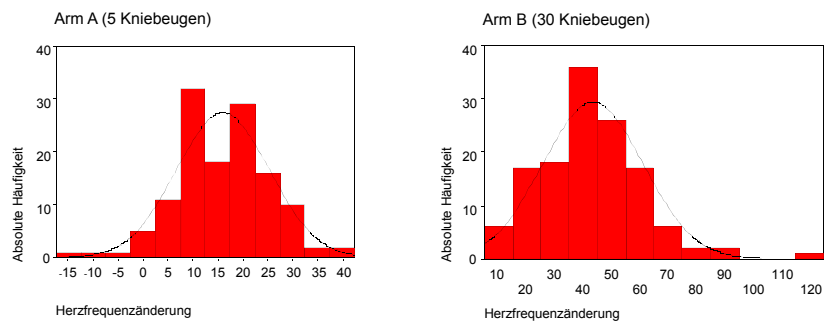
**t -Test für 2 unabhängige Gruppen** 

(Synonym: 2-Stichproben-t-Test)

# Testvoraussetzungen

## Prüfung der Testvoraussetzungen

Herzfrequenzänderung  $HF_{diff}$  in beiden Gruppen normalverteilt?



## Prüfgröße (Teststatistik)

Zur Beurteilung der beobachteten Effekte wird ein **Maß** benötigt, das den **beobachteten Effektunterschied** zwischen den Gruppen **in geeigneter Weise abbildet**, z.B. für den Vergleich von Mittelwerten die Differenz der Mittelwerte.

Bezeichnung dieses Maßes:

(empirische) Prüfgröße oder Teststatistik

Eigenschaften der **Prüfgröße** (PG)

- ist eine Zufallsgröße und besitzt eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsverteilung, die unter der Nullhypothese ( $H_0$ ) bekannt ist
- wird aus erhobenen Daten berechnet

## Prüfgröße (Teststatistik)



### Prüfgröße des t-Tests für 2 unabhängige Gruppen

$$t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}} \quad t \sim t\text{-Verteilung mit } f \text{ Freiheitsgraden (FG)}$$

(zur Berechnung der FG siehe Folie 11)

	Arm A	Arm B
Mittelwert HF <sub>diff</sub>	$\bar{x}_A$	$\bar{x}_B$
Standardabw. HF <sub>diff</sub>	$S_A$	$S_B$
Fallzahl	$n_A$	$n_B$

## Berechnung der Prüfgröße

### Berechnung der empirischen Prüfgröße

für den primären Endpunkt der Herzsportstudie



Benötigte Informationen (aus den Daten)

	Studienarm	
	Arm A (5 Knieb.)	Arm B (30 Knieb.)
Herzfrequenzänderung Anzahl	128	131
Mittelwert	16,02	43,40
Standardabweichung	9,32	17,74

Prüfgröße des t-Tests für 2 unabhängige Gruppen

$$t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{S_A^2}{n_A} + \frac{S_B^2}{n_B}}} =$$

## Berechnung der Freiheitsgrade

**Freiheitsgrade** (Formel rein informativ)



$$f = \frac{\left(\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_A^2}{n_A}\right)^2}{n_A - 1} + \frac{\left(\frac{s_B^2}{n_B}\right)^2}{n_B - 1}} = \frac{\left(\frac{9,32^2}{128} + \frac{17,74^2}{131}\right)^2}{\frac{\left(\frac{9,32^2}{128}\right)^2}{128 - 1} + \frac{\left(\frac{17,74^2}{131}\right)^2}{131 - 1}} \approx 198$$

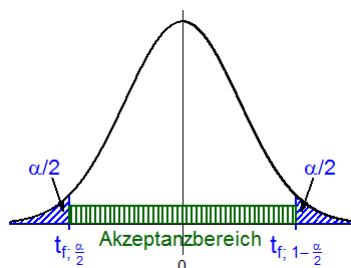
## Verteilung der Prüfgröße

Ein statistischer Test prüft, ob die Stichprobenergebnisse (beobachtete Daten) vereinbar sind mit einer Hypothese (theoretische Annahme für die Grundgesamtheit).



