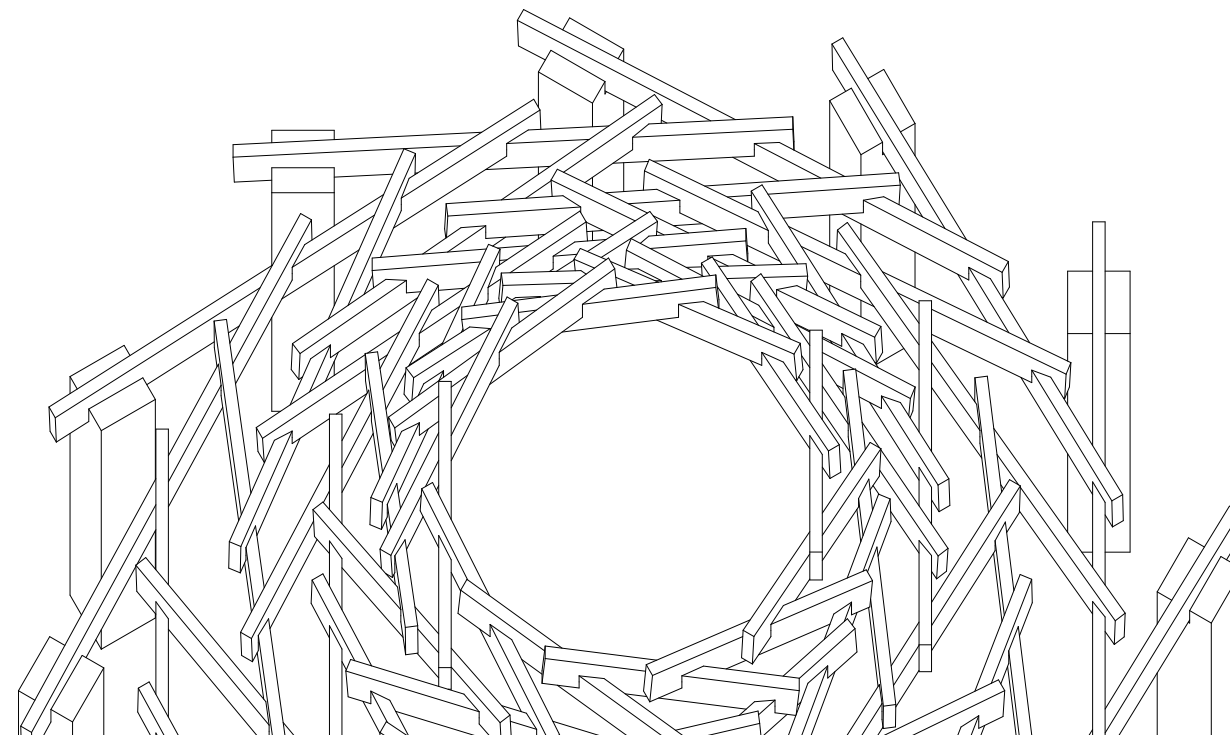


hebelwerke ϕ teufen

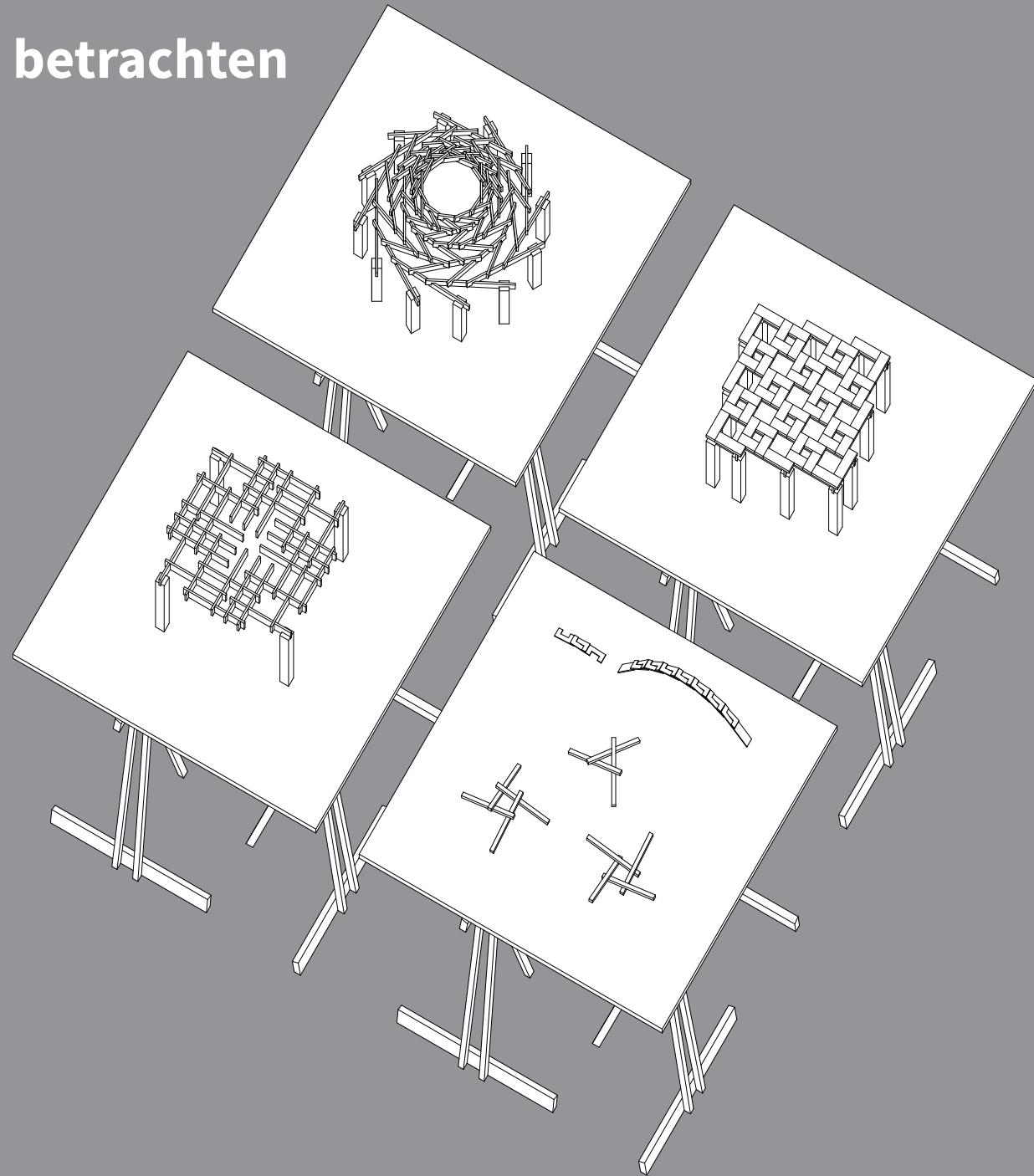


hebelwerke  **teufen**
vito bertin



hebelwerke zum betrachten und spielen
zwischenstellung im zeughaus teufen
21.09.-05.10.2014

