

# Lösung des Zauberwürfels mit Spezialzügen Stand 2023-07-27

von Volker Schubert basierend auf *bild der Wissenschaft 12-1980* und John Horton Conway

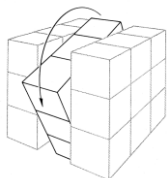
## 1. Bezeichnungen

Seitendrehungen um  $90^\circ$  im Uhrzeigersinn (Vierteldrehung nach rechts, wenn man auf die Seite schaut) bezeichnen wir mit den Abkürzungen:

**O** (oben),      **U** (unten),  
**V** (vorn),     **H** (hinten),  
**R** (rechts),    **L** (links).

Für jede Drehung **X** bezeichnet  $X^{-1}$  die zu **X** entgegengesetzte Drehung. Damit bezeichnen die Ausdrücke  $O^{-1}$ ,  $U^{-1}$ ,  $V^{-1}$ ,  $H^{-1}$ ,  $R^{-1}$ ,  $L^{-1}$  die Drehungen der Seiten gegen den Uhrzeigersinn. Die Hintereinanderausführung von erst **X** und dann **Y** schreiben wir als **XY**. Für **XX** schreiben wir  $X^2$ . Eine Folge von Drehungen bezeichnen wir als **Drehfolge** oder als **Zugfolge**.

Die Drehung der senkrechten Mittelscheibe nach unten/vorn bezeichnen wir mit **S** („Süd“):



Die Drehung der waagrechten Mittelscheibe nach rechts bezeichnen wir mit **E** („Equator“, „Ebene“, „Est“):



## 2. Unterseite

Als erstes wird die Unterseite gelöst (für eine beliebige Farbe). Dabei müssen auch die Seitenfarben der kleinen Würfel stimmen. Man kann dies durch scharfes Hinsehen schaffen.

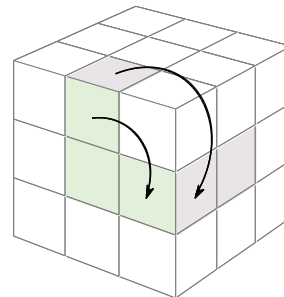
## 3. Mittleres waagr. Band

Die Unterseite bleibt nun fest. Die fehlenden Kanten des mittleren Bandes befinden sich entweder in der Oberseite oder an falscher Stelle des Bandes. Im ersten Fall bringen wir die Kante über die Seitenmitte derselben Farbe.

### 3.1. Kippen einer Kante von der Oberseite zum Band

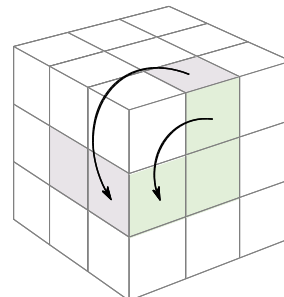
Mit folgenden Drehfolgen kann man die vordere obere Kante nach rechts oder links kippen.

Nach rechts:



$(ORO^{-1}R^{-1})(O^{-1}V^{-1}OV)$

Nach links:



$(O^{-1}L^{-1}OL)(OVO^{-1}V^{-1})$

Falls der richtige Teilwürfel an falscher Stelle im Band steht, bringen wir ihn mit den gleichen Zügen erst nach oben, bevor wir ihn wieder richtig einsortieren.

## 4. Oberseite - Elementar

Strategie: Erst bringen wir die Würfel an den richtigen Platz (*Position*), danach wird die richtige *Orientierung* hergestellt.

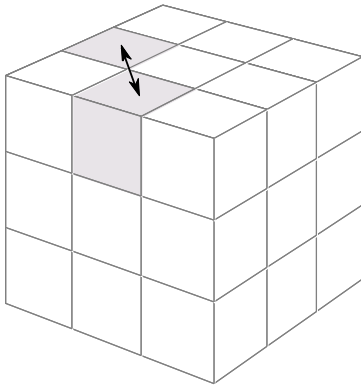
**Alle folgenden Drehfolgen erhalten die Oberseite** (d.h. alle Würfel der Oberseite bleiben auf der Oberseite; Position und Orientierung werden aber in der Regel verändert).

### 4.1. Position der Kantenwürfel

Zuerst drehen wir die Oberseite, bis möglichst viele Kantenwürfel an der richtigen Position sind. Dann untersuchen wir, welche der folgenden Situationen vorliegen, und wenden die entsprechenden Drehfolgen an.

#### 4.1.1. Vertauschen zweier benachbarter Kanten

Folgende Drehfolgen vertauschen die Kante links mit der vorn:



Erste **Alternative** mit 2 Scheiben, aber lang:

$$(1) \quad O (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O^2$$

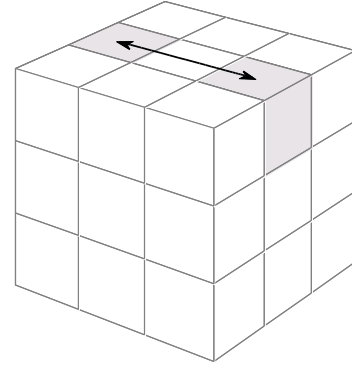
**Alternativen**, kurz, mit 3 Scheiben:

$$(2) \quad OV (ROR^{-1}) O^{-1}V^{-1}$$

$$(2g) \quad VO (RO^{-1}R^{-1}) V^{-1}O^{-1}$$

#### 4.1.2. Vertauschung zweier gegenüberliegender Kanten

Folgende Drehfolgen vertauschen die Kante links mit der rechts.



