

Konstruktionselemente aus Kunststoff

# Rollwiderstand von Laufrollen

Der Rollwiderstand von Kunststoff-Laufrollen lässt sich – bei entsprechendem Aufwand – mit der Finite Elemente Methode berechnen (Abb. 1). Für die Praxis interessant ist zudem, dass der Rollwiderstand auch anhand einer einfachen Formel recht gut abgeschätzt werden kann, die sich auf zwei Werkstoffkennwerte stützt: den Kurzzeit-Elastizitätsmodul und den mechanischen Verlustfaktor. Dies sind die wichtigsten Erkenntnisse aus einem aF + E-Projekt am Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

Bei der Auslegung von Kunststoffrollen interessieren nicht nur die kontaktmechanischen Grössen bei statischer Belastung, sondern auch das dynamische Verhalten. Hiezu zählt vor allem auch der Rollwiderstand, der massgebend den Energiebedarf für den Rollvorgang bestimmt. Die Konstruktionspraxis braucht Methoden für die Voraussage des Rollwiderstands, die keiner aufwändigen Versuche bedürfen und eine ordentlich treffsichere Berechnung aufgrund der gegebenen Geometriedaten und Werkstoffeigenschaften ermöglichen.

Die Literaturrecherche zum Thema führt zu einer langen Liste wissenschaftlicher Publikationen (u.a. [1]), deren Ergebnisse aber dem Praktiker zumeist verborgen bleiben. Damit war es naheliegend, zu untersuchen, mit welchem Aufwand und wie gut der Rollwiderstand mit der Finite Elemente Methode (FEM) simuliert werden kann, und ob sich aus den Ergebnissen eine Formel zur Berechnung bzw. zur einfachen Abschätzung des Rollwiderstands ableiten lässt.

Im Vordergrund stand die Kontaktsituation einer zylindrischen Rolle aus viskoelastischem Werkstoff mit einer Unterlage von vergleichsweise sehr hoher Steifigkeit. Der Untersuchung zugrunde gelegt wurden Laufrollen mit Kugellagern und zylindrischem Laufmantel (theoretische Linienberührung) aus POM (Tecaform AH TF, Kundert AG, 8640 Jona) und PP (PP-DWU AlphaPlus, Simona AG, 4313 Möhlin) und Aussendurchmessern  $d_R = 40$  und  $60$  mm. Als Unterlage diente in der Messung ein ebenes Stahlband, das in der FEM-Simulation durch einen starren Kör-

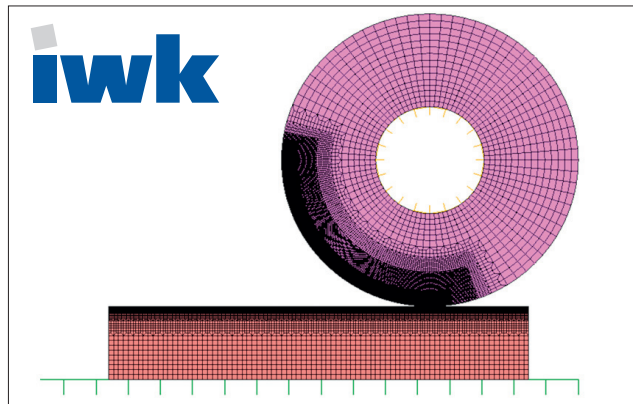


Abb. 1: Simulation des Rollverhaltens mit der Finite Elemente Methode (IWK Rapperswil).

per abgebildet werden sollte. Die Rollgeschwindigkeit sollte zwischen  $0,5$  und  $2,0$  m/s betragen. Die übrigen Grössen wurden jeweils in realistischen Wertebereichen variiert.

## Grundlagen

Unter der radialen Belastung  $F$  einer Rolle entsteht im Kontaktbereich eine lokale Deformation (Abplattung), die beim Rollvorgang durch ein entsprechendes Rollmoment  $M_R$  überwunden werden muss (Abb. 2). Die Breite der statischen Kontaktfläche der zylindrischen Rolle vom Durchmesser  $d_R$  und Auflagelänge  $l_a$  auf der ebenen Unterlage beträgt [2]

$$2 \cdot b = 2 \cdot 1,08 \cdot \sqrt{\frac{F \cdot d_R}{E_V \cdot l_a}} \quad (1)$$

mit  $\mu = 0,3$  für die Poissonzahl und dem Vergleichs-Elastizitätsmodul ( $E_R$ : Rolle;  $E_U$ : Unterlage).

$$E_V = 2 \cdot \frac{E_R \cdot E_U}{E_R + E_U} \quad (2)$$

Sie definiert zusammen mit der Umfangsgeschwindigkeit  $v_u$  der Rolle die Schwingperiode  $T$  und somit die charakteristische Kreisfrequenz  $\omega$  des Belastungszyklus beim Abrollen zu

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_u}{4 \cdot b} = \frac{\pi \cdot v_u}{2 \cdot 1,08} \cdot \sqrt{\frac{E_V \cdot l_a}{F \cdot d_R}} \quad (3)$$

Prof. Dipl.-Ing. Johannes Kunz, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Dozent für Berechnen und Gestalten von Kunststoffteilen im MAS-Studiengang Kunststofftechnik an der Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz

Dipl.-Ing. Mario Studer, ETH Zürich, zeitweilig wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWK Rapperswil

Abb. 2: Abplattung und Rollmoment beim Rollvorgang.

Der Rollwiderstand wird massgebend vom mechanischen Verlustfaktor des Rollenwerkstoffs bestimmt. Die zu dessen Messung im Torsionsschwingversuch der Thermisch-Mechanischen Analyse (TMA) verwendeten Kreisfrequenzen von  $0,63$  bis  $63$  rad/s entsprechend  $0,1$  bis  $10$  Hz liegen deutlich unterhalb des mit (3) und den gegebenen Daten berechneten Kreisfrequenzspektrums (Tab. 1). Die erforderliche Extrapolation stützt sich auf die Tatsache, dass die Abhängigkeit des mechanischen Verlustfaktors von der Frequenz mit deren Zunahme kaum mehr in Erscheinung tritt. Damit kann bei höheren Kreisfrequenzen vom selben mechanischen Verlustfaktor wie bei  $63$  rad/s ausgegangen werden.

## Simulation mit FEM

Die Simulation mittels FEM erfordert ein geeignetes viskoelastisches Materialmodell. In der Evaluation erwies sich ein n-Parameter-Maxwell-Modell (Abb. 3) als zweckmässig. Für dessen Kalibrierung anhand des mechanischen Verlustfaktors und des Kurzzeit-Elastizitätsmoduls wurden Torsionsschwingversuche im Temperaturbereich von  $25$  bis  $75$  °C durchgeführt. Mit 17 Parametern (9 Federn, 8 Dämpfer) gelang eine gute Approximation im Kreisfrequenzbereich

