

2. Statisch bestimmte Systeme

2.1 Definition

Eine Lagerung nennt man statisch bestimmt, wenn die Lagerreaktionen (Kräfte und Momente) allein aus den Gleichgewichtsbedingungen bestimmbar sind.





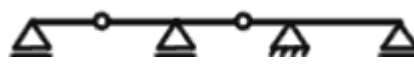
3 Gleichgewichtsbedingungen \rightarrow 3 Lagerkräfte

Enthält ein System Gelenke, so ergibt sich aus jedem Gelenk eine zusätzliche Gleichgewichtsbedingung, da im Gelenk das Moment null ist. Die zusätzliche Bedingung lautet dort folglich $M=0$. Bei Trägern ohne Gelenke gibt es 3 Gleichgewichtsbedingungen, deshalb müssen 3 Lagerkräfte erfüllt sein. Bei Trägern mit n Gelenken benötigt es folglich $3+n$ Lagerkräfte und es gibt auch $3+n$ Gleichgewichtsbedingungen.



Beispiele von statisch bestimmten Systemen

Die nachfolgenden 5 Systeme sind alle statisch bestimmt. Darunter sind zuerst die Auflagerreaktionen und dann die vorhandenen Gleichgewichtsbedingungen aufgeführt.

 <p style="text-align: center;">$2+1=3$ festes Auflager 2-wertig + verschiebliches Auflager 1- wertig</p>	 <p style="text-align: center;">$3=3$ Einspannung 3-wertig</p>	 <p style="text-align: center;">$1+1+1=3$ 3 mal verschiebliches Auflager 1-wertig</p>
 <p style="text-align: center;">$1+2+1=3+1$ 1-2-1-wertiges Auflager zu 4 Gleichgewichtsbedingungen (eine aus dem Gelenk)</p>	 <p style="text-align: center;">$1+1+2+1=3+1+1$ 1-1-2-1-Wertiges Auflager zu 5 Gleichgewichtsbedingungen</p>	




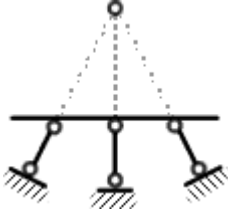
2.2 Systeme, die nicht statisch bestimmt sind

Instabile Systeme

Ein System ist statisch instabil, wenn bei n Gelenken weniger als $3+n$ Lagerreaktionen zu Verfügung stehen, oder wenn sich die Wirkungslinien der Lagerkräfte in einem Punkt oder im Unendlichen schneiden (WL sind alle parallel zueinander). Instabile Tragwerke sind in der Baustatik nicht zulässig, da es zu großen Verformungen oder Einstürzen kommen kann.

Ⓑ

Beispiele für instabile Systeme

 <p style="text-align: center;">$1+1 \neq 3$</p> <p>1+1 Auflagerreaktionen für 3 gleichg. Bedingungen → System instabil</p>	 <p style="text-align: center;">$2+1 \neq 3+1$</p> <p>Hier gibt es zwar 3 Auflagerreaktionen, jedoch liefert das Gelenk eine zusätzliche Bedingung. → System instabil</p>
 <p style="text-align: center;">$1+1+1=3$ (Achtung!)</p> <p>Zwar gibt es hier 3 Auflagerreaktionen, jedoch sind die Wirkungslinien parallel zu einander, deshalb kann dieses System keine horizontalen Kräfte aufnehmen → instabil</p>	 <p style="text-align: center;">$1+1+1=3$ (Achtung!)</p> <p>Da sich die Wirkungslinien der Auflagerkräfte in einem Punkt schneiden ist dieses System instabil. Es können keine Momente um den Schnittpunkt aufgenommen werden. Das System muss sich erst verformen. → instabil</p>

Statisch unbestimmte Systeme

Statisch unbestimmte Systeme haben bei n Gelenken mehr als $3+n$ Auflagerreaktionen. Deshalb nennt man sie auch überbestimmte Systeme. Es gibt Vor- und Nachteile dieser Tragwerke:

Vorteile:

- Größere Steifigkeit, deshalb geringere Verformungen
- Geringere Abmessungen
- Oft besitzen diese Systeme auch eine zusätzlich versteckte Sicherheit.

Nachteile:

- Schwieriger zu berechnen, da für die Berechnungen zusätzliche Bedingungen benötigt werden. Man behilft sich mit den auftretenden Verformungen.
- Bei Lagersenkungen oder Temperaturveränderungen treten Zwängungen auf, die das Tragwerk zusätzlich belasten können.