**Dichte der Prüfgröße unter  $H_0$**

(im aktuellen Beispiel t-Verteilung mit 198 FG)



**Hinweis:** Beim zweiseitigen Test wird der Akzeptanzbereich so begrenzt, dass die Flächen unter der Kurve an jedem Ende der Verteilung  $\alpha/2 = 2,5\%$  betragen.

# Ermittlung des Akzeptanzbereichs

## Ermittlung des Akzeptanzbereiches

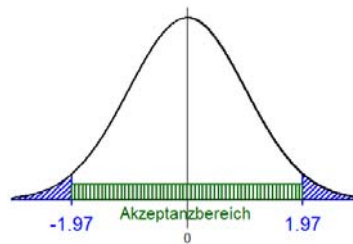
(synonym gebraucht: Annahmebereich)



- mittels Ablesen der Quantile (Übung 3) der Prüfverteilung unter  $H_0$
- Prüfgröße ist t-verteilt mit 198 Freiheitsgraden (FG), also

$$t_{198; 1-0,05/2} \approx$$

- Akzeptanzbereich: bis



### Hinweise:

Der Akzeptanzbereich ist unabhängig von den beobachteten Daten und der berechneten PG. Das Quantil wird aus der Tafel mit tabellierter t-Verteilung abgelesen (s. nächste Folien). Das Ablesen ist nur bei Rechnungen per Hand notwendig.

# Quantile der t-Verteilung (1/2) FG<30

Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für den zweiseitigen Test									
FG \ $\alpha$	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	636,619	6366,198
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,598	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924	28,000
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,765	5,408	7,885
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	6,594
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792	4,736
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725	4,619
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707	4,587
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690	4,558
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674	4,530
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659	4,506



Beispiel:  
Ermittle das t-Quantil für  $\alpha=0.05$  und FG: f=25

## Quantile der t-Verteilung (1/2) FG < 30

Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für den zweiseitigen Test									
FG $\alpha$	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318,309	636,619	6366,198
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,327	31,598	99,992
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,214	12,924	28,000
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610	15,544
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,869	11,178
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959	9,082
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785	5,408	7,885
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501	5,041	7,120
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781	6,594
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,587	6,211
11	0,697	1,363	1,795	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437	5,921
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318	5,694
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221	5,513
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140	5,363
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073	5,239
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015	5,134
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965	5,044
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610	3,922	4,966
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883	4,897
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850	4,837
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819	4,784
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792	4,736
23	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767	4,693
24	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745	4,654
25	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450	3,725	4,618
26	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707	4,587
27	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690	4,558
28	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674	4,530
29	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659	4,506



Beispiel:  
Ermittle das t-Quantil für  $\alpha=0.05$  und FG:  $f=25$

$$t_{FG; 1-\alpha/2} = t_{25; 1-0,05/2}$$

## Quantile der t-Verteilung (2/2) FG $\geq 30$

Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ für den zweiseitigen Test									
FG $\alpha$	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0001
30	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646	4,482
32	0,682	1,309	1,694	2,037	2,449	2,738	3,365	3,622	4,441
34	0,682	1,307	1,691	2,032	2,441	2,728	3,348	3,601	4,405
35	0,682	1,306	1,690	2,030	2,438	2,724	3,340	3,591	4,389
36	0,681	1,306	1,688	2,028	2,434	2,719	3,333	3,582	4,374
38	0,681	1,304	1,686	2,024	2,429	2,712	3,319	3,566	4,346
40	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551	4,321
42	0,680	1,302	1,682	2,018	2,418	2,698	3,296	3,538	4,298
45	0,680	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690	3,281	3,520	4,269
47	0,680	1,300	1,678	2,012	2,408	2,685	3,273	3,510	4,251
50	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	3,261	3,496	4,228
55	0,679	1,297	1,673	2,004	2,396	2,668	3,245	3,476	4,196
60	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460	4,169
70	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	3,211	3,435	4,127
80	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,416	4,096
90	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	3,183	3,402	4,072
100	0,677	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,174	3,390	4,053
120	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160	3,373	4,025
200	0,676	1,285	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,340	3,970
500	0,675	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,107	3,310	3,922
1000	0,675	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581	3,098	3,300	3,906
=	0,675	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090	3,290	3,891



