

Konstruktion

Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe 7

Organzeitschrift der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) und Materials Engineering (VDI-GME)



Zur kontaktmechanischen Auslegung von Kunststoff-Laufrollen

J. Kunz

J. Kunz

Zur kontaktmechanischen Auslegung von Kunststoff-Laufrollen

Design of Plastic Rollers with Relation to Contact Mechanics

Inhalt Die Kontaktmechanik ist das entscheidende Kriterium bei der Auslegung von vorwiegend statisch belasteten und/oder relativ langsam und intermittierend bewegten Rollen mit Kunststoff-Laufmantel (Bild 1). Sie basiert auf der Hertz'schen Theorie der Kontaktprobleme, bezieht aber die je nach Rollentyp unterschiedlichen Geometrieparameter mit ein. Dabei besteht zwischen der Sicherstellung einer größtmöglichen Belastbarkeit ohne Werkstoffschädigung und der Forderung nach einer möglichst geringen und gleichzeitig möglichst reversiblen Abplattung der Lauffläche ein Zielkonflikt. Die damit zusammenhängenden Probleme und Lösungsmöglichkeiten werden aufgezeigt. Ein guter Kompromiss ist die Verformung als Auslegungskriterium.

Abstract Contact mechanics is the decisive criterion in the design of moved rollers with a running ring of plastic (Bild 1) being mainly statically loaded and/or moved relatively slowly and intermittently. Basis is the Hertzian theory of contact problems, however including the varying geometric parameters according to the different roller types. Hereby exists a goal conflict between securing a maximum loading capacity without damaging the material and the requirement of occurring a flattening of the running surface being as small as possible and as reversible as possible. The related problems and solution possibilities are outlined as well. The deformation as the design criterion is a good compromise.

1 Einleitung

Laufrollen sind wichtige Elemente insbesondere der Fördertechnik. Sie sind typischerweise radial belastet. Dies im Unter-

schied zu Antriebsrollen, die auch in Umfangsrichtung bzw. durch ein Drehmoment belastet sind. Sie weisen häufig einen Laufmantel aus Kunststoff auf (Bild 2). Damit lassen sich vorteilhafte Betriebseigenschaften

wie geringe Geräusentwicklung, hohe mechanische Dämpfung, gutes Federverhalten, hohe Verschleißfestigkeit und geringes Gewicht mit einer wirtschaftlichen Fertigung verbinden. Letzteres gilt speziell bei Anwendung des Spritzgießverfahrens.

Solche Laufmantelrollen bestehen typischerweise aus einer Nabe und einem Laufmantel als wesentlichen Komponenten. Die Nabe, etwa auch als Rollenkörper bezeichnet, besteht häufig aus einem metallischen Werkstoff. Sie kann massiv oder in Form eines Wälzlagers vorliegen. Der Laufmantel kann aufgedrückt oder umspritzt sein, was nicht zuletzt von der Stückzahl bestimmt wird. Je nach Funktion der Rolle und der Geometrie der als Laufbahn oder Unterlage

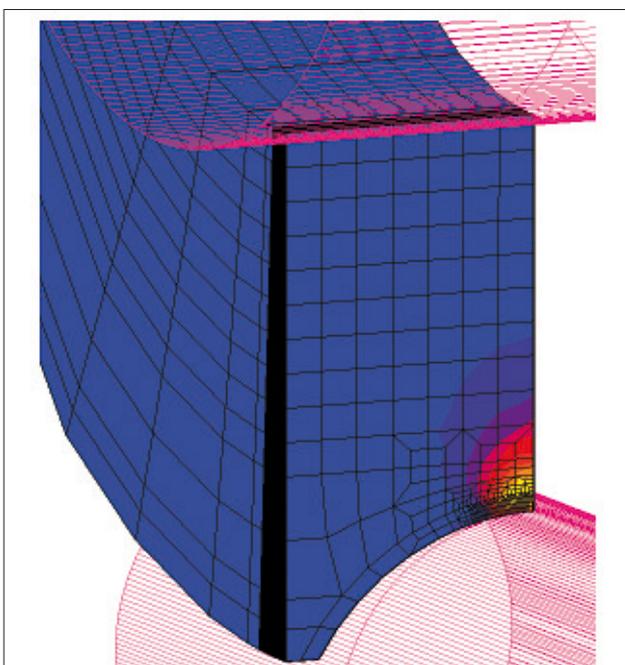


Bild 1

Entscheidende Kontaktmechanik für die Auslegung von Kunststoff-Laufrollen (IWK Rapperswil)

Autor

Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz
Institut für Werkstofftechnik und
Kunststoffverarbeitung (IWK)
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Oberseestr. 10
8640 CH-Rapperswil
E-Mail: iwkw@hsr.ch
www.iwk.hsr.ch

