

# Auslegung von Kunststoff-Laufmantelrollen

>> Mit neuen Berechnungsgrundlagen können Laufrollen mit Kunststoff-Laufmantel gezielter und zuverlässiger ausgelegt werden. Vergleichsweise einfache Formeln ermöglichen die Berechnung der kontaktmechanischen Grössen in Abhängigkeit der massgebenden Geometrie- und Werkstoffparameter. Erarbeitet wurden sie am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

Laufrollen sind wichtige Elemente der Fördertechnik. Solche mit einem Laufmantel aus Kunststoff verbinden vorteilhafte Betriebseigenschaften wie geringe Geräuschentwicklung, hohe mechanische Dämpfung, gutes Federverhalten und hohe Verschleissfestigkeit mit einer wirtschaftlichen Fertigung. Letzteres gilt insbesondere dann, wenn der Laufmantel im Spritzgiessverfahren auf die Nabe aufgebracht wird. Diese Laufmantelrollen bestehen im Wesentlichen aus einer Nabe und einem Laufmantel.

Die Nabe, auch etwa als Rollenkörper bezeichnet, kann massiv oder in Form eines Wälzlagers vorliegen. Der Laufmantel kann aufgespritzt oder umspritzt sein und je nach Funktion und Geometrie der Gegenfläche (Laufbahn, Unterlage) ein zylindrisches, konvexes, konkaves oder dachartiges Profil aufweisen (Abb. 2 und 3).

Die lokalen Kontaktverhältnisse zwischen Rolle und Laufbahn sind in Abhängigkeit von Geometrie und Werkstoffeigenschaften je durch spezifische geometrische Parame-

ter bestimmt. Berechnungsgrundlagen für die rechnerische Erfassung dieser Zusammenhänge standen der Konstruktionspraxis bisher nur in sehr begrenztem Umfang zur Verfügung.

## Kombiniert rechnerisch-experimentelle Untersuchungen

Zur Verbesserung dieser wenig befriedigenden Situation wurden am IWK umfangreiche Untersuchungen zur Kontaktmechanik solcher Kunststoff-Laufrollen durchgeführt. Die angewendete Methodik verbindet in bewährter Weise theoretisch-analytische Betrachtungen, gezielte Versuche und rechnerisch-numerische Parameterstudien mittels der Finite Elemente Methode (FEM). Für die Experimente wurden eine eigens dafür entwickelte Abplattungsmesseinrichtung und die Videoextensometrie eingesetzt. Untersucht wurden einerseits speziell hierfür hergestellte Versuchsrollen aus POM, teilweise aber auch im Handel erhältliche Rollen. Die erforderlichen Kriechmodule als massgebende Kennwerte der Werkstoffsteifigkeit wurden nach demselben Messprinzip ermittelt.

Die Überlegungen basieren auf einer Reihe von Voraussetzungen und Idealisierungen: Laufmantel und Nabe sind von gleicher Zylinderlänge (Rollenbreite); der Kunststoff des Laufmantels verhält sich linear viskoelastisch, das heisst die zeitabhängige Werkstoffsteifigkeit, beschrieben durch den Kriechmodul, ist keine Funktion der Last; zwischen Nabe und Laufmantel besteht kein Stoffschluss; allfällige Vorspannungen

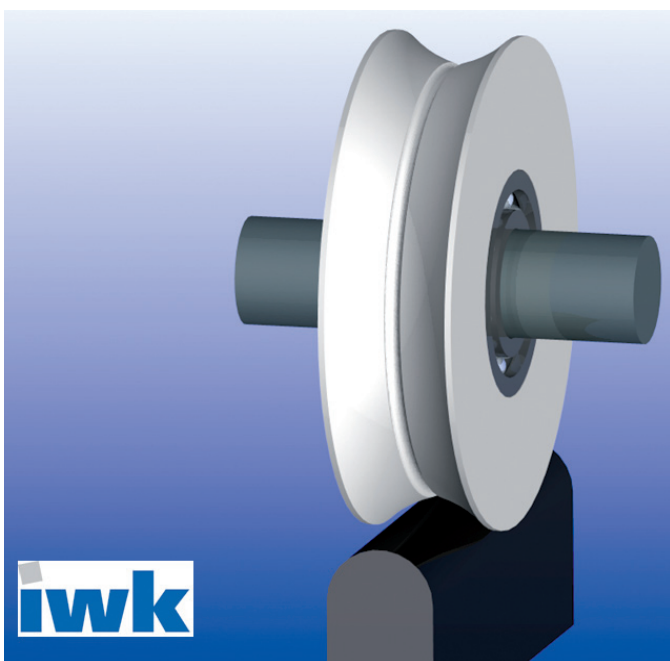


Bild: IWK

Abb. 1: Laufmantelrollen sind wichtige Elemente der Fördertechnik. Für ihre kontaktmechanische Auslegung konnten am IWK vergleichsweise einfache Berechnungsformeln erarbeitet werden.