**Hinweis:**  
Ist FG nicht explizit gelistet, dann zum nächstgelegenen FG runden.

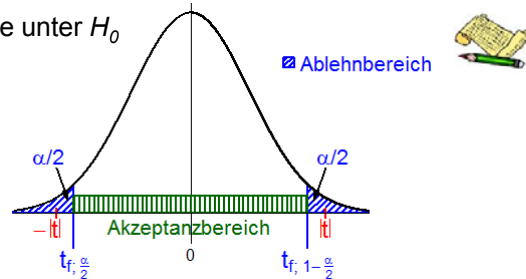
= Quantile der standardisierten Normalverteilung

$$t_{FG; 1-\alpha/2} = t_{200; 1-0,05/2}$$



## Testentscheidung (zweiseitig)

Dichte der Prüfgröße unter  $H_0$



### Testentscheidung

a) Vergleich der berechneten Prüfgröße mit dem Quantil der Prüfverteilung

Betrag der PG (Stichprobe) < Quantil der PG (Tabelle) →  $H_0$  nicht ablehnen

Betrag der PG (Stichprobe)  $\geq$  Quantil der PG (Tabelle) →  $H_0$  ablehnen

Das Ergebnis eines statistischen Tests ist stets eine Ja/Nein-Entscheidung, d.h.  $H_0$  wird abgelehnt oder  $H_0$  wird nicht abgelehnt.

## Testentscheidung – Möglichkeit a

### Testentscheidung mittels berechneter Prüfgröße

→

## Der p-Wert

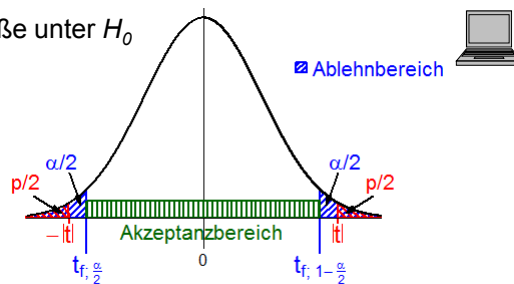


- Wahrscheinlichkeit  $p$  ("probability"), den in den Daten beobachteten Unterschied oder einen größeren zu erhalten, wenn die Nullhypothese (kein Therapieeffekt) gilt.
- korrespondiert zur empirischen Prüfgröße und entspricht der Fläche unter der Dichtefunktion bis zur berechneten PG, d.h. Fläche über den Intervallen  $(-\infty; -|t|]$  und  $[|t|; +\infty)$
- Eine kleine Wahrscheinlichkeit  $p$  spricht eher gegen Zufall ( $H_0$ ). Was heißt „kleine Wahrscheinlichkeit“?

Vor Versuchsbeginn wird das Signifikanzniveau  $\alpha$  festgelegt, also der Schwellwert für  $p$ , ab welchem man die Nullhypothese verwirft:  $p \leq \alpha$

## Testentscheidung (zweiseitig)

Dichte der Prüfgröße unter  $H_0$



### Testentscheidung

- Betrag der PG (Stichprobe) < Quantil der PG (Tabelle)  $\rightarrow H_0$  nicht ablehnen  
Betrag der PG (Stichprobe)  $\geq$  Quantil der PG (Tabelle)  $\rightarrow H_0$  ablehnen
- Vergleich  $p$ -Wert mit vorgegebenem Signifikanzniveau  $\alpha$ 
  - $p > \alpha \rightarrow H_0$  nicht ablehnen
  - $p \leq \alpha \rightarrow H_0$  ablehnen

## Testentscheidung – Möglichkeit b

### Testentscheidung mittels $p$ -Wert



$$p > \alpha$$

beobachteter **Effekt widerspricht der Nullhypothese nicht ausreichend**.  $H_0$  wird nicht abgelehnt. Beobachteter Effekt ist nicht signifikant. Ein eventuell vorhandener Therapieeffekt konnte nicht nachgewiesen werden.

$$p \leq \alpha$$

beobachteter **Effekt ist auf dem Signifikanzniveau  $\alpha$  signifikant**.  $H_0$  wird abgelehnt.