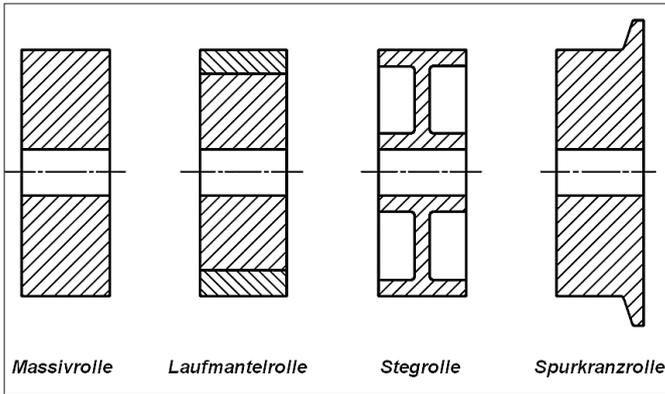


Bild 2
 Laufrollen: Grundformen, unterschieden nach Rollenkörper [22]

bezeichneten Gegenfläche kann der Laufmantel zylindrisch oder mit einem konvexen, konkaven oder dachartigen Profil ausgebildet sein (Bild 3 und 4).

Bei der Auslegung von vorwiegend statisch belasteten und/oder relativ langsam und intermittierend bewegten Rollen mit Kunststoff-Laufmantel ist die Kontaktmechanik das entscheidende Kriterium. Als langsam gelten Bewegungen, bei denen keine wesentlichen dynamischen Effekte auftreten. Dies trifft bei intermittierend bewegten Kunststofflaufrollen bis Rollgeschwindigkeiten von etwa 2 m/s zu, bei Rollen im Dauerbetrieb bis etwa 1 m/s. Bei solchen Rollen kann auf die nicht ganz einfache Beurteilung der thermischen Situation infolge der dämpfungsinduzierten Eigenerwärmung verzichtet werden, bei schnell laufenden Rollen ist sie aber unumgänglich. Die Rollgeschwindigkeit von 2 m/s entspricht bei einem Rollendurchmesser von beispielsweise 60 mm einer Drehzahl von gut 600 min⁻¹ bzw. 10 s⁻¹, was gleichzeitig auch die Frequenz der schwelenden Belastung eines Punktes am Rollenumfang ist. Die kontaktmechanische Auslegung ist damit ein wichtiger Teil des gesamten Auslegungsprozesses der Laufrollen.

Als Standardwerkstoff für Kunststoff-Laufrollen eignet sich vorzugsweise Polyamid 6 (PA 6) bzw. bei höheren Anforderungen Polyamid 66 (PA 66). Verbreitet kommt

auch Polyacetal (POM) zu Anwendung, obwohl bei rauher Oberfläche der Laufbahn (Unterlage) der Verschleißwiderstand geringer ist als bei PA-Rollen. Gusspolyamid (PA-G) ist der Werkstoff der Wahl für sehr große und dickwandige Rollen. Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) bietet sich für Rollen mit guter Beständigkeit in korrosiver Atmosphäre an, hat aber eine geringere Tragfähigkeit. Für besonders hohe Geräuschdämmung beliebt sind auch Rollen aus Polyurethan (PUR) in chemisch vernetzter Form oder aus thermoplastischem Polyurethan (TPU).

2 Kontaktmechanik der Laufrollen

Die Kontaktmechanik der Laufrollen basiert auf der Hertz'schen Theorie der Kontaktprobleme [1, 2] bzw. den daraus abgeleiteten, in maschinentechnischen Handbüchern aufgeführten Formeln [3, 4]. Diese Grundlagen beschreiben die mechanische Beanspruchung und die Verformung bei der Berührung zweier Körper mit gekrümmten Oberflächen unter Kraftwirkung [5]. Da sie aber von weitreichenden Idealisierungen ausgehen, können sie für reale Rollen nicht unbesehen übernommen werden. Eine Kontaktmechanik der Laufrollen hat einerseits zu berücksichtigen, dass rollenspezifische Geometrieparameter wie Verhältnis der Durch-

messer von Nabe und Laufrolle, Abstützung des Laufmantels auf der Nabe, Profilgeometrie, Rundungsradien, Anfasungen usw. von teilweise erheblichem Einfluss sein können, hat andererseits aber auch das viskoelastische Werkstoffverhalten der aus Kunststoff bestehenden Komponenten einzubeziehen.

In der Kontaktmechanik der Laufrollen sind

- der maximale Kontaktdruck,
- die Abmessungen bzw. die Größe der entstehenden Kontaktfläche und
- die Rollenabplattung, also die Verschiebung des Rollenzentrums in Richtung Unterlage

die bestimmenden Größen für die Erfassung von Beanspruchung und Verformung (Bild 5).

Bei der Auslegung interessieren zudem aber auch

- die maximale Vergleichsspannung als Kenngröße für die Höhe der Beanspruchung sowie
- die größte positive Dehnung als Kriterium für das Vermeiden irreversibler Verformungen.