2.3 Berechnen der Auflagerreaktionen bei statisch bestimmten Systemen

Bei statisch bestimmten Systemen ist es einfach die Auflagerreaktionen zu bestimmen. Man ermittelt diese unter zu Hilfenahme der 3 Gleichgewichtsbedingungen.

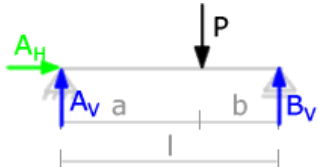
Der Einfeldträger

Zuerst betrachten wir uns das einfachste statische System, den Einfeldträger. Dieses statische System wird uns in der Statik oft begegnen (auch bei statisch unbestimmten Berechnungen).



Einfeldträger unter einer Punktlast

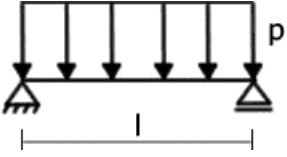
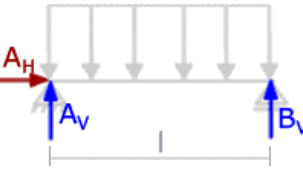
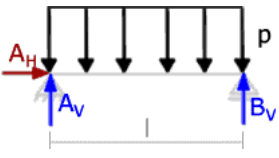
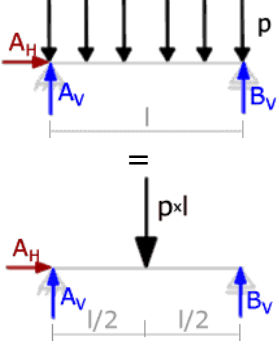
Das System		<p>Ein Einfeldträger mit einem festen und einem verschieblichen Lager und der Länge l wird mit einer Punktkraft P belastet. Die Lage der Kraft ist durch die Längen a und b bestimmt. Aus der Zeichnung $\rightarrow a+b=l$.</p> <p>Wir bezeichnen das Auflager links mit A und rechts mit B.</p>
Gesucht	$\rightarrow A_H$ $\rightarrow A_V$ $\rightarrow B_V$	Die Auflagerreaktionen
Die Bedingungen	$\rightarrow \Sigma H = 0$ $\rightarrow \Sigma V = 0$ $\rightarrow \Sigma M = 0$	<p>Als 2. Schritt stellen wir die vorhandenen bzw. benötigten Bedingungen dar. Da wir in unserem System kein Gelenk haben, schreiben wir nur die 3 Gleichgewichtsbedingungen auf.</p> <p>Die Summe der Momente, der horizontalen- und vertikalen Kräfte ist null.</p>
Die Kräfte		<p>Jetzt machen wir uns Gedanken über die Auflagerkräfte. Welche Kräfte können von unseren Auflagern aufgenommen werden. Wir bezeichnen die horizontalen Auflagerkräfte mit dem Index H und die vertikalen Kräfte mit V.</p>

Die Berechnung	$\Sigma H = 0$ $A_H = 0$	Nun bilden wir unser erstes Gleichgewicht. Die Summe aller horizontalen Kräfte ist 0. Da A_H die einzige horizontale Kraft ist, folgt $A_H = 0$.
	 $\Sigma V = 0$ $A_V + B_V - P = 0$	Die Summe aller vertikalen Kräfte ist 0. Alle Kräfte die von unten nach oben wirken, sind positiv. Deshalb bekommt die Kraft P ein negatives Vorzeichen.
	$\Sigma M_A = 0$ $P \times a - B_V \times l = 0$	Die Summe aller Momente die um den Punkt A drehen ist 0. Rechtsdrehende Momente bekommen ein positives Vorzeichen. Das Moment ist Kraft mal den Abstand. Da A_H und A_V direkt durch den Punkt gehen, erzeugen diese auch kein Moment.
	$P \times a - B_V \times l = 0$ $B_V = (P \times a) / l$	Formt man nun diese Gleichung um, erhält man schon die Auflagerkraft B_V .
	$A_V + B_V - P = 0$ $A_V + (P \times a) / l - P = 0$ $A_V = P - (P \times a) / l$	Durch das Einfügen des Wertes für B_V in die Gleichung der vertikalen Summen, erhält man schließlich die Kraft A_V .
Das Ergebnis	$A_H = 0$ $A_V = P - (P \times a) / l$ $B_V = (P \times a) / l$	Da es in der Statik auch sehr komplizierte gibt, sollte man jedes Ergebnis auf Plausibilität prüfen. Dafür setzen wir mal $a = 0$. Dies würde bedeuten, dass die Kraft auf dem Auflager A stehen würde, es müsste dann die ganze Kraft P direkt ins Auflager gehen. Und siehe da für $a = 0$ erhält man $A_V = P$.

