

Wahrscheinlichkeitsrechnung und  
Statistik für Biologen  
**2. Der Standardfehler**

Martin Hutzenthaler & Dirk Metzler

11. Mai 2010

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Der Standardfehler</b>	<b>1</b>
1.1	Ein Versuch . . . . .	1
1.2	Ein allgemeiner Rahmen . . . . .	2
1.3	Zur Verteilung von $\bar{x}$ . . . . .	10
1.4	Anwendungen . . . . .	12
1.5	Zusammenfassung . . . . .	15

**1 Der Standardfehler**

**1.1 Ein Versuch**

Versuchsaufbau: 14 Hirse-Pflanzen von einer Sorte wurden 7 Tage lang nicht mehr gegossen („trockengestresst“).

An den letzten drei Tagen wurde die Wasserabgabe der Pflanzen durch Wägung ermittelt und ein Mittelwert über drei Tage errechnet.

Zum Schluß des Versuchs wurden die Pflanzen abgeschnitten und die Blattfläche bestimmt.

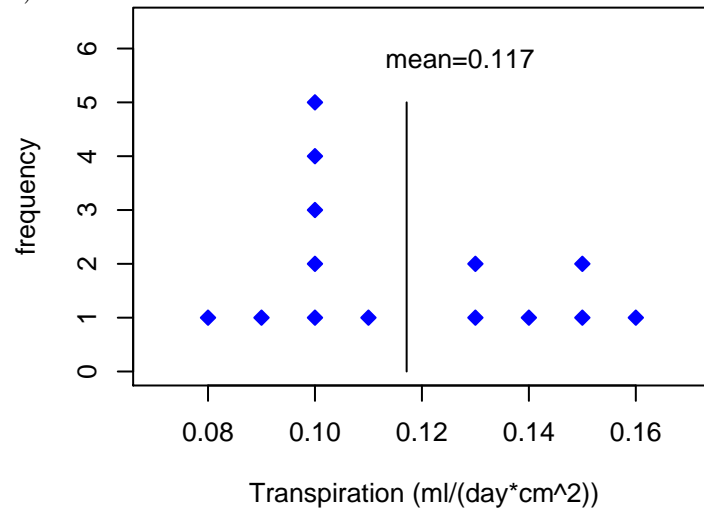
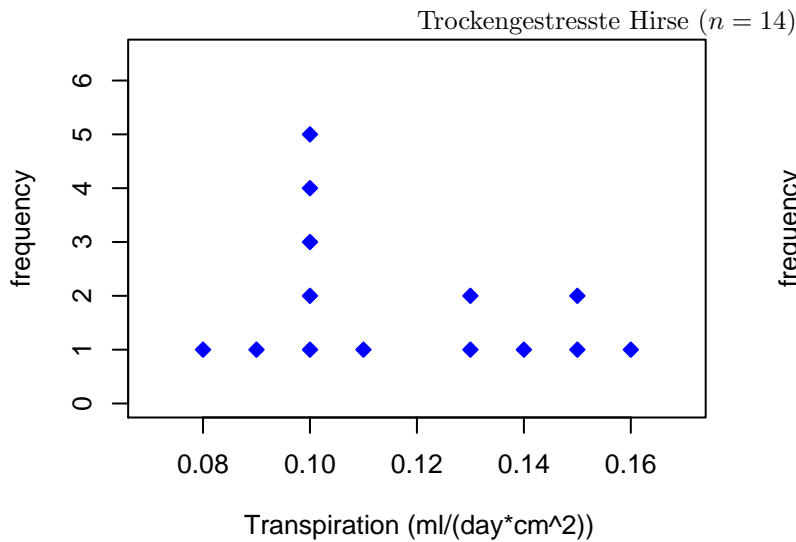
$$\begin{aligned} & \text{Transpirationsrate} \\ & = (\text{Wasserabgabe pro Tag})/\text{Blattfläche} \left[ \frac{\text{ml}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Tag}} \right] \end{aligned}$$

Ein Ziel des Versuchs: die mittlere Transpirationsrate  $\mu$   
(für diese Hirsesorte unter diesen Bedingungen)  
zu bestimmen.

In einem großen Versuch mit sehr vielen Pflanzen könnte man  $\mu$  beliebig genau bestimmen.

FRAGE: Wie genau ist die Schätzung von  $\mu$  in diesem kleinen ( $n = 14$ ) Versuch?