Alle diese Größen hängen nicht nur von den lokalen Kontaktverhältnissen zwischen Rolle und Laufbahn und den mechanischen Eigenschaften der beteiligten Werkstoffe ab, sondern auch von konkreten rollenspezifischen Geometrieparametern. Je nach den geometrischen Gegebenheiten im Kontaktbereich zwischen Laufrolle und Laufbahn liegt theoretische Linienberührung (Bild 3) oder theoretische Punktberührung (Bild 4) vor.

Umfangreiche Untersuchungen am IWK an unterschiedlichen Laufmantelgeometrien mit Linien- und Punktberührung haben gezeigt [6-13], dass der maximale Kontaktdruck und die Abmessungen der Kontaktflächen abgesehen von zwei Ausnahmen mit den bekannten Hertz'schen Formeln berechnet werden können. Diese Ausnahmen betreffen Laufrollen mit relativ dünnem zylindrischem Laufmantel ($0,6 \leq d_N/d_R \leq 0,8$) und partieller Abstützung sowie

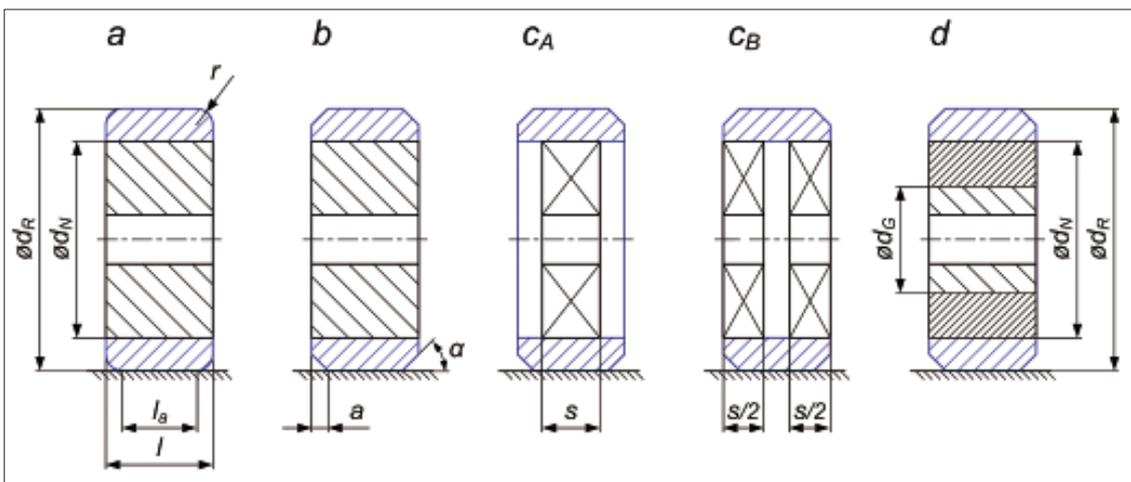


Bild 3
 Theoretische Linienberührung von Laufrollen [14]
 a: Zylindrischer Laufmantel mit Rundung
 b: Zylindrischer Laufmantel mit Anfasung
 c_A: Zylindrischer Laufmantel mit innerer partieller Abstützung
 c_B: Zylindrischer Laufmantel mit äußerer partieller Abstützung
 d: Zylindrische 2K-Rolle mit weichem Radkörper

den Laufmantel mit dachartigem Profil. Zum maximalen Kontaktdruck proportional sind die maximale Vergleichsspannung und die größte positive Dehnung. Letztere ist umgekehrt proportional zum Kriechmodul des Laufmantelwerkstoffs, und zwar in Abhängigkeit von der statischen Belastungsdauer und der Umgebungstemperatur.

Deutlich von den spezifischen Geometrieverhältnissen der einzelnen Laufmantelprofile abhängig erwies sich jedoch die Abplattung. Diese ist vor allem für das Betriebsverhalten wesentlich wie etwa das Anrollen nach dem Stillstand unter Last. Von markantem Einfluss ist vor allem das Durchmesserverhältnis d_N/d_R . Je nach Rollengeometrie sind aber auch andere Parameter wesentlich, wie etwa beim dachartigen Profil der Kegelwinkel α oder bei der partiellen Abstützung das Abstützungsverhältnis s/l .

3 Zielkonflikte bei der kontaktmechanischen Auslegung

Bei der kontaktmechanischen Auslegung geht es einerseits darum sicherzustellen, dass unter der größtmöglichen Belastung die Rolle bzw. der Rollenwerkstoff nicht geschädigt wird. Andererseits soll die Verformung, also die Abplattung und die dabei entstehende Kontaktfläche, möglichst gering sein [14, 15]. Dies im Interesse einer möglichst raschen und möglichst vollständigen Rückstellung der Verformung aus statischer Belastung beim wieder einsetzenden Rollvorgang, aber auch mit dem Ziel eines möglichst geringen Rollwiderstandes. Zudem sollten allfällige bleibende Verformungen höchstens in vernachlässigbarer Größe auftreten. Diese Forderungen münden bei Kunststoffrollen wegen der vergleichsweise geringen und belastungszeitabhängig abnehmenden Steifigkeit der viskoelastischen Polymerwerkstoffe in einen Zielkonflikt. Sie müssen daher bei der Auslegung sorgfältig gegeneinander abgewogen werden.