durch Aufpressen beziehungsweise Umspritzen lassen sich linear überlagern (Boltzmannsches Superpositionsprinzip); die Nabe besteht aus einem Werkstoff vergleichsweise hoher Steifigkeit, so dass ihre Verformung vernachlässigt werden kann; die Krafteinleitung in die Nabe erfolgt in deren Zentrum; die Rolle ist eine reine Laufrolle, das heisst es wirken keine Tangentialkräfte in der Berührungsfläche; die Unterlage verhält sich linear elastisch beziehungsweise linear viskoelastisch.

Bei der Auswertung der Resultate wurden die gefundenen Gesetzmässigkeiten qualitativ herausgearbeitet und anschliessend mathematisch beschrieben, um daraus, aufbauend auf die Hertzsche Theorie der Kontaktprobleme, geeignete Berechnungsformeln abzuleiten.

### Kontaktmechanische Grössen

Die Belastung der Rollen besteht aus einer statischen bzw. quasistatischen Radiallast im Zentrum der Nabe. Dieser Fall ist für die Berechnung der statischen Tragfähigkeit, des Verformungsverhaltens im Stillstand sowie der Federwirkung und des Rollwiderstands bei langsamer Bewegung von Bedeutung.

Bei der kontaktmechanischen Auslegung interessierten in erster Linie der maximale Kontaktdruck zwischen Rolle und Unterlage, Form und Ausmass der entstehenden Kontaktfläche und die Rollenabplattung, letzteres definiert als Verschiebung des Rollenzentrums in Richtung Unterlage (Abb. 4). Diese Grössen sind alle abhängig von der Belastung, den geometrischen Verhältnissen und den Werkstoffeigenschaften von Rolle und Unterlage. Sie bestimmen unter anderem auch massgeblich den Anfahr- und den Rollwiderstand. Wichtige Kriterien für die Auslegung der Rollen sind auch die Vergleichsspannung und die maximalen Dehnungswerte zwecks Sicherstellung zulässiger Spannungen bzw. Dehnungen.

Theoretische Grundlage für die Bestimmung der kontaktmechanischen Grössen sind die allgemeine Hertzsche Theorie der Kontaktprobleme und die daraus abgeleiteten, bekannten Formeln für theoretische Linienberührung bei zylindrischen Rollen und für theoretische Punktberührung bei Rollen mit sphärischem Laufmantelprofil.

### Praktische Berechnungsformeln

In mehreren Teilprojekten konnten für die verschiedenen Rollentypen (Abb. 2 und 3) bzw. Kontaktverhältnisse treffende und praktisch handhabbare Berechnungsfor-

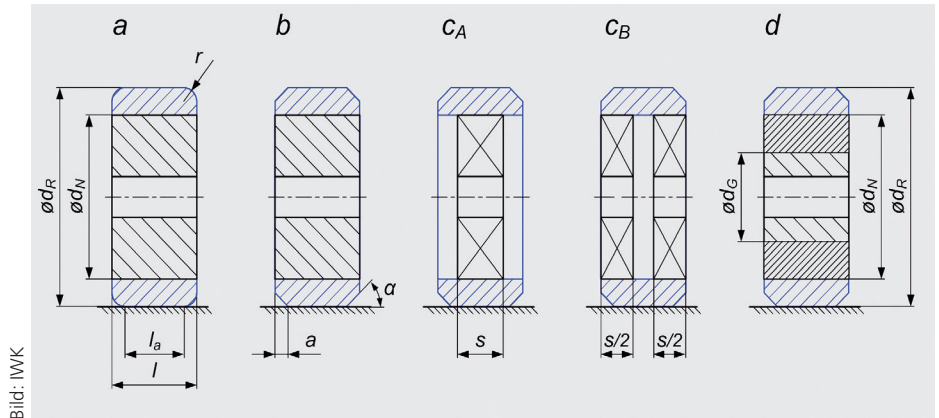


Abb. 2: Profile bei Kunststoff-Laufmantelrollen:

Theoretische Linienberührung.

a: Zylindrischer Laufmantel mit Rundung.

b: Zylindrischer Laufmantel mit Anfasung.

c<sub>A</sub>: Zylindrischer Laufmantel mit innerer partieller Abstützung.

c<sub>B</sub>: Zylindrischer Laufmantel mit äusserer partieller Abstützung.

d: Zylindrische 2K-Rolle mit weichem Radkörper.