## Testentscheidung – Möglichkeit b

SPSS – Ausgabe:



		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Herzfrequenzänderung	Equal variances assumed	27,810	,000	-15,495	257	,000	-27,38132	1,76705	-30,86107	-23,90158
	Equal variances not assumed			-15,598	197,701	,000	-27,38132	1,75544	-30,84310	-23,91954

### Möglichkeit b (meist bei PC-gestützten Analysen)

- Vergleich des  $p$ -Wertes mit dem Signifikanzniveau  $\alpha$
- Anzeige ",000", d.h.



## Testentscheidung – Möglichkeiten a und b

---

### Möglichkeit a (meist bei Rechnungen von Hand)

Vergleich der berechneten Prüfgröße mit dem Quantil der Prüfverteilung

$$|t| = 15,6 > t_{198; 1-0,05/2} \approx 1,97$$



### Möglichkeit b (meist bei PC-gestützten Analysen)

Vergleich des  $p$ -Wertes mit dem Signifikanzniveau  $\alpha$

$$p < 0,0005 < \alpha = 0,05 \text{ also gilt } p \leq \alpha$$



→  $H_0$  wird auf dem 5% Signifikanzniveau abgelehnt

## Interpretation

---

### Kontextbezogene Formulierung

falls  $p$ -Wert nicht bekannt ist (bei Rechnung von Hand)

## Interpretation

---

### Kontextbezogene Formulierung

falls  $p$ -Wert bekannt ist (bei Rechnung mit Computer)

## Ablaufschema bei Hypothesentests

Skriptenheft Kapitel 5.6

1. Aufstellen der Hypothesen  $H_0$  und  $H_A$   
(Umsetzen der wissenschaftlichen Fragestellung in stat. Modell)
2. Wahl des Signifikanzniveaus  $\alpha$
3. Wahl des statistischen Tests  
nach Zielstellung, Merkmalsart der Zielgröße, Anzahl der Stichproben
4. Prüfung der Testvoraussetzungen
5. Ermittlung des Akzeptanzbereiches *Reihenfolge für 5 und 6 ist beliebig!*  
Quantil der Prüfverteilung aus Tafel ablesen (bei Rechnungen per Hand)
6. Berechnung der Prüfgröße  
(aus den beobachteten Daten; bei Rechnungen per Hand)
7. Testentscheidung
  - a) Vergleich berechnete Prüfgröße mit Quantil der Prüfverteilung
  - b) Vergleich  $p$ -Wert mit vorgegebenem Signifikanzniveau  $\alpha$
8. Interpretation der Ergebnisse im Kontext der Fragestellung  
(mit Angabe von  $p$  oder Signifikanzniveau  $\alpha$ )

## Übungsaufgabe 1

In der Herzsportsstudie wurden folgende Werte für die Herzfrequenz ermittelt:

	Arm A	Arm B
<b>HF<sub>prä</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	77,07 ± 11,29	76,16 ± 9,97
<b>HF<sub>post</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	93,09 ± 12,83	119,56 ± 17,37
<b>HF<sub>diff</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	16,02 ± 9,32	43,40 ± 17,74
<i>n</i>	128	131

**Testen Sie auf einem Signifikanzniveau von 1% , ob sich die Herzfrequenz nach Intervention HF<sub>post</sub> zwischen den Armen A und B signifikant unterscheidet!**

(Normalverteilung kann vorausgesetzt werden; unter  $H_0$  hat die Prüfverteilung 239 Freiheitsgrade.)