**Ergebnisse des Versuchs**



Transpirationsdaten:  $x_1, x_2, \dots, x_{14}$   $\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_{14})/14 = \frac{1}{14} \sum_{i=1}^{14} x_i$

$\bar{x} = 0,117$

Unsere Schätzung:  $\mu \approx 0,117$

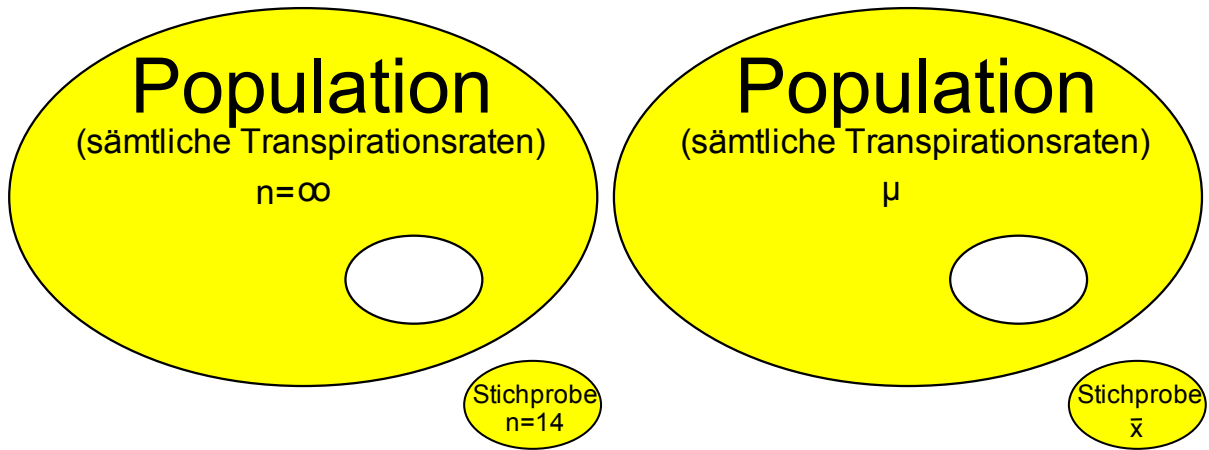
Wie genau ist diese Schätzung? Wie weit weicht der Schätzwert  $\bar{x}$  von dem wahren Mittelwert  $\mu$  ab?

## 1.2 Ein allgemeiner Rahmen

### Ein allgemeiner Rahmen

Wir stellen uns vor, wir hätten den Versuch nicht 14 mal, sondern 100 mal, 1.000 mal, 1.000.000 mal wiederholt.

Unsere 14 Transpirationswerte betrachten wir als  
*zufällige Stichprobe*  
 aus dieser großen Population von möglichen Werten.



Wir schätzen den Populationsmittelwert  $\mu$  durch den Stichprobenmittelwert  $\bar{x}$ .

Jede neue Stichprobe liefert einen neuen Wert von  $\bar{x}$ .  $\bar{x}$  hängt vom Zufall ab: eine *Zufallsgröße* **FRAGE**: Wie variabel ist  $\bar{x}$ ? Genauer: Wie weit weicht  $\bar{x}$  typischerweise von  $\mu$  ab?

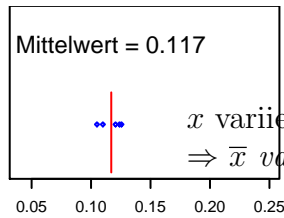
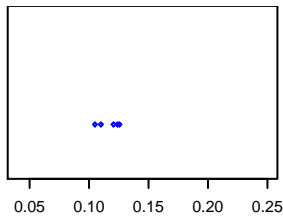
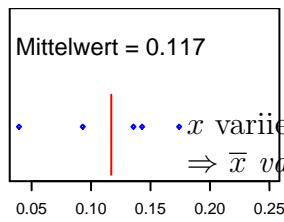
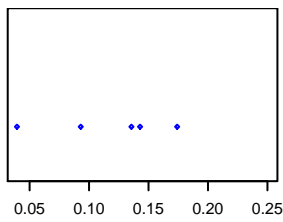
$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$$

Wovon hängt die Variabilität von  $\bar{x}$  ab?

1.

von der Variabilität der einzelnen Beobachtungen

$$x_1, x_2, \dots, x_n$$



2.

