

Udo Küppers

# Mäander-Effekt<sup>®</sup> in der Landtechnik

Der Stofftransport durch technische Rohrleitungen, so unterschiedlich er auch angewendet wird, ist in fast allen Industriebereichen anzutreffen. Hierzu zählt auch die Landtechnik und ihre vielfältig genutzten stationären und mobilen Apparate, Anlagen, Maschinen und Gebäudetechniken. Stofftransporte verursachen immer energetische Verluste, die den Betreibern der Anlagen, oft aus Unkenntnis und mangels effizienter Alternativen, vermeidbare Mehrkosten beschieren. Für Rohrtransporte unterschiedlicher landwirtschaftlicher Fördergüter, neben Luft auch Saatgut, Mineraldünger, Körnerfrüchte und Flüssigkeiten und anderes, sind sogenannte Formstücke (Rohrbogen, Rohrverzweigungen usw.) besonders energieverlust- und kostenbehaftet. Rohrbögen mit Mäander-Effekt<sup>®</sup> helfen, energetische Verluste zu vermeiden, Kosten zu sparen und führen nicht selten zu additiven Folgeverbesserungen an Landmaschinen bzw. landwirtschaftlichen Anlagen.

## Schlüsselwörter

Bionik, Systemik, Rohrbögen, Mäander-Effekt<sup>®</sup>, Energieeffizienz, Kosteneinsparung

## Keywords

Bionics, systemic, tube bend, meander-effect<sup>®</sup>, energy-efficiency, cost-reduction

## Abstract

Küppers, Udo

## Meander-Effect<sup>®</sup> turns into engineering of agriculture

Landtechnik 64 (2009), no. 5, pp. 343 - 346, 5 figures  
7 references

All over industrial applications the transport of different substances (e. g. gaseous, liquid, solid, viscous) in pipelines is a common and proved technique. Therefore also agriculture techniques are involved with stationary and mobil machinery, farm equipment and many more objects. The transport of substances cause – in any way – energy losses. Most of the users don't know about these cost effective losses they buy with the equipment. The new bionic elements called „tube bends with meander-effect<sup>®</sup>“ support an effective and efficient pipeline transport of air, seed, fertilizer, food, water and other agricultural used stuffs.

■ Die Finanz-, Wirtschafts- und Gesellschaftskrise hätte es fast geschafft, existenziellere Probleme zu verdrängen. Aber: Energieeffizienz, Umweltverträglichkeit und Klimawandel prägen nachhaltiger unsere Zukunft, als mancher es wahrhaben will. Davon ist nicht zuletzt auch die Landwirtschaft betroffen. Die Erzeugung und Bereitstellung ausreichender Mengen an Nahrungsmitteln, deren technische Verarbeitung und Veredelung bis zu Verpackung und Transport werden durch eine Vielzahl technischer Apparaturen realisiert.

Wesentliche Schritte in dieser Verarbeitungskette werden durch technische Rohrtransport-Systeme bestimmt. Hierzu zählen unter anderem:

- Rohrtransporte in Energiewandlungssystemen wie Biogasanlagen
- Luft-(Stoff-)führungssysteme in der Tierhaltungstechnik
- Allgemeine klimatechnische Systeme in der Landtechnik
- Rohrtransportsysteme in der Milch oder Wein verarbeitenden Industrie
- Luftführungssysteme von Bandrocknern
- Saatgutführungssysteme von Sämaschinen
- N-Korndünger- oder Flüssigdünger-Verteilungsvorrichtungen

Die Breite der landwirtschaftlichen technischen Anwendung von effizienten Rohrsystemen mit Mäander-Effekt<sup>®</sup> (patentiert) kann hier nur angedeutet werden.

