

Adelheid Bonnetsmüller
bonnetsmueller@icloud.com

DANTE Frühjahrstagung 2025 Darmstadt

Yes We Can: Solving a Rubik's Cube with L^AT_EX

Darum geht's heute...

- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

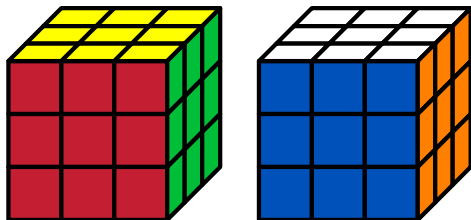
- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

- 1957: Chemiker Larry D. Nichols entwirft magnetischen 2x2-Würfel (Patent 1972)
- 1974: Ernő Rubik, Bauingenieur und Architekt in Ungarn entwirft für seine Studenten ein Geduldsspiel, mit dem sie ihr ihr räumliches Denkvermögen trainieren können. Seiner Meinung nach kamen sie mit schlechten Geometriekenntnissen von der Schule.
- 1976: Unter der Patent Nr. 170062 am 28.10. in Ungarn angemeldet
- 1977: ein Exemplar wurde an die britische Firma *Pentangle* gesendet, die daraufhin die Lizenz für den Vertrieb in Großbritannien erwarb



- 1979: Ungarn vergibt die weltweiten Rechte an den US-Hersteller *Toy Corporation*
- 1979: Vorstellung bei der Nürnberger Spielzeugmesse, ab 2. Juni 1980 in Deutschland erhältlich
- 1980: Preis als *bestes Solitärspiel* des Jahres
- 1981: Höhepunkt der Nachfrage: führt zu vielen fernöstlichen Billigprodukte, da die Nachfrage nicht befriedigt werden kann
- 1982: Einbruch der Nachfrage (und generell nach Geduldsspielen)
- 1984: Patentklage von Nichols, 1986 teilweise aufgehoben: 2x2 "Pocket Cube" Rechte bei Nichols
- insgesamt ca. 160 Millionen Würfel verkauft!

- › Würfel mit ...
 - › Kantenlänge 54,4 mm - 57 mm
 - › drei drehbaren Lagen
 - › sechs verschiedenfarbigen Seiten (im Original weiß, gelb, rot, orange, grün und blau)
- › weiß liegt gegenüber von gelb, rot gegenüber von orange, blau gegenüber von grün
- › liegt gelb oben und rot vorne, so ist grün rechts (beim Original)

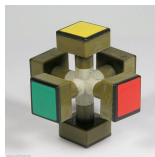


- › 20 der 26 Steine können gedreht werden
- › Die Steine werden unterschieden in
 - ›› Mittelsteine
 - ›› Ecken
 - ›› Kanten

Zu wissen, was Ecken, Kanten und Mittelsteine sind, ist für das Lösen sehr wichtig!



offen¹



Mittelsteine¹



Kantensteine



Ecksteine

Bilder von Roland Frisch, freshcuber.wordpress.com, Köln

¹ Achtung! Bei diesem Rubiks Cube sind die Farben vertauscht!

Rubik hatte selbst zunächst Schwierigkeiten, seinen eigenen Würfel zu lösen:

„Es war wie ein Geheimcode, den ich selbst erfunden hatte, aber nicht mehr entschlüsseln konnte!“ E. Rubik

Notation

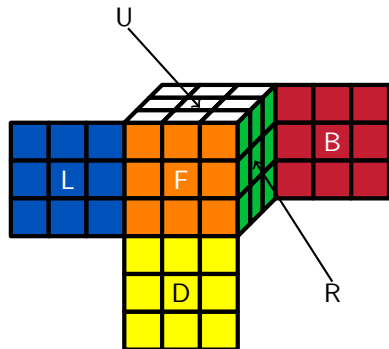
- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

- um den Rubiks Cube zu lösen gibt es verschiedene Algorithmen, die mit einer Buchstabenfolge notiert werden²
- für jede Zugfolge gibt es eine klar definierte Würfelhaltung (z.B. “weiße Seite unten”)
- aus dieser erschließt sich, welche Seite oben/unten, rechts/links bzw. vorne/hinten ist

² man kann es aber auch einfach versuchen, die Erfolgsaussichten sind eher ...

Notation - Flächen



B Back

F Front

R Right

L Left

U Up

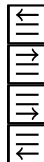
D Down

- › jeder Zug wird immer **im** () oder **gegen** (') den Uhrzeigersinn angegeben (immer vom Blickpunkt der jeweiligen Seite aus!)
- › statt ' wird teilweise auch **i** verwendet (inverted), also z.B. **Li** statt **L'**
- › Sprechweise: L' *L prime* bzw. Li *L inverted*

Beim 3x3-Würfel gibt es folgende Züge:

R	rechte Ebene nach hinten (im Uhrzeigersinn)	
R'	rechte Ebene nach vorne (gegen Uhrzeigersinn)	
L	linke Ebene nach vorne (im Uhrzeigersinn)	
L'	linke Ebene nach hinten (gegen Uhrzeigersinn)	

- U** obere Ebene nach links (im Uhrzeigersinn) (**Up**)
- U'** obere Ebene nach rechts (gegen Uhrzeigersinn)
- D** untere Ebene nach rechts (im Uhrzeigersinn) (**Down**)
- D'** untere Ebene nach links (gegen Uhrzeigersinn)



