



HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN

Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur

Studiengang: Bauingenieurwesen

Lehrgebiet: Konstruktiver Ingenieurbau

# MASTERARBEIT

## Wandelbare Brücken u. adaptive Tragsysteme im Brückenbau

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. H. Flederer

Bearbeitungszeitraum: (WS 18/19, SS 19, WS 19/20)

Verfasser

Hannes Müller

16.01.1995 Freiberg



Bildungsweg

2014-2018 Diplom Bauingenieur (FH) HTW Dresden

2011-2014 Abitur Berufsschulzentrum Freiberg

2005-2011 Realschulabschluss Oberschule Brand-Erbisdorf

### Aufgabenstellung

Gegenwärtig sind Brücken Tragwerke, die im Rahmen der Planung und Bauausführung so erstellt werden, dass sie mit einem durchweg passiven Tragsystem vielfältigen, teils signifikant veränderlichen Einwirkungen standhalten. Mit wenigen Ausnahmen sind Brückenbauwerke nicht wandelbar und selbst spätere Ertüchtigungen bzw. Reparaturen nur mit großem Aufwand möglich. Zielgerichtet entwickelte Tragsysteme eröffnen in Verbindung mit smarten Steuerungen und leistungsfähige Aktuatoren Möglichkeiten Brückenbauwerke so zu konzipieren, dass sie wandelbar sind und/oder adaptiv auf veränderliche Einwirkungen reagieren.

Vor diesem Hintergrund sind der Stand des Wissens, Prototypen, Möglichkeiten und Grenzen für wandelbare Brücken u. adaptive Tragsysteme im Brückenbau zu recherchieren. Soweit möglich soll eine Systematisierung vorgenommen und mit Beispielen hinterlegt werden. Darüber hinaus sind die etablierten Brückentragssysteme bzgl. Ihrer Verwendbarkeit sowie notwendiger Veränderungen zur adaptiven oder wandelbaren Nutzung zu untersuchen.

Aufbauend auf den grundlegenden Studien ist ein adaptives Brückenbauwerk zu entwerfen. Im Rahmen einer Entwurfsplanung soll dieses Bauwerk vorbemessen werden. Dabei sind Angaben zu den erforderlichen Funktionen und Leistungsparametern für die Steuerung und Aktuatoren zu erarbeiten. Eine Auslegung bzw. Auswahl dieser Elemente ist nicht Gegenstand der Arbeit.

### 1 Warum ist ein Umdenken erforderlich ?

Um die Spannweiten noch weiter erhöhen zu können, werden neue Materialien benötigt, wie zum Beispiel Faserverstärkte Kunststoffe. In Zukunft müssen die Bauwerke intelligent sein, indem sie auf äußere Einwirkungen reagieren oder sich sogar zusammenklappen, wenn sie nicht benötigt werden. Diese Bauwerke der Zukunft sind vielfältig nutzbar, kompakt und leicht, besitzen das Potential sich anzupassen und haben die Möglichkeit Bewegungen auszuführen.

