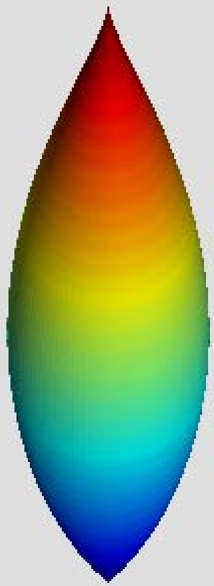
Übersicht



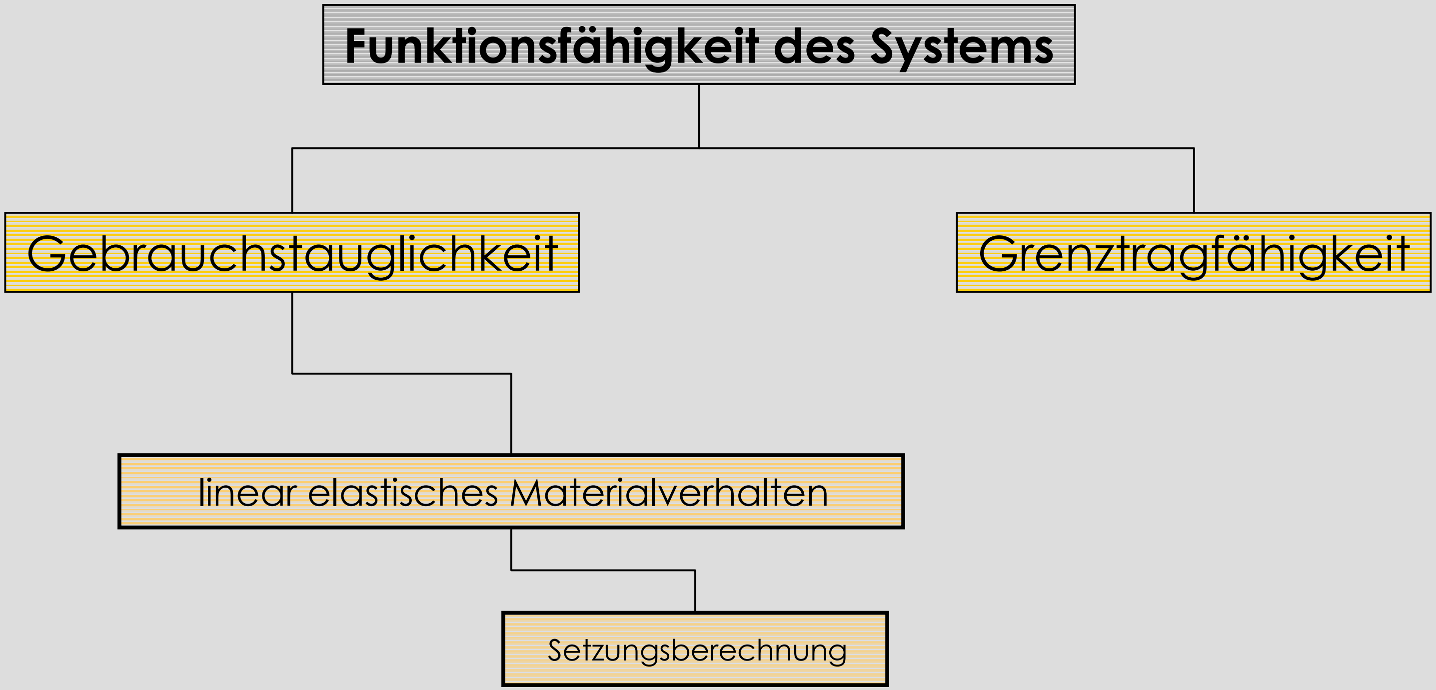
Single Surface Hardening Model

Ein Systemgesetz zur konsistenten Berechnung von flachgegründeten Fundamenten

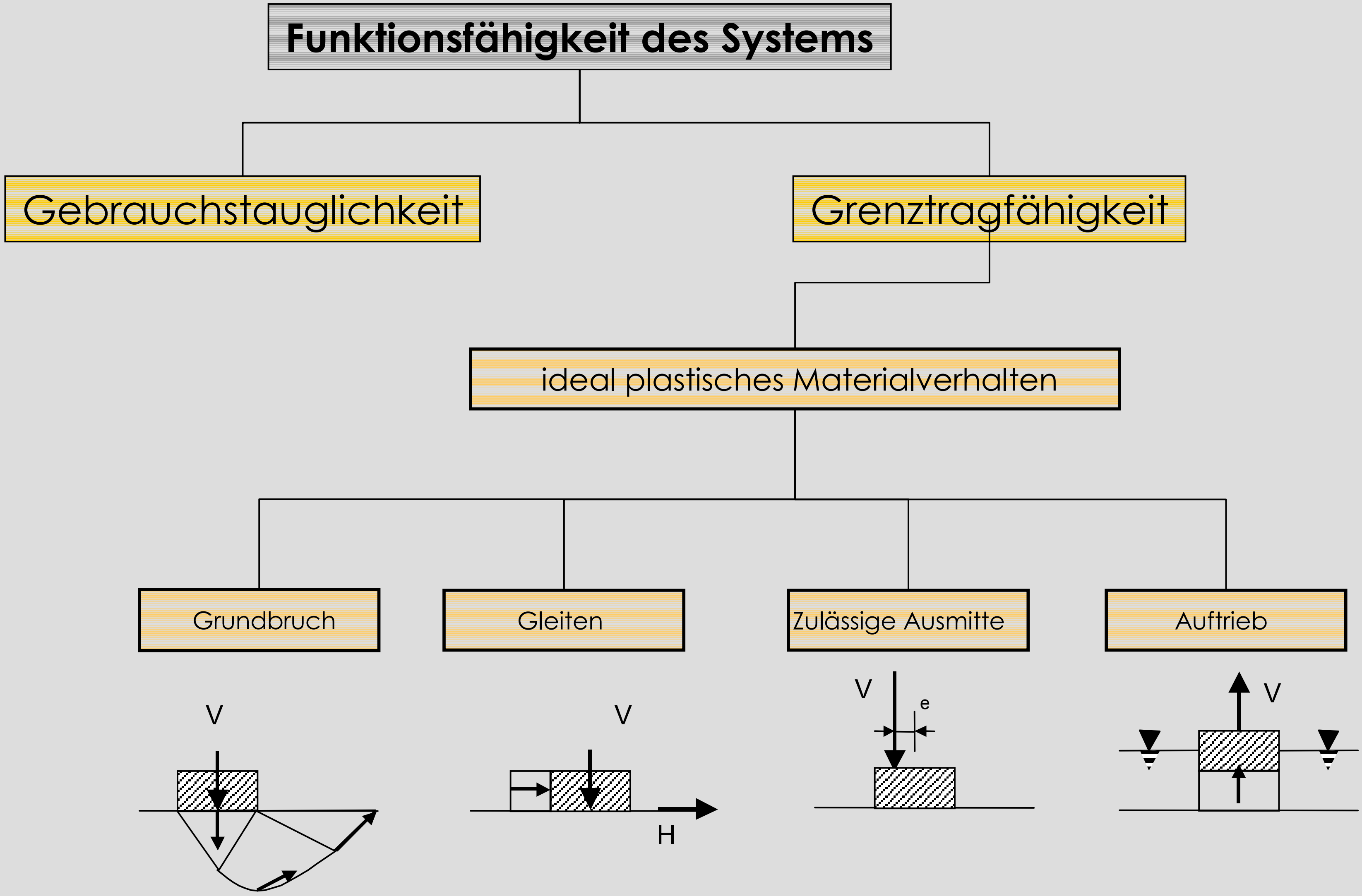
Dr.-Ing. Kerstin Lesny
Dipl.-Ing. Aloys Kisse