Erste **Alternative** mit 2 Scheiben, aber lang:

$$(1) \quad (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O \dots \\ (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O^2$$

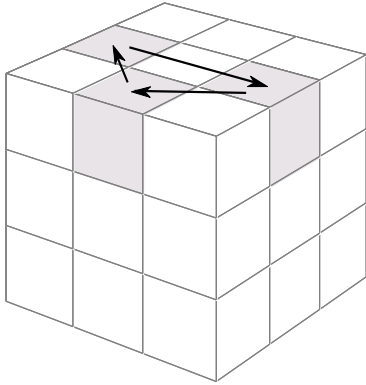
**Alternativen**, kurz, aber mit 3 Scheiben und schwer zu greifen:

$$(2) \quad R^{-1} (V^{-1}OV) O^2 (V^{-1}O^{-1}V) RO^{-1}$$

$$(3) \quad (ROR^{-1}) V^{-1}O^2V (RO^{-1}R^{-1}) O$$

### 4.1.3. Zyklische Vertauschung dreier Kanten

Folgende Drehfolge vertauscht die vorderen drei Kanten der Oberseite zyklisch im Uhrzeigersinn:



Im Uhrzeigersinn:

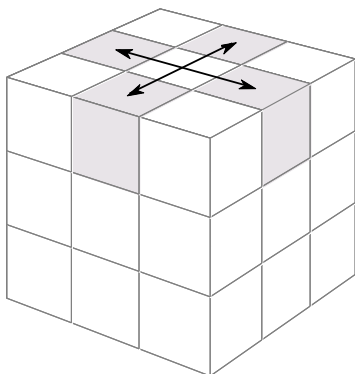
$$(1) \quad (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1})$$

Im Gegenuhrzeigersinn:

$$(1g) \quad (SO^{-1}S^{-1}) O^2 (SO^{-1}S^{-1})$$

### 4.1.4. Vertauschen der vier Kanten über Kreuz

Folgende Drehfolge vertauscht die vier Kanten über Kreuz:

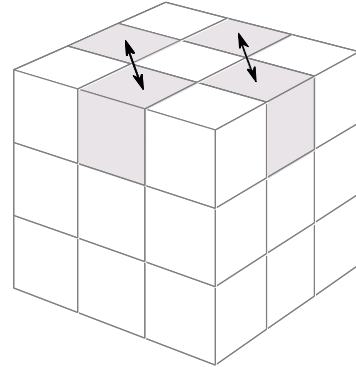


Einfach:

$$(1) \quad O^2$$

### 4.1.5. Vertauschen der vier Kanten mittels zweier Nachbartauschungen

Folgende Drehfolge vertauscht die Kante links mit der vorn, und die Kante hinten mit der rechts:



Erste **Alternative** mit 2 Scheiben, aber lang:

$$(1) \quad (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O \dots \\ (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O^{-1}$$

**Alternativen**, kurz, aber mit 3 Scheiben und schwer zu greifen:

$$(2) \quad R^{-1} (V^{-1}OV) O^2 (V^{-1}O^{-1}V) R$$

$$(3) \quad (ROR^{-1}) V^{-1}O^2V (RO^{-1}R^{-1}) O^2$$

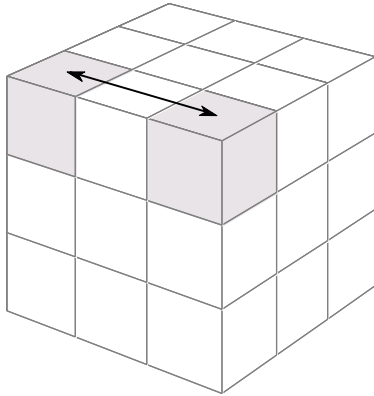
## 4.2. Position der Eckenwürfel

Nach der Position der Kantenwürfel wird nun die richtige Position der Eckenwürfel hergestellt. Die Orientierung der Ecken- und Kantenwürfel wird zunächst ignoriert.

Bei allen folgenden Drehfolgen wird die Position der oberen Kantenwürfel erhalten.

### 4.2.1. Vertauschen zweier benachbarten Eckenwürfel

Folgende Drehfolge vertauscht die beiden oberen vorderen Eckenwürfel, verändert aber die unteren Ebenen:



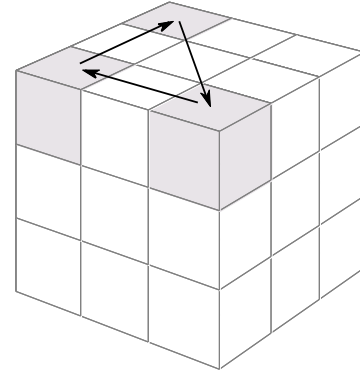
$$(1) \quad \mathbf{VU (V^2U^2V^2) U^{-1}V^{-1}}$$

**Untere Ebenen werden verändert. Ordnung 2.**

Die bedeutet, dass man die Drehfolge zweimal ausführen muss, damit die zerstörten unteren Ebenen wiederhergestellt werden. Vor der zweiten Anwendung der Drehfolge dreht man die Oberseite, damit anschließend andere Würfel vertauscht werden können. Deshalb kann man aber auch nie allein nur zwei benachbarte Eckenwürfel vertauschen (was aber auch aus mathematischen Gründen nie notwendig ist).

