

# L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Formeln

# Vorbemerkung

- Die Darstellung von mathematischen Formeln ist einer der Grundpfeiler (und sogar Grund) von TeX bzw. LaTeX.
- Dementsprechend gibt es auch hier unendliche viele Beispiele und Spezialfälle und Listen von Symbolen und Befehlen.
- Wie zuvor werden wir uns auf das Verständnis der Grundlagen konzentrieren.
- Alle Liste und Spezialfälle sind im Internet zum Nachschlagen verfügbar.

# Pakete

- LaTeX hat schon einen Grundsatz an mathematischen Funktionen.
- `amsmath` und `amssymb` sind die Standard-Pakete die zur mathematischen Darstellung zusätzlich geladen werden. Wir werden diese immer einsetzen.
- *AMS* steht für **A**merican **M**athematical **S**ociety.
- Eine sehr gute Quelle an Informationen bei Fragen ist die Original-Dokumentation der Pakete:

<ftp://ftp.ams.org/pub/tex/doc/amsmath/amslldoc.pdf>

# math-Umgebung

- Die `math`-Umgebung schaltet LaTeX in den Mathe-Modus.
- Innerhalb dieser Umgebung gelten ganz andere Formatierungsregeln als im normalen Text.
- Zwei Möglichkeiten:
  - Entweder im Fließtext mit  $...\mathcal{A}$
  - Oder als freistehende Gleichung mit diversen Umgebungen.
- Wir behandeln beide Möglichkeiten.

# Mathe mit der `equation-` `Umgebung`

# equation

- Eine einzelne Gleichung wird mit der Umgebung `equation` angegeben.
- Die Gleichung wird dann nicht im Fließtext sondern freistehend formatiert.

```
\begin{equation}
n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta
\end{equation}
```

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (1)$$

# Einige Grundregeln

Leerzeichen ist Multiplikation

Viele vordefinierte Befehle

Alle Buchstaben  
werden als  
Variablen  
interpretiert.

```
\begin{equation}
n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta
\end{equation}
```

Unterstrich erzeugt Index

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

(1)

Automatische  
Nummerierung  
mit Zähler  
equation

# Nummerierung

- Wenn nicht nummeriert werden soll wird die Umgebung `equation*` gebraucht.

```
\begin{equation}
n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta
\end{equation}
```

```
\begin{equation*}
n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta
\end{equation*}
```

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \tag{1}$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

# Standard-Symbole

- Diese Symbole und Operatoren können direkt eingetippt werden.

```
\begin{equation}  
+ - = ! / ( ) [ ] < > | ' :  
\end{equation}
```

+ - = ! / ( ) [ ] < > | ' :

# Multiplikation

```
\begin{equation}
a\cdot b, \quad a\times b
\end{equation}
```

- `\cdot`
- `\times`

$$a \cdot b, \quad a \times b$$

# Griechische Buchstaben

- Griechische Buchstaben werden einfach ausgeschrieben.
- Große griechische Buchstaben werden groß geschrieben.

```
\begin{equation}
\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon
(\varepsilon), \dots
\end{equation}
```

```
\begin{equation}
\Gamma, \Delta, \Theta, \Lambda, \dots
\end{equation}
```