Vor der eigentlichen Auslegung als iterativer Prozess zur Festlegung von Geometrie und Werkstoff stellt sich die Frage nach dem geeigneten Rollenprofil (Bild 2 und 3). Auf ebener Unterlage führt ein zylindrischer Laufmantel zu günstigen Kontaktverhältnissen, sofern ein Verkanten praktisch ausgeschlossen werden kann. Ansonsten wäre ein leicht balliges oder ein dachartiges Profil zu bevorzugen. Soll die Rolle auf einer zylindrischen Unterlage laufen, so bietet sich ein konkaves Profil an. Dabei weist die Aufteilung der Belastung auf zwei Kontaktpunkte gewisse Vorteile gegenüber einem einzigen Kontaktpunkt auf (Bilder 6 und 7). Allerdings ist hier ein Kompromiss zwischen möglichst geringem Kontaktdruck und möglichst geringem Schlupf und Rollwiderstand zu schließen [13].

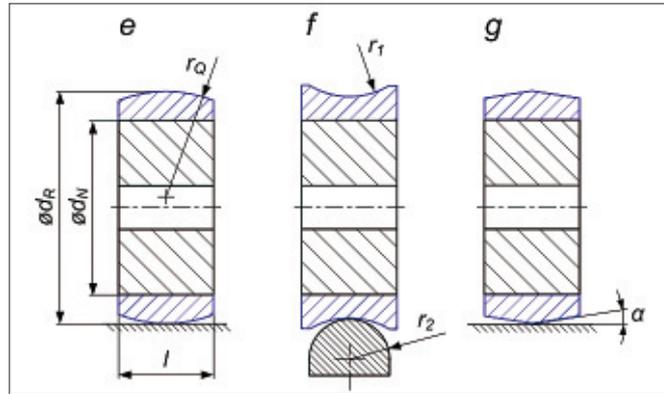


Bild 4

Theoretische Punktberührung von Laufrollen [14]
 e: Konvexes Laufmantelprofil
 f: Konkaves Laufmantelprofil
 g: Dachartiges Laufmantelprofil

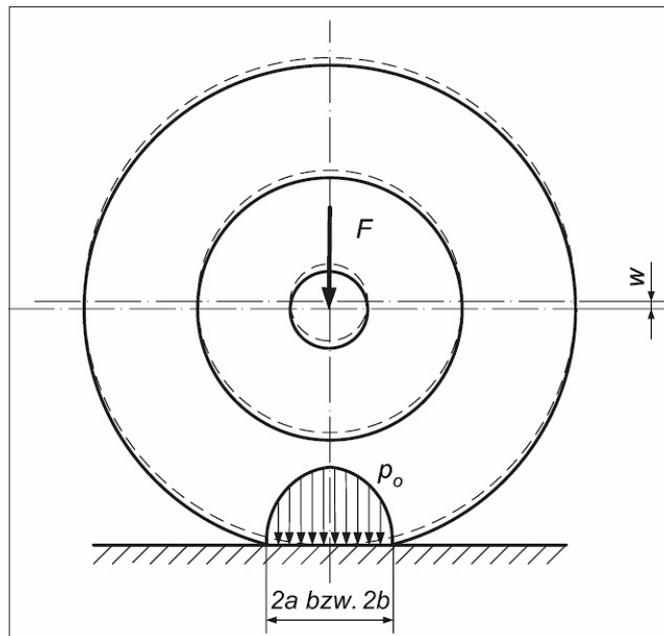


Bild 5

Kontaktmechanische Größen an der Laufrolle
 a, b: Halbe Länge der Kontaktfläche in Umfangsrichtung [mm]
 p₀: Maximaler Kontaktdruck [MPa]
 w: Abplattung bzw. Achsverschiebung unter Belastung F [mm]

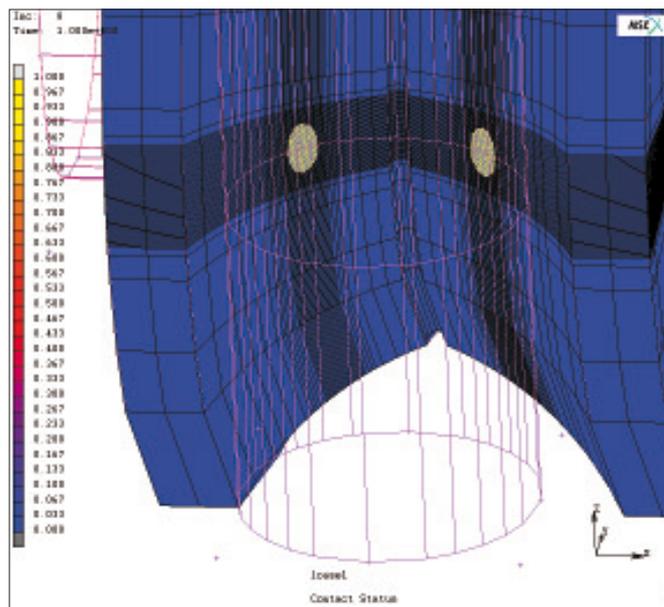


Bild 6

Optimiertes konkaves Profil („gotisches Profil“) mit zwei Kontaktflächen an den Flanken [13]