Institut für Grundbau und Bodenmechanik
Universität Duisburg-Essen

Systemgesetz - Motivation



Systemgesetz - Motivation



Systemgesetz - Motivation

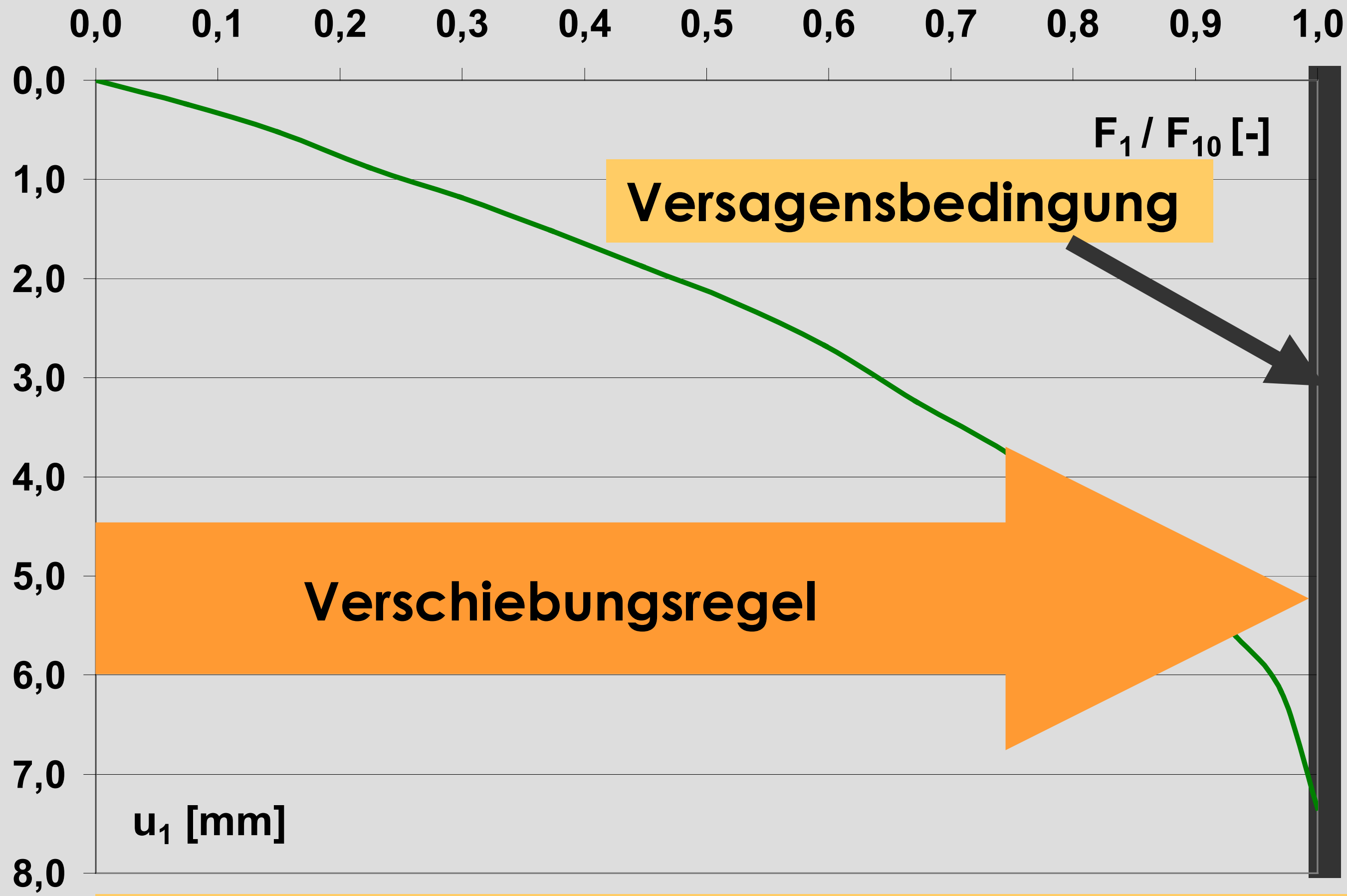
Funktionsfähigkeit des Systems

- Gebrauchstauglichkeit
- Grenztragfähigkeit

Kein konsistentes Nachweisverfahren!

