

LaTeX, beamer, tikz und Co.

5. Mathematischer Formelsatz

Thomas Worsch

Fakultät für Informatik
Karlsruher Institut für Technologie

Wintersemester 2017/2018

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Zwei Sorten von Formeln (1)

- ▶ *inline*: Formeln im laufenden Text
 - ▶ für eher kurze Formeln
 - ▶ `$ <Formel> $`
 - ▶ `\(<Formel> \)`
- ▶ *displayed*: freigestellte Formeln
 - ▶ für eher lange Formeln, Gleichungssysteme, etc.
 - ▶ `\[<Formel> \]`
 - ▶ `\begin{displaymath}`
 <Formeln>
 `\end{displaymath}`
 - ▶ (die dritte Möglichkeit verrate ich nicht)

Zwei Sorten von Formeln (2)

Unterschiede

- ▶ Größe von Symbolen
- ▶ Position von Summationsgrenzen, ...
- ▶ inline:

$$\text{\$}\sum_{i=0}^n i = \text{\frac{n(n+1)}{2}}\text{\$}$$

$$\sum_{i=0}^n i = \frac{n(n+1)}{2}$$

- ▶ displayed:

$$\text{\[}\sum_{i=0}^n i = \text{\frac{n(n+1)}{2}}\text{\]}$$

$$\sum_{i=0}^n i = \frac{n(n+1)}{2}$$

Unbekannte

- ▶ Leerzeichen in Formeln irrelevant:

$$\$ a b = b a \$$$

$$ab = ba$$

$$\$ab=ba\$$$

$$ab = ba$$

- ▶ „Variablenamen“ sind nicht so einfach

$$\$Var(X)\$ \text{ ist } \$falsch\$$$

$$Var(X) \text{ ist } falsch$$

$$\$\mathit{Var} \text{ nix falsch} \$$$

$$Varnixfalsch$$

- ▶ Funktionsnamen, Operatoren, Relationssymbole: demnächst

Exponenten und Indizes

- ▶ Exponenten: $\hat{\{ \langle exponent \rangle \}}$
 - ▶ bei „ganz kleinen“ Exponenten können die $\{\}$ fehlen
 - ▶ *Achtung:* $\$x^{12}\$$ liefert x^{12}
 - ▶ im Zweifelsfall immer mit Klammern
- ▶ Indizes: $_ \{ \langle index \rangle \}$
 - ▶ bei „ganz kleinen“ Indizes können die $\{\}$ fehlen
 - ▶ *Achtung:* $\$x_{12}\$$ liefert x_{12}
 - ▶ im Zweifelsfall immer mit Klammern

Wichtige Pakete und Dokumentation

- ▶ `\usepackage{amsmath}`
 - ▶ Dokumentation: `amslldoc.pdf`
 - ▶ T_EXLive: `texdoc amsmath` oder `texdoc amsldoc`
- ▶ `\usepackage{mathtools}`
 - ▶ Dokumentation: `mathtools.pdf`
 - ▶ T_EXLive: `texdoc mathtools`
 - ▶ lädt `amsmath` und korrigiert zwei Fehler
 - ▶ weitere Umgebungen für Gleichungen und Gl.-Systeme
 - ▶ weitere Umgebungen für Matrizen
 - ▶ typografisches Finetuning mathematischer Formeln
- ▶ siehe auch <https://www.tug.org/~hvoss/>

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Normaler Text in Formeln

- ▶ `\usepackage{amsmath}`
- ▶ `\text{⟨text⟩}`

Beispiel:

```
$b^2 falls b prim $           \\  
$b^2 \text{falls} b \text{prim} $   \\  
$b^2 \text{ falls } b \text{ prim}$
```

b^2 falls b prim
 b^2 falls b prim
 b^2 falls b prim

Normaler Text in Formeln (2)

`\text{⟨text⟩}`

- ▶ tut auch in Exponenten und Indizes „das Richtige“:

```
$b^{2\cdot \text{Größe von } X}$
```

$b^{2 \cdot \text{Größe von } X}$

- ▶ funktioniert auch außerhalb von Formeln

```
Die \text{Größe von } X ist unbekannt.
```

Die Größe von X ist unbekannt.

