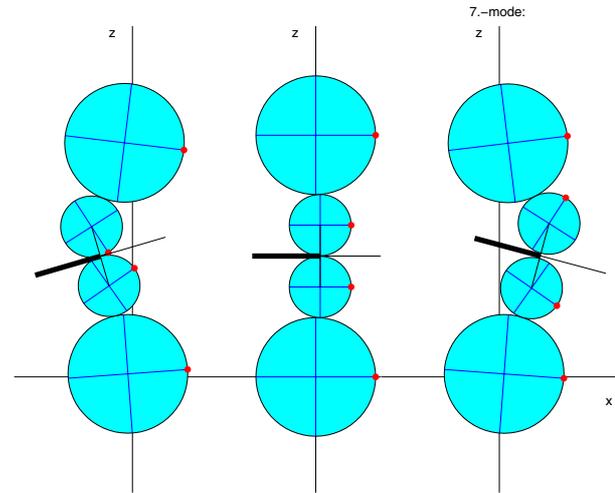


Zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens moderner Flachwalzanlagen

- Betriebsmessungen und Signalanalyse
- Modellrechnungen (phänomenologisch, quantitativ)
 - Erstellung von Stichplänen
 - Vorab Einstellung von Anlagen-Regelsystemen (Dicke, Planheit, ...)
 - Überwachung des Anlagen-Zustands
 - Analyse von Störungen
 - Entwicklung von ...

Beispiel: Eigenschwingungsanalyse an einem Einzel-Quarto-Walzwerk (Mittenebene)
Eigenform zu verschiedenen Zeitpunkten einer Schwingungsperiode



Erkennbare Phänomene:

- Bandbewegungen: Längs- und Biegeverformungen
- Arbeits- und Stützwalzenbewegungen: horizontal, vertikal und torsion (unsymmetrisch, gleichphasig)
- Zusammenwirken: Walzen, Umformzone und Band

UDE

Schwingungsbeurteilung

Weyh

1

Gerüst- mit Walzen: Starrkörper-Modell

$$\mathbf{M}_G(\mathbf{q}_G)\ddot{\mathbf{q}}_G + \mathbf{k}_G(\dot{\mathbf{q}}_G, \mathbf{q}_G) = \mathbf{f}_G(\dot{\mathbf{q}}_G, \mathbf{q}_G, \mathbf{u}_G, [t])$$

Vektor der generalisierten Koordinaten $\mathbf{q}_G = \mathbf{q}_G(t)$

$$\mathbf{q}_G = [x_{Au}, z_{Au}, \varphi_{Au}, \gamma_u, \gamma_o, \varphi_{Ao}, z_{Ao}, x_{Ao}]^T$$

Eingangsvektor

$$\mathbf{u}_G = [F_{So}^z, M_{Mu/o}, F_{Wo/u}^x, F_{Wo/u}^z, M_{Wo/u}]^T$$

Stellzylinder: statisches Modell

$$F_H = \text{const}, \quad \gamma_H = 0$$

Antrieb: torsionselastischer Antriebsstrang

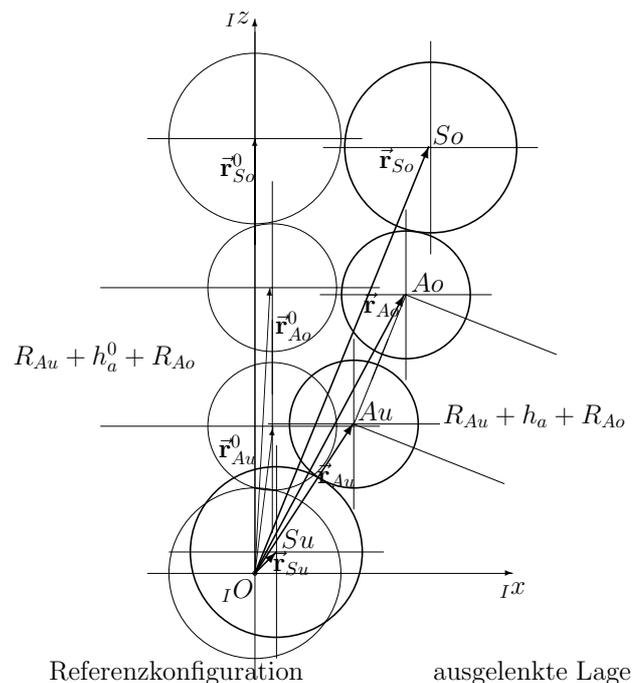
$$\mathbf{M}_A\ddot{\mathbf{q}}_A + \mathbf{k}_A(\dot{\mathbf{q}}_A, \mathbf{q}_A) = \mathbf{f}_A(\dot{\mathbf{q}}_A, \mathbf{q}_A, \mathbf{u}_A, [t])$$