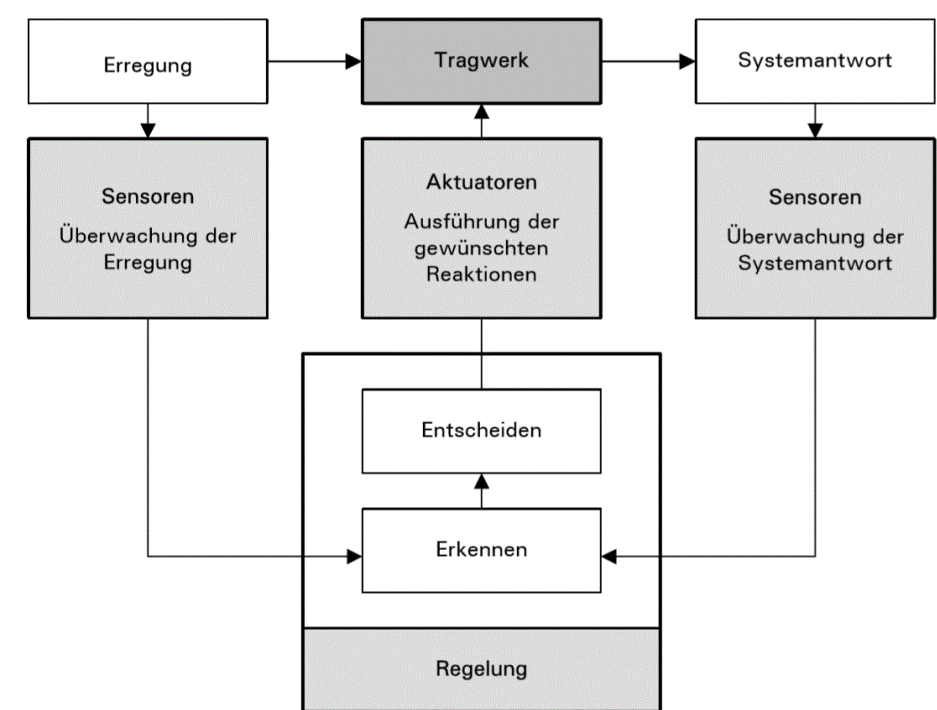


Abbildung: adaptive Tragstruktur

### 2 Klassifizierung der Systeme

#### Passive Systeme

Diese Systeme benötigen keine externe Energiezufuhr.

#### Aktive Systeme

Durch den Einsatz von Aktoren können die Bauwerke auf äußere Einflüsse gesteuert reagieren.

#### Semi-Aktive-System

Bei diesen Tragstrukturen können die Systemeigenschaften, wie Steifigkeit und Dämpfung angepasst werden.



Abbildung: biometrische Adaption im Knochen

### 3 Klassifizierung der Materialien

#### Multifunktional (passive smart)

Neben der Tragenden Wirkung können die Materialien auch weitere Funktionen übernehmen.

#### Adaptiv (active smart)

Diese Materialien können ihr Verhalten selbst einstellen.

#### Intelligent (very smart)

Hier können sogar unerwartete Fehler bewältigt werden.

#### Biometrisch

Die entscheidende neue Eigenschaft ist die Ausheilung von Schädigungen.

### 2 Überblick über die Forschung in Deutschland

An der Universität in Stuttgart wird an adaptiven Tragwerken geforscht. Die TU Berlin beschäftigt sich mit adaptiven Brückenbauwerken, die aktiven Seilabspannungen nutzen. In der ETH Zürich beschäftigt man sich mit faltbaren, ebenen und räumlichen Fachwerkstrukturen.

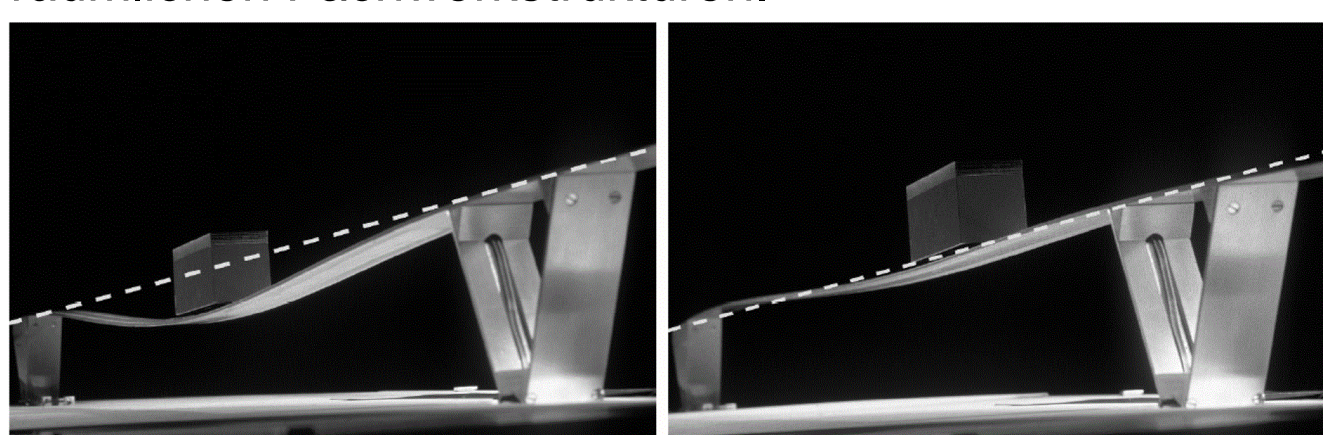


Abbildung: adaptives Brückenaufleger

### 4 Aktorentypen

#### Integrierte Fluidaktoren

Es werden bei diesem Bauteil fluidische Drücke in Kräfte umgewandelt.

