

2 Tragwerksmodelle der Stabstatik

Reale Bauwerke sind immer drei-dimensionale Körper. Die Beschreibung der Eigenschaften und die Untersuchung des Verhaltens räumlicher Körper unter äußeren Einwirkungen ist jedoch sehr aufwändig, sodass in der Regel Vereinfachungen erforderlich und sinnvoll sind, die eine effiziente Berechnung zulassen. Die Beschreibung der wesentlichen Eigenschaften eines Bauwerks mit physikalisch begründeten Ansätzen heißt *Modellbildung*.

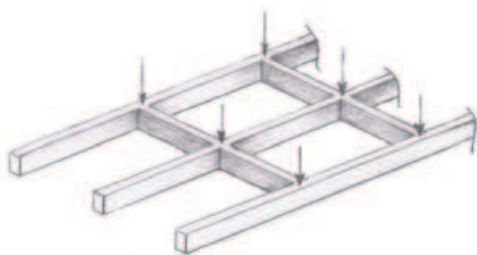
In der Baustatik interessiert in der Regel das Trag- und Verformungsverhalten der tragenden Teile der Bauwerke, sodass die Modelle die Einwirkungen, das Tragwerk und seine Steifigkeiten erfassen müssen. Die in der Baustatik zu analysierenden Tragwerke sind oft so gestaltet, dass ihr Trag- und Verformungsverhalten ausreichend genau über das Verhalten einer Referenzachse bei Stabtragwerken oder einer Referenzfläche bei Flächentragwerken beschrieben werden kann. Die für die Berechnung zulässigen Vereinfachungen und Ersatzmodelle richten sich nach den Einwirkungen und dem hieraus zu erwartenden Spannungs- und Verformungszustand.

2.1 Einordnung der Tragwerke

Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale der Tragwerke folgen aus der geometrischen Form, den Einwirkungen und dem Tragverhalten.

Gerade Stabtragwerke

sind Balken (Biegung), Stützen (Druck) und Seile (Zug). Die aus Einzelstäben zusammengesetzten Tragwerke sind Fachwerke (Druck- und Zugstäbe), biegesteife Rahmen (Biegung mit Druck oder Zug) sowie Trägerroste (Biegung und Torsion). Trägerroste sind ebene gekreuzte Balkensysteme, die senkrecht zur Tragwerksebene belastet sind.



Trägerrost aus Biege- und Torsionsstäben



Rahmentragwerk

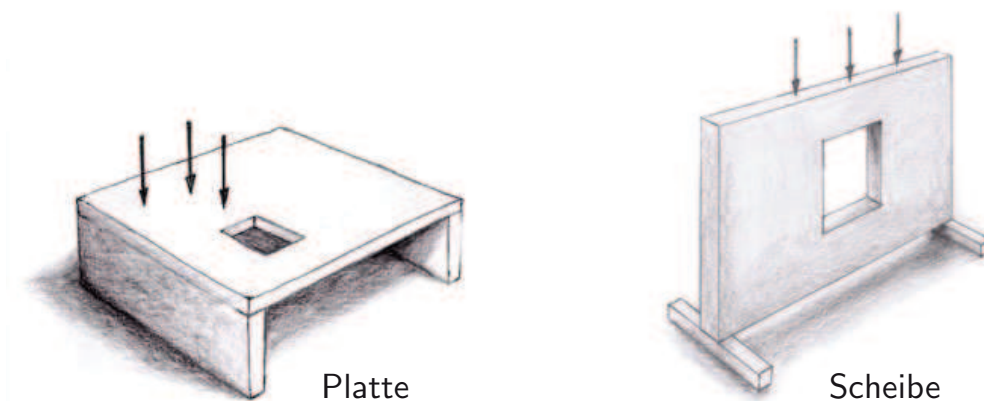
Gekrümmte Stabtragwerke

sind Bogentragwerke, die große Druck- und Zugkräfte, aber nur geringe Biegebeanspruchungen aufnehmen können. In der Regel sind sie mit anderen Bauteilen kombiniert, um die jeweiligen Vorteile im Tragverhalten oder in der Funktion möglichst gut einsetzen zu können. Nachfolgend ist eine Stabbogenbrücke skizziert, siehe [23], bei der der unten angeordnete Bogen bei geringem Materialeinsatz große Stützweiten überbrücken kann, und die darauf angeordneten Stützen die Lagerkräfte der als Durchlaufträger ausgebildeten Fahrbahn nach unten leiten.



Ebene Flächentragwerke

sind Tragwerke mit zwei ausgezeichneten Tragrichtungen. Wenn sie in ihrer Ebene belastet sind, werden sie als Scheiben bezeichnet, die eine Membranbeanspruchung mit Zug-, Druck-, und Schubkräften erfahren, und als wandartige Träger eingesetzt. Wirkt die Belastung senkrecht zur Tragwerksebene, entwickelt das Tragwerk ein Biegetragverhalten mit Biege- und Torsionsmomenten in beiden Richtungen und wird als Platte bezeichnet.



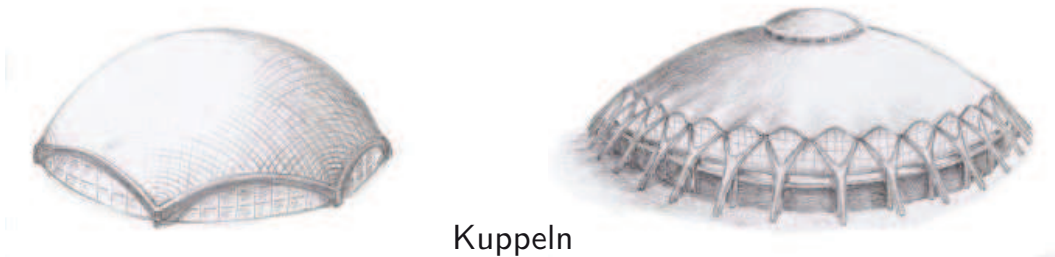
Gekrümmte Flächentragwerke

werden als Schalen bezeichnet. Wenn die Einwirkungen flächig verteilt wirken, sind Schalen vorwiegend auf Druck und Zug in der Tragwerksfläche beansprucht. Sie können dann mit geringer Wandstärke und großer Schlankheit konstruiert werden. Im Randbereich und unter Einzellasten erfahren Schalen auch Biegebeanspruchungen, die jedoch nur örtlich begrenzt und für den Lastabtrag nicht wesentlich sein dürfen. Gekrümmte Flächentragwerke, die ihre Einwirkungen vorwiegend über Biegung tragen, können daher nicht als Schalen bezeichnet werden.