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon(\varepsilon), \dots$

$\Gamma, \Delta, \Theta, \Lambda, \dots$

# Griechische Buchstaben

**Greek Letters**

Symbol	Script	Symbol	Script
A and $\alpha$	A and <code>\alpha</code>	N and $\nu$	N and <code>\nu</code>
B and $\beta$	B and <code>\beta</code>	$\Xi$ and $\xi$	<code>\Xi</code> and <code>\xi</code>
$\Gamma$ and $\gamma$	<code>\Gamma</code> and <code>\gamma</code>	O and $\omicron$	O and <code>\omicron</code>
$\Delta$ and $\delta$	<code>\Delta</code> and <code>\delta</code>	$\Pi$ , $\pi$ and $\varpi$	<code>\Pi</code> , <code>\pi</code> and <code>\varpi</code>
E, $\epsilon$ and $\varepsilon$	E, <code>\epsilon</code> and <code>\varepsilon</code>	P, $\rho$ and $\varrho$	P, <code>\rho</code> and <code>\varrho</code>
Z and $\zeta$	Z and <code>\zeta</code>	$\Sigma$ , $\sigma$ and $\varsigma$	<code>\Sigma</code> , <code>\sigma</code> and <code>\varsigma</code>
H and $\eta$	H and <code>\eta</code>	T and $\tau$	T and <code>\tau</code>
$\Theta$ , $\theta$ and $\vartheta$	<code>\Theta</code> , <code>\theta</code> and <code>\vartheta</code>	$\Upsilon$ and $\upsilon$	<code>\Upsilon</code> and <code>\upsilon</code>
I and $\iota$	I and <code>\iota</code>	$\Phi$ , $\phi$ , and $\varphi$	<code>\Phi</code> , <code>\phi</code> and <code>\varphi</code>
K, $\kappa$ and $\varkappa$	K, <code>\kappa</code> and <code>\varkappa</code>	X and $\chi$	X and <code>\chi</code>
$\Lambda$ and $\lambda$	<code>\Lambda</code> and <code>\lambda</code>	$\Psi$ and $\psi$	<code>\Psi</code> and <code>\psi</code>
M and $\mu$	M and <code>\mu</code>	$\Omega$ and $\omega$	<code>\Omega</code> and <code>\omega</code>

[http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Mathematics#List\\_of\\_Mathematical\\_Symbols](http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Mathematics#List_of_Mathematical_Symbols)

# Funktionen

- Schreibt man einfach `sin` für Sinus dann wird jeder Buchstabe als Variable interpretiert.
- Deswegen gibt es für die Standardfunktionen eigene Befehle.

```
\begin{equation}
n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta
\end{equation}
```

Jeder Buchstabe kursiv

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Keine Lücke wegen Multiplikation

# Funktionen

## Trigonometric Functions

Symbol	Script	Symbol	Script	Symbol	Script	Symbol	Script
sin	<code>\sin</code>	arcsin	<code>\arcsin</code>	sinh	<code>\sinh</code>	sec	<code>\sec</code>
cos	<code>\cos</code>	arccos	<code>\arccos</code>	cosh	<code>\cosh</code>	csc	<code>\csc</code>
tan	<code>\tan</code>	arctan	<code>\arctan</code>	tanh	<code>\tanh</code>		
cot	<code>\cot</code>	arccot	<code>\arccot</code>	coth	<code>\coth</code>		

Auch für `\log` und `\ln`.

[http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Mathematics#List\\_of\\_Mathematical\\_Symbols](http://en.wikibooks.org/wiki/LaTeX/Mathematics#List_of_Mathematical_Symbols)

# Hoch- und tiefgestellt

- Die Befehle `_` und `^` stellen tief bzw. hoch.
- Das Argument muss mit `{...}` geklammert werden.
- Wird die Klammer weggelassen werden die nächsten beiden Symbole genommen (das kann lustig aussehen).
- Verschiedene Kontexte:
  - an einer Variablen
  - an einem Operator
  - an einer Funktion
- Die Befehle können geschachtelt werden.

```
\begin{equation}
a^{b^c} = a^{b\cdot c}
\end{equation}
```

$$a^{b^c} = a^{b \cdot c}$$

# Hoch- und tiefgestellt

```
\begin{equation}
a^{b^c} = a^{b\cdot c}
\end{equation}
```

$$a^{b^c} = a^{b \cdot c}$$

```
\begin{equation}
f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3
\dots
\end{equation}
```

$$f(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \dots$$

```
\begin{equation}
\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \dots
\end{equation}
```

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \dots$$

```
\begin{equation}
V \propto T \bigg|_P
\end{equation}
```

$$V \propto T \bigg|_P$$

# Brüche

- Bruch: engl. *fraction*.
- Der Befehl `\frac` hat zwei Argumente:
  - ▶ Zähler
  - ▶ Nenner
- Beide werden mit `{...}` umschlossen.
- Brüche können auch geschachtelt werden.

```
\begin{equation}
U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}
\frac{1}{\mathrm{e}^{h\nu/kT} - 1}
\end{equation}
```

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

```
\begin{equation}
U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}
\frac{1}{\mathrm{e}^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}
\end{equation}
```

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

# Einige Operatoren

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \mp \dots$$

• Summe: `\sum`

• Integral: `\int`

• Limes: `\lim`

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \exp(-x) = 0$$

# Summe

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \mp \dots$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \exp(-x) = 0$$

```
\begin{equation}
\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty}
(-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} =
\frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} +
\frac{x^5}{5!} \mp \dots
\end{equation}
```