Vektor der generalisierten Koordinaten $\mathbf{q}_A = \mathbf{q}_A(t)$

$$\mathbf{q}_A = [\varphi_{M1}, \varphi_{M2}, \varphi_U, \varphi_V]^T$$

Eingangsvektor

$$\mathbf{u}_A = [\varphi_{Au}, \varphi_{Ao}, M_{M1}, M_{M2}]^T$$



UDE

Modellstruktur

Weyh

2

Motor: Motormoment als Kennlinie (quasistatische Rückwirkungen)

$$M_M(\dot{\mathbf{q}}_A) = \frac{2M_k}{s_k/s + s/s_k}, \quad s = 1 - (p/\omega)\dot{\varphi}_M \quad \text{bezogener Schlupf}$$

Walzspalt: plastomechanisches Streifen-Modell der elementaren Theorie

Längs-Spannung in der Umformzone $\sigma = \sigma(x, t)$

$$\begin{aligned} \sigma' &= a(x, h_a, v_{rel}, k_f)\sigma + b(x, h_a, v_{rel}, k_f), & \sigma(0, t) &= \sigma_e(t) \\ v_{rel} &= v_{rel}(x, h_a, \dot{\mathbf{q}}_G, \mathbf{q}_G, h_e, v_e) & & \text{Relativgeschwindigkeit} \\ k_f &= k_f(x, h_a, \vartheta, h_e, v_e) & & \text{Fließ-Spannung} \\ h_a &= h_a(\mathbf{q}_G) & & \text{Austritts-Spaltweite} \end{aligned}$$

Längs-Temperatur(verteilung) in der Umformzone $\vartheta = \vartheta(x, t)$

$$\vartheta' = g(x, \vartheta, \sigma), \quad \vartheta(0, t) = \vartheta_e(t)$$

Walzkräfte und -momente als Kennfelder

$$\begin{aligned} F_{W_o/u}^{x,z} &= F(\dot{\mathbf{q}}_G, \mathbf{q}_G, \mathbf{u}_W) \\ M_{W_o/u}^{x,z} &= M(\dot{\mathbf{q}}_G, \mathbf{q}_G, \mathbf{u}_W) \end{aligned}$$

Eingangsvektor

$$\mathbf{u}_W = [h_e, \sigma_e, v_e, \vartheta_e]^T$$

UDE

Modellstruktur

Weyh

3

Voreinstellung: Parametervorgabe

Gleichgewichtslage: Lösungsstruktur

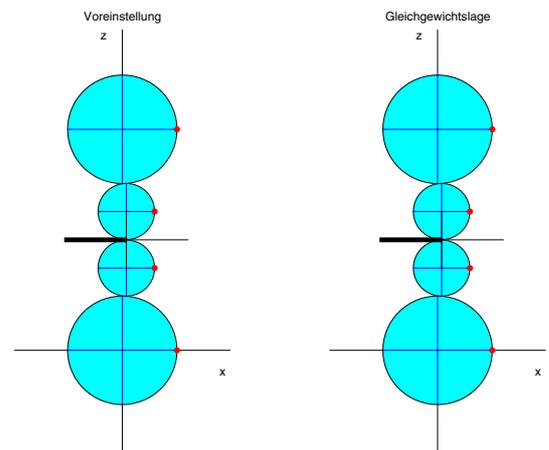
$$\mathbf{q} = \mathbf{q}^0 + \boldsymbol{\eta}^0 t$$

nichtlineares, algebraisches Gleichungssystem

$$\mathbf{k}(\boldsymbol{\eta}^0, \mathbf{q}^0) - \mathbf{f}(\boldsymbol{\eta}^0, \mathbf{q}^0, \mathbf{u}^0) = \mathbf{0}$$

mittlere Winkelgeschwindigkeiten und Verformungen

⇒ Betriebs-/Arbeits-Punkt (Gleichgewichtslage)



Schwingungen:

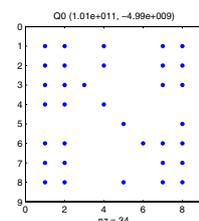
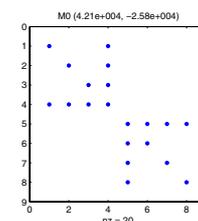
Nachbarbewegungen (linearisierte Variationsgleichung)

$$\mathbf{M}\Delta\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K}\Delta\mathbf{q} = \mathbf{0}$$

