

M24 Statistik 1: Wintersemester 2023/24

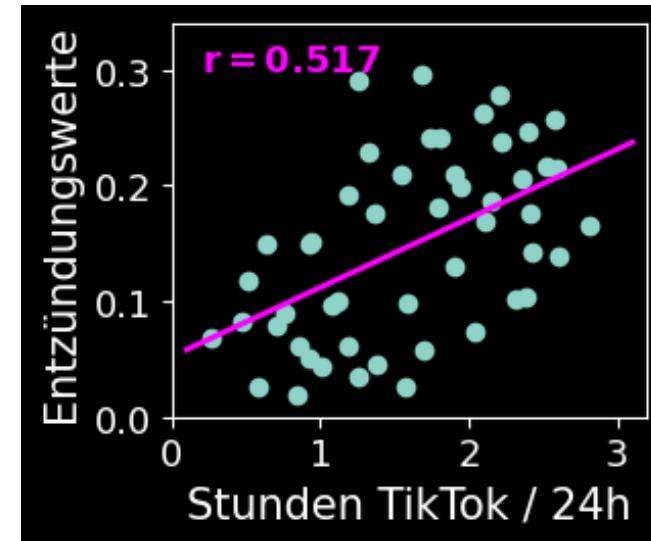
Vorlesung 06: Regression

Prof. Matthias Guggenmos

Health and Medical University Potsdam

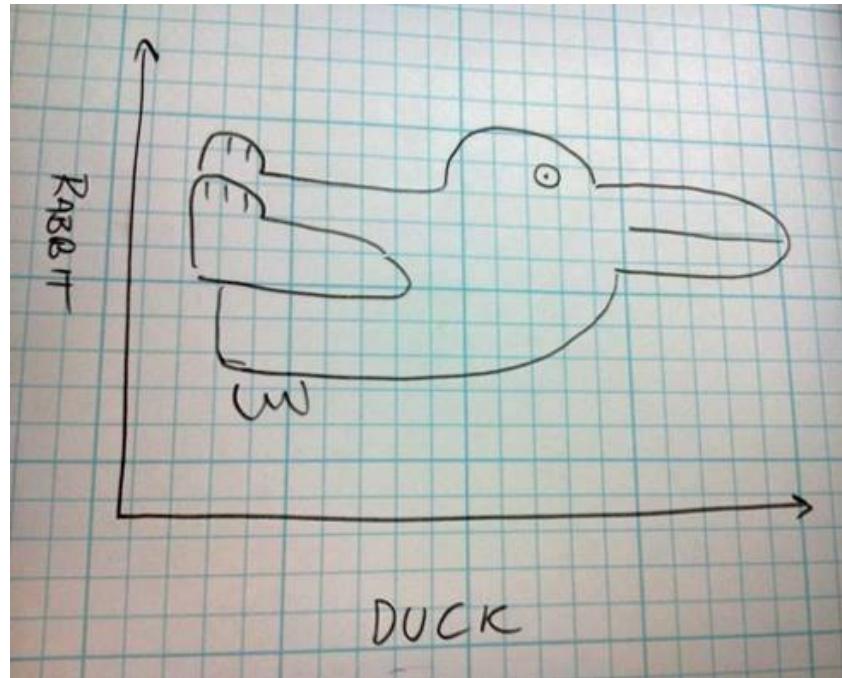


Kurze Erinnerung: beim letzten Mal fanden wir einen Zusammenhang von TikTok-Online-Zeit und Entzündungsparametern:



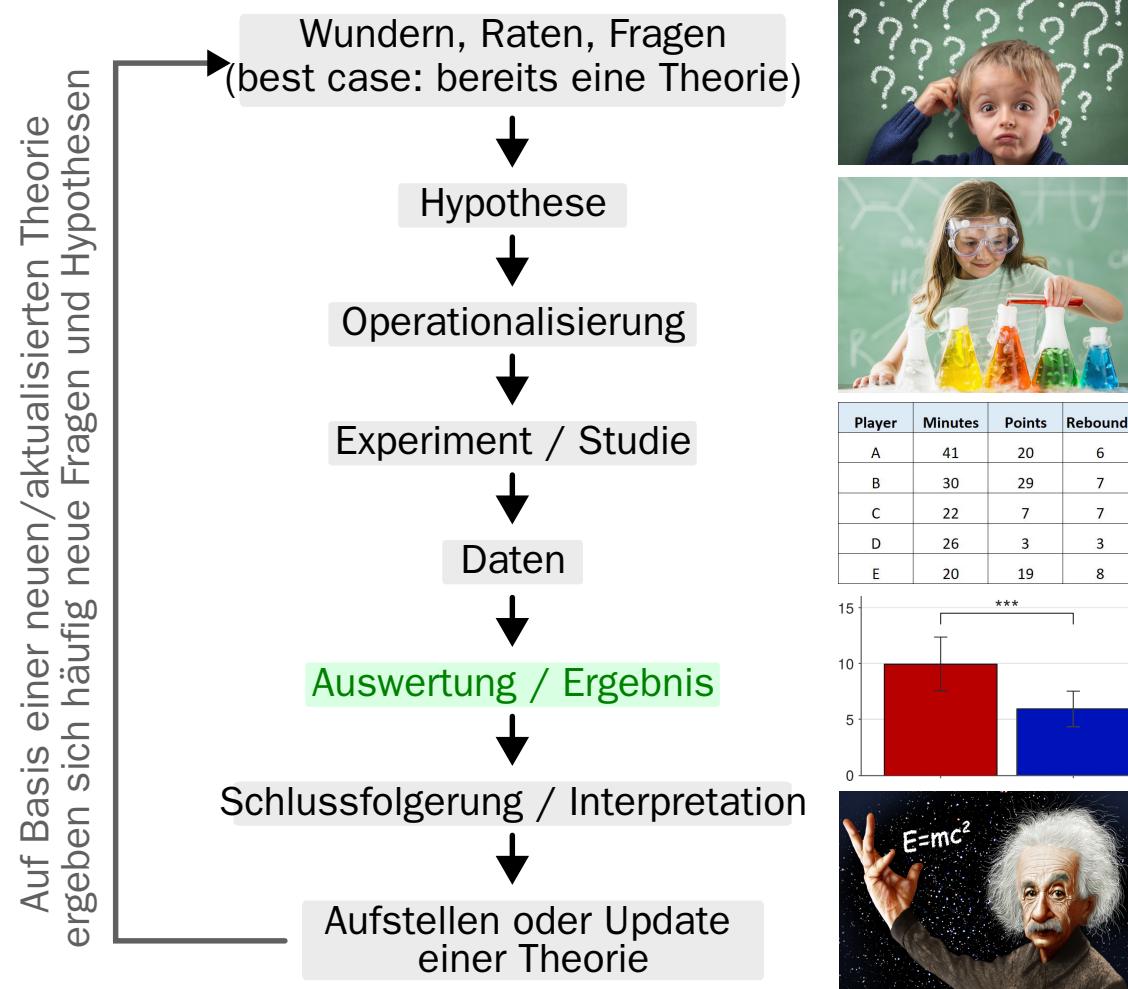
Bei der Interpretation stellt sich einerseits die Kausalitätsfrage, andererseits, wie stark der Zusammenhang tatsächlich ist. Da die Pearson-Korrelation lediglich den **Grad der Linearität** beurteilt, fragen Sie sich: um wie viel erhöhen sich die Entzündungsparameter pro Stunde zusätzliche Zeit auf TikTok? Oder umgekehrt: um wie viel erhöht sich die Zeit auf TikTok, wenn die Entzündungswerte um einen Wert x ansteigen?