### 4.2.2. Zyklische Vertauschung dreier Eckenwürfel

Folgende Drehfolge vertauscht drei Ecken zyklisch im Uhrzeigersinn:



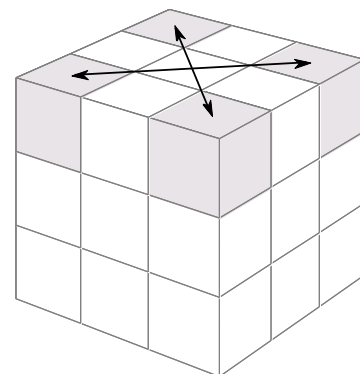
$$(1) \quad \mathbf{(O^{-1}R^{-1}O) L (O^{-1}R O) L^{-1}}$$

Inverse, also die Vertauschung im **Gegenuhrzeigersinn**:

$$(1g) \quad \mathbf{L (O^{-1}R^{-1}O) L^{-1} (O^{-1}R O)}$$

### 4.2.3. Vertauschen der vier Eckenwürfel über Kreuz

Folgende Drehfolgen vertauschen die vier Ecken über Kreuz:



$$(1) \quad \mathbf{(SOS^{-1}O)^3}$$

$$(2) \quad \mathbf{(S^{-1}OSO)^3}$$

$$(3) \quad \mathbf{(S^2O^2S^2) O (S^2O^2S^2) O}$$

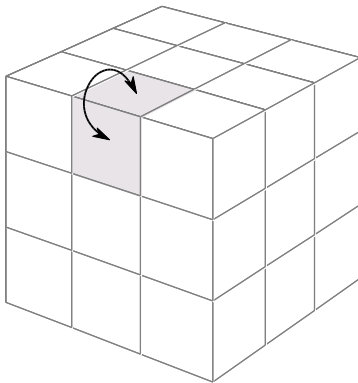
$$(4) \quad \mathbf{(S^2O)^6}$$

### 4.3. Orientierung der Kantenwürfel

Bei allen folgenden Drehfolgen wird die Position der oberen Würfel erhalten.

#### 4.3.1. Kippen eines Kantenwürfels

Folgende Drehfolge kippt die vordere Kante, verändert aber die unteren Ebenen:



(1)  $(VE)^4$

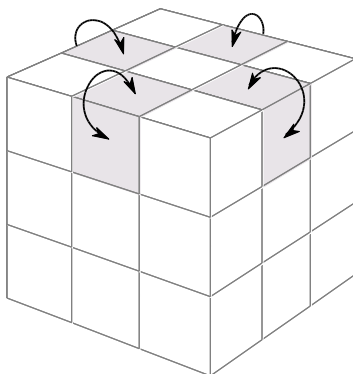
(Also abwechselnd die Vorderseite im Uhrzeigersinn und die waagrechte Mittelscheibe nach rechts drehen.)

**Untere Ebenen werden verändert. Ordnung 2.**

Die Drehfolge muss also zweimal ausgeführt werden.

#### 4.3.2. Kippen aller vier Kantenwürfel

Folgende Drehfolge kippt alle vier Kanten:



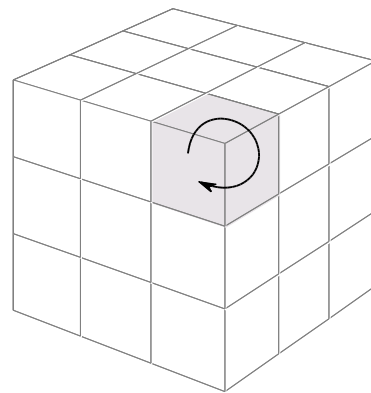
(1)  $(SO)^4 O^2 (SO)^4 O^2$

### 4.4. Orientierung der Eckenwürfel

Bei allen folgenden Drehfolgen wird die Position der oberen Würfel und die Orientierung der oberen Kantenwürfel erhalten.

#### 4.4.1. Drehung eines Eckenwürfels

Folgende Drehfolge dreht die Ecke rechts vorn im Uhrzeigersinn, verändert aber die unteren Ebenen:



(1)  $(RV^{-1}R^{-1}V)^2$

**Untere Ebenen werden verändert. Ordnung 3.**

Inverse, also im **Gegenuhrzeigersinn**:

(1g)  $(V^{-1}RVR^{-1})^2$

Die Drehfolge (1) hat Ordnung 3, das heißt, man muss die Drehfolge dreimal hintereinander ausführen, damit die zerstörten unteren Ebenen wiederhergestellt werden. Dazwischen dreht man die Oberseite. Alternativ kann man auch einmal die Drehfolge (1), und dann einmal die inverse Drehfolge (1g) ausführen.

## 5. Oberseite - Position raffiniert ändern

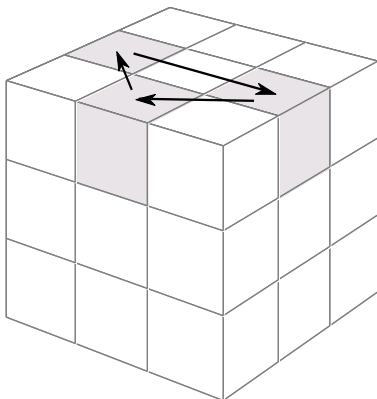
Alle Drehfolgen erhalten die Oberseite (d.h. alle Würfel der Oberseite bleiben auf der Oberseite; Position und Orientierung werden aber in der Regel verändert).