betrachten



vier tische

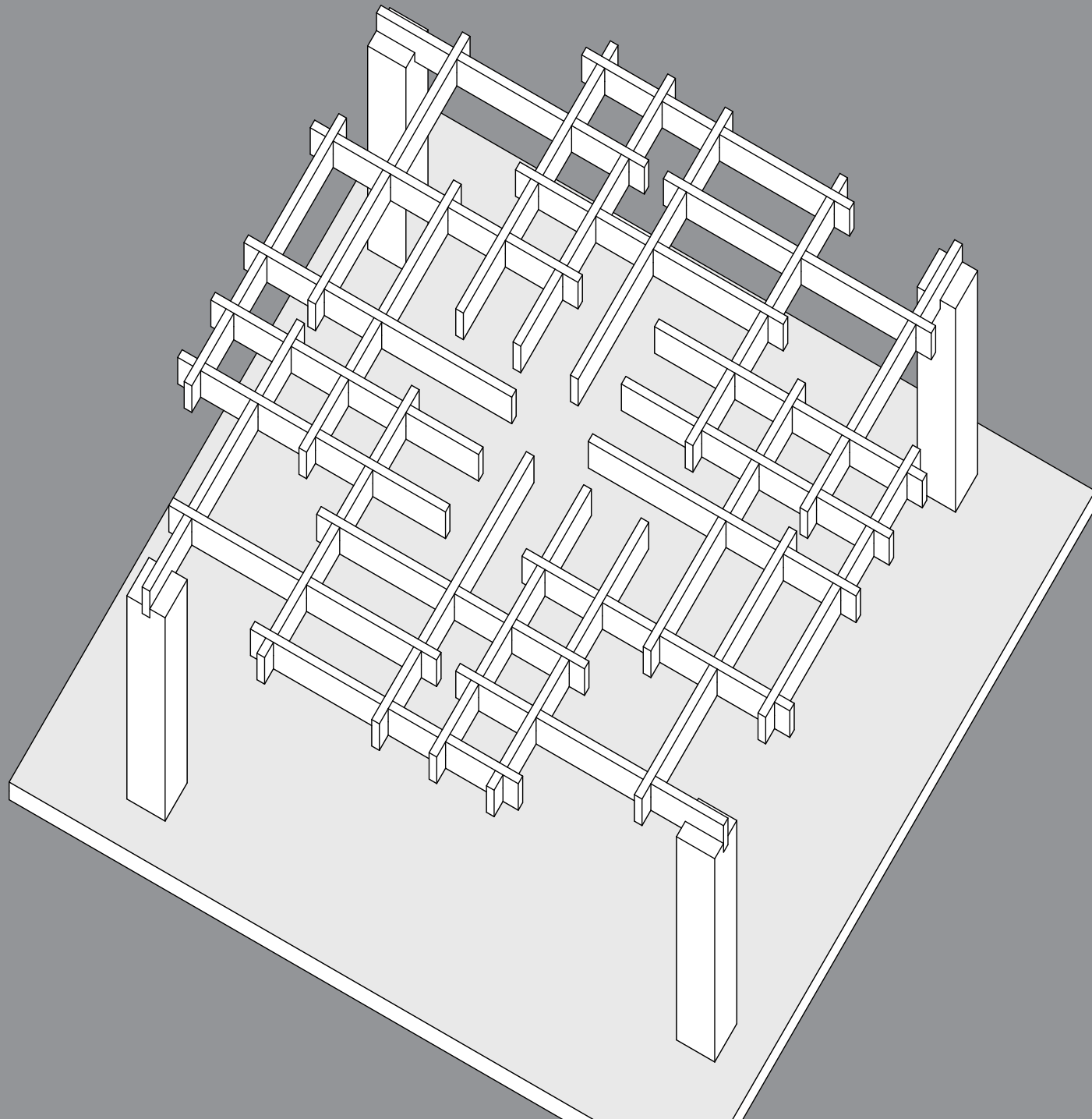
Es gibt verschiedene Arten von Tragwerken, die sich durch die ihnen zugrunde liegenden Prinzipien unterscheiden. Alle Tragwerke auf den Tischen sind sogenannte Hebelwerke. Sie basieren auf drei Grundprinzipien: Die Elemente wirken als Hebel, zudem tragen sie sich gegenseitig und schliesslich sind sie selbst-verbindend. Solche Tragwerke sind in verschiedenen Kulturen schon seit Jahrhunderten bekannt. So zeigt eine chinesische Bildrolle¹ aus dem 12. Jahrhundert eine sogenannte Regenbogen-Brücke. Und in Italien hat Leonardo da Vinci Ende des 15. Jahrhunderts verschiedene Zeichnungen² von Hebelwerken gemacht. Doch schon im Skizzenbuch des Villard de Honnecourt vom Anfang des 13. Jahrhunderts findet sich eine Skizze³ eines solchen Tragwerkes. Historische Anwendungen sind schwierig zu finden, da diese vermutlich zwischen Boden und Decke versteckt sind. In letzter Zeit nahm das Interesse an Hebelwerken wieder zu und damit auch die Anwendungen, wenn auch nicht immer in reiner Form.

minimal gestützt Das Hebelwerk auf Tisch 1 ist eine mögliche Antwort auf die Frage⁴, ob die Anzahl nötiger Stützen an der Peripherie von Hebelwerken reduziert werden kann. Dabei entwickelt sich ein bekanntes Muster zu einer neuen Form.

gegenläufig rotierend Das Hebelwerk auf Tisch 2 kombiniert mehrere Hebelwerke, die aufeinander geschichtet sind, in gegenläufigen Richtungen rotieren und eine Kuppel bilden.

gestärkter querschnitt Im Hebelwerk auf Tisch 3 wird der Querschnitt der Elemente so differenziert, dass die Struktur gestärkt wird, um die Durchbiegung zu verringern.

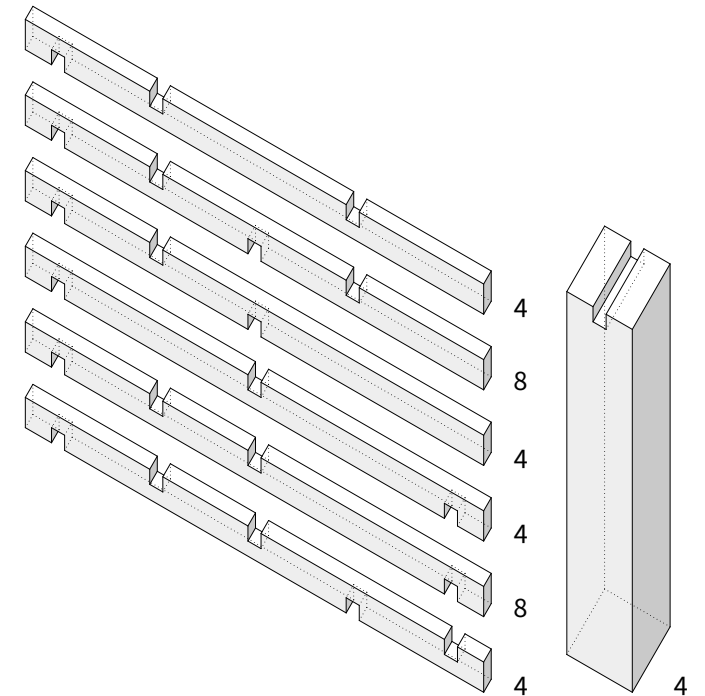
eine frage der einheit Die vorderen zwei Modelle auf Tisch 4 demonstrieren die Eigenschaft der Umkehrung. Gewisse Hebelwerke können umgekehrt werden sodass sie entweder spannen oder auskragen. Die mittleren zwei Modelle beziehen sich auf die Frage der Minimalen Einheit, die eine überraschende Antwort hat. Das hintere Modell zeigt eine Brücke, gebildet aus einer der möglichen Formen von zwei-Element Einheiten.

