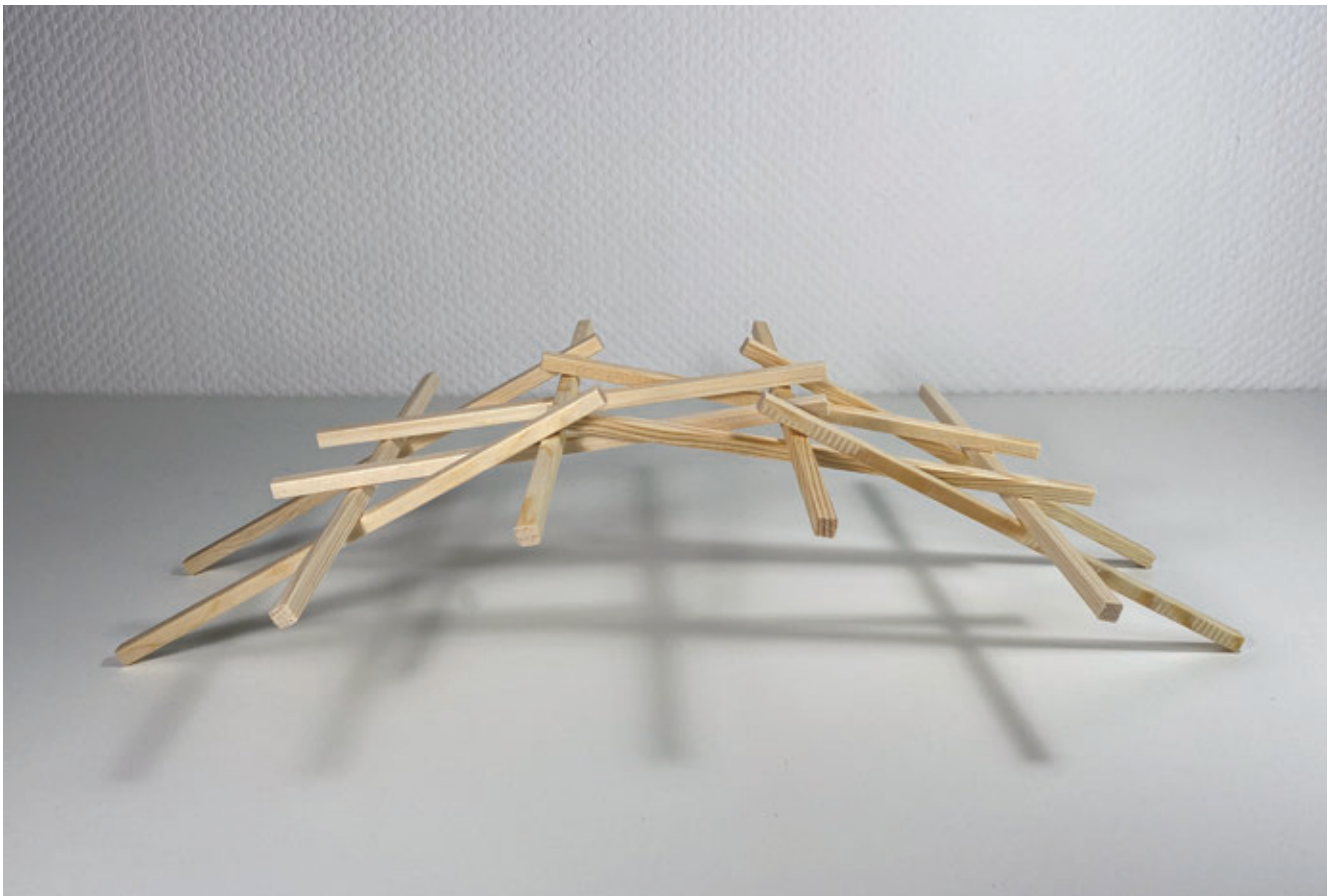


Hauptseminar Technologie:

# Staffellauf nach Da Vinci

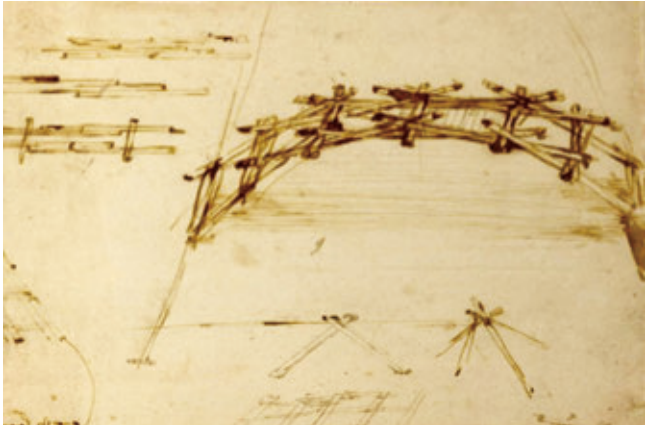
Forschungsprojekt über die Konstruktion ohne Schraube im Möbelbau  
inspiriert von Da Vinci Brücke



Ke, Yuhang  
Produkt Design  
MA, Anpassungsstudium

Prof. Holger Neumann  
WM Steffen Herm

Hauptseminar Technologie  
Sommersemester 2020  
Design Fakultät, UdK, Berlin



1



2

Dies ist ein Forschungsprojekt über eine tragende Konstruktion im Möbelbau ohne Schrauben. Das Ziel meines Projekts ist es zu lernen, wie ein Ingenieur in einem Möbeldesignprojekt arbeitet. Was folgte, ist meine Fragestellung: Wie eine Konstruktion in einem Möbeldesignprojekt wissenschaftlich entworfen, entwickelt, getestet, analysiert und optimiert werden sollte. Als Designer ist notwendig, etwas über die Konstruktion und ihre Anwendung im Entwurfsprozess zu lernen und verstehen.

1

1  
die Zeichnung der Da Vinci Brücke  
von Leonardo da Vinci

2  
Da Vinci Brücke Spielzeug



3

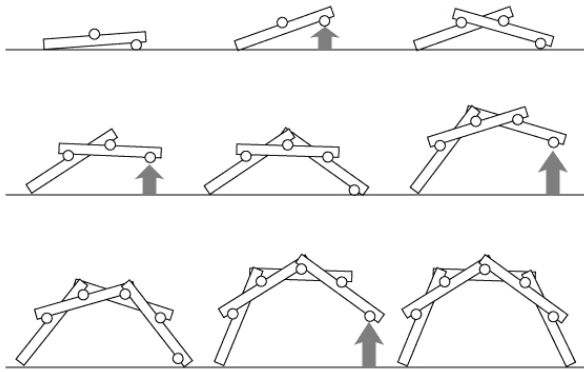
### Da Vinci Brücke

Ausgangspunkt für dieses Projekt ist die von Da Vinci entworfene Da Vinci-Brücke. Dies ist eine Konstruktion, die nur durch die Konstruktion von Holzstöcken Stabilität erreichen kann. Die Forschung dieses Projekts wird mit der Konstruktion der Da Vinci Brücke durchgeführt.

3  
Die Da Vinci Brücke dient als Stützkonstruktion für diese Fußgängerbrücke in Morsø im Norden Dänemarks

# Konstruktion Analyse

Da Vinci Brücke aus Mahlstäbchen



1



3

Anstelle von Holz habe ich Einweg-Holzstäbchen verwendet und versucht, die Da Vinci-Brücke zu Hause nachzubauen, damit die Konstruktion später analysiert werden kann.

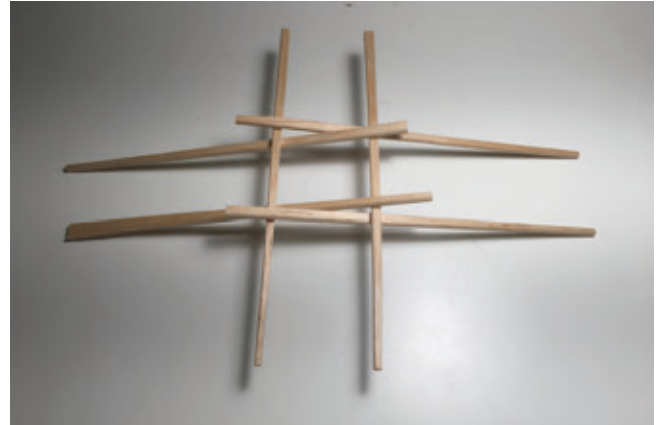
Die Da Vinci-Brücke ist eigentlich eine sich wiederholende Konstruktion, die aus einfachen selbsttragenden Monomeren besteht. Durch kontinuierliches Hinzufügen neuer Stützbalken und Füße kann die Da Vinci-Brücke theoretisch unbegrenzt verlängert und angehoben werden. Die mechanische Konstruktion hat sich jedoch nicht wesentlich verändert, sodass in späteren Studien die Einheit in der Da Vinci-Brücke analysiert werden.

1

eine Anleitung übers Bauen der Da Vinci Brücke schritt nach schritt.