Schalen vereinigen mit ihrer ansprechenden Form und ihrem günstigen Tragverhalten zwei wesentliche Bauwerkseigenschaften. Ungünstig ist die aufwändige Herstellung, sodass Schalentragwerke im Wesentlichen auf repräsentative Bauwerke oder regelmäßige Geometrien beschränkt sind.



Kühlturm

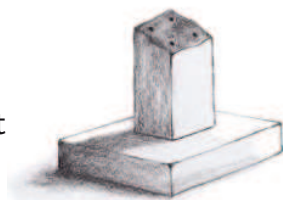


Kuppeln

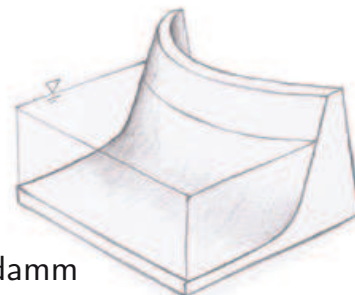
Gedrungene Bauwerke

sind z. B. Fundamente, Staudämme oder Reaktordruckbehälter. Sie weisen in der Regel einen räumlich stark veränderlichen Verformungszustand auf, der nur schwer auf eine Tragwerksachse oder -fläche reduziert werden kann. Die Berechnungsmodelle müssen hier den drei-dimensionalen Spannungs- und Verformungszustand beschreiben können.

Stützen-
fundament



Staudamm



2.2 Idealisierung der Tragwerke

Das idealisierte Tragwerk mit Lagerung und Einwirkung wird im weiteren als *statisches System* bezeichnet. Nachfolgend sind die wesentlichen Idealisierungen der Stabstatik angegeben, mit denen die Geometrie, das Werkstoff- und das Tragverhalten vereinfachend beschrieben werden können.

2.2.1 Stabtragwerke

Die Stabstatik befasst sich mit Tragwerken, deren Verformungszustand mit Hilfe kinematischer Annahmen vereinfachend durch die Weggrößen einer Tragwerksachse beschrieben werden kann. Hier wird die Bernoulli-Hypothese entsprechend Abschnitt 3.4 angesetzt. Gleichzeitig wird der Spannungszustand integral durch diejenigen Kräfte und Momente der Tragwerksachse beschrieben, die auf den Weggrößen der Stabachse Arbeit leisten können.

Mit der Reduktion des Verformungs- und Spannungszustandes auf die Tragwerksachse werden aus dem drei-dimensionalen Stabkontinuum zwei Koordinaten eliminiert, sodass eine Berechnung des Tragwerks analytisch möglich wird. Der Einfluss der hierbei gemachten Vereinfachungen hängt von den Bauwerksabmessungen ab, ist aber bei geometrischen Verhältnissen von Länge zu Dicke und Länge zu Breite > 4 vernachlässigbar.

Nachfolgend werden ebene Stabtragwerke untersucht. Räumliches Tragverhalten kann vereinfachend mit ebenen Tragwerken beschrieben werden, vergleiche Bild 2-1. Federsteifigkeiten, wie für den Stab 2 in Ebene 2-5 angedeutet, werden vernachlässigt. Ebene Tragwerke liegen auf der sicheren Seite, wenn räumlich vorhandene Tragwirkungen und Steifigkeiten nicht berücksichtigt sind.

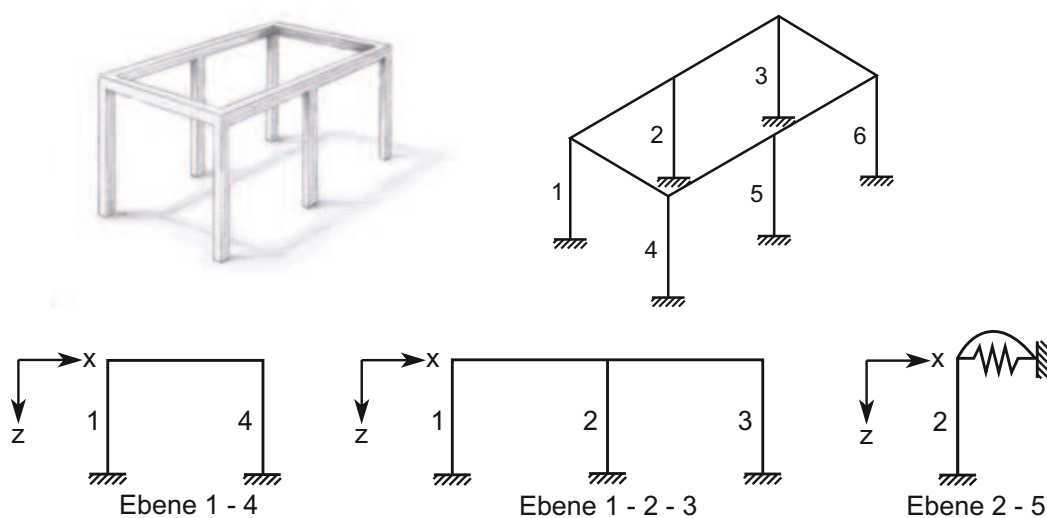


Bild 2-1 Statische Systeme für ein räumliches Rahmentragwerk

2.2.2 Lager und Gelenke

Die Lagersteifigkeit von Tragwerken ist in der Realität oft nicht genau feststellbar. Ein in den Baugrund gebettetes Fundament ist weder fest eingespannt noch gelenkig gelagert. Entscheidend für den Grad der Einspannung ist das Verhältnis der Steifigkeiten des Tragwerks und des angrenzenden Bodens oder Bauwerks. Für die Berechnung der Tragwerke werden vereinfachend die Lagerungsarten nach Bild 2-2 gewählt, in der auch die vom jeweiligen Lager aufnehmbaren Kräfte und Momente angegeben sind.