- ▶ aber dann kein Zeilenumbruch innerhalb von `⟨text⟩`

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Klammern: mehrere Arten

vier „übliche“ Klammerarten:

| | | | |
|-------------|-----------------------|--------|-------------------------|
| parentheses | $(x+y)$ | ergibt | $(x + y)$ |
| brackets | $[x+y]$ | ergibt | $[x + y]$ |
| braces | $\{x+y\}$ | ergibt | $\{x + y\}$ |
| angles | $\langle x+y \rangle$ | ergibt | $\langle x + y \rangle$ |

zwei „unübliche“ „Klammer“arten:

| | | | |
|--|------------------------|--------|-------------|
| | $\left x+y \right $ | ergibt | $ x + y $ |
| | $\left\ x+y \right\ $ | ergibt | $\ x + y\ $ |

Wachsende Klammern (1)

- ▶ Klammern können mit dem Eingeklammerten mitwachsen
- ▶ ohne automatisches Mitwachsen der Klammern:

$$\$(x+(y+z)^{n^2})^2\$ \text{ ergibt } (x + (y + z)^{n^2})^2$$

- ▶ Mitwachsen

- ▶ schreibe vor die linke Klammer `\left`
- ▶ schreibe vor die rechte Klammer `\right`

- ▶ mit Mitwachsen:

$$\$\left(x+\left(y+z\right)^{n^2}\right)^2\$ \text{ ergibt } \left(x + (y + z)^{n^2}\right)^2$$

Wachsende Klammern (2)

- ▶ `\left` und `\right` müssen *immer paarweise* auftreten
- ▶ es muss aber nicht der gleiche Klammertyp sein:
 $\$ \left(x^{y^2} \right) \$$ ergibt $\left(x^{y^2} \right)$
- ▶ wenn man nur eine Seite braucht: für die andere die „leere Pseudoklammer“ `.` benutzen

```

\[\left\{
  \begin{aligned} x &= y \\ a &= b+c \end{aligned}
\right. \]

```

$$\left\{ \begin{array}{l} x = y \\ a = b + c \end{array} \right.$$

Klammern (3): explizite Größenangabe

- ▶ statt `\left` und `\right`
- ▶ nehme man
 - `\bigl` und `\bigr`
 - `\Bigl` und `\Bigr`
 - `\biggl` und `\biggr`
 - `\Biggl` und `\Biggr`

- ▶ Beispiele

$$\bigl(x+y \bigr) \quad (x + y)$$

$$\Bigl(x+y \Bigr) \quad \left(x + y \right)$$

$$\biggl(x+y \biggr) \quad \left(x + y \right)$$


$$\Biggl(x+y \Biggr) \quad \left(x + y \right)$$

Klammern (4): horizontal

- ▶ `amsmath`:
 - ▶ `\underbrace{\langle Hauptformel \rangle}_{\langle Subformel \rangle}`
 - ▶ analog `\overbrace`
- ▶ in `mathtools` auch noch `\underbracket`, `\overbracket`

```
\[
\frac{1}{1}
\underbrace{
  -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{3} + \frac{1}{3}
}_{\text{Teleskopsumme}}
-\frac{1}{4}
\]
```

$$\frac{1}{1} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{3} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4}$$



Teleskopsumme

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Matrizen (1): amsmath

- ▶ `amsmath` bietet die Umgebungen
 - `pmatrix` umgeben von $($ und $)$
 - `bmatrix` umgeben von $[$ und $]$
 - `Bmatrix` umgeben von $\{$ und $\}$
 - `vmatrix` umgeben von $|$ und $|$
 - `Vmatrix` umgeben von $\|$ und $\|$
 - und
 - `matrix` umgeben von *nichts*
- ▶ die Einträge in jeder Spalte jeweils zentriert untereinander

Matrizen: Beispiel

```
\[  
\begin{pmatrix}  
1 & 2 & x+y & -4711 \\ -4711 & 1 & 2 & x+y \\ 0 & 0 & & \infty\end{pmatrix}  
\end{pmatrix}  
\]
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & x+y & -4711 \\ -4711 & 1 & 2 & x+y \\ 0 & 0 & & \infty \end{pmatrix}$$

Matrizen (2): mathtools

- ▶ `mathtools` bietet zusätzlich die Umgebungen
 - `matrix*` umgeben von *nichts*
 - `pmatrix*` umgeben von (und)
 - `bmatrix*` umgeben von [und]
 - `Bmatrix*` umgeben von { und }
 - `vmatrix*` umgeben von | und |
 - `Vmatrix*` umgeben von || und ||
- ▶ Unterschied zu `amsmath`:
 - man kann die Ausrichtung der Spalten wählen
 - ▶ `\begin{matrix*}[l]` linksbündige Spalten
 - ▶ `\begin{matrix*}[r]` rechtsbündige Spalten
 - ▶ `\begin{matrix*}[c]` zentrierte Spalten
 - ▶ das ist auch der Default, falls die Angabe fehlt

Matrizen: Beispiel