### 5.1. Position von Kanten und Ecken ändern

#### 5.1.1. Zyklische Vertauschung dreier Kanten

##### 5.1.1.1. Ecken fest

Folgende Drehfolge vertauscht die vorderen drei Kanten der Oberseite zyklisch im Uhrzeigersinn:



$$(1) \quad \text{SOS}^{-1} \text{O}^2 \text{SOS}^{-1}$$

Nur diese drei Stellen werden verändert. (Ordnung 3). Die Orientierung wird verändert.

Entsprechend im **Gegenuhrzeigersinn**:

$$(1g) \quad \text{SO}^{-1} \text{S}^{-1} \text{O}^2 \text{SO}^{-1} \text{S}^{-1}$$

Die Orientierung der Kanten wird dabei verändert, die Ecken bleiben ganz fest.

**Alternative** (Orientierung fest):

$$(2) \quad \text{V}^2 \text{OS}^{-1} \text{O}^2 \text{SO V}^2$$

Nur diese drei Stellen werden verändert. (Ordnung 3). Die Orientierung bleibt fest.

Entsprechend im **Gegenuhrzeigersinn**:

$$(2g) \quad \text{V}^2 \text{O}^{-1} \text{S}^{-1} \text{O}^2 \text{SO}^{-1} \text{V}^2$$

**Weitere Alternative - die drei Kanten rechts:**

Im Uhrzeigersinn:

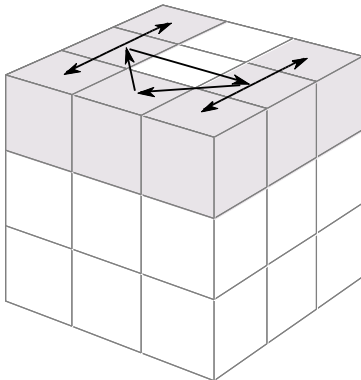
$$(4) \quad \text{V (ROR}^{-1} \text{O}^{-1})^2 \text{V}^{-1}$$

Im **Gegenuhrzeigersinn**:

$$(4g) \quad \text{V (ORO}^{-1} \text{R}^{-1})^2 \text{V}^{-1}$$

Nur diese 3 Kanten werden getauscht, ihre Orientierung wird verändert. Die Ecken bleiben an ihrer Stelle, die Orientierung wird aber geändert.

**5.1.1.2. Mit den Ecken seitlich getauscht**



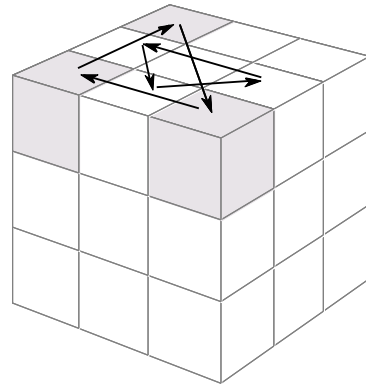
Im Uhrzeigersinn:

$$(3) \quad V ROR^{-1}O^{-1} V^{-1} O^2$$

Im Gegenuhrzeigersinn:

$$(3g) \quad O^2 V ORO^{-1}R^{-1} V^{-1}$$

**5.1.1.3. Mit Ecken zyklisch getauscht**



$$(1) \quad HOH^{-1} | R^2U^{-1} | VO^{-1}V^{-1}O V^{-1} | UR^2$$

Alternative:

$$(2) \quad R^2U^{-1} | V O^{-1}VOV^{-1} | UR^2 | HO^{-1}H^{-1}$$

Alternative - Rechts:

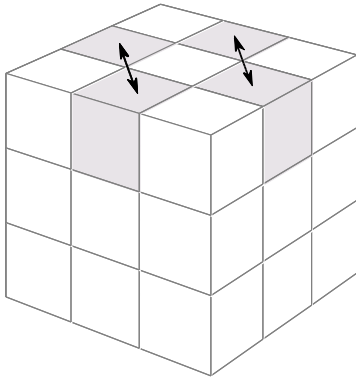
$$(3) \quad LOL^{-1} | H^2U^{-1} | RO^{-1}R^{-1}O R^{-1} | UH^2$$

Alternative - Rechts:

$$(4) \quad H^2U^{-1} | R O^{-1}ROR^{-1} | UH^2 | LO^{-1}L^{-1}$$

## 5.1.2. Vertauschen zweier benachbarter Kanten

### 5.1.2.1. Vertauschen aller vier Kanten - Ecken fest



$$(1) \quad (SO^{-1}S^{-1})O^2(SO^{-1}S^{-1})O^2 \dots \\ (SO S^{-1})O^2(SO S^{-1})O^2$$

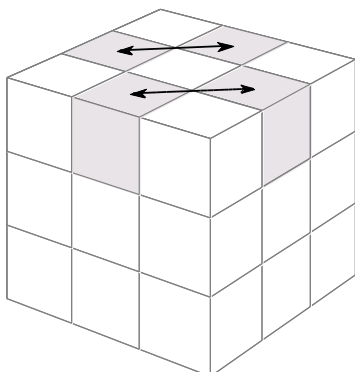
Alternative:

$$(2) \quad R^{-1}(V^{-1}OV)O^2(V^{-1}O^{-1}V)R$$

Alternative:

$$(3) \quad (ROR^{-1})V^{-1}O^2V(RO^{-1}R^{-1})O^2$$

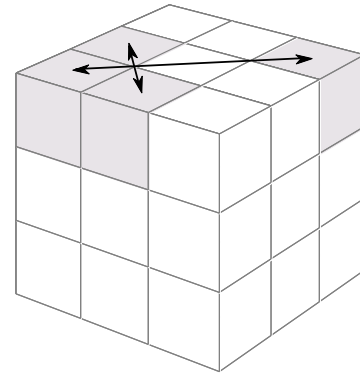
Alternative längs der anderen Schräge:



$$(4) \quad (V ROR^{-1}O^{-1}V^{-1}O^{-1})^2$$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung wird verändert.

