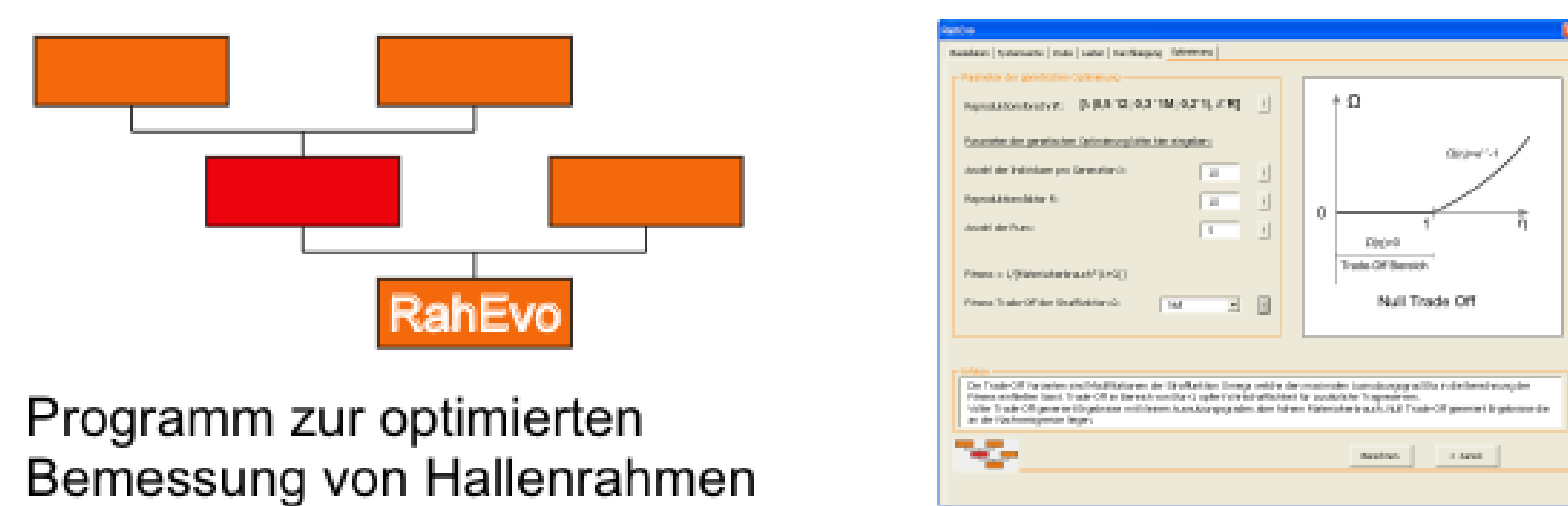


Automatisierte Bemessung und Optimierung von Hallenrahmen mit nichtlinearer Statik und Evolutionsmethoden