Systemgesetz - Grundgedanke

⇛ Konsistente Beschreibung des Systemverhaltens

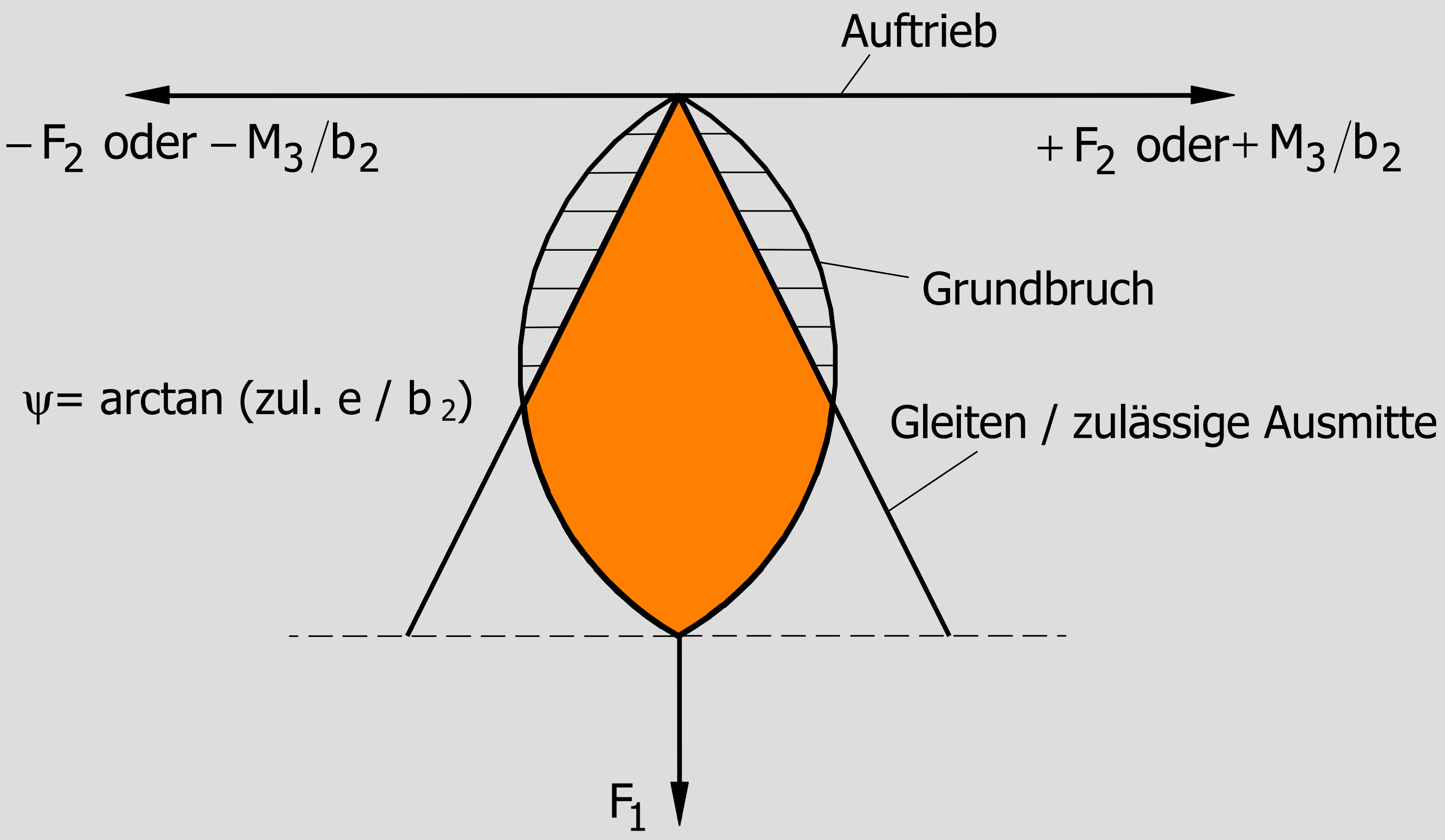


2 Komponenten:

- Versagensbedingung
- Verschiebungsregel

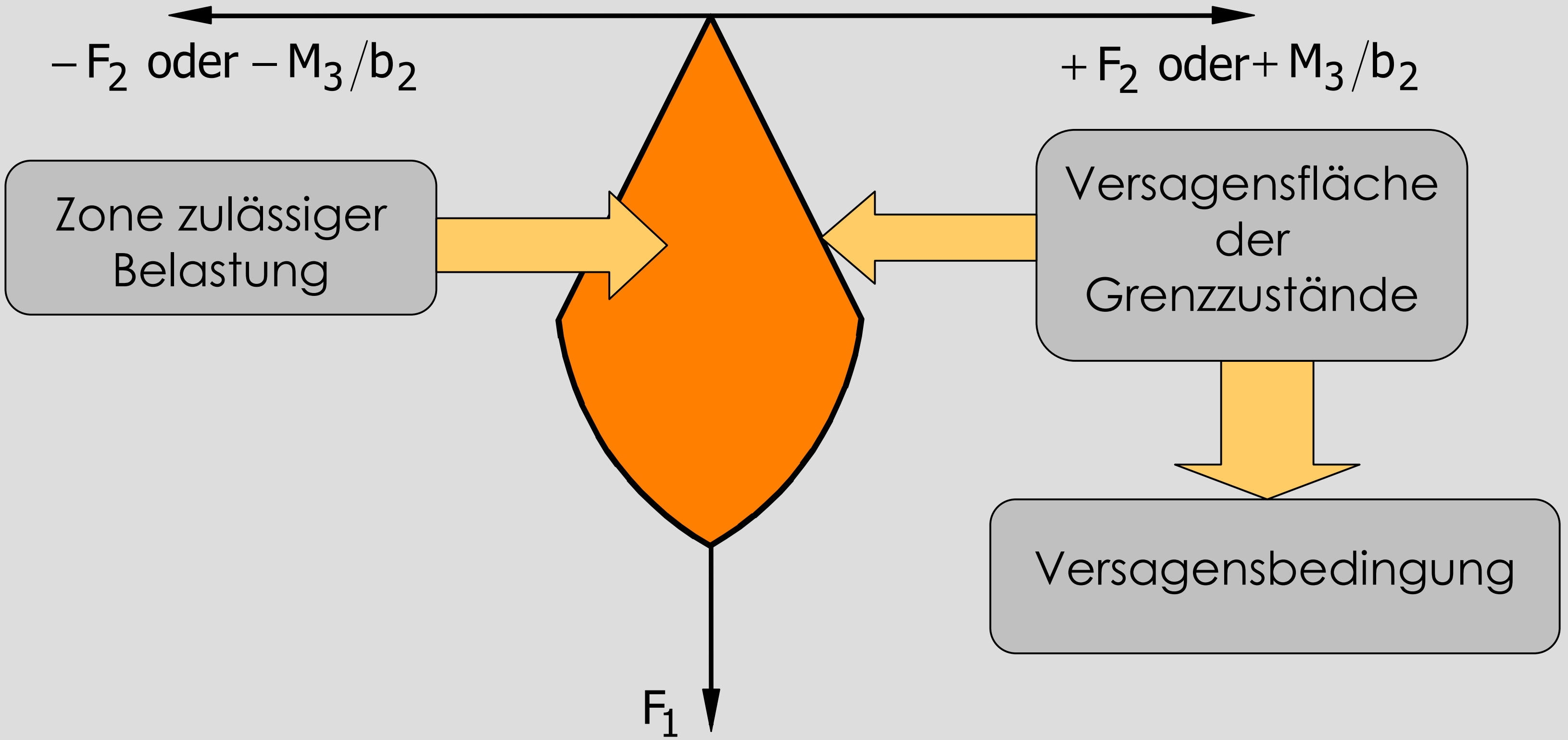
Systemgesetz - Versagensbedingung

Interaktionsdiagramm: Darstellung der Grenzzustände im Belastungsraum



Systemgesetz - Versagensbedingung

Interaktionsdiagramm: Grenzzustände der Versagensbedingung



Systemgesetz - Versagensbedingung

Formulierung für d = 0, c = 0

Allgemeine Formulierung

$$F\left(\vec{Q}, \overline{b}, \gamma, \tan\varphi', \mu_S\right) = 0$$

Lastvektor

$$\vec{Q}_T = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & M_1 & M_2 & M_3 \end{bmatrix}$$

Versagensbedingung

$$\underbrace{\sqrt{\frac{F_2^2 + F_3^2}{(a_1 \cdot F_{10})^2} + \frac{M_1^2}{(a_2 \cdot b_3 \cdot F_{10})^2} + \frac{M_2^2 + M_3^2}{(a_3 \cdot b_2 \cdot F_{10})^2}}}_{\text{deviatorische Last}} - \underbrace{\frac{F_1}{F_{10}} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{F_{10}}\right)^{\alpha}}_{\text{hydrostatische Last}} = 0$$

Parameter

$$a_1 = \pi/2 \cdot \mu_S \cdot \tan\varphi' \cdot e^{-\pi/3 \cdot \tan\varphi'} \qquad a_2 = 0{,}098 \cdot \left(1 + \overline{b}\right)$$

$$a_3 = 0{,}42 \qquad \alpha = 1{,}3$$

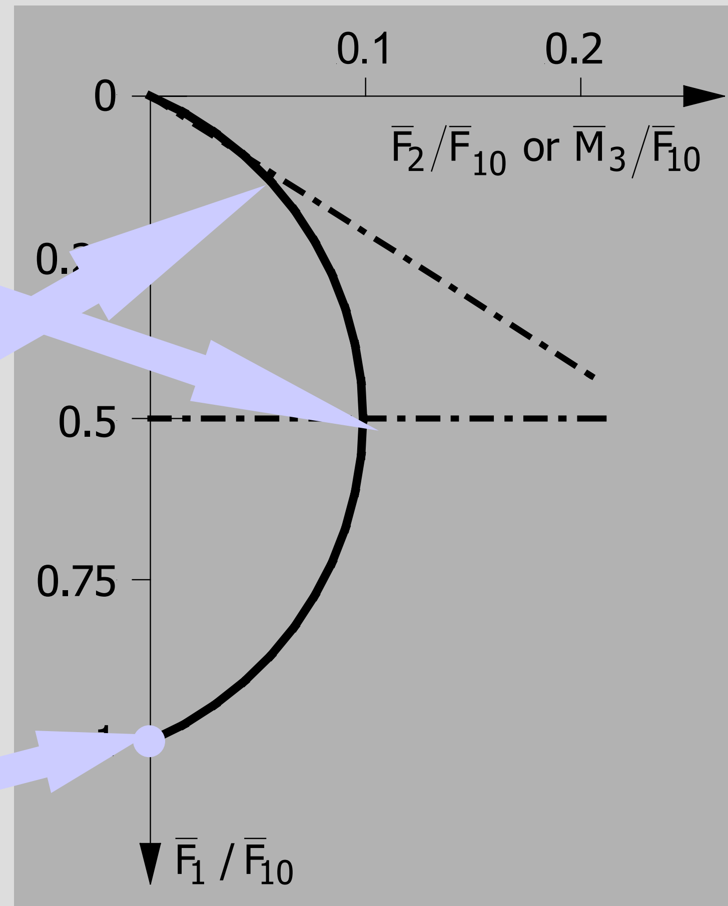
Systemgesetz - Versagensbedingung

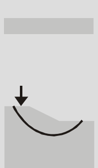
Bedeutung verschiedener Größen
Parameter

α: Position des Maximum

a_i: Neigung der Versagensfläche

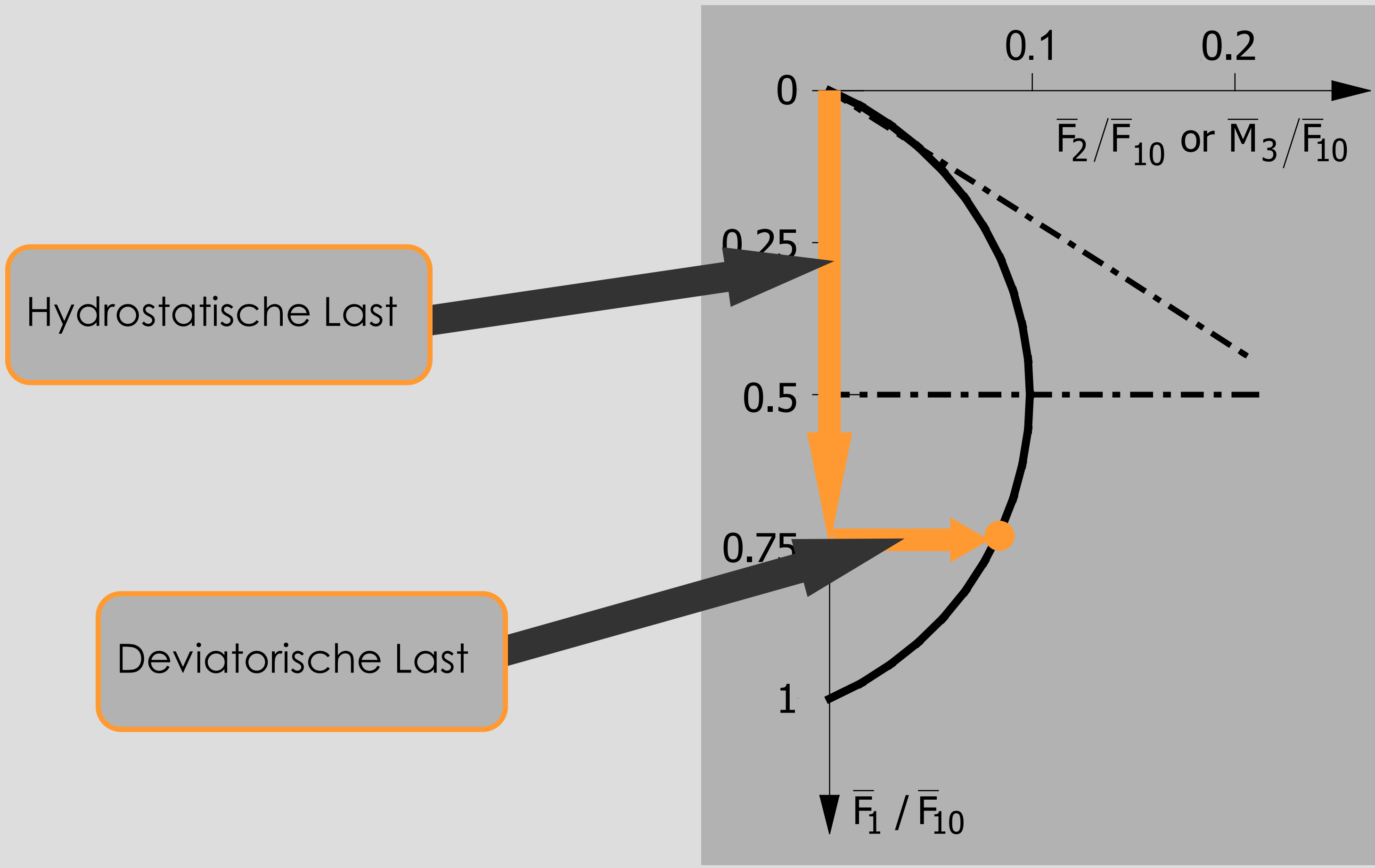
F_{10}: Bezugsgröße – Grundbruchwiderstand für mittig-vertikale Belastung





Systemgesetz - Versagensbedingung

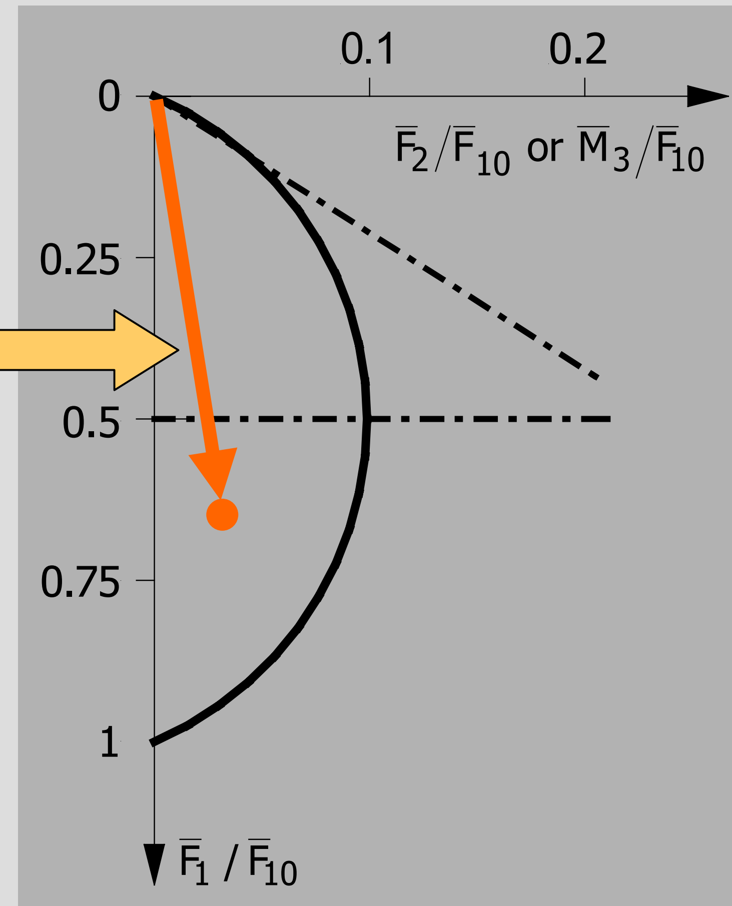
Bedeutung verschiedener Größen
Belastungsanteile



Systemgesetz - Versagensbedingung

Bedeutung verschiedener Größen
vorhandene Belastung

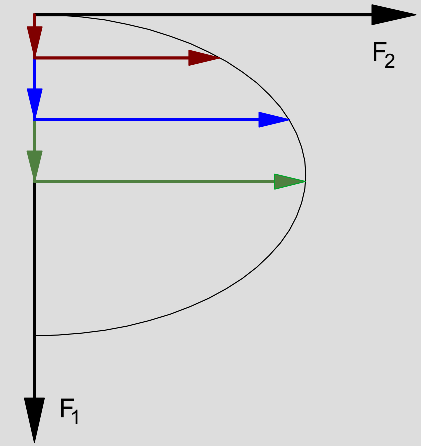
Lastvektor $\vec{Q}$

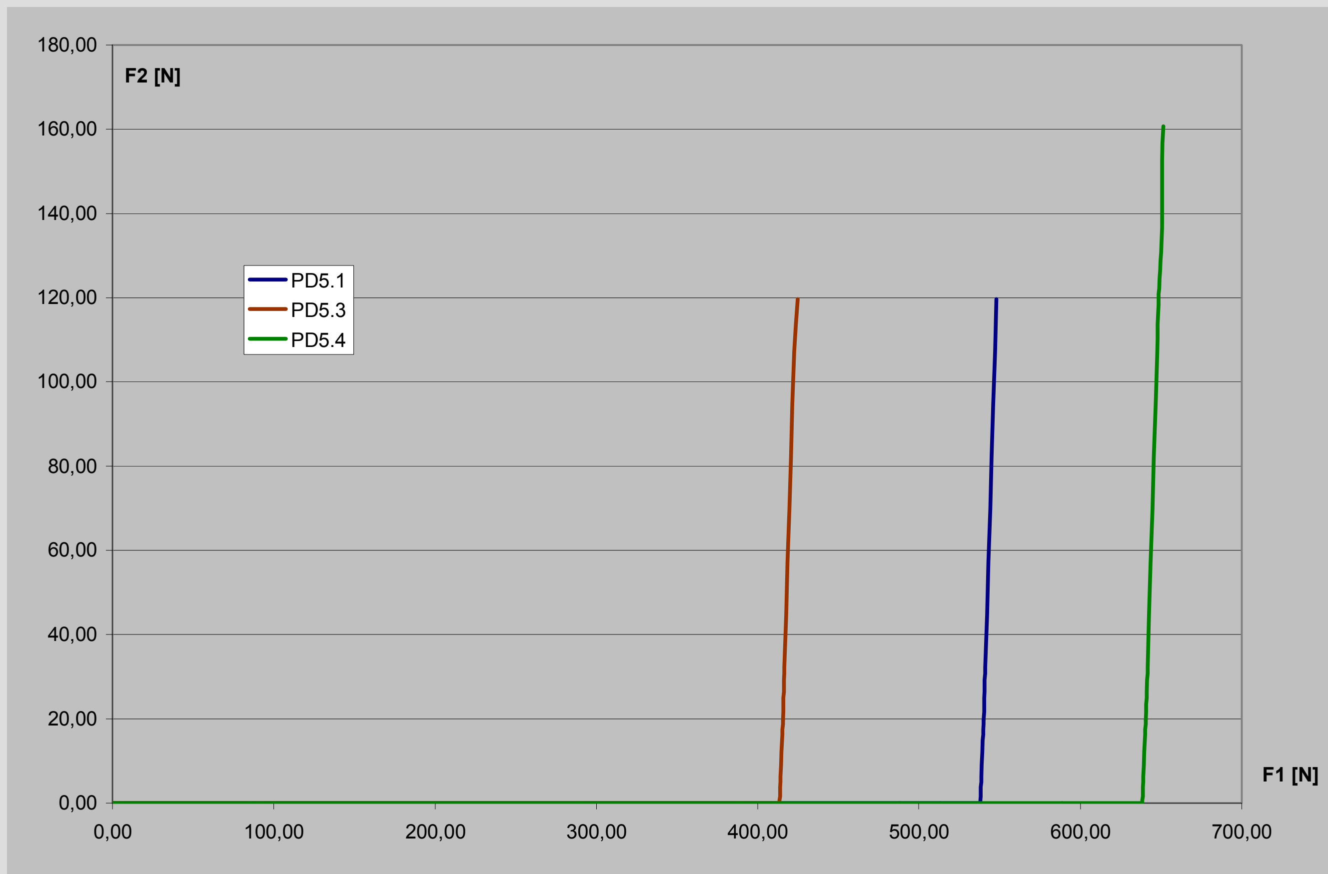


Systemgesetz - Verschiebungsregel

Lastkombination: Mittig schräg angreifende Kraft

Mittig vertikal und
mittig horizontal
belastet



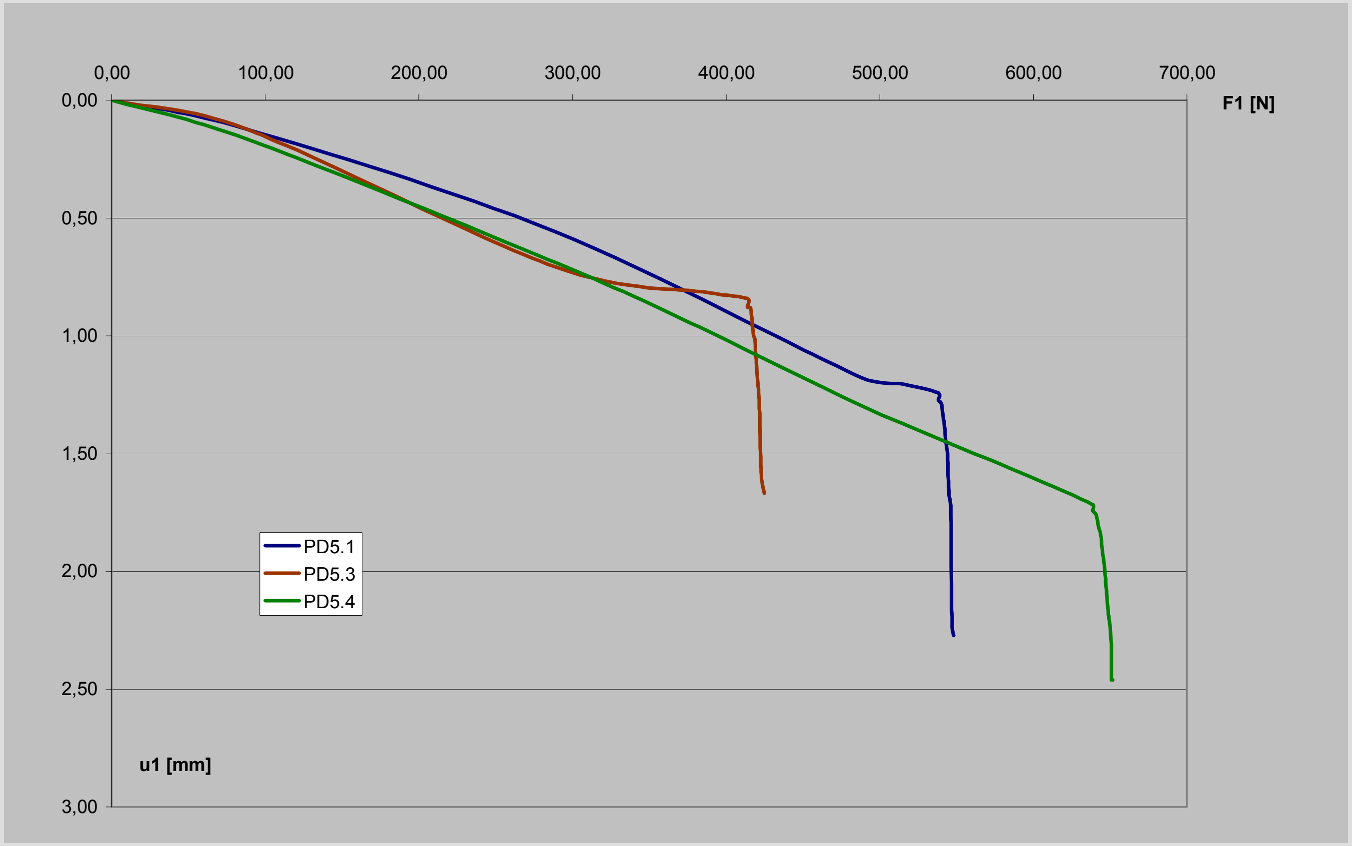


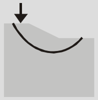
nach Perau (1995)

Systemgesetz - Verschiebungsregel

Lastkombination: Mittig schräg angreifende Kraft

$F_1 - u_1$-Darstellung



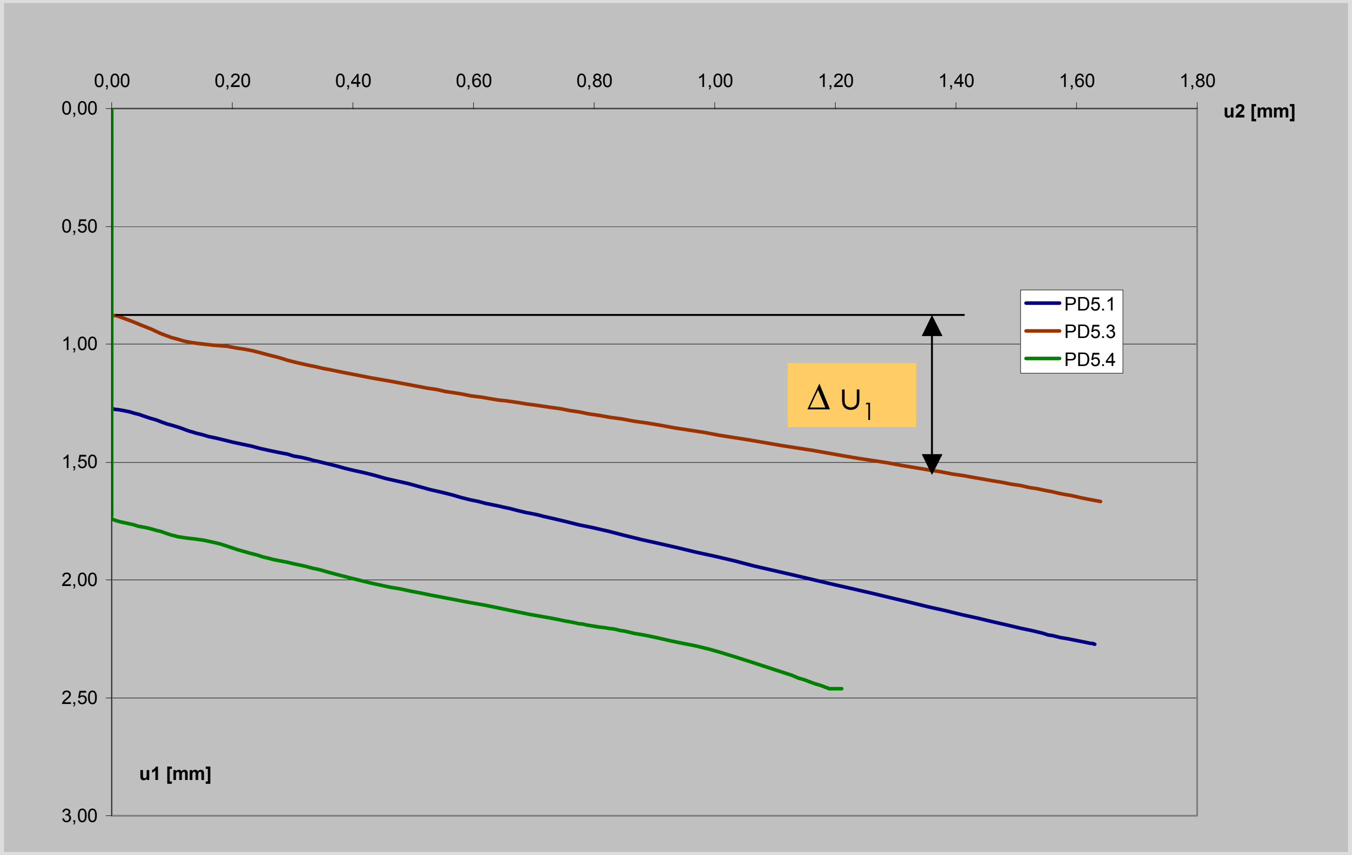


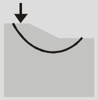
nach Perau (1995)

Systemgesetz - Verschiebungsregel

Lastkombination: Mittig schräg angreifende Kraft

$u_1 - u_2$-Darstellung





nach Perau (1995)

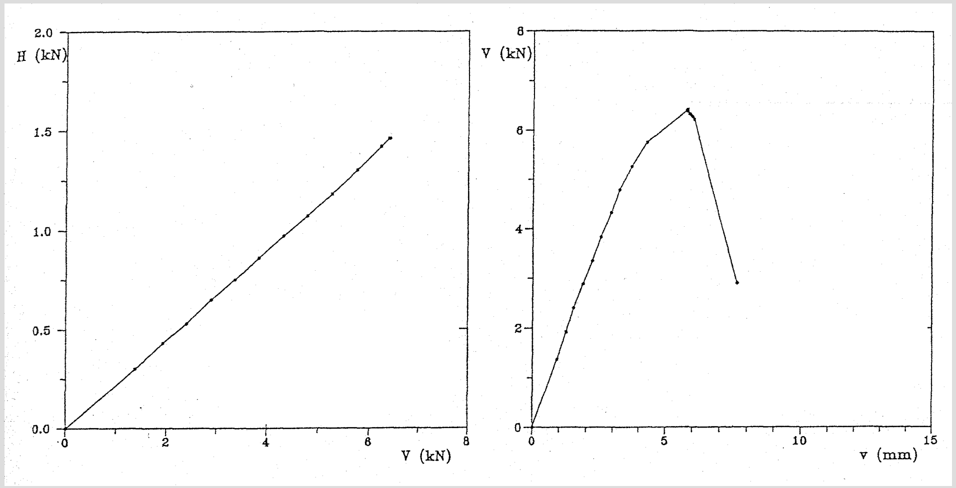
Systemgesetz - Verschiebungsregel

Lastkombination: Mittig schräg angreifende Kraft

Lastneigung $\delta = 12{,}5°$

Verschiebung u_1
bei $F_1 = 2$ kN

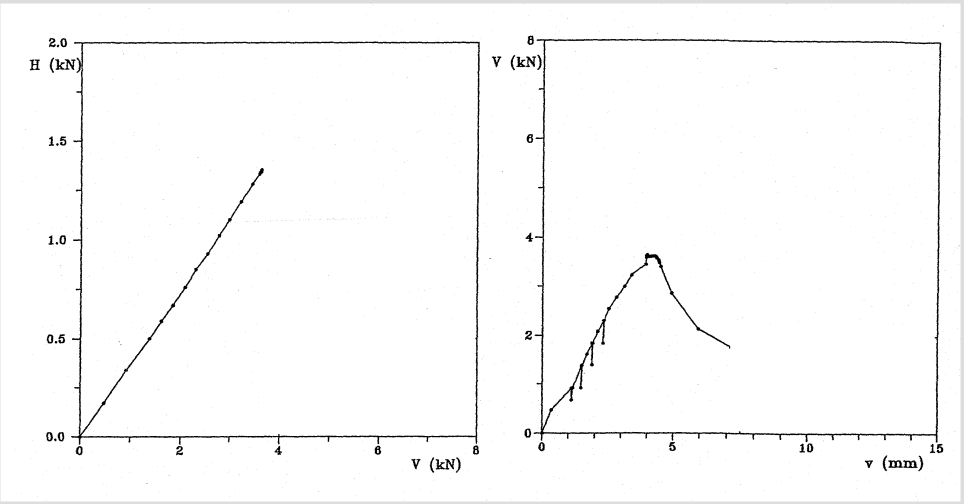
$u_1 = 1{,}2$ mm



Lastneigung $\delta = 20{,}0°$

Verschiebung u_1
bei $F_1 = 2$ kN

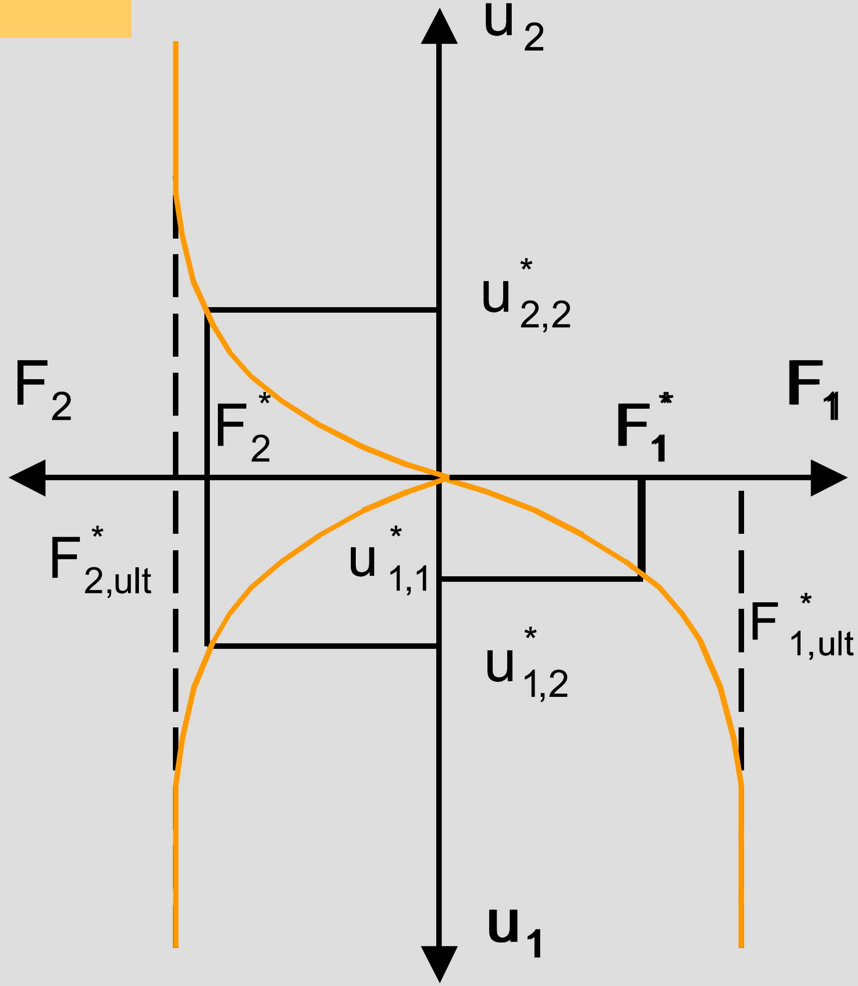
$u_1 = 2{,}0$ mm



Gottardi (1992)

Systemgesetz - Verschiebungsregel

Zusammenfassung



Systemgesetz - Verschiebungsregel

Ansatz

$$\vec{u} = \underline{K} \cdot \vec{Q}$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{25} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix}$$

Systemgesetz - Verschiebungsregel

Ansatz

$$\vec{u} = \underline{K} \cdot \vec{Q}$$

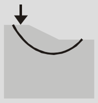
Einachsig mittig angreifende geneigte Last

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

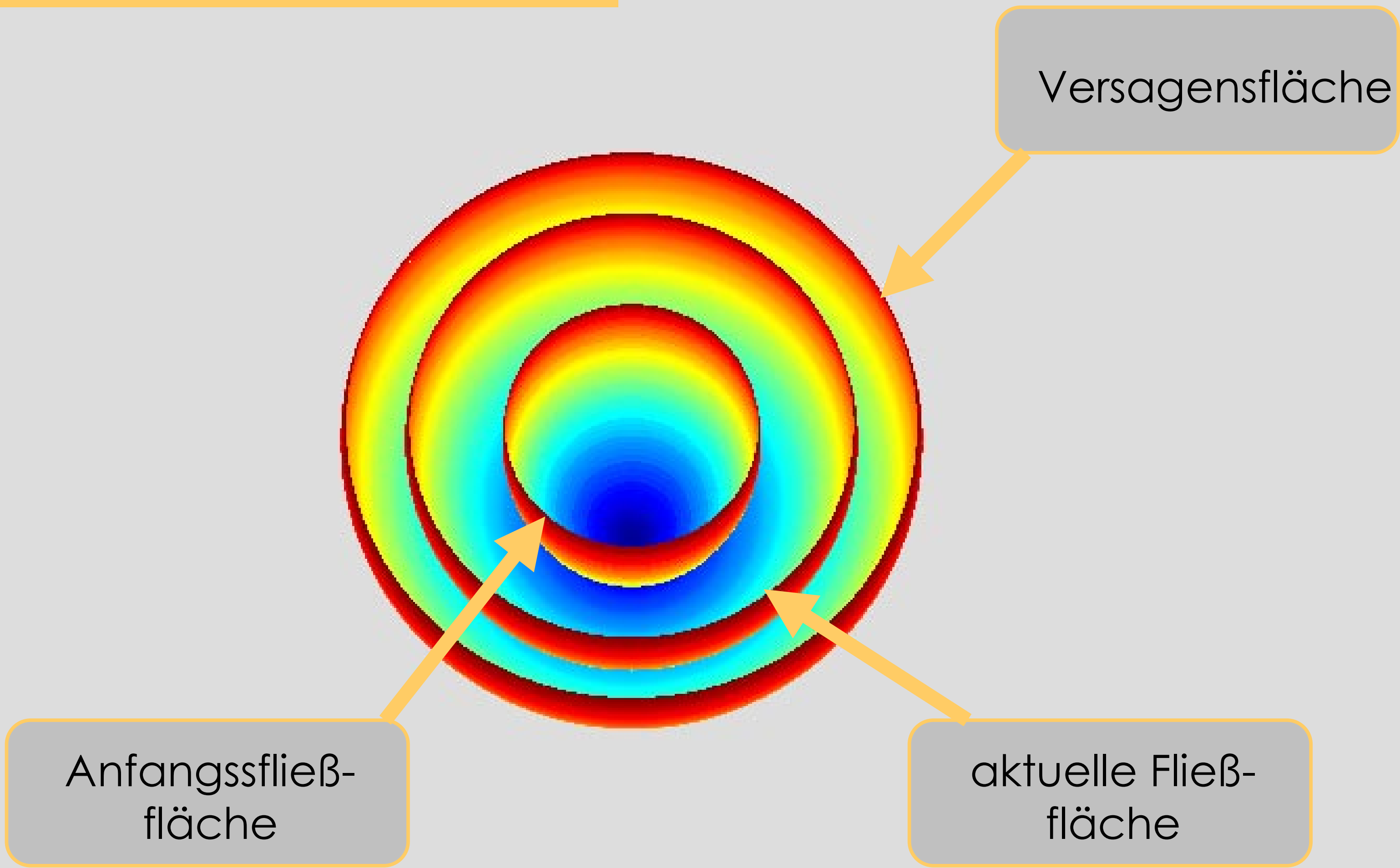
Mathematische Formulierung

Versagensfigur
für horizontalen
Lastangriff



Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Mathematische Formulierung



Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Mathematische Formulierung

Fließregel

$$d\vec{u}^P = \lambda \cdot \frac{\partial G}{\partial \vec{Q}}$$

Ansatz

$$d\vec{u}^P = \frac{1}{\underbrace{\frac{\partial F}{\partial \chi} \cdot \frac{\partial \chi}{\partial \vec{u}} \cdot \frac{\partial G}{\partial \vec{Q}}}_{\underline{K}}} \cdot \frac{\partial F}{\partial \vec{Q}} \cdot \frac{\partial G}{\partial \vec{Q}} \cdot d\vec{Q}$$

mit:

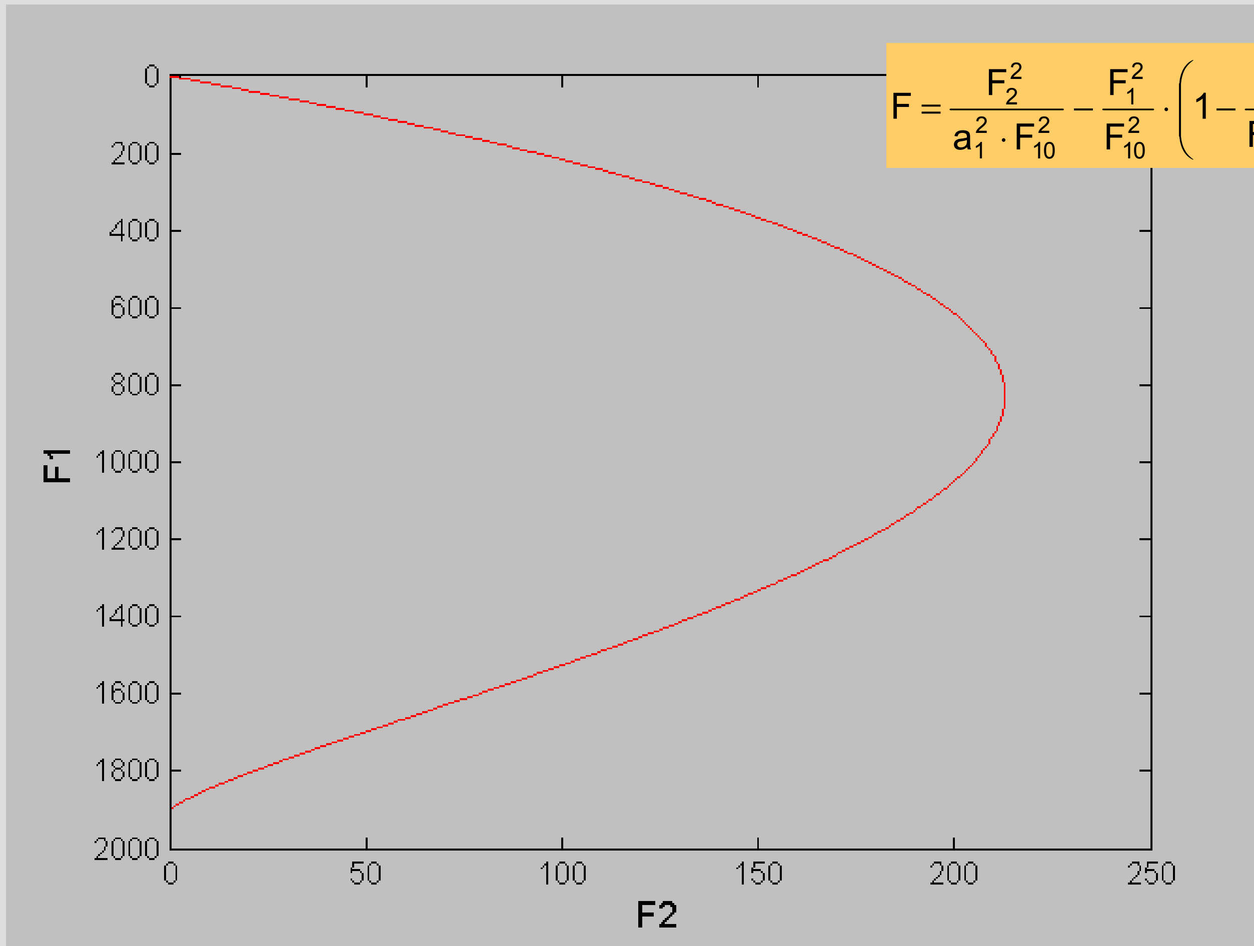
F = bekannte Versagensbedingung

G = plastisches Potential

χ = Verfestigungsgesetz

Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

$$F = \frac{F_2^2}{a_1^2 \cdot F_{10}^2} - \frac{F_1^2}{F_{10}^2} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{F_{10}}\right)^{2\alpha}$$

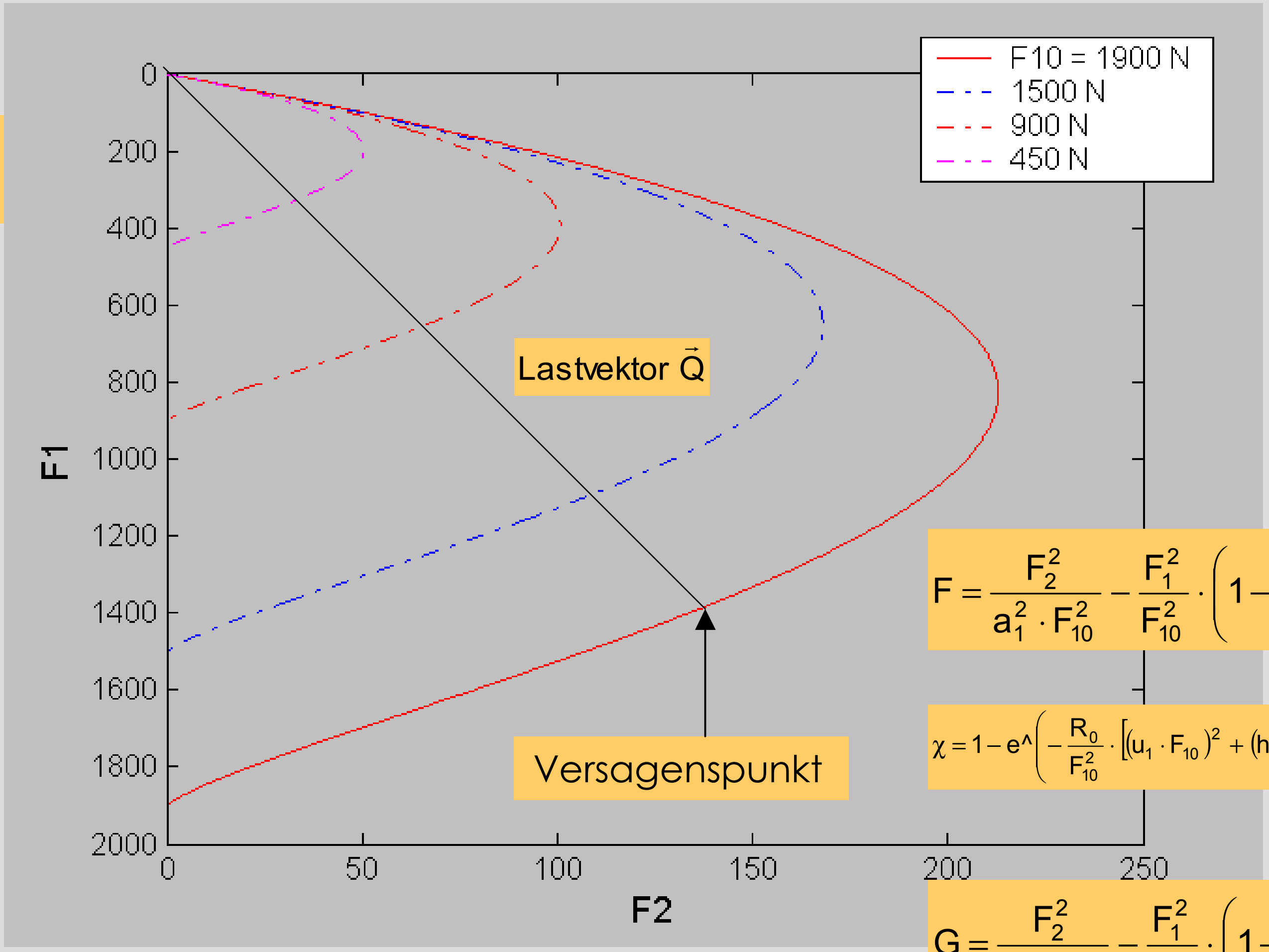


Lastkombination

Einachsig mittig angreifende geneigte Kraft

Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Berechnung der Verschiebungen



$$F = \frac{F_2^2}{a_1^2 \cdot F_{10}^2} - \frac{F_1^2}{F_{10}^2} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{\chi_a \cdot F_{10}}\right)^{2\alpha}$$

$$\chi = 1 - e \hat{} \left(-\frac{R_0}{F_{10}^2} \cdot \left[(u_1 \cdot F_{10})^2 + (h_1 \cdot u_2 \cdot F_{10})^2 \right]^{1/2} \right)$$

$$G = \frac{F_2^2}{c_1^2 \cdot F_{10}^2} - \frac{F_1^2}{F_{10}^2} \cdot \left(1 - \frac{F_1}{\chi_b \cdot F_{10}}\right)^{2ß}$$

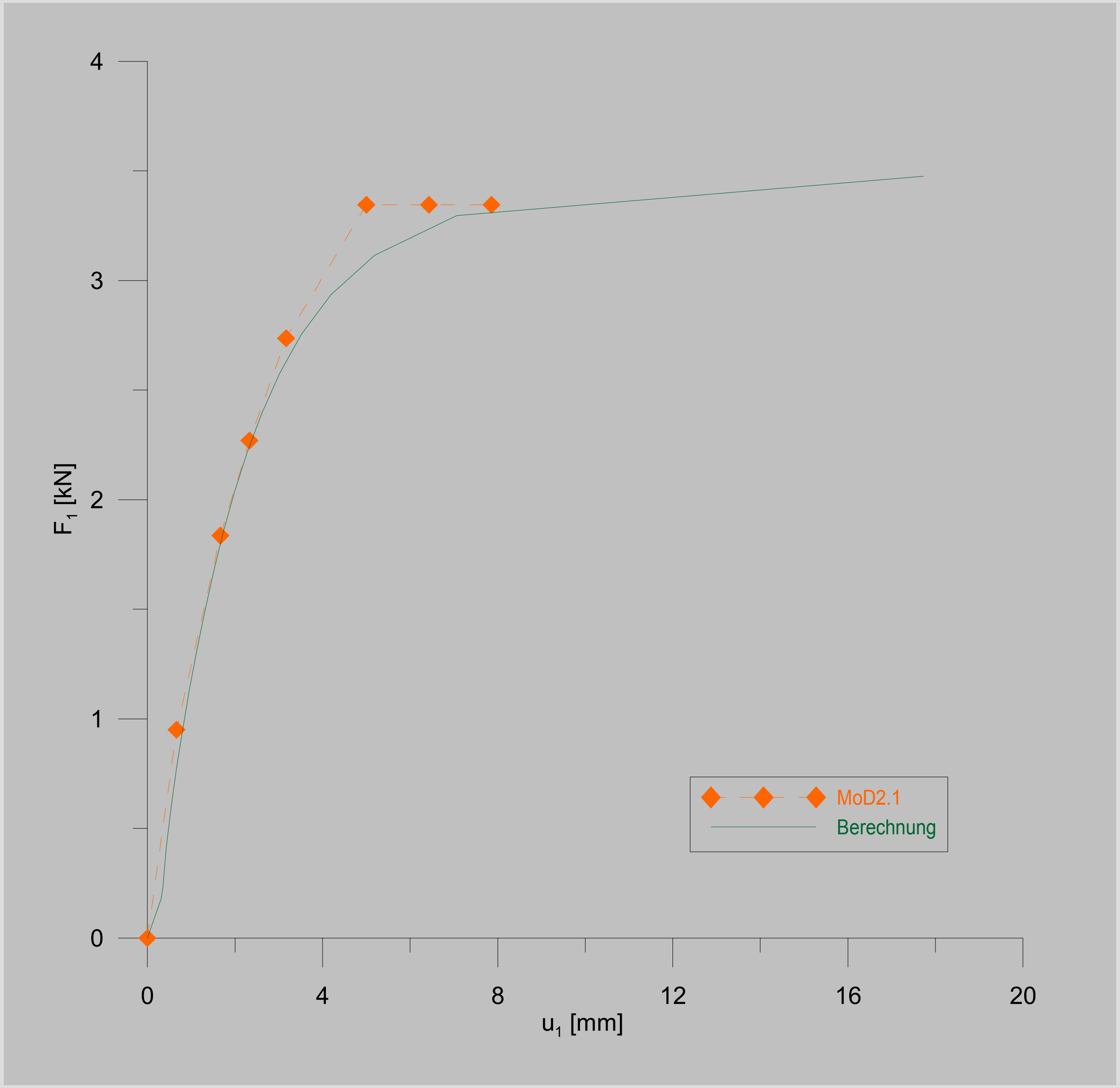
Lastkombination

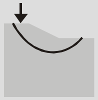
Einachsig mittig angreifende geneigte Kraft

Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Erste Ergebnisse

Lastkombination:
Mittig schräg
angreifende Kraft

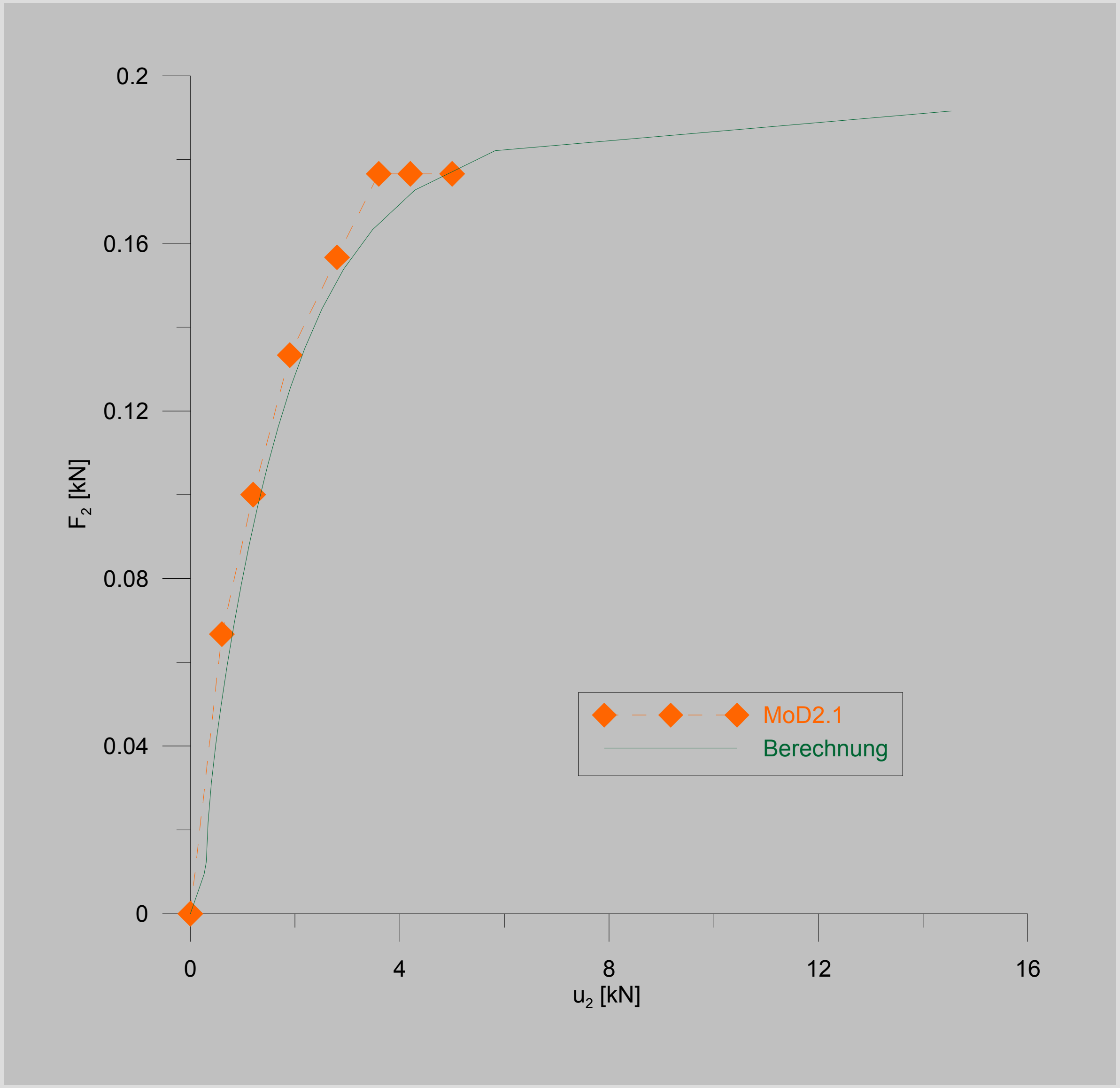


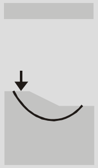


Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Erste Ergebnisse

Lastkombination:
Mittig schräg angreifende Kraft

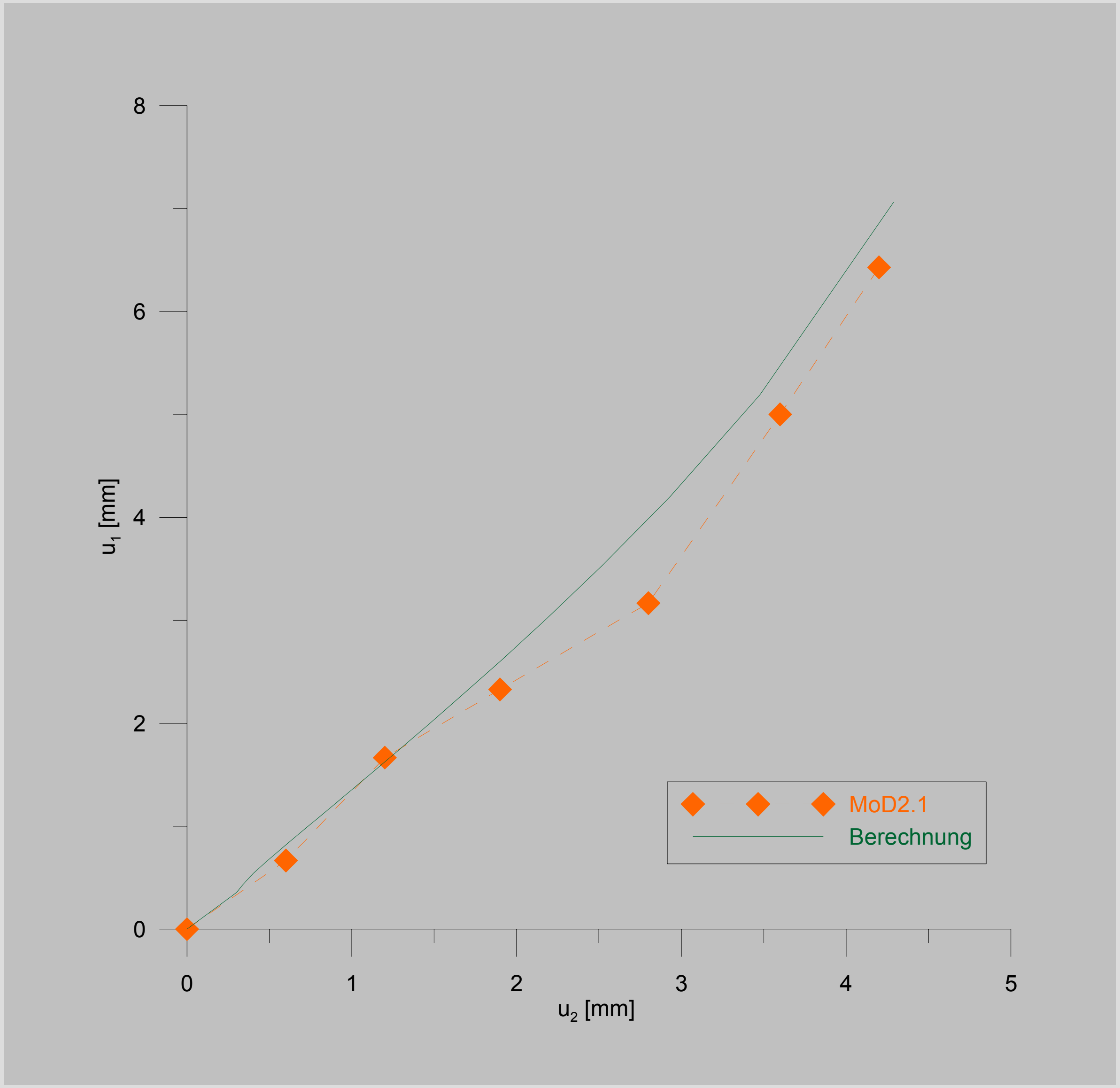


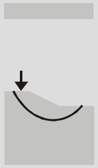


Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Erste Ergebnisse

Lastkombination:
Mittig schräg
angreifende Kraft





Systemgesetz – Single Surface Hardening Model

Erste Ergebnisse