#### Lineare Aktuatoren

Bei dieser Aktorenform wird elektrische Energie in Bewegungsenergie umgewandelt.

#### Hydraulische Systeme

Diese Systeme sind besonders für große Bauwerke sinnvoll.

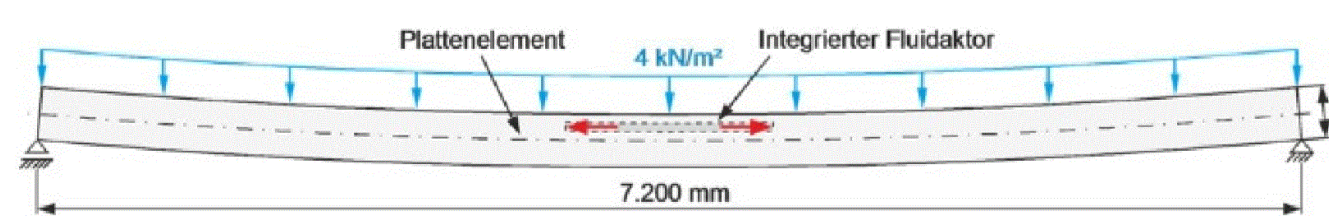


Abbildung: Fluidaktor

Pneumatische Luftbasierte Systeme  
Ohne Luftdruck wären sie instabil.

#### Zugaktuatoren

Diese Bauteile sind nur für Zugkräfte ausgelegt und somit einfachwirkend.

#### Pneumatische Muskeln

Diese Aktoren sind dem biologischen Muskel nachempfunden.