# Integral

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \mp \dots$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

```
\begin{equation}
F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}
\int\limits_{-\infty}^{\infty} f(t)
\mathrm{e}^{-i\omega t} \mathrm{d}t
\end{equation}
```

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \exp(-x) = 0$$

# Limes

$$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!} = \frac{x}{1!} - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} \mp \dots$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \exp(-x) = 0$$

```
\begin{equation}
\lim_{x \to \infty} \exp(-x) = 0
\end{equation}
```

# Integralgrenzen

- Beim Integral können mit den üblichen Befehlen `^` und `_` die Grenzen definiert werden.
- Die stehen dann nicht genau über und unter dem Integralzeichen.
- Dafür gibt es den Befehl `\limits`, der dann mit `^` und `_` gebraucht wird.

```
\begin{equation}
F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}
\int_{-\infty}^{\infty} f(t)
\mathrm{e}^{-i\omega t} \mathrm{d}t
\end{equation}
```

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

# Ableitung

- Ableitung ist einfach ein Bruch.
- Der Differentialoperator  $d$  wird nicht kursiv gesetzt!
- `\mathrm` wählt aus der aktuellen Font-Familie die römische Variante aus (also nicht *italic*).
- Das jedes mal zu tippen ist zu aufwändig, also...

```
\begin{equation}
-i\hbar \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}
\Psi = H \Psi
\end{equation}
```

$$-i\hbar \frac{d}{dt} \Psi = H \Psi$$

# Ableitungs-Befehl

- ... wird ein eigener Befehl definiert.

```
\newcommand{\ddt}{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}}
```

```
\begin{equation}  
-i\hbar \ddt \Psi = H \Psi  
\end{equation}
```

$$-i\hbar \frac{d}{dt} \Psi = H \Psi$$

# Höhere Ableitungen

Zahlen im Befehls-Namen nicht möglich

```
\newcommand{\dsqdt}{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t^2}}
```

```
\begin{equation}  
a(t) = \dsqdt x(t)  
\end{equation}
```

- Das geht auch mit höheren Ableitungen.

$$a(t) = \frac{d^2}{dt^2} x(t)$$

Das war gut. Wie geht optimal?

# Ableitung mit Argument

- Optimal: in der Befehlsdefinition wird die abhängige Größe als Argument übergeben.

```
\newcommand{\diff}[1]
{\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}}#1}}

\begin{equation}
-i\hbar \diff{t} \Psi = H \Psi
\end{equation}
```

$$-i\hbar \frac{d}{dt} \Psi = H \Psi$$

# Ableitung mit Argument

- Noch lustiger wird es bei höheren Ableitungen.
- Dann muss allerdings beim Gebrauch des Befehls aufgepasst werden...

```
\newcommand{\diff}[2]{\frac{\mathrm{d}^{\#2}}{\mathrm{d}\#1^{\#2}}}
```

```
\begin{equation}
-i\hbar \diff{t}{} \Psi = H \Psi
\end{equation}
```

```
\begin{equation}
a(t) = \diff{t}{2}x(t)^2
\end{equation}
```

Leeres Argument!

# Partielle Ableitungen

- Bei partiellen Ableitungen wird der Differentialoperator durch `\partial` ersetzt.

```
\begin{equation}
\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E}(\vec{x}, t) =
\Delta \vec{E}(\vec{x}, t)
\end{equation}
```

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \vec{E}(\vec{x}, t) = \Delta \vec{E}(\vec{x}, t)$$

# Differentialoperator alleine

- Der Differentialoperator alleine sollte mit einem kleinen Abstand zum Rest stehen.
- Hierzu gebrauchen wir den Abstands-Befehl `\`, den wir schon von Einheiten her kennen.