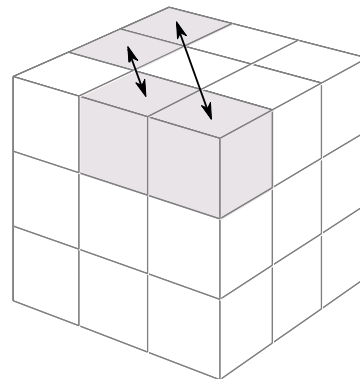
### 5.1.2.2. Mit zwei orthogonalen Ecken



$$(1) \quad OVR O R^{-1}O^{-1}V^{-1}$$

Nur diese vier Stellen werden verändert (Höhere Ordnung).

### 5.1.2.3. Mit zwei parallelen Ecken



$$(1) \quad [V ROR^{-1}O^{-1}V^{-1}][SOS^{-1}O^2SOS^{-1}]O$$

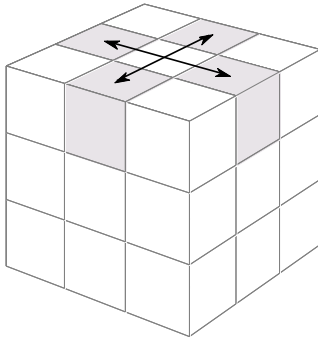
Nur diese vier Stellen werden verändert.



### 5.1.3. Vertauschung zweier gegenüberliegender Kanten

#### 5.1.3.1. Alle vier Kanten - Ecken fest

Folgende Drehfolge vertauscht die vier Kanten über Kreuz:



$$(1) \quad (S^2 O^2 S^2) O (S^2 O^2 S^2) O^{-1}$$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung bleibt erhalten.

**Alternative:**

$$(2) \quad (S O S^{-1} O)^3 O^2$$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung wird verändert (im Ergebnis L und V)

**Alternative:**

$$(3) \quad O^2 (S O S^{-1} O)^3$$

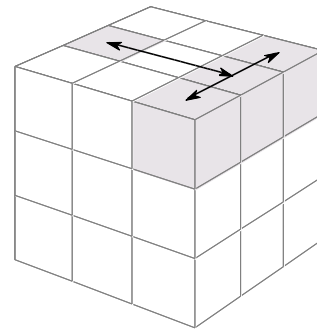
Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung wird verändert (im Ergebnis R und H)

**Alternative:**

$$(4) \quad (S O S^{-1}) O^2 (S O S^{-1}) O^{-1} \dots \\ (S O S^{-1}) O^2 (S O S^{-1}) O$$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Alle vier Kanten werden gekippt.

#### 5.1.3.2. Mit zwei orthogonalen Ecken



$$(1) \quad (R^2 O R^2 O^{-1} R^2) O^{-1} U \dots \\ (R^2 O^{-1} R^2 O R^2) U^{-1}$$

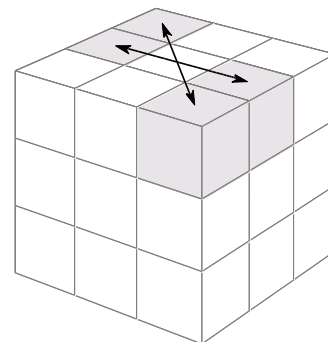
Nur diese Stellen werden vertauscht. Die Orientierung bleibt fest.

**Alternative:**

$$(2) \quad V R (O^{-1} R^{-1} O R) (O R) \dots \\ R V^{-1} R (O R O^{-1} R^{-1})$$

Nur diese Stellen werden verändert. Die Orientierung bleibt fest.

#### 5.1.3.3. Mit zwei schräg liegenden Ecken

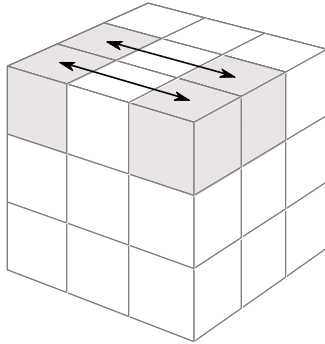


$$(1) \quad R^{-1} (V^{-1} O V) O^2 (V^{-1} O^{-1} V) R O^{-1}$$

Die Orientierung wird verändert.

$$(2) \quad (R O R^{-1}) V^{-1} O^2 V (R O^{-1} R^{-1}) O$$

### 5.1.3.4. Mit zwei parallelen Ecken



$$(1) \quad \begin{aligned} & [O^2R] U^{-1} (RO) (R^{-1}O^{-1}) U \dots \\ & (R^{-1}O) [R^{-1}O^2] [R^{-1}O^2] (RO^{-1}) \end{aligned}$$

Nur diese Stellen werden vertauscht. Die Orientierung wird verändert.