Regression



Bildnachweis¹

Der Forschungsprozess



Player	Minutes	Points	Rebounds
A	41	20	6
B	30	29	7
C	22	7	7
D	26	3	3
E	20	19	8



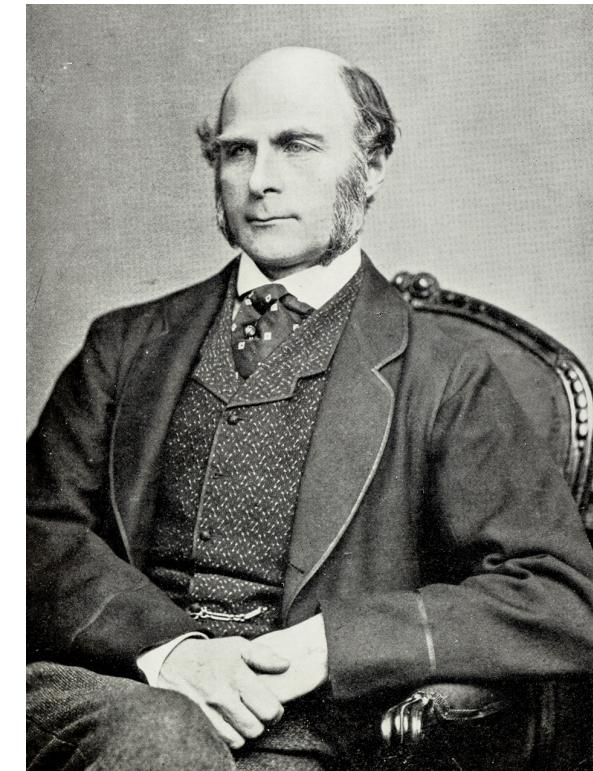
Woher kommt der Ausdruck “Regression”?

- Lateinisch »regredi« = „umkehren, zurückgehen“
- Psychoanalyse: Regression = Zurückfallen in kindliche Verhaltensmuster

Wir heißen es **Regression**, wenn sich im Traum die Vorstellung in das sinnliche Bild zurückverwandelt, aus dem sie irgend einmal hervorgegangen ist.

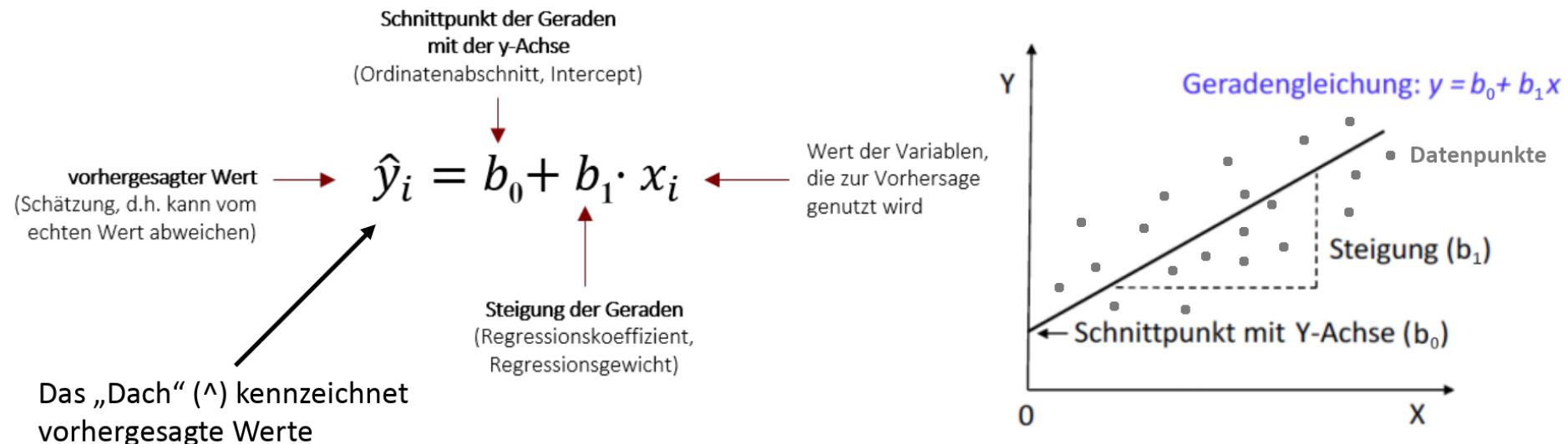
Sigmund Freud (1900). “Traumdeutung”.

- In die Statistik wird der Ausdruck “Regression” klassischerweise auf **Francis Galton** (Cousin von Charles Darwin) attribuiert, der bereits 1885 ein Phänomen beschrieb, das er *regression toward mediocrity* (**Regression zur Mitte**) taufte
- Das Phänomen bestand darin, dass Nachfahren großer Eltern dazu tendieren, selbst nur durchschnittlich groß zu werden
- Neuere Forschung zeigt allerdings, dass sich Galton selbst wohl noch nicht des statistischen Ursprungs dieses Phänomens bewusst war und eine biologische Erklärung favorisierte².