vom Stichprobenumfang

$n$

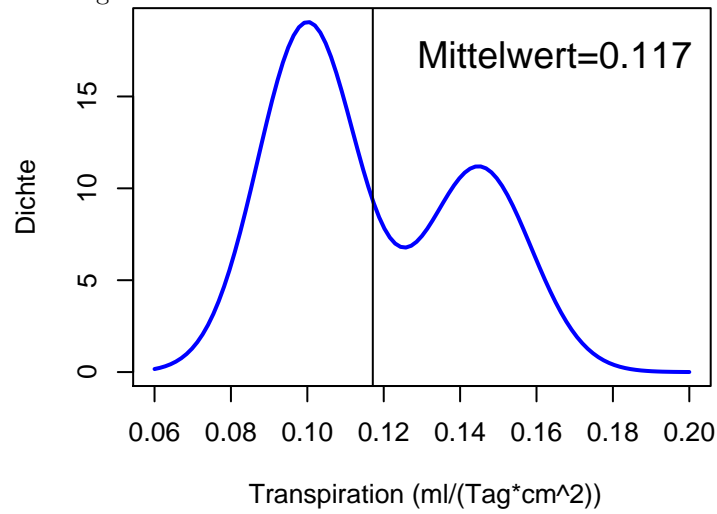
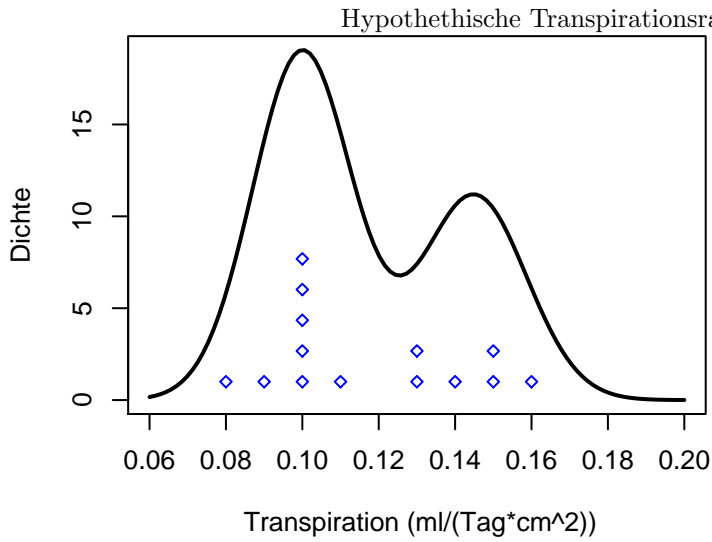
Je größer  $n$ , desto kleiner  
die Variabilität von  $\bar{x}$ .

Um diese Abhängigkeit zu untersuchen, machen wir ein  
(Computer-)Experiment.

*Experiment:*

Wir nehmen eine Population, ziehen Stichproben, und schauen, wie  $\bar{x}$  variiert.

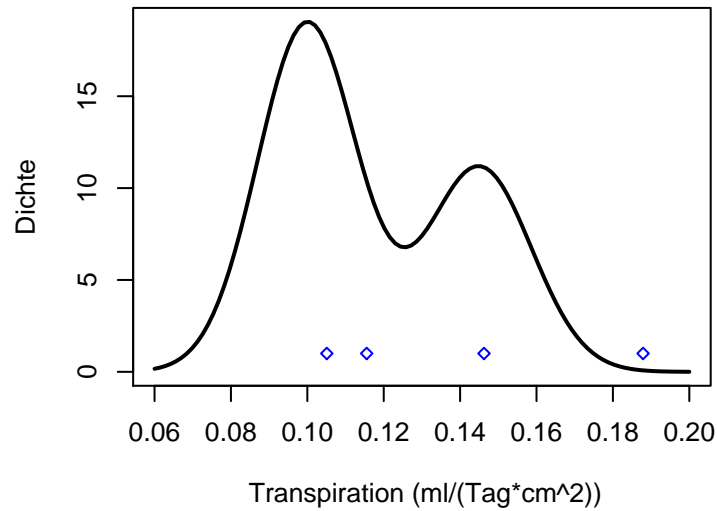
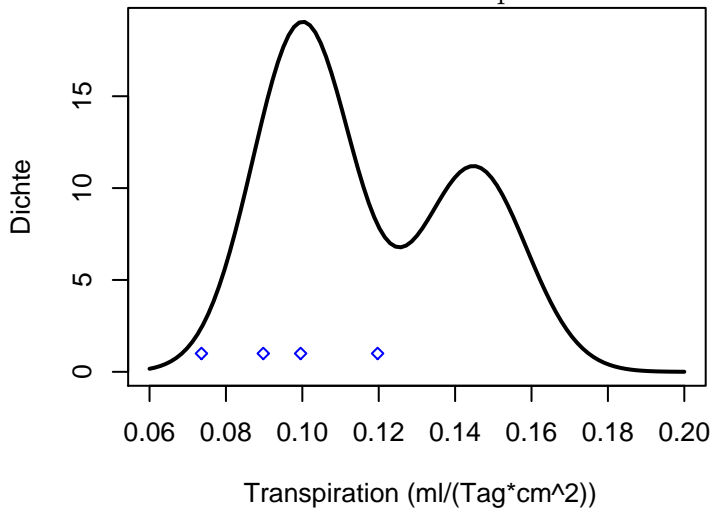
Nehmen wir an, die Verteilung aller möglichen Transpirationswerte sieht folgendermaßen  
aus:



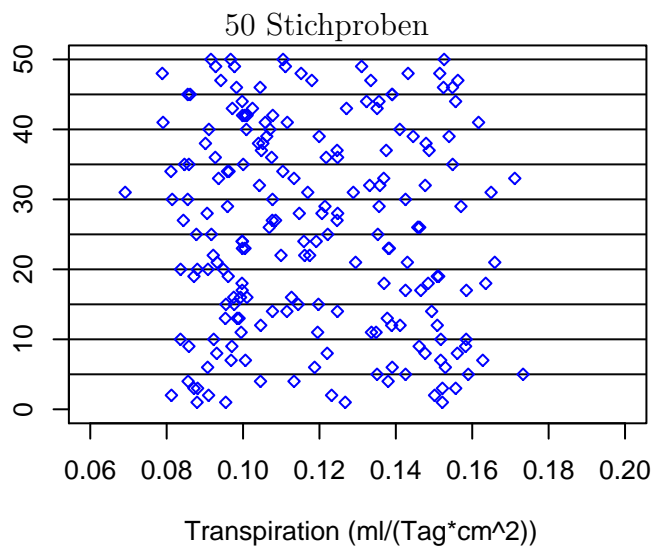
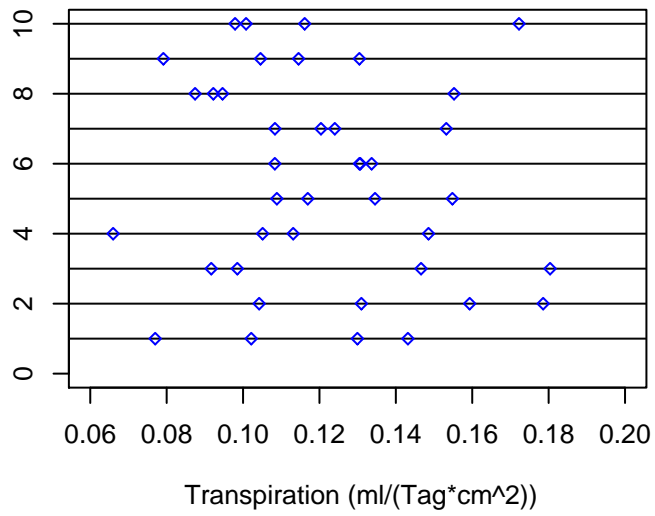
Wir beginnen mit kleinen Stichproben:

$$n = 4$$

Eine Stichprobe vom Umfang 4 Eine zweite Stichprobe vom Umfang 4 Eine dritte Stichprobe vom Umfang 4

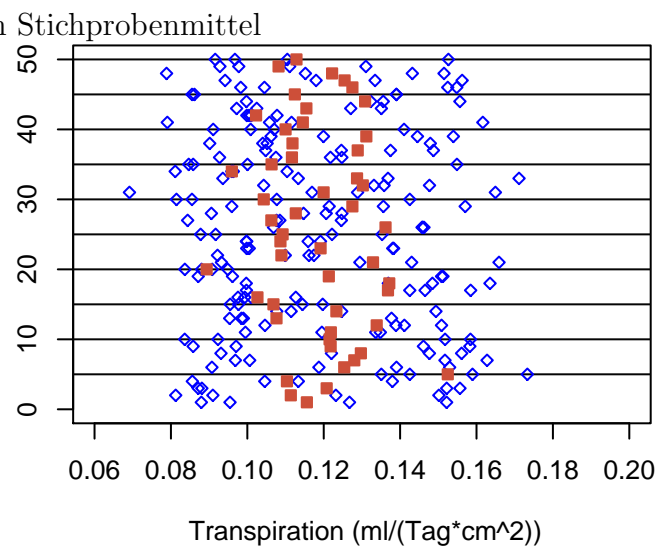
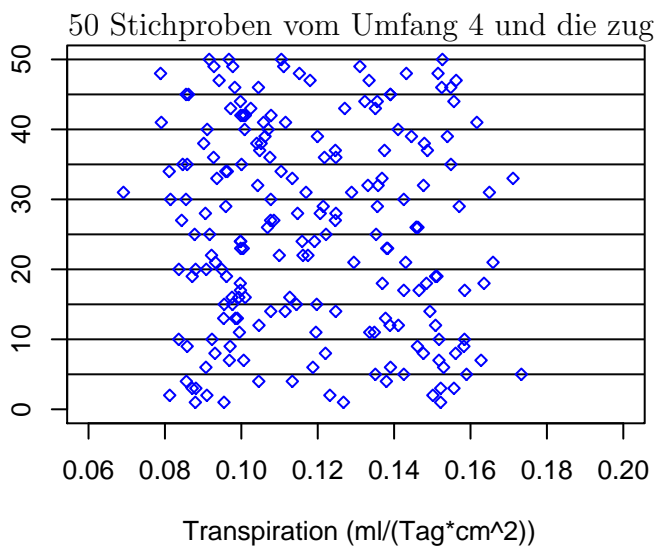
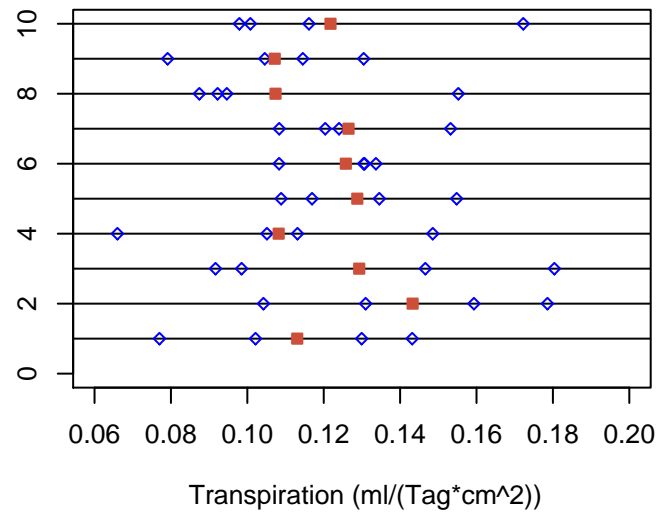
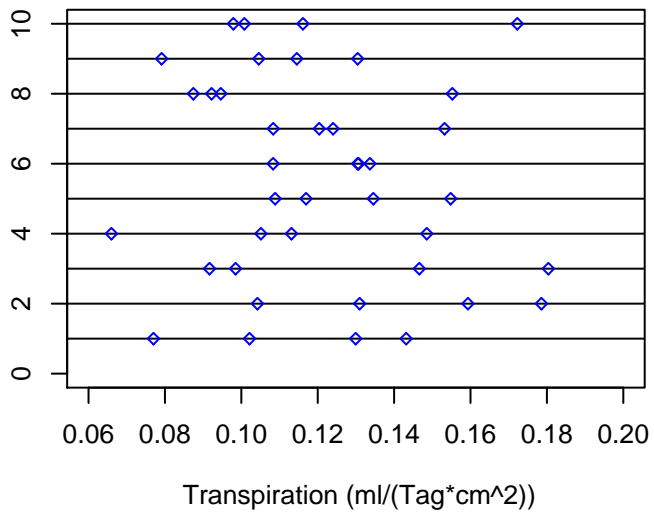