4 Kontaktdruck als Kriterium

Die Belastbarkeit einer Rolle kann, wie dies bei metallischen Werkstoffen üblich ist, durch die Festigkeitsbedingung

$$p_{\max} \leq p_{zul} \quad (1)$$

begrenzt werden, wonach der maximale Kontaktdruck p_{\max} eine zulässige Größe p_{zul} nicht überschreiten darf. Die Größe von p_{zul} kann bei quasistatischer Belastung anhand einer Verknüpfung mit der zulässigen Spannung [16] abgeschätzt werden gemäß

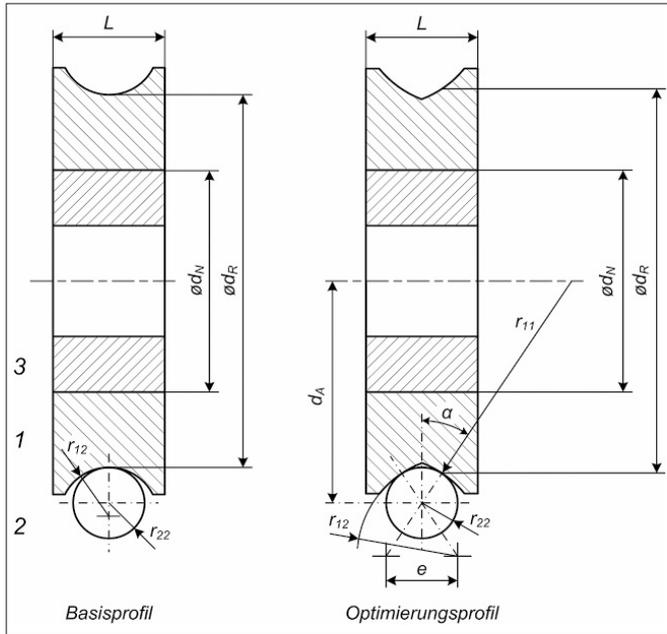


Bild 7
Laufmantelrollen mit konkavem Profil [13]

oder kritische Dehnung $\epsilon_{F\infty}$ verwendet. Bei diesem handelt es sich um einen zwar nicht genormten, aber sehr wichtigen Werkstoffkennwert, der die Bereiche der reversiblen und der irreversiblen Verformungen abgrenzt. Seine Größenordnung liegt bei den gängigen teilkristallinen Rollenwerkstoffen im Bereich von $2 \div 2,5$ % [19], ein Wert, der für die praktische Anwendung durchaus reicht. Bei Einhaltung dieses Grenzwertes kann damit gerechnet werden, dass die Verformungen reversibel bleiben und innert relativ kurzer Zeit abgebaut werden, eine Tatsache, die für die Auslegung von Kunststoff-Laufrollen von besonderem Interesse ist. Bei statischer Belastung kann in der Praxis meistens mit $C = S = 1$ gerechnet werden, was die Auslegung wesentlich vereinfacht. Allerdings ist für die Anwendung der Bedingung (3) die Kenntnis der größten positiven Dehnung erforderlich, sei es anhand verfügbarer Berechnungsbeziehungen oder mit Hilfe der Finite Elemente Methode (FEM).

Mit der Dauer der statischen Belastung nimmt die Abplattung entsprechend der zeitabhängig abnehmenden Kunststoffsteifigkeit zu, nach beendetem Stillstand erfolgt eine zeitabhängige Rückverformung. Die entstehende Kontaktfläche darf indessen nicht so groß werden, dass sie nach beendetem Stillstand zu einer spürbaren Rollenverformung führt. Eine solche würde den Anrollvorgang behindern, das gleichmäßige Abrollen verunmöglichen und die Laufruhe reduzieren. Als brauchbarer Kompromiss zwischen der Forderung nach möglichst hoher Belastbarkeit und möglichst kurzfristiger Rückverformung besteht, wenn in Anlehnung an [21] das Verhältnis der Abplattung w zum Rollendurchmesser d_R einen bestimmten Wert annimmt. Unter Einbezug des Durchmesserverhältnisses d_N/d_R und in Abhängigkeit der zulässigen Dehnung ϵ_{zul} lässt sich dieser Zusammenhang durch den Ausdruck

$$\frac{w}{d_R} \approx \frac{1}{3} \cdot \left(1 - \frac{d_N}{d_R}\right) \cdot \epsilon_{zul} \approx 3 \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

darstellen [22]. Darin kann ϵ_{zul} in der Größenordnung der Fließgrenzdehnung $\epsilon_{F\infty}$ des verwendeten Werkstoffs eingesetzt werden, d.h. bei PA und POM mit ca. $2 \div 2,5$ %.