**Alternative:**

$$(2) \quad \begin{aligned} & O^{-1}(R^{-1}O^{-1}) O^{-1}U (R^{-1}O)(R^{-1}O^{-1}) \dots \\ & (R^{-1}O) R^2 OU^{-1} (RO^{-1}) \end{aligned}$$

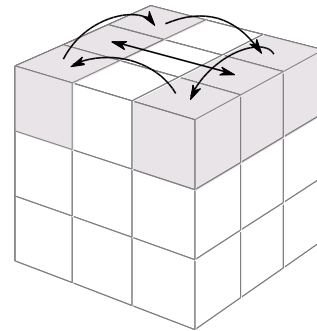
Nur diese Stellen werden vertauscht. Die Orientierung wird verändert.

**Alternative:**

$$(3) \quad \begin{aligned} & OLVO^{-1}ROL^{-1} (R^{-1}ORO^{-1}) \dots \\ & (LV^{-1}L^{-1}V)R^{-1}V^{-1} \end{aligned}$$

Nur diese Stellen werden verändert. Die Orientierung bleibt fest.

### 5.1.3.5. Mit zyklischer Vertauschen aller Ecken



$$(1) \quad \begin{aligned} & (SO^{-1}S^{-1}) O^2 (SO^{-1}S^{-1}) O^{-1} \dots \\ & (SO^{-1}S^{-1}) O^2 (SO^{-1}S^{-1}) O^2 \end{aligned}$$

Nur diese Stellen werden vertauscht. Die Orientierung der Ecken wird erhalten. Alle vier Kanten werden gekippt.

**Alternative:**

$$(2) \quad (V ROR^{-1}O^{-1} V^{-1}O^{-1})^2 O$$

Nur diese Stellen werden verändert. Die Orientierung wird verändert.

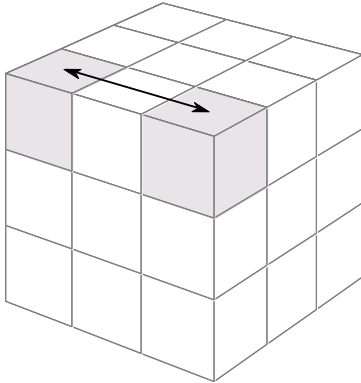
**Alternative im Gegenuhrzeigersinn:**

$$(3) \quad \begin{aligned} & (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O \dots \\ & (SOS^{-1}) O^2 (SOS^{-1}) O^2 \end{aligned}$$

## 5.2. Position der Ecken ändern - Position der Kanten fest

### 5.2.1. Vertauschen zweier benachbarten Ecken

Folgende Drehfolge mit Ordnung 2 vertauscht die beiden vorderen Ecken:



$$(1) \quad \mathbf{VU V^2 U^2 V^2 U^{-1} V^{-1}}$$

Auf der Oberseite werden nur diese zwei Stellen verändert. Die unteren Ebenen werden verändert. Ordnung 2.

**Alternativ**, unter Vermeidung der Unterseite, durch Benutzung von Drehungen des gesamten Würfels ( $\underline{\mathbf{V}}$  nach rechts;  $\underline{\mathbf{V}^{-1}}$  nach links;  $\underline{\mathbf{V}^{-1}\mathbf{V}}$  hintere beiden Scheiben nach links)

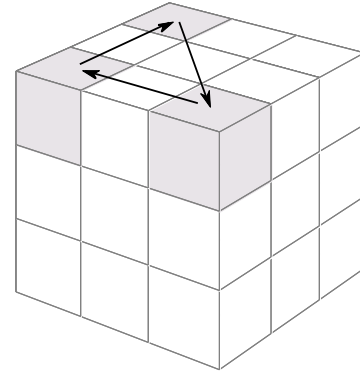
$$(2) \quad \mathbf{(\underline{V}^{-1}V) R V^2 R^2 V^2 R^{-1} (V^{-1}\underline{V})}$$

Auf der Oberseite werden nur diese zwei Stellen verändert. Die unteren Ebenen werden verändert. Ordnung 2.

Dabei ist gewährleistet, dass immer nur 0, 2 oder 4 Eckenvertauschungen nötig sind, wenn die Kanten schon am richtigen Platz sind. Auch hier muss wieder beachtet werden, dass die Ecken, die bewegt werden sollen, immer vorn stehen, damit die Konjugation den unteren Teil richtigstellt.

### 5.2.2. Zyklische Vertauschung dreier Ecken

Folgende Drehfolge vertauscht drei Ecken zyklisch im Uhrzeigersinn, die Ecke rechts hinten bleibt fest:



$$(1) \quad \mathbf{(O^{-1}R^{-1}O) L (O^{-1}R O) L^{-1}}$$

Nur diese drei Stellen werden verändert. (Ordnung 3.)

Die entsprechende Drehung im **Gegenuhrzeigersinn** lautet:

$$(1g) \quad \mathbf{L (O^{-1}R^{-1}O) L^{-1} (O^{-1}R O)}$$

**Alternativ** zu (1):

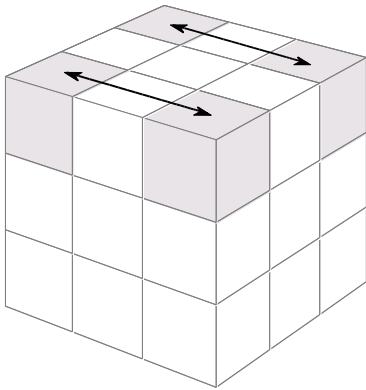
$$(2) \quad \mathbf{(VR^{-1}V) L^2 (V^{-1}RV) L^2 V^2}$$