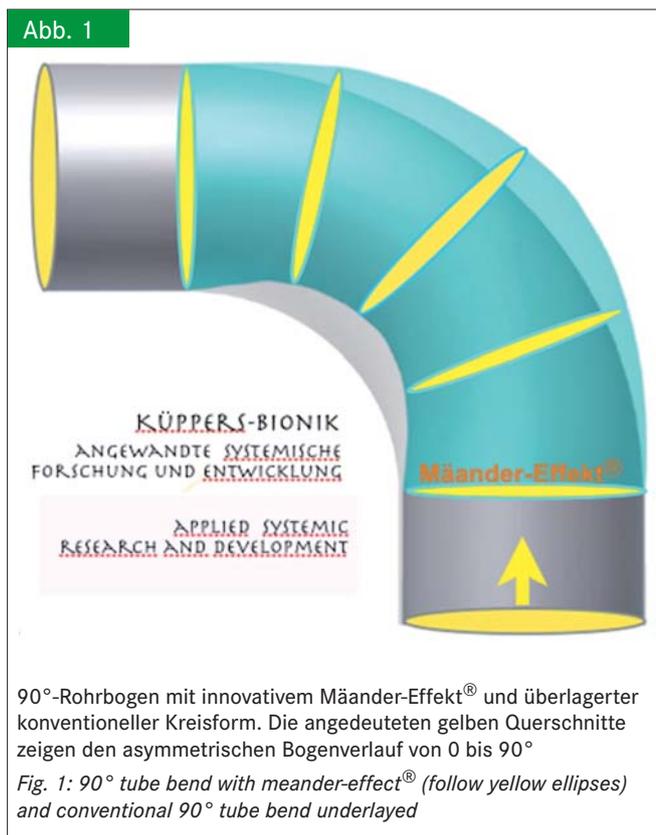
Wenn sich Stoffe, zum Beispiel beim Rohrtransport, aneinander reiben, geht Bewegungsenergie verloren. Es handelt sich um Verluste durch Strömung, Reibung, Umlenkung, Wirbelbildung, Querströmung oder so genannte „Totgebiete“ in Strömungen usw. Derartige Transportwiderstände wirken den Kräften entgegen, die aufgewendet werden müssen, um das Gut von einem Ort zum anderen zu bewegen. Eine diesbezüglich besonders herausragende Branche ist die Lüftungs- und Klima-

technik, auch in der Landtechnik. Transportverluste von 30-40% an Rohrleitungsformstücken sind keine Seltenheit – und das kostet bares Geld. Teuer ist auch die Anschaffung überdimensionierter Antriebsaggregate, die erforderlich sind, um diese Verluste auszugleichen. Gerade dieser Aspekt ist den Anwendern meist nicht bewusst, weil Rohrtransport-Anlagenelemente – insbesondere Formstücke – nicht selten durch ihre jahrzehntelang unveränderte Geometrie bereits vorprogrammierte Strömungs-transportverluste beinhalten. Aber es gibt neue, werthaltige, energieeffiziente und umweltentlastende Produkt- und Verfahrensinnovationen, die vorher kaum bekannt waren. Der Rohrbogen mit Mäander-Effekt® ist eine derartige Innovation. Asymmetrisch gestaltete Rohrbögen mit Mäander-Effekt® reduzieren deutlich die energetischen Transportverluste im Rohrbogen; je nach Umlenkwinkel und Querschnitt um 20%, 30% und mehr.

**Abbildung 1** zeigt den Unterschied zwischen einem konventionellen, stark verlustbehafteten, symmetrischen Kreisrohrbogen und einem asymmetrischen Rohrbogen als 90°-Formstück. Beide sind einander überlagert, wodurch der geometrische Unterschied deutlich hervorsticht.

### Nutzung der universellen Energie- und Mäander-Gestaltungs-Prinzipien der Natur

Im Verlauf der Evolution passen sich organische Strukturen, Formen und Funktionen bestmöglich der dynamischen Umwelt an. Zum Beispiel unterstützen Mäanderwindungen oder auch optimale Strömungsverzweigungen wirksam die Transport-Energieeffizienz in Fließsystemen von Organismen (Blutkreisläufe, Gaskreisläufe, Nahrungskreisläufe). Ähnliche strö-



mungstechnische Optimallösungen zeigt auch die vernetzte unbelebte Natur durch die adaptiven Windungen – Mäander – in freien Fließgewässern. Diese Strukturbildung durch Selbstorganisation freier Fließmäander führt zu einem Minimum an Energiedissipationsrate bzw. Transportverlusten. Was liegt also näher, als diese natürlichen Lenkungsformen energetisch und technisch bestmöglich zu nutzen? Die grenzüberschreitende Wissenschaftsdisziplin Bionik (= Biologie + Technik) erfasst, analysiert, vermisst bzw. bewertet derartige Naturlösungen und transferiert sie schließlich mit ingenieurtechnischen Werkzeugen in werthaltige analoge technische Produkte und Verfahren [1; 2]. Ein weiterer Schlüssel für nachhaltige zukunftsweisende Techniken liegt auch in der Systemisierung von Prozessen. Ziel ist es, vernetzte Zusammenhänge systemisch zu erfassen und ganzheitlich zu optimieren, ähnlich den nachhaltig wirksamen Kreislaufsystemen der Natur. Hier stehen die Optimierungsprozesse der Landtechnik noch am Anfang ihrer innovativen Entwicklung.