# Differentialoperator alleine

```
\begin{equation}
\mathrm{d}U = \mathrm{d}Q - p\mathrm{d}V
\end{equation}
```

$$dU = dQ - p dV$$

$$dU = dQ - pdV$$

```
\begin{equation}
\mathrm{d}U = \mathrm{d}Q - p\mathrm{d}V
\end{equation}
```

# Klammern

- Runde (...) und eckige [...] Klammern und Betrag |...| können direkt eingegeben werden.
- Geschweifte Klammern müssen ‚escaped‘ werden:  
`\{` und `\}`

Freiraum

```
\begin{equation}
( \quad [ \quad \{ \quad | \quad \dots \quad |
  \} \quad ] \quad )
\end{equation}
```

( [ { |...| } ] )

# Klammergrößen

## Automatisch einstellen

- LaTeX kann die Größe der Klammern selber bestimmen.
- Dazu gibt es die Befehle `\left` und `\right`.
- Diese müssen paarweise gebraucht werden, sonst gibt es eine Fehlermeldung.

```
\begin{equation}
R_{||} = r_{||}^2 = \left( \frac{n_2}{n_1} \cos \alpha - \sqrt{1 - \left[ \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \right]^2} \right) \left( \frac{n_2}{n_1} \cos \alpha + \sqrt{1 - \left[ \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \right]^2} \right)
\end{equation}
```

$$R_{||} = r_{||}^2 = \left( \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \sqrt{1 - \left[ \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \right]^2}}{n_2 \cos \alpha + n_1 \sqrt{1 - \left[ \frac{n_1}{n_2} \sin \alpha \right]^2}} \right)$$

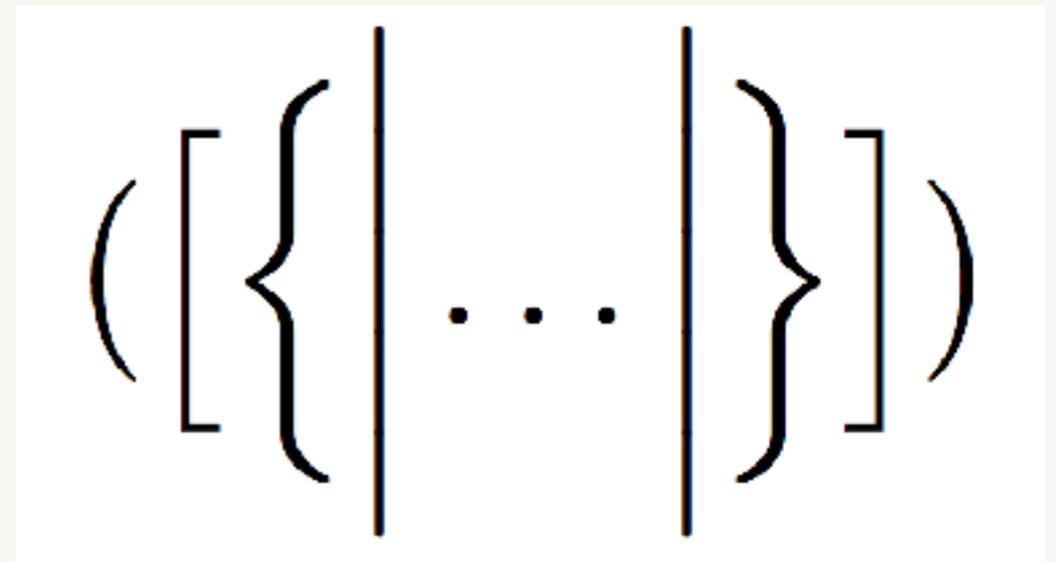
# Klammergrößen

## Manuell einstellen

- Manchmal gibt die automatische Bestimmung kein gutes Ergebnis.
- Klammern können auch manuell auf eine bestimmte Größe gesetzt werden.
- Dazu gibt es - wie bei Fonts - Größenbefehle:

```
\begin{equation}
\big ( \Big [ \bigg \{ \Bigg | \dots
\Bigg | \bigg \} \Big ] \big )
\end{equation}
```

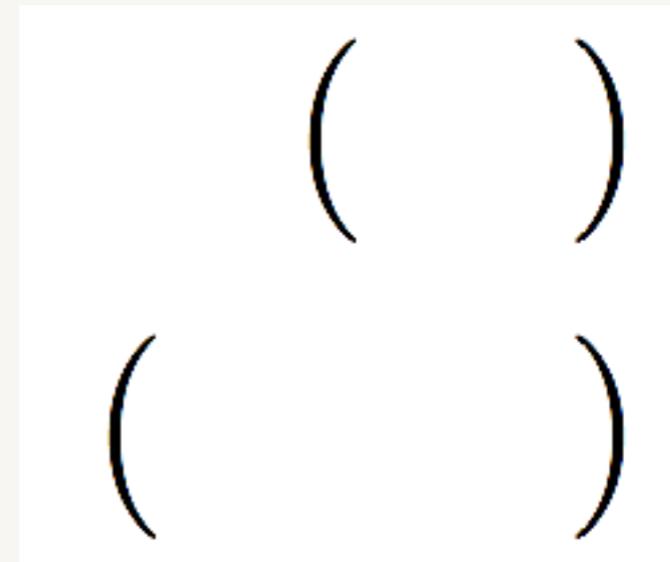
- ▶ `\big (`
- ▶ `\Big (`
- ▶ `\bigg (`
- ▶ `\Bigg (`