Und in **Gegenuhrzeigersinn**:

$$(2g) \quad \mathbf{V^2 L^2 (V^{-1}R^{-1}V) L^2 (V^{-1}RV^{-1})}$$

### 5.2.3. Vertauschen der vier Ecken parallel

Folgende Drehfolge vertauscht die vier Ecken parallel, linke Seite mit rechte Seite

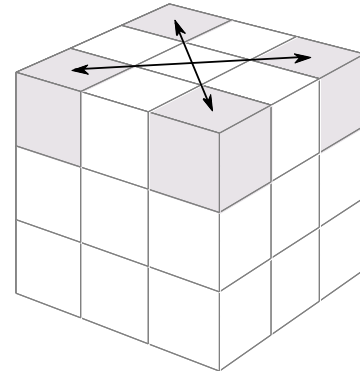


(1)  $V (ROR^{-1}O^{-1})^3 V^{-1}$

(Singmaster)

### 5.2.4. Vertauschen der vier Ecken über Kreuz

Folgende Drehfolge vertauscht die vier Ecken über Kreuz:



(1)  $S^2O^2S^2O S^2O^2S^2O$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung bleibt erhalten.

Alternativ:

(2)  $(S^2O)^6$

Nur diese vier Stellen werden verändert. (Ordnung 2). Die Orientierung bleibt erhalten.

Alternativ:

(3)  $(SOS^{-1}O)^3$

Nur diese 4 Stellen und die Orientierung von 2 Kanten (rechts und hinten) werden verändert.

Alternativ:

(4)  $(S^{-1}OSO)^3$

Nur diese 4 Stellen und die Orientierung von 2 Kanten (links und vorn) werden verändert.

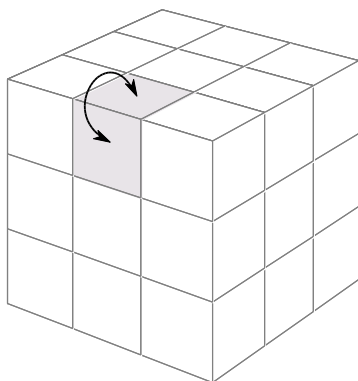
## 6. Oberseite - Orientierung raffiniert ändern

Die Positionen auf der Oberseite bleiben fest.

### 6.1. Orientierung der Kanten ändern - Ecken fest

#### 6.1.1. Kippen einer einzelnen Kante

Folgender Drehfolge kippt die vordere Kante:



(1)  $(VE)^4$

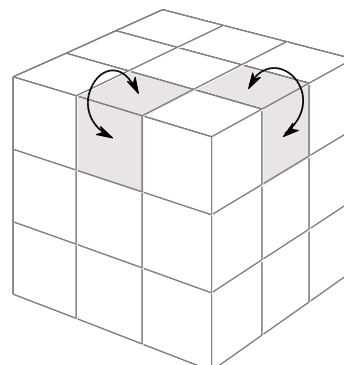
*Auf der Oberseite wird nur diese Stelle verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Ordnung 2.*

(1) dreht also abwechselnd die Vorderseite im Uhrzeigersinn und das mittlere Band nach rechts.

Der untere Teil wird auch verändert. Diese Drehung hat die Ordnung 2. Bringen wir also die nächste Kante, die gekippt werden soll, nach vorn und wiederholen (1). Damit ordnen wir den unteren Teil zurück.

#### 6.1.2. Kippen von zwei Kanten

Folgende Drehfolge kippt die Kanten vorn und rechts:

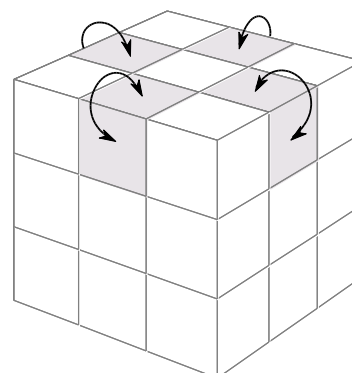


(1)  $(SO)^4$

*Auf der Oberseite werden nur diese Stellen verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Ordnung 2.*

#### 6.1.3. Kippen aller vier Kanten

Folgende Drehfolgen kippen alle vier Kanten:



(1)  $(SO)^4 O^2 (SO)^4 O^2$

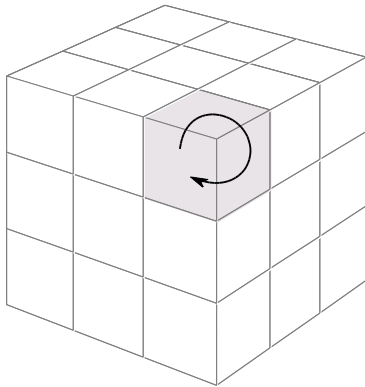
(2)  $(S^{-1}O)^4 O^2 (S^{-1}O)^4 O^2$

*Nur diese vier Stellen werden verändert.*

## 6.2. Orientierung der Ecken ändern - Kanten fest

### 6.2.1. Drehung einer einzelnen Ecke

Folgende Drehfolge dreht die Ecke rechts vorn im Uhrzeigersinn:



(1)  $(RV^{-1}R^{-1}V)^2$

Auf der Oberseite wird nur diese Stelle verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Ordnung 3.

Im **Gegenuhrzeigersinn**:

(1g)  $(V^{-1}RVR^{-1})^2$

**Alternative mit Unterseite:**

(2)  $(VUV^{-1}U^{-1})^2$

Auf der Oberseite wird nur diese Stelle verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Ordnung 3.