M. Awwad

1. Motivation

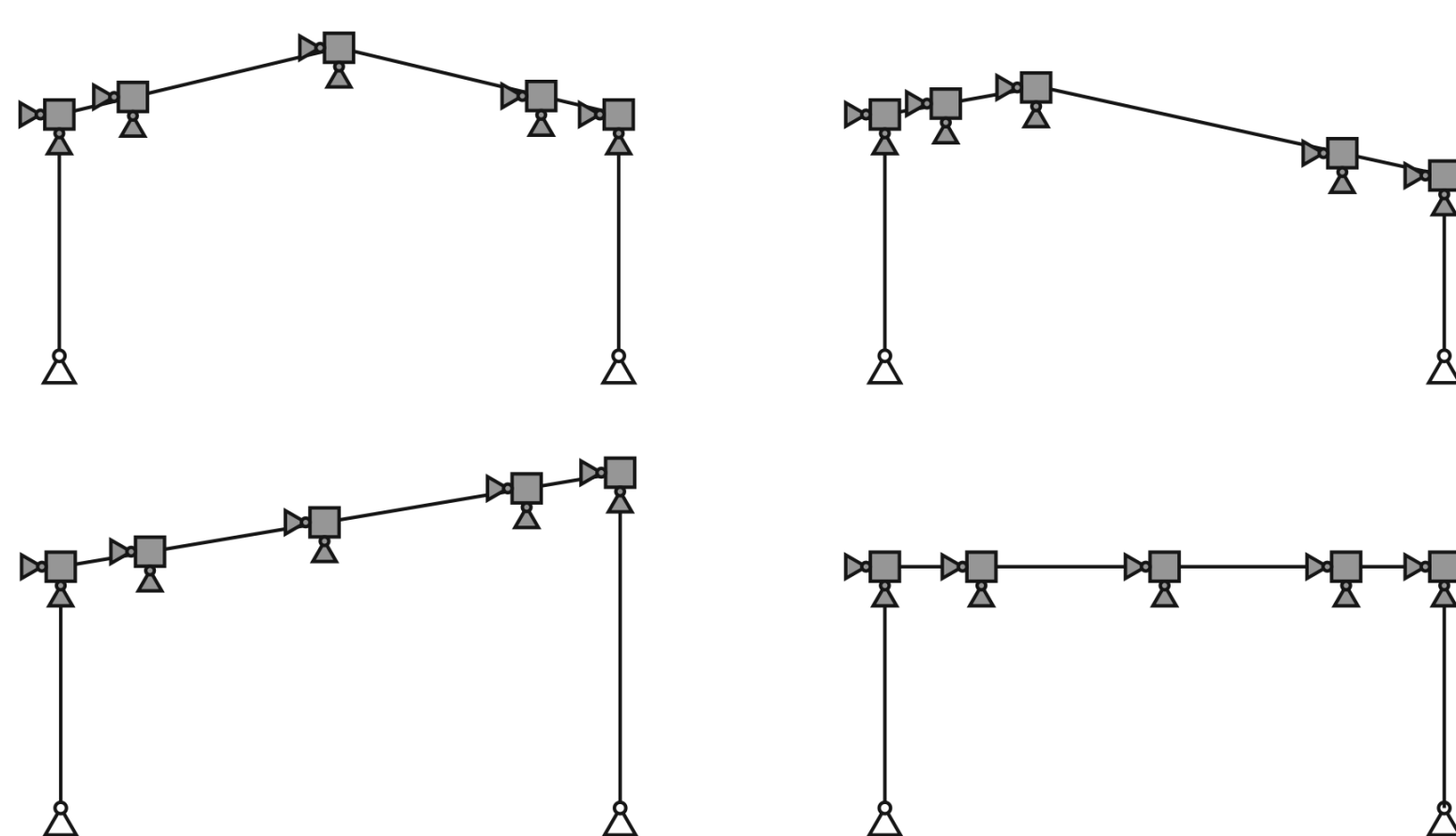
Industriebauten bieten sich für den Entwurf besonders sparsamer Konstruktionen an, da das Design hauptsächlich funktional bedingt ist. Einsparungen lassen sich für solche Bauten nicht nur beim Materialverbrauch realisieren sondern auch bei der in die Planung investierten Zeit. Es ist also sinnvoll, eine optimierte Vordimensionierung über entsprechende Software zu automatisieren und somit zu beschleunigen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Computerprogramm zur optimierten Profilwahl von Hallenrahmen in Stahlbauweise erstellt. Die Aufnahme weiterer Parameter in die Optimierung wird vorbereitet. Das erstellte Programm soll sukzessive mit der bereits vorhandenen Software OptiKA zur Optimierung von Dächern verbunden werden und wurde auf den Namen RahEvo (**Rahmen Evolution**) getauft.



Die Optimierung der Profilwahl erfolgt über einen Genetischen Algorithmus. Dieser verfolgt mit stochastischen Mitteln einen Gradienten hin zu einem Optimum. Der heuristische Charakter dieses Verfahrens erleichtert die Aufnahme weiterer Optimierungsparameter. Im Hinblick auf die geplante allgemeine Optimierung der Hallenkonstruktion stellt dies einen entscheidenden Vorteil dar.

2. Statik

Zur Berechnung der Schnittkräfte und Tragwerksverformungen wird das Verschiebungsgrößenverfahren genutzt. Diese Methode löst ebene Stabwerksprobleme mit drei Freiheitsgraden je Knoten indem die einzelnen Bauteile auf geometrisch bestimmte Grundelemente zurückgeführt werden. Die Grundelemente setzen nach der Bernoulli Balkentheorie Stabendverschiebungen bekannte Widerstände entgegen und tragen Belastungen über bekannte Auflagerreaktionen ab. Das Tragwerk wird durch insgesamt 6 Elemente modelliert. Dies erlaubt, wie abgebildet, die Berechnung der meisten üblichen Formen von Hallenbindern.