# Abstände

- Da LaTeX Whitespaces ‚weg‘-interpretiert muss Leerraum gezielt erzeugt werden.
- Basis ist der Befehl `\quad`: *ein* Leerzeichen.
- Es ist so breit wie der Font hoch ist (z.B. 12pt).
- `\qquad` liefert... *zwei* Leerzeichen!

```
\begin{equation}
\begin{split}
(\quad) \ \
(\qquad)
\end{split}
\end{equation}
```



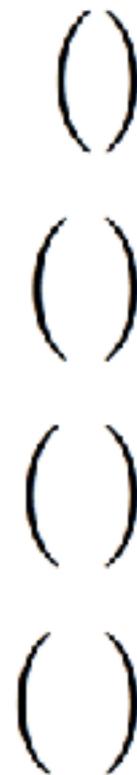
# Kleine Abstände

- Kleinere Abstände werden mit diversen Befehlen

erzeugt:

- ▶  $\backslash,$
- ▶  $\backslash:$
- ▶  $\backslash;$

```
\begin{equation}
\begin{split}
() \\
(\,) \\
(\:) \\
(\;)
\end{split}
\end{equation}
```



The image shows four vertically stacked parentheses. From top to bottom, they represent the output of the LaTeX commands:  $()$ ,  $(\,)$ ,  $(\:)$ , and  $(\;)$ . The spacing between the top and bottom of the parentheses decreases from the first to the last.

# Mathe im Textfluss

# Im Textfluss

- Der Mathe-Modus kann auch direkt im Fließtext gebraucht werden.

Die Schwankungsbreite  $\Delta N$  einer Poisson-Verteilung für diskrete Ereignisse ist grade die Wurzel der Anzahl selber, also  $\Delta N \approx \sqrt{N}$ .

Die Schwankungsbreite  $\Delta N$  einer Poisson-Verteilung für diskrete Ereignisse ist grade die Wurzel der Anzahl selber, also  $\Delta N \approx \sqrt{N}$ .

- Statt der equation-Umgebung werden die Mathe-Befehle von  $\dots$  umschlossen.

„Echtes“ Beispiel:

[http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III\\_01.html](http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_01.html)

# Aufgabe

- Gehen Sie im Netz zum Beispiel der Feynman-Lecture.
- Schauen Sie sich den Seiten Quellcode an.
- Gute Stelle: der Absatz vor Gl. 1.2.

[http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III\\_01.html](http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_01.html)

# Mehrzeilige Mathe

# Mehrzeilige Mathe-Ausdrücke

- Mehrzeilige Mathe-Ausdrücke kommen bei Herleitung häufig vor. Es gibt sehr viele Möglichkeiten dies umzusetzen.
- Relevante Fragen:
  - ▶ Soll jede Zeile eine eigene Nummerierung haben (und damit vor allem referenzierbar sein)?
  - ▶ Muss ein Teil der verschiedenen Zeilen aneinander ausgerichtet werden?

# eqnarray

- Die Standard-Methode ist die Umgebung `eqnarray`.
- In ihr kann ein Zeilenumbruch (`\\`) gebraucht werden.
- Alle Zeilen werden nummeriert.
- Die Zeilen werden rechtsbündig gesetzt.

```
\begin{eqnarray}
a = b \\
c = d \\
e = f
\end{eqnarray}
```

$$a = b \tag{28}$$
$$c = d \tag{29}$$
$$e = f \tag{30}$$

# eqnarray\*

- Wie bei der `equation-` Umgebung gibt es auch bei `eqnarray` eine Version mit `*`.
- Dann wird keine Zeile nummeriert.

```
\begin{eqnarray*}  
a = b \\  
c = d \\  
e = f  
\end{eqnarray*}
```