Beispiel: vereinfachte Struktur der Koeffizienten-Matrizen

Lösung

$$\Delta\mathbf{q} = \hat{\mathbf{q}} \cos(\omega t - \alpha)$$

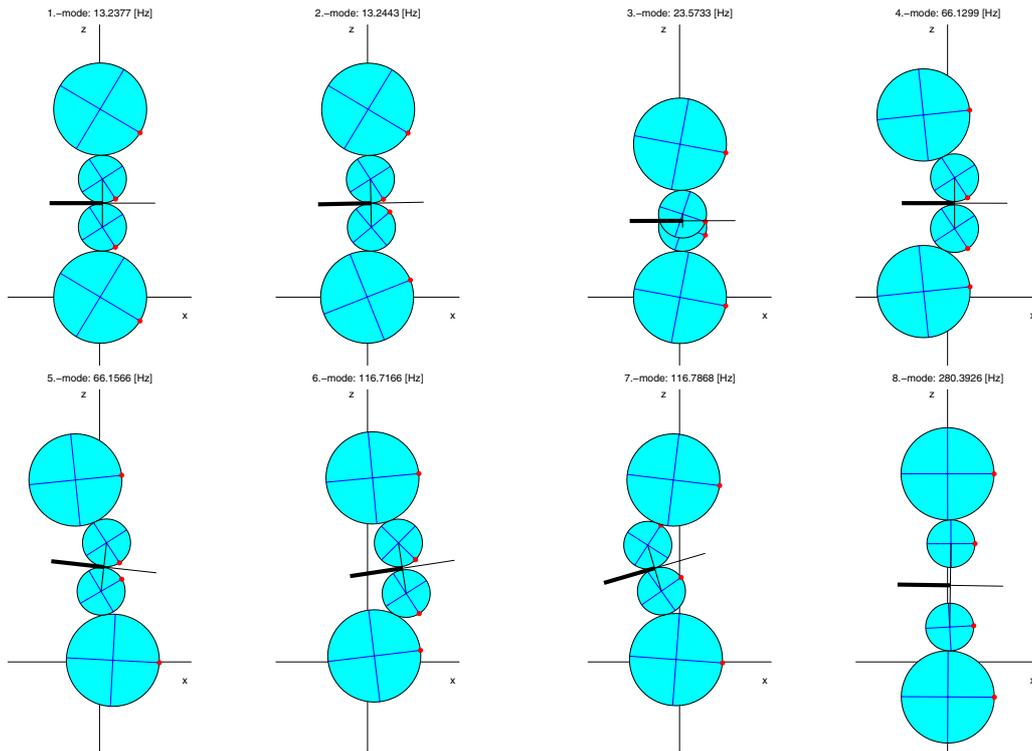


UDE

Voreinstellung, Gleichgewichtslage, Schwingungen

Weyh

4



UDE

Eigenschwingungsformen

Weyh

5

Industrie-Forschungs-Projekte zur Dynamik des Flachwalzens:

- Mannesmann Demag AG, Metallurgie Ratingen
 - Ebene Modellbildung eines Quarto-Walzwerkes mit hydraulischer Vertikal- und Horizontal-Anstellung, Kaltwalzen und Bandbehandlungsanlagen (1999)
- BFI (Betriebsforschungsinstitut) VDEh-Inst.f.angew.Forschung GmbH, Düsseldorf
 - Modelle zur Analyse von Schwingungserscheinungen in Walzanlagen, Dynamisierung ebener Walzmodelle in Quarto-Gerüsten, (2000-2001)
 - Qualitative Untersuchungen zu Rattererscheinungen beim Bandwalzen, (2001)
 - Literaturlauswertung zur Vorhersage von Beuligkeit und Planheit beim Walzen (2002)
 - Beulfigur und innerer Spannungszustand – Ableitbare Zusammenhänge aus modifiziertem Variationsproblem (2002-2003)
 - Analyse von gemessenen Höhenmatrizen, Ableitung von Beul-Halbwellenlängen und Approximation von Beul-Formfunktionen (2003)
 - Abschätzung von Kontaktwinkel und Bandbiegung beim Zug eines Bandes über eine Rolle (2003)
 - Programmentwicklung zur Simulation der instationären Ausbauchung beim Stranggießen (2004)
- European Commission, Research Fund of Coal and Steel: IRSID, ECO-Sahl, BFI
 - Improvement of strip guiding and related effects in cold rolling of high strength steel grades Subcontract: Development of 3D dynamic model for 4-high rolling stand with consideration of plasto-mechanical deformation at roll gap. (2004-2006)

UDE

Projekte

Weyh

6