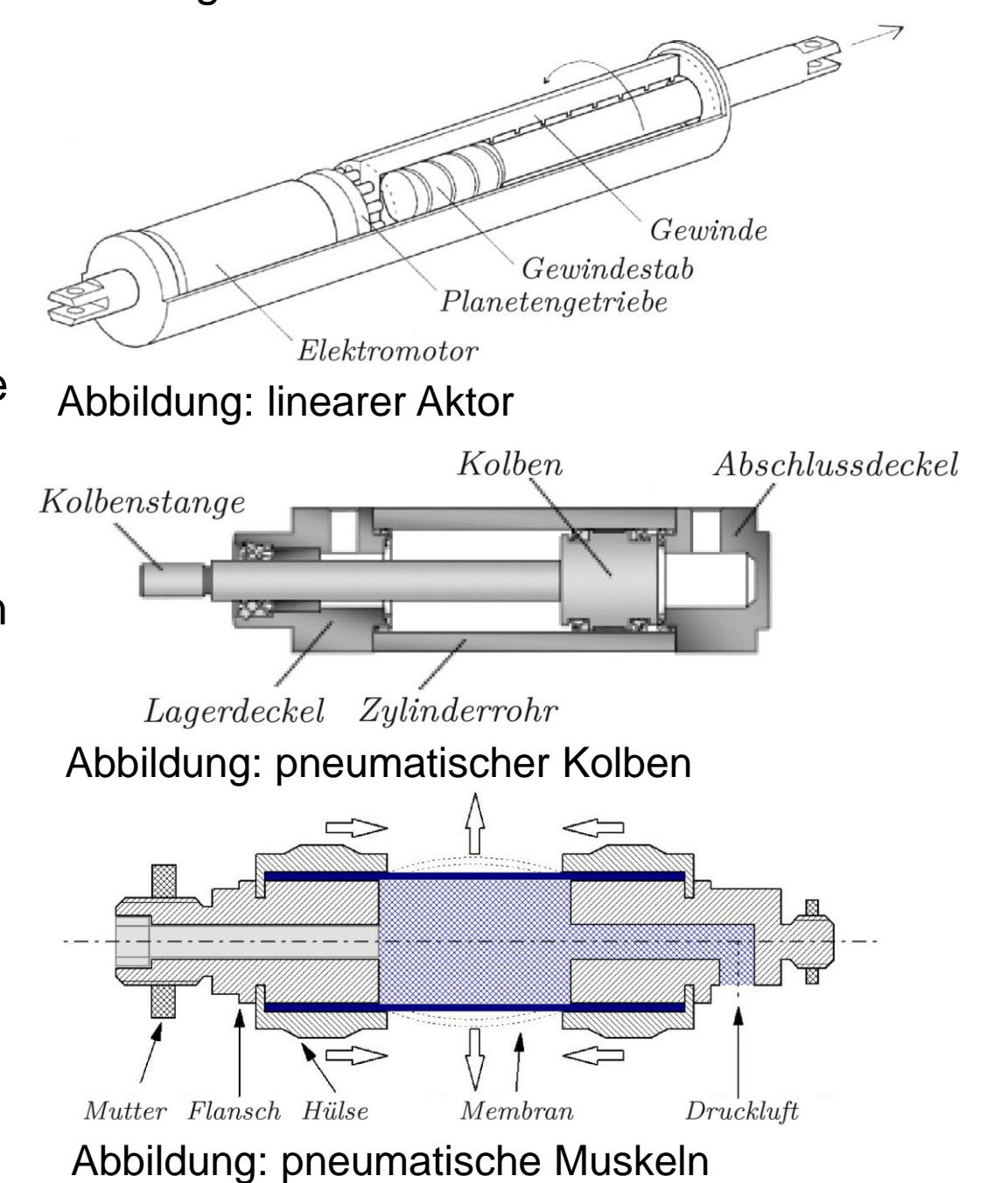


Abbildung: linearer Aktor

Abbildung: pneumatischer Kolben

Abbildung: pneumatische Muskeln

### 5 Entwurf eines adaptiven Brückenbauwerkes

#### Lastpfadmanagement

Durch den Einsatz von steifigkeits- und längenvariablen Elementen kann das Tragverhalten aktiv verändert werden. In dem Lastpfadmanagement werden für den Entwurf drei Schritte benötigt. Im ersten Schritt werden für das Tragwerk die optimalen Lastfälle für alle Lastfälle bestimmt. Als zweites müssen dann die Lagen der Aktuatoren und Sensoren bestimmt werden. Zuletzt wird dann geprüft ob der gesamte Adaptionprozess so abläuft wie vorher geplant.

#### Strukturoptimierung

Um eine optimale Struktur zu generieren, können entweder Elementquerschnitte oder die Gesamtgeometrie angepasst werden. Diese Optimierungsvorgänge können getrennt voneinander vorgenommen werden oder gleichzeitig. Zielstellung ist das Full-stressed-design (FSD), dabei sind alle Bauteile bei mindestens einem Lastfall zu 100 % ausgenutzt.

### 6 Systemstudie zum adaptiven Balkentragwerk

Um herauszufinden ob eine Adaption überhaupt sinnvoll ist, muss ein Referenzbauwerk vorhanden sein. Dieses Bauwerk soll eine Autobahnüberführung darstellen. Somit beträgt die Spannweite 28 m. In diesem Querschnitt wurden Kräfte mit einem Hebelarm eingeleitet, um der Einwirkung entgegenzuwirken. Da nur wenige Kräfteinleitungspunkte vorhanden sind, sind die Adaptionkräfte sehr hoch.