$$\begin{array}{r} a = b \\ c = d \\ e = f \end{array} \begin{array}{r} (25) \\ (26) \\ (27) \end{array}$$
  
$$\begin{array}{r} a = b \\ c = d \\ e = f \end{array}$$

# \notag

- Es können auch einzelne Zeilen von der Nummerierung mit dem `\notag`-Befehl ausgeschlossen werden.

```
\begin{eqnarray}
a = b \\
c = d \notag \\
e = f
\end{eqnarray}
```

$$a = b \tag{28}$$

$$c = d \tag{29}$$

$$e = f$$

# eqnarray ohne Ausrichtung

- Bei ungleichmäßigen Zeilen sieht das Standard-Format allerdings nicht mehr übersichtlich aus.
- Gewünscht ist die Zeilen an den Gleichheitszeichen auszurichten.

```
\begin{eqnarray}
V = V_0 + \Delta V \\
= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \\
= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit} \quad \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K})
\end{eqnarray}
```

$$V = V_0 + \Delta V \quad (25)$$
$$= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \quad (26)$$
$$= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit} \quad \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K}) \quad (27)$$

# align

- Mit der `align`-Umgebung kann genau das erreicht werden.
- Das Symbol `&` dient als Orientierungsmarke, an dem die Zeilen ausgerichtet werden.
- Jede Zeile wird nummeriert.
- Es gibt auch `align*`.

```
\begin{align}
V &= V_0 + \Delta V \\
&= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \\
&= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K})
\end{align}
```

$$V = V_0 + \Delta V \quad (31)$$

$$= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \quad (32)$$

$$= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K}) \quad (33)$$

# split

- Wenn nur eine einzige Nummerierung für den gesamten Ausdruck gewünscht ist kann `split` helfen.
- Die Umgebung `split` wird innerhalb der `equation`-Umgebung gebraucht.
- Dann kann auch in `equation` mit `\` `\` umgebrochen werden.
- Die Zeilen können mit `&` ausgerichtet werden.

```
\begin{equation}
\begin{split}
V &= V_0 + \Delta V \\
&= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \\
&= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K})
\end{split}
\end{equation}
```

$$\begin{aligned} V &= V_0 + \Delta V \\ &= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \\ &= V_0(1 + \gamma_0[T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K}) \end{aligned} \tag{34}$$

# Querverweise

# `\label` und `\ref`

- Die Zeilen werden nummeriert um im Text referenziert werden zu können.
- Dies geschieht natürlich mit `\label` und `\ref`.

# `\label` und `\ref`

Um Querverweise zu erzeugen wird -- wie gewohnt -- mit `{\tt \textbackslash label}` und `{\tt \textbackslash ref}` gearbeitet. So ist z.B. die Gleichung `\ref{eq:planck}` gerade die Planck'sche Strahlungsformel.

```
\begin{equation}
```

```
\label{eq:planck}
```

```
U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}
```

```
\end{equation}
```

Um Querverweise zu erzeugen wird – wie gewohnt – mit `\label` und `\ref` gearbeitet. So ist z.B. die Gleichung 37 gerade die Planck'sche Strahlungsformel.

$$U(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (37)$$

# `\label` bei mehrzeiligen Ausdrücken

- Bei mehrzeiligen Ausdrücken kann natürlich jede Zeile einzeln ‚gelabelt‘ und referenziert werden.
- Das Label muss vor dem jeweiligen Zeilenumbruch stehen.

# `\label` bei mehrzeiligen Ausdrücken

```
\begin{align}
V &= V_0 + \Delta V \label{eq:pVeins} \\
&= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \label{eq:pVzwei} \\
&= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K}) \label{eq:pVdrei}
\end{align}
```

Das ist Label `\ref{eq:pVeins}` und das ist Label `\ref{eq:pVzwei}` und das ist Label `\ref{eq:pVdrei}`.

$$V = V_0 + \Delta V \tag{38}$$

$$= V_0 + V_0 \cdot \gamma_0 \cdot \Delta T \tag{39}$$

$$= V_0(1 + \gamma_0 [T - T_0]), \quad \text{mit } \gamma_0 = \frac{1}{T_0}, \quad (T_0 \text{ in K}) \tag{40}$$

Das ist Label 38 und das ist Label 39 und das ist Label 40.

# Aufgabe

- Schlagen Sie komplizierte Formeln vor damit wir die gemeinsam erarbeiten können.