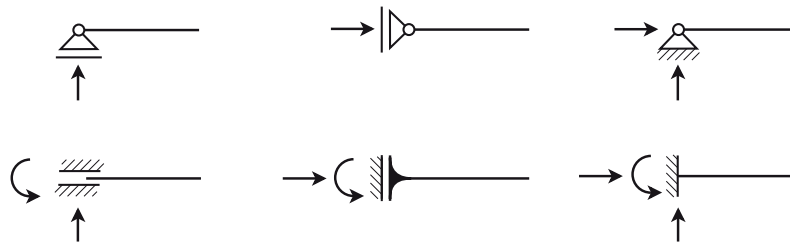


Bild 2-2 Lagerungsarten und Reaktionskräfte im Lager

Auch die Verbindungen von Tragwerksteilen untereinander sind in der Regel weder starr noch vollständig gelenkig. Hier setzt man entsprechend Bild 2-3 Gelenke für Momente und Querkräfte sowie Schiebehülsen für Normalkräfte an, wenn die Konstruktion entsprechend ausgebildet ist oder die Steifigkeiten geschwächt sind.

Schiebehülse	Querkraftgelenk	Momentengelenk
$N = 0$	$Q = 0$	$M = 0$
$Q \neq 0$	$N \neq 0$	$Q \neq 0$
$M \neq 0$	$M \neq 0$	$N \neq 0$

Bild 2-3 Verbindungselemente

Aufgrund der in der Wirklichkeit vorhandenen Lagersteifigkeiten, der Reibung oder der Maßungenauigkeiten sind fast immer *Nebenspannungen* vorhanden, die zwar für das Systemtragverhalten unbedeutend sind, örtlich aber konstruktiv berücksichtigt werden müssen. Gelenke oder verschiebbliche Lager sind in der Realität in der Regel nicht perfekt ausgebildet, sondern als Querschnittschwächung konstruiert. Für die Modellbildung sind die Steifigkeitsverhältnisse benachbarter Bauteile entscheidend. In Bild 2-4 sind den idealisierten Lagern und Gelenken wirkliche Konstruktionen gegenübergestellt.

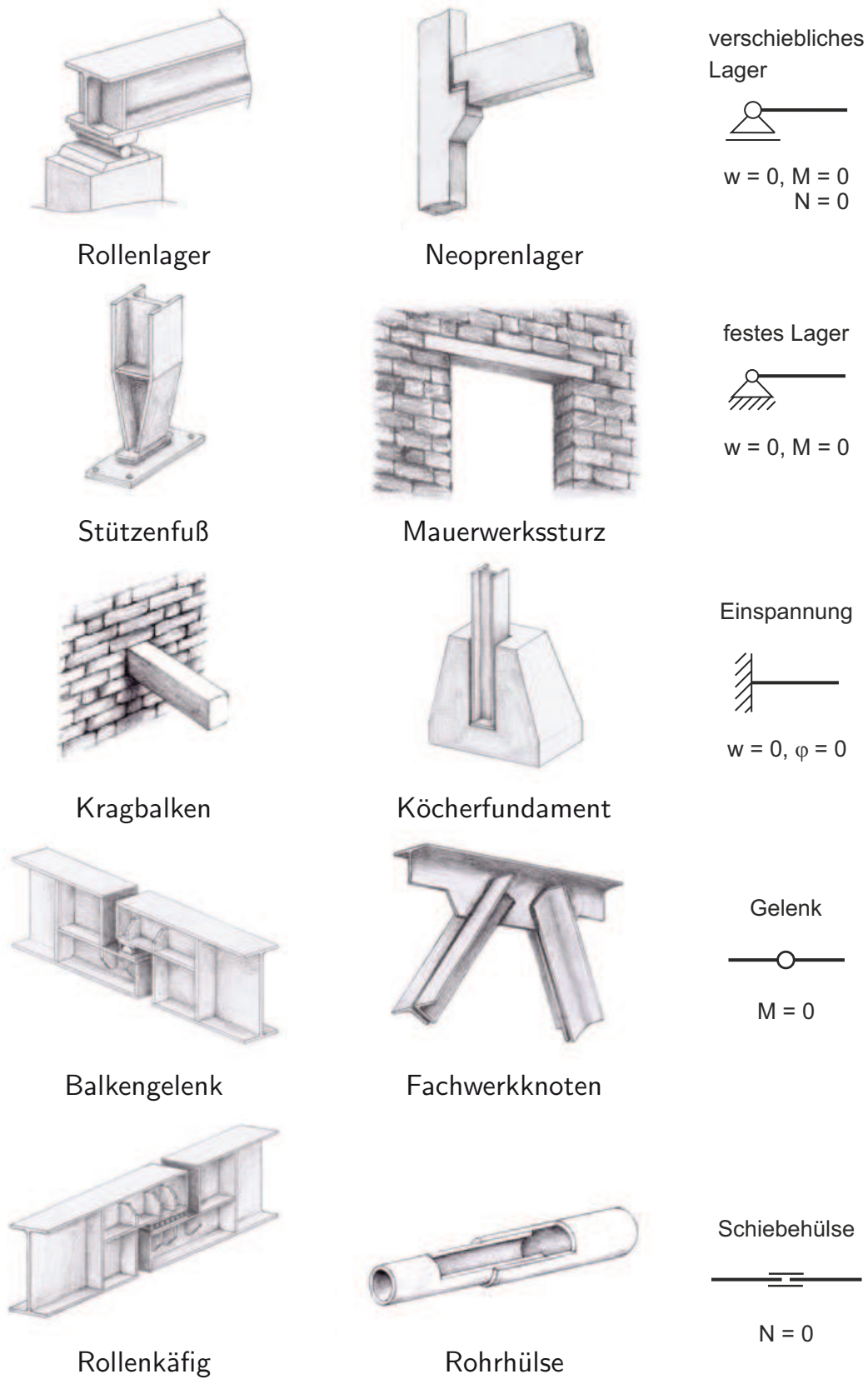


Bild 2-4 Reale Stützungen und Anschlüsse des konstruktiven Ingenieurbaus

2.2.3 Werkstoffe

Reale Werkstoffe zeigen im einaxialen Zug- und Druckversuch ein mehr oder weniger ausgeprägt nichtlineares Spannungs-Dehnungsverhalten. Baustahl weist unter Zug- und Druckspannungen einen nahezu linear-elastischen Verformungsbereich unterhalb der Fließspannung auf, vergleiche Bild 2-5-links. Spannungssteigerungen oberhalb der Fließspannung sind wegen des ausgeprägt duktilen Verhaltens mit sehr großen Dehnungen oder Stauchungen verbunden. Beton verhält sich im Druck und Zugbereich sehr unterschiedlich und stark nichtlinear. Unter Druckbeanspruchung kann Beton sehr große Spannungen bei geringer Duktilität aufnehmen. Im Zugbereich zeigt der Werkstoff bei geringen Spannungen Spröbruchversagen. Weiterhin sind unter Last in der Zeit anwachsende Verformungen infolge Kriechen vorhanden.