10 Stichproben

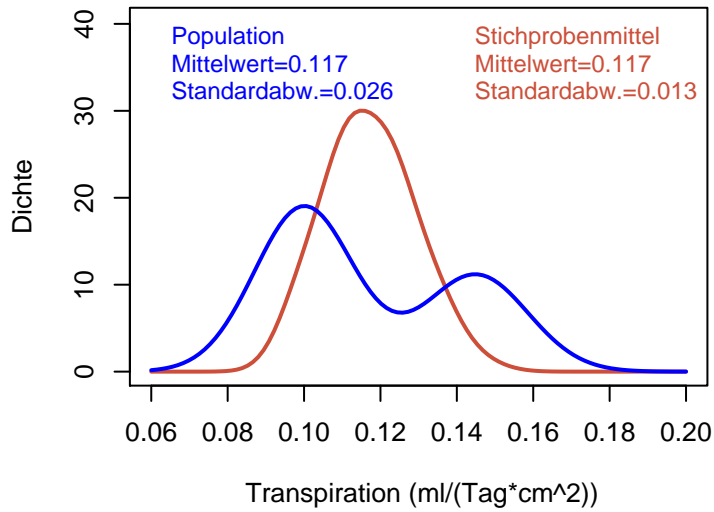


Wie variabel sind die Stichprobenmittelwerte?

10 Stichproben vom Umfang 4 und die zugehörigen Stichprobenmittel



Verteilung der Stichprobenmittelwerte (Stichprobenumfang  $n = 4$ )

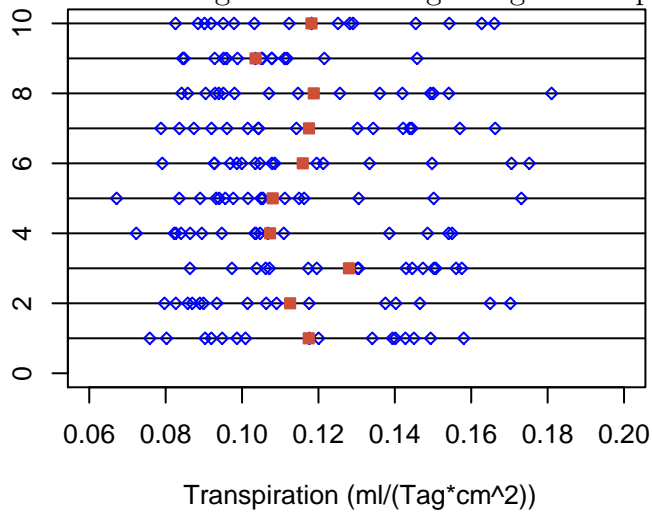


Population: Standardabweichung = 0,026

Stichprobenmittelwerte ( $n = 4$ ):  $Standardabweichung = 0,013$   
 $= 0,026/\sqrt{4}$