B	hintere Ebene nach links (im Uhrzeigersinn) (B ack)	B
B'	hintere Ebene nach rechts (gegen Uhrzeigersinn)	B'
F	untere Ebene nach rechts (im Uhrzeigersinn) (F ront)	
F'	untere Ebene nach links (gegen Uhrzeigersinn)	

Doppelzüge werden mit einer 2 markiert,
z.B. **2R'** also zweimal **R'**

Speedcubing

- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

- › Es gibt 43.252.003.274.489.856.000 Möglichkeiten, wie der Würfel verdreht werden kann
- › würde man für jede Kombination einen Cube mit 57 mm nehmen und diese aufeinanderstapeln, hätte dieser eine Länge von ca. 260 Lichtjahre

- es werden nicht einzelne Farben gelöst, sondern mehrfarbige Steine (Ebenen)
- eine Farbe lässt sich nicht eigenständig woanders hindrehen
- das vereinfacht das Problem: man muss nicht $9 \times 6 = 54$ Flächen lösen, sondern “nur” 20 Steine (die Mittelsteine sind fix)
- man braucht maximal 20 Züge um jeden Cube zu lösen, der Rekord liegt bei 16 Zügen.

- 1 weiße Kanten lösen inkl. jeweils passende Mittelsteine der zweiten Ebene
- 2 weiße Ecken lösen
- 3 mittlere Ebene lösen
- 4 gelbe Kanten lösen ("gelbes Kreuz")
- 5 gelbe Ecksteine lösen (dritte Ebene)

- Zugfolgen lernen
- Abfolgen zusammenfassen (z.B. Schritt 2 und 3 zu "F2L" (First 2 Layers))
- bekannte Methoden:
 - LBL (Layer By Layer): auch als Anfängermethode bekannt
 - Fridrich-Methode (CFOP): Anfang der 80er-Jahre von Jessica Fridrich entwickelt, 1997 von ihr veröffentlicht; häufigste Methode beim Speedcubing (Cross, F2L: first two layers, OLL: orientation last layer, PLL: permutation last layer)
 - Roux-Methode (Gilles Roux 2003), intuitivere Lösung, weniger Algorithmen
 - Petrus-Methode (Lars Petrus Anfang der 80er): erst 2x2x2-Block bilden, erweitern auf 2x2x3-Block. Gilt als veraltet.

- der erste Würfel (Rubik) brauchte über einen Monat, bis er gelöst war
- erste WM 1981: 38 Sekunden: Jury Fröschl (WCA WM München)
- aktueller Weltrekord: 3,08 Sekunden Yiheng Wang (XMUM Cube Open 2025)
- FM (Fewest Moves): 60 Minuten Zeit. Rekord: 16 Züge Sebastiano Tronto (FMC 2019)
- Speecubing: best of five, auch andere Würfel werden gelöst
- weitere Wettbewerbe: Einhändiges Lösen, Blindfolded Cubing, Multiple Blindfolded Cubing
- <https://www.youtube.com/watch?v=3BKV7mYhgpl>

Rubik's Cube & L^AT_EX

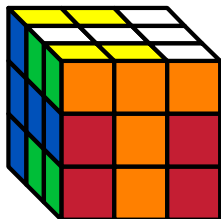
- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

- **rubik**: Bundle von Dick Nickals und A Syropoulos (2018) bestehend aus den vier Paketen:
 - » **rubikcube** 3x3-Cubes und Transformationen setzen
 - » **rubiktwocube** 2x2-Cubes und Transformationen setzen
 - » **rubikrotation** Zugfolgen durchführen mit Cubes (**perl**)
 - » **rubikpatterns** bekannte Muster mit zugehörigen Zugfolgen
 - » basieren alle auf PGF/TikZ (Reihenfolge beim Laden beachten: TikZ zuerst)
 - » Kompilieren mit **--shell-escape** (wegen Perl)
 - » Pakete greifen (fast) alle ineinander, am besten alle gleichzeitig laden

- › rubikcube Basispaket des Bundles
- › Unterscheidung in drei wesentliche Befehlsgruppen
 - ›› `\Draw...`-Befehle (innerhalb einer TikZ-Umgebung zu nutzen)
 - ›› Parameter-Zuweisungs-Befehle inner- oder außerhalb einer TikZ-Umgebung (z.B. Farbgebung der einzelnen Seiten etc. über `RubikFace...`)
 - ›› Befehle, die im normalen Textmodus verwendet werden können, z.B. `\rr{}` (Drehungsnotationen)
- › oder Unterscheidung bzgl. Funktionalität
 - ›› Befehle, die Farben zuweisen: beginnen immer mit `\Rubik...`
 - ›› Befehle, die zur Ausgabe der Würfel da sind: `\Draw...`
 - ›› Befehle, die dazu da sind, Notationen auszugeben: `\rr{}`, `\rrh{}`, `\Rubik{}`, `\textRubik{}`

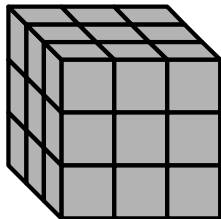
```
\Showcube{Breite der Minipage}  
  {Skalierung TikZ-Picture}{Befehle}
```



```
\RubikCubeSolved  
\RubikRotation{\sixts}  
\ShowCube{3cm}{0.7}{  
  \DrawRubikCubeLU}
```

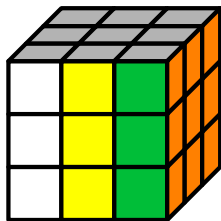
`\ShowCube` erzeugt eine TikZ-Umgebung, LU gibt an, welche Seiten (außer **Front**) ausgegeben werden: **left** und **up**