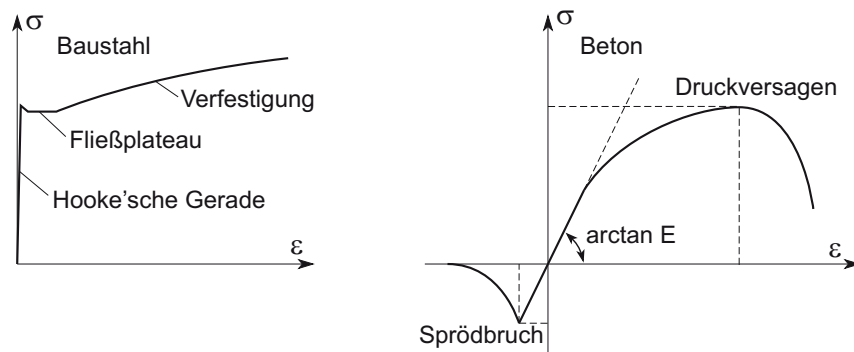


Bild 2-5 Reales Werkstoffverhalten: Baustahl (links) – Beton (rechts)

Für die Berechnung eignen sich nichtlineare Werkstoffkennlinien nur bedingt, da sie spezielle iterative Lösungsverfahren erfordern. Häufig setzt man daher vereinfachend Linearisierungen an. Im Rahmen der Elastizitätstheorie wird das Hooke'sche Gesetz verwendet, solange die Dehnungen genügend klein sind. Im Stahlbau ist das Plastifizieren des Werkstoffs in die Bemessungskonzepte eingebunden. So wird das Materialverhalten beim Traglastverfahren vereinfachend als *elastisch-plastisch* entsprechend Bild 2-6 berücksichtigt.

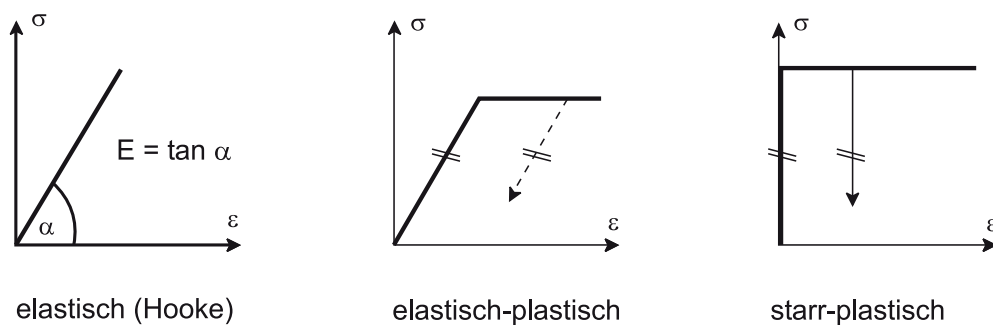


Bild 2-6 Idealisiertes Werkstoffverhalten

Aus verschiedenen Komponenten hergestellte Werkstoffe bezeichnet man als *Verbundwerkstoffe* (z. B. Stahlbeton, faserverstärkte Kunststoffe). Hierbei übernimmt die Faser (z. B. Stahl, Glas, Kohle) die Zugspannungen. Der Matrixwerkstoff (z. B. Beton, Kunststoff) gibt die äußere Form, wirkt für die Fasern stabilisierend und übernimmt teilweise die Druckspannungen. In modernen Konstruktionen wird Glas auch als Konstruktionswerkstoff für tragende Bauteile verwendet.

2.3 Idealisierung der Einwirkungen

Bauwerke erfahren je nach Verwendungszweck unterschiedliche Wechselwirkungen mit der Umwelt. Dies sind die Einwirkungen, die von außen auf das Tragwerk wirken und den Spannungs- und Verformungszustand des Tragwerks verändern. Die im Regelfall anzusetzenden Einwirkungen sind in der Normenreihe DIN 1055 [25] und im Eurocode EC 1 [27] angegeben. Einwirkungen können zeitkonstante oder zeitveränderliche Kraft- und Wegwirkungen sein. Sie können auf das Tragwerk räumlich (z. B. Volumenkräfte, Erwärmung) oder flächig (an der Oberfläche) einwirken. Im statischen System werden sie über den Querschnitt integriert und als Einwirkungen der Tragwerksachse bzw. -fläche beschrieben.

Einwirkungen können oft nur relativ ungenau quantifiziert werden, da sie in der Regel erst im Gebrauch des Bauwerks auftreten. In den Regelwerken sind daher auf der sicheren Seite liegende Werte gewählt, um die unzureichende Kenntnis im Einzelfall kompensieren zu können.

2.3.1 Lasten

Kraftwirkungen sind im weiteren als Lasten bezeichnet. Sie werden im Berechnungsmodell im Gleichgewicht berücksichtigt.

a) Das Eigengewicht ist ständige Last. Es entsteht aus der Gravitationswirkung und ist im realen Tragwerk räumlich verteilt. Im Berechnungsmodell wird es als äußere Last auf das unbelastete statische System aufgebracht.

b) Nutz- u. Verkehrslasten können räumlich und zeitlich veränderlich sein. Dies sind z. B. Personen, Lagerstoffe, Fahrzeuge, Kranlasten, auch Ersatzlasten für nicht näher definierte Einwirkungen. Nutzlasten sind vorwiegend ruhend (z. B. Lagerstoffe). Verkehrslasten sind nicht vorwiegend ruhend (z. B. Fahrzeuglasten, Bremskräfte, Massenträgheiten).

In Bild 2-7 ist ein Lastmodell für die Einwirkungen auf Straßenbrücken dargestellt. Das Modell enthält für die einzelnen Fahrstreifen Einzel- und Gleich-

lasten unterschiedlicher Größe, die den Schwerlastwagen sowie die Personenkraftwagen erfassen.