2,3,4

Nachbauen der Da Vinci Brücke aus Mahlstäbchen



2



4

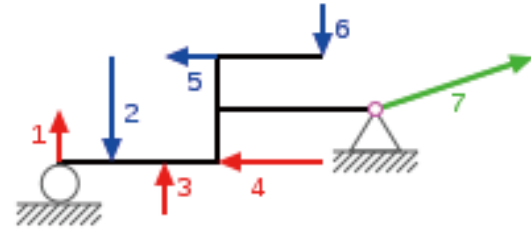
# Recherche

## Grundlagen der Statik

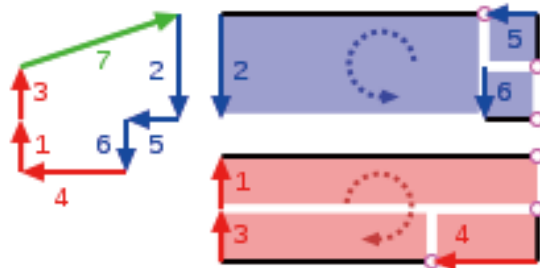
### Starrer Körpern

Der starre Körper ist in der klassischen Mechanik eine idealisierte Modellvorstellung, die von einem nicht verformbaren Körper ausgeht. Der Körper kann eine kontinuierliche Massenverteilung aufweisen oder ein System von diskreten Massenpunkten sein (z. B. Atome, Moleküle). Die Nichtverformbarkeit bedeutet, dass zwei beliebige Punkte des Körpers unabhängig von äußeren Kräften immer den gleichen Abstand zueinander besitzen. Verformungen wie Durchbiegung, Kompression, Dehnung oder innere Schwingungen werden damit ausgeschlossen.

Bei starren Körpern ist der Wirkungspunkt der Kraft nicht mehr ein Faktor, der die Wirksamkeit der Kraftwirkung bestimmt, sondern die Wirkungslinie der Kraft. Daher sind die drei Elemente der Kraft, die auf den starren Körper wirken: die **Größe, Richtung und Wirkungslinie** der Kraft. -starren Körpern auf Wikipedia



$$\sum_{(i)} \vec{F}_{(i)} = \vec{0} \quad \sum_{(i)} \vec{M}_{(i)} = \vec{0}$$



5

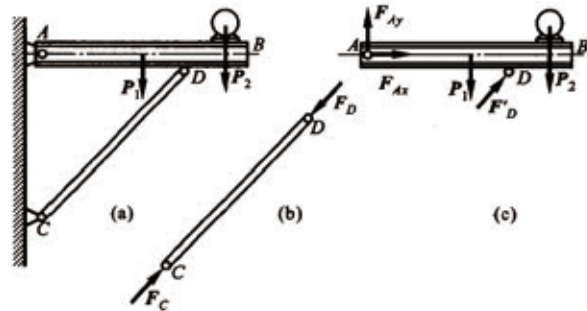
### Analyse Strategie

#### Freischnitt Methode (Schnittprinzip)

Das Schnittprinzip ist eine theoretische Untersuchungsmethode in der Mechanik, insbesondere in der Statik zur Bestimmung von örtlichen Beanspruchungen in einem belasteten Objekt.

Ein Teil des Objektes wird gedanklich abgeschnitten (Freischnitten). An der Schnittfläche des verbleibenden Teils sind dann Kräfte und Momente anzubringen, die mit den weiter von außen und über die Lager (Lagerreaktionen) an ihm wirkenden Kräften und Momenten im Gleichgewicht sein müssen. Sie werden mit Hilfe der diese Kräfte und Momente einschließenden Gleichgewichtsbedingungen am verbliebenen Teil bestimmt. -Freischnitt Methode auf Wikipedia

3



6

5  
Balkenkonstruktion mit Fest- und Loslager und erfüllten Gleichgewichtsbedingungen (Summe aller Kräfte und Momente gleich null)

6  
Analyse Beispiel in Theoretischen Mechanik (1) Labor für Theoretische Mechanik, Harbin Institute of Technology

# Recherche

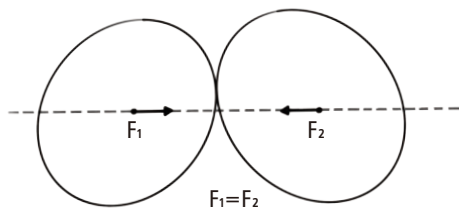
## Konstruktion Analyse der Da Vinci Brücke



1  
Nach dem Nachbauen der Da Vinci-Brücke ist ihr Kraftprinzip nicht schwer zu entdecken. Die physikalischen Grundprinzipien zur Erklärung der Konstruktion der Da Vinci Brücke sind die Prinzipien Actio und Reactio. Mit Hilfe des Maschinenbau Informatik-Studenten Zhang Xinyu führte ich die grundlegendste Analyse der Konstruktion der Da Vinci-Brücke durch.

### Prinzip: Actio und Reactio

Das Prinzip von Actio und Reactio ist ein Newtonsches Gesetz und besagt, dass bei der Wechselwirkung zwischen zwei Körpern jede Aktion gleichzeitig eine gleich große Reaktion erzeugt, die auf den Verursacher der Aktion zurückwirkt. -Actio und Reactio auf Wikipedia



2

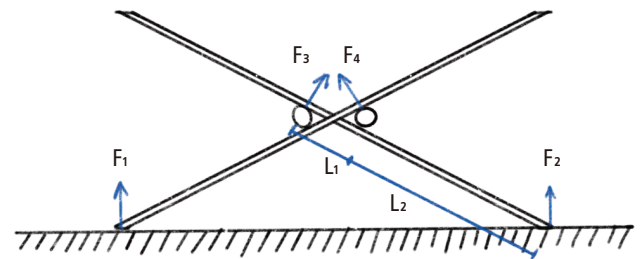
1  
eine Einheit der Da Vinci Brücke

2  
Schematische Darstellung der Actio und Reactio

### Tragsystem Analyse (Freischnitt Methode)

Erstens ist die Da Vinci-Brücke eine selbsttragende Konstruktion, deren strukturelle Stabilität eher dynamisch als statisch ist. In Statik kann es also als Statisches überstimmtes System definiert werden. Mit der Freischnitt-Methode haben wir die Beanspruchung jeder Komponente analysiert. Aus der Seitenansicht kann die Struktur der linken und rechten Seite der Da Vinci-Brücke als zwei identische und miteinander verbundene Hebelstrukturen verstanden werden.

Statisches überstimmtes System



3

### Berechnung der Sicherheitwert

Sicherheitwert ist ein sehr wichtiger mathematischer Parameter zur Messung der Stabilität einer Konstruktion in Architektur und Ingenieurwesen. Sie kann durch komplexe Computeroperationen genau berechnet werden.

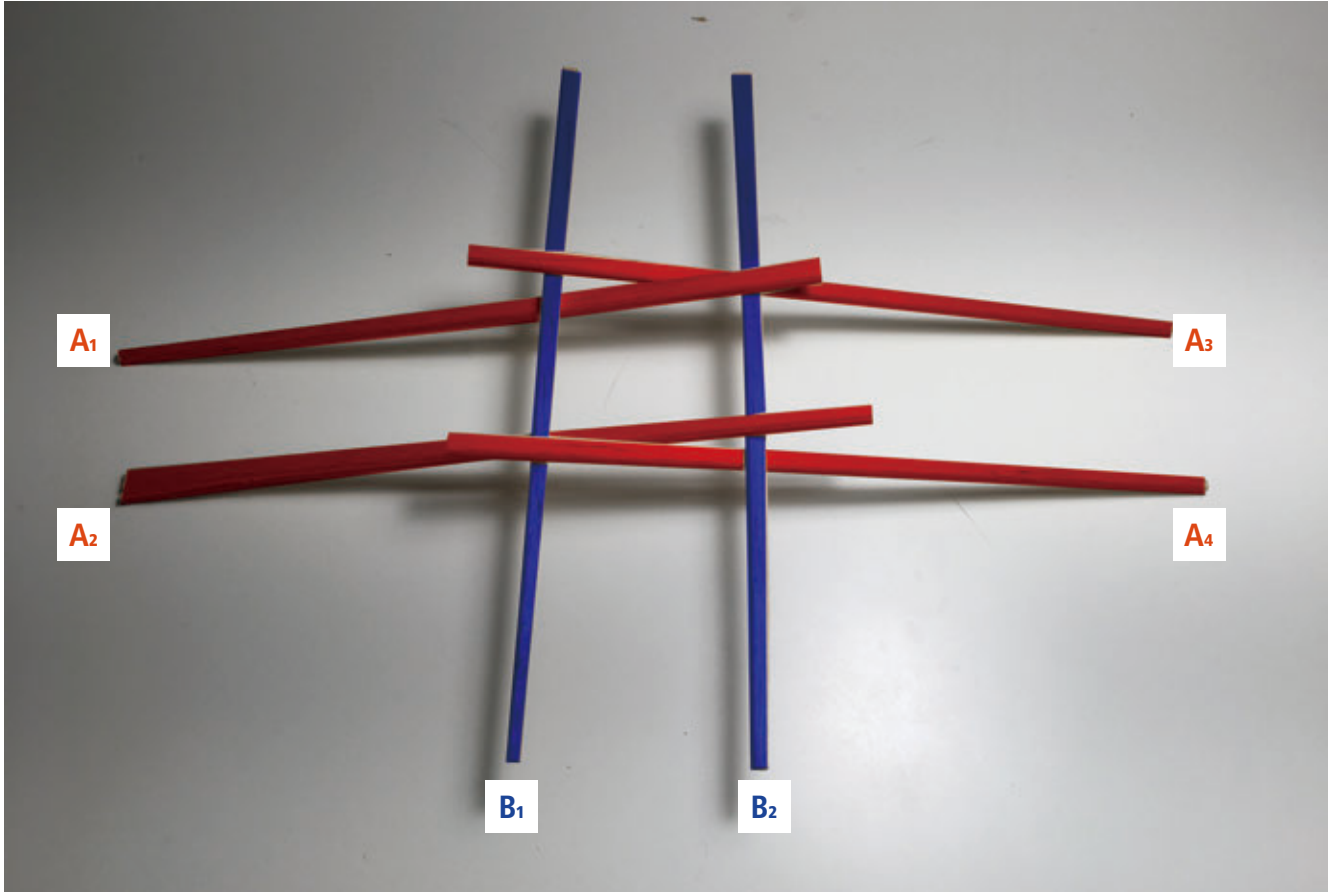
Sicherheitwert der einzeln Element von Da Vinci Brücke

$$\approx (1.3 \sim 1.7) \cdot F_3 = (1.3 \sim 1.7) \cdot L_2 / L_1 \cdot F_2$$

(1.3~1.7 sind gegebene mathematische Konstanten in dieser Formel)

3  
Schematische Darstellung der statischen Analyse der Da Vinci Brücke





4

5

Basierend auf dem Hebelprinzip haben wir eine grobe mathematische Formel für den Sicherheitsfaktor der Da Vinci-Brücke erstellt. Der Sicherheitsfaktor ist ein wichtiger Faktor für die Strukturanalyse und -bewertung in Mechanik. Auf diese Weise wissen wir, dass Da Vinci die Einheit aus Stab A und Stab B tatsächlich wiederholt.