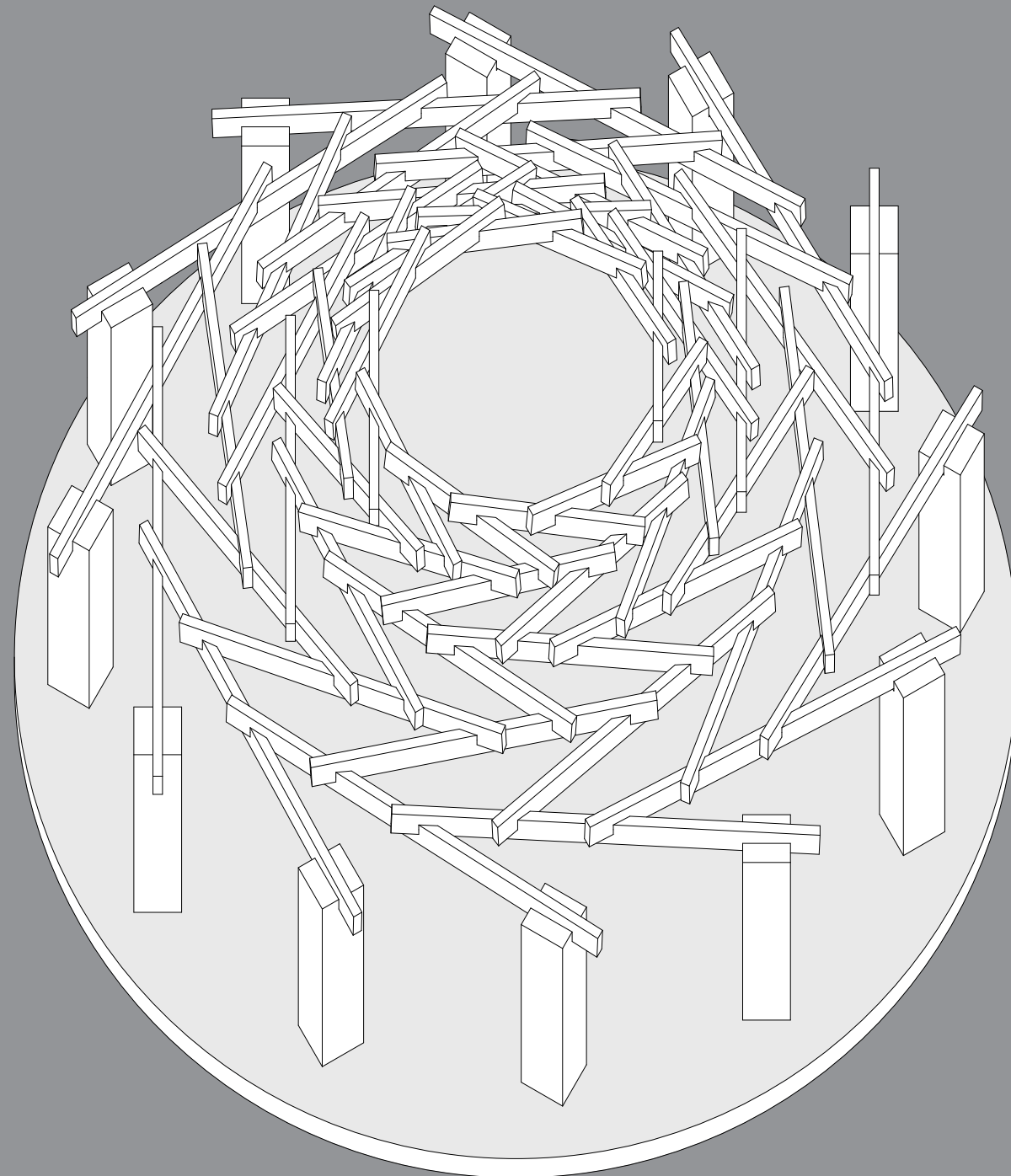


minimal gestützt

Hebelwerke, die spannen sind an der Peripherie unvollständig. Dort müssen die Kräfte auf stützende Elemente weitergeleitet werden. Ist die Peripherie ausgedehnt, braucht es viele solcher Stützen. Diese Zahl kann verringert werden, indem Elemente eingefügt werden, die freie Stäbe in das Hebelwerk einbinden. Das zu Grunde liegende Muster und damit das Tragverhalten verändern sich dabei. In diesem Beispiel kann das Zentrum freigemacht werden, sodass die peripheren Elemente ins Zentrum hinein auskragen.

Die Elemente in diesem Hebelwerk sind gerade Stäbe mit rechteckigem Querschnitt und Einkerbungen oben und unten. Verglichen mit einem geraden Stab, ist der Längsschnitt modifiziert. Da die Einkerbungen von beiden Seiten in einer Ebene liegen, wird das Hebelwerk flach. Damit es zur Wirkung kommt, muss es an vier Punkten gehoben und unterstützt werden.

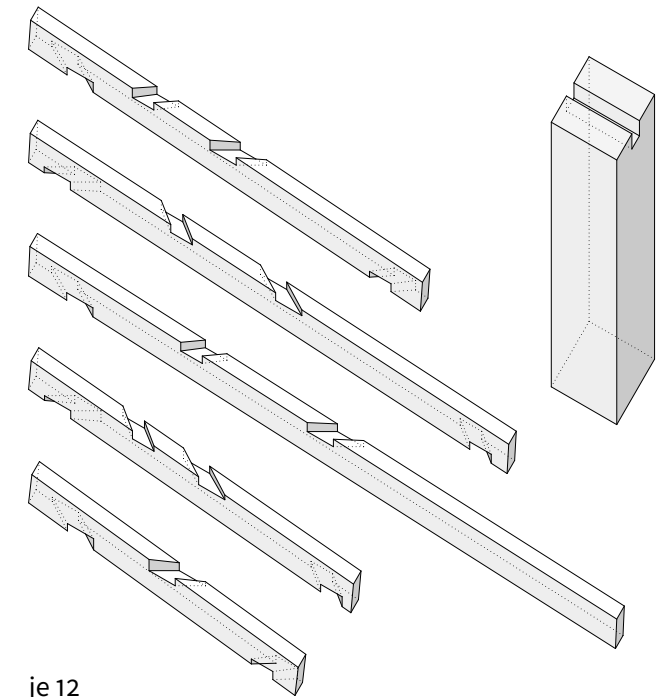




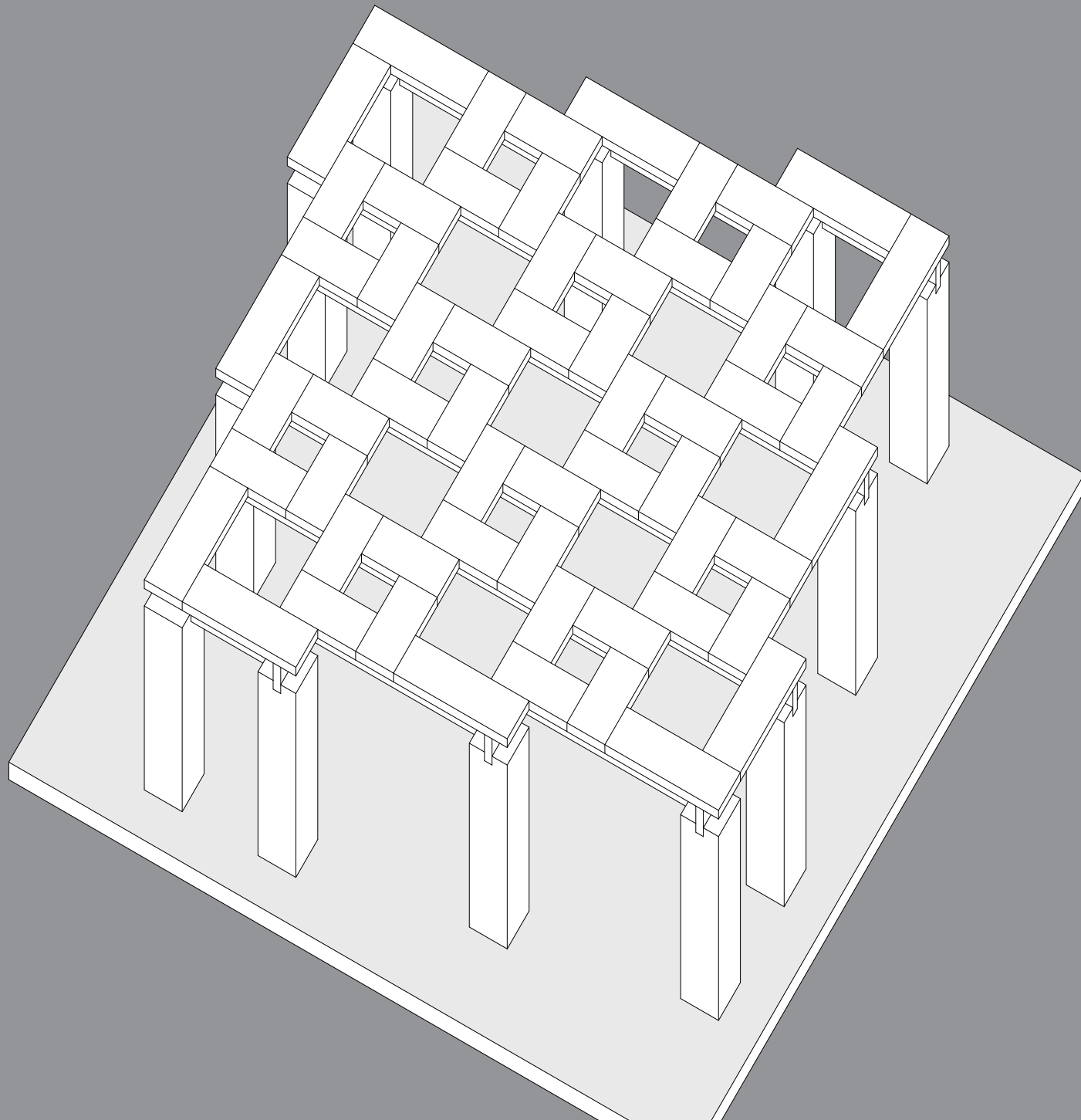
gegenläufig rotierend

In Einheiten mit vielen Elementen wird die Rotations-Symmetrie deutlich sichtbar. Solche Einheiten haben ein beträchtliches Loch im Zentrum. In diesem Beispiel wird eine Art Kuppel gebildet indem mehrere 12-teilige Einheiten mit zunehmend kürzeren Elementen aufeinander geschichtet werden. So entsteht eine hierarchische Struktur von Ring zu Ring und zu Stütze und Grundplatte. Innerhalb der Ringe ist die Beziehung zwischen den Elementen, da es sich um Hebelwerke handelt, nicht hierarchisch sondern gegenseitig. Jeder Stab trägt einen anderen Stab und wird von einem dritten getragen.