### Vorbilder für landtechnische Anwendungen

**Praxisbeispiel Klima- und Lüftungsanlagen.** In Tierhaltungsanlagen sorgen Rohrleitungssysteme für ein gutes Stallklima (Frischluftzufuhr, Temperaturregelung, Staub- und Schadgasabsaugung), die Zufuhr von Nahrung und Wasser und anderes.

Insbesondere große und kleine Lüftungsanlagen mit i. d. R. rechteckigen Rohrquerschnitten sind ein dankbares Objekt für den Einsatz von energie- und kostensparenden Rohrformstücken mit Mäander-Effekt®. Verschiedene experimentelle Optimierungen mit 90°-Rohrbögen in praxisidentischen Strömungsstrecken haben dies deutlich bestätigen können. Hierbei wurden in ersten Versuchen Energieeffizienzsteigerungen (Minimierung der Rohrbogen-Druckverluste) bis nahezu 25% je nach Rohrbogenquerschnitt erzielt [3]. In günstigen Fällen können vorhandene größere Antriebsaggregate gegen solche mit geringerer elektrischer Leistung ausgetauscht werden.

Mit Hilfe experimentell angewandeter evolutionärer Optimierungsalgorithmen [4; 5] wurde ein 90°-Kreis-Rohrbogen in einer praxisrelevanten Klima-Lüftungs-Strömungsstrecke sukzessiv in eine neue optimale „Mäander-Bogengeometrie“ umgeformt und strömungstechnisch vermessen, bis sich die Optimalgeometrie mit minimalem Strömungsverlust einstellte.

**Abbildung 2** zeigt eine Familie von Rohrbögen mit klassischer Kreisform, die auch in verschiedenen landtechnischen Apparaturen – energieverlustreich – eingesetzt werden. Zur Minimierung von Rohrsystemverlusten wurden auf experimenteller Ebene evolutionäre Optimierungsverfahren eingesetzt. An dieser Stelle soll näher auf die weitverbreitete Standard-Geometrie eines 90°-Rohrbogens im Rahmen der Optimierung eingegangen werden. Dem 90°-Rohrbogen in **Abbildung 2** sind angedeutete Umlenkradien hinzugefügt, deren lokale radiale Verschiebung zu einer asymmetrischen Umlenkgeometrie führen, wie sie letztlich durch den Mäander-Effekt®-Bogen in **Abbildung 3** rechts realisiert wird.

Für die Effizienzverbesserung der Druckverluste im Rohrbogen

kam eine so genannte mehrgliedrige evolutionäre Strategie zum Einsatz. Der zugehörige grundlegende Algorithmus lautet:

**Basis-Algorithmus der  $(\mu, \lambda)$ -Evolutionstrategie**

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{N1}^g &= \mathbf{x}_{Ei}^g + \delta \cdot \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{x}_{N2}^g &= \mathbf{x}_{Ej}^g + \delta \cdot \mathbf{z}_2 \\ &\vdots \\ \mathbf{x}_{N\lambda}^g &= \mathbf{x}_{Ek}^g + \delta \cdot \mathbf{z}_\lambda \end{aligned} \quad \mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_n = (0, 1/\sqrt{n})\text{-normalverteilt} \quad (Gl. 1)$$

Die x-Werte interpretieren dabei die variable Zahl von Radienlängen, verteilt über den Rohrbogen-Umlenkwinkel von 0 bis 90°. Diese – beim Standard-Rohrbogen konstanten, aber beim Mäander-Effekt®-Rohrbogen variablen – Radienlängen werden per Zufallswert (z) und verschiedenen Strategiewerten (u. a.  $\delta$ ) bis zum Erreichen des gemessenen Optimums variiert. Dadurch findet eine stufenweise Anpassung der Rohrbogengeometrie an die gewünschte Optimalform statt. Für weitere Details zur Optimierung sei auf die vorab genannte Fachliteratur verwiesen. Das Ziel ist definiert als optimale Radienpositionierung entlang der Umlenkungsstrecke des 90°-Rohrbogens mit zugehörigem Minimum des Rohrbogen-Verlustes. Die Zielfunktion ist demnach:

**Ziel = OPT (Länge Radius R1...Rn) = MIN  $\Delta p$  (Rohrbogen)** (Gl. 2)

Der Strömungsverlust als Gesamtdruckverlust im Rohrbogen folgt dem empirischen Ansatz:

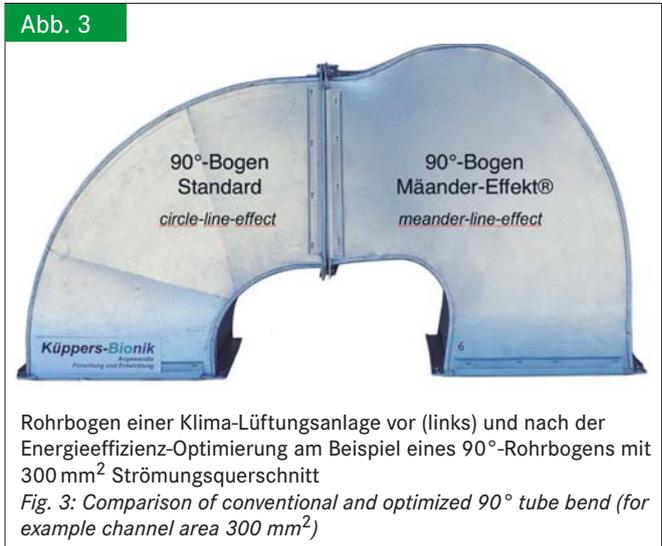
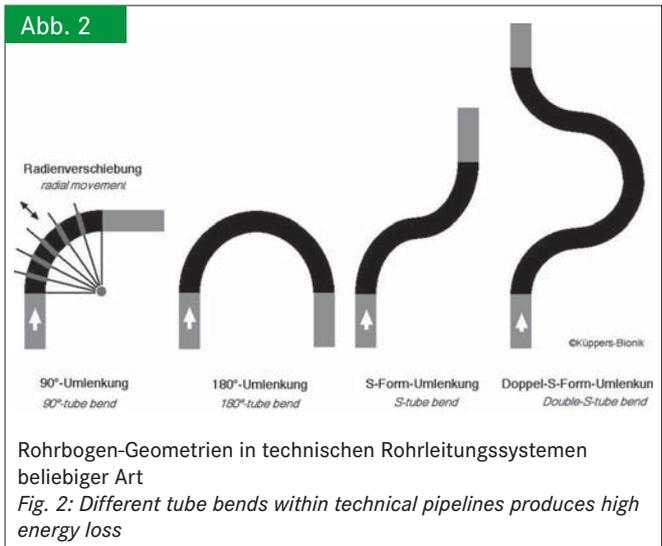
$$\Delta p = (\zeta_\lambda + \zeta_u) \frac{1}{2} \rho v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (Gl. 3)$$

mit  $\zeta_\lambda$  = Widerstandszahl für den Reibungsverlust und  $\zeta_u$  = Widerstandszahl für den Umlenkverlust  
 $\rho$  = Dichte des Strömungsmediums Luft [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v$  = Strömungsgeschwindigkeit [m/s].

Unter Berücksichtigung der Positionen der Druck-Messstellen M1 (ca. 3D vor Eingangsquerschnitt 90°-Rohrbogen) und M2 (ca. 15D nach Ausgangsquerschnitt 90°-Rohrbogen, **Abbildung 2**) im Strömungskanal ergibt sich mittels Druckdifferenzmessung der Widerstandswert für die Umlenkverluste im Rohrbogen und der zusätzliche Druckverlust, der bei der Durchströmung des Rohrbogens wirksam wird, wie folgt:

$$\begin{aligned} \Delta p_{(\text{Rohrbogen zus.})} &= p_1 - p_2 - \lambda \left( \frac{l_{\text{gerade Kanallänge}}}{d} \right) \frac{1}{2} \rho v^2 \\ &\quad - \lambda \left( \frac{l_{\text{gestreckte Bogenlänge}}}{d} \right) \frac{1}{2} \rho v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (Gl. 4) \end{aligned}$$