- 1. Schritt: `\RubikCubeSolved` um gelösten Würfel als Ausgangsposition zu nutzen
- 2. Schritt: `\RubikRotation` Rotationen angeben (frei oder aus `\usepackage{rubikpatterns}`). Ruft Befehle aus `rubikrotations` auf, benötigt `shell-escape` zum Ausführen des `perl`-Skripts
- 3. Schritt: `\ShowCube`-Umgebung mit `\DrawCube` etc. zur Ausgabe des Würfels

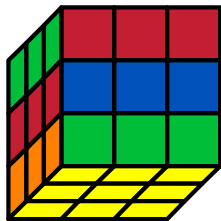


Ohne `\RubikCubeSolved`

- mit `\RubikFaceXYZ{ }{ }{ }` werden die einzelnen Farbfelder angesprochen
 - XYZ: Bezeichnung der Seite Right, Left, Front, ...
 - { }{ }{ } Farbe für 1. Feld / 2. Feld / 3. Feld
- Farbbezeichnungen: R (rot), O (orange), Y (gelb), G (grün), B (blau), W (weiß), and X (grau)

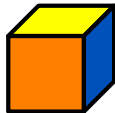


```
\RubikCubeGreyAll
\RubikFaceRightAll{O}
\RubikFaceFront{W}{Y}{G}
                    {W}{Y}{G}
                    {W}{Y}{G}
\ShowCube{3cm}{0.7}{\DrawRubikCubeRU}
```

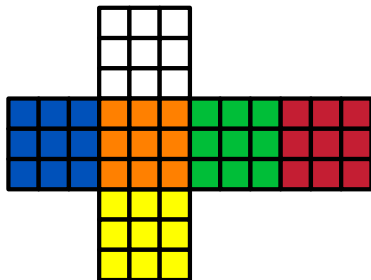


```
\RubikFaceDownAll{Y}
\rubikSliceTopL{G}{G}{G} {R}{R}{R}
\rubikSliceMiddleL {R}{R}{R} {B}{B}{B}
\rubikSliceBottomL {O}{O}{O} {G}{G}{G}
\ShowCube{3cm}{0.7}{\DrawRubikCubeLD}
```

- › innerhalb `\ShowCube` auch andere TikZ-Befehle nutzbar
- › `\DrawRubikCubeSF` Semi-Flat Cube (3 Seiten 3D, nicht-sichtbare Seiten ausgeklappt)
- › `\DrawRubikFlat` Flacher Cube (ausgebreitet)
- › `\DrawRubikCubeSidebar` Seitlicher Balken, um in der Darstellung nicht sichtbare Farben darzustellen
- › `\DrawNCube` Cube mit N Ebenen
- › `\DrawCubieXY{x}{y}{z}` gibt einen 1x1-Cubie aus
- › gibt es auch als `\textcubieXY{x}{y}{z}`: kleine Cubes im Fließtext:

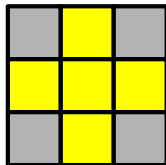


`\ShowCube{1.33cm}{1}{\DrawCubieRU{B}{Y}{0}}`

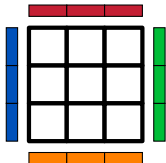


```
\RubikCubeSolvedWY
\ShowCube{5cm}{0.4}
{\DrawRubikCubeF}
```

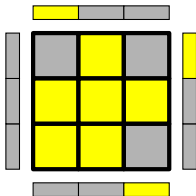
Ermöglicht Ausgabe von Aufsichten mit (und ohne) angedeuteten Seiten - recht häufig genutzte Darstellung



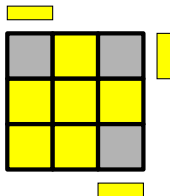
```
\RubikFaceUp{X}{Y}{X}
  {Y}{Y}{Y}
  {X}{Y}{X}
\ShowCube{2.1cm}{0.7}{\DrawRubikFaceUp}
```



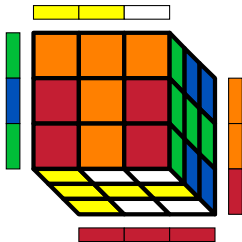
```
\RubikCubeSolvedWY
\ShowCube{1.6cm}{0.5}
{\DrawRubikFaceUpSide}
```



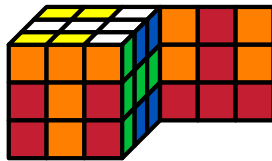
```
\RubikCubeGreyAll
\RubikFaceUp   XYX  YYY  YXX
\RubikFaceFront  XXY  XXX  XXX
\RubikFaceRight  XXY  XXX  XXX
\RubikFaceBack   XXY  XXX  XXX
\RubikFaceLeft   XXX  XXX  XXX
\ShowCube{2.6cm}{0.6}{\DrawRubikFaceUpSide}
```



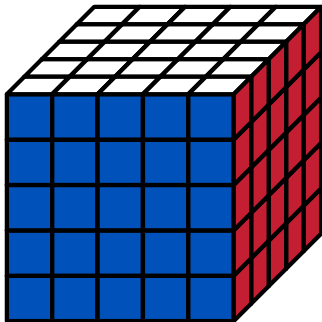
```
\RubikCubeGreyAll
\RubikFaceUp   XYX  YYY  YXX
\RubikFaceFront  XXY  XXX  XXX
\RubikFaceRight  XXY  XXX  XXX
\RubikFaceBack   XXY  XXX  XXX
\RubikFaceLeft   XXX  XXX  XXX
\ShowCube{2.6cm}{0.6}{\NoSidebar{X}%
\DrawRubikFaceUS}
```



```
\ShowCube{3cm}{0.6}{
\DrawRubikCubeRD
\DrawRubikCubeSidebarBR{RD}
\DrawRubikCubeSidebarBD{RD}
\DrawRubikCubeSidebarFL{RD}
\DrawRubikCubeSidebarFU{RD}
}
```



```
\ShowCube{3cm}{0.5}{%
\DrawRubikCubeRU
\DrawRubikFlatBack{4}{1}
}
```



```
\RubikCubeSolved
\ShowCube{3cm}{0.3}
{\DrawNCubeAll{5}{R}{W}{B}}
```