Die Elemente in den Hebelwerken der Ringe sind ebenfalls gerade Stäbe mit rechteckigem Querschnitt und Einkerbungen oben und unten. Da die Einkerbungen nicht in einer Ebene liegen, wölbt sich die Struktur, aber etwas weniger, als mit geraden Stäben. Die Einkerbungen verhindern das Verrutschen der Elemente und machen bei genügender Präzision die Struktur stabiler.



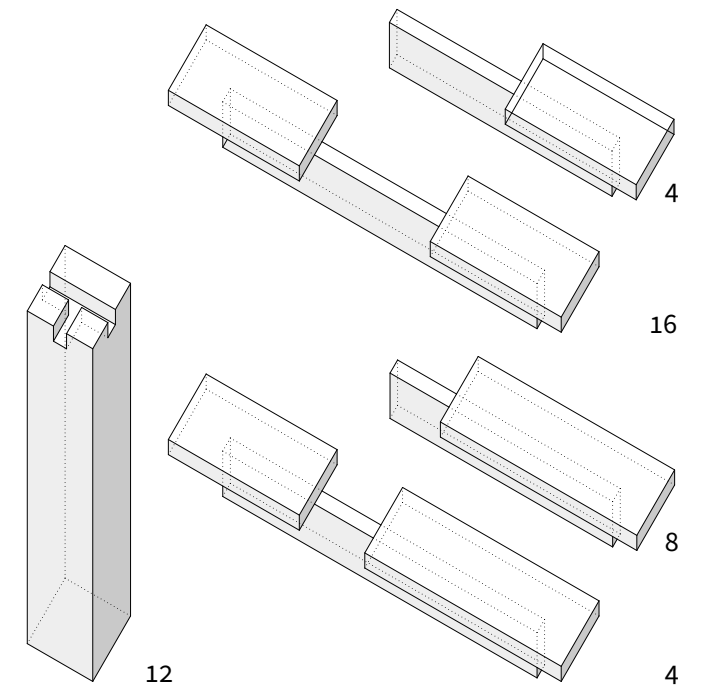
je 12

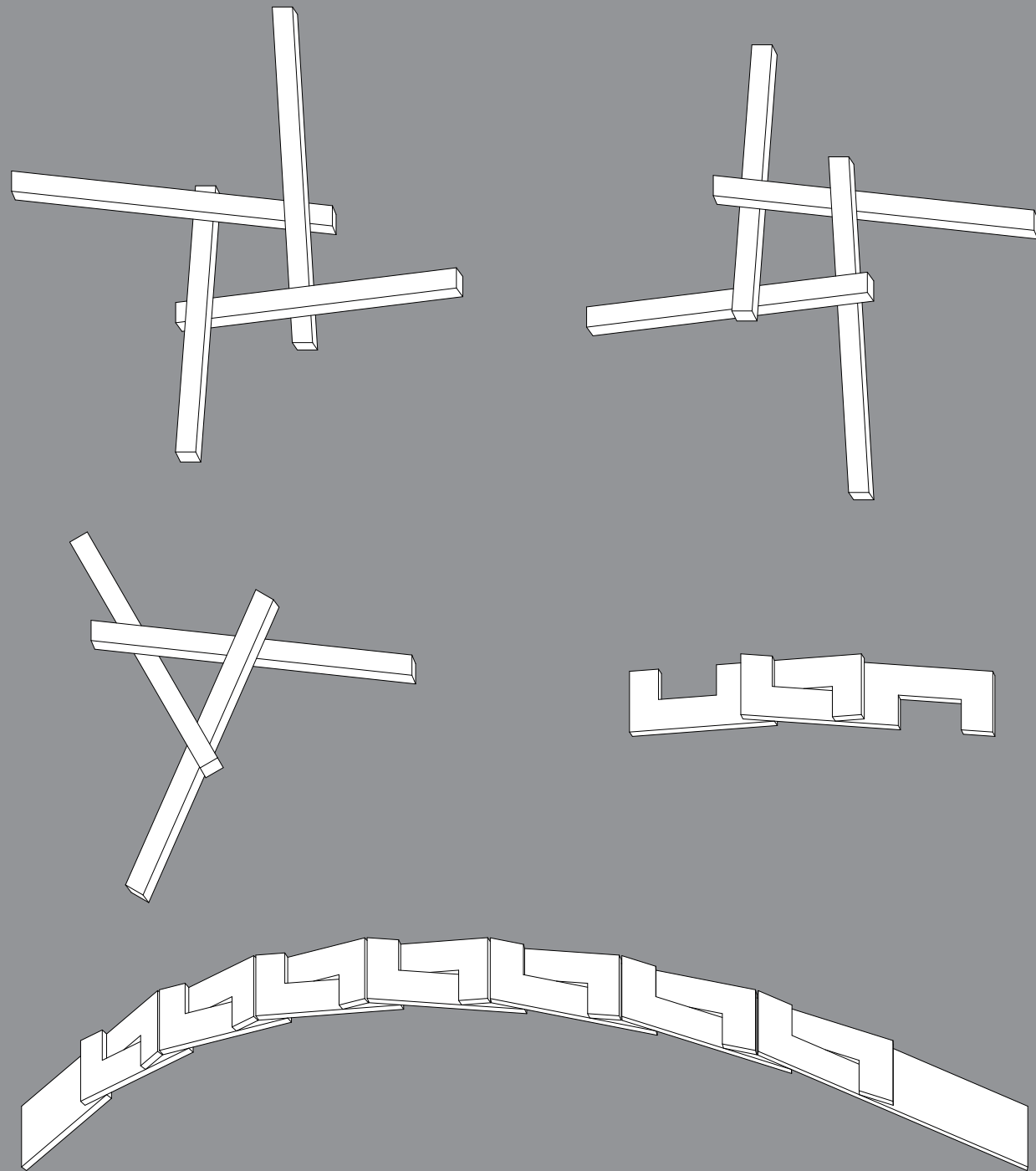


gestärkter querschnitt

Die Elemente in Hebelwerken sind auf Biegung beansprucht. Dies ist statisch ungünstig und führt oft zu sich durchbiegenden Elementen und Strukturen. Dem Durchbiegen kann entgegengewirkt werden, indem der Querschnitt der Elemente verändert wird. Hier wird das Element im Bereich der Zugkräfte erhöht, um die statische Höhe zu verbessern, und im Bereich der Druckkräfte verbreitert, um die Querschnitts-Fläche zu vergrößern.

Durch die Veränderung des Längs- und Querschnittes bekommen die Elemente eine komplexere Form und verlieren ihren Stab-Charakter. In diesem Hebelwerk beginnt sich zudem eine Fläche zu formen. Das Verhältnis von geschlossener Fläche zu offenen Löchern ist 8 zu 5.





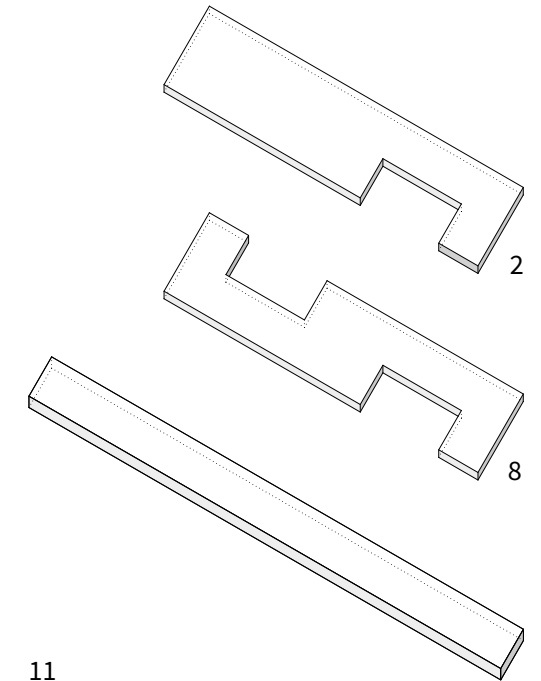
die einheit

In jedem Hebelwerk können Einheiten identifiziert werden, welche kleinste Substrukturen formen, die ein Hebelwerk bilden. Diese haben immer eine Rotations-Symmetrie bei gleichförmigen Elementen und Winkeln.