Soll auch der Rollwiderstand als Auslegungskriterium beigezogen werden, so kann dies zumindest bei zylindrischen Laufrollen in einfacher Form mit der Abschätzformel

$$M_R \approx 0,68 \cdot \tan \delta_v \cdot F \cdot b \quad (5)$$

geschehen, welche das Rollreibungsmoment M_R über die Radiallast F und den Vergleichswert $\tan \delta_v$ der mechanischen Verlustfaktoren beider Kontaktpartner mit der halben Kontaktflächenausdehnung b in Rollrichtung verknüpft [23].

$$p_{zul} \approx k \cdot \sigma_{zul} = k \cdot \sigma_G \cdot \frac{C}{S} \quad (2)$$

Die Größenordnung des Faktors k in (2) liegt bei Kontaktproblemen mit Linienberührung bei $k \approx 5$, bei Punktberührung bei $k \approx 7$. Damit wird die übliche zulässige Spannung um diesen Faktor k überhöht, was sich aus der Tatsache rechtfertigt, dass der Spannungszustand im Kontaktbereich nahezu hydrostatisch ist, und dass die gebräuchlichen Festigkeitshypothesen auf Basis der maximalen Schubspannung (Mohr, Tresca) oder auf Basis der Gestaltänderungsenergie pro Volumeneinheit (von Mises, Hencky) für diesen Fall unrealistisch kleine Vergleichsspannungen ergeben. Als Spannungs-Grenzwert σ_G in (2) bietet sich die Streckspannung σ_Y in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur an (Yield Stress; DIN EN ISO 527), auch wenn Kunststoffrollen weit weniger hoch belastet werden sollten. Für eine zweckmäßige Festlegung des Sicherheitsfaktors S dagegen gibt es kaum Anhaltspunkte, weshalb man sich allgemein mit Erfahrungswerten behelfen muss. Rückrechnungen an handelsüblichen PA-Rollen führen beispielsweise zur Größenordnung $3 \leq S \leq 5$. Abhängigkeiten von der statischen Belastungsdauer und der Temperatur sind mit der entsprechend eingesetzten Streckspannung σ_Y oder approximativ mit dem Einflussfaktor C zu erfassen.

Wenn die Rollgeschwindigkeit eine Grenze von etwa 2 m/s übersteigt, macht sich beim zulässigen Kontaktdruck auch eine gewisse Geschwindigkeitsabhängigkeit bemerkbar. Bei Raumtemperatur nimmt p_{zul} im Bereich von 2 bis 5 m/s in etwa linear auf rund 60 % ab [17]. Diese Abnahme wächst mit steigender Umgebungstemperatur deutlich. Bis 100°C Umgebungstemperatur sinkt

p_{zul} von Laufrollen aus PA 6-G oder aus POM-Copolymerisat auf etwa 30 % ab.

Die Begrenzung der Belastbarkeit über den maximalen bzw. den zulässigen Kontaktdruck gemäß (2) ist bei Kunststoff-Laufrollen nicht ganz unproblematisch. Denn infolge des viskoelastischen Verhaltens setzt unter statischer Belastung ein Kriechvorgang ein, weshalb die Kontaktfläche zeitabhängig zunimmt. Dies aber hat die zeitabhängige Abnahme des maximalen Kontaktdrucks und damit verbunden einen scheinbaren Anstieg der Sicherheit zur Folge, obwohl sich an der Belastung nichts ändert. Diese Vorgehensweise kann also durchaus einen falschen Eindruck vermitteln.

5 Verformung als Kriterium

Die verformungsbezogene Abgrenzung der Belastbarkeit, wie sie seinerzeit von Menges [18, 19] eingeführt und empfohlen wurde, entspricht dem werkstoffmechanischen Verhalten der Kunststoffe besser. Gleichzeitig ist sie auch in der praktischen Handhabung einfacher [20]. Demzufolge wird der zeitabhängig zunehmenden Verformung der Laufrolle ein werkstoffcharakteristischer Dehnungs-Grenzwert gegenübergestellt. So können Werkstoffschädigungen, die weit unterhalb der Streckspannung σ_Y einsetzen, und damit bleibende Verformungen mit der Bedingung vermieden werden, dass die größte positive Dehnung unter der statischen Last nicht zur Bildung von Mikrorissen und Crazes führt, also grundsätzlich mit der Verformungsbedingung

$$\epsilon_{\max} = \max(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3) \leq \epsilon_{zul} = \epsilon_G \cdot \frac{C}{S} \quad (3)$$