Der Rahmen der Struktur, der die Größe und Form der Struktur bestimmt.



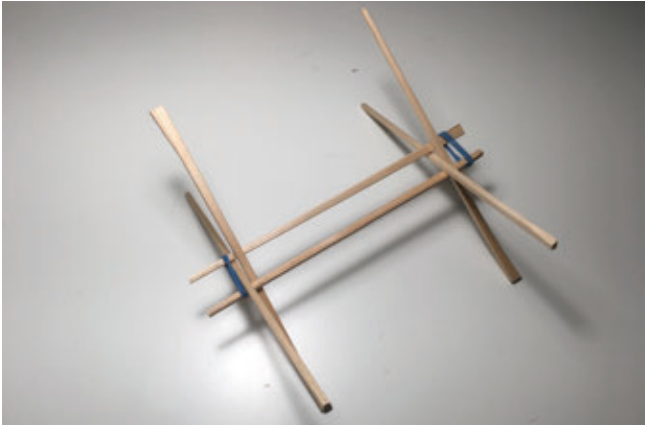
Eine Komponente, die Kraft überträgt und die Struktur stabilisiert.

4

eine Einheit der Da Vinci Brücke  
(die Stäbchen werden nach der Funktion  
in Struktur farbig ausgezeichnet)

## Konstruktion Entwicklungen

Versuchen mit Mahlstäbchen



1



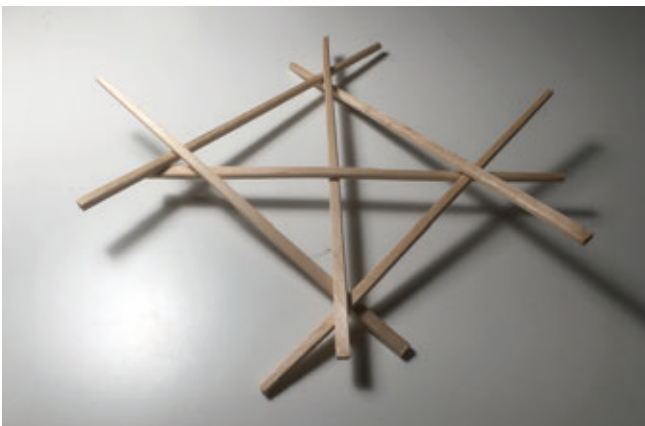
2



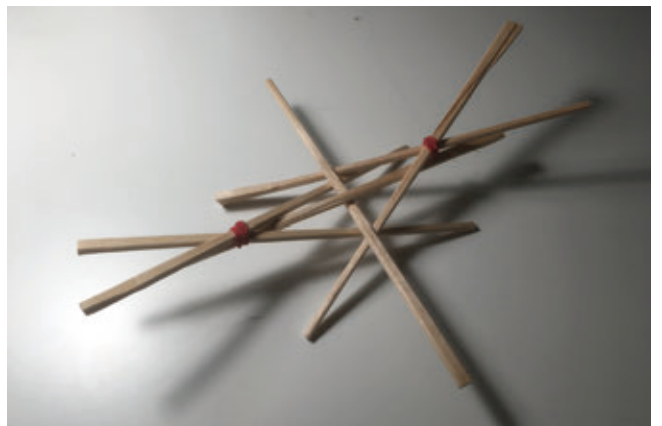
3



4

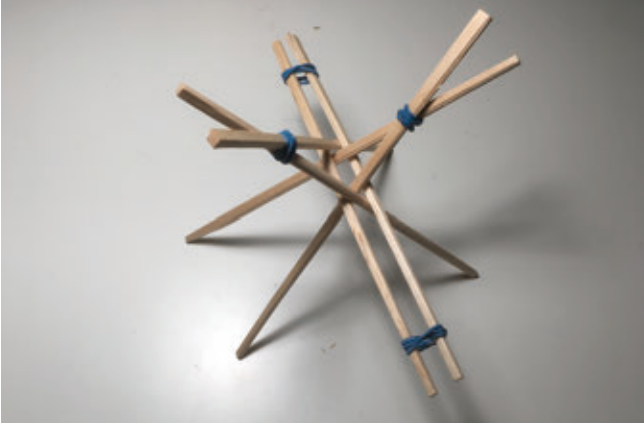


5



6

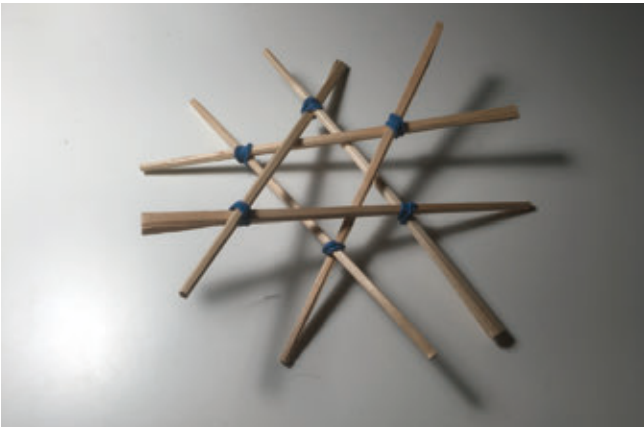
Danach war es zu versuchen, eine Variante der Da Vinci-Brücke zu bauen, die auf dem Konstruktionsprinzip der Da Vinci-Brücke basiert. Während des Versuchs musste ich manchmal Gummibänder verwenden, um die Position einiger Stäbchen zu fixieren.



7



10



8



11



9

7



12



## Konstruktion Weiterentwicklungen

Versuchen mit Holzstäbe



1

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### Entwicklung durch Versuchen

#### 1.

In der Weiterentwicklung sind Eins-zu-Eins Prototypen aus Holz aufzubauen. Zwei Stab A und ein Stab B werden als Einheit verwendet, und die vorhandene Struktur wird der Konstruktion hinzugefügt, indem Stab B gemeinsam genutzt wird, um das gewünschte Format zu erreichen. d.h. Auf Basis einer Da Vinci Brücke wird weiterhin von beiden Seiten nach oben gebaut.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass diese Struktur tatsächlich eine umgekehrte Da Vinci Brücke ist. Obwohl keine größeren Kraftfehler vorliegen, kann die Höhe der Struktur aufgrund der Begrenzung der Struktur der Da Vinci Brücke selbst nicht den tatsächlichen Höhenbereich der Möbelanwendung erreichen. Ein wesentlicher Strukturwandel ist erforderlich.

1

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe



2

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### Variable der Stab B

Nachdem die Prototype gebaut und ausprobiert wurden, wurde es festgestellt, dass Stab B die Höhe dieser Struktur bestimmte. Wenn die Da Vinci-Brücke in Möbel umgewandelt wird, muss ihre Höhe den Möbelstandards entsprechen.

9

2

Eine längere Da Vinci Brücke (zwei Einheiten) wird hier als Basis gebaut.

3

Schematische Darstellung aus der seitlichen Sicht (Blaue Stäbe=Stab B)

3: Stab B müssen zueinander eng sein.

4: Die Bestandteile von Stab B können "groß" oder "hoch" sein.

4







1

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

2.

In diesem Experiment überlappen sich zwei Leonardo da Vinci. Sie haben ihren eigenen Stab B. Die Gesamtstruktur wurde weiter gestärkt. Es fehlt jedoch immer noch die Kernaufwärtsstützstruktur. Die Da Vinci Brücke unten trägt den größten Teil der Kraft und ist relativ zerbrechlich.

10

1

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe



2



3

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### Elastische Bänder

Funktion der elastischen Bänder ist nicht nur ein Verbindungsstück, sondern eher eine Feder. Daher kann es sich in Konstruktion nicht in einem übermäßig festgezogenen Zustand befinden.