Regression

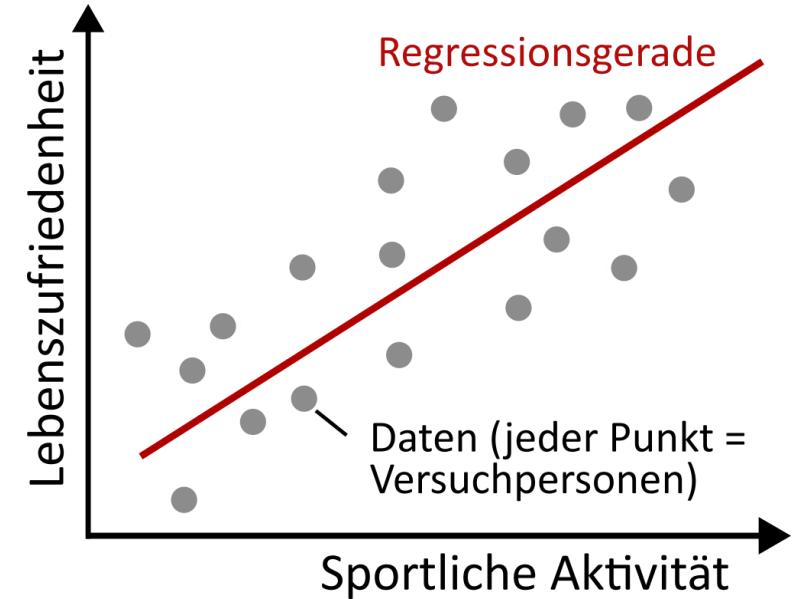
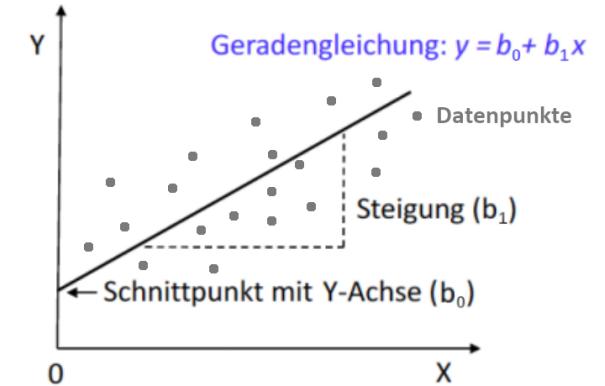
- Dem Wortsinn nach ist Ziel der **Regression** eine abhängige Variable auf eine oder mehrere unabhängige Variablen zurückzuführen (auf diese zu *regredieren*)
- Eingängiger ist aber die umgekehrte Formulierung: Ziel der Regression ist es, auf Basis der unabhängigen Variablen die eine abhängige Variable **vorherzusagen** oder **zu erklären**
 - Unabhängige Variable(n)** = vorhersagende oder erklärende Variable(n) ("Ursache")
 - Abhängige Variable** = vorhergesagte oder erklärte Variable ("Auswirkung")



- Beispiel: Studie untersucht Zusammenhang von Lebenszufriedenheit und sportlicher Aktivität
 - Lebenszufriedenheit**: unabhängige/vorhersagende/erklärende Variable
 - Sportliche Aktivität**: abhängige/vorhergesagte/erklärte Variable

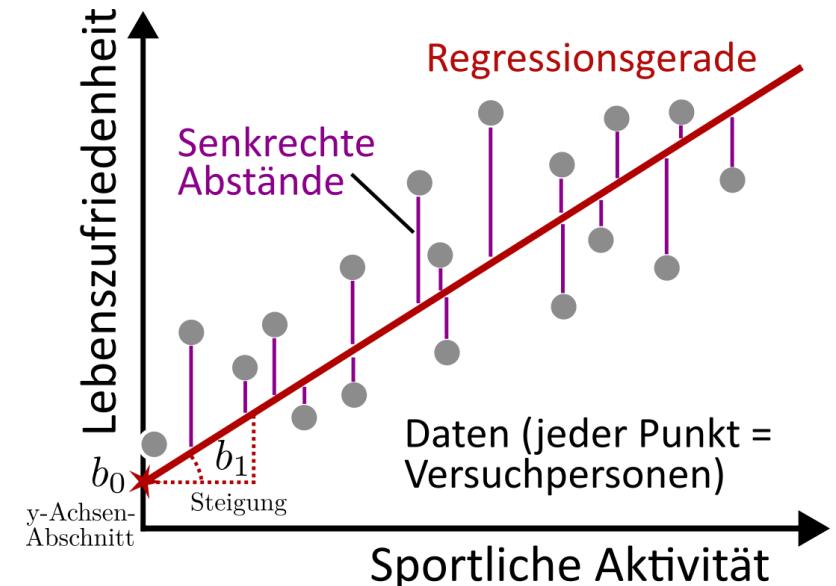
Regression

- Im Gegensatz zur Korrelation bestimmt die Regression nicht die Linearität des Zusammenhangs (vielmehr wird dies vorausgesetzt), sondern die **Steigung** des Zusammenhangs
- Aus diesem Grund ist die Regression (wieder im Gegensatz zur Korrelation) nicht symmetrisch – die Steigung ist abhängig davon welche Variable als abhängig und unabhängig deklariert wird.
 - Wie wir noch sehen werden, ist es auch nicht gestattet, die Regressionsgleichung zu invertieren ($x_i = \frac{1}{b_1} \hat{y}_i - \frac{b_0}{b_1}$) – im Allgemeinen ist $\frac{1}{b_1}$ *nicht* die Steigung, wenn die Rollen von X und Y vertauscht werden.
- Die Vorhersage/Erklärung von X durch Y geschieht durch eine Gleichung – die **Regressionsgleichung** – die im Streudiagramm als Gerade eingezeichnet werden kann.



Bestimmung der Regressionsgerade: Methode der kleinsten Quadrate

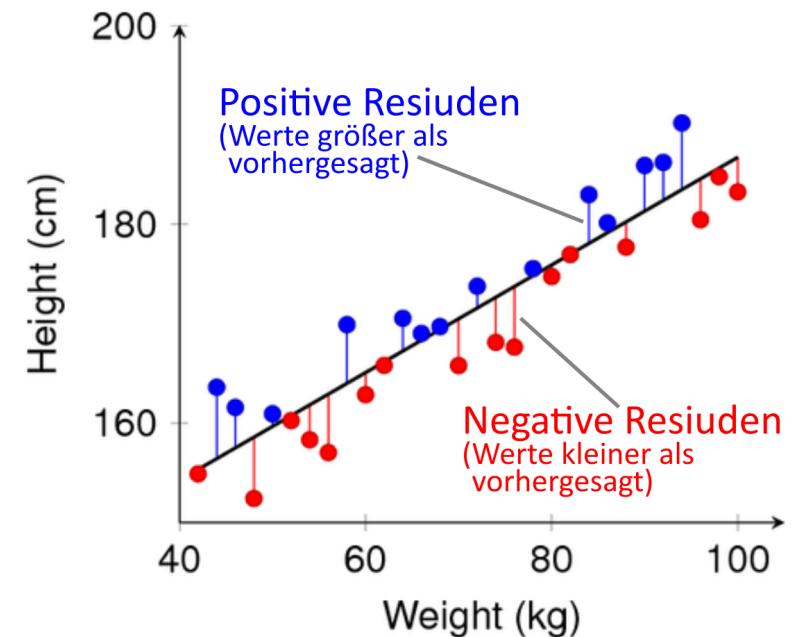
- Ziel der Regression ist es, die Gerade zu finden, die die Datenpunkte möglichst gut abbildet – es gibt jedoch verschiedene Definitionen dessen, was “möglichst gut” heißt
- Die häufigste Variante ist die **Methode der kleinsten Quadrate**, bei der die Gerade so gewählt wird, dass die Summe der quadrierten **senkrechten Abstände** jedes Datenpunktes zur Geraden minimal ist
 - Engl. *ordinary least square*
- Die **einfache Regression** mit nur einer unabhängigen Variablen hat zwei freie Parameter, um die Gerade an die Datenpunkte anzupassen (zu “fitten”):
 - y-Achsenabschnitt** b_0 (engl. *intercept*)
 - Steigung** b_1 (engl. *slope*)
- Die senkrechten Abstände der Datenpunkte von der gefitteten Geraden werden **Residuen** genannt.
- Exakt 0 wären die senkrechten Abstände nur, wenn alle Punkte auf einer perfekten Gerade liegen.