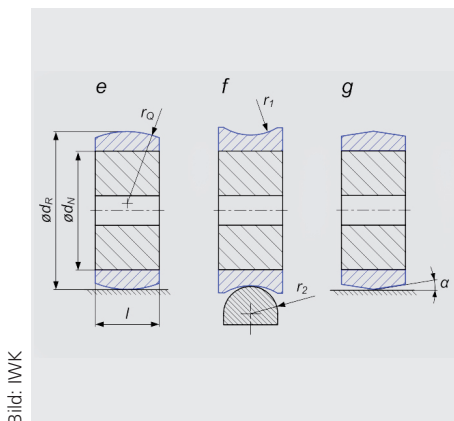


Abb. 3: Profile bei Kunststoff-Laufmantelrollen:

Theoretische Punktberührung.

e: Konkaves Laufmantelprofil.

f: Konkaves Laufmantelprofil.

g: Dachartiges Laufmantelprofil.

meln abgeleitet und der Fachwelt in separaten Publikationen präsentiert werden. Die Untersuchungen zeigten, dass der maximale Kontaktdruck und die Abmessungen der Kontaktflächen bei den meisten Rollentypen mit den jeweils zutreffenden Hertzschen Formeln recht gut beschrieben werden. Bei der zylindrischen Rolle mit partieller Abstützung (Abb. 2c<sub>A</sub> und 2c<sub>B</sub>) ist der maximale Kontaktdruck bei theoretischer Linienberührung zusätzlich von Art und Proportion  $s/l$  der Abstützung abhängig. Die Abplattung hingegen ist bei allen Rollentypen deutlich vom Durchmesser Verhältnis  $d_N/d_R$  abhängig. Die dachartig profilierte Rolle (Abb. 3d), gekennzeichnet durch eine theoretische Punktberührung, wird durch die Hertzsche Theorie nicht erfasst. Es ist aber gelungen, für diese spezielle Problemstellung Formeln zu erarbeiten, die an die

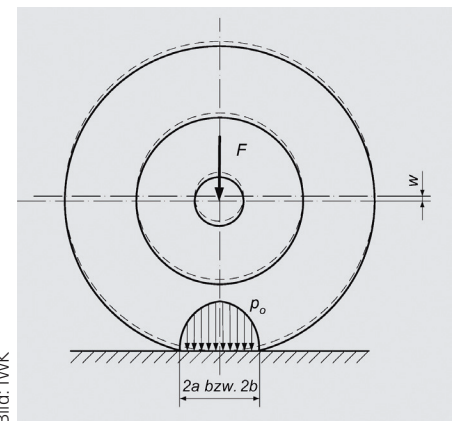


Abb. 4: Kontaktmechanische Grössen an der Laufmantelrolle:

a, b: Halbe Länge der Kontaktfläche in Umfangsrichtung [mm].

$p_G$ : Maximaler Kontaktdruck [N/mm<sup>2</sup>].

w: Abplattung bzw. Achsverschiebung unter Belastung [mm].

Hertzschen Beziehungen anknüpfen und den Einfluss des Kegelwinkels  $\alpha$  (Anzug) ausdrücken. Theoretische Punktberührung liegt auch bei Laufrollen mit konvex bzw. konkav gekrümmtem Laufmantelprofil vor (Abb. 1). Es konnten Formeln entwickelt werden, in welchen die Hertzschen Krümmungsbeiwerte mittels Potenzfunktionen des jeweils gültigen Krümmungsparameters ausgedrückt werden. Dies erspart das mühsame Auswerten der üblicherweise in Tabellenform vorliegenden Krümmungsbeiwerte einschliesslich Interpolation im nichtlinearen Bereich.

Die detaillierten Resultate einschliesslich aller Formeln finden sich in den relevanten Veröffentlichungen, welche zum Download auf der Website des Instituts verfügbar sind unter dem Link <http://www.iwk.hsr.ch/Bauteilauslegung-Werkstoffme.3578.0.html>.