Im **Gegenuhrzeigersinn**:

(2g)  $(UVU^{-1}V^{-1})^2$

**Kürzere, anspruchsvolle Alternative:**

Es gibt eine Alternative für obige Drehung mit folgenden Eigenschaften:

- Etwas kürzer, dafür aber grifftechnisch komplizierter;
- muss aufgrund der hohen Ordnung invertiert werden

Durch folgende Drehfolge wird die Ecke rechts vorn im Uhrzeigersinn gedreht:

(3)  $R^{-1}URVUV^{-1}$

Auf der Oberseite wird nur diese Stelle verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Hohe Ordnung.

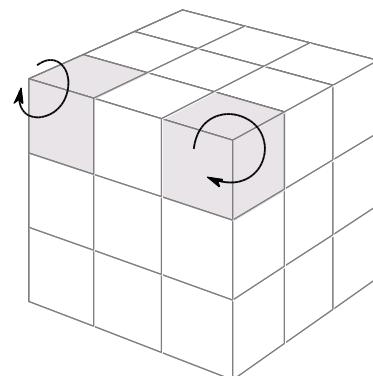
Entsprechend im **Gegenuhrzeigersinn** die Umkehrung:

(3g)  $VU^{-1}V^{-1}R^{-1}U^{-1}R$

Vorsicht! Diese Drehfolgen haben Ordnung 45. Es muss also jeweils unbedingt die Umkehrung folgen, damit der untere Teil wieder richtig wird.

### 6.2.2. Drehung von zwei benachbarten Ecken

Folgende Drehfolge dreht die beiden vorderen Ecken im Uhrzeigersinn:



(1)  $(VUV^2U)^4$

Auf der Oberseite werden nur diese Stellen verändert. Die unteren zwei Ebenen werden zerstört. Ordnung 3.

Die entsprechende Drehung im **Gegenuhrzeigersinn**:

(1g)  $(U^{-1}V^2U^{-1}V^{-1})^4$

Betrachtet man die Länge der Drehfolge, macht nur folgende Kombination Sinn:

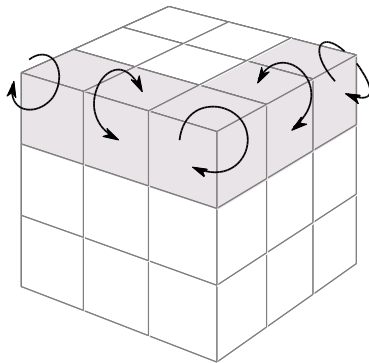
(1)  $O^2 (1g)$

## 6.3. Orientierung von Kanten und Ecken kombiniert

### 6.3.1. Drehung von 2 Kanten und 3 Ecken

#### 6.3.1.1. Drehung von 2 Kanten und 3 Ecken, alle 5 Würfel nebeneinander

Folgende Drehfolge kippt gleichzeitig zwei benachbarte Kanten und dreht die drei anliegenden Ecken im Uhrzeigersinn.



$$(1) \quad O^2L^{-1}O^{-1}L^2V^{-1}L^{-1}V^2O^{-1}V^{-1}$$

Alternativ gruppiert geschrieben:

$$(1') \quad O \quad OL^{-1}O^{-1}L \quad LV^{-1}L^{-1}V \quad VO^{-1}V^{-1}$$

Oder mit Drehung der rechten Seite statt der linken:

$$(2) \quad OV^{-1}O^{-1}V^2R^{-1}V^{-1}R^2O^{-1}R^{-1}O$$

Alternativ gruppiert geschrieben:

$$(2') \quad OV^{-1}O^{-1}V \quad VR^{-1}V^{-1}R \quad RO^{-1}R^{-1}O$$

Entsprechend mit Drehung der Ecken im Gegenuhrzeigersinn:

$$(1g) \quad VOV^2LVL^2OLO^2$$

Alternativ gruppiert geschrieben:

$$(1'g) \quad VOV \quad VLVL \quad LOLO \quad O$$

Oder mit Drehung der rechten Seite statt der linken:

$$(2g) \quad O^{-1}ROR^2VRV^2OVO^{-1}$$

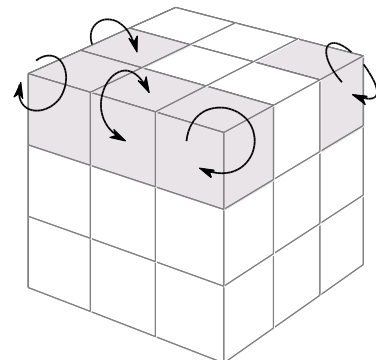
Alternativ gruppiert geschrieben:

$$(2'g) \quad O^{-1}ROR \quad RVRV \quad VOVO^{-1}$$

#### 6.3.1.2. Drehung von 2 Kanten und 3 Ecken, dabei 4 Würfel nebeneinander

Folgende Drehfolge

- kippt die Kanten vorn und links,
- dreht die Ecken vorn links, vorn rechts und hinten rechts im Uhrzeigersinn:



$$(1) \quad (VO \quad RO^{-1}R^{-1} \quad V^{-1}O^{-1})^2$$

Entsprechend mit Drehung der Ecken im Gegenuhrzeigersinn:

$$(1g) \quad (OV \quad ROR^{-1} \quad O^{-1}V^{-1})^2$$