Warum weichen die Datenpunkte überhaupt von einer Geraden ab?

Verschiedene Gründe:

- Variablen korrelieren überhaupt nicht
- Einfluss von Störvariablen
- Messungenauigkeit



In der Psychologie gibt es (bis auf triviale Fälle) keine perfekten linearen Zusammenhänge, d.h. es verbleiben immer **Residuen** $\Delta\hat{y}_i$:

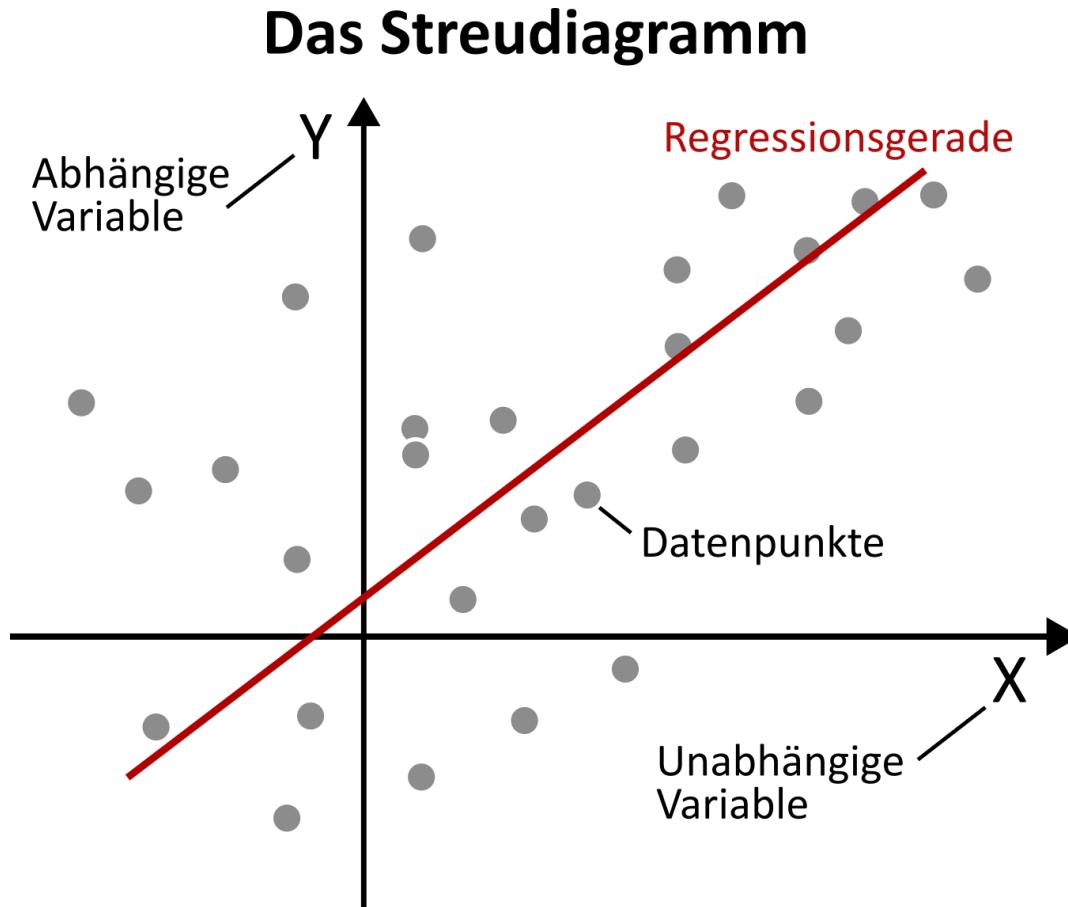
$$\text{Residuum: } \Delta\hat{y}_i = \hat{\epsilon}_i = \hat{y}_i - y_i$$



Residuum = Differenz von vorhergesagtem Wert \hat{y}_i und tatsächlichem Wert y_i

Streudiagramm bei Regression

- in der Regel UV auf der x-Achse und AV auf der y-Achse



https://phet.colorado.edu/sims/html/graphing-slope-intercept/latest/graphing-slope-intercept_all.html?locale=de

Totale, erklärte und Residuenquadratsumme

- Die Methode der kleinsten Quadrate minimiert die **Residuenquadratsumme (SQR)**:

$$SQR = \sum (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum \hat{\epsilon}_i^2$$

- Diese wiederum lässt sich in Bezug setzen zur **totalen Quadratsumme (SQT)** und zur **erklärten Quadratsumme (SQE)**:

$$SQR = SQT - SQE \quad \text{bzw.}$$

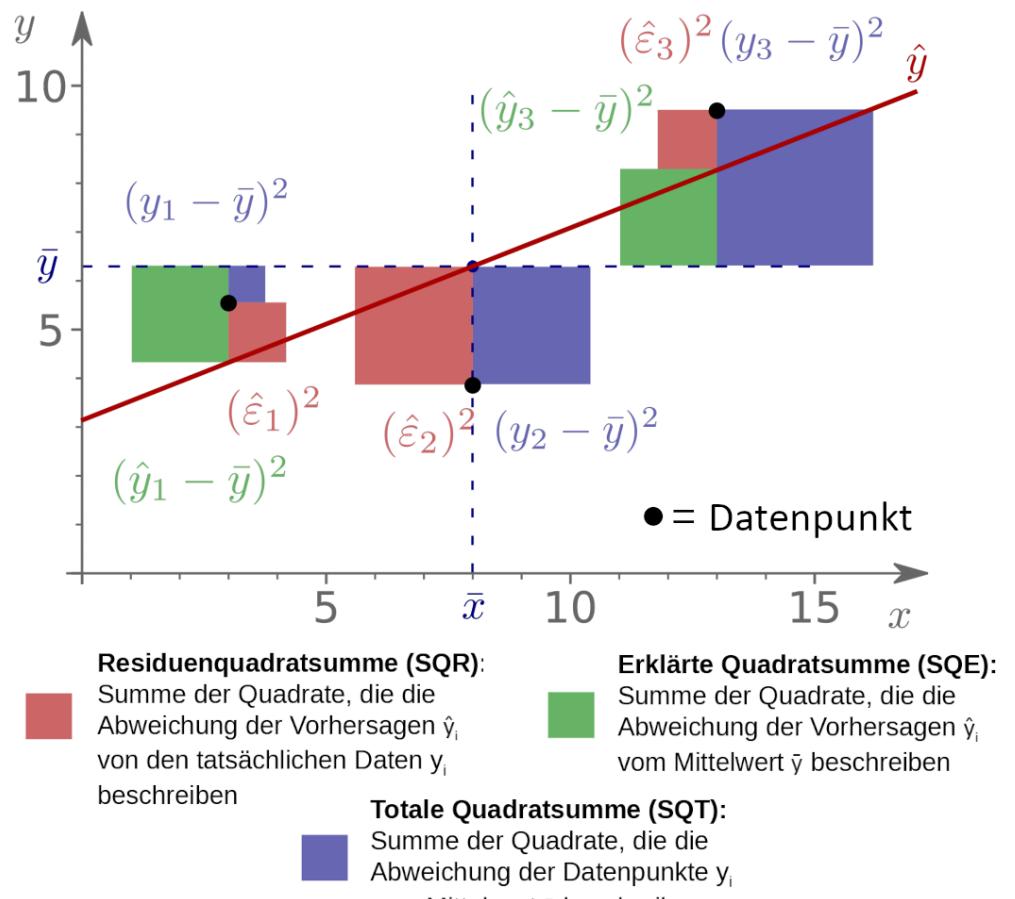
$$SQT = SQT + SQR$$

- Mit

$$SQE = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$$

$$SQT = \sum (y_i - \bar{y})^2$$

- Falls alle Punkte exakt auf der Regressionsgeraden liegen ($\hat{y}_i = y_i$) ist die erklärte Quadratsumme identisch der totalen Quadratsumme ($SQE = SQT$) und die Residuenquadratsumme ist 0



Bestimmtheitsmaß

- Das **Bestimmtheitsmaß** R^2 gibt an, wie gut die Datenpunkte durch die Regressionsgerade gefittet werden (“Anpassungsgüte”)
- Es gibt an, welcher Anteil der Datenvarianz $Var(Y)$ durch die Varianz der Vorhersage $Var(\hat{Y})$ erklärt wird..

$$R^2 = \frac{Var(\hat{Y})}{Var(Y)} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SQE}{SQT}$$

- .. oder äquivalent, den Anteil der erklärten Quadratsumme an der totalen Quadratsumme.



Bei einer einfachen Regression gilt: $R^2 = r^2$

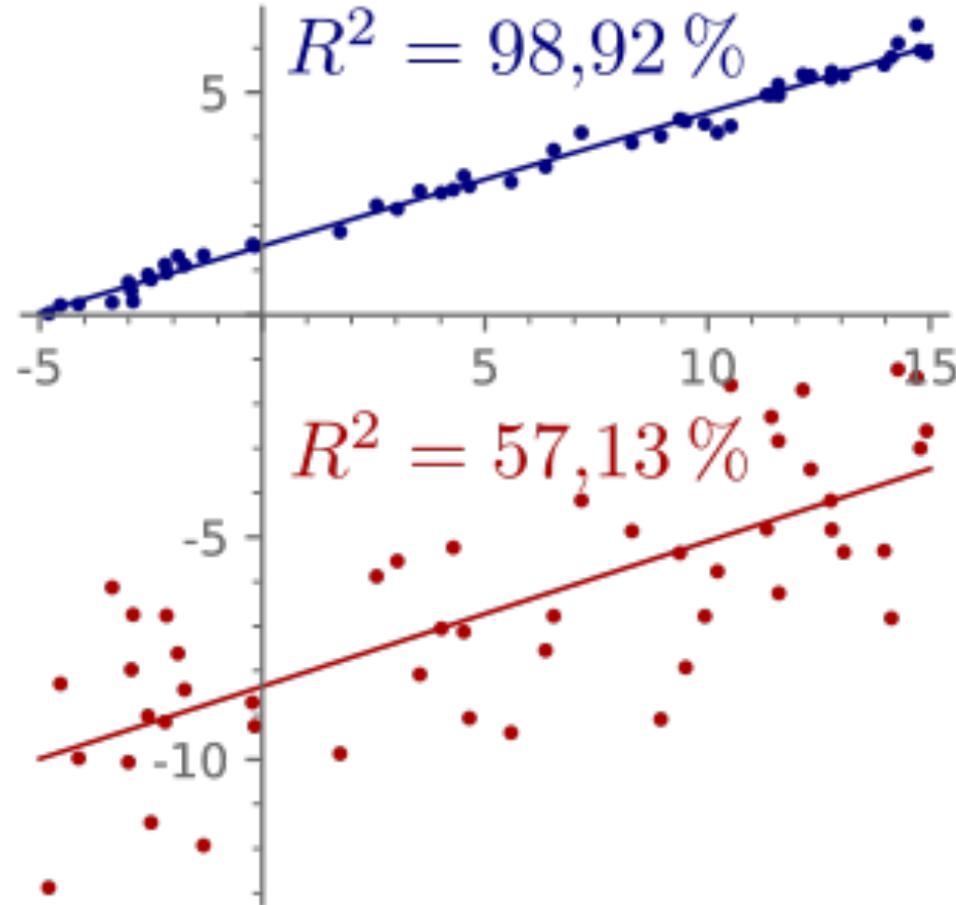
Das Bestimmtheitsmaß ist bei einer einfachen Regression also identisch dem quadrierten Korrelationskoeffizienten zwischen den Variablen X und Y!



Lebenszufriedenheit und sportliche Aktivität haben eine Korrelation von $r = 0,8$.

Beispiel ⇒ Sportliche Aktivität erklärt $r^2 = 0,64 \hat{=} 64\%$ der Varianz von Lebenszufriedenheit (und umgekehrt).