```
\[  
\begin{pmatrix*}[r]  
  1    & 2 & x+y & -4711 & \\  
-4711 & 1 & 2    & x+y    & \\  
  0    & 0 &      & & \infty  
\end{pmatrix*}  
\]
```

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & x+y & -4711 \\ -4711 & 1 & 2 & x+y \\ 0 & 0 & & \infty \end{pmatrix}$$

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Formeln, Gleichungen, Gleichungssysteme

- ▶ freigestellte Formeln („display math“)
- ▶ wahlweise mit oder ohne *automatisch vergebene Nummer* für die Formeln, zum Beispiel
 - ▶ `{equation}`: mit Nummer
 - ▶ `{equation*}`: ohne Nummer (wie `\[\]`)
- ▶ einfachster Fall

```
\begin{equation}  
  e^{i\pi} = -1  
\end{equation}
```

$$e^{i\pi} = -1 \tag{1}$$

Umgebung equation: Beispiele

mit automatischer Nummerierung:

```
\begin{equation}
  e^{i\pi} = -1
\end{equation}
```

$$e^{i\pi} = -1 \quad (2)$$

ohne automatische Nummerierung:

```
\begin{equation*}
  e^{i\pi} = -1
\end{equation*}
```

$$e^{i\pi} = -1$$

Umgebung `multline`: für laaaaaaaange Formeln

- ▶ die `multline` Umgebung ist
 - ▶ für *eine* Formel gedacht,
 - ▶ die in mehrere Teile für jeweils eine Zeile zerlegt ist
 - ▶ Trennung der Teile durch `\\`
 - ▶ *Achtung*: nach der letzten Zeile *kein* `\\` mehr
- ▶ deswegen gibt es auch nur *eine* Formelnummer
- ▶ bei `multline*` keine Formelnummer

- ▶ gesetzt wird die
 - ▶ die erste Zeile linksbündig
 - ▶ die letzte Zeile rechtsbündig
 - ▶ alle Zeilen dazwischen zentriert

Umgebung multiline: Beispiel

```

\begin{multiline}
  a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2+g^2 \\
  +a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2+g^2 \\
  +a^2+b^2+c^2+d^2+e^2+f^2+g^2 \\
  =3a^2+3b^2+3c^2+3d^2+3e^2+3f^2+3g^2
\end{multiline}

```

$$\begin{aligned}
 & a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2 + g^2 \\
 & \quad + a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2 + g^2 \\
 & \quad + a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2 + g^2 \\
 & \quad = 3a^2 + 3b^2 + 3c^2 + 3d^2 + 3e^2 + 3f^2 + 3g^2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

Umgebung gather

- ▶ die `gather` Umgebung ist
 - ▶ für *mehrere* Formeln gedacht,
 - ▶ die in jeweils einer Zeile stehen
 - ▶ Trennung der Formeln durch `\\`
 - ▶ *Achtung*: nach der letzten Zeile *kein* `\\` mehr
- ▶ für jede Zeile gibt es eine *eigene* Formelnummer
- ▶ bei `gather*` keine Formelnummern

- ▶ gesetzt werden alle Zeilen zentriert

Umgebung gather: Beispiel

```
\begin{gather}  
  a^2 + b^2 = c^2 \\  
  (a+b)^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a^i b^{n-i} \\  
\end{gather}
```

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{4}$$

$$(a + b)^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a^i b^{n-i} \tag{5}$$

$$\tag{6}$$

Problem gesehen?

Umgebung gather: Beispiel

```
\begin{gather}
a^2 + b^2 = c^2 \\
(a+b)^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a^i b^{n-i}
\end{gather}
```

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{7}$$

$$(a + b)^n = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} a^i b^{n-i} \tag{8}$$

Problem beseitigt

Mehrere Zeilen mit Ausrichtung untereinander

- ▶ Lars Madsen: *Avoid eqnarray!*
PracT_EX Journal 2006, No. 4 und
PracT_EX Journal 2012, No. 1
<http://tug.org/pracjourn/2012-1/madsen.html>
- ▶ besser: `align` Umgebung und Verwandte

Umgebung align: Beispiel