Bei $\Sigma M_A = 0$ haben wir in der Berechnung alle Momente um den Punkt A null gesetzt. Natürlich ist es auch möglich über die Summe aller Momente um den Punkt B zu dem gleichen Ergebnis zu kommen.



Einfeldträger unter einer Strecken-/Linienlast

Das System		<p>Ein Einfeldträger mit einem festen und einem verschieblichen Lager und der Länge l wird mit einer Strecken-/Linienlast belastet. Die Last erstreckt sich gleichmäßig über die gesamte Länge l. Wir bezeichnen das linke Auflager wieder mit A und das rechte mit B.</p>
Gesucht		<p>Die Auflagerreaktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> → A_H → A_V → B_V
Die Bedingungen	$\rightarrow \sum H = 0$ $\rightarrow \sum V = 0$ $\rightarrow \sum M = 0$	<p>Die Gleichgewichtsbedingungen sind wie vorher die Summe der vertikalen- und horizontalen Kräfte und der Momente ist gleich null.</p>
Die Kräfte		<p>Wie schon bei dem vorherigen Beispiel tragen wir jetzt wieder alle am System angreifenden Kräfte an. Alle horizontal angreifenden Auflagerkräfte bekommen den Index H und alle vertikalen den Index V.</p>
Die Umformung		<p>Der einzige Schritt der vom ersten Beispiel abweicht ist das Umformen der Streckenlast in eine Punktlast. Der Betrag der Ersatzkraft ist $p \times l$. Der Angriffspunkt ist $l/2$. Die Auflagerkräfte werden nun mit Hilfe dieser Ersatzkraft ermittelt. Vorgegangen wird genau so wie im vorherigen Beispiel.</p>
Die Berechnung	$\sum H = 0$ $A_H = 0$	<p>Nun bilden wir unser erstes Gleichgewicht. Die Summe aller horizontalen Kräfte ist 0. Da A_H die einzige Kraft ist, folgt $A_H = 0$.</p>
	$\sum V = 0$ $A_V + B_V - (p \times l) = 0$	<p>Die Summe aller vertikalen Kräfte ist 0. Alle Kräfte die von unten nach oben wirken, sind positiv.</p>
	$\sum M_A = 0$ $(p \times l \times l/2) - (B_V \times l) = 0$	<p>Die Summe aller Momente die um den Punkt A drehen ist 0. Rechtsdrehende Momente bekommen ein positives Vorzeichen. Das Moment ist Kraft mal den Abstand. Da A_H und A_V direkt durch den Punkt gehen, erzeugen diese auch kein Moment.</p>



Einfeldträger unter einer Strecken-/Linienlast

	$B_V = (p \times l) / 2$	Formt man nun diese Gleichung um erhält man schon die Auflagerkraft B_V .
	$A_V + B_V - (p \times l) = 0$ $A_V + (p \times l) / 2 - p \times l = 0$ $A_V = (p \times l) / 2$	Durch das Einfügen des Wertes für B_V in die Gleichung der vertikalen Summen, erhält man schließlich die Kraft A_V
Das Ergebnis	$A_H = 0$ $A_V = (p \times l) / 2$ $B_V = (p \times l) / 2$	Da keine horizontalen Kräfte am System angreifen ist A_H null. Als Kontrolle betrachten wir nun die Auflagerkräfte. Da sich die Linienlast über die ganze Länge gleichmäßig wirkt, muss A_V und B_V gleich groß sein.

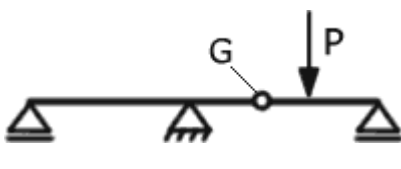
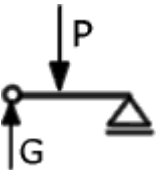

Der Mehrfeldträger

Die Ermittlung der Auflagerkräfte eines Mehrfeldträgers ist nicht schwieriger oder komplizierter wie die eines Einfeldträgers. Der einzige Trick bei der Ermittlung der Auflagerreaktionen ist das Zerlegen des Trägers in lauter Einfeldträger und Träger mit Kragarmen.