Bestimmtheitsmaß



- Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt an, wie gut sich die Variable Y mit einer linearen Gleichung basierend auf X vorhersagen lässt.
- Der Maximalwert von R^2 ist 1. In diesem Fall erklärt die lineare Gleichung in X die Daten Y perfekt.
- Da das Bestimmtheitsmaß R^2 angibt, welcher Anteil der Varianz in den Daten durch die lineare Gleichung erklärt wird, wird es manchmal in Prozent ausgedrückt (d.h. mit 100 multipliziert; wie im Bild links). Der Maximalwert von R^2 ist dann 100%.

Beispiele für zwei Regressionen mit Bestimmtheitsmaß $R^2 = 98,92\%$ und $R^2 = 57,13\%$. Selbst das schwächere Beispiel mit 57,13 wäre für typische Effekte in der Psychologie noch ein außerordentlich hoher Wert.³

Analytische Form der Regressionskoeffizienten (einfache Regression)

Die optimalen **Regressionskoeffizienten** b_0 (Achsenabschnitt) und b_1 (Steigung) lassen sich analytisch herleiten:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Achsen-abschnitt

\rightarrow

Regressions-koeffizient
Mittelwert des Prädiktors (x)
Mittelwert des Kriteriums (y)

\rightarrow

Regressions-koeffizient
 $b_1 = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\text{Var}(X)}$
Kovarianz der Variablen x und y
Varianz des Prädiktors (x)

- Aus den Mittelwerten und der Kovarianz von X und Y , sowie der Varianz von X , lassen sich also die Regressionskoeffizienten vollständig bestimmen.
- Auch hier zeigt sich wieder die Assymmetrie der Regression: während bei der Formel für die Pearson-Korrelation $\text{Var}(X)\text{Var}(Y)$ im Nenner steht, ist es beim Regressionskoeffizienten lediglich die Varianz der unabhängigen Variable $\text{Var}(X)$
- Wäre stattdessen Y die unabhängige Variable, stünde $\text{Var}(Y)$ im Nenner, und der Regressionskoeffizient hätte i.d.R. einen anderen Wert.
 - Dies ist auch der Grund, weshalb die Regressionsgleichung nicht einfach invertiert werden darf:

$$\hat{x}_i = \frac{1}{b_1} \hat{y}_i - \frac{b_0}{b_1}$$

$\left(\dots \text{und } \frac{1}{b_1} \text{ im Allgemeinen } \text{nicht} \text{ der Regressionskoeffizient für } Y \text{ als unabhängige Variable ist.} \right)$

Zusammenhang Regression \leftrightarrow Korrelation

- Folgendener Zusammenhang gilt zwischen der Steigung b_1 und dem Korrelationskoeffizienten r :

$$b_1 = \frac{Cov(X, Y)}{Var(X)} = \frac{Cov(X, Y)}{s_X^2} = \frac{s_Y}{s_X} \frac{Cov(X, Y)}{s_X s_X} = \frac{s_Y}{s_X} \underbrace{\frac{Cov(X, Y)}{s_X s_Y}}_r = \frac{s_Y}{s_X} r$$

- Es gilt also

$$b_1 = \frac{s_Y}{s_X} r \quad \text{bzw.} \quad r = \frac{s_X}{s_Y} b_1$$



Sind die Standardabweichungen s_X und s_Y bekannt, kann aus der Steigung b_1 der Regression immer auch der Korrelationskoeffizient r bestimmt werden (und umgekehrt).

- Der Ausdruck $\frac{s_X}{s_Y} b_1$ wird auch **standardisierter Regressionskoeffizient** β_1 genannt:

$$\beta_1 = \frac{s_X}{s_Y} b_1$$

- Bei der einfachen Regression ist der standardisierte Regressionskoeffizient identisch mit dem Korrelationskoeffizienten: $\beta_1 = r$

Standardisierter Regressionskoeffizient

- Wie gesehen erhält man den **standardisierten Regressionskoeffizienten** β durch die Transformation $\beta_1 = \frac{s_X}{s_Y} b_1$
- Im Gegensatz zu b_1 ist β_1 unabhängig von der Skalierung von X und Y (also z.B. ob die Einheit als cm oder m gewählt wurde) $\Rightarrow \beta$ -Koeffizienten lassen sich besser zwischen verschiedenen Regressionen vergleichen

Defin Standardisierung einer Variable X := Variable X durch ihre Standardabweichung s_X teilen
ition Die Variable X hat nach der Standardisierung die Standardabweichung $s_X = 1$.

- Wurden sowohl X als auch Y vor der Regression standardisiert, also $s_X = s_Y = 1$, so sind die Regressionskoeffizienten automatisch standardisiert:

$$\beta_1 = \frac{s_X}{s_Y} b_1 = \frac{1}{1} b_1 = b_1$$

Interpretation im Kontext der Regressionsgleichungen $\hat{Y} = b_0 + b_1 X$ bzw. $\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$

b_1 Um welchen Wert ändert sich Y bei einer Änderung von X um den Wert 1?

β_1 Um welchen Wert ändert sich Y bei einer Änderung von X um eine Standardabweichung s_X ?

Herleitung der Regressionskoeffizienten

- Die Methode der kleinsten Quadrate entspricht der Minimierung der quadratischen Residuen:

$$SQR = \sum (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum (b_0 + b_1 x_i - y_i)^2 \stackrel{!}{=} \min$$

- Um das Minimum von SQR in Abhängigkeit von b_0 und b_1 zu finden, setzen wir die Ableitungen von SQR nach den Parametern gleich Null (Infinitesimalrechnung@Schule 😊)
- Zunächst leiten wir SQR nach b_0 ab (Kettenregel):

$$\frac{dSQR}{db_0} = \sum 2(b_0 + b_1 x_i - y_i) = 2nb_0 + 2 \sum (b_1 x_i - y_i) = 0$$

$$\rightarrow b_0 = \frac{1}{n} \sum (y_i - b_1 x_i) = \frac{1}{n} \sum y_i - \frac{b_1}{n} \sum x_i = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

- ... jetzt benötigen wir noch b_1



Herleitung der Regressionskoeffizienten

- SQR nach b_1 ableiten und gleich Null setzen:

$$\frac{dSQR}{db_1} = \sum 2(b_0 + b_1 x_i - y_i)x_i = 2b_0 \sum x_i + 2b_1 \sum x_i^2 - 2 \sum x_i y_i = 0$$

$$\rightarrow b_1 = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} - \frac{b_0 \sum x_i}{\sum x_i^2} \stackrel{(b_0 \text{ einsetzen})}{=} \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} - \frac{\bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2} + b_1 \frac{\bar{x} \sum x_i}{\sum x_i^2}$$