```
\begin{align}
x^2 + 6x + 9 &= x^2+3x + 3x+9 \\
&= x(x+3) + 3(x+3) \\
&= (x+3)(x+3) \\
&= (x+3)^2
\end{align}
```

$$x^2 + 6x + 9 = x^2 + 3x + 3x + 9 \quad (9)$$

$$= x(x + 3) + 3(x + 3) \quad (10)$$

$$= (x + 3)(x + 3) \quad (11)$$

$$= (x + 3)^2 \quad (12)$$

Umgebung `align`: mehrere Zeilen mit Ausrichtung

- ▶ Ausrichtung typischerweise an Relationszeichen ($=$, \leq , etc.)
- ▶ Markierung der auszurichtenden Stellen durch `&`
- ▶ das `&` gehört *vor* das Relationssymbol

- ▶ Trennung der Teile für verschiedene Zeilen durch `\\`
- ▶ nach der letzten Zeile *kein* `\\`

- ▶ für jede Zeile gibt es eine *eigene* Formelnummer
- ▶ bei `align*` keine Formelnummern

Umgebung `align`: mehrere ausgerichtete Spalten

- ▶ `&` wird für zweierlei benutzt:
 - ▶ Markierung der auszurichtenden Stellen
 - ▶ Trennung der ausgerichteten Spalten
- ▶ der zu Verfügung stehende horizontale Platz wird „irgendwie“ aufgeteilt

Beispiel:

```
\begin{align*}
a+b &= c && d &= e+f \\
u &= v+w && x+y &= z
\end{align*}
```

$$a + b = c$$

$$u = v + w$$

$$d = e + f$$

$$x + y = z$$

Umgebung `alignat`: gewählte Spaltenabstände

- ▶ analog der `align` Umgebung
- ▶ *aber*
 - ▶ Abstand zwischen Spalten mit Ausrichtung ist wählbar
 - ▶ Anzahl der Spalten muss angegeben werden

Beispiel:

```
\begin{alignat*}{3}
  a & = c & & \hspace*{9mm} & d & = e & & & k & = m \\
  u & = v & & & x & = y & & & z & = w \\
\end{alignat*}
```

$$\begin{array}{ccc} a = c & & d = e k = m \\ u = v & & x = y z = w \end{array}$$

Umgebung alignat: typisches Beispiel

```








\begin{alignat*}{2}
(x+1)^2 &= x^2+2x+1 &\quad & &\text{(Satz von Giuseppe Binomi)} \\
&= y^2+2y+1 & & &\text{(nach Induktionsvoraussetzung)} \\
&= (y+1)^2
\end{alignat*}

```





$$\begin{aligned}
 (x + 1)^2 &= x^2 + 2x + 1 && \text{(Satz von Giuseppe Binomi)} \\
 &= y^2 + 2y + 1 && \text{(nach Induktionsvoraussetzung)} \\
 &= (y + 1)^2
 \end{aligned}$$

Einschub: horizontale Abstände

„positive“ Abstände:

| | | |
|-----------------|---------------------------|---|
| | |  |
| <code>\,</code> | <code>\thinspace</code> |  |
| <code>\:</code> | <code>\medspace</code> |  |
| <code>\;</code> | <code>\thickspace</code> |  |
| | <code>\quad</code> |  |
| | <code>\qquad</code> |  |
| | <code>\hspace{2em}</code> |  |

„negative“ Abstände:

| | | |
|-----------------|-----------------------------|---|
| | |  |
| <code>\!</code> | <code>\negthinspace</code> |  |
| | <code>\negmedspace</code> |  |
| | <code>\negthickspace</code> |  |

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

Bausteine für Formeln (1)

- ▶ zu `gather` gibt es `gathered`
`align` `aligned`
`alignat` `alignedat`
`multline` `multlined`
- ▶ die `ed`-Varianten erzeugen *keine* freigestellten Formeln,
 - ▶ deswegen werden auch keine Formelnummern vergeben und
 - ▶ es gibt keine `*` Varianten
- ▶ sondern liefern Bausteine für solche,
- ▶ die „natürliche“ Breite haben
- ▶ `multlined` stammt aus `mathtools`
(Was ist hier die „natürliche“ Breite? Doku lesen)

aligned: ein schlechtes Beispiel

```

\begin{equation}
  f(n) = \left\{
    \begin{aligned}
      3n+1, & \quad & \text{ falls } n \text{ ungerade} \\
      \frac{n}{2}, & \quad & \text{ falls } n \text{ gerade}
    \end{aligned}
  \right.
\end{equation}

```

$$f(n) = \begin{cases} 3n + 1, & \text{falls } n \text{ ungerade} \\ \frac{n}{2}, & \text{falls } n \text{ gerade} \end{cases} \quad (13)$$

das machen wir gleich noch besser ...

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

- ▶ `amsmath` bietet die `cases` Umgebung
- ▶ `mathtools` bietet mehr
 - ▶ kommt gleich

Die cases Umgebung für Fallunterscheidungen