- › es gibt verschiedene Arten, Drehungen zu schreiben
- › Ziel: kompakt & leicht nachvollziehbar
- › deswegen werden bei langen Algorithmen auch Gruppen zusammengefasst, z. B. der T-Perm $(R\ U\ R'\ U')\ (R'\ F\ R^2)\ (U'\ R'\ U')\ (R\ U\ R'\ F')$ Der T-Perm tauscht die beiden rechten Ecken und die dazwischen liegende Kante mit der gegenüberliegenden
- › manche häufige Moves haben spezielle Namen
 - › sexy move: $R\ U\ R'\ U'$
 - › sune: $R\ U\ R'\ U\ R\ U^2\ R'$
 - › anti-sune: $L'\ U'\ L\ U'L'\ U^2\ L$
 - › sledgehammer: $R'\ F\ R\ F'$
 - › hegdeslammer: $F\ R'\ F'\ R$
 - › Air Jeff: $R\ U^2\ R^2\ U'\ R^2\ U'\ R^2\ U^2\ R$

- › Drehungen werden mit `\rr{Notation}`, `\rrh{Notation}`, `\Rubik{Notation}` oder `\textRubik{Notation}` ausgegeben.
- › `\rr{}` gibt die Drehung als Buchstabe aus, `\rrh{}` als Piktogramm
- › `\Rubik{Notation}` kombiniert beides übereinander
- › `\textRubik` gibt beides nebeneinander aus
- › `p` hinzufügen für *prime*-Angabe (z. B. $\mathbf{R}'$, erzeugt mit `\rr{Rp}`)
- › 2 für zweifaches Ausführung einer Drehung (z. B. $\mathbf{R}^2$ oder $\mathbf{R2}$), erzeugt mit `\rr{R}$^2$` bzw. `\rr{R}\textbf{2}`)

- › die Ebene zwischen **U** und **D** wird auch als **E** (equatorial), die Ebene zwischen **F** und **B** als **S** (standing) bezeichnet und die Ebene zwischen **R** und **L** als **M** (meridian) bezeichnet
- › m ergänzen für mittlere Drehung $\text{\rr{Rm}}$ **Rm** bzw. $\text{\rrh{Rm}}$

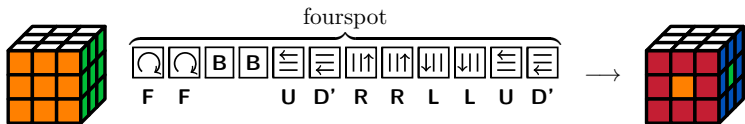
- › auch seltenere Notationen wie bspw. **Ua** , die einer Kombination von **U**  und **D**  entspricht sind möglich

- X bedeutet: **ganzen** Würfel nach hinten kippen (rechts und links bleiben), Y nach links (obere und untere Ebene bleiben), Z nach rechts (vordere und hintere Ebene bleiben)
- ein zusätzliches **w** bedeutet, daß die mittlere Ebene mitgedreht wird (wide rotation). Sieht man manchmal auch mit Kleinbuchstaben, das kann aber verwirrend sein bei Würfeln mit $n > 3$. **Rw** bzw. $\boxed{\uparrow\uparrow}$ erzeugt durch:
 $\backslash rr\{Rw\}$ bzw. $\backslash rrrh\{Rw\}$
- das Paket bietet sieben Seiten mit jeweils drei Spalten an Notationscodes! Alle davon können über das Paket **rubikrotations** ausgeführt werden!

- › Drehfolgen können auch als eigenes Kommando gespeichert werden und ausgegeben werden
- › `\newcommand{\sexymove}{R,U,Rp,Up}` speichert z.B. den Sexy Move als `\sexymove`
- › `\ShowSequence{,}{\texttt}{\sexymove}` gibt ihn aus:
R,U,Rp,Up
- › `\ShowSequence{\quad}{\rrh}{\sexymove}` erzeugt:



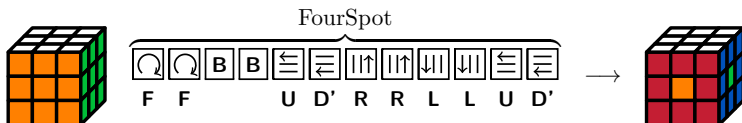
rubikcube - Sequenzen ausgeben



```

\RubikCubeSolvedWY%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikCubeRU}%
\quad\SequenceBraceA{fourspot}{\ShowSequence{}{\Rubik}
  {F,F,B,B,U,Dp,R,R,L,L,U,Dp}}%
\quad$\longrightarrow$\quad%
\RubikFaceFront{R}{R}{R}%
               {R}{O}{R}%
               {R}{R}{R}%
\RubikFaceRight{B}{B}{B}%
               {B}{G}{B}%
               {B}{B}{B}%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikCubeRU}%

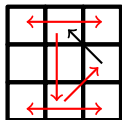
```



```

\RubikCubeSolvedWY%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikCubeRU}%
\RubikRotation{\fourspot}%
\quad\SequenceBraceA{\SequenceName}{%
\quad\quad\quad\ShowSequence{}{\Rubik}{\SequenceLong}}%
\quad$\longrightarrow$\quad%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikCubeRU}
    
```