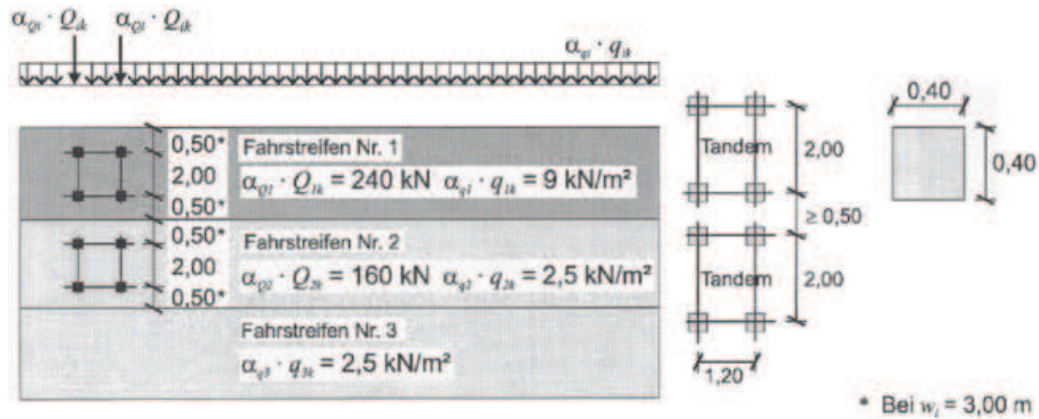


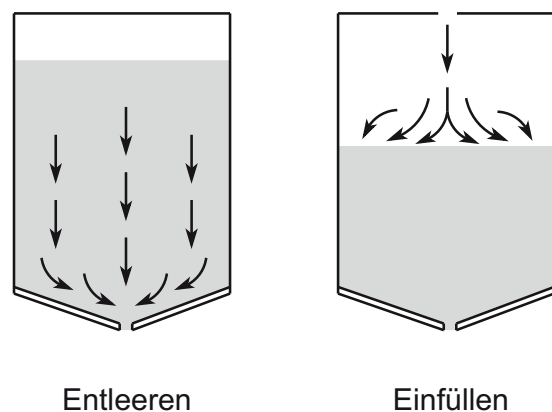
Bild 2-7 Lastmodell 1 aus DIN Fachbericht 101 [26]

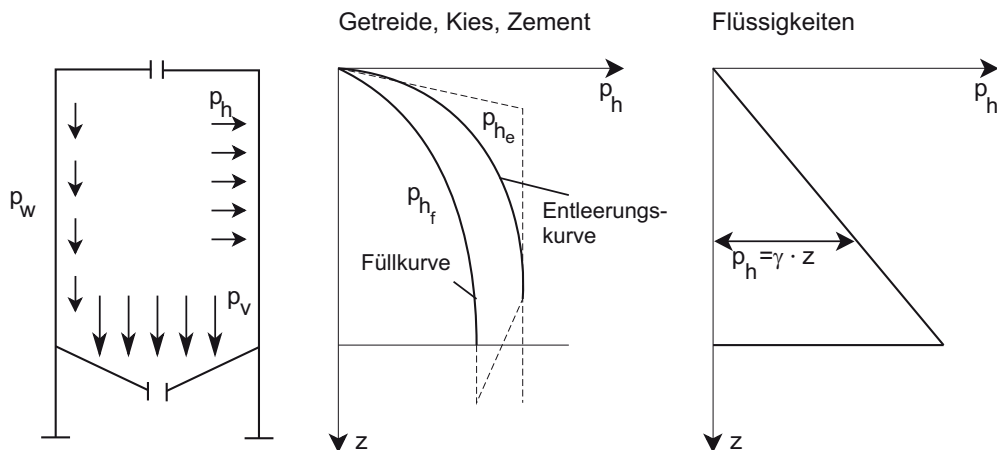
c) Windlasten sind stochastisch in Raum und Zeit veränderlich. Sie hängen vom Staudruck, den Umgebungsbedingungen sowie den geometrischen Abmessungen und der Form des Bauwerks ab. Im statischen System werden sie vereinfachend als zeitkonstante Lasten angesetzt, wobei die Größe der Windlast mit Hilfe des Geschwindigkeitsdrucks q und dem tragwerksabhängigen Druckbeiwert c_p bestimmt ist.

d) Schneelasten sind mit extremen Wetterlagen für unterschiedliche Wetterzonen quantifiziert. Sie hängen von der Dachneigung und der jeweiligen Situation am Bauwerk ab. Einflussparameter wie Feuchte, Dichte und Art des Schnees werden nicht unterschieden.

e) Für Silos und Behälter sind besondere Lastannahmen erforderlich, die den jeweiligen Beanspruchungszustand beim Füllen, bei der Lagerung und beim Entleeren von Flüssigkeiten und Schüttgütern erfassen.

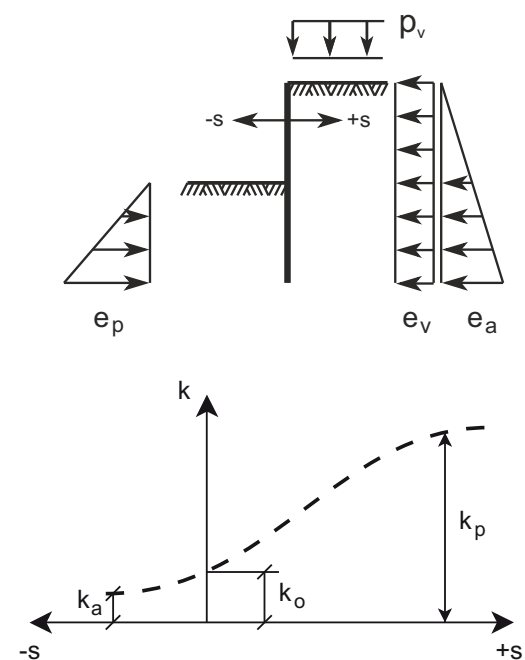
So hängen die Einwirkungen auf die Silowand u. a. vom Bewegungszustand und von der Dichte des Füllgutes ab. Infolge Massenträgheit des Schüttgutes sind die Vertikalkräfte p_v beim Füllen am größten. Beim Entleeren treten die größten Horizontallasten p_h und Wandreibungslasten p_w auf, wenn sich eine Gewölbewirkung einstellt und sich das Schüttgut an der Silowand abstützt.





f) Baugrundlasten entstehen aus Erddruck. Der Erddruck e wird mit den Einwirkungen γ, p und dem Erddruckbeiwert k bestimmt. Bei aktivem Erddruck e_a, k_a drückt das Erdreich auf das nachgebende Tragwerk. Beim Erdruchdruck (ungestörter Zustand) e_o, k_o sind keine Verschiebungen des Erdreichs und des Tragwerks vorhanden. Passiver Erddruck e_p, k_p entsteht, wenn das Tragwerk gegen das Erdreich drückt.