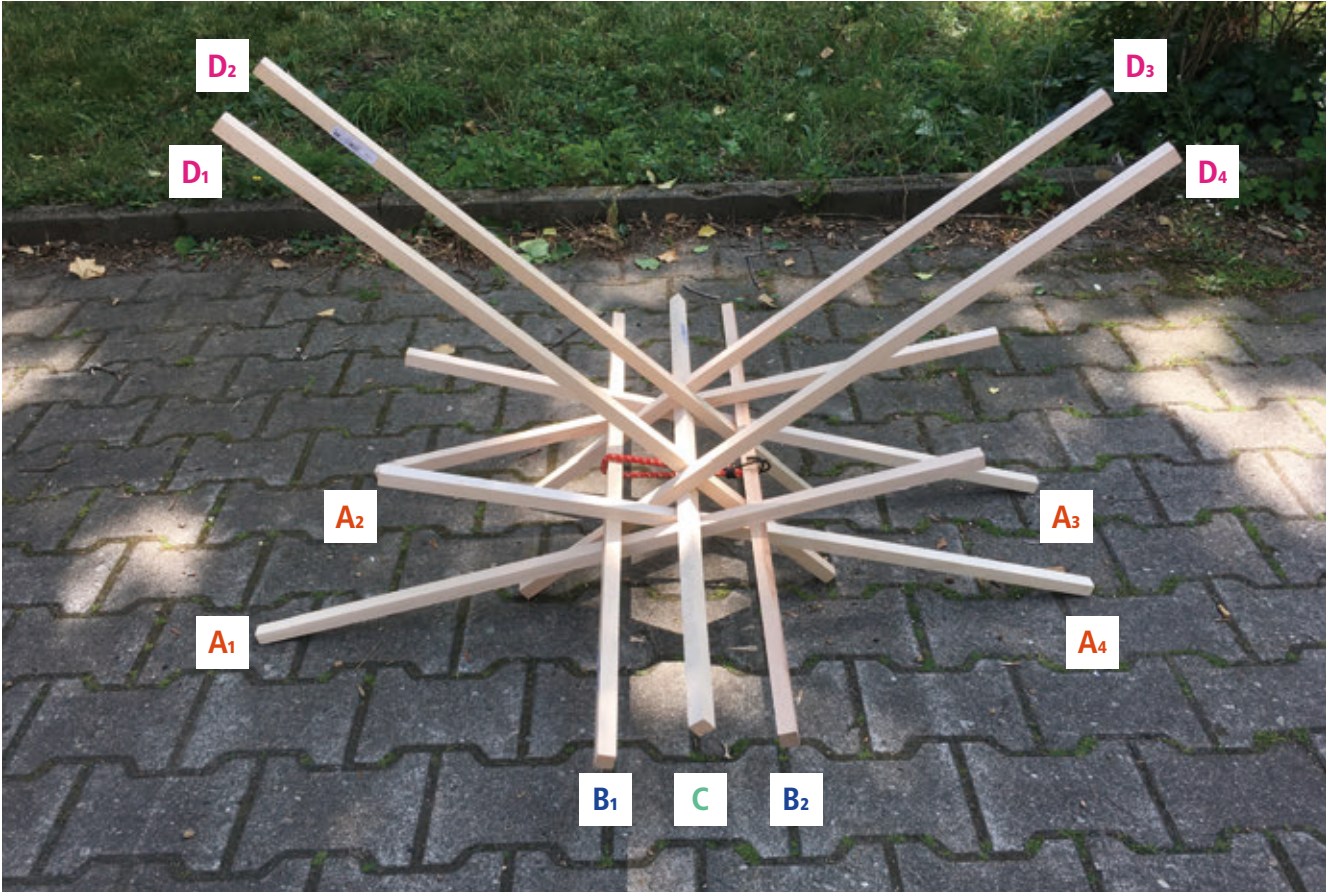
2

Bevor Schweres zu tragen mit elastischen Band.

3

Nach dem Drücken der Platte darauf wurde die Konstruktion offensichtlich nach unten gedrückt. Es ist ersichtlich, dass das elastische Band hier keine Rolle bei der Aufrechterhaltung der Konstruktion spielt.





1

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### 3. Zufällige Entdeckung

Zuerst wurde die einfachste Da Vinci-Brücke gebaut, und dann wurden zwei sich kreuzende Holzstöcke in die Mitte gelegt. Die beiden Teile sind durch einen Stab verbunden. Die Kraft auf die Kreuzung wird auf die Da Vinci Brückenstruktur übertragen.

Im Vergleich zur Da Vinci Brücke hat diese Konstruktion keine großen Änderungen erfahren, aber es fügt der Da Vinci Brücke eine neue Konstruktion hinzu. Der angebrachte Stab C kombiniert die ursprüngliche Da Vinci Brücke und die Stäbe D sehr gut. Die ursprüngliche Da Vinci Brückenstruktur wird gut genutzt. Die Kraft der Konstruktion wird auf jeden Verbindungspunkt verteilt, anstatt auf einen einzelnen Punkt zu wirken.

12

1

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Um die Konstruktionen gut zu erklären,  
wird jeden Stab nach der Funktion nummeriert.





2

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

13

**A**

Der Rahmen der Struktur, der die Form der Konstruktion bestimmt.

**B**

Eine Komponente, die Kraft überträgt und die Konstruktion stabilisiert.

**C**

Stab C befindet sich direkt an der von Stab A gebildeten Kreuzung.

**D**

Stab D befindet sich in der Lücke zwischen Stab B und Stab C und steht in direktem Kontakt mit Stab B und Stab C.

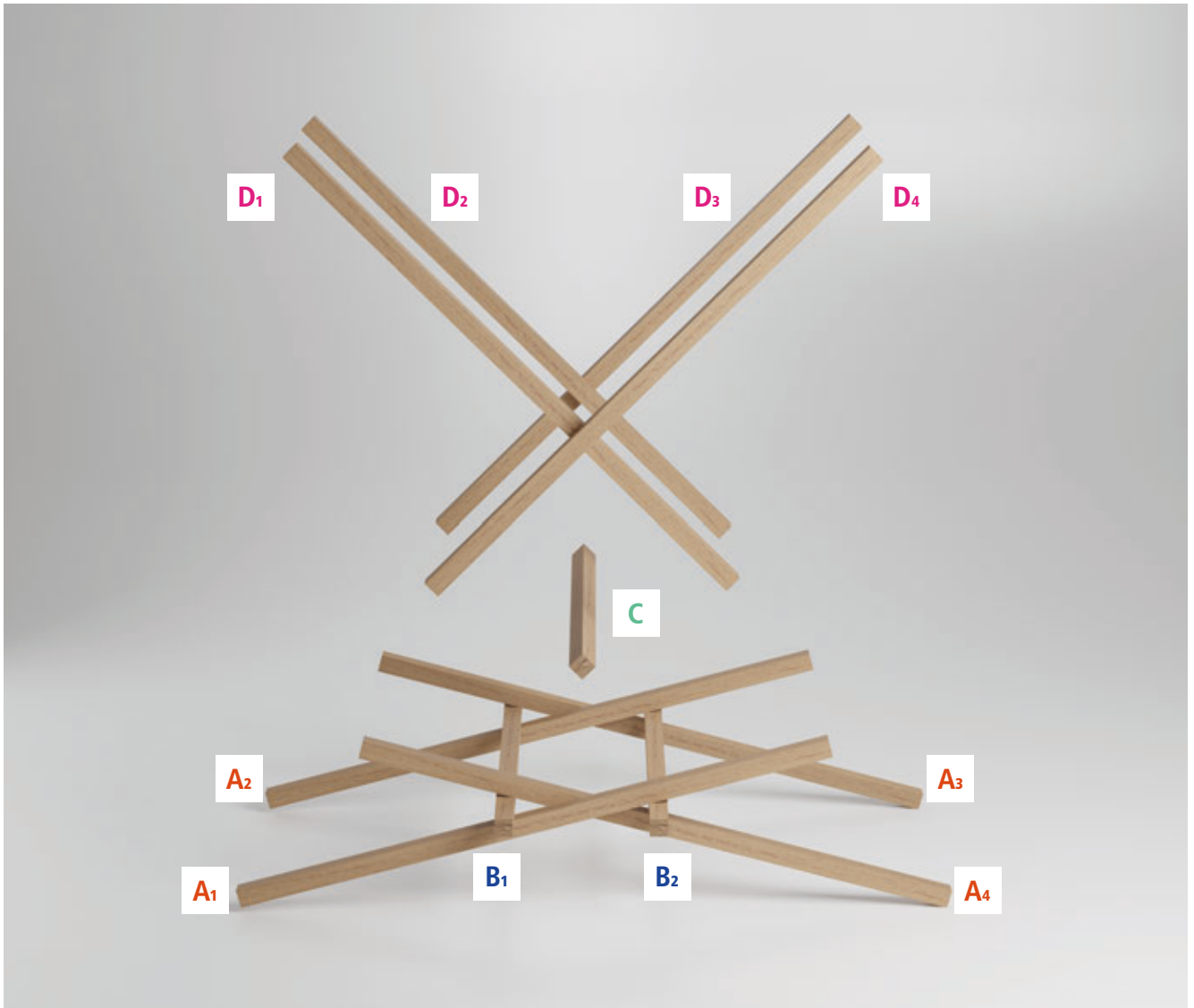
2

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe mit einer Tischplatte

Konstruktion Höhe: 630mm  
 Brett: Breite: 1200mm  
 Tiefe: 600mm  
 Höhe: 18mm

## Konstruktion Weiterentwicklungen

Konstruktion aus Holzstäbe - Aufbau



1

Erstens bilden vier Stäbe A und zwei Stäbe B eine grundlegende Da Vinci Brücke. Dann werden einen Stäbe C auf die Da Vinci Brücke gelegt. Zum Schluss werden vier Stäbe D zwischen Stab B und Stab C einfügen. Stab D berührt direkt den Boden.

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm (im Blender)

1

Blender digitales Modell, das in verschiedene Funktionen aufgeteilt wurde.

2

Digitaler Aufbau der Konstruktion im Blender



Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm (im Blender)

Die Daten dieses digitalen Modells basieren auf der endgültigen Konstruktionsoptimierung, zum Beispiel dem Richtungswinkel des Stäbe Abschnitts, dem kombinierten Winkel zwischen den Stäbe usw. Ein Riemen fester Länge wird zwischen die beiden Stäbe Bs gelegt, um den Abstand zwischen den Stäbe Bs festzulegen. Diese Optimierungen werden später ausführlich erläutert.