- p1, p2** = Drücke an den Strömungsquerschnitten M1 und M2
- l<sub>Gesamtlänge</sub>** = Länge der geraden Rohrstücke + gestreckte Rohrbogenlänge
- $\lambda$**  = Rohrreibungszahl [-]
- d** = hydraulischer Durchmesser



$$\zeta_{\lambda \text{ Rohrbogen}} = \lambda \left( \frac{l_{\text{gestreckte Rohrbogenlänge}}}{d} \right) \frac{1}{2} \rho v^2 \quad [-] \quad (Gl. 5)$$

und

$$\begin{aligned} \zeta_{U \text{ 90°-Bogen}} &= \frac{(p_1 - p_2) - \lambda \left( \frac{l_{\text{gerade Kanallänge}}}{d} \right) \frac{1}{2} \rho v^2}{\frac{1}{2} \rho v^2} \\ &\quad - \frac{\lambda \left( \frac{l_{\text{gestreckte Bogenlänge}}}{d} \right) \frac{1}{2} \rho v^2}{\frac{1}{2} \rho v^2} \quad [-] \quad (Gl. 6) \end{aligned}$$

$\zeta_U$  = zusätzlicher Verlustwert des Rohrbogens  
**Abbildung 4** zeigt erste praxisrelevante Ergebnisse aus Optimierungsexperimenten für Klima- und Lüftungsanlagen mit unterschiedlichen Strömungsquerschnitten. Die

Schlussfolgerung aus den beschriebenen und vergleichbaren Experimenten mit Rohrformstücken ist: Naturanaloge Kurvenformen und computertechnische Optimierung energieeffizienter Rohrbogen-Umlenkungen führen zu ähnlichen Optimallösungen. Das ist ein Ergebnis, das Vermutungen über energieeffiziente Fließmäander bestätigt, denn:

1. Selbstorganisierende naturoptimierte Mäanderkurven freier Fließgewässer tragen dazu bei, dass Fördergut mit einem Minimum an Entropie transportiert wird.
  2. Evolutionär optimierte technische Rohrbogensysteme zeigen in der Konsequenz ähnliche Mäandergeometrien.
- Zu 2. zählen Rohrsystem-Optimierungsexperimente im atmosphärischer Luft, technischer Druckluft, landwirtschaftliche Maschinen mit Rohrsystemen zum Transport körniger Güter und anderes mehr.

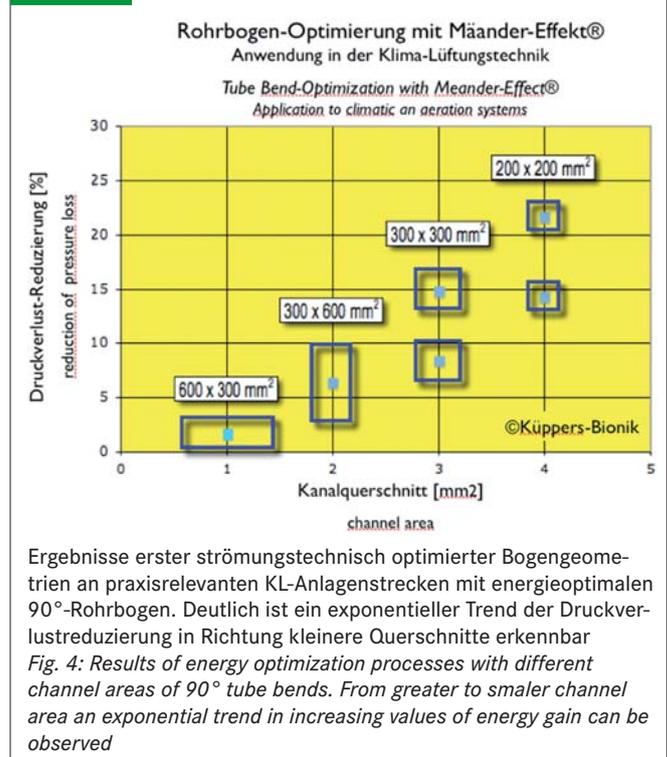
Ebenso effizient – wenn nicht sogar wesentlich effizienter – können Rohrbögen mit Mäander-Effekt® in kompakten Rohrsystemen wirken, egal ob sie für den Transport und die Verteilung von Saatgut auf den Feldern, für den Transport und die umweltverträgliche Verteilung von Düngemitteln im Boden, für den Transport und die Verteilung von Luft bei Mehrbandtrocknern oder anderswo in der Landtechnik eingesetzt werden (**Abbildung 4**).