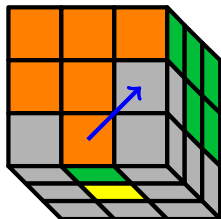
- Pfeile werden verwendet, um zu anzeigen, welche Steine vertauscht werden bei einem Zug bzw. vertauscht werden müssen.
- so gut wie immer in Aufsicht verwendet
- über `\draw`-Befehl von TikZ innerhalb von `\ShowCube`



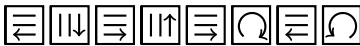
```

\RubikCubeSolvedWY
\ShowCube{6cm}{0.4}{%
\DrawRubikFaceUp
\draw[->,thick,color=red] (1.5,0.5) -- (2.4, 1.4);
\draw[->,thick] (2.5,1.5) -- (1.6, 2.4);
\draw[->,thick,color=red] (1.3, 2.3) -- (1.3, 0.5);
\draw[<->,thick,color=red] (0.5,2.6) -- (2.5, 2.6);
\draw[<->,thick,color=red] (0.5,0.3) -- (2.5, 0.3); }

```



```
\RubikFaceFront{0}{0}{0}
{0}{0}{X}
{X}{0}{X}
\RubikFaceRight{G}{G}{G}
{X}{G}{G}
{X}{X}{X}
\RubikFaceDown {X}{G}{X}
{X}{Y}{X}
{X}{X}{X}
\ShowCube{3cm}{0.7}{%
\DrawRubikCubeRD
\draw[ultra thick,->,color=blue]
(1.5,0.5) -- (2.5, 1.5); }
```

passender Algorithmus: 

D' R' D R D F D' F'



```

\RubikCubeSolvedWY%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikCubeRU}
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{
  \DrawRubikFaceUpSide%
  \draw[thick,->,color=magenta] (1.5,0.5) -- (2.4, 1.4);
  \draw[thick,->] (2.5,1.5) -- (1.6, 2.4);
  \draw[thick,->,color=magenta] (1.3, 2.3) -- (1.3, 0.5);
  \draw[thick,<->, color=blue] (0.5,2.6) -- (2.5, 2.6);
  \draw[thick,<->, color=blue] (0.5,0.3) -- (2.5, 0.3);  }%
\RubikRotation{F,R,U,Rp,U,Fp}%
\quad\ShowSequence{}{\Rubik}{\SequenceLong}\quad$\longrightarrow$%
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawRubikFaceUpSide}

```

- › mit dem Paket lassen sich an einem Würfel mit vorgegebenem Muster Züge ausführen
- › ruft Perl-Skript auf und muß entsprechend mit `--shell-escape` kompiliert werden
- › alle im Paket `rubikcube` definierten Zugfolgen können durchgeführt werden
- › Zugfolgen können gespeichert werden
- › inverse Zugfolgen möglich
- › Durchführen einer zufälligen Zugfolge (*scramble*)
- › **hiermit lassen sich also Rubik Cubes lösen!**

- › grundlegender Befehl:


```
\RubikRotation[Integer]{[ ], ...,
  \macro, ... (repeat)n, ..., <info>}
```
- › [Integer] gibt an, wie oft der Befehl wiederholt werden soll
- › { } kann enthalten:
 - » in []: eine Bezeichnung für die Zugfolge (alles in [] wird nicht ausgeführt, aber im Logfile ausgegeben). Achtung: hier keine Kommas verwenden. Inhalt wird in Variable `\SequenceName` gespeichert.
 - » Zugfolgen (mit Komma getrennt)
 - » Makros (z. B. vordefinierte Zugfolgen)
 - » in ()n: n-malige Wiederholung der Sequenz in ()
 - » in < >: zusätzliche Information zum Zug (Inhalt wird in Variable `\SequenceInfo` gespeichert)

- › in der Variable `\SequenceShort` wird die Zugfolge wie angegeben gespeichert
- › in der Variable `\SequenceLong` wird die expandierte Zugfolge gespeichert (L2 wird zu L,L)
- › `\RubikRotation{random,120}` zum *Scramblen*: führt 120 willkürliche Züge aus

- soll eine Zugfolge invertiert werden, ist `<inverse>` vor der Zugfolge einzufügen
- `\RubikRotation[Integer]{[ ],<inverse>,...,... }`
- Was heißt invers?
 - Invers bedeutet nicht nur “rückwärts lesen”, sondern die Umkehr sämtlicher durchgeführter Züge
 - Bsp.: Up, D, L2, Rp ist invers R, Lp, Lp, Dp, U. Da aber Lp, Lp dasselbe ist wie Lp2 und somit L2, wird die invertierte Zugfolge als R, L2, Dp, U geschrieben
 - in der Variable `\SequenceLong` wird R, Lp, Lp, Dp, U gespeichert

Wiederholungen können unterschiedlich erzeugt werden:

```
\RubikRotation[3]{x,R2,U}
```

```
\RubikRotation{(x,R2,U)3}
```

```
\RubikRotation{(x,R2,U)2,x,R2,U}
```