Die zusätzlichen Gleichgewichtsbedingungen erhält man durch das Bestimmen der Gelenkkräfte, wobei diese einmal wie Auflagerkräfte und das andere mal wie äußere Lasten behandelt werden. Wie dies nun genau gehandhabt wird erklärt am Besten ein Beispiel.

Ⓑ

Zerlegung eines Mehrfeldträgers

	<p>In unserem Beispiel betrachten wir einen 2 Feldträger mit einem Gelenk. Das System ist statisch bestimmt (siehe Kapitel 2.1)</p> <p>Nun schneiden wir durch das Gelenk G und betrachten die beiden freigeschnittenen Systeme separat.</p>
	<p>Die Auflager- und Gelenkreaktionen dieses „Einfeldträgers“ werden nun wie gewohnt bestimmt. Wobei hier G die Auflagerkraft A_v ersetzt.</p> <p>Würden hier horizontale Kräfte auftreten, würden auch horizontale Gelenkkräfte freigeschnitten. Somit können wir mit Hilfe der 3 Gleichgewichtsbedingungen die G und die andere Auflagerreaktion bestimmen.</p>
	<p>Das links freigeschnittene System stellt einen Träger mit Kragarm da. Die zuvor ermittelte Gelenkkraft G wirkt hier als Belastung. Die Auflagerreaktionen können nun hier schon bekannt ermittelt werden.</p>

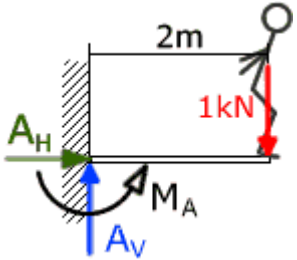
Der Kragträger bzw. Kragarm

Die Auflagerreaktionen eines Kragträgers bzw. eines Kragarmes zu bestimmen ist unkompliziert, da alle auftretenden Kräfte und Momente nur von einem Auflager aufgenommen werden. Aus der jeweiligen Gleichgewichtsbedingung folgt sofort die entsprechende Auflagerreaktion.

Betrachten wir nun das Beispiel von Kapitel 1.5. Der Springer auf seinem Sprungbrett.

Ⓑ

Bestimmung der Auflagerreaktionen bei einem Kragarm

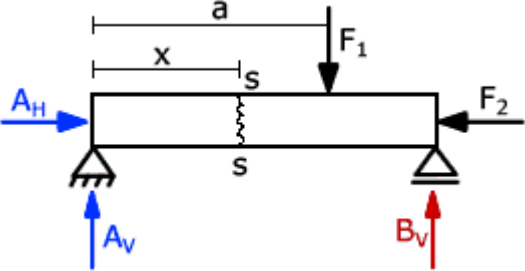
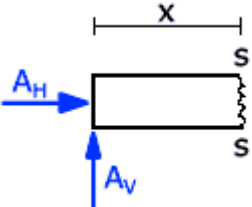
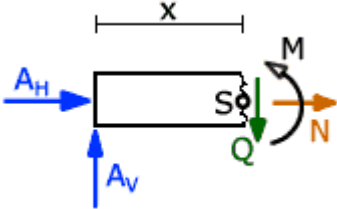
	<p>Der Springer auf dem Sprungbrett, welches der einfacher halber an einer Wand eingespannt ist, belastet das Brett mit 1kN. Dabei ist sein Abstand zur Einspannung 2m.</p> <p>Da hier nur ein Auflager vorhanden ist, muss dieses alle 3 Auflagerreaktionen aufnehmen können.</p> <p>In dem Bild sind schon alle 3 Auflagerreaktionen aufgezeichnet.</p> <p>Alleine schon aus dem Bild kann man hier die meisten Auflagerreaktionen ableiten.</p>
$A_H=0$	<p>Da an diesem System keine horizontalen Lasten angreifen gibt es auch keine horizontale Auflagerreaktion</p>
$A_V=1\text{kN}$	<p>Da die einzig vertikal angreifende Kraft 1kN beträgt, muss die horizontale Auflagerkomponente den gleichen Betrag besitzen und entgegengesetzt wirken.</p>
$M_A=1\text{kN}\times 2\text{m}$ $M_A=2\text{kNm}$	<p>Aus der Summe aller Momente um den Punkt A folgt, dass das Moment im Auflager A ($1\text{kN}\times 2\text{m}$) 2kNm sein muss.</p>