Beispiel Spundwand



Der Erddruck ist mit der Last festgelegt. So ist der Erddruck aus Eigengewicht mit der Dichte γ

$$e = \gamma \cdot h \cdot k_g$$

und aus Verkehrslast mit

$$e_v = p_v \cdot k_p$$

festgelegt. Die Erddruckbeiwerte sind vom Winkel der inneren Reibung φ des Baugrunds und damit vom jeweils vorliegenden, in der Regel geschichteten Material abhängig. Richtwerte sind

$$k_{go} = 0,5$$

$$k_{gp} = 3 \dots 5$$

$$k_{ga} = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$$

Der Winkel der inneren Reibung ist z. B. für Kies $\varphi = 35^\circ$.

g) Dynamische Effekte aus Stoßeinwirkung, Erdbeben, Maschinenschwingungen bewirken eine Veränderung des Spannungs- und Verformungszustandes gegenüber einer statischen Betrachtung. Sie werden in der Regel mit einem Schwingbeiwert φ und statischen Ersatzlasten erfasst.

2.3.2 Verformungen

Analog zu Kraftwirkungen auf ein Tragwerk sind auch Wegwirkungen möglich. Dies sind z. B. Lagersetzungen und -verdrehungen oder Dehnungen und Verkrümmungen aus Erwärmung. Sie führen zu Zwängungen und inneren Eigenspannungszuständen (bzw. Kräften, Momenten) bei Tragwerken, die sich nicht spannungsfrei verformen können. Eingeprägte Wegwirkungen werden in der Verformungsgeometrie berücksichtigt.

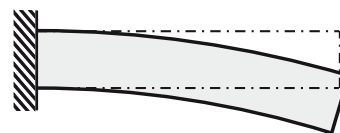
a) Ein Wärmez- oder -abfluss bewirkt im Bauwerk Temperaturänderungen, die über die Tragwerksdicke konstant oder nichtkonstant sein können. Wenn z. B. auf der Außenseite eines Tragwerks andere Temperaturen vorliegen als auf der Innenseite, ist ein Dehnungsgradient die Folge, der das Tragwerk verkrümmt. Die Größe der bei der Erwärmung im Tragwerk auftretenden Dehnungen bzw. Stauchungen ε_T hängt vom Wärmeausdehnungskoeffizienten α_T ab:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_T &= + \alpha_T \cdot (T_1 - T_0) \\ \kappa_T &= - \alpha_T \cdot (T_u - T_o)/h \end{aligned} \right\} \alpha_T \left\{ \begin{aligned} &= 10^{-5} \quad [1/^\circ\text{C}] \quad \text{Beton,} \\ &= 1,2 \cdot 10^{-5} \quad [1/^\circ\text{C}] \quad \text{Stahl.} \end{aligned} \right.$$

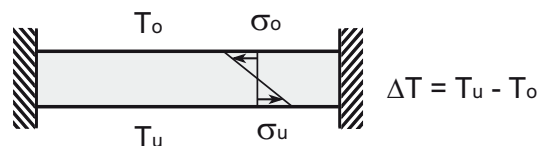
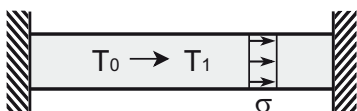
Kann sich das Tragwerk ungezwängt verformen, ist der Spannungszustand null, siehe Bild 2-8 oben. Liegt eine Dehnungsbehinderung vor, stellt sich ein Eigenspannungszustand ein. Zu beachten ist, dass die Dehnungen bei Voll-einspannung schon bei ca. 50°C Temperaturdifferenz die Größenordnung der Dehnungen aus planmäßigen Lasten erreichen können. In der Regel sind die Zwänge infolge der Nachgiebigkeit der Anschlüsse jedoch geringer.



gleichmäßige Erwärmung



ungleichmäßige Erwärmung

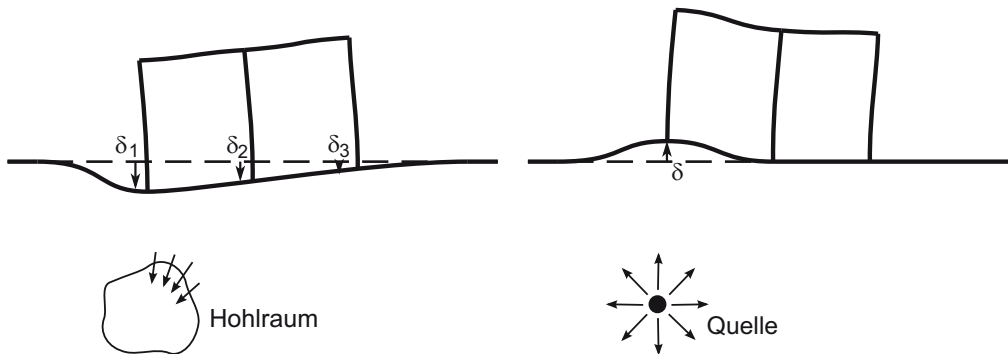


$$\left. \begin{aligned} \sigma &= -E \cdot \alpha_T (T_1 - T_0) \\ N &= -EA \cdot \alpha_T (T_1 - T_0) \\ M &= 0 \end{aligned} \right\}$$

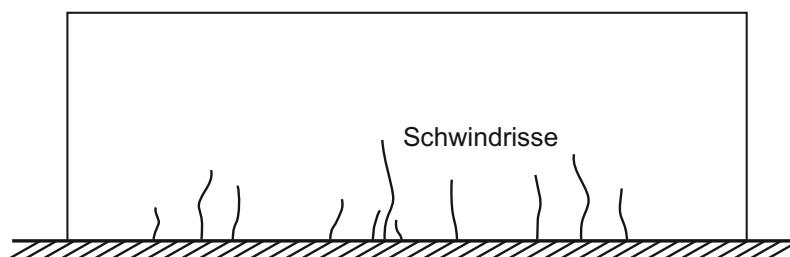
$$\left. \begin{aligned} \sigma_{o/u} &= \pm E \cdot \alpha_T \frac{1}{2} \Delta T \\ N &= 0 \\ M &= -EI \cdot \alpha_T \Delta T/h \end{aligned} \right\} w = 0.$$

Bild 2-8 Stabtragwerke bei Erwärmung - hier ohne Querrichtung

b) Lagerverschiebungen oder -verdrehungen können als Folge von Setzungen oder Hebungen des Baugrundes erfolgen. Dies kann beim Einbrechen von unterirdischen Hohlräumen in Bergbaugebieten auftreten, bei ungleichmäßig nachgebendem Baugrund und auch bei Erdbeben. Hebungen treten z. B. beim Quellen von bindigen Böden infolge von Wasseraufnahme auf, oder beim Gefrieren des Baugrundes, wenn keine frostsichere Gründung vorliegt.



