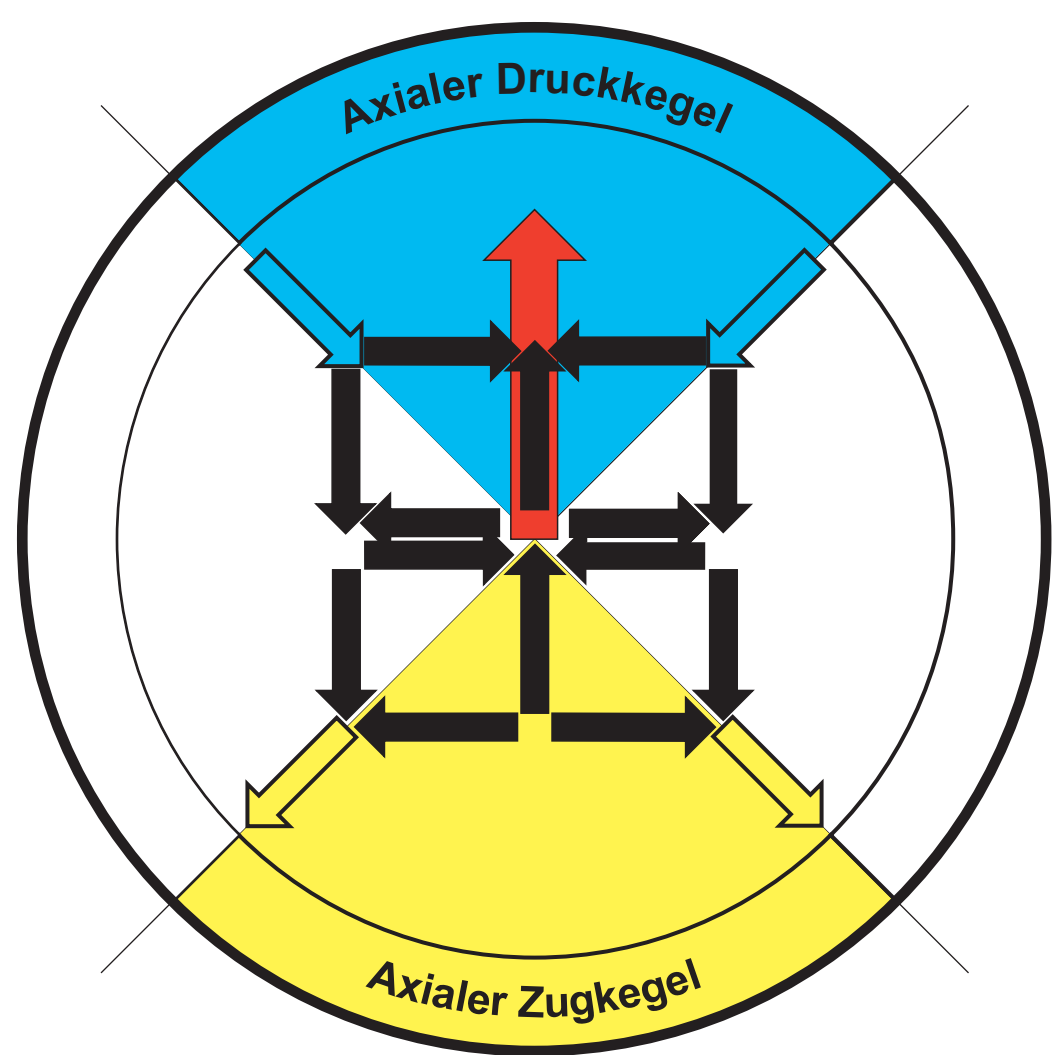
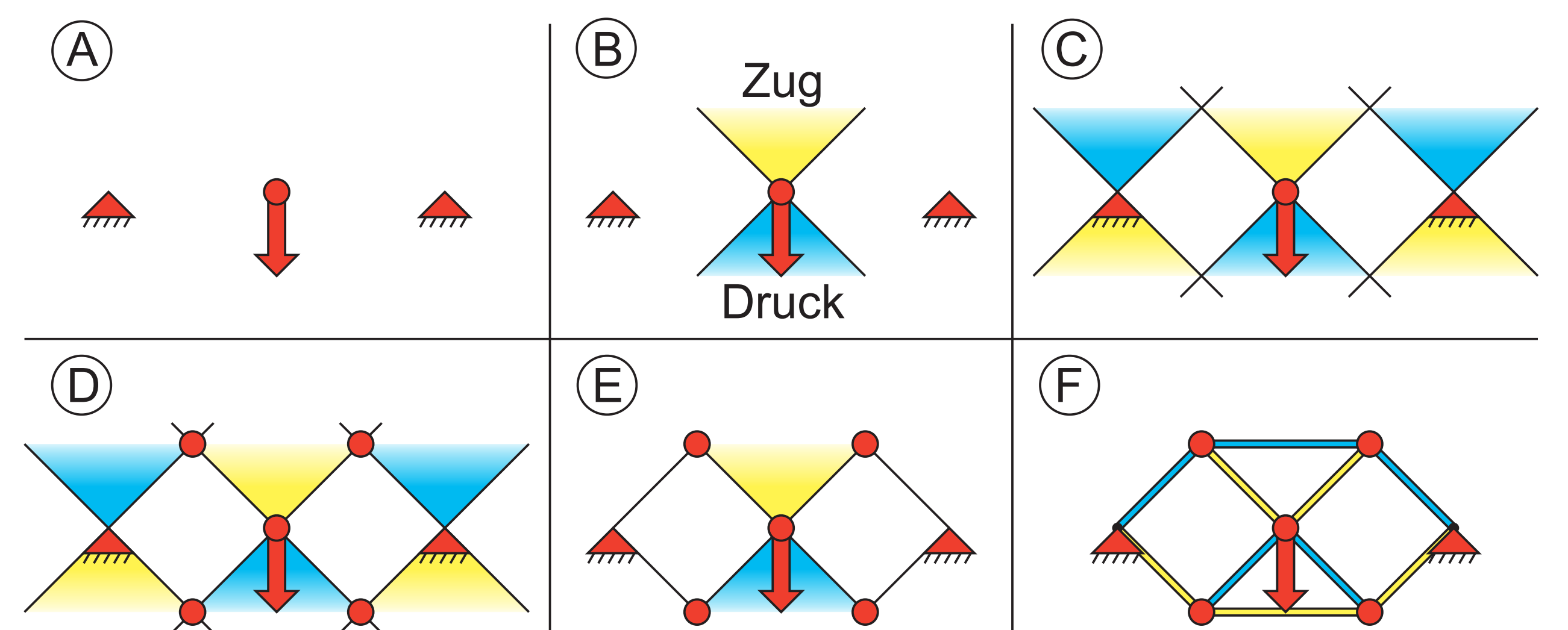