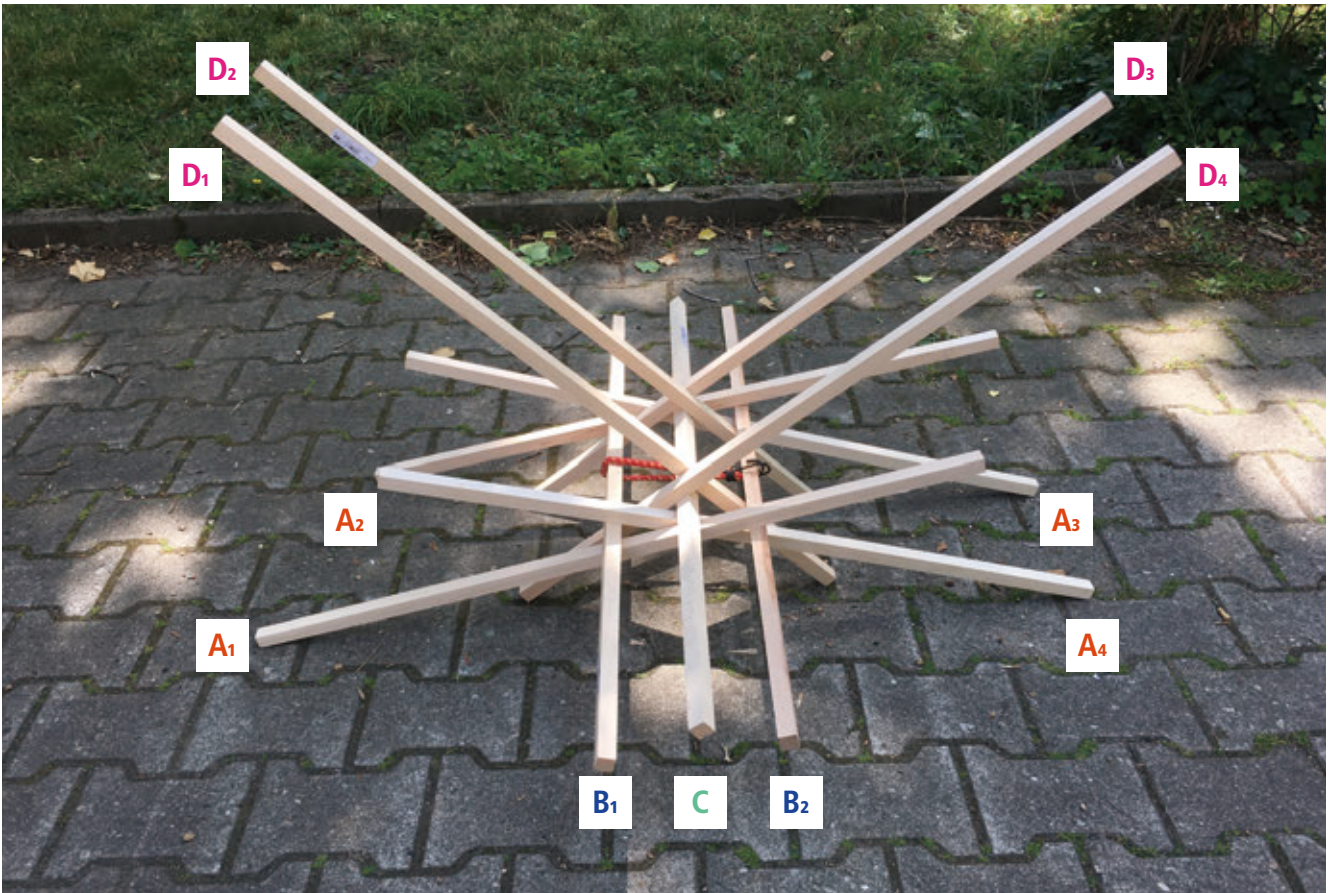
QR Code zum Video des digitalen Aufbaus  
digitaler Anschauer auf den Code klicken





## Konstruktion Weiterentwicklungen

Konstruktion aus Holzstäbe - Analyse



1

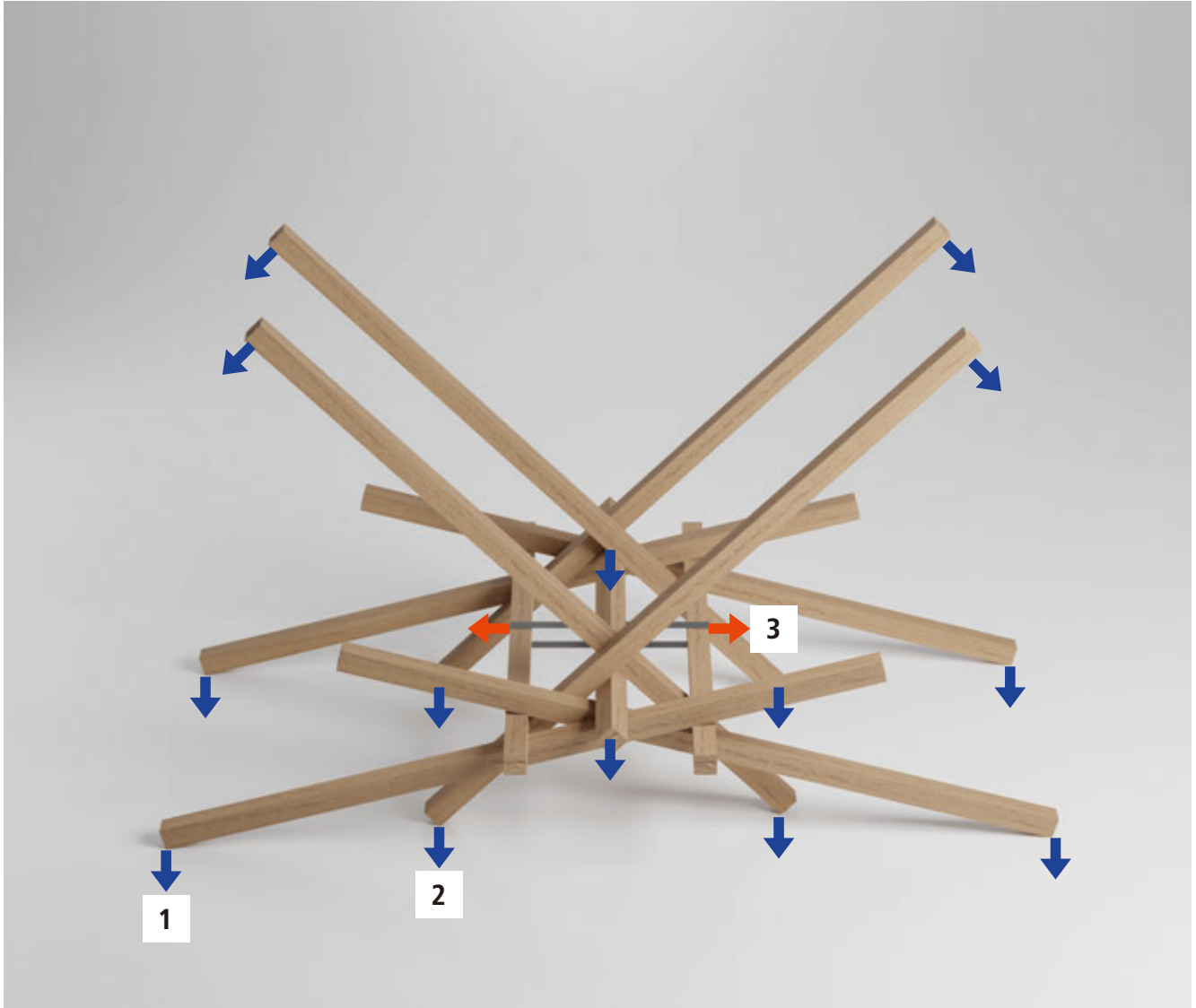
Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### Zusammenarbeit der Stäbe

Mit Hilfe der Freischnitt-Methode kann diese Struktur wie folgt analysiert werden: Wenn die Kraft von oben auf Stäbe D wirkt, wird die Kraft auf drei verschiedene Stellen verteilt.

Der erste Teil durch Stab C auf die Da Vinci Brücke unten übertragen. Der zweite Teil wirkt direkt auf den Boden, da sich Stab D auch direkt auf dem Boden befindet.

Der dritte Teil wirkt auf Stab B, die Kraft nach links und rechts, also benötigen wir auf Stab B auch einen Gurt, der Stab B festziehen kann. Durch die Zusammenarbeit zwischen Stäbe wird die v stabiler und fester als die Da Vinci Brücke und gleichzeitig für die praktische Anwendung besser geeignet.



2

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm (im Blender)

1  
 Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
 Um die Konstruktionen gut zu erklären,  
 wird jeden Stab nach der Funktion num-  
 meriert.

2  
 Schematische Darstellung der Konstruk-  
 tionkraft basierend auf dem digitalen  
 Modell



# Konstruktion Weiterentwicklungen

Konstruktion aus Holzstäbe - Parameter



1

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

## Form der Stäbe B

Durch Änderung des Querschnitts von Stab B wird auch der Winkel zwischen Stäbe A geändert. Zusätzlich bestimmt die Form des Querschnitts von Stab B auch den Kontaktwinkel zwischen Stab A und B, wie kommen Stäbe A und B zusammen an. Im Allgemeinen beeinflusst die Form des Kontaktteils von Stab B und Stab A die Form der gesamten Struktur.

1

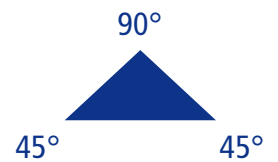
Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Die Querschnittsform von Stab B wird als Variable geändert.

Konstruktion Höhe: 820mm

2

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Die Größe von Stab C wird als Variable geändert.