Für die vorab genannten und anfangs erwähnten landtechnischen Anwendungen eröffnet sich nicht zuletzt ein nachhaltig wirksames Innovationsfeld durch die hier herausgestellte Rohrsystem-Innovation Rohrbogen mit Mäander-Effekt® als Produkt selbst. In speziellen Fällen kann es durchaus zu vorteilhaften Multiplikationseffekten kommen, bei denen das neue Produkt Rohrbogen mit Mäander-Effekt® zusätzlich Auslöser ist für eine oder mehrere ergänzende Innovationen der angewandten Landtechnik. Das haben wertvolle bionische Lösungen z. B. aus der Flug- und Material- oder Verpackungstechnik deutlich bewiesen [6; 7]. Auch dafür ist nicht zuletzt die fachliche, Grenzen überschreitende Bionik mit ihrer systemorientierten Ausrichtung zur Lösungsfindung eine wertvolle Methode.

### Schlussfolgerungen

Die Natur ist ein großes und erfahrungsreiches Experimentierfeld, in dem problemangepasste Lösungen auf adaptive Weise optimiert werden. Technische Produktentwicklungen gehen gegenwärtig mehrere Wege. Aus ökonomischen Gründen stehen bei Problembewältigungen oftmals rechnergesteuerte Simulationsmodelle im Vordergrund. Je komplexer aber eine Aufgabe ist, desto größer ist die Investition zur Lösung derselben. Hier sind oft Entwicklungsgrenzen erkennbar, wo das Kosten-Nutzen-Verhältnis überproportional zum erwarteten „cash-flow-return“ ansteigt. Nicht selten aber wird dieses Warnzeichen einer nicht nachhaltigen Entwicklung – aus verschiedenen Gründen – übersehen. Es zeigt sich zunehmend, dass gerade bei hochkomplexen Probleminhalten und unter dem Weitblick nachhaltiger Unternehmensziele, experimentelle Bionik-Lösungsansätze durchaus wirtschaftlicher sind und

Abb. 4



sein können, als rein ingenieurtechnische Entwicklungen. Ein Beispiel von vielen wurde hier vorgestellt.

Strömungssysteme verlustarm bzw. energieeffizient zu optimieren beschränkt sich aber nicht nur auf Klima- und Lüftungsanlagen. Auch in der breiten Anwendung von Rohr- bzw. Strömungssystemen ist die klassische Formgebung bei Bogenelementen in Rohrsystemen, mit eigentlich vermeidbaren Verlusten, einbezogen. Wer über Energieeffizienz nachdenkt, findet einen direkten Weg dahin über das Energiesparen. Sparpotenziale in technischen Rohrsystemen und dem zugehörigen Umfeld zu entdecken und nachhaltig zu nutzen, fordert jedoch den Blick über den fachlichen Horizont hinaus. Die Methode der Bionik und systemisches Denken und Handeln sind Schlüssel dazu.

**Literatur** Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● Nachtigall, W.: Bionik. Springer Verlag, Heidelberg, 2002
- [2] Blüchel, K. G. und F. Malik (Hrsg.): Faszination Bionik. Malik Management Zentrum St. Gallen, 2006
- [3] Küppers, U.: Natureffiziente Lösungen erobern die Technik. HLH, H.11, S. 58ff. und Heft 12, S. 34ff., Springer, VDI-Verlag, 2007
- [4] ● Kost, B.: Optimierung mit Evolutionsstrategien. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt a. M., 2003, S. 97ff.
- [5] ● Weicker, K.: Evolutionäre Algorithmen. Teubner Verlag, Wiesbaden, 2. Aufl., 2007
- [6] ● Harzheim, L.: Strukturoptimierung. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt a. M., 2009
- [7] Küppers U. und H. Tributsch: Verpacktes Leben – Verpackte Technik, Bionik der Verpackung. Wiley-VCH, Weinheim, 2002

### Autor

**Dr.-Ing. Udo Küppers** ist Gründer und Geschäftsführer von Küppers-Bionik in Bremen und Privatdozent für Bionik und Systemisches Denken und Handeln an der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg; E-Mail: kueppers@hsu-hh.de