c) *Schwinden* ist die Verkürzung des Betons beim Erhärten. Das Schwinden führt zu Schwindrissen, wenn die inneren Spannungen im Betonbauteil die Zugfestigkeit des Betons überschreiten. Dies kann auftreten, wenn die Temperatur im Betonbauteil beim Erhärten sehr ungleichmäßig ist, oder wenn die Verkürzung durch angrenzende Lagerung behindert wird.



d) *Kriechen* ist eine in der Zeit anwachsende Verformung des Werkstoffs infolge eines ständig wirkenden Spannungszustandes. Die Verformungsgeschwindigkeiten sind sehr gering, sodass man im Bauwesen in der Regel die Endwerte ansetzen kann. Kriechen ist bei Holz, Beton und Kunststoffen zu beachten, bei Metallen nur bei höheren Temperaturen.

In gezwängten Bauteilen, deren Spannungszustand z. B. aus Lagerverschiebungen, Lagerverdrehungen oder Erwärmung entsteht, kann der umgekehrte Prozess ablaufen. Bleibt der Verformungszustand zeitlich konstant, verringern sich die Spannungen mit der Zeit, der Werkstoff *relaxiert*.

2.4 Beispiele für Tragwerksmodellierungen

Brückentragwerk

Das obere Bild zeigt die Letziwaldbrücke, die der Schweizer Ingenieur Christian Menn 1959 entworfen und gebaut hat, siehe [23]. Die Brücke erscheint aufgrund des flachen Bogens extrem schlank und ist ästhetisch sehr ansprechend ausgeführt. Der Werkstoff Beton ist dem Felsgestein angepasst.



Bild 2-9 Letziwaldbrücke [23]

Im unteren Bild ist das statische System angegeben, das aus den tragenden Elementen Balken, Bogen und Fundament entsprechend den vorhandenen Einwirkungen besteht. Aufgrund der großen Steifigkeit des Baugrundes kann der untenliegende Tragwerksteil große Normalkräfte aufnehmen. Er ist als Dreigelenkbogen ausgeführt, sodass eine mögliche Lagersetzung keine weiteren Beanspruchungen bewirkt. Die seitlich angeordneten Verbindungselemente zwischen Balken und Bogen versteifen das Tragwerk zusätzlich.



Bild 2-10 Statisches System der Letziwaldbrücke

An den Lagern sind Querschotte angeordnet, die als Torsionseinspannungen wirken. Aufgrund der großen Steifigkeit und Festigkeit des Bogens und des anstehenden Felsgesteins ist das Tragwerk extrem schlank.

Hallenrahmen mit Kranbahn (Stahl)

Das obere Bild zeigt einen Ausschnitt der Versuchshalle im Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig. Unten ist das statische System der tragenden Elemente angegeben.



Bild 2-11 Versuchshalle im Leichtweiß-Institut für Wasserbau

Der Dachbinder ist als Fachwerk mit steigenden und fallenden Streben ausgebildet. Die Stahlstützen sind in Höhe der Kranbahn abgesetzt und fest mit dem Dachbinder verbunden. Die Lagerkraft der Kranbahn lastet direkt auf dem Flansch des unten angeordneten I-Profils.

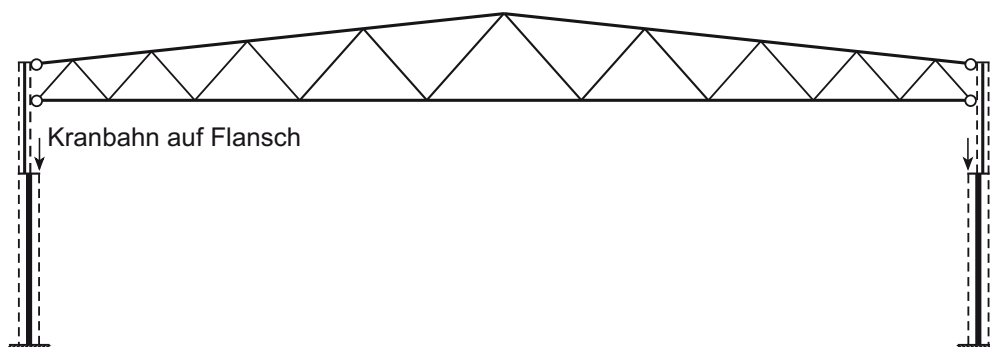


Bild 2-12 Statisches System des Hallenrahmens

Klappbrücke über den Peenestrom (Stahl)

Im Bild ist die Klappbrücke über den Peenestrom in Wolgast gezeigt. Die kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke wird mehrmals am Tag für den Schiffsverkehr geöffnet und muss daher filigran und beweglich gebaut sein. Die Brücke ist einflügelig und mit Waagebalken mit hochliegendem Gegengewicht versehen.



Bild 2-13 Klappbrücke mit Waagebalken in Wolgast

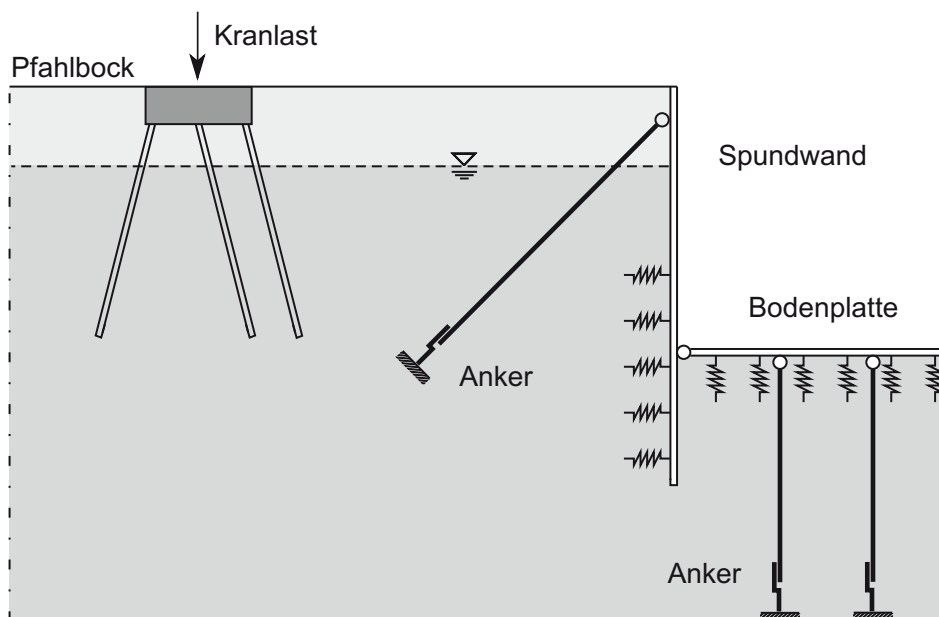
Die Brückenkonstruktion ist aus Stahl, da der Werkstoff im Druck und Zugbereich gleiche Festigkeiten aufweist sowie bei Wechselbeanspruchungen eine hohe Lastspielzahl zulässt. Außerdem ist mit der Stahlkonstruktion eine relativ filigrane Konstruktion möglich.