Konstruktion Höhe: 730mm



eine mögliche Variante



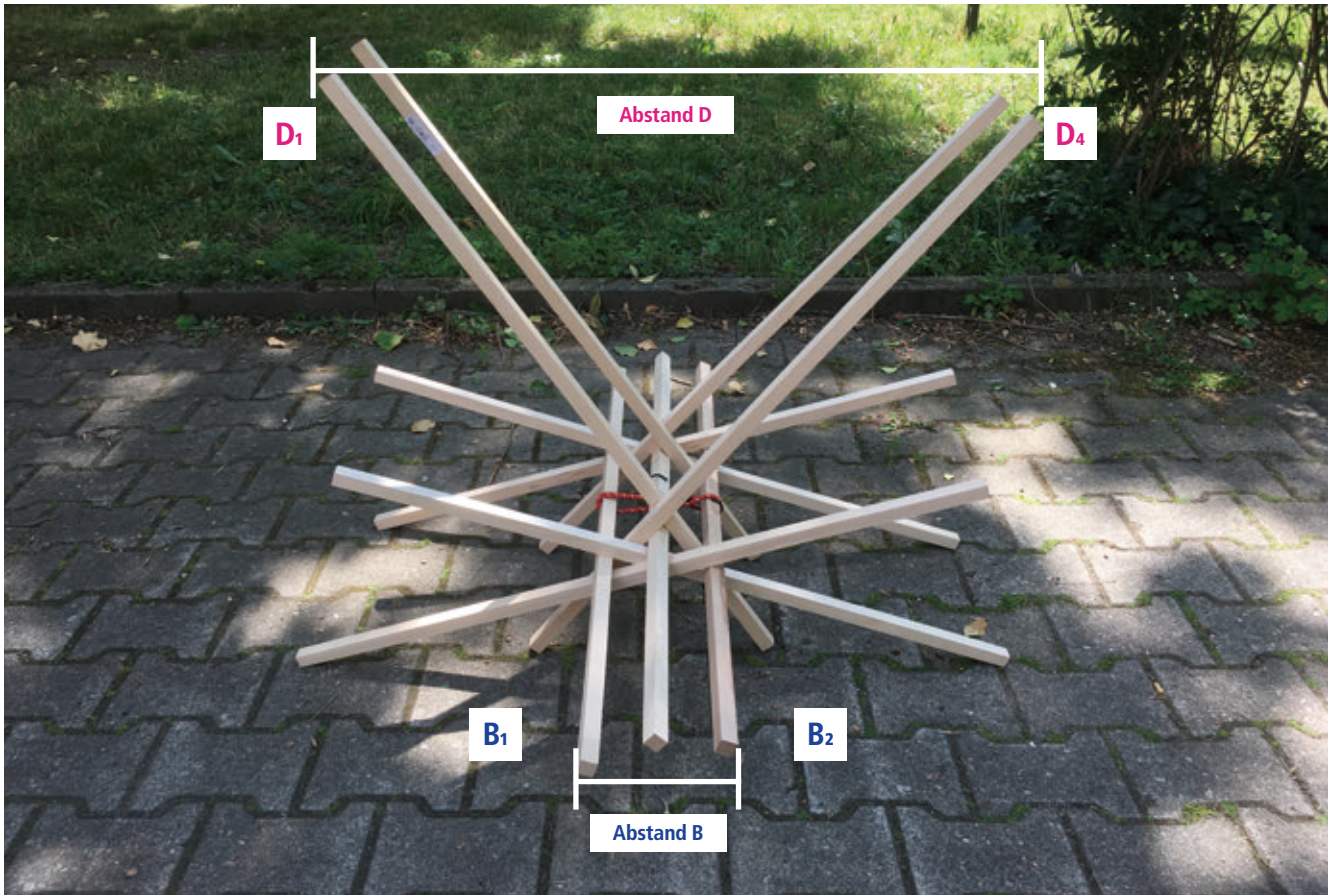
2

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

#### **Mittelpunkt: Stab C**

In diesem Experiment wurde die Größe von Stab C als Variable zum Experiment hinzugefügt. Nach dem Versuch wurde festgestellt, dass die Änderung der Größe von Stab C keinen großen Einfluss auf die Stabilität und Festigkeit der gesamten Struktur hat, sondern einen direkten Einfluss auf die aus Stab D zusammengesetzte Struktur. Da die Funktion von Stab C in der Gesamtstruktur darin besteht, Kraft zu leiten, hat die Änderung der Form und Größe von Stab C relativ wenig Einfluss auf die Gesamtstruktur.





1

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

### Abstände zwischen die Stäbe

Der Abstand B bestimmt überhaupt die Struktur in der Mitte. Abstand B beeinflusst direkt den Abstand D. Abstand B bestimmt auch die Höhe und Breite der Konstruktion.

Wenn der Gurt zwischen Stab B festgezogen wird, wird Abstand B kleiner und die Höhe von Stab C (die Höhe der Da Vinci Brücke) wird höher und die Gesamtstruktur wird höher. Abstand D (die Länge der Konstruktion) wird entsprechend schrumpfen, und umgekehrt.

Dies kann bestätigen, dass bei der Konstruktionsoptimierung ein geeigneter Abstand B-Wert gefunden werden muss.

1

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Der Abstand zwischen Stäbe B wird als Variable geändert.

Abstand B: 180mm  
Konstruktion Höhe: 820mm



2

Stäbe: 20mm\*20mm\*1000mm

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Der Abstand zwischen Stäbe B wird als Variable geändert.

Abstand B: 250mm  
Konstruktion Höhe: 720mm



3

Stäbe: 30mm\*30mm\* 1000mm

### **Intensität(Querprofil) der Stäbe**

Je dünner der Stab ist, desto flexibler, aber zerbrechlicher. Der dickere Stab kann mehr Festigkeit liefern, aber die Elastizität wird geschwächt. Die gesamte Konstruktion gehört wie die Da Vinci Brücke zu Statisches überstimmtes System, daher wird der elastische Holzstab verwendet, der dazu beiträgt, die Zähigkeit der Konstruktion zu verbessern und die augenblicklichen Spannungsschäden am Material selbst zu absorbieren.

21

3

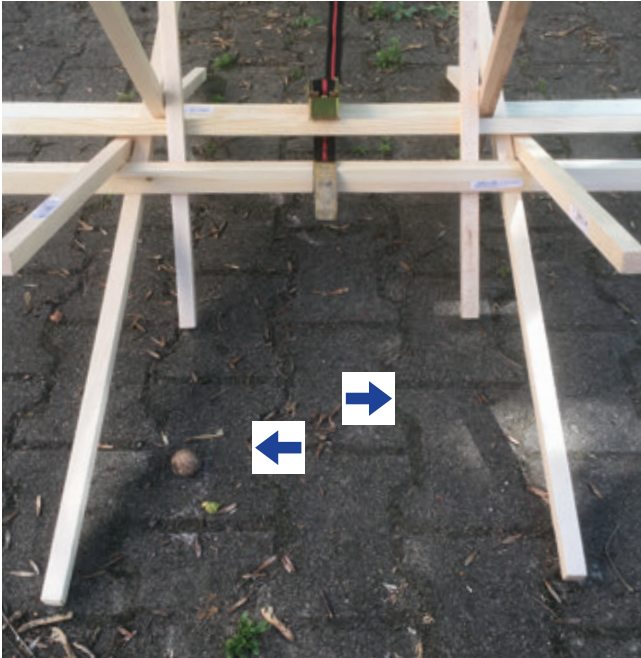
Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe  
Die Größe von Stab C wird als Variable  
geändert.

Konstruktion Höhe: 730mm



# Konstruktion Optimierungen

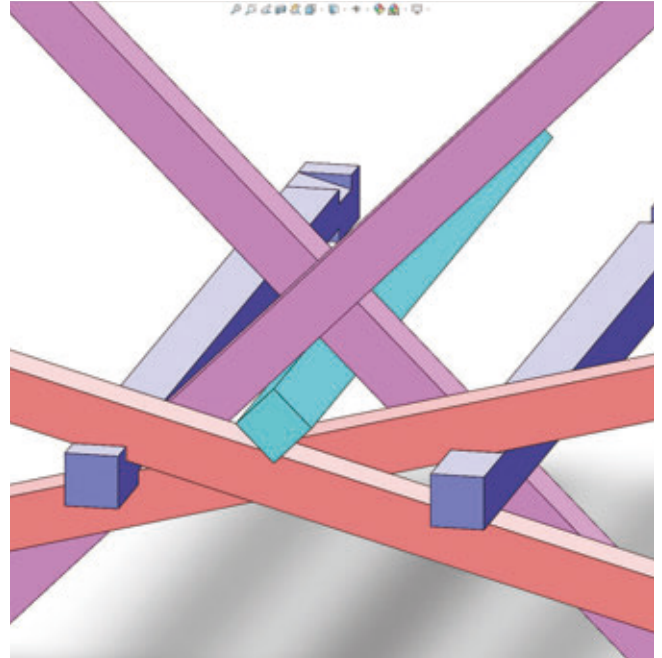
## Positionierung der Stäbe



1

### Positionierung der Stäbe

Nach den bisherigen Testergebnissen hat die Strukturoptimierung begonnen. Es geht hauptsächlich um die Optimierung von Stäbe. Da die Konstruktion zuvor einfach übereinander gelegt wurde, gibt es keinen Formschluss zwischen den Stabs, um die Position und den Winkel der Kombination festzulegen, und bewegt es sich hin und her. Durch das derzeitige optimale Strukturmodell werden einige strukturelle Details gemessen, beispielsweise der Abstand zwischen Stab B, der Öffnungswinkel von Stab A und der Öffnungswinkel von Stab D und die Position jedes Stabes. Diese Daten wurden in eine digitale 3D-Modellierungssoftware eingegeben, und nach einer Anpas-



2

sungen wurde ein relativ vernünftiges Formschluss Ergebnis erzielt. Nach den Ergebnissen des digitalen Formschlusses wurde die optimierte Konstruktion prototypisch hergestellt. Um die Menge an Stab zu minimieren, die verarbeitet werden muss, werden alle erforderlichen Formschluss auf Stab B gelegt.