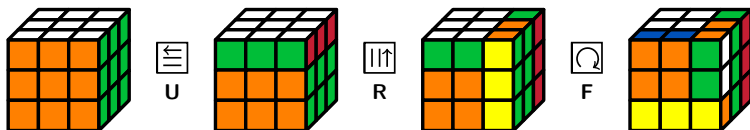
```
\RubikRotation{x,R2,U,x,R2,U,x,R2,U}
```

```
\RubikRotation{(x,R2,U),(x,R2,U),(x,R2,U)}
```

- 45/73

- `\RubikRotation[2]{x,R2,U}`: führt zweimal $(x, R2, U)$ aus
- `\RubikRotation{\sexymove}`: führt den SexyMove aus
- `\RubikRotation{<inverse>, [InvSexyMove], F, \sexymove, Fp}`
führt das Inverse der angegebenen Zugfolge aus:
 - 1. Umsetzen von $F, \text{\sexymove}, Fp$ in $F R U R' U' F'$
 - 2. Invertieren: $F U R U' R' F'$

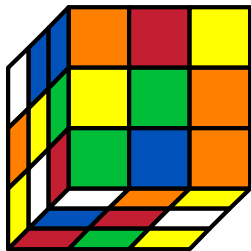
rubicrotations - Beispiele



```
\RubikCubeSolvedWY%  
\ShowCube{2cm}{0.5}{\DrawRubikCubeRU}  
\quad\Rubik{U}\quad  
\RubikRotation{U}  
\ShowCube{2cm}{0.5}{\DrawRubikCubeRU}  
\quad\Rubik{R}\quad  
\RubikRotation{R}  
\ShowCube{2cm}{0.5}{\DrawRubikCubeRU}  
\quad\Rubik{F}\quad  
\RubikRotation{F}  
\ShowCube{2cm}{0.5}{\DrawRubikCubeRU}
```



```
\RubikCubeSolvedWY  
\RubikRotation{random,120}  
\SaveRubikState{rubikexample.tex}  
\ShowCubeF{6cm}{0.5}{\DrawRubikCube}
```



```
\input{rubikexample.tex}
\ShowCube{4cm}{0.8}{\DrawRubikCubeLD}
```

- › Paket zum Setzen von 2x2-Cubes
- › gleiche Befehle wie im `rubikcube`-Paket, allerdings statt `...Rubik...` `...Two...`, z.B. `TwoCubeSolvedWY`
- › Rotationsbefehle natürlich angepasst:
`\tr{U}`, `\trh{U}`, `\textTwo{U}` erzeugt: **U**, $\boxed{\leftarrow}$, **U** $\boxed{\leftarrow}$

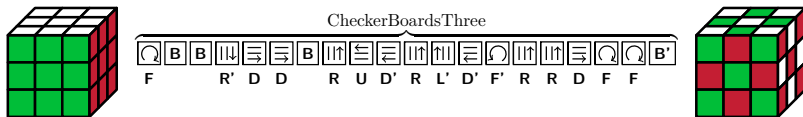


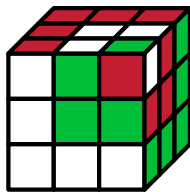
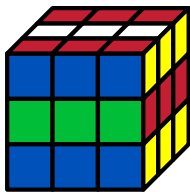
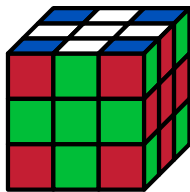
```

%%% sichtbare Flächen
\TwoFaceFront{G}{B}{R}{R}
\TwoFaceRight{R}{G}{G}{G}
\TwoFaceUp {Y}{Y}{Y}{Y}
%%% nicht sichtbare Flächen (werden mitgedreht) %%%
\TwoFaceDown {W}{W}{W}{W}
\TwoFaceLeft {B}{R}{B}{B}
\TwoFaceBack{O}{O}{O}{O}
%%% Würfel ausgeben
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawTwoCubeRU}
%%% Durchführen Zugfolge
\TwoRotation{Rp,F,Rp,B,B,R,Fp,Rp,B,B,R,R,Up}
%%%Ausgabe Zugfolge
\ShowSequence{}{\Two}{\SequenceLong}
\,$\longrightarrow$
%%% Würfel ausgeben nach Rotation
\ShowCube{1.6cm}{0.4}{\DrawTwoFaceUpSide}}

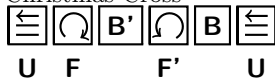
```

- › enthält vordefinierte spezielle Zugfolgen ausgehend von einem gelösten Würfel, die nette Ergebnisse erzeugen
- › z. B. `fourspot`, `\sixts`, `\sixspot` usw.

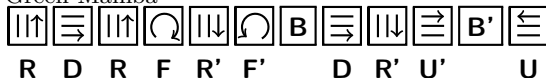




Christmas Cross



Green Mamba



CubeInCubeInCube

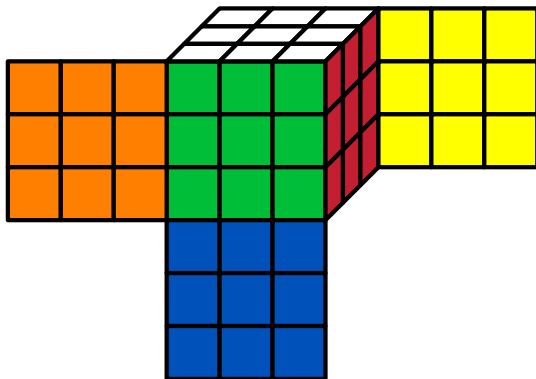


Was es noch so gibt

- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

Japanese Cube (Blau gegenüber von Weiß)