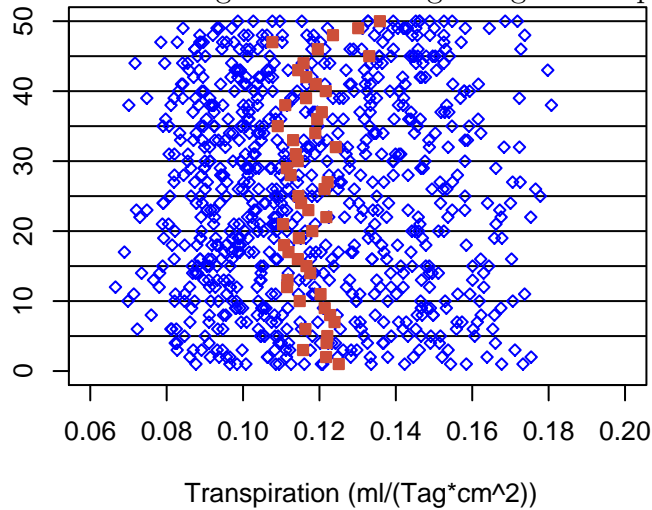
Erhöhen wir den Stichprobenumfang von 4 auf 16

10 Stichproben vom Umfang 16 und die zugehörigen Stichprobenmittel

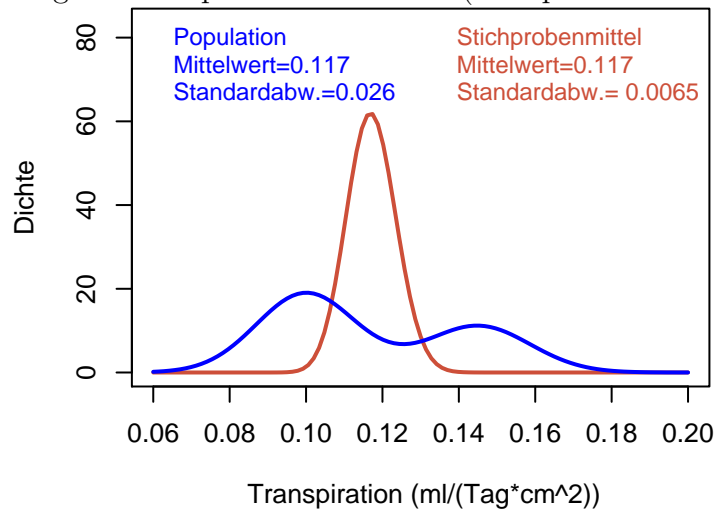




50 Stichproben vom Umfang 16 und die zugehörigen Stichprobenmittel



Verteilung der Stichprobenmittelwerte (Stichprobenumfang  $n = 16$ )



Population: Standardabweichung = 0,026

Stichprobenmittelwerte ( $n = 16$ ):  $Standardabweichung = 0,0065$   
 $= 0,026/\sqrt{16}$

### Die allgemeine Regel

Die Standardabweichung des Mittelwerts einer Stichprobe vom Umfang  $n$  ist  $1/\sqrt{n}$  mal der Standardabweichung der Population.

Die Standardabweichung der Population bezeichnet man mit  $\sigma$  (*sigma*).

Die Regel schreibt man häufig so:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{n}}\sigma(X)$$

In der Praxis ist  $\sigma$  unbekannt.

Es wird durch die Stichproben-Standardabweichung  $s$  geschätzt:

$$\sigma = ??$$

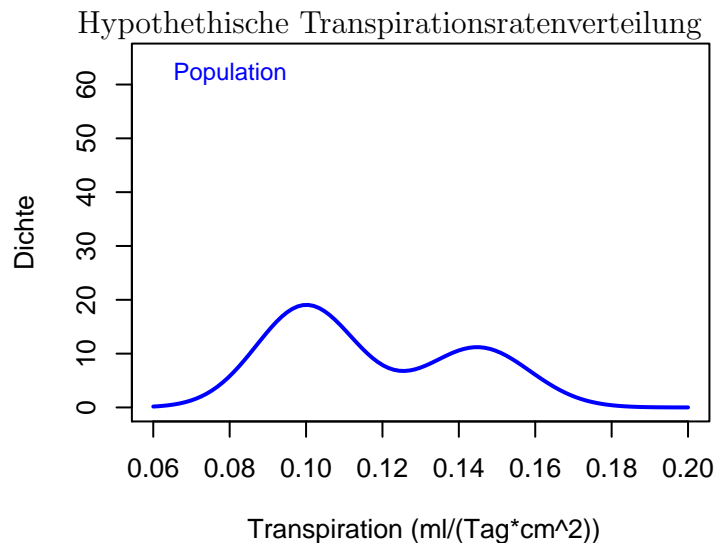
$$\sigma \approx s$$

Die geschätzte Standardabweichung von  $\bar{x}$   $s/\sqrt{n}$  nennt man den Standardfehler.  
(Englisch: *standard error of the mean, standard error, SEM*)