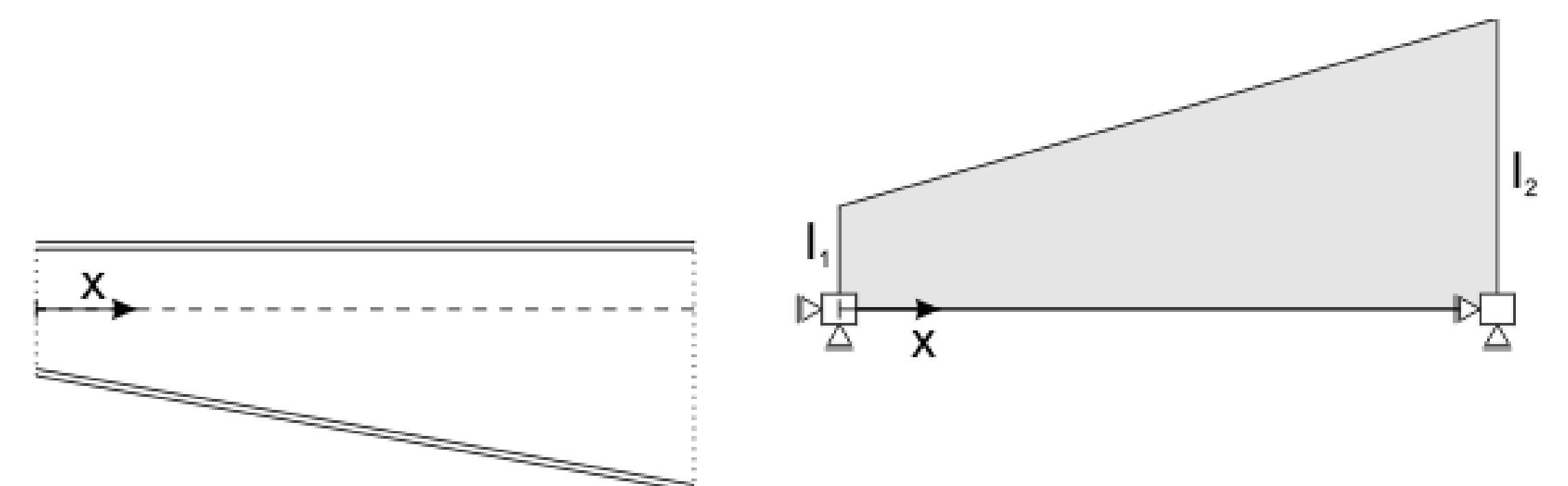


RahEvo verwendet Grundelemente nach Theorie II Ordnung. Der Einfluss der Stablängskraft auf die Systemsteifigkeit findet somit Beachtung und das Tragwerk kann auf Stabilität untersucht werden. Da die Stablängskräfte hierbei im Rechenschritt als konstant angenommen werden findet eine Linearisierung der nichtlinearen Last- Verformungsbeziehung statt. Dies macht eine iterative Berechnung erforderlich. Das Verschiebungsgrößenverfahren liefert Stabendwerte der Schnittkräfte und Verformungen. Da die bemessungsrelevanten Werte aber auch in Elementmitte liegen können werden Verläufe aufgestellt und auf Extremstellen untersucht. Mit den berechneten Werten wird der Nachweis der Grenzspannungen aller Bauteile sowie der Nachweis der Durchbiegungsbeschränkung des Riegels geführt.

3. Vouten

Walzprofile besitzen einen in Längsrichtung konstanten Querschnitt. Allerdings sind konstante Biegemomente im Bauwesen eine Ausnahme, üblich sind eher lineare oder quadratische Verläufe. Das Profil muss also für das im Bauteil auftretende Maximalmoment ausgelegt werden und verliert somit an Wirtschaftlichkeit. Profile mit in Längsrichtung veränderlichen Querschnittswerten bieten die Möglichkeit die Materialverteilung im Stab dem Verlauf der Beanspruchung anzupassen. Die einfachste Form einer solchen lokalen Querschnittsänderung ist die Voute. Bei Hallenrahmen treten die bemessungsrelevanten Maximalmomente meist in den Rahmenecken auf. Der Einsatz von Vouten ist hier üblich.