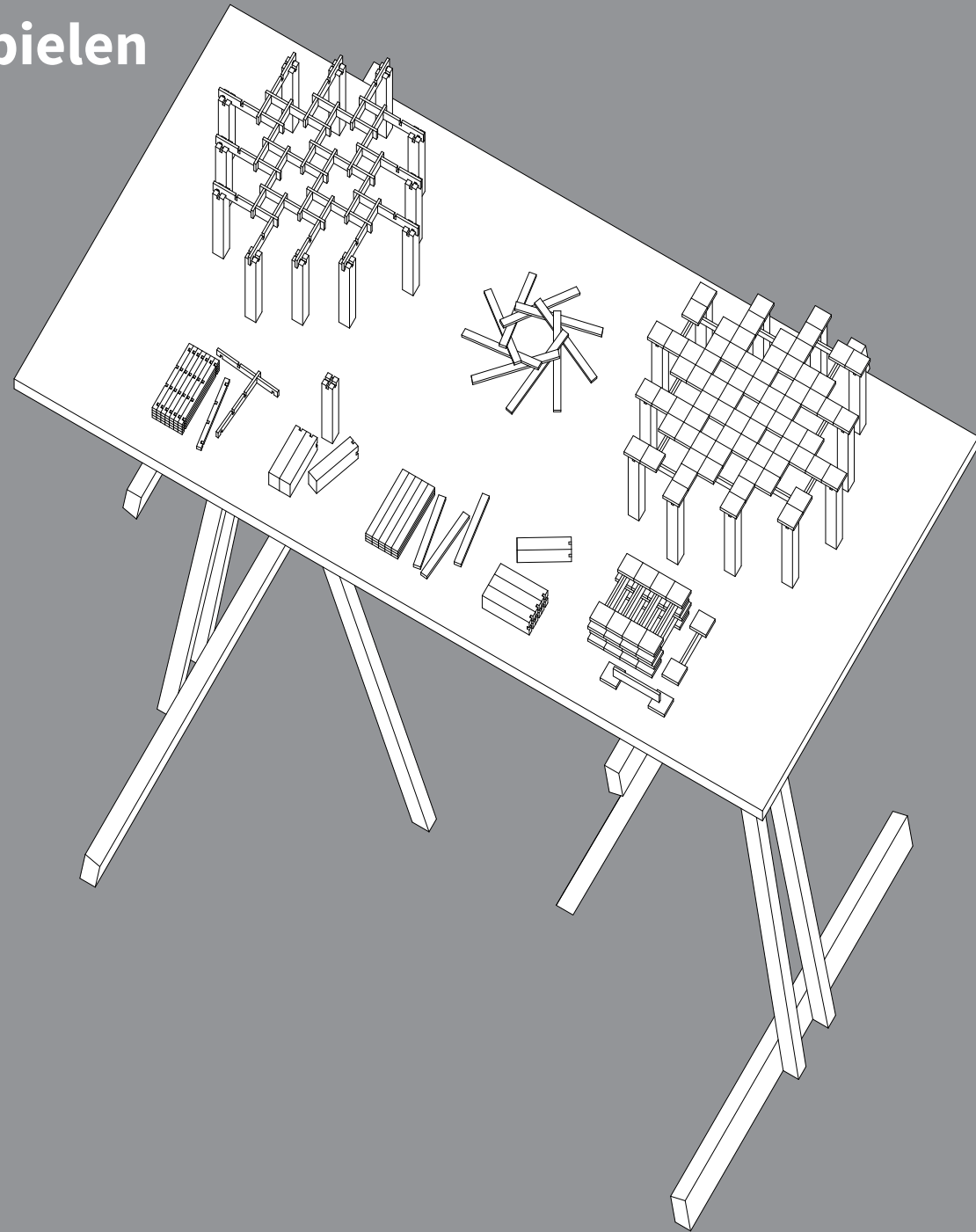
kragend oder spannend Eine der Eigenschaften gewisser Formen von Hebelwerken ist ihre Umkehrbarkeit. In der einen Orientierung kragen die Elemente aus, in der anderen spannen sie. In einer Einheit, kann man das nicht nur durch Umkehren erreichen, sondern auch durch das Verschieben der Elemente, was auch Zwischenstadien Konfigurationsvarianten erzeugt.

minimale anzahl elemente Die Frage nach der kleinsten Einheit bezüglich der beteiligten Elemente hat eine überraschende Antwort. Sind die Elemente gerade, braucht man zwar mindestens drei, verändert man aber den Grundriss der Elemente, können Einheiten aus nur zwei Elementen gebildet werden.

überbrücken Diese Brücke besteht aus solchen Zweier-Einheiten, die eine sich wölbende lineare Struktur formen. Dies demonstriert auch klar die drei Grundprinzipien: die Hebelwirkung der Kräfte, die Gegenseitigkeit des Tragens und die Selbstverbindung zur Struktur. Ausserdem kann man sehen, dass die Spannweite der Struktur ein Mehrfaches derjenigen der Elemente ist.



spielen



drei sets

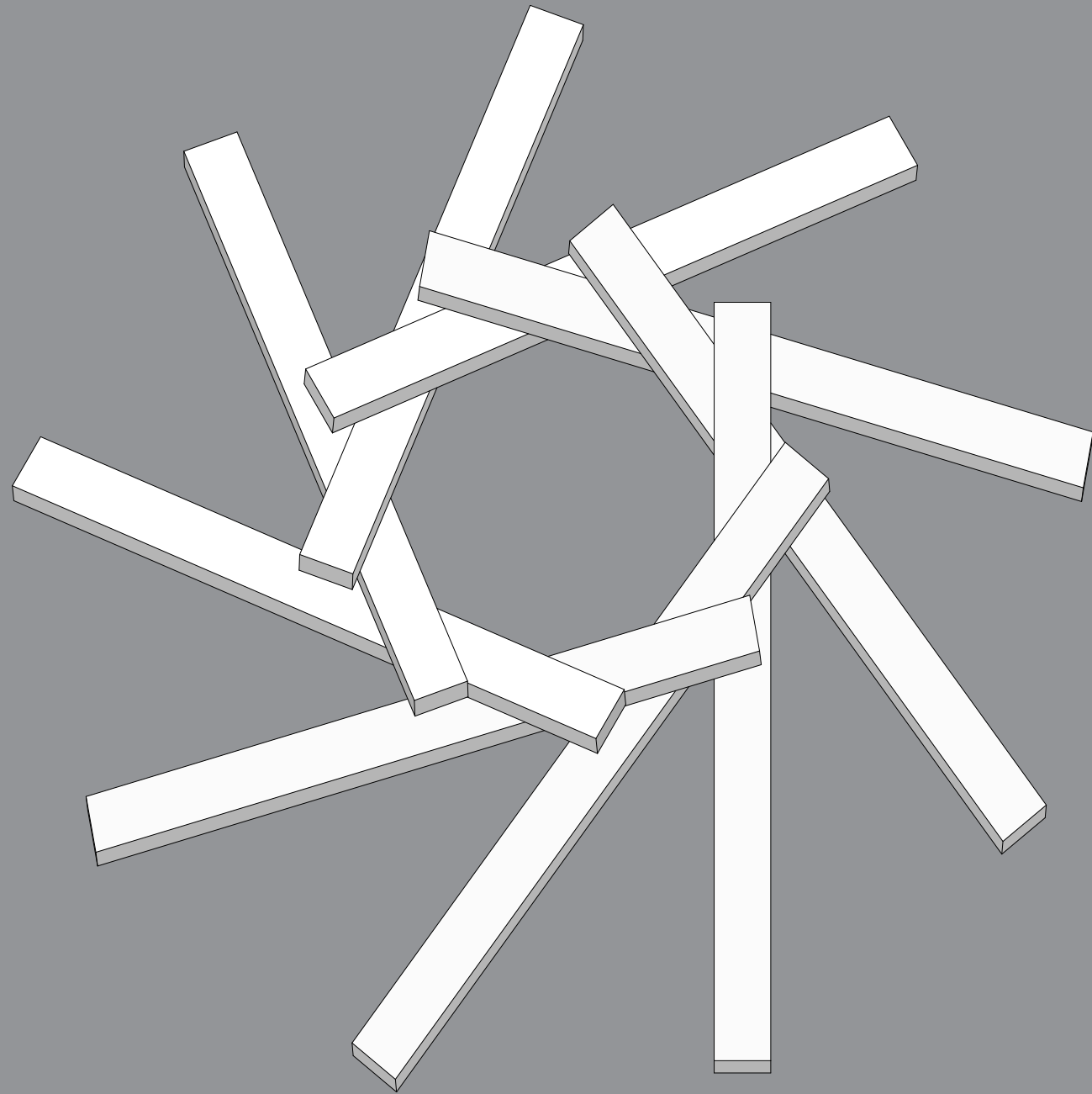
Die drei Sets, die zum Spielen einladen, unterscheiden sich im Elementtyp und erlauben das konstruieren von verschiedenen Formen von Hebelwerken. Jeder Typ hat unterschiedliche Eigenschaften und ist eine Variation der Elemente in den ausgestellten drei Hebelwerken.