1

Prototype zum Versuchen aus Holzstäbe von seitlichen Sicht

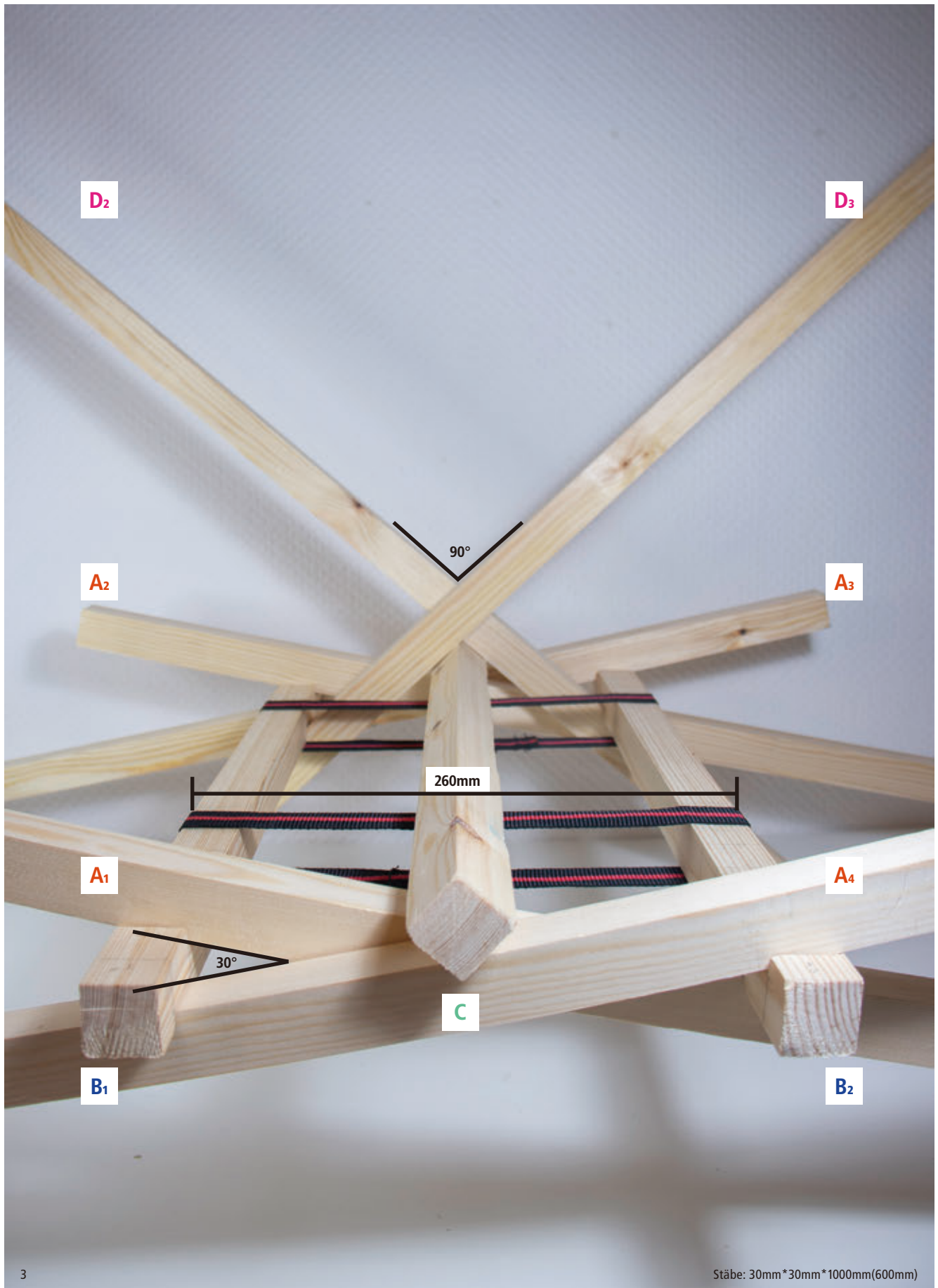
2

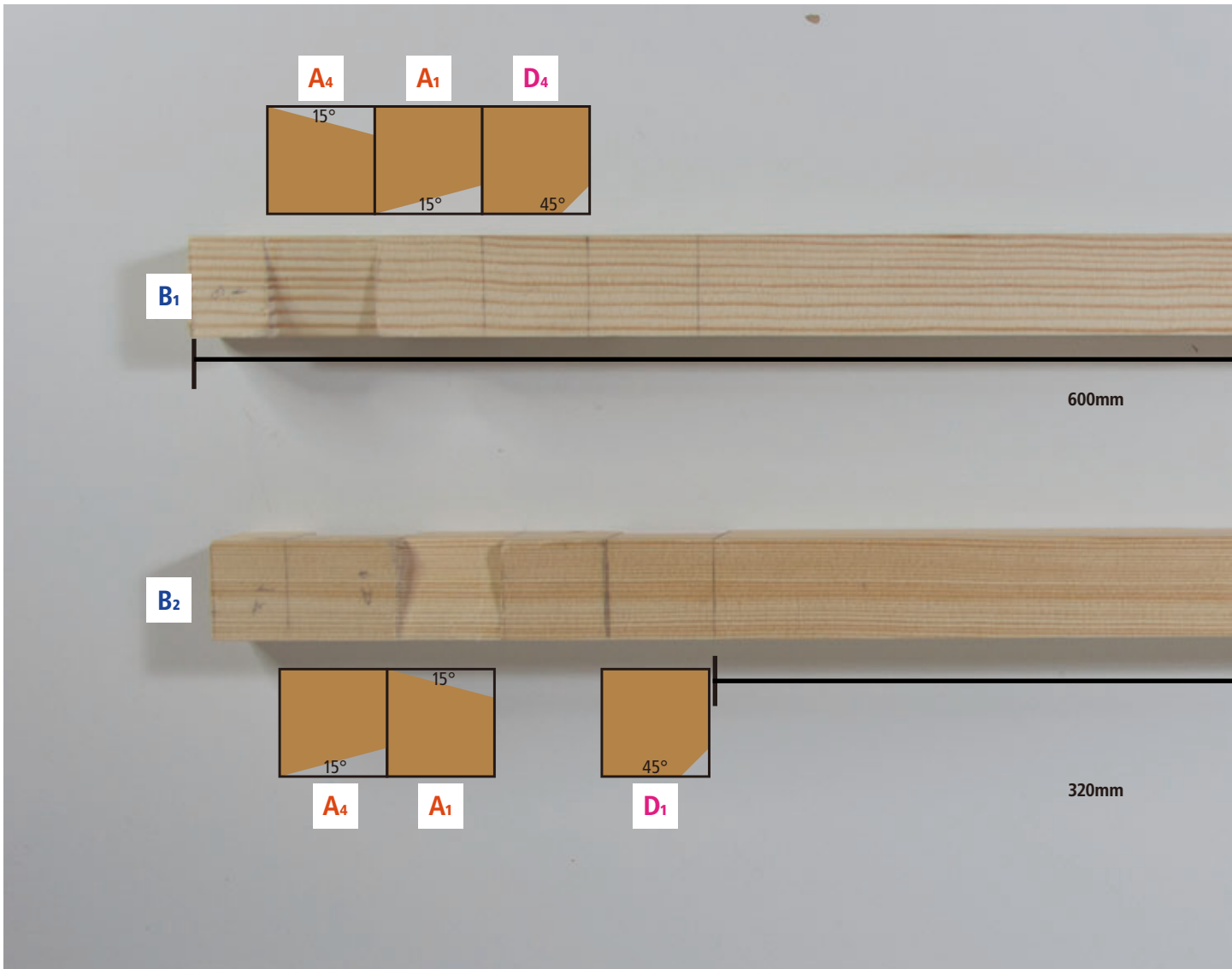
Formschluss Test&Optimierung in 3D Modellierungssoftware