Experimenteller Vergleich von Kraftkegelstrukturen mit konventionellen Lösungen

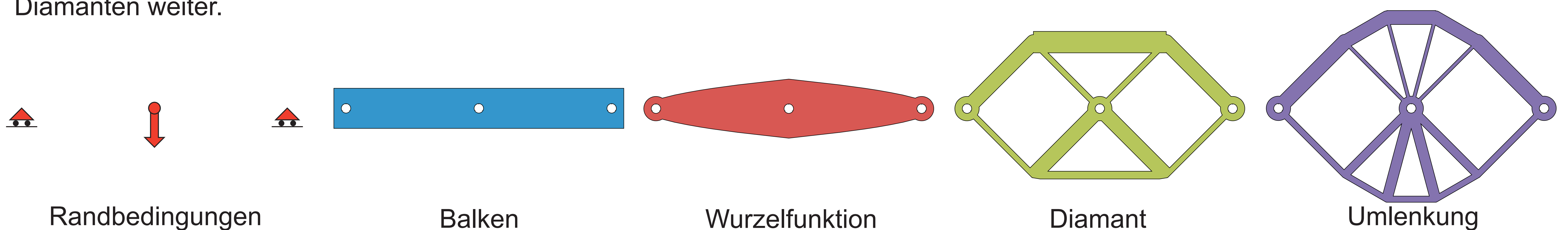
S. Haller, L. Phan, I. Tesari, K. Bethge, C. Mattheck



