

Konstruktion und Bemessung von Zugelementen für den optimierten Entwurf

Lisa-M. Ottenhaus

1. Motivation

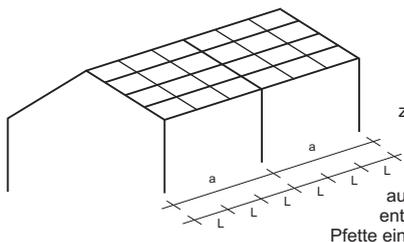
Zugelemente werden in der Praxis bei der Konstruktion von geneigten Pfettendächern verwendet. Sie dienen zur Reduktion des Biegemomentes um die schwache Achse der Pfetten und erlauben somit oftmals eine Reduzierung des Profilquerschnitts der Pfetten. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden Zugstangen aus Rund- oder Winkelprofilen und Druckrohre aus kaltgefertigten symmetrischen Hohlprofilen betrachtet. Zugstangen und Druckrohre fallen zusammen unter den Begriff Zugelemente. Im Allgemeinen werden die günstigen Auswirkungen von Zugelementen umso stärker, je größer der Rahmenabstand und je höher der Anteil an dachparallelen Lasten sind. Dies tritt insbesondere bei steilen Dachneigungen in den Vordergrund, wodurch die Verwendung von Zugelementen von großem wirtschaftlichem Vorteil sein kann.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde ein Berechnungsmodul für die freie Optimierungssoftware OptiKA entwickelt, welches Zugelemente automatisch bemisst und Ergebnisse dokumentiert.

2. Theorie

Reduktion des Biegemomentes

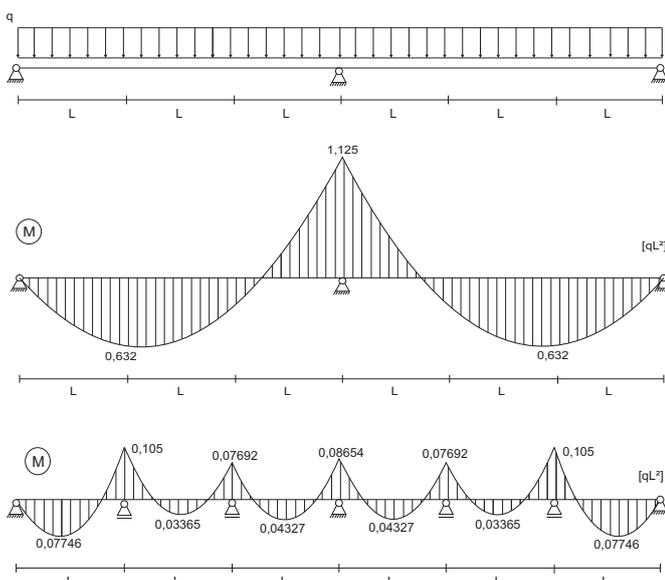
Zugstangen können vereinfachend als weiteres dachparalleles Auflager zwischen zwei Hallenrahmen gesehen werden. Dadurch verringern sich die Pfettenstützweiten parallel zur Dachebene. Dies soll am folgenden Beispiel eines Satteldaches über zwei Hallenfeldern mit kurzgeschlossenen Zugstangen illustriert werden:



Auf die Pfetten wirken jeweils Schnee- und Windlasten, welche über die Einzugsbreite des projizierten Pfettenabstandes zu einer Streckenlasten q für jede Pfette zusammengefasst werden können. Diese Streckenlast kann in einen dachsenkrechten Anteil q_{\perp} und dachparallelen Anteil q_{\parallel} aufgeteilt werden. Ohne Zugstangen entspricht das statische System einer Pfette einem Zweifelfträger mit Stützweite a .

Bei der Verwendung von je 2 Zugstangen pro Feld verringert sich die dachparallele Stützweite auf $a/3 = L$. Dadurch lässt sich das maximale Stützmoment auf weniger als 10% und das maximale Feldmoment auf weniger als 13% seines ursprünglichen Wertes reduzieren.

Die maximale Zugkraft in der Zugstange summiert sich über n Pfettenfelder zu $Z_{\max} = n \cdot 1,132 q_{\perp} L$.