Als Dehnungs-Grenzwert ϵ_G wird zweckmäßigerweise die sog. Fließgrenzdehnung

6 Ein Beispiel

Zum Zweck der besseren Anschauung und zwecks Gegenüberstellung der unterschiedlichen Auslegungskriterien sei eine Rolle mit zylindrischem Laufmantel auf ebener Unterlage betrachtet (Bild 3a und b). Die Hauptabmessungen sind $d_R = 100 \text{ mm}$, $d_N = 60 \text{ mm}$, $l_a = 30 \text{ mm}$, $a = 1 \text{ mm}$. Der Laufmantel soll aus Polyacetal (POM) bestehen, die Unterlage aus einem Werkstoff sehr hoher Steifigkeit, dessen Verformungen also praktisch vernachlässigbar sind. Als Werkstoffdaten dienen jene des POM-Homopolymers Delrin 100 NC010 mit $E = 3100 \text{ MPa}$ und $\sigma_Y = 71 \text{ MPa}$. Die Fließgrenzdehnung liegt bei $\epsilon_{F\infty} \approx 2,0 \%$. Da Linienberührung vorliegt, ist der Zahlenfaktor in (2) $k = 5$, und es wird mit einer Sicherheit $S = 3,0$ und einem Einflussfaktor $C = 1,0$ gerechnet. Aufgrund dieser Angaben wird die zulässige Rollenbelastung F bestimmt, und zwar je anhand der beiden Kriterien (2) und (4) und unter Verwendung der für Rollen mit zylindrischem Laufmantel erarbeiteten Berechnungsformeln [7].

Die Berechnung mit dem Kontaktdruck als Kriterium anhand der Festigkeitsbedingung (2) liefert aus

$$p_{\max} \approx 0,590 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot 2 \cdot E}{l_a \cdot d_R}} \leq p_{\text{zul}} = k \cdot \sigma_Y \cdot \frac{C}{S} \quad (6)$$

mit den erwähnten Zahlenwerten das Ergebnis

$$F \leq F_{\text{zul}} = \left(\frac{k}{0,590} \cdot \sigma_Y \cdot \frac{C}{S} \right)^2 \cdot \frac{l_a \cdot d_R}{2 \cdot E} = 19,5 \text{ kN} \quad (7)$$

Wird die Sicherheit auf den Wert $S = 4,0$ erhöht, beträgt die zulässige Rollenbelastung noch $F_{\text{zul}} = 10,9 \text{ kN}$.

Bei der Abgrenzung mit der Verformung als Kriterium nach Beziehung (4) ist von der Abplattung

$$w \approx 5,7 \cdot \frac{F}{2 \cdot E \cdot l_a} \quad (8)$$

$$\cdot \left(1,2 - 0,65 \cdot \frac{d_N}{d_R} \right) \cdot \left(1 - 0,95 \cdot \frac{a}{l_a} \right)$$

auszugehen, was dann zusammen mit (4) zum Resultat

$$F \leq F_{\text{zul}} \approx \frac{1}{3} \cdot \left(1 - \frac{d_N}{d_R} \right) \cdot \epsilon_{F\infty} \cdot \frac{2 \cdot E \cdot l_a \cdot d_R}{5,7} \cdot \frac{1}{1,2 - 0,65 \cdot \frac{d_N}{d_R}} \cdot \frac{1}{1 - 0,95 \cdot \frac{a}{l_a}} = 11,9 \text{ kN} \quad (9)$$

führt.

Beide Vorgehensweisen ergeben als zulässige Belastung einen Kraftbetrag in ähnlicher Größenordnung. Wird die Fließgrenzdehnung in (9) mit $\epsilon_{F\infty} \approx 2,5 \%$ eingesetzt, so erhöht sich die zulässige Rollenbelastung proportional auf $F \leq 13,9 \text{ kN}$. Die Verwendung des Zahlenwerts $3 \cdot 10^{-3}$ aus (4) ergibt $F \leq 12,5 \text{ kN}$.

Die Verformung hat gegenüber dem Kontaktdruck als Auslegungskriterium den Vorteil, dass mit ihr Werkstoffschädigungen praktisch ausgeschlossen werden. Demgegenüber hängt das Ergebnis aufgrund des Kontaktdrucks wesentlich auch von der mehr oder weniger willkürlichen

Wahl des Sicherheitsfaktors S ab, wobei für das Ausschließen von Werkstoffschädigungen überhaupt keine Gewähr besteht.

Beim vorliegenden Beispiel ist zu beachten, dass die Beziehungen (7) und (9) in dieser Form nur für Rollen mit zylindrischem Laufmantel gelten. Für andere Profile sind die einzusetzenden Ausdrücke für den maximalen Kontaktdruck p_{\max} bzw. die Abplattung w der relevanten Fachliteratur zu entnehmen [9–13].