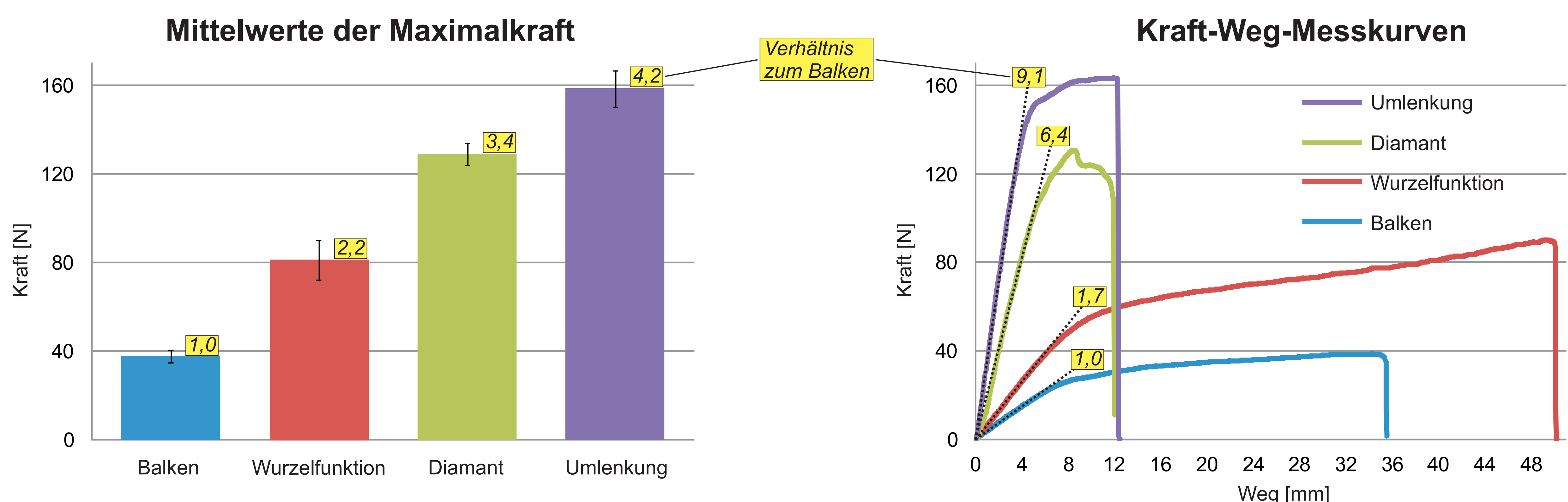
Die Methode der Kraftkegel ist ein Denkwerkzeug zur Gestaltfindung. Sie eröffnet die Möglichkeit, Leichtbaustrukturen ohne den Einsatz von Computern zu finden und führt zu einem besseren Verständnis von komplexen Strukturen. Theoretische Analysen zeigten bereits das Potential auf. Dies wird im experimentellen Versuch bestätigt.



Verschiedene Geometrien werden in diesem Vergleich für eine mittig angreifende vertikale Kraft zwischen zwei Loslagern untersucht. Die Kraft wird im Experiment vertikal geführt, die Loslager beschränken den vertikalen Freiheitsgrad. Als Vergleichsmodelle dienen die unten dargestellten Geometrien, bei denen jeweils insgesamt die gleiche Menge Material verbaut wurde. Vom Balken ausgehend stellt die Wurzelfunktion einen Träger konstanter Biegespannung in der Randfaser und somit eine Optimierung dar. Der „Diamant“ ist die Standardlösung der Kraftkegelmethode, dessen Konstruktion oben rechts erläutert wird. Die Umlenkung optimiert die Form des Diamanten weiter.



Bei der Dimensionierung der Modelle werden die Materialeigenschaften des verwendeten Styrodurs berücksichtigt. Elastizitätsmodul und Festigkeit verhalten sich anisotrop und unterscheiden sich deutlich bei Zug- und Druckbelastung. Neben der Festigkeitsdimensionierung erfolgt auch eine Knickauslegung der druckbelasteten Streben. Die Modelle werden mit einem CNC-gesteuerten Schneidwerkzeug gefertigt und auf einer Prüfmaschine getestet. Pro Geometrie wurden fünf Proben gefertigt und geprüft.



Bei der Betrachtung der maximal ertragbaren Kraft zeigt sich, dass der Balken zuerst versagt. Die Optimierung der Form des Balkens mit der Wurzelfunktion sorgt für eine homogene Biegespannung entlang der Berandung, wodurch dieses Modell mehr als die doppelte Kraft erträgt. Der Diamant, als klassische Lösung der Kraftkegelmethode, erträgt das 3,4-fache der Maximallast des Balkens, was mit der Umlenkung noch auf den Faktor 4,2 gesteigert werden kann.

Den Kraft-Weg-Kurven der Messungen kann man die mit Erhöhung der Kraft auftretende Verformung der Modelle ablesen und damit eine Aussage über die Steifigkeit der Strukturen im elastischen Bereich machen. Es ist je eine repräsentative Kurve pro Geometrie aufgetragen. Die Definition der Federkonstante kann hier als Steifigkeit $S = \Delta F / \Delta L$ mit der Kraft- ΔF und der Längenänderung ΔL angesehen werden, was der Steigung der Geraden im linearen Anfangsbereich entspricht. Normiert auf den Balken ergibt sich durch die Wurzelfunktion eine Steifigkeitssteigerung von 1,7. Der Diamant erreicht den Faktor 6,4 und die Umlenkung ist 9,1-fach steifer.

Fazit: Mit der Kraftkegelmethode lassen sich mit relativ wenig Aufwand Leichtbaustrukturen ohne Computer finden. Nach der Dimensionierung zeigt sich im Vergleich zu konventionellen Lösungen mit gleichem Materialaufwand bei der Prüfung sowohl eine Festigkeits-, als auch eine Steifigkeitssteigerung. Eine Formoptimierung der Streben wie bei der Wurzelfunktion würde das Ergebnis noch zu Gunsten der Strukturen der Kraftkegelmethode weiter steigern.