gerade In dieser Grösse sind flache Elemente genügend stark. Sie haben den Vorteil gegenüber runden und quadratischen Querschnitten, dass sie besser aufliegen und weniger abrutschen. Eine aufgeraute Oberfläche wäre noch besser. Hebelwerke aus solchen Elementen wölben sich.

modifizierter längsschnitt Die Einschnitte stabilisieren die Elemente. Da die Einschnitte von oben und unten auf einer gemeinsame Ebene enden, wird das Hebelwerk flach. Trotz der Fixierung der Auflagepunkte sind verschiedene Konfigurationen möglich.

modifizierter querschnitt Die vergrösserte statische Höhe und Querschnittsfläche machen das Hebelwerk steifer. Die obere Lage wächst zu einer Fläche zusammen, die nur noch wenige Öffnungen enthält. Trotz der spezifischen Form sind immer noch verschiedene Konfigurationen möglich.

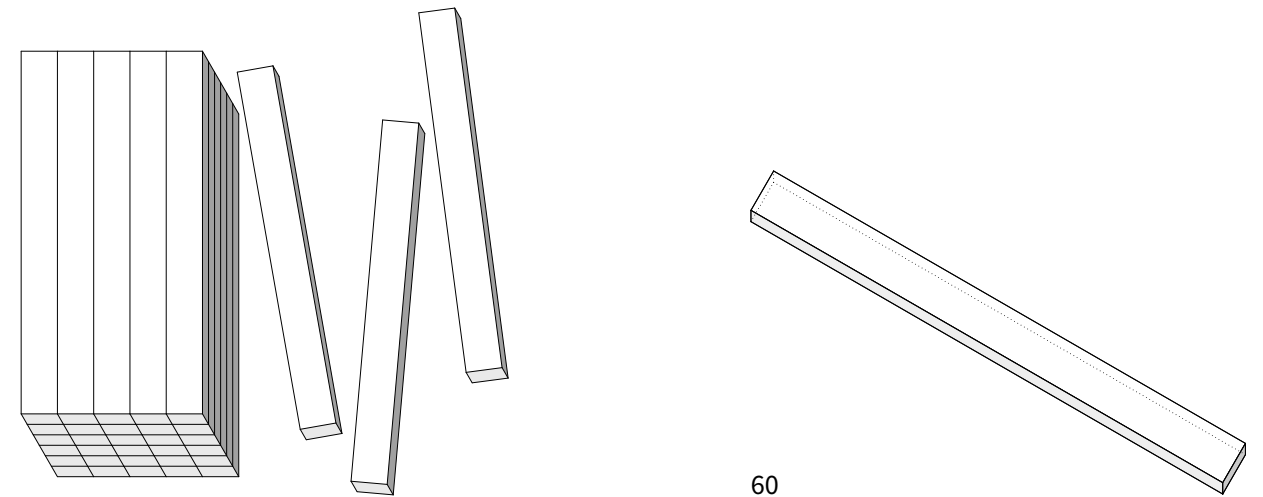
stützen Die Sets werden ergänzt durch ein Set von Stützen, die für das zweite und dritte Set gebraucht werden.

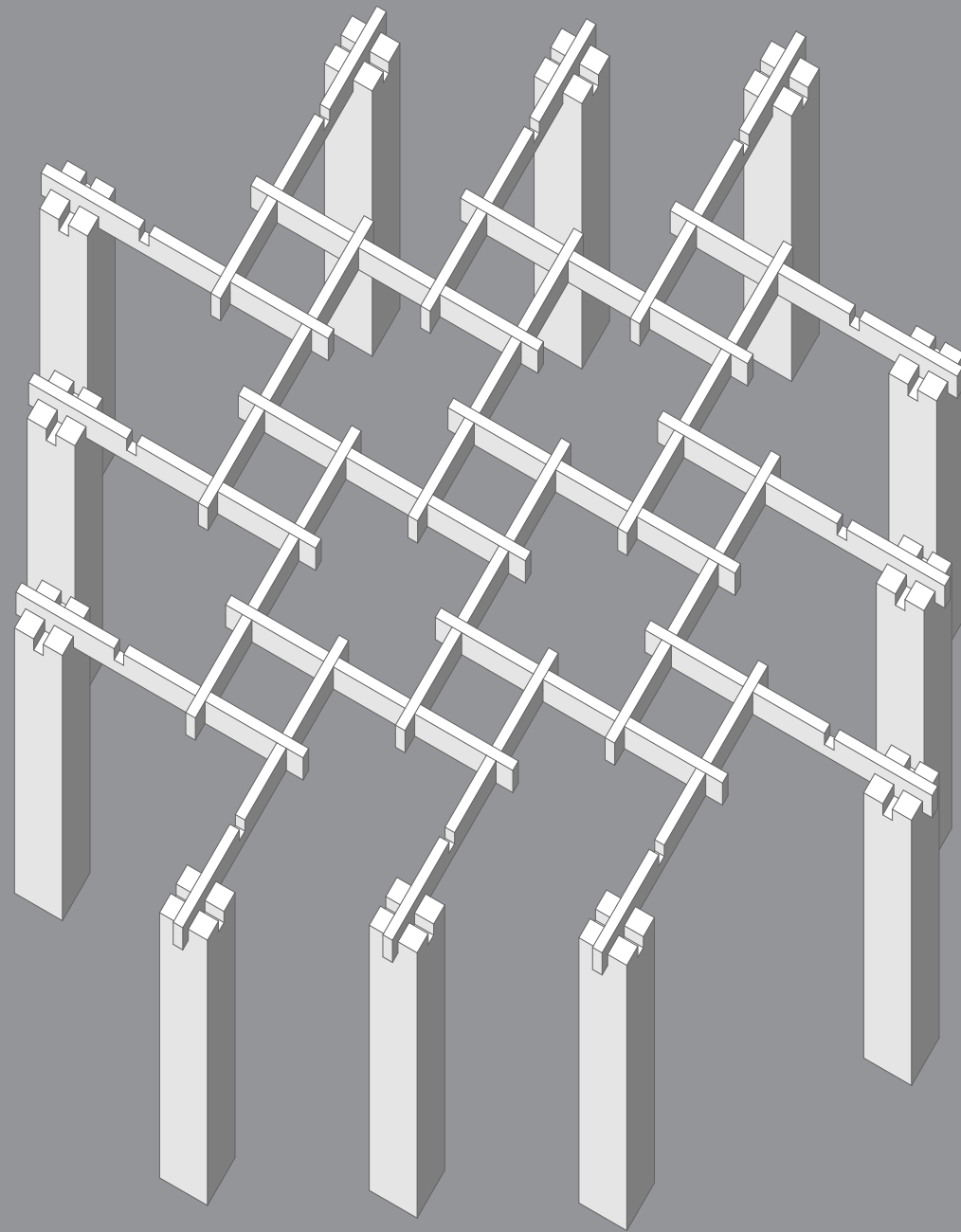


gerade stäbe

Ich habe meine Explorationen mit runden Bambusstäbchen begonnen. Die haben aber den Nachteil, dass sie leicht abrutschen. So musste ich sie irgendwie fixieren, was aber dem dritten Prinzip der Selbstverbindung zuwiderläuft. Quadratische Stäbchen sind besser unter diesem Aspekt, rechteckige noch geeigneter. Statisch wäre die grössere Dimension in der Höhe besser, aber da würden sich die Strukturen nicht nur zu stark wölben, sondern auch leicht umfallen. Ausserdem ist in dieser Grössenordnung die Durchbiegung eigentlich kein Problem.