```
\begin{equation}
  f(n) = \begin{cases}
    3n+1, & & \& \text{ falls } \$n\$ \text{ ungerade} \\
    \frac{n}{2}, & & \& \text{ falls } \$n\$ \text{ gerade} \\
  \end{cases} \\
\end{equation}
```

$$f(n) = \begin{cases} 3n + 1, & \text{ falls } n \text{ ungerade} \\ \frac{n}{2}, & \text{ falls } n \text{ gerade} \end{cases} \quad (14)$$

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

- ▶ `amsmath` bietet die `cases` Umgebung
- ▶ `mathtools` bietet mehr
 - ▶ `cases*`: rechte Spalte automatisch im Textmode

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

```
\begin{equation}
  f(n) = \begin{cases*}
    3n+1, & \& \text{ falls } \$n\$ \text{ ungerade} \\
    \frac{n}{2}, & \& \text{ falls } \$n\$ \text{ gerade} \\
  \end{cases*}
\end{equation}
```

$$f(n) = \begin{cases} 3n + 1, & \text{ falls } n \text{ ungerade} \\ \frac{n}{2}, & \text{ falls } n \text{ gerade} \end{cases} \quad (15)$$

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

- ▶ `amsmath` bietet die `cases` Umgebung
- ▶ `mathtools` bietet mehr
 - ▶ `cases*`: rechte Spalte automatisch im „*text mode*“
 - ▶ `dcases` bzw. `dcases*`: linke Spalte im „*display math mode*“

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

```
\begin{equation}
  f(n) = \begin{dcases*}
    3n+1, & & \& \text{ falls } n \text{ ungerade} \\
    \frac{n}{2}, & & \& \text{ falls } n \text{ gerade} \\
  \end{dcases*}
\end{equation}
```

$$f(n) = \begin{cases} 3n + 1, & \text{falls } n \text{ ungerade} \\ \frac{n}{2}, & \text{falls } n \text{ gerade} \end{cases} \quad (16)$$

Bausteine für Formeln (2): Fallunterscheidungen

- ▶ `amsmath` bietet die `cases` Umgebung
- ▶ `mathtools` bietet mehr
 - ▶ `cases*`: rechte Spalte automatisch im „*text mode*“
 - ▶ `dcases` bzw. `dcases*`: linke Spalte im „*display math mode*“
 - ▶ `rcases`, `rcases*`, `drcases`, `drcases*`:
geschweifte Klammer auf der rechten Seite

Überblick

Formeln

Normaler Text in Formeln

Klammern

Matrizen

Umgebungen für Gleichungen

Umgebungen für Formelbausteine

Typografisches Finetuning

`\smash`

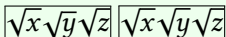
- Syntaxbeispiele:

```
\fbox{$y$}           \fbox{$\smash{y}$}  
\fbox{$\smash[b]{y}$} \fbox{$\smash[t]{y}$}
```



- Beispielanwendung

```
\fbox{$\sqrt{x} \sqrt{y} \sqrt{z}$}  
\fbox{$\sqrt{x} \sqrt{\smash[b]y} \sqrt{z}$}
```



`\mathllap`, `\mathrlap`, `\mathclap`

Beispiel

```
\begin{gather*}
  X = \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} X_{ij} \quad \ll[5mm]
  X = \sum_{\mathclap{1 \leq i \leq j \leq n}} X_{ij}
\end{gather*}
```

$$X = \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} X_{ij}$$

$$X = \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} X_{ij}$$

`\cramped`

- ▶ erzwingt sparsameren Umgang Exponenten und Indizes
- ▶ `\cramped{⟨Formelteil⟩}`
- ▶ Beispiel:

laber blubber text hyperbolisch diabolisch tralala eine Formel im laufenden Text *ohne* `\cramped` ($2^{2^{2^2}}$) und mehr Text blubber text hyperbolisch diabolisch tralala erzwingt sparsameren Umgang Exponenten und Indizes und *mit* `\cramped` ($2^{2^{2^2}}$) laber blubber text hyperbolisch diabolisch tralala eine Formel eine Formel im laufenden Text (siehe auch Demodatei)

`\phantom`, `\hphantom`, `\vphantom`

► Syntax:

- `\phantom{\meta{Formelteil}}`
- `\hphantom{\meta{Formelteil}}`
- `\vphantom{\meta{Formelteil}}`

► Effekt:

```
\fbox{${\sqrt{y}}$}  
\fbox{${\phantom{\sqrt{y}}}$}  
\fbox{${\hphantom{\sqrt{y}}}$}  
\fbox{${\vphantom{\sqrt{y}}}$}
```

\sqrt{y} \square — |

► Beispielanwendung: Demodatei zu Über- und Unter-Klammerung