Um den Einfluss der Voute in der statischen Berechnung in guter Näherung erfassen zu können wurde ein Grundelement mit linearem Verlauf der Steifigkeit über die Elementlänge hergeleitet und programmiert.



Die Einträge der Elementsteifigkeitsmatrix und des Elementlastvektors werden über das Kraftgrößenverfahren bestimmt. Das beidseitig eingespannte Grundelement wird auf den Kragarm als statisch bestimmtes Grundsystem zurückgeführt. Aus den Einheits- und Lastzuständen ergeben sich die Einflusszahlen. Zum Beispiel:

$$\delta_{33} = \int_0^L \frac{1 \cdot 1}{EI(x)} dx = \frac{1}{E} \int_0^L \frac{1 \cdot 1}{I_1 + \frac{I_2 - I_1}{L} \cdot x} dx = \frac{L}{E} \cdot \frac{\ln(I_2) - \ln(I_1)}{I_2 - I_1}$$

Aus diesen lassen sich über die Kompatibilitätsbedingungen die statisch Unbestimmten berechnen, welche die Einträge der Elementsteifigkeitsmatrix bzw. des Elementlastvektors bilden.

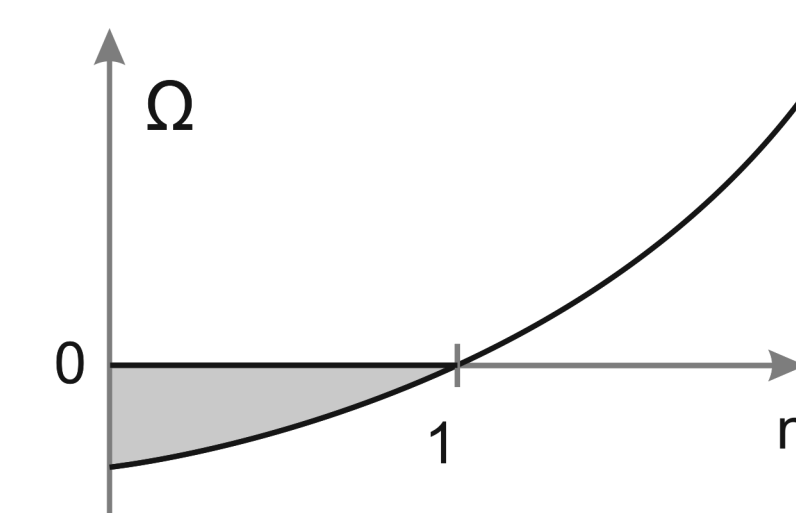
4. Optimierung

Zur Optimierung wird ein genetischer Algorithmus genutzt. Dieses Optimierungsverfahren nach dem Vorbild der natürlichen Evolution basiert auf dem Prinzip "survival of the fittest". Der Vorgang von Bewertung, Selektion und Reproduktion wird wiederholt auf eine Population angewendet um eine Weiterentwicklung zu erzielen. Diese Population besteht aus Rahmen mit individuellen Profilkombinationen.

Die Qualität des Bemessungsentwurfs wird über eine Fitnessfunktion ermittelt. In die Berechnung des Fitnesswertes fließen der Materialverbrauch des Rahmens sowie der größte Ausnutzungsgrad der implementierten Nachweise ein. Die Fitness berechnet sich zu

$$Fitness = \frac{1}{Materialverbrauch \cdot (1 + \Omega)}$$

Bei Ω handelt es sich um die Straffunktion, welche die Fitness für Ausnutzungsgrade größer 1 reduziert: $\Omega = e^{\eta-1} - 1$ für $\eta > 1$ und $\Omega = c \cdot [e^{\eta-1} - 1]$ für $\eta < 1$ mit $c \in [0, 1]$.



Individuen mit hoher Fitness haben die besten Chancen bei der Reproduktion einer neuen Generation. Reproduktionsmethoden sind Klonen, Mutieren und Crossover. Beim Klonen wird ein Rahmen ohne Änderung in die nächste Generation kopiert. Im Falle einer Mutation wird eine kleine zufällige Änderung vorgenommen. Als Crossover wird die Zeugung eines Nachkommen durch zwei Eltern bezeichnet. Der Nachkomme hat die durchmischten Eigenschaften beider Elternteile. Der Algorithmus ist konvergent wenn im Verlauf der Generationen alle Individuen nach der Selektion gleich sind.