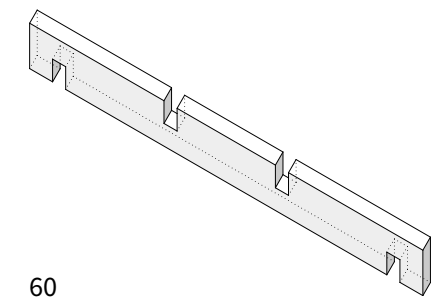
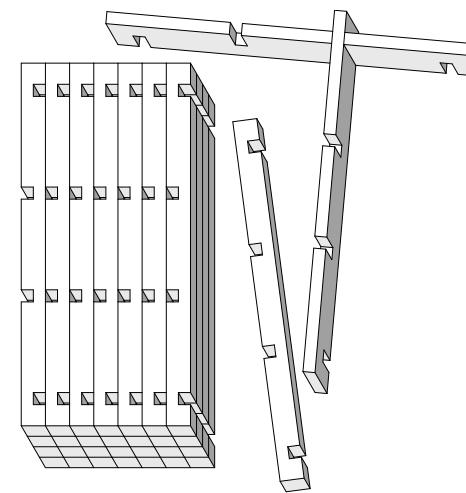
Ich schlage vor, einfach drauflos zu probieren, Strukturen zu bilden. Einerseits Einheiten wie die abgebildete mit verschiedener Anzahl Stäbe. Andererseits versuchen, die Einheiten aneinander zu fügen oder einfach Stäbe hinzuzufügen. Natürlich sollte man darauf achten, dass die Grundprinzipien nicht verletzt werden.

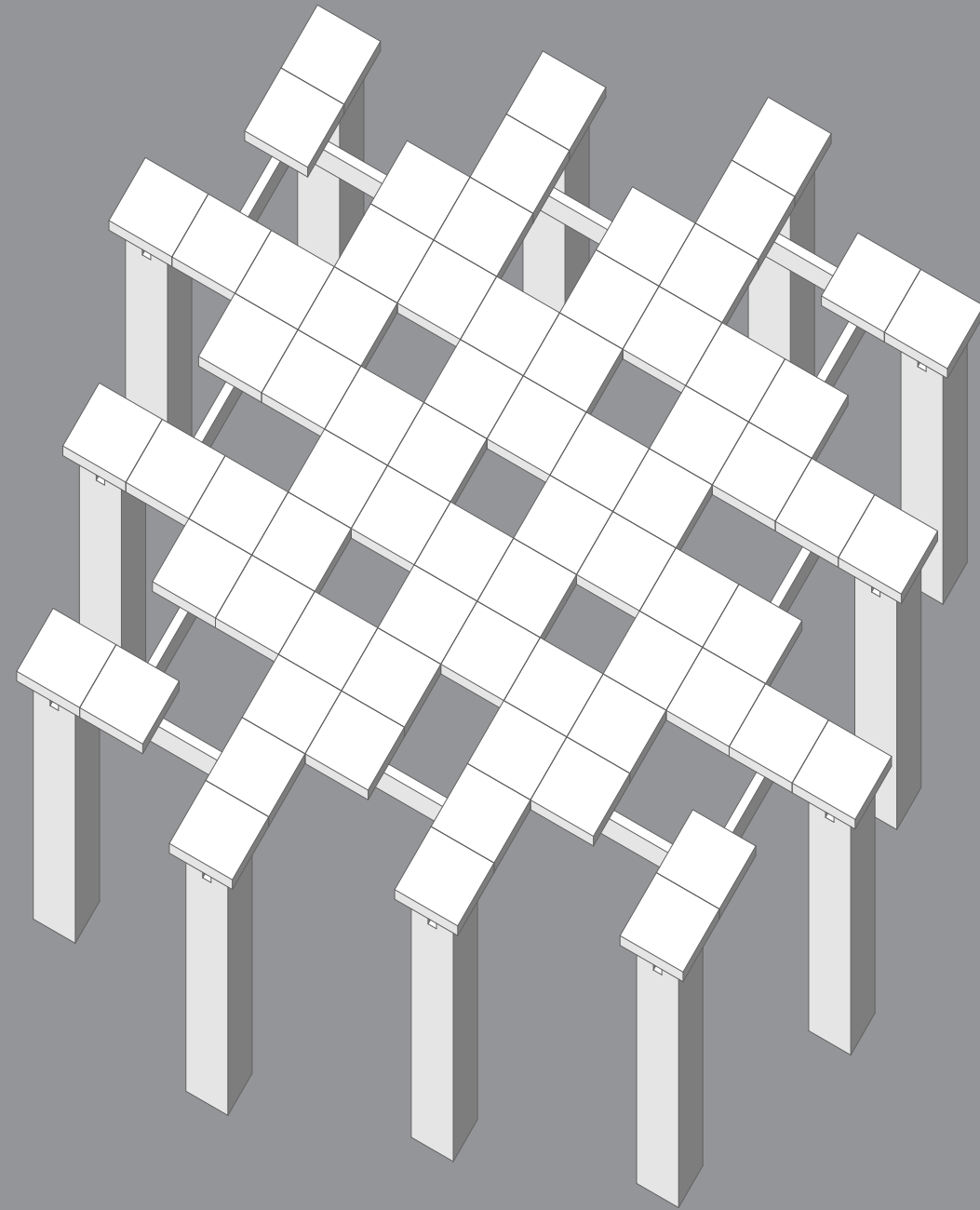




modifizierter längsschnitt

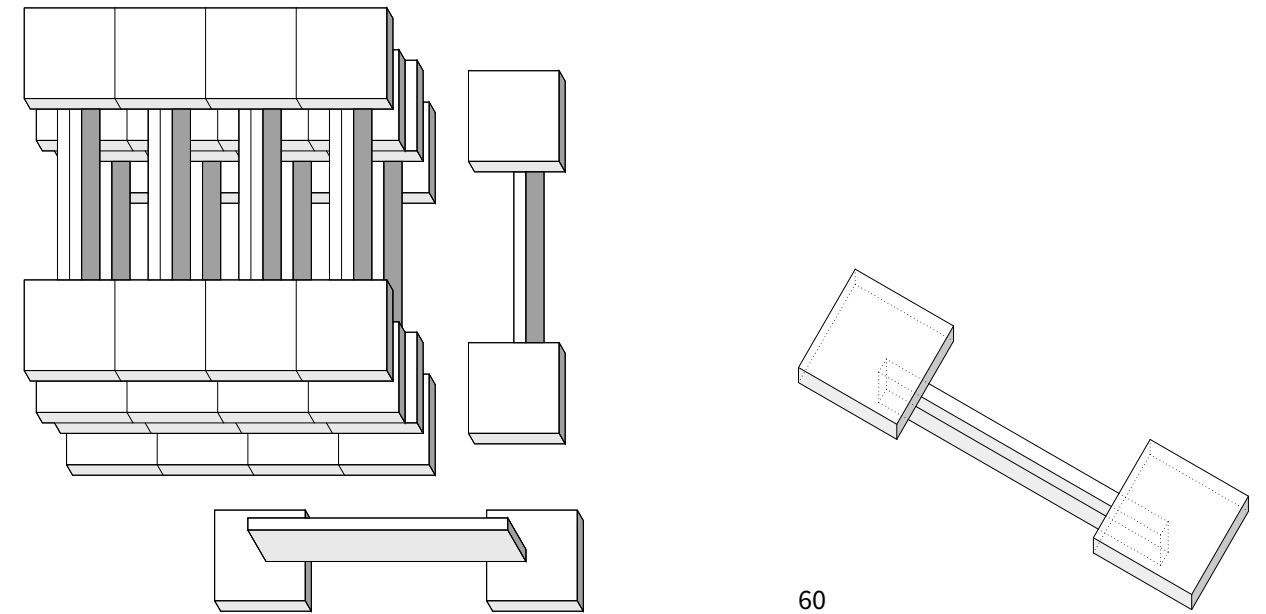
Der Längsschnitt dieser Stäbe ist so verändert, dass eine flache Struktur entsteht. Ausserdem werden so die Stäbe in ihrer Position fixiert. Die linke Illustration zeigt nur eine Möglichkeit. Natürlich kann das Muster das hier gebildet wird grösser oder kleiner und in verschiedenen Ausschnitten realisiert werden. Aber es sind auch andere Grundmuster möglich. Mit den gleichen Stäben kann man sogar eine Struktur bilden, die nur in einer Richtung spannt, mit den Stützen an beiden Enden.