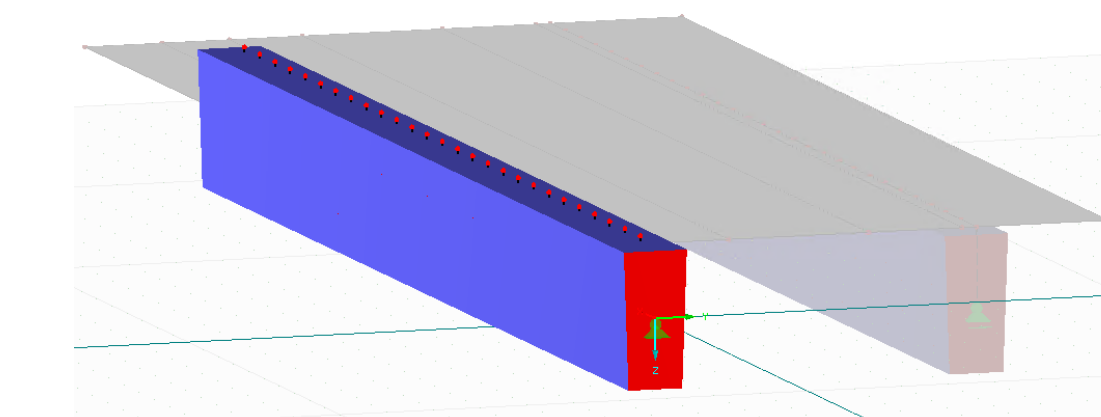


Abbildung: Hauptträger des Plattenbalkens

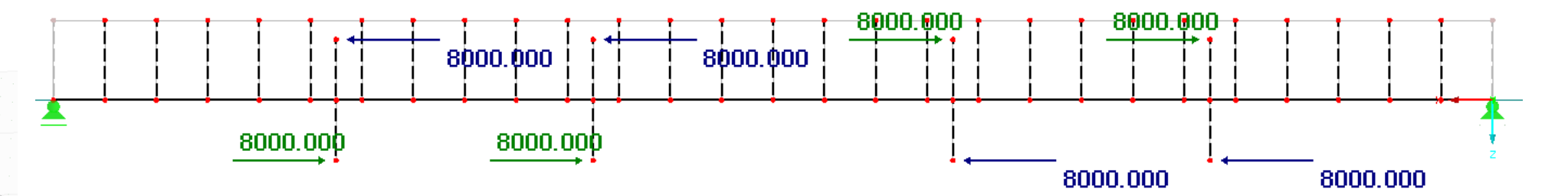


Abbildung: Einleitung der Adaptionkräfte

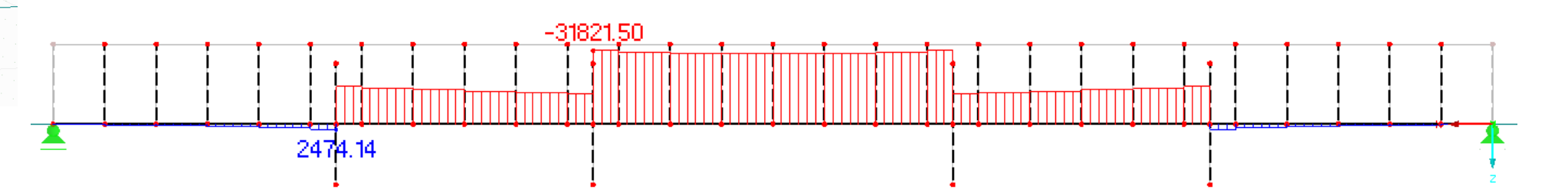


Abbildung: durch Adaptionkräfte erzeugtes Moment

Da erfolgreich ein Moment erzeugt werden konnte ohne weitere Belastungen einzutragen, wird die Systemstudie verfeinert. Als Abstand der Aktoren untereinander wird das Maß von einem Meter gewählt, es ergeben sich insgesamt 28 Aktoren durch den gewählten Abstand. Dadurch reduzieren sich die Kräfte die jeder Aktor aufbringen muss deutlich. Die Adaptionkräfte und der daraus resultierende Momentenverlauf wird in folgenden Abbildungen ersichtlich.