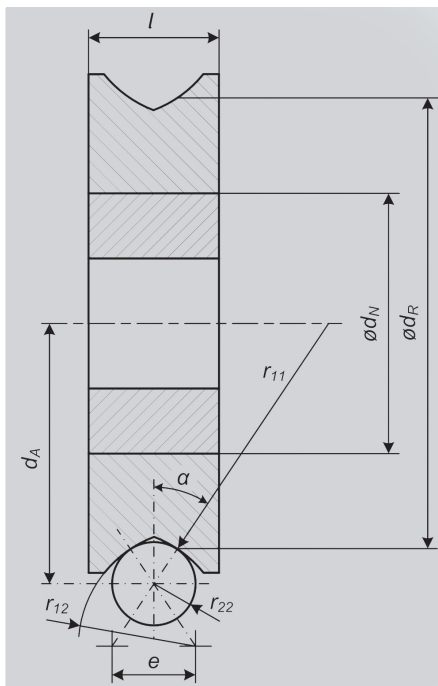


Abb. 5: Optimiertes konkaves Laufmantelprofil («gotisches Profil»).

### Weitere interessante Ergebnisse

Aus der Untersuchung sind weitere interessante Ergebnisse hervorgegangen, so auch eine Optimierungsprozedur für konkav gekrümmte Laufmantelprofile mit zwei theoretischen Berührungspunkten (sog. «gotisches Profil», Abb. 5). Damit können solche Rollen bei vorgegebener Belastung und bekanntem zulässigem Kontaktdruck so ausgelegt werden, dass kinematisch und kinetisch günstige Verhältnisse erzielt werden, das heisst wenig Schlupf und kleiner Rollwiderstand, also geringer Abrieb und minimaler Energieverlust.

In einem separaten Projekt wurde das Kontaktverhalten neuartiger 2K-Laufrollen

untersucht. Diese haben einen Laufmantel hoher Steifigkeit und einen weichen Radkörper (Abb. 6). Sie zeichnen sich durch hohe Laufruhe und eine weiche Verformungscharakteristik bei gleichzeitig kleinem Rollwiderstand und geringem Verschleiss aus. Auch hier ist gelungen, Berechnungsformeln für die Auslegung zu erarbeiten.

Eine andere Erkenntnis ist die Möglichkeit, den Rollwiderstand von Kunststoff-Laufrollen mit der Finite Elemente Methode zu berechnen. Der entsprechende Aufwand allerdings ist angesichts der erforderlichen Netzfeinheit und der viskoelastischen Werkstoffmodellierung enorm.

Umso wichtiger ist daher die Tatsache, dass es gelungen ist, aus den Ergebnissen der Untersuchung eine einfache Formel zur Abschätzung des Rollmomentes abzuleiten. Dieses erweist sich als proportional zu den zwei Werkstoffkennwerte Kurzzeit-Elastizitätsmodul und mechanischer Verlustfaktor sowie zur Ausdehnung der Kontaktfläche in Rollrichtung.

### Nutzen für die Praxis

Die am IWK erarbeiteten Berechnungsformeln ermöglichen der Konstruktionspraxis eine verlässliche kontaktmechanische Auslegung von Kunststoff-Laufrollen mit Einbezug der relevanten geometrischen Gegebenheiten. Sie eignen sich für Berechnungen «von Hand», für Variantenstudien mittels Tabellenkalkulation oder auch für Bereitstellungen von Basis- bzw. Referenzlösungen bei der Betrachtung komplexerer Geometrien mittels FEM. Im Zusammenhang mit den durchgeführten Untersuchungen konnte am IWK ein wertvolles Know-how aufgebaut werden, das auch für die

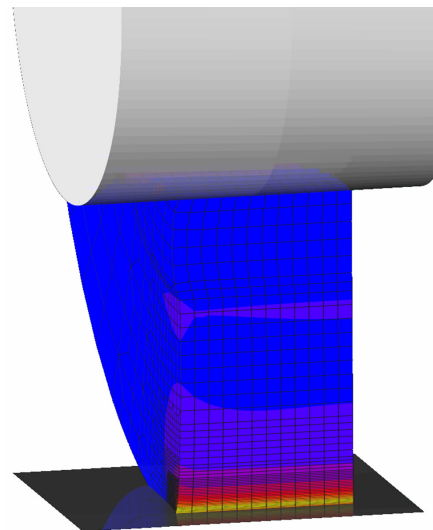


Abb. 6: 2K-Rolle: Typisches FEM-Verformungsbild einer Rollenhälfte mit grosser axialer Querdehnung im weichen Radkörper (linksseitig; rechts liegt die unverformte Symmetrieebene).

Bearbeitung von Problemstellungen aus der Industrie genutzt werden kann. <<

Autor:  
Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz  
Hochschule für Technik Rapperswil

Information:  
Institut für Werkstofftechnik und  
Kunststoffverarbeitung IWK  
HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
Oberseestrasse 10  
8640 Rapperswil  
Tel. 055 222 47 70  
Fax 055 222 47 69  
iwk@hsr.ch  
www.iwk.hsr.ch