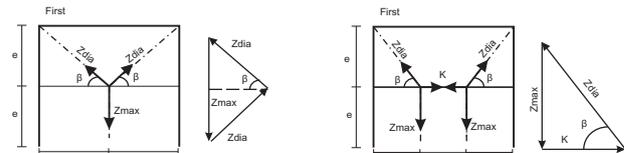


Anschlussvarianten

Prinzipiell sind verschiedene Anschlussvarianten an den First beziehungsweise an die Rahmen möglich. OptiKA sieht das Kurzschließen der Zugstangen am First, sowie die Verwendung von Diagonalen zu den Rahmen mit und ohne Druckrohr vor.

Kurzgeschlossen:
Diese Anschlussvariante lässt sich bei Satteldächern und Satteldachreihen ausbilden. Dabei werden die Zugstangen am First kraftschlüssig miteinander verbunden. Die Horizontalkomponente K wird kurzgeschlossen, die Vertikalkomponente V jeweils zusätzlich in die Firstpfetten eingeleitet. Dabei gilt: Je steiler die Dachneigung α , desto größer die Vertikalkomponente V . Allerdings nehmen mit zunehmender Dachneigung auch die Schneelasten ab, wodurch insgesamt geringere Zugkräfte entstehen.

Diagonalen ohne Druckrohr:
Bei Pult- und Sheddächern empfiehlt sich ein Anschluss der Zugstangen über Diagonalen an die Hallenrahmen. Aus konstruktiven Gründen sieht die Anschlussvariante mit Diagonalen eine Verwendung von maximal zwei Zugstangen vor. Dieser Anschluss lässt sich natürlich auch bei Satteldächern ausbilden. Die maximale Zugkraft entspricht $Z_{\max} = (n-1) \cdot 1,132 q_{\perp} L$. Die Zugkraft in der Diagonale Z_{dia} lässt sich für den Anschluss einer bzw. zweier Zugstangen über Winkelbeziehungen berechnen.



Diagonalen mit Druckrohr:
Um das Biegemoment um die schwache Achse und damit auch die Durchbiegung der Firstpfette zu verringern, kann im letzten Pfettenfeld zusätzlich ein Druckrohr eingebracht werden. Dieses wirkt wie ein weiteres Auflager für die Firstpfette und muss damit die Druckkraft $D = 1,132 q_{\perp} L$ abtragen. Diese Druckkraft wird nun zusätzlich in die Diagonalen eingeleitet, wodurch sich die Bemessungszugkraft auf $Z_{\max} = n \cdot 1,132 q_{\perp} L$ erhöht. Das Druckrohr muss nach EC-1-1/6.3.1.1 auf Biegeknicke nachgewiesen werden.

3. Implementierung in OptiKA

Für die Implementierung der Zugstangenbemessung in OptiKA wurde ein neues Berechnungsmodul inklusive Eingabemaske erstellt. Die Auswirkungen der Zugstangen waren zuvor implizit in die Pfettenbemessung eingegangen ohne dabei Zugstangen explizit zu dimensionieren. Im Rahmen der Bachelorarbeit wurde die Möglichkeit geschaffen, Zugstangenanzahl, -material und -querschnittstyp auszuwählen und die Bemessungsergebnisse (Schnittgrößen und erforderliches Profil) ausgeben zu lassen.

Außerdem wurde die Möglichkeit erhalten, die Auswirkungen der Zugstangen nur implizit zu berücksichtigen. In einem zweiten Schritt wurden die verschiedenen Anschlussvarianten an die Firstpfette betrachtet. Dabei musste natürlich auch den veränderten Bemessungsschnittgrößen in der Bemessung Rechnung getragen werden. Exemplarisch wird hier die Funktionsweise des Moduls Zugstangenbemessung erläutert:

Modul Zugstangenbemessung

Für die Zugstangenbemessung wird zunächst die maßgebende Lastfallkombination ermittelt. Dies geschieht, indem das Maximum der vom Modul Statik übergebenen Auflagerkräfte berechnet wird. Die Bemessung geschieht in einer Berechnungsschleife, die erst dann abgebrochen wird, wenn der Ausnutzungsgrad η für die maßgebende Lastfallkombination kleiner eins ist.