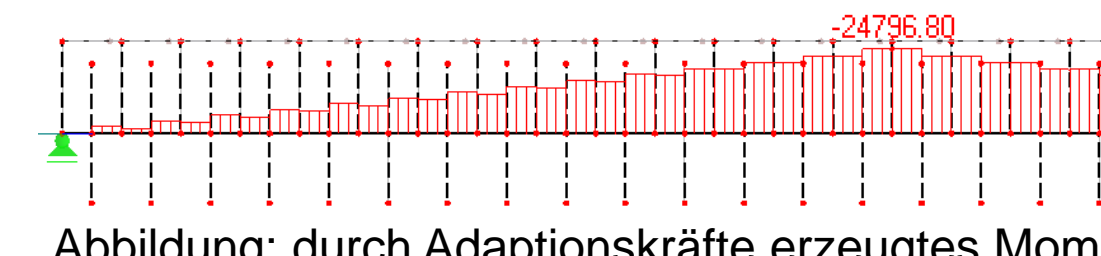


Abbildung: durch Adaptionkräfte erzeugtes Moment

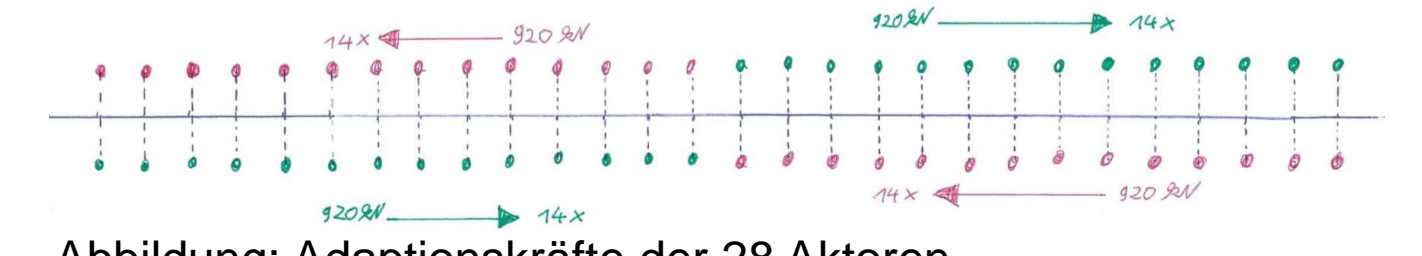


Abbildung: Adaptionkräfte der 28 Aktoren

### 8 adaptives Balkentragwerk als Prototyp

Das statische System ist ein statisch bestimmter Einfeldträger, mit einer Spannweite von 2,80 m. Der Träger hat eine Schlankheit von 10 und besitzt jeweils an der Ober- und Unterseite Anschlussbleche. Diese Anschlussbleche dienen der Kräfteinleitung der Aktoren. An der Anschlussplatte für Aktoren werden die Adaptionkräfte aufgenommen.