7 Schlussbemerkung

Die Auslegung eines Konstruktionselements ist stets eine komplexe Aufgabe, weil für die Bestimmung der Problemparameter wegen der großen Anzahl Freiheitsgrade zu meist kein eindeutiger Weg vorgegeben werden kann. Dies gilt auch für die hier im Zentrum stehende kontaktmechanische Auslegung von Laufmantelrollen. Unter den aufgezeigten Möglichkeiten wird die verformungsbezogene Abgrenzung den werkstoffmechanischen Gegebenheiten der Kunststoffe am besten gerecht. Mit ihr lassen sich nach Beziehung (4) die entscheidenden Größen wie Verformung oder Belastung sehr schnell und recht zuverlässig abschätzen bzw. in Tabellenkalkulationen iterativ variieren, ohne dass umfangreiche Berechnungen gestartet werden müssten wie etwa mit der FEM. Die Auslegung der Laufrollen auf Basis der Verformung als Kriterium ist ingenieurmäßig bewährt, zweckdienlich und einfach in der Anwendung. Damit entspricht sie den wichtigsten Grundanforderungen der Praxis.

Literatur

- [1] Hertz, H.: Über die Berührung fester elastischer Körper. J. reine u. ang. Math. 92 (1881), S. 156–171
- [2] Hertz, H.: Über die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 61 (1882), S. 449–463
- [3] Czichos, H.; Hennecke, M. (Hrsg.): Hütte – Das Ingenieurwissen. Berlin: Springer Verlag, 33. Aufl., 2008
- [4] Grothe, K.-H.; Feldhusen, J. (Hrsg.): Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin: Springer Verlag, 22. Aufl., 2007
- [5] Kunz, J.: Kontaktprobleme und ihre praktische Lösung. Konstruktion 61 (2009) 11/12, S. 54–58
- [6] Kunz, J.; De Maria, E.: Die Abplattung im Kontaktproblem paralleler Zylinder. Forschung im Ingenieurwesen 67 (2002) 4, S. 146–156
- [7] Kunz, J.: Kontaktmechanik zylindrischer Kunststoff-Laufmantelrollen. Kunststoffe-Synthetics 52 (2005) 6, S. 19–22
- [8] Kunz, J.; Studer, M.: Zylindrische Laufmantelrolle mit partieller Abstützung. Kunststoffe-Synthetics 53 (2006) 1, S. 18–21
- [9] Kunz, J.; Studer, M.: Neuartige 2K-Laufrollen und ihre Kontaktmechanik. SwissPlastics 30 (2008) 3, S. 17–20
- [10] Kunz, J.; Holzinger, M.: Kunststoffrollen mit dachartigem Laufmantelprofil. Kunststoffe-Synthetics 53 (2006) 11, S. 24–27
- [11] Kunz, J.; Bürzle, W.; Studer, M.: Kontaktmechanik balliger Kunststoff-Laufmantelrollen. SwissPlastics 29 (2007) 6, S. 31–34
- [12] Kunz, J.; Bürzle, W.: Kontaktmechanik konkaver Kunststoff-Laufmantelrollen. SwissPlastics 30 (2008) 9, S. 1720
- [13] Kunz, J.; Bürzle, W.: Profile konkaver Kunststoff-Laufrollen optimieren. SwissPlastics 31 (2009) 7/8, S. 23–26
- [14] Kunz, J.: Laufrollen kontaktmechanisch auslegen. Kunststoffe 99 (2009) 11, S. 71–76
- [15] Kunz, J.: Kunststoff-Laufmantelrollen und ihre kontaktmechanische Auslegung. In: KISSsoft AG (Hrsg.): Schweizer Maschinenelemente Kolloquium 9./10. November 2010 Rapperswil, Tagungsband. TUDpress, Verlag der Wissenschaften GmbH, Dresden 2010
- [16] N.N.: SIA-Norm 161 (1956), S. 20
- [17] Erhard, G.: Konstruieren mit Kunststoffen. München: Carl Hanser Verlag, 4. Aufl., 2008, S. 497–499
- [18] Menges, G.: Ingenieurmäßige Festigkeitsrechnung für Spritzgussteile aus Thermoplasten. Kunststoffe 57 (1967) 1, S. 2–8
- [19] Menges, G.: Dimensionierung von Kunststoffteilen auf Basis von kritischen Deformationen. Kunststoffe-Plastics 24 (1977) 8, S. 15–25
- [20] Kunz, J.: Ein Plädoyer für die dehnungsbezogene Auslegung. Kunststoffe, 101 (2011) 3, S.
- [21] Schmidt, H.: Rollen aus Hostaform. Verformungsverhalten und Versagenskriterien. Konstruktion 25 (1973) 6, S. 211–219
- [22] Kunz, J.: Laufrollen. In: Kunz, J.; Michaeli, W.; Herrlich, N.; Land, W. (Hrsg.): Kunststoffpraxis: Konstruktion, Aktualisierungsstand April 2011
- [23] Kunz, J.; Studer, M.: Rollwiderstand von Laufrollen. SwissPlastics 31 (2009) 10, S. 71/72, 75/76