



BAUKULTURKOMPASS Nr. 6

MATERIAL

erschienen im Oktober 2015

FORM FOLLOWS MATERIAL

AUTOR

DI Günter Lackner
für RaummachtSchule Stmk

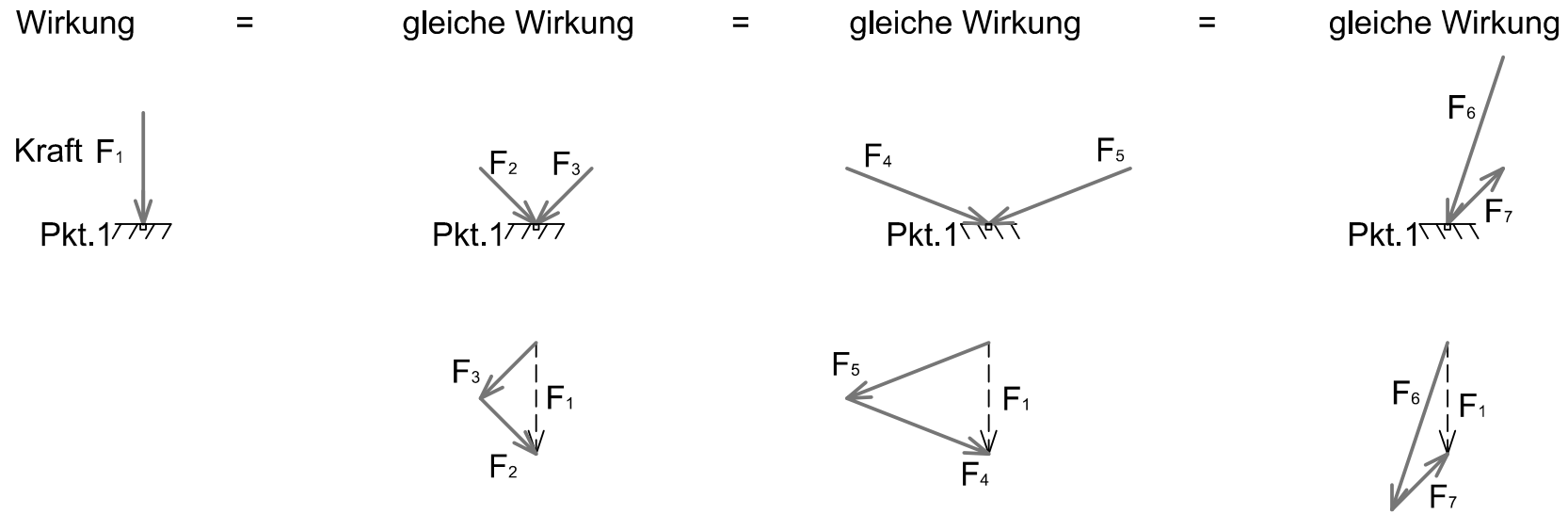
TITEL

Download 3
Hängeformen

Der Baukulturkompass ist ein Produkt von

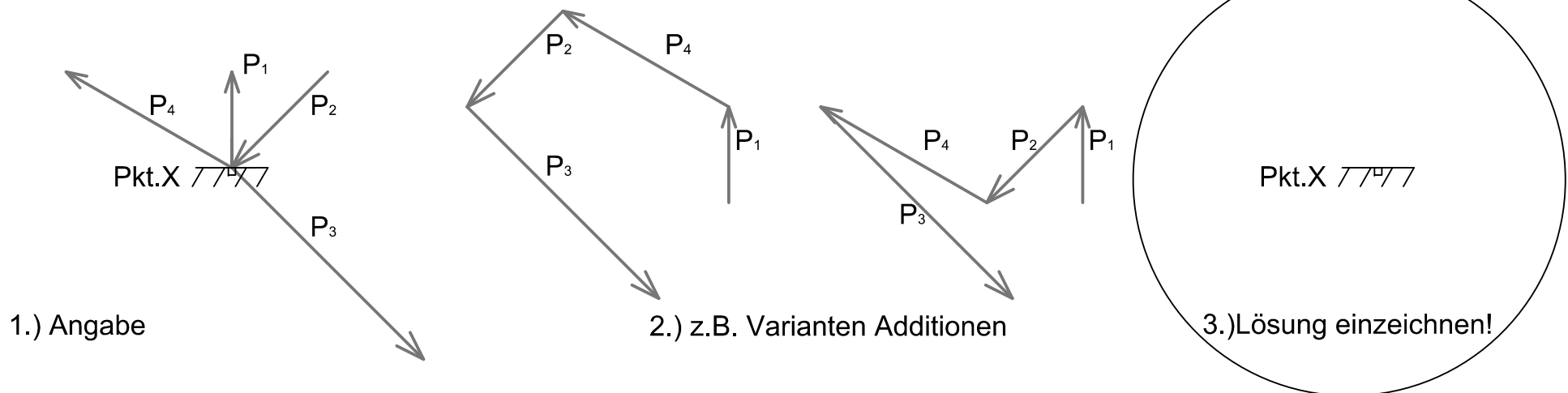


Einführung zu Wechselwirkungen von Kräften (Vektoren) an einem Punkt



Übung 1 Vektoraddition:

Ersetze die angegebenen 4 Vektoren P1-P4 im Pkt. X durch einen einzigen mit derselben Wirkung!

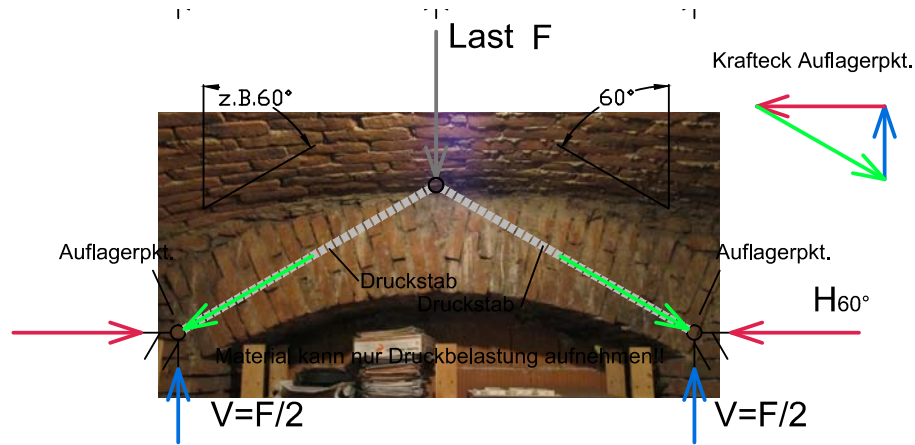


Hängeformen zur Veranschaulichung von Kraft-Ableitungen in Druck-Bögen...

als Weiterführung des Themas Bogenformen aus ausschliesslich druckbelasteten Baumaterialien...

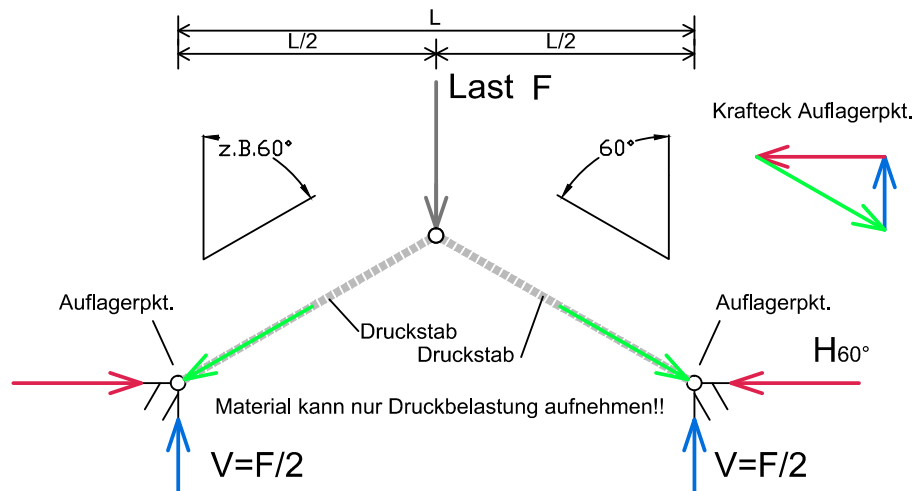
mit einem kleinen fachlichen "Ausflug" in den Bereich der Baustatik

ganz vereinfacht kann ich mir die Kräfte an den Auflagern bei einem Stichbogen wie in der Annahme 1 vorstellen.

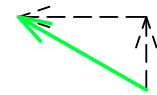


Annahme 1: Ausgangslage für unsere Betrachtungen von Material, Belastung und Form.

2 Druckstäbe zwischen zwei Auflagern werden belastet



wenn man alle an einer Stelle wirkenden Kräfte addiert, erhält man ein Krafteck - dieses "Krafteck" muß "geschlossen" sein, Vektorsumme=0, dann herrscht "STATIK"...wenn nicht, würde sich alles bewegen!

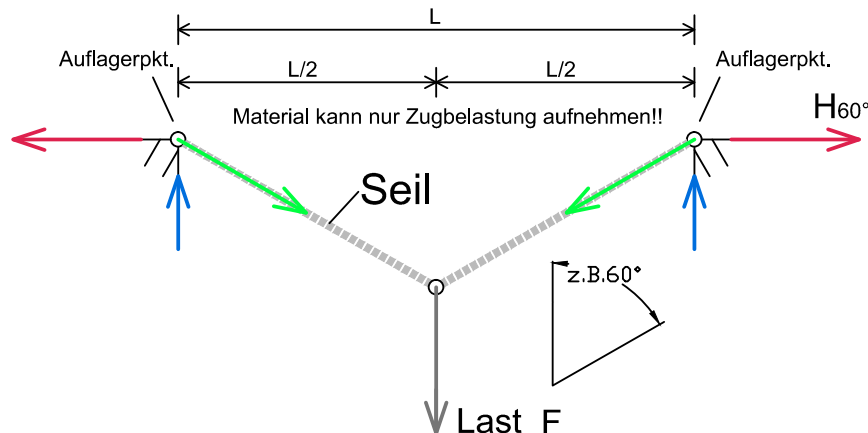


...die Haltekraft am Auflagerpunkt muss genau dagegendrücken, also in der gleichen Wirkungslinie wie der Druckstab und gleich gross sein; insgesamt und bei komplizierteren Anordnungen ist es jedoch einfacher und anschaulicher die Kräfte in Vertikal und Horizontal-Anteile zu zerteilen. So erkennt man auch gleich welche Horizontalanteile durch die Geometrie entstehen, obwohl z.B. nur vertikale Lasten wirken.

Hängeformen aus Seilen

...können nur Zugkräfte und nur in der jeweiligen Seilrichtung aufnehmen ; aufgrund des Materials ergibt sich zur jeweiligen Belastung und den Seilabschnittslängen automatisch eine einzig richtige Form, in der das System in Ruhe ist. Wir schauen uns Variationen zu diesem Zusammenhang an und versuchen dann Rückschlüsse auf Ziegel- und Steinbögen zu ziehen.

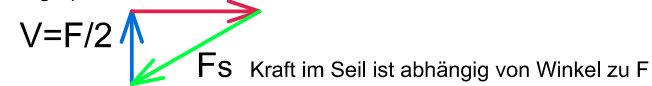
Annahme 2: Achtung!.. "alles auf den Kopf gestellt" Seil als Tragwerk zwischen zwei Auflagern, ...Material, Form und Lasten spielen anschaulich zusammen!



$F/2$
 ↓
 wenn F in Seilmitte ansetzt, bekommen beide
 Auflager gleiche Anteile
 $F/2$
 ↓

Eigentlich gibt es nur eine vertikale Belastung, die Kraft F....weil aber das Seil aufgrund seines Materials Kraft nur in seiner Richtung und nur Zugkraft aufnehmen kann, entsteht eine zusätzliche Horizontalkraft in einer von der Geometrie abhängigen Größe!

Krafteck Auflagerpkt. H variiert je nach Seil-Winkel



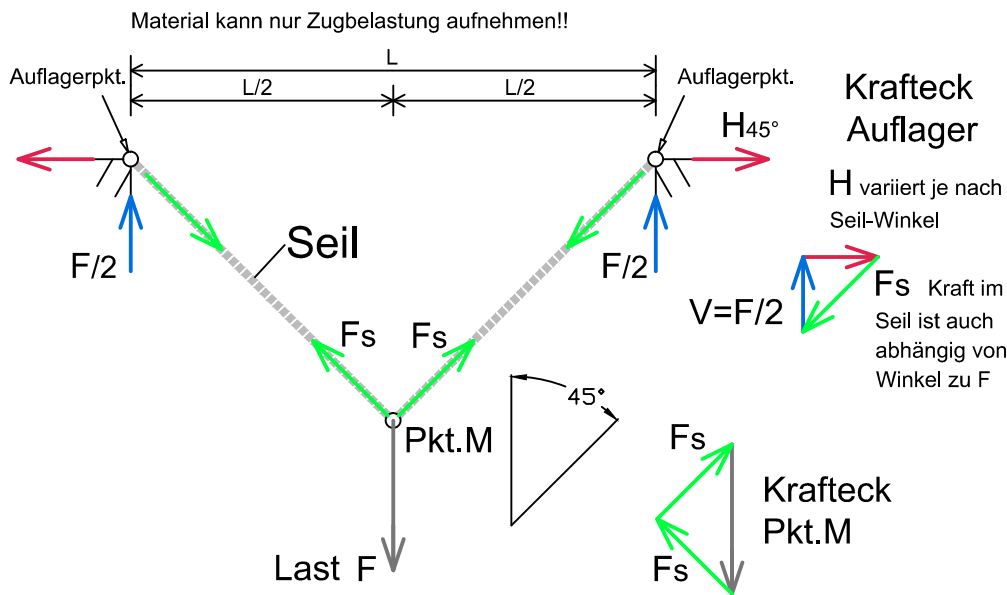
...aus den Betrachtungen über Seilformen kann man Rückschlüsse auf Ziegel- und Steinformen ziehen, indem man die Seilmodelle um 180° gedreht denkt und statt Zugbelastungen reine Druckbelastungen erhält!

...die Form des Seiles bzw. die Winkel ergeben sich aus der Seillänge in Abhängigkeit von der Entfernung der Haltepunkte ("Auflager") und den Kräften und Krafrichtungen. Bei mehreren Kräften spielen natürlich die Richtungen und der jeweilige Angriffspunkt eine Rolle für die entstehende Form. Ohne äussere Lasten hängt das Seil wegen des Eigengewichtes entsprechend der Länge in einer Bogenform durch (Parabelform). Das Eigengewicht ist jedoch bei Seilen im Verhältnis zu den äusseren Kräften meistens so gering, dass die Bogenform aufgehoben wird und ein "Seileck" entsteht. ...je gespannter das unbelastete Seil ist, desto grösser wird die entstehende Horizontalkraft! die vertikale Auflagerkraft bleibt trotz unterschiedlicher Seilwinkeln gleich gross und ist bei diesem Belastungsfall jeweils $F/2$.

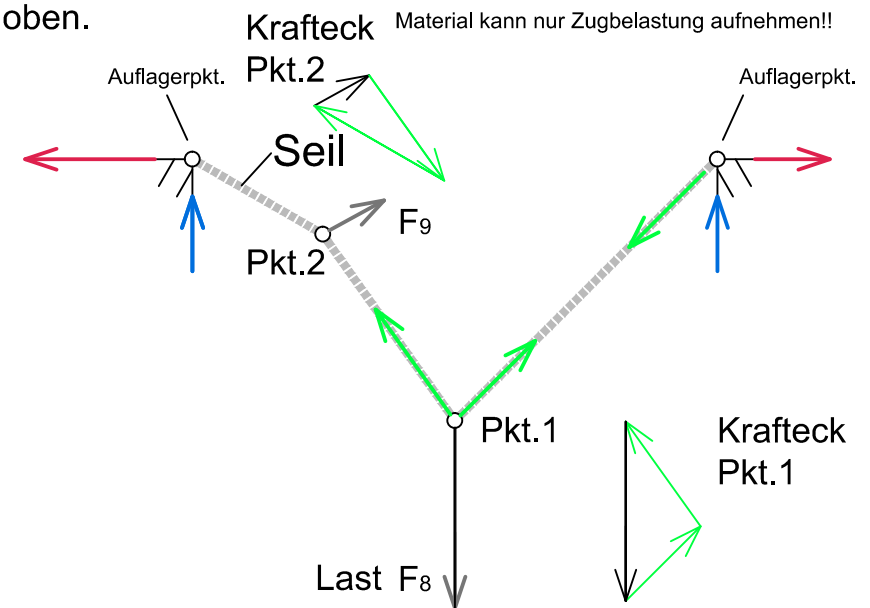
Variationen der Seillänge und der Krafrichtungen

...die Auswirkungen könnt ihr später auch in einer Übung direkt mit den Händen spüren.

Annahme 3: das Seil ist länger, sonst gleich wie Annahme 2



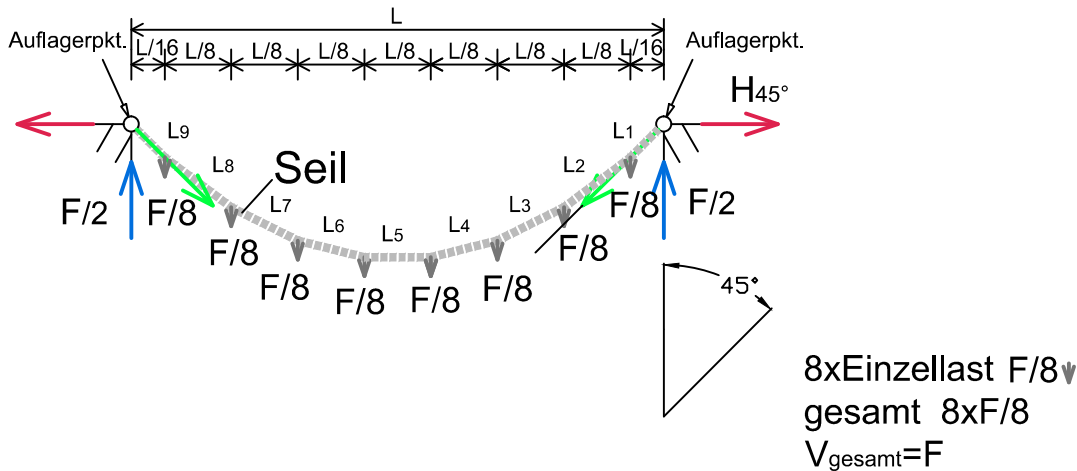
Annahme 4: 2 Lastangriffspunkte: eine Last F_8 zieht in der Mitte nach unten, eine 2. Last F_9 zieht im Pkt.2 schräg nach oben.



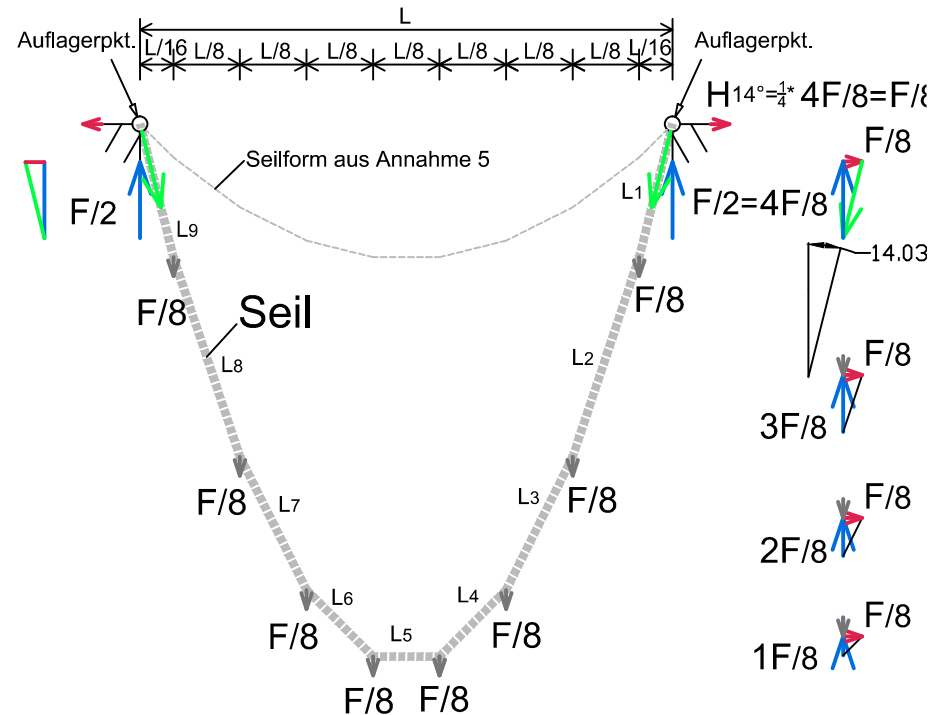
Variationen der Seillänge und der Kraftverteilung

...durch viele Einzellasten nähern wir uns den Auswirkungen einer gleichmäßigen Belastung bzw. einer Belastung durch Eigengewicht

Annahme 5: 8 Einzellasten, gleichmäßig verteilt
festgelegte Seilrichtung am Auflager 45°



Annahme 6: 8 Einzellasten, gleichmäßig verteilt
festgelegte Seilrichtung am Auflager $14,036^\circ$



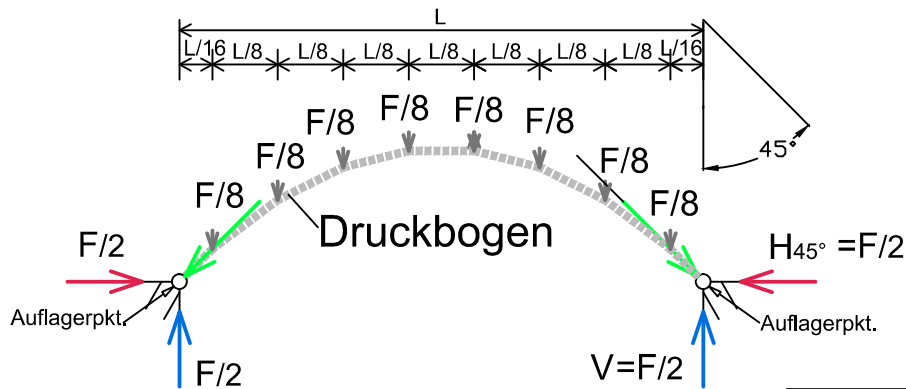
...durch Variieren der Größe der Einzellasten bei sonst unveränderter Anordnung könnte man das System weiter untersuchen und erkennen wo man höhere Lasten anbringen muss um die Form so zu verändern, dass eine Verwirklichung als umgekehrte Ziegelform möglich ist; z.B. ist es dann ganz klar, dass man durch Auflasten ganz aussen gleich neben dem Auflagerbereich die Neigung dieses Seilabschnittes noch mehr in die Vertikale bringen kann und Horizontalkräfte geringer werden.

Antoni Gaudi hat auf diese Weise seine *Konstruktionsformen* entwickelt und damit *materialgerechte* Lösungen gefunden.

Achtung!

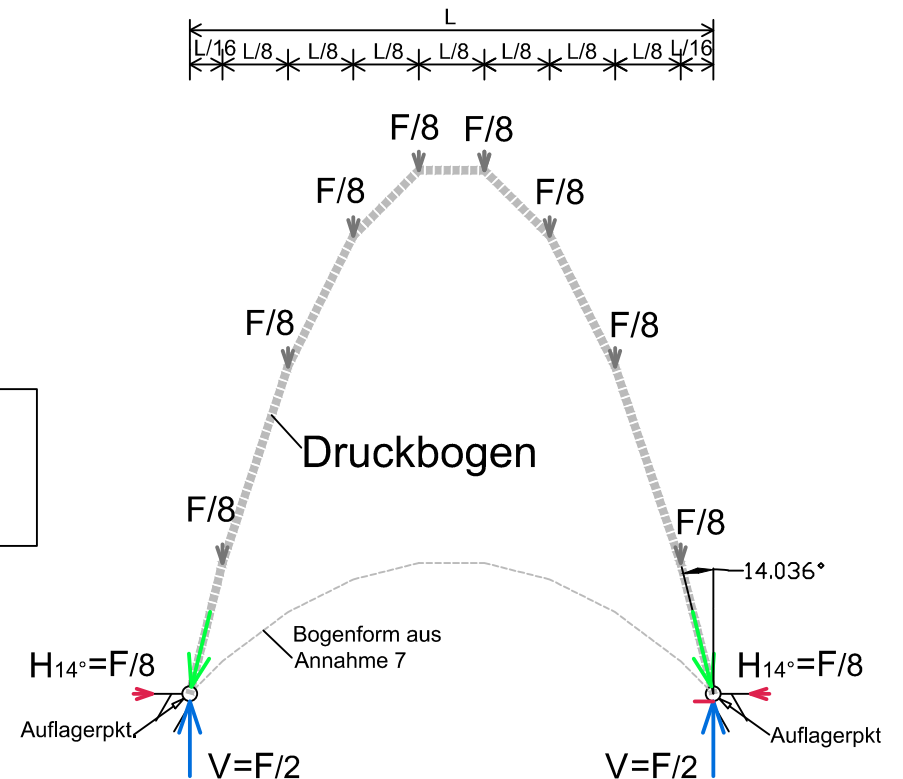
...jetzt drehen wir das System wieder um und versuchen von den Hängekonstruktionen Rückschlüsse auf die Druck-Bögen zu ziehen

Annahme 7: 8 Einzellasten, gleichmäßig verteilt
Bogen nach umgedrehter Hängeform
Auflager 45°



8x Einzellast $F/8$
gesamt $8 \times F/8$
 $V_{\text{gesamt}} = F$

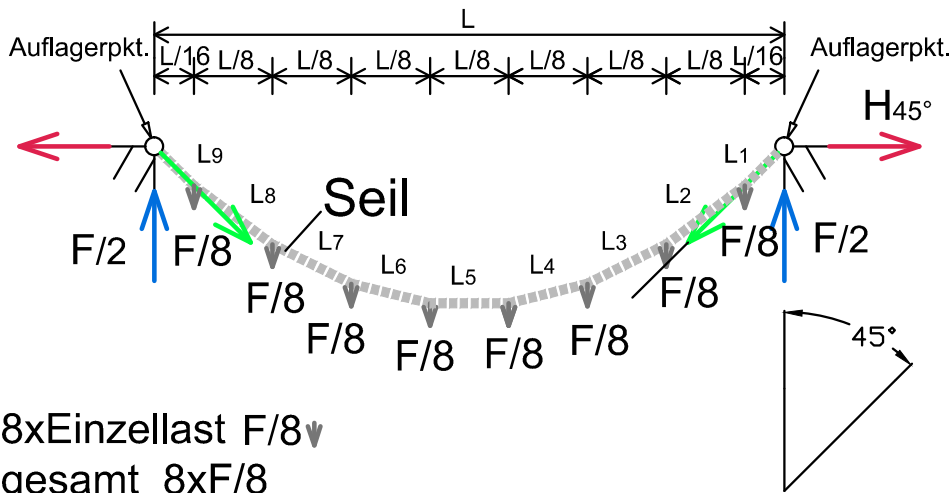
Annahme 8: 8 Einzellasten, gleichmäßig verteilt
Bogen nach umgedrehter Hängeform
Auflager $14,036^\circ$



Fazit: ein gleichmäßig belasteter Druckbogen, der durch seine Form verhindern soll, dass Horizontalkräfte entstehen, ist parabelförmig und extrem hoch um fast nahezu vertikal abzuschließen. Theoretisch wäre er unendlich hoch um tatsächlich vertikal zu enden. Auf jeden Fall kann ich die unerwünschten Horizontalkräfte sicher bis zum Boden bringen, wenn ich in einer Parabelform baue, oder wenn ich genug "Reserve" in meiner Form habe, dass sich die Parabelform darin ausbilden kann.

Auch wenn es gelingt die aus der Geometrie und dem Material resultierenden Horizontalkräfte zu vermeiden werden trotzdem bei der Betrachtung eines ganzen Gebäudes immer von außen wirkende Horizontalkräfte zu berücksichtigen sein (z.B. Wind, Erdbeben..) und diese müssen vom Bauwerk insgesamt in irgend einer Form auf den Boden gebracht werden...Arbeit für Statiker!

Übung 2: Berechne die Seillänge bei 8 Einzellasten!

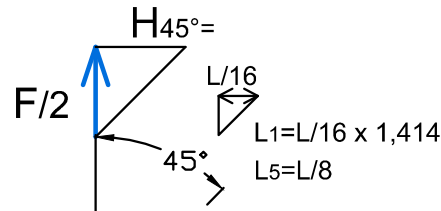


8x Einzellast $F/8$
 gesamt $8 \times F/8$
 $V_{\text{gesamt}} = F$

- 1) Wie gross ist die Horizontalkraft im Auflager wenn das Seil mit 45° ansetzt?
- 2) Wie lange muss das Seil sein, um am Auflager mit 45° anzukommen?
 Die Lastangriffspunkte und jeweiligen Kraftgrößen sind lt. Zeichnung vorgegeben. Das Eigengewicht des Seiles wird vernachlässigt.
 Wer kann das lösen?

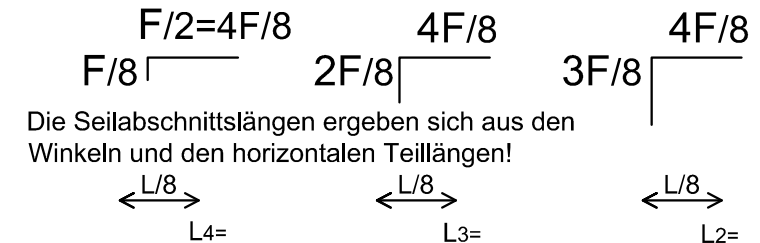
Der 1. Winkel ist vorgegeben... 45°

Krafteck im Auflagerpkt.



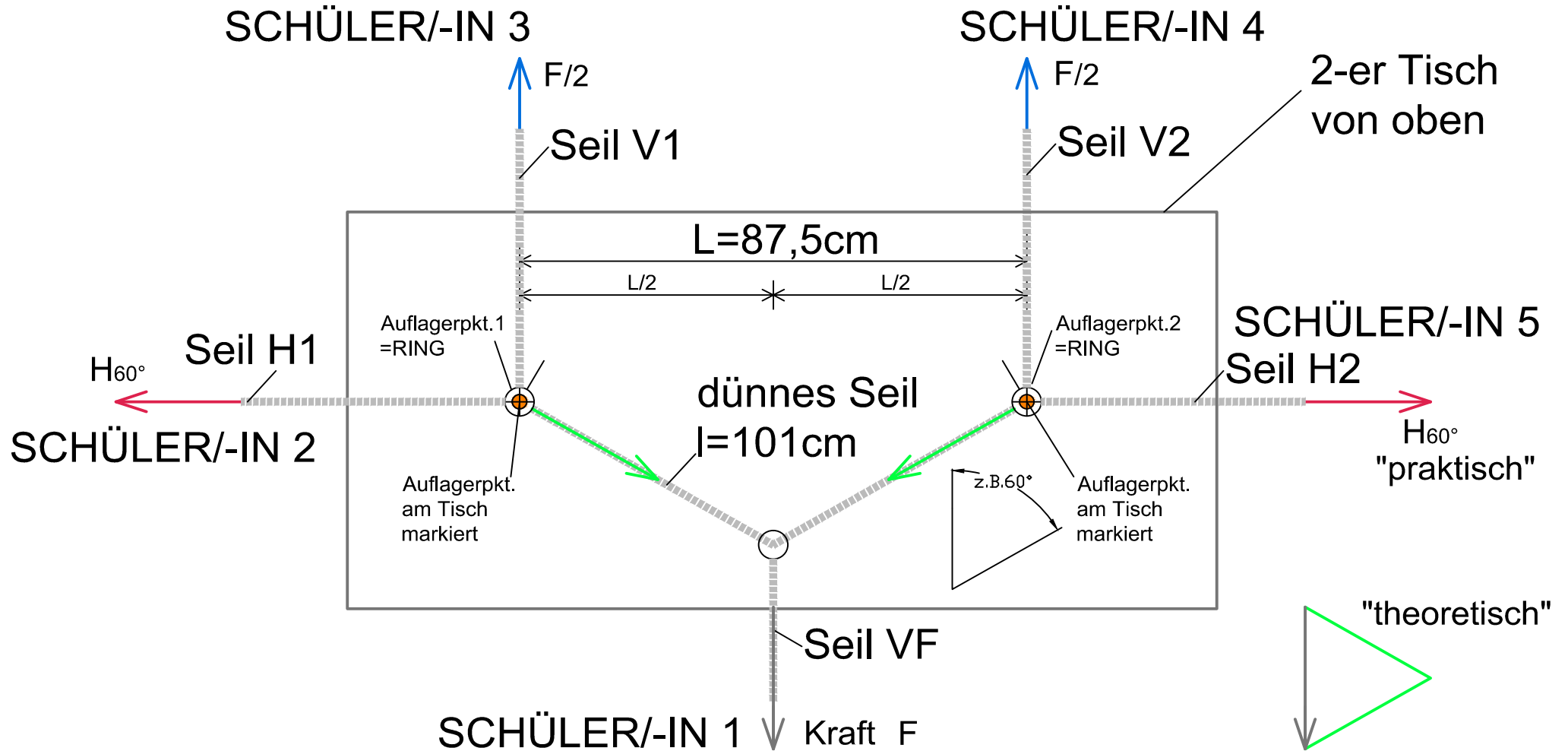
Lösungsansatz... wenn wer Hilfe braucht!

Die weiteren Winkel ergeben sich aus den Kraftecken!
 Die horizontale Kraft bleibt immer gleich gross, die vertikale ändert sich bei jedem Lastangriffspunkt



ÜBUNG 3: Kräfte Spuren 60°-jeweils 5 Schüler erproben Seil-Form und Kraftwirkung

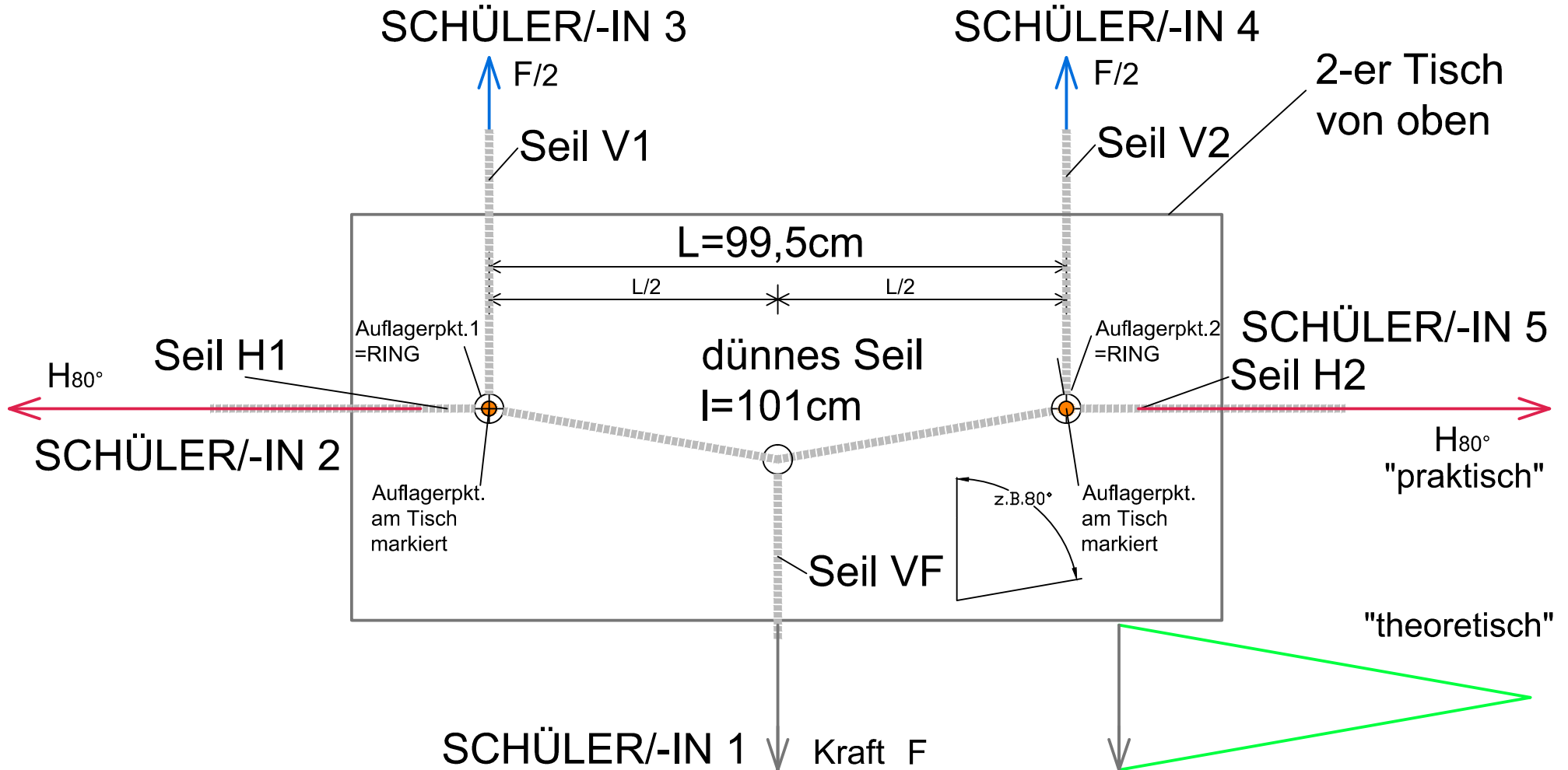
Annahme: am Tisch aufgelegte Seile als Tragwerk zwischen zwei Auflagern, 1 Kraft an einem Seilstück VF zieht in der Mitte. Seillänge ca. 1,15x L. An den Seilenden sind Ringe mit jeweils 2 angebondenen Auflagerseilen H und V.



Ablauf: wenn alles lt Plan am Tisch liegt, beginnt Schüler/-in 1 in die angeg. Richtung zu ziehen (zuerst nur sehr leicht, dann stärker aber nicht ruckartig) und die anderen 4 Teilnehmer/-innen müssen ständig versuchen die Auflagerringe auf den markierten Stellen zu behalten, indem sie in der angegebenen Richtung ziehen...dann werden die Positionen H und V getauscht und ein weiterer Ablauf durchgeführt

ÜBUNG 4: Kräftespüren 80° -jeweils 5 Schüler erproben Seil-Form und Kraftwirkung

Annahme: am Tisch aufgelegte Seile als Tragwerk zwischen zwei Auflagern, 1 Kraft an einem Seilstück VF zieht in der Mitte. Seillänge ca. $1,015 \times L$. An den Seilenden sind Ringe mit jeweils 2 angebondenen Auflagerseilen H und V.

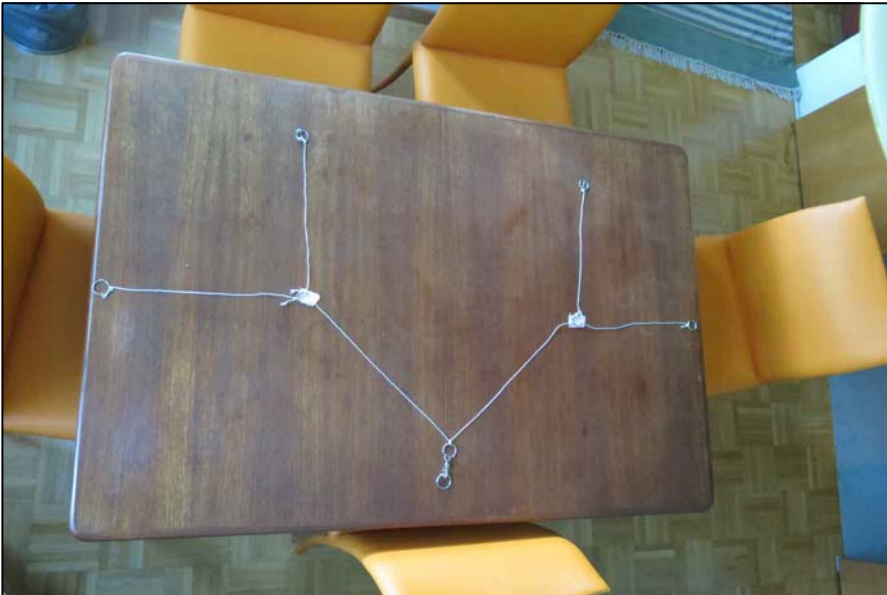


Ablauf: wenn alles lt Plan am Tisch liegt, beginnt Schüler/-in 1 in die angeg. Richtung zu ziehen (zuerst nur sehr leicht, dann stärker aber nicht ruckartig) und die anderen 4 Teilnehmer/-innen müssen ständig versuchen die Auflagerringe auf den markierten Stellen zu behalten, indem sie in der angegebenen Richtung ziehen...dann werden die Positionen H und V getauscht und ein weiterer Ablauf durchgeführt

FOTOS AUSGANGSSITUATION FÜR KRÄFTESPÜREN

ÜBUNG 3: Kräftespüren ca.45-60°-jeweils
5 Schüler erproben Kraftwirkungen

ÜBUNG 4: Kräftespüren ca.80°-jeweils
5 Schüler erproben Kraftwirkungen



Fotos: G. Lackner