## Lösung – Übungsaufgabe 1 (1/2)

•  $H_0$ :

$H_A$ :

•  $\alpha =$

Testvoraussetzung:

• Normalverteilung der Herzfrequenzen kann vorausgesetzt werden

$t =$

Quantil der Prüfverteilung:

Testentscheidung:

## Lösung – Übungsaufgabe 1 (2/2)

---

### Interpretation:

## t-Test für verschiedene Situationen

---

### 1) für den Vergleich von 2 unabhängigen Gruppen:

a) bei ungleichen Varianzen ( $\sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$ )

siehe Skript Formel 5.1 (FG aufwändiger, siehe Folie 11)

b) bei gleichen Varianzen ( $\sigma_A^2 = \sigma_B^2$ )

Spezialfall  $n_1 = n_2$ , siehe Skript Formel 5.3,

Freiheitsgrade (FG):  $f = n_1 + n_2 - 2$

### 2) für den Vergleich von 2 abhängigen Gruppen:

t-Test für Paardifferenzen, siehe Skript Formel 5.5,

Freiheitsgrade (FG):  $f = n - 1$

### 3) für den Vergleich einer Gruppe mit einem Normwert:

siehe Skript Formel 5.2, Freiheitsgrade (FG):  $f = n - 1$

## Übungsaufgabe 2

In einer weiteren Herzsportstudie wurden folgende Werte für die Herzfrequenz ermittelt:

	Arm A	Arm B
<b>HF<sub>prä</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	77,66 ± 11,2	76,42 ± 9,88
<b>HF<sub>post</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	94,42 ± 13,25	119,32 ± 15,83
<b>HF<sub>diff</sub></b> ( $\bar{x} \pm s$ )	16,77 ± 10,13	42,91 ± 17,62
<i>n</i>	64	65

- a) Testen Sie auf einem Signifikanzniveau von 5%, ob sich die Herzfrequenz vor und nach Intervention in Arm A signifikant unterscheidet! Welcher Test ist für diese Fragestellung angemessen? (Normalverteilung kann vorausgesetzt werden.)
- b) Testen Sie auf einem Signifikanzniveau von 1%, ob sich die Herzfrequenz vor und nach Intervention in Arm B signifikant unterscheidet! (Normalverteilung kann vorausgesetzt werden.)

## Lösung – Übungsaufgabe 2 – Arm A

•  $H_0$ :

$H_A$ :

•  $\alpha =$

Testvoraussetzung:

- Normalverteilung der Differenzen kann vorausgesetzt werden

•  $t =$

Quantil der Prüfverteilung:

Testentscheidung:

**Interpretation:**



## Lösung – Übungsaufgabe 2 – Arm B

---

•  $H_0$ :

$H_A$ :

•  $\alpha =$

Testvoraussetzung:

- Normalverteilung der Differenzen kann vorausgesetzt werden

•  $t =$

Quantil der Prüfverteilung:

Testentscheidung:

**Interpretation:**

## Achtung !

- Statistische Signifikanz bedeutet nicht automatisch klinische Relevanz!
- Fehlende Signifikanz ist kein Beweis für die Gültigkeit der Nullhypothese!
- Kleiner p-Wert bedeutet nicht „großer Therapieeffekt“, sondern nur: die beobachtete Statistik ist unter  $H_0$  ziemlich unwahrscheinlich.

## Tests zum Vergleich von Lagemaßen

Skriptenheft Kapitel 5.7

Anzahl der Stichproben	Art der Stichproben	Merkmal quantitativ u. normalverteilt	Test
1	----	ja	t-Test (Normwertvergleich)
		nein	Wilcoxon-Test (Normwertvergleich)
2	unabhängig	ja	t-Test für unabhängige Stichproben
		nein	U-Test nach Mann-Whitney
	abhängig	ja	t-Test für Paardifferenzen
		nein	Wilcoxon-Test
> 2	unabhängig	ja	univariate Varianzanalyse
		nein	H-Test nach Kruskal-Wallis
	abhängig	ja	multivariate Varianzanalyse
		nein	Friedman-Test