- Alle b_1 -Terme auf die linke Seite bringen und einige Umformungen vornehmen:

$$b_1 - b_1 \frac{\bar{x} \sum x_i}{\sum x_i^2} = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} - \frac{\bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2}$$

$$b_1 \left(1 - \frac{\bar{x} \sum x_i}{\sum x_i^2} \right) = \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2}$$

$$b_1 \left(\frac{\sum x_i^2}{\sum x_i^2} - \frac{\bar{x} \sum x_i}{\sum x_i^2} \right) = \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2}$$

$$b_1 \frac{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum x_i}{\sum x_i^2} = \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2}$$

$$\rightarrow b_1 = \frac{\sum x_i^2}{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum x_i} \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2} = \frac{\sum x_i y_i - \bar{y} \sum x_i}{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum x_i} \stackrel{(\sum x_i = n \bar{x})}{=} \frac{\sum x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum x_i^2 - n \bar{x}^2} \stackrel{(\frac{1}{n} \sum x_i y_i = \bar{x} \bar{y})}{=} \frac{\frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\frac{1}{n} \sum x_i^2 - \bar{x}^2}$$



Herleitung der Regressionskoeffizienten

- Zwischenergebnis:

$$b_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\frac{1}{n} \sum x_i^2 - \bar{x}^2}$$

- Um zu erkennen, dass der Zähler der Kovarianz und der Nenner der Varianz entspricht, betrachten wir nochmal die Formeln der (Ko)Varianz:

$$\begin{aligned} Cov(X, Y) &= \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{n} \sum (x_i y_i - x_i \bar{y} - y_i \bar{x} + \bar{x} \bar{y}) = \frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{y} \frac{1}{n} \sum x_i - \bar{x} \frac{1}{n} \sum y_i + \bar{x} \bar{y} = \\ &\stackrel{\left(\frac{1}{n} \sum x_i = \bar{x} \right)}{=} \frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{y} \bar{x} - \bar{x} \bar{y} + \bar{x} \bar{y} = \frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Var(X) &= \frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i^2 - 2x_i \bar{x} + \bar{x}^2) = \frac{1}{n} \sum x_i^2 - 2\bar{x} \frac{1}{n} \sum x_i + \bar{x}^2 = \\ &\stackrel{\left(\frac{1}{n} \sum x_i = \bar{x} \right)}{=} \frac{1}{n} \sum x_i^2 - 2\bar{x}^2 + \bar{x}^2 = \frac{1}{n} \sum x_i^2 - \bar{x}^2 \end{aligned}$$

- Es gilt also tatsächlich:

$$b_1 = \frac{Cov(X, Y)}{Var(X)}$$



Beweis, dass $R^2 = r^2$ bei einfacher Regression

- Ausgestattet mit der Formel für den Regressionskoeffizienten, lässt sich nun auch beweisen, dass bei der einfachen Regression gilt: $R^2 = r^2$

$$\begin{aligned}
 R^2 &= \frac{Var(\hat{Y})}{Var(Y)} = \frac{\frac{1}{n} \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{Var(Y)} \stackrel{(\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i)}{=} \frac{\frac{1}{n} \sum [(b_0 + b_1 x_i) - (b_0 + b_1 \bar{x})]^2}{Var(Y)} = \frac{\frac{1}{n} \sum (b_1 x_i - b_1 \bar{x})^2}{Var(Y)} = \\
 &= b_1^2 \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i - \bar{x})^2}{Var(Y)} = b_1^2 \frac{Var(X)}{Var(Y)} \quad \left(\text{NB sieht man, dass gilt: } Var(\hat{Y}) = b_1^2 Var(X) \right)
 \end{aligned}$$

- Nun $b_1 = \frac{Cov(X, Y)}{Var(X)}$ einsetzen:

$$R^2 = \frac{Cov^2(X, Y)}{Var^2(X)} \frac{Var(X)}{Var(Y)} = \frac{Cov^2(X, Y)}{Var(X)Var(Y)}$$

- Vergleiche mit r^2 :

$$r^2 = \left[\frac{Cov(X, Y)}{s_X s_Y} \right]^2 = \frac{Cov^2(X, Y)}{s_X^2 s_Y^2} = \frac{Cov^2(X, Y)}{Var(X)Var(Y)}$$



Ausblick: Multiple Regression

- Gibt es mehr als eine **unabhängige Variable** (auch **Prädiktoren** genannt), handelt es sich nicht mehr um eine einfache Regression, sondern um eine **multiple Regression**:

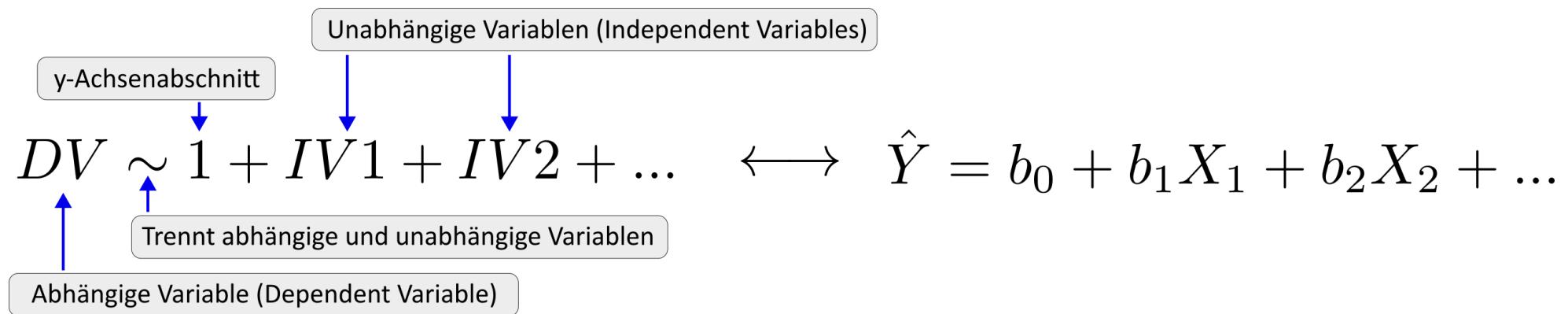
$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots$$

1. Prädiktor 2. Prädiktor usw.

- Jeder Prädiktor X_1, X_2, \dots, X_n hat einen eigenen Regressionskoeffizienten b_1, b_2, \dots, b_n
- Multiple Regression wird ausführlich in Statistik 2 behandelt.