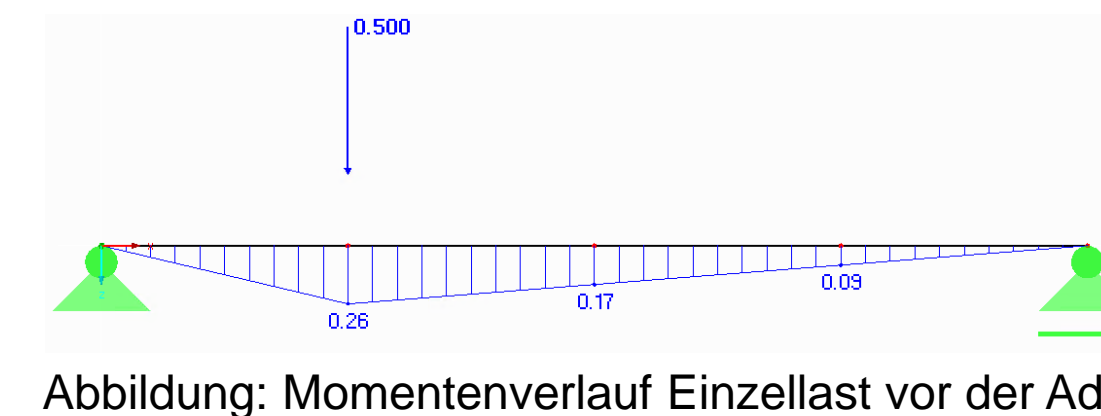


Abbildung: Momentenverlauf Einzellast vor der Adaption

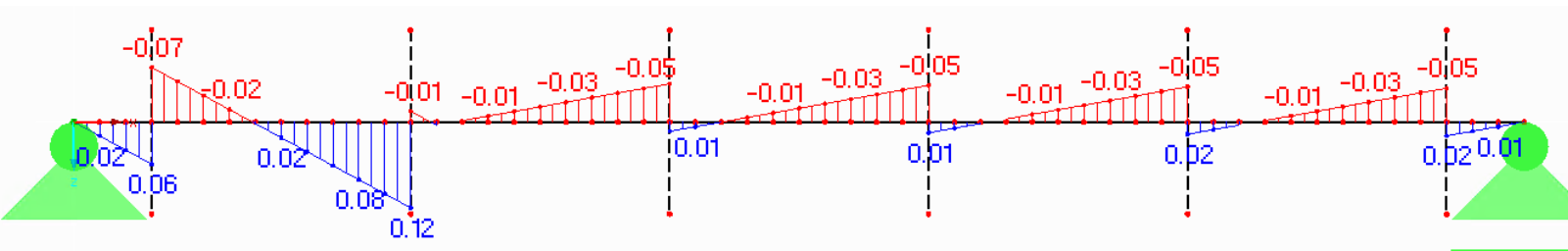


Abbildung: Momentenverlauf Einzellast nach der Adaption

In den beiden linken Abbildungen wird gezeigt wie das Moment vor und nach der Adaption aussieht. Ersichtlich wird, dass das maximale Moment von 0,26 kNm auf 0,12 kNm reduziert werden konnte.

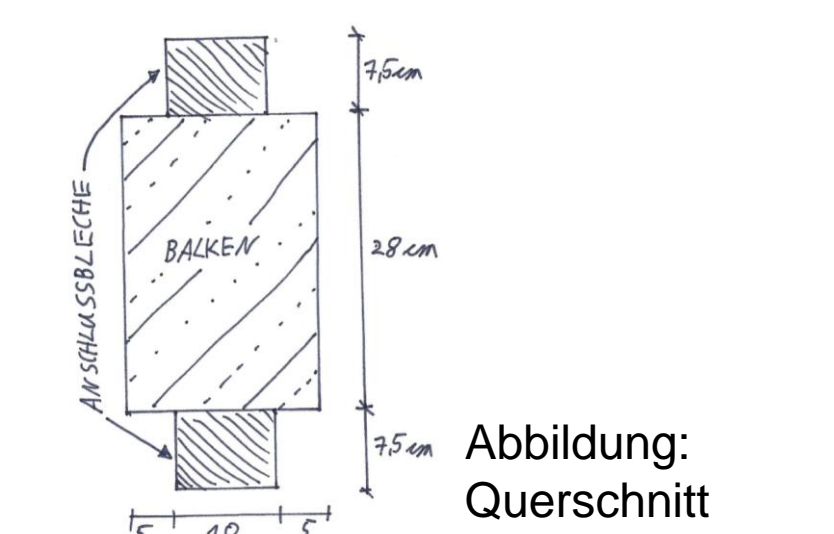


Abbildung: Querschnitt

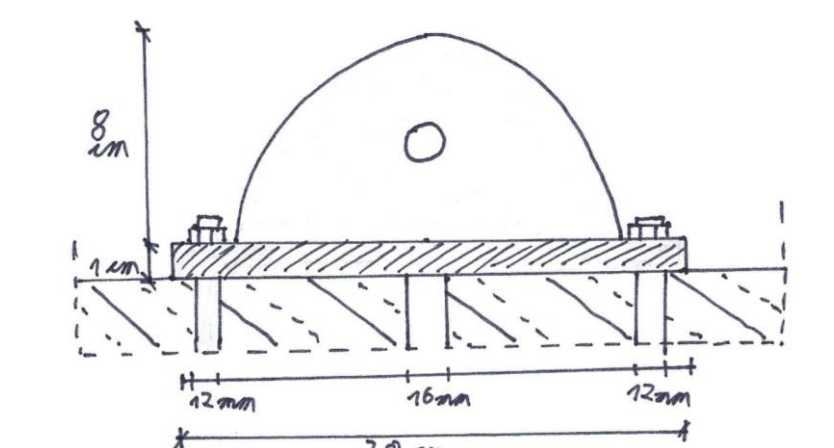


Abbildung: Maße Anschlussblech