Infolge der unterschiedlichen Hebepositionen ändern sich die statischen Systeme und die Einwirkungen, sodass im Einzelfall sehr unterschiedliche Lastfallkombinationen und Spannungszustände zu untersuchen sind.

An dem beweglichen Brückenbauwerk wird deutlich, dass das Tragwerk nicht nur für statische Einwirkungen nachzuweisen ist, sondern dass aufgrund der speziellen Nutzung auch die Dynamik sowie die Kinematik eines Bauwerks entscheidend für den Entwurf sein können.

Trockendock (verschiedene Baustoffe)

Bild 2-14 zeigt einen Schnitt durch das Trockendock einer Werftanlage mit typischen Bauteilen. Dies sind Pfahlböcke, Spundwände, Bodenplatten und Verankerungselemente, die in der Regel verplombt werden. Die Elastizität des Bodens kann man mit Hilfe einer Bettung berücksichtigen, die als kontinuierliche Verteilung von Federn interpretierbar ist. Als wesentliche Einwirkungen sind hier Kranlasten, Wasser- und Erddruck angegeben, der von den Bodeneigenschaften sowie den Verformungen der Spundwand abhängt.



Belastung der Spundwand

Belastung der Bodenplatte

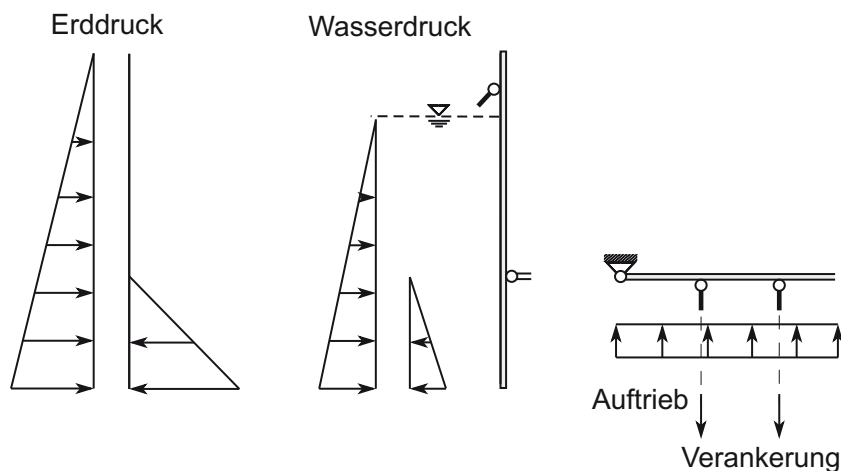


Bild 2-14 Einwirkungen und statische Systeme eines Trockendocks

2.5 Modellierungsfehler

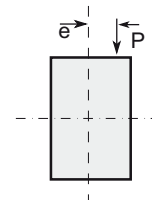
Die Idealisierung des Tragwerks muss so erfolgen, dass die in der Regel erforderlichen Vereinfachungen das Tragverhalten nicht verfälschen, sondern lediglich in der Größenordnung von Nebenspannungen beeinflussen. Zu beachten ist, dass die hierbei gemachten Fehler in keiner Berechnung nachweisbar sind. Nach jeder Berechnung sind daher die Ergebnisse zunächst mit der eigenen Anschauung sorgfältig zu überprüfen und dann zusätzlich mit dem wirklichen Tragwerk zu verifizieren. Ungenauigkeiten in der Modellbildung können an unterschiedlicher Stelle entstehen:

a) Das Tragwerksmodell kann zu ungenau gewählt sein, wenn man z. B. eine Scheiben- oder Plattentragwirkung mit einem Balkenmodell beschreibt. Dies kann eine sehr ungenaue Beschreibung des Spannungs- und Verformungszustandes zur Folge haben, was im Einzelfall zur Rissbildung oder zum Plastifizieren führen kann.

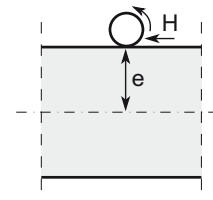
Die Übergänge zwischen angrenzenden Bauteilen müssen richtig modelliert werden. Dies ist z. B. bei der Verbindung einer Platte mit einem Unterzug oder einer Stütze zu beachten.

Lager sind in der Regel immer elastische Einspannungen. Das hieraus folgende Moment wird bei gelenkiger Lagerung vernachlässigt und bei fester Einspannung überschätzt.

b) Bei ebenen Tragwerken wird die Torsion nicht berücksichtigt. Zu beachten ist, dass Lasten oder Anschlüsse, die bezüglich der Tragwerksachse exzentrisch sind, Torsion hervorrufen und im Einzelfall eine Erweiterung des Modells erfordern. Ebenso wird beim Verspringen von Tragwerksachsen Torsion geweckt. Torsion ist für das globale Gleichgewicht wichtig, wenn keine aussteifenden Elemente vorgesehen sind.



c) Nebenspannungen sind Spannungen, die aus nicht berücksichtigten Zwängungen und Tragwirkungen entstehen, aber in der Regel vernachlässigbar sind. So können Fachwerkstäbe als gelenkig angeschlossen angesetzt werden, da die Biegespannungen im Anschluss vernachlässigbar sind. Bremslasten von Fahrzeugen bewirken nicht nur Normalkräfte in Stäben, sondern durch ihren exzentrischen Lastangriffspunkt bezüglich der Tragwerksachse auch verteilte Momente, die lokal zu Nebenspannungen führen.



Fehler in der Modellbildung können in der Berechnung nicht mehr bemerkt und korrigiert werden und sind daher besonders gefährlich.