### 1.3 Zur Verteilung von $\bar{x}$

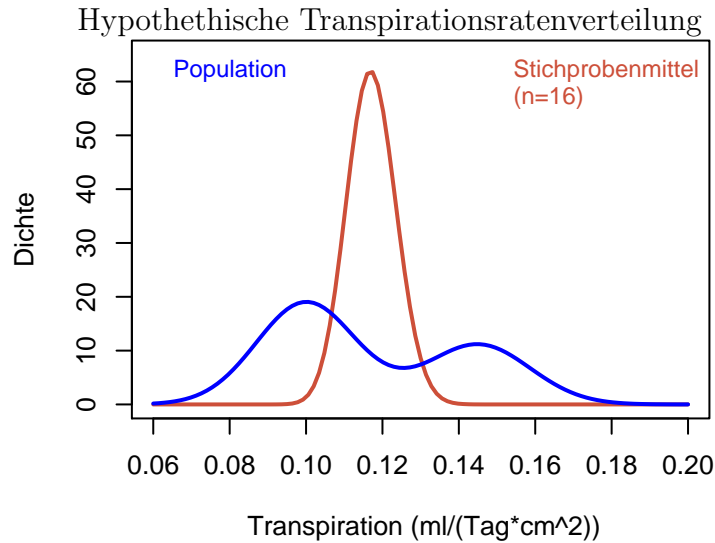
Wir haben gesehen:

Auch wenn die Verteilung von  $x$  mehrgipfelig & asymmetrisch ist



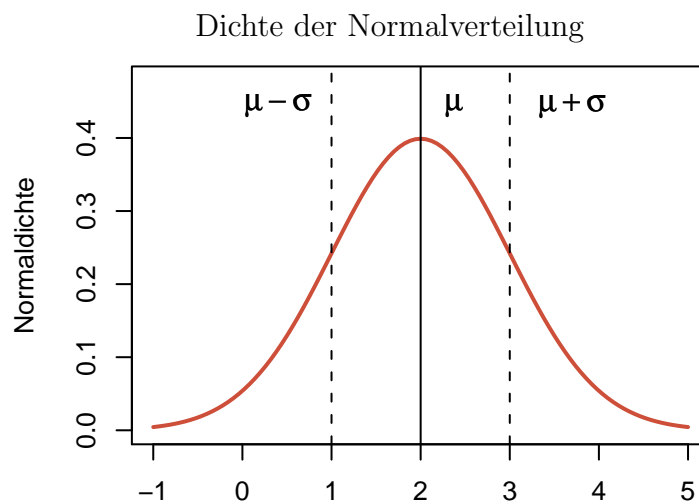
ist die Verteilung von  $\bar{x}$  trotzdem (annähernd) eingipfelig & symmetrisch

(wenn der Stichprobenumfang  $n$  nur groß genug ist)



Die Verteilung von  $\bar{x}$  hat annähernd eine ganz bestimmte Form:

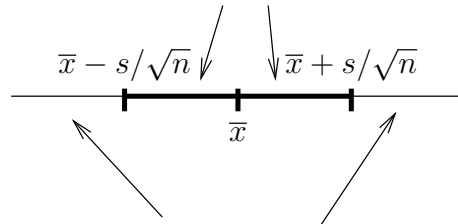
*die Normalverteilung.*



Die Normalverteilungsdichte heisst auch *Gauß'sche Glockenkurve* (nach Carl Friedrich Gauß, 1777-1855)

### Wichtige Folgerung

Mit Wahrscheinlichkeit ca.  $2/3$   
liegt  $\mu$  innerhalb dieses Intervalls



Mit Wahrscheinlichkeit ca.  $1/3$   
liegt  $\mu$  *ausserhalb* des Intervalls

Demnach:

Es kommt durchaus vor, dass  $\bar{x}$  von  $\mu$  um mehr als  $s/\sqrt{n}$  abweicht.

## 1.4 Anwendungen

### ANWENDUNG 1: Welche Werte von $\mu$ sind plausibel?

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 0,12 \\ s/\sqrt{n} &= 0,007\end{aligned}$$

*Frage:* Könnte es sein, dass  $\mu = 0,115$ ?

*Antwort:* Es ist gut möglich.

$$\text{Abweichung } \bar{x} - \mu = 0,120 - 0,115 = 0,005.$$

$$\text{Standardfehler } s/\sqrt{n} = 0,007$$

Abweichungen dieser Größe kommen häufig vor.

(Die Frage, welche Abweichungen *nicht* mehr plausibel sind, untersuchen wir später.)

### ANWENDUNG 2: Vergleich von Mittelwerten Beispiel: Springkrebs

Galathea: Carapaxlänge in einer Stichprobe

Männchen:  $\bar{x}_1 = 3,04$  mm  $s_1 = 0,9$  mm  $n_1 = 25$

Weibchen:  $\bar{x}_2 = 3,23$  mm  $s_2 = 0,9$  mm  $n_2 = 29$

Die Weibchen scheinen größer zu sein.

Ist das ernst zu nehmen?