2.4 Schnittgrößen

Bisher haben wir nur die am Tragwerk von außen angreifenden Kräfte und Belastungen betrachtet. Das System wirkt jedoch auch mit inneren Kräften und Momenten entgegen der Belastung. Kann das System zum Beispiel die vorhandene Belastung nicht aufnehmen kommt es zu großen Verformungen oder sogar zum Bruch. Eine schwach gespannte Wäscheleine hängt z.B. nach unten durch, wenn diese belastet wird. Das kommt daher, dass dieses Seil keine inneren Schnittgrößen direkt entgegen der Erdanziehung aufbringen kann. Ein Holzbalken z.B. kann dies und biegt sich bzw. verformt sich deshalb nicht so stark.

Ⓑ

Schnittgrößenbestimmung

	<p>Der oben dargestellte Einfeldträger wird durch zwei Kräfte F_1 und F_2 belastet. Diese Kräfte erzeugen die Auflagerreaktionen A_H, A_V und B_V. Nun schneiden wir in einem Abstand x vom linken Auflagerrand durch den Querschnitt (gedanklicher Schnitt $s-s$). Der Träger hat eine beliebige Länge L. Im Abstand a vom linken Auflagerrand greift die Kraft F_1 an.</p>
	<p>Betrachtet man nun den linken Trägerteil allein, mit den daran angreifenden Kräften (inkl. Auflagerkräfte), fällt auf, dass dieses System, nicht mehr im Gleichgewicht steht.</p>
	<p>Um nun das Gleichgewicht wieder herstellen zu können wurden nun die möglichen Schnittgrößen eingezeichnet, jeweils so dass diese positiv wirken. Um nun den Betrag und das Vorzeichen zu bestimmen, stellt man alle 3 Gleichgewichtsbedingungen im Punkt S auf. Es gibt insgesamt 3 verschiedene Schnittgrößen:</p> <ul style="list-style-type: none"> → N (Normalkraft oder Längskraft) → Q (Querkraft) → M (Biegemoment)

Die Normalkraft bzw. Längskraft

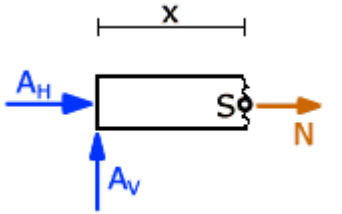
Die Normalkräfte wirken parallel zur Stabachse im Trägerteil. Diese sind auch als Zug- oder Druckkräfte bekannt.

Normalkräfte die an unserem System ziehen haben ein positives- und welche daran drücken ein negatives Vorzeichen.

Ein kleiner Tipp zur Vorzeichenregelung bei Normalkräften:

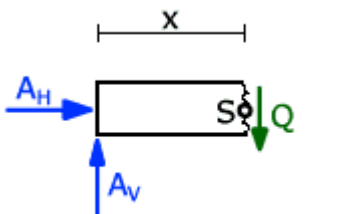
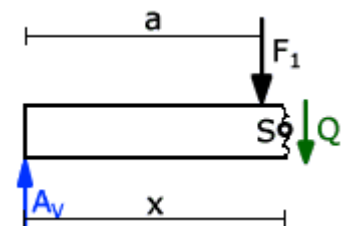
Wenn mich jemand unter **Druck** setzt, dann finde ich das **negativ**.

Wenn mich aber jemand einen Berg hinauf **zieht**, dann ist das **positiv**.

	<p>In unserem Beispiel haben wir nun die Normalkraft (positiv wirkend) angetragen. Aus der Summe der horizontalen Kräfte folgt somit:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $A_H + N = 0$ → $N = -A_H$ <p>Aus dem Vorzeichen folgt, dass es sich hier um eine Druckkraft handelt, da dieses negativ ist.</p>
---	---

Die Querkraft

Die Querkräfte wirken lotrecht zur Stabachse. Sie sind positiv, wenn sie am linken Teil des freigeschnittenen Trägers (linkes Schnittufer) von oben nach unten und am rechten Teil von unten nach oben gerichtet sind.