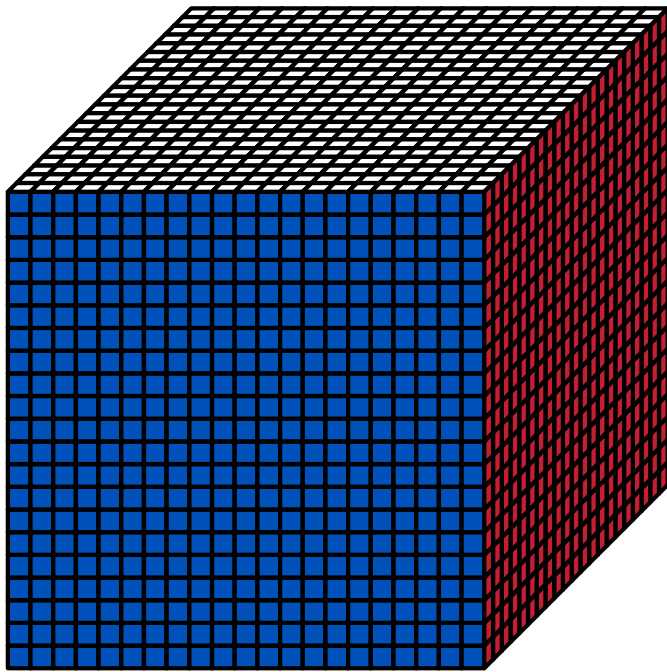
```
\RubikCubeSolvedWB
```

```
\ShowCube{3cm}{0.7}{\DrawRubikCubeSF}
```

- 3x3 in unterschiedlichen Farbenzusammenstellungen, changierende Farben, Thermofarben, ...
- ShapeShifting-Cubes 3x3-Cubes, z.B. Fisher Cube, Windmill Cube, Axis Cube, Mirror Cubes
- Cubes mit anderen Schemata, z.B.: Square-1, X-Cube, Skewb
- Minx-Cubes: Kilominx, Gigaminx, ...
- Pyraminx-Cubes in allen Farben und Formen
- unsymmetrische Cubes, z.B. 2x3, 3x4, ...
- Cubes in Tier-, Obst-, ...-Formen (oft 2x3 oder 3x3)
- Cubes mit mehr Ebenen: größter käuflich erwerbbarer Cube 21x21. Selbstgebauter Maximalcube: 49x49
- Mischungen aus allen Formen, z. B. Fisher Skewb und mit mehreren Ebenen
- gebogene Cubes, Meffert's Egg, Cubes mit kleineren Cubes kombiniert, Soccer Cube, ...

Herausforderungen





Herausforderungen - wie löst man sowas?

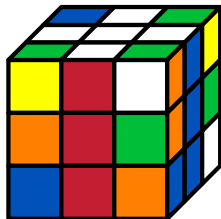
- grundsätzliche Überlegung: was sind Ecken? Kanten? Mittelsteine?
- wie lassen sich die Würfel drehen?
- bei Würfel mit einer geradzahligen Ebenenzahl: Farbanordnung der Seiten beachten! (es gibt keine festen Mittelsteine)
- grundsätzliche Lösungsidee bei $N \times N$ -Würfel
 - Mitten lösen
 - Kanten lösen
 - danach Lösung wie beim 3×3 (fast)
 - es kann zu Parities kommen: das heißt vertauschte Steine, die sich nicht durch die bekannten Algorithmen lösen lassen (Kanten- oder Ecken-Parität). Deswegen PLL/OLL nur bedingt verwendbar. → weitere Algorithmen zur Lösung nötig

Tutorium: Anfängerlösung

- 1 Wissenswertes
- 2 Notation
- 3 Speedcubing

- 4 Rubik's Cube & L^AT_EX
- 5 Was es noch so gibt
- 6 Tutorium:
Anfängerlösung

- das weiße Kreuz wird intuitiv gelöst
- darauf achten, daß weiße Kantensteine und Mittelsteine der angrenzenden Ebenen korrekt sind

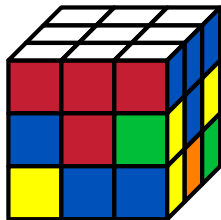


- › Den Eckstein, dessen Platz oben links wäre nach unten links drehen (Orientierung egal).
- › z. B. oben links gehört würde der weiß-rot-blaue Eckstein hin, der wird dann in der unteren Ebene an den Platz unten links gedreht.
- › Dann folgenden Move so lange ausführen, bis Ecke richtig gedreht oben liegt:



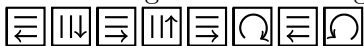
R' D' R D

- › Mit allen vier weißen Ecken wiederholen



3. Kanten mittlere Ebene

- passende Kante in unterer Ebene so drehen, daß Mittelstein und Kante farbig übereinstimmen.
- bei Drehung nach rechts folgenden Algorithmus ausführen:



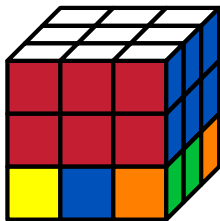
$D' R' D R D F D' F'$

- bei Drehung nach links gilt:



$D L D' L' D' F' D F$

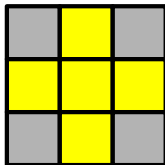
- mit allen vier Kanten der mittleren Ebene wiederholen



- › nun wird der Würfel zum Lösen der gelben Seite so gehalten, daß die weiße Seite unten ist
- › es gibt 4 Fälle
- › alle mit 0- bis 3-mal **F**, \SexyMove, **F'** lösbar

4. gelbes Kreuz - Fall 1

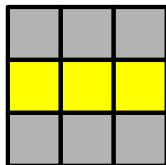
Gelbes Kreuz schon vorhanden? Bravo, auf zu Schritt 5.