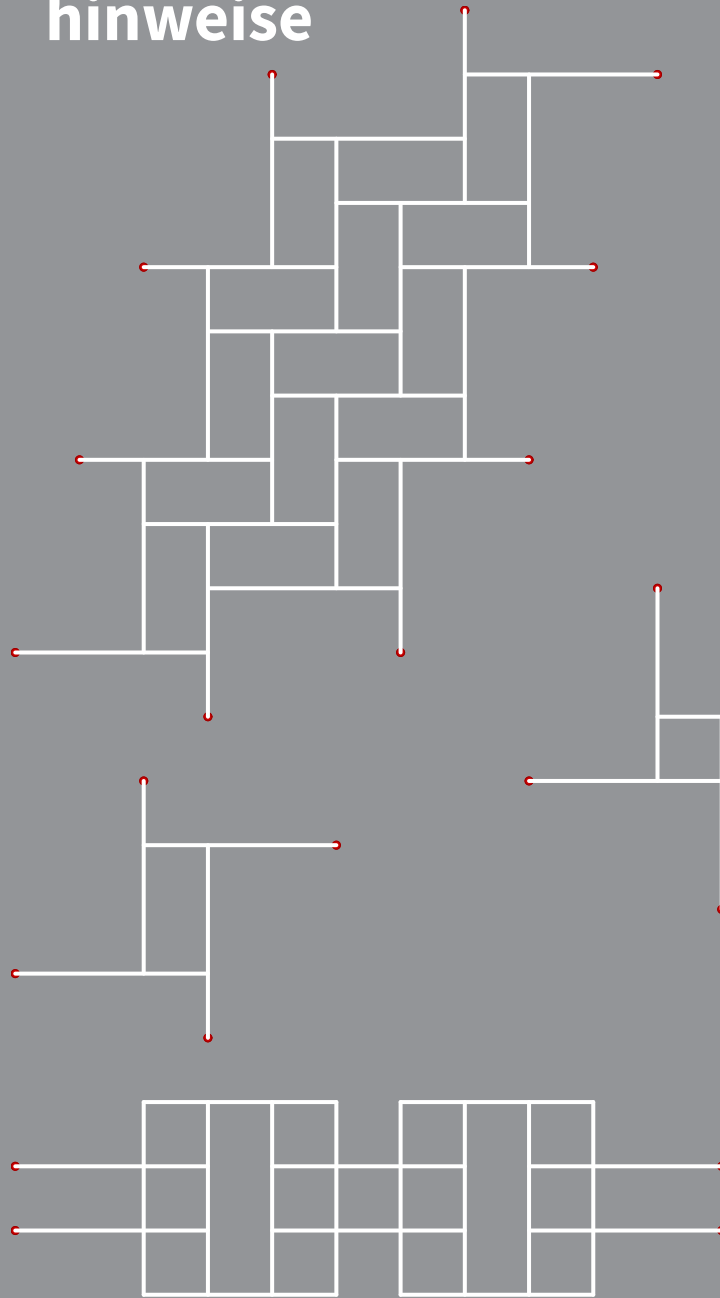


modifizierter querschnitt

Bei diesen Stäben ist zusätzlich zum Längsschnitt noch der Querschnitt verändert. Einerseits ist die statische Höhe vergrößert, sodass sie im Zugbereich mehr Widerstand gegen das Durchbiegen leisten, andererseits ist im Druckbereich die Fläche vergrößert, was auch zu erhöhter Stabilität beiträgt. Die Stäbe haben natürlich nicht mehr eine einfache Stabform. Ausserdem bilden die Elemente eine grössere zusammenhängende Fläche, mit kleinen quadratischen Öffnungen.

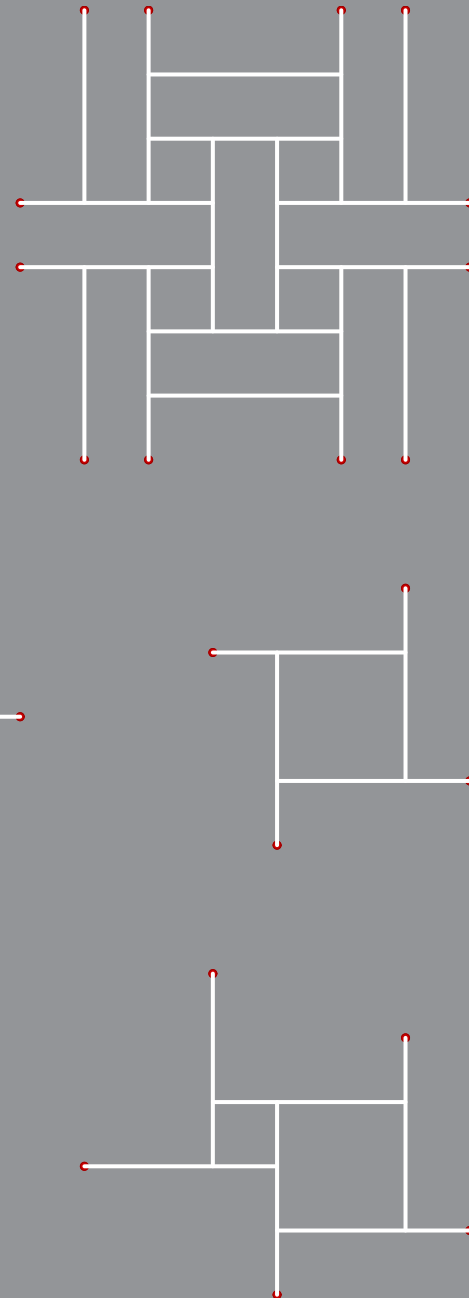


hinweise



andere muster

Mit den geraden Stäben gibt es kaum Einschränkungen durch die Geometrie, doch kann das Wölben der Struktur die Möglichkeiten begrenzen. Die eingekerbten Stäbe haben offensichtliche geometrische Einschränkungen. Trotzdem ist es möglich mit den gleichen Stäben verschiedene Muster zu bilden. Die Diagramme auf der linken Seite sind als Anregungen dazu gemeint. Die weissen Linien geben die Position der Elemente wieder, die roten Punkte, wo sie auf einer Unterlage oder auf Stützen aufliegen.



referenzen

1

Zhang Zeduan, 1085–1145
Along the River During the Qingming Festival
Palace Museum, Beijing
http://en.wikipedia.org/wiki/Along_the_River_During_the_Qingming_Festival

2

Leonardo Da Vinci
Codex Atlanticus, 1478-1519
Biblioteca Ambrosiana, Milano
http://de.wikipedia.org/wiki/Codex_Atlancticus

3

Villard de Honnecourt
Skizzenbuch, ca. 1230
Bibliothèque nationale de France, Paris
http://de.wikipedia.org/wiki/Villard_de_Honnecourt

4

Dank an Annette Spiro und Udo Thönnissen für diese Frage.

literaturhinweise

Bertin, Vito.
Hebelstabwerke,
Arch+ 159/160 Seiten 150-153
Zeitschrift für Architektur und Städtebau
Aachen 2002

Olga Popovic Larsen
Reciprocal frame architecture
Architectural press, Elsevier
Oxford 2008
isbn 978-0-7506-8263-3

Vito Bertin
Leverworks: one principle, many forms
China Architecture & Building Press
Beijing 2012
isbn 978-7-112-14284-2

kontakt

Ulrich Vogt, Kurator
Zeughaus Teufen
Zeughausplatz 1
9053 Teufen

uvo@zeughausteufen.ch
<http://www.zeughausteufen.ch>

Vito Bertin
Flat A 17/F Tsui Fung House
27 Tsui Fung Street
Wong Tai Sin, Kowloon
Hong Kong SAR, China

vito@e.cuhk.edu.hk
vitobertin.hk