“Formula Notation”: Formalisierung von Regressionsmodellen

- Da Regressionen heute ausschließlich mit dem Computer berechnet werden, hat sich eine eigene Sprache etabliert, um Regressionsmodelle zu definieren (bekannt als *Formula Notation*):



- Der Ausdruck “ $DV \sim 1 + IV1 + IV2$ ” kann der Statistiksoftware als *String* übergeben werden; so wird definiert, welches Regressionsmodell gerechnet werden soll.
- DV, IV1, IV2 sind dabei die gewählten Variablennamen – beliebige Ausdrücke sind möglich

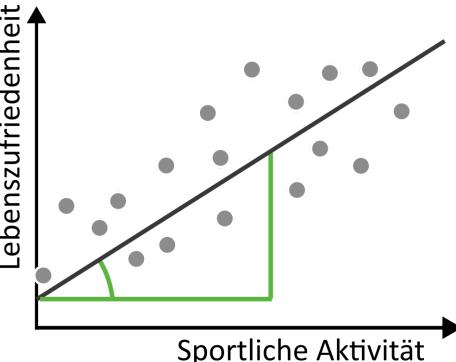
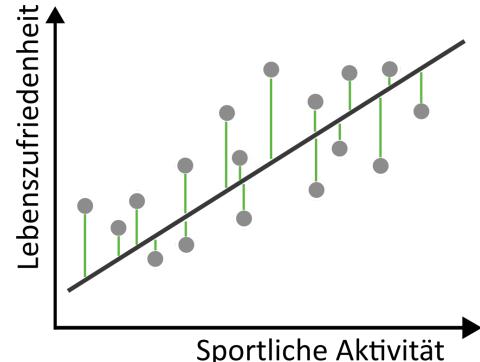


“satisfaction ~ 1 + physical_activity”

Beispiel

Dies wäre eine mögliche Definition unserer einfachen Regression mit sportlicher Aktivität als unabhängiger und Lebenszufriedenheit als abhängiger Variable.

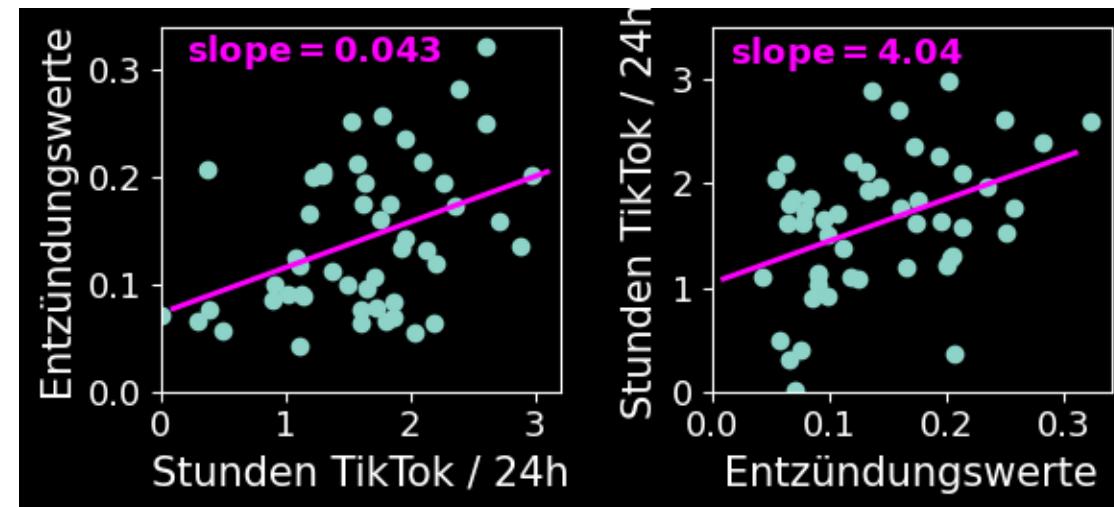
Regression: Erklärung versus Vorhersage

	Erklärung	Vorhersage
Ziel	<p>Zusammenhänge zwischen Variablen untersuchen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hängen die Variablen X und Y zusammen? - Ist der Zusammenhang positiv oder negativ? - Wie stark ist der Zusammenhang? 	Wie gut kann Variable Y durch Variable X vorhergesagt werden?
Interessante Größe	Steigung b_1	Bestimmtheitsmaß R^2
Visuelle Hervorhebung der interessanten Größe		
Beispiel	<p>Regression von Lebenszufriedenheit auf sportliche Aktivität. Der Regressionskoeffizient sei $b_1 = 0,5$.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Zusammenhang ist positiv. - Eine Erhöhung von sportlicher Aktivität um den Wert 1 führt im Schnitt zu einer Erhöhung der Lebenszufriedenheit um den Wert 0,5. 	<p>Regression von Lebenszufriedenheit auf sportliche Aktivität. Das Bestimmtheitsmaß sei $R^2 = 0,4$.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sportliche Aktivität hat eine gute Vorhersagekraft für Lebenszufriedenheit. - Sportliche Aktivität erklärt 40% der Varianz von interindividueller Lebenszufriedenheit.

[Zusammenfassung]

- Die lineare Regression erweitert die Korrelation zu einer **Vorhersageanalyse**: wenn Variablen korrelieren, lässt sich eine Variable aus der anderen vorhersagen.
- Die Vorhersage basiert auf einer **Regressionsgerade**, die alle Datenpunkte so gut wie möglich repräsentiert.
- Die Regressionsgerade wird durch den **Achsenabschnitt** b_0 und die **Steigung** b_1 beschrieben.
- Die standardisierte Form des Steigungs-Koeffizienten wird **Beta** oder **Beta-Gewicht** genannt und ist identisch dem Korrelationskoeffizienten (bei einfacher Regression).
- Das **Bestimmtheitsmaß** R^2 bemisst die Vorhersagegenauigkeit der Regression.
- Die Regression kann sowohl der **Vorhersage** einer Variable Y auf Basis einer Variable X dienen, als auch der **Erklärung** bzw. Beschreibung eines Zusammehangs von X und Y .

Sie führen nun eine Regressionsanalyse bezüglich des Zusammenhangs von TikTok-Online-Zeit und Entzündungswerten durch. Einmal mit TikTok-Online-Zeit und einmal mit Entzündungswerten als unabhängiger Variable:



Es zeigt sich, dass 1 Stunde zusätzlicher TikTok-Konsum mit einer Erhöhung des Entzündungsparameters um 0,043 verbunden ist. Umgekehrt ist eine Erhöhung des Entzündungswertes um 1 mit 4,04 Stunden — bzw. etwas praktikabler, eine Erhöhung des Entzündungswertes um 0,1 mit 0,404 Stunden (24 Minuten) — verbunden.

Diese “rohen” Effektstärken zeigen: es handelt sich um ein substantiellen Zusammenhang!

Fußnoten

1. <https://flowingdata.com/2014/06/25/duck-vs-rabbit-plot/>
2. Krashniak A, Lamm E (2021) Francis Galton's regression towards mediocrity and the stability of types. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 86:6–19.
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:R2values.svg>