4. gelbes Kreuz - Fall 2

Gelbe Linie vorhanden?

- Würfel so halten, daß gelbe Seite oben ist
- gelbe Linie muß von links nach rechts zeigen
- einmal $\boxed{\curvearrowright} \boxed{\uparrow\uparrow} \boxed{\leftarrow} \boxed{\downarrow\downarrow} \boxed{\rightarrow} \boxed{\curvearrowleft}$ ausführen
 $\mathbf{F \quad R \quad U \quad R' \quad U' \quad F'}$
- fertig



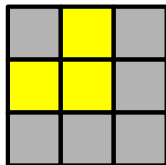
4. gelbes Kreuz - Fall 3

Gelbes L vorhanden?

- › Würfel so halten, daß gelbe Seite oben ist
- › gelbes L so halten, daß es von Mitte links nach Mitte hinten zeigt

- › zweimal $\boxed{\curvearrowright} \boxed{\uparrow\uparrow} \boxed{\leftarrow\leftarrow} \boxed{\downarrow\downarrow} \boxed{\rightarrow\rightarrow} \boxed{\curvearrowleft}$ ausführen
 $\text{F} \quad \text{R} \quad \text{U} \quad \text{R}' \quad \text{U}' \quad \text{F}'$

- › fertig

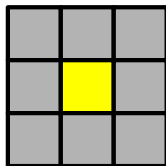


4. gelbes Kreuz - Fall 4

Nur gelbe Mitte vorhanden?

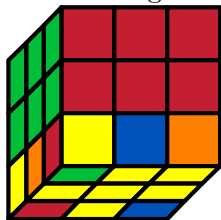
- Würfel so halten, daß gelbe Seite oben ist
- zweimal  ausführen

$$\mathbf{F \quad R \quad U \quad R' \quad U' \quad F'}$$
- gelbe Linie entsteht
- danach weiter mit Fall 2
- fertig



5. gelbes Kreuz

Unser Fall: gelbes Kreuz schon vorhanden



5. gelbe Kantensteine

- › Mittelsteine gelbe Seite ausrichten, d.h. so drehen, daß entweder
 - ›› zwei gegenüberliegende Kanten der gelben Fläche mit den Mittelsteinen übereinstimmen oder
 - ›› die vordere und die rechte Kanten mit den jeweiligen Mitten übereinstimmen

5. gelbe Kantensteine - Fall 1

Passende Kanten und Mittelsteine **gegenüberliegend**:

- Würfel so halten, daß gelbe Seite nach oben zeigt
- Würfel so halten, daß gegenüberliegende passende Kantensteine links und rechts sind
- \Sune ausführen: **R U R' U R U2 R'**
- Obere Ebene so drehen, daß hinterer **und** rechter Kantenstein mit Mittelstein übereinstimmen
- \Sune ausführen: **R U R' U R U2 R'**
- einmal  $\rightarrow$ alle Kantenstein der gelben Ebene sollten mit den Mittelsteinen übereinstimmen

5. gelbe Kantensteine - Fall 2

Passende Kanten und Mittelsteine **rechts und hinten**:

- › Würfel so halten, daß gelbe Seite nach oben zeigt
- › Würfel so halten, daß gegenüberliegende passende Kantensteine hinten und rechts sind
- › \Sune ausführen: **R U R' U R U² R'**
- › einmal  → alle Kantenstein der gelben Ebene sollten mit den Mittelsteinen übereinstimmen

5. gelbe Ecken - Ecken platzieren

- › Nun werden die gelben Ecken orientiert
- › dabei ist es unerheblich, ob die gelbe Seite nach oben zeigt oder nicht (wichtig ist nur, daß die Ecken an der richtigen Stelle liegen nach dem Zug)
- › z. B. rot-gelb-grüne Ecke muß an gelbe, rote und grüne Fläche grenzen
- › Vorgehensweise:
 - ›› gelbe Fläche nach oben
 - ›› Schauen, wo schon eine Ecke richtig ist
 - ›› wenn eine Ecke richtig ist, diese vorne rechts halten
 - ›› wenn keine Ecke richtig ist, dann ist egal, welche vorne rechts ist
- ›› folgenden Zug ausführen: 
- ›› solange ausführen, bis alle Ecken an der richtigen Stelle sind

U R U' L' U R' U' L

6. Ecken ausrichten – letzter Schritt

- das Ausrichten der Ecken geschieht auf dem gleichen Weg wie das Ausrichten der weißen Ecken
- wichtig ist dabei, daß Züge komplett zu Ende geführt werden und der Würfel an sich immer in der gleichen Position gehalten wird!
- bewegt werden darf außerhalb der Zugfolge **nur** die obere (also gelbe) Ebene!

6. Ecken ausrichten – letzter Schritt

› Vorgehensweise:

- › die Ecke, die ausgerichtet werden soll, befindet sich oben rechts.

- › Zugfolge: 

R' D' R D

- › diese Zugfolge so oft ausführen, bis die gelbe Fläche bei dem Eckstein, der ausgerichtet werden soll, oben ist (wenn das so ist: letztes  nicht vergessen! Häufigster Fehler)

D

- › danach obere Ebene so drehen, daß nächste zu lösende Ecke oben rechts liegt und die Zugfolge erneut durchführen.
- › solange wiederholen, bis alle Ecken richtig ausgerichtet sind
- › zum Schluß die Ebenen noch nach links bzw. rechts drehen

› **FERTIG**