3

Formschluss Optimierung Ergebnisse







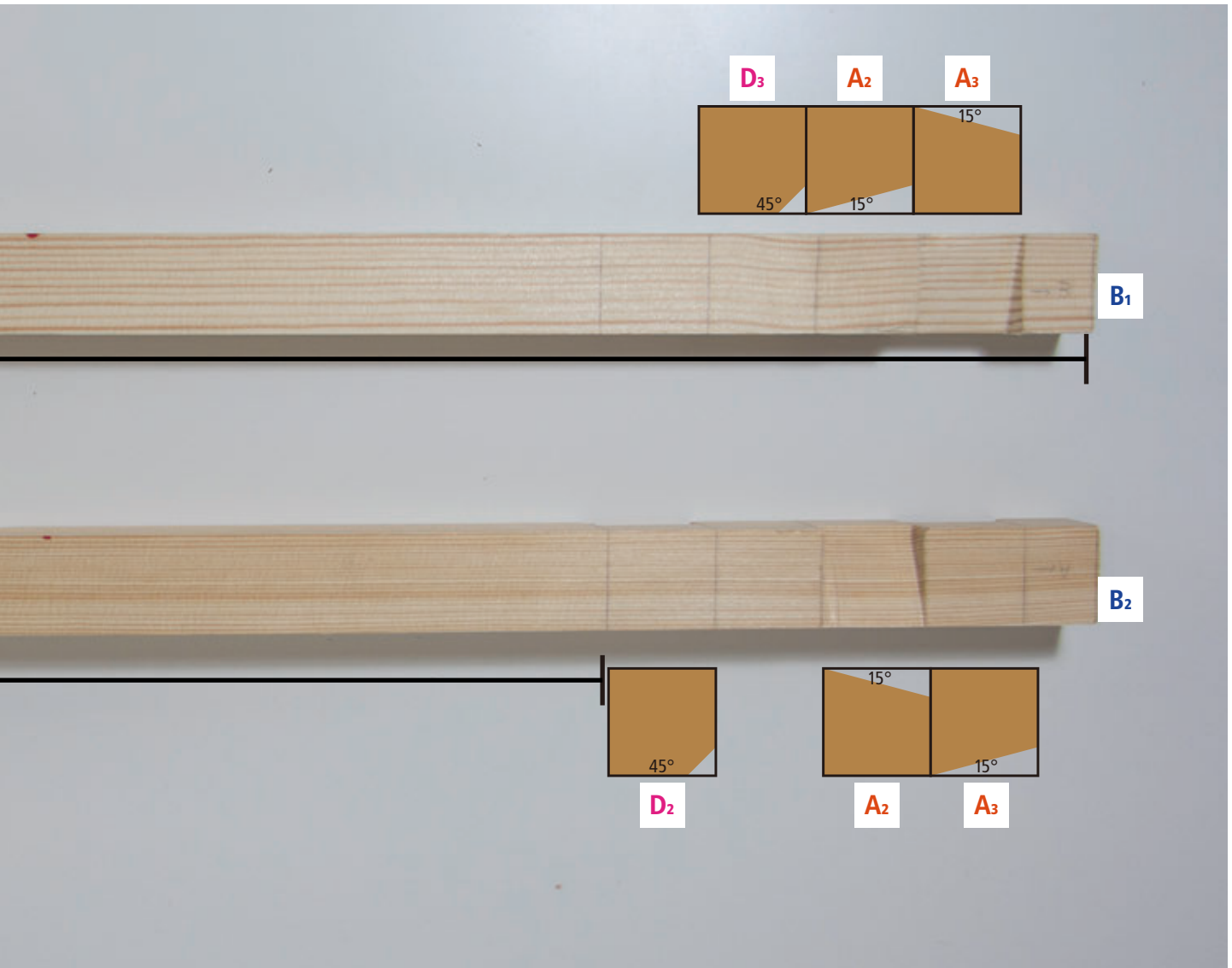
1

### Multifunktionsstäbe

Stab B integriert mehrere Konstruktionsfunktionen. Stab B bestimmt die Größe der Konstruktion, einschließlich der Höhe, Breite und Tiefe der Konstruktion. Der Abstand zwischen Stab B bestimmt den Öffnungswinkel von Stab D. Stab B bietet auch Formschluss für andere Stäbe. Stab B ist auch der Spannungspunkt im strukturellen Teil der Da Vinci Brücke. Stab B, der mehrere Funktionen integriert, reduziert die Verarbeitungskosten der gesamten Struktur.

1

Schematische Darstellung über den Formschluss auf Stab B1 und B2



Stäbe: 30mm\*30mm\*6000mm

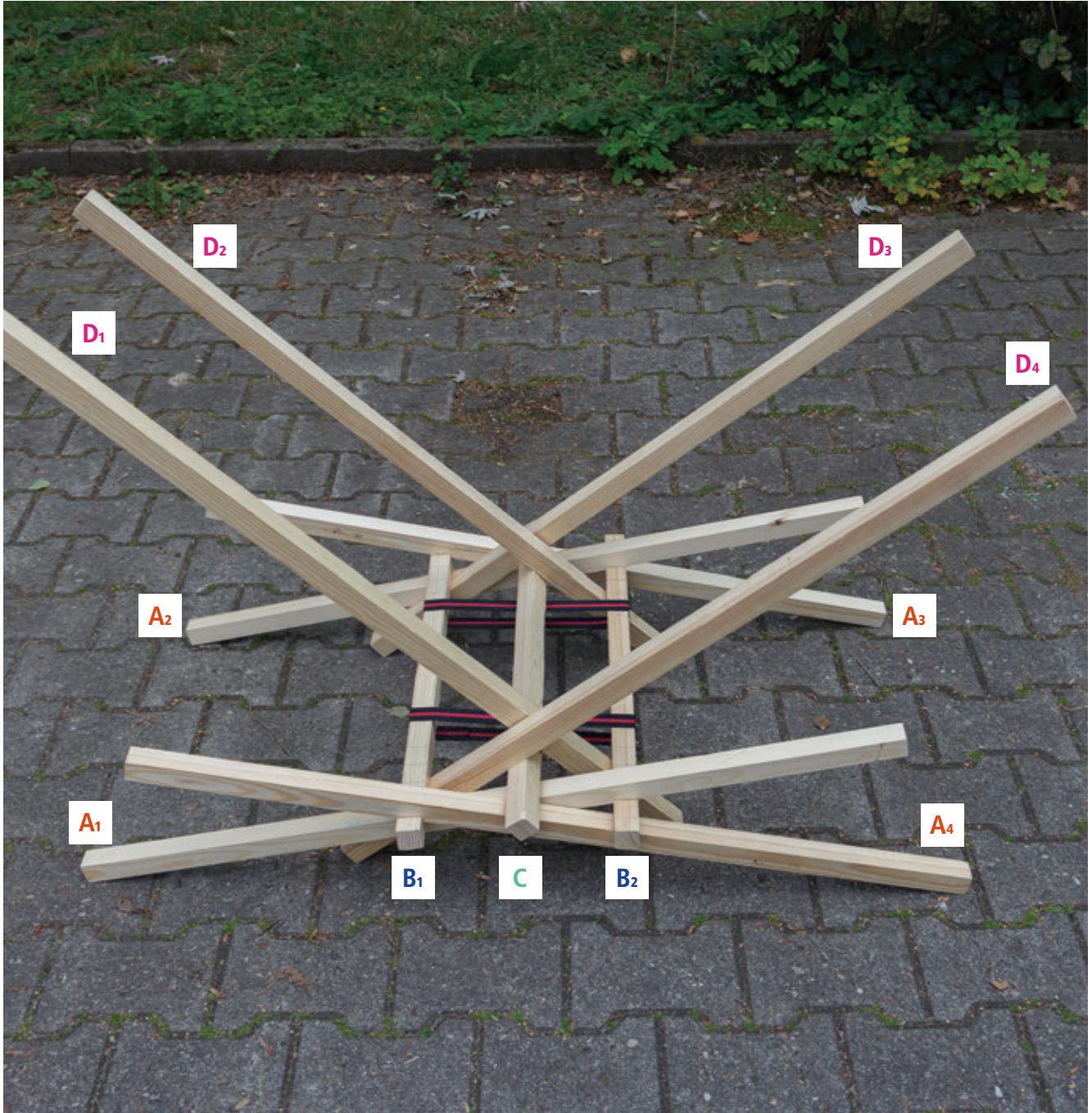
## Konstruktion Optimierungen

Endgültiges Konstruktionsergebnis



1  
Endgültiges Optimierungsmodell  
Details zur Kernstruktur





2

Endgültiges Optimierungsmodell  
bereit für Anwendung

Konstruktion  
Höhe: 730mm  
Tiefe: 600mm  
Breite: 1250mm

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm(600mm)

QR Code zum Video des Aufbaus  
digitaler Anschauer auf den Code klicken





## Konstruktion Optimierungen

Anwendungspotenziale



1  
Diese Konstruktion kann als Tisch verwendet werden. Die Höhe des Tisches kann je nach Verwendungsszenario angepasst werden.

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm(600mm)





29

2

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm(600mm)





1  
Diese Konstruktion kann als Lounge chair verwendet werden, wenn nur eine Seite von Stab D eingesetzt wird.



2





3

Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm(600mm)

QR Code zum Video der Loungchair Anwendung  
digitaler Anschauer auf den Code klicken







1

1

Rendering über Anwendung

Diese Konstruktion kann als Einsetzsystem für Ausstellungen oder Museum verwendet werden, wenn nur eine längere Struktur aufgebaut wird.



Stäbe: 30mm\*30mm\*1000mm(600mm) im Blender

## Quellenangabe

cover: Yuhang Ke;  
S1 1: Leonardo da Vinci;  
S1 2: favpng.com  
S1 3; S2 1: Blake Hakimian;  
S2 2,3,4: Yuhang Ke;  
S3 5: Jahobr auf Wikipedia;  
S3 6: Harbin Institute of Technology;  
S4 1,2: Yuhang Ke;  
S4 3: Xingyu Zhang;  
S5 4; S6 1,2,3,4,5,6; S7 7,8,9,10,11,12; S8 1; S9 2; S10 1; S11 2,3; S12 1; S13 2; S14 1; S15 2;  
S16 1; S17 2; S18 1; S19 2; S20 1,2; S 21 3; S22 1,2; S23 3; S24 1; S26 1; S27 2; S28 1; S29  
2; S30 1,2; S31 3; S32, 1: Yuhang Ke;

## Danke

Prof. Holger Neumann  
WM Steffen Herm

## Dokumentation

Staffellauf nach Da Vinci  
Forschungsprojekt über die Konstruktion  
ohne Schraube im Möbelbau  
inspiriert von Da Vinci Brücke

Ke, Yuhang  
Produkt Design  
MA, Anpassungsstudium

Hauptseminar Technologie  
Sommersemester 2020  
Design Fakultät, UdK, Berlin



**-Danke! Leonardo da Vinci-**