Oder könnte es nur *Zufall* sein?

Wie genau sind die beiden Mittelwerte?

Männchen:  $\bar{x}_1 = 3,04$  mm  $s_1 = 0,9$  mm  $n_1 = 25$

$$s_1/\sqrt{n_1} = 0,18 \text{ [mm]}$$

Mit Schwankungen von  $\pm 0,18$  (mm) in  $\bar{x}_1$  müssen wir rechnen.

Wie genau sind die beiden Mittelwerte?

Weibchen:  $\bar{x}_2 = 3,23$  mm  $s_2 = 0,9$  mm  $n_2 = 29$

$$s_2/\sqrt{n_2} = 0,17 \text{ [mm]}$$

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass  $\bar{x}_2$  um mehr als  $\pm 0,17$  (mm) vom wahren Mittelwert abweicht.

Die Differenz der Mittelwerte

$$3,23 - 3,04 = 0,19 \text{ [mm]}$$

ist kaum größer als die zu erwartenden Schwankungen.

Es könnte also einfach *Zufall* sein, dass  $\bar{x}_2 > \bar{x}_1$

GENAUER FORMULIERT:

Wenn in Wirklichkeit die Populationsmittelwerte gleich sind,  $\mu_{\text{Weibchen}} = \mu_{\text{Männchen}}$  kann es trotzdem leicht passieren, dass die Stichprobenmittelwerte  $\bar{x}_2$  und  $\bar{x}_1$  so weit auseinander liegen.

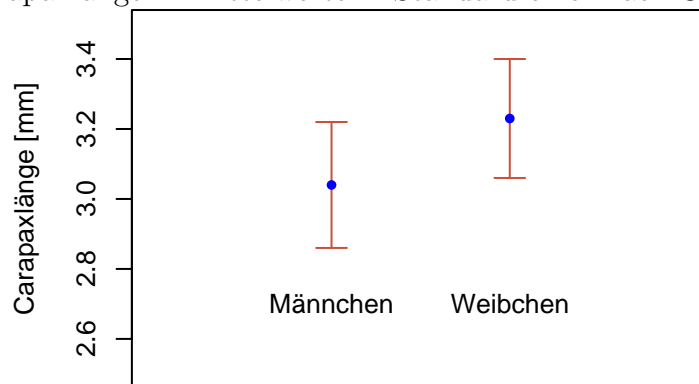
Der Statistiker sagt: Die Differenz der Mittelwerte ist (statistisch) *nicht signifikant*.

*nicht signifikant = könnte Zufall sein*

### ANWENDUNG 3:

Wenn man Mittelwerte graphisch darstellt, sollte man auch ihre Genauigkeit ( $\pm s/\sqrt{n}$ ) anzeigen.

Carapaxlängen: Mittelwerte  $\pm$  Standardfehler nach Geschlecht



**ANWENDUNG 4:** Bei der Versuchsplanung: Wieviele Beobachtungen brauche ich? (Wie groß sollte die Stichprobenlänge  $n$  sein?)

Wenn man weiß, welche Genauigkeit (Standardfehler  $s/\sqrt{n}$ ) für  $\bar{x}$  man erreichen will,

und wenn man (aus Erfahrung oder aus einem Vorversuch)  $s$  ungefähr kennt, dann kann man das notwendige  $n$  ungefähr abschätzen:  $s/\sqrt{n} = g$  ( $g$  = gewünschter Standardfehler)

Beispiel: Gestresste Transpirationswerte bei einer anderen Hirse-Sorte:  $\bar{x} = 0,18$   $s = 0,06$   
 $n = 13$

Nehmen wir an, der Versuch soll wiederholt werden und man will Standardfehler  $\approx 0,01$  erreichen.

*Wie groß sollte  $n$  sein?*

Lösung: gewünscht:  $s/\sqrt{n} \approx 0,01$  aus dem Vorversuch wissen wir:

$$\begin{aligned} s &\approx 0,06 \\ \sqrt{n} &\approx \frac{0,06}{0,01} = 6 \\ n &\approx 36 \end{aligned}$$

## 1.5 Zusammenfassung

### ZUSAMMENFASSUNG

- Nehmen wir an, eine Population hat Mittelwert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma$ .
- Aus dieser Population ziehen wir eine Zufallsstichprobe vom Umfang  $n$ , mit Stichprobenmittelwert  $\bar{x}$ .
- $\bar{x}$  ist eine Zufallsgröße mit Mittelwert  $\mu$  und Standardabweichung  $\sigma/\sqrt{n}$ .
- Man schätzt die Standardabweichung von  $\bar{x}$  mit  $s/\sqrt{n}$ .
- $s/\sqrt{n}$  nennt man den *Standardfehler*.
- Schwankungen in  $\bar{x}$  von der Größe  $s/\sqrt{n}$  kommen häufig vor. Solche Schwankungen sind „*nicht signifikant*“: sie könnten Zufall sein.