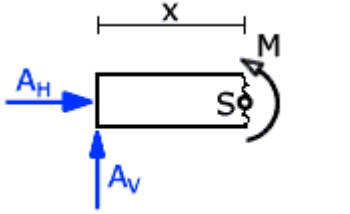
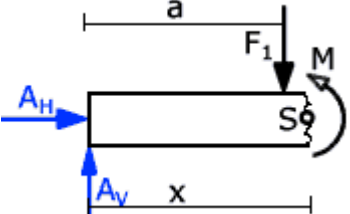
	<p>Bei unserem Beispiel bilden wir nun für die Bestimmung der Querkraft die Summe der horizontalen Kräfte:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $A_V - Q = 0$ → $Q = A_V$ <p>Die Querkraft ist nun hier positiv. Jedoch muss beachtet werden, dass dies nur bis zum Abstand a vom linken Auflagerrand gilt, da am Träger dort noch eine zusätzliche vertikale Kraft (F_1) angreift.</p>
	<p>Nachdem die Kraft F_1 angreift ändert sich die Querkraft, da F_1 zusätzlich zur Auflagerkraft wirkt. In diesem Fall:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $A_V - Q - F_1 = 0$ → $Q = A_V - F_1$ <p>Man könnte die Querkraft jedoch auch über das rechte Schnittufer berechnen. Zu Beachten wäre hier nur, dass dort die Querkraft positiv ist, wenn diese von unten nach oben wirkt.</p>

Das Biegemoment

Die von außen an einem Träger angreifenden Kräfte werden über den Träger in die Auflager abgeleitet. Schneidet man nun durch ein System, so stellt man fest, dass dieses dadurch verdreht werden würde. Um nun hier wieder ein Gleichgewicht herstellen zu können wirkt als innere Größe das Biegemoment

entgegen. Es wird bezogen auf den Schwerpunkt des entsprechenden Schnittes ermittelt.

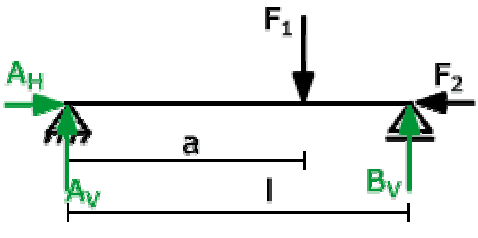
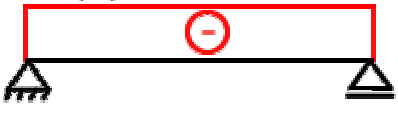
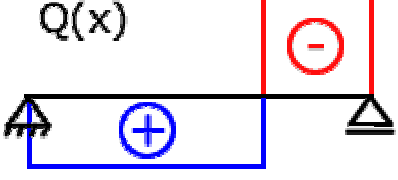
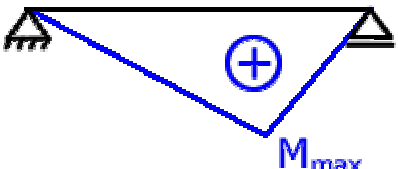
Ein Biegemoment ist vom Betrag her positiv, wenn es an der Unterseite des Trägers Zug erzeugt (wenn sich der Träger nach unten durchbiegt).

	<p>Bei unserem Beispiel bilden wir nun für die Bestimmung des Biegemomentes die Summe aller Momente um den Punkt S:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $M - A_V \times x = 0$ → $M = A_V \times x$ <p>Da die Wirkungslinie von A_H durch den Punkt S geht, erzeugt diese Kraft kein Moment. An dem Ergebnis ist weiterhin auffällig, dass dieses keinen konstanten Wert liefert sondern von x abhängig ist.</p>
	<p>Wie schon bei der Querkraft gilt das obere Ergebnis nur so lange keine weitere Kraft angreift. Das angreifen einer Kraft erzeugt einen Knick im Momentenverlauf. Für x größer a gilt:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $M - A_V \times x + F_1 \times (x - a) = 0$ → $M = -x(A_V + F_1) + F_1 \times a$

Grafische Darstellung - Zustandslinien

Da die Schnittgrößen über die Länge jeweils veränderliche Werte oder sogar Sprünge aufweisen, werden diese grafisch dargestellt. So werden die Verläufe übersichtlich und verständlich.


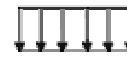


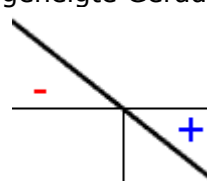
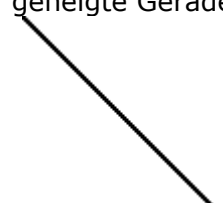

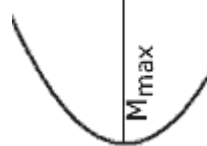
Die jeweiligen Linienzüge stellen die Funktionen $N(x)$, $Q(x)$ und $M(x)$ dar. Sie werden auch als Zustandslinien bezeichnet. Für unser Beispiel sehen die Zustandslinien folgendermaßen aus:

	<p>Hier sind alle am System angreifenden Kräfte angetragen. Die Auflagerkräfte sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> → $A_H = F_2$ → $A_V = F_1 - (F_1 \times a) / l$ → $B_V = (F_1 \times a) / l$
<p>$N(x)$</p> 	<p>Bei diesem System erzeugen nur die horizontalen Lasten eine Normalkraft. Da es sich hier um Druck handelt ist das Vorzeichen negativ. Da zwischen den Auflagern keine horizontale Kraft angreift, ist der Normalkraftverlauf konstant.</p> <p>→ $N(x) = F_2$</p>
<p>$Q(x)$</p> 	<p>Der Querkraftverlauf ergibt sich rein aus den vertikalen Kräften. Der Sprung am linken Auflager ist vom Betrag her so groß wie A_V, rechts wie B_V und in der Mitte ist der Sprung F_1.</p>
<p>$M(x)$</p> 	<p>Das maximale Moment M_{max} lässt sich ermitteln, indem man im Abstand a vom linken Auflagerrand gedanklich den Träger durchschneidet und dann das Gleichgewicht an dieser Stelle bildet.</p> <ul style="list-style-type: none"> $M_{max} - A_V \times a = 0$ $M_{max} = A_V \times a$ $M_{max} = [F_1 - (F_1 \times a) / l] \times a$

2.5 Zusammenhänge Belastung – Schnittgrößen

Zwischen der Belastung und der Schnittgrößen bestehen Beziehungen. Für die gängigsten Lastarten lohnt es sich den Verlauf zu merken. So ist es möglich den Verlauf der Schnittgrößen schnell und mit geringstem Rechenaufwand zu ermitteln.

Folgende Tabelle stellt die wichtigsten Beziehungen zwischen der Belastung, des Querkraft- und Momentenverlaufes dar:

	keine Last		
Q	horizontal 	Sprung 	geneigte Gerade 
M	geneigte Gerade 	Knick 	quadratische Parabel 
	In Bereichen wo keine Last angreift verläuft die Querkraft immer horizontal (konstant) und das Moment immer als geneigte Gerade.	Greift eine einzelne Last bzw. Kraft an, so springt der Querkraftverlauf um deren Betrag. Im Momentenverlauf ist an dieser Stelle dann ein Knick.	Linienlasten bewirken, dass sich der Querkraftverlauf direkt proportional ändert. Der Verlauf des Momentes ist eine Quadratische Parabel.

Aus dem Diagramm lässt sich auch eine gewisse Beziehung zwischen der Querkraft und des Momentes erkennen.

Betrachten wir nun die Verläufe als Funktionen, so kann man feststellen, dass der Wert der Querkraft immer die Steigung des Momentes darstellt. Daraus lassen sich nun ganz einfach ein paar Beziehungen herleiten:

- am Nulldurchgang der Querkraft befindet sich M_{\max}
- ist $Q(x)$ positiv so steigt der Momentenverlauf
- ist $Q(x)$ negativ so fällt der Momentenverlauf
- gibt es einen Sprung im Querkraftverlauf, springt die Steigung des Momentenverlaufes (deshalb entsteht ein Knick)

Die Beziehung zwischen Belastung, Querkraft und Moment lassen sich auch mathematisch darstellen. Über die Differentialbeziehung der Biegelinie lässt

sich diese herleiten. Auf die Herleitung möchte ich nicht eingehen, da die praktische Anwendung hier im Vordergrund steht.

Es besteht folgende Beziehung:

$M(x) = Q'(x) = q''(x)$	(q = Belastung)
Die erste Ableitung des Momentenverlaufes ergibt den Querkraftverlauf und die zweite den Verlauf der Belastung. Integriert man einfach die Belastung über die Länge des Trägers bekommt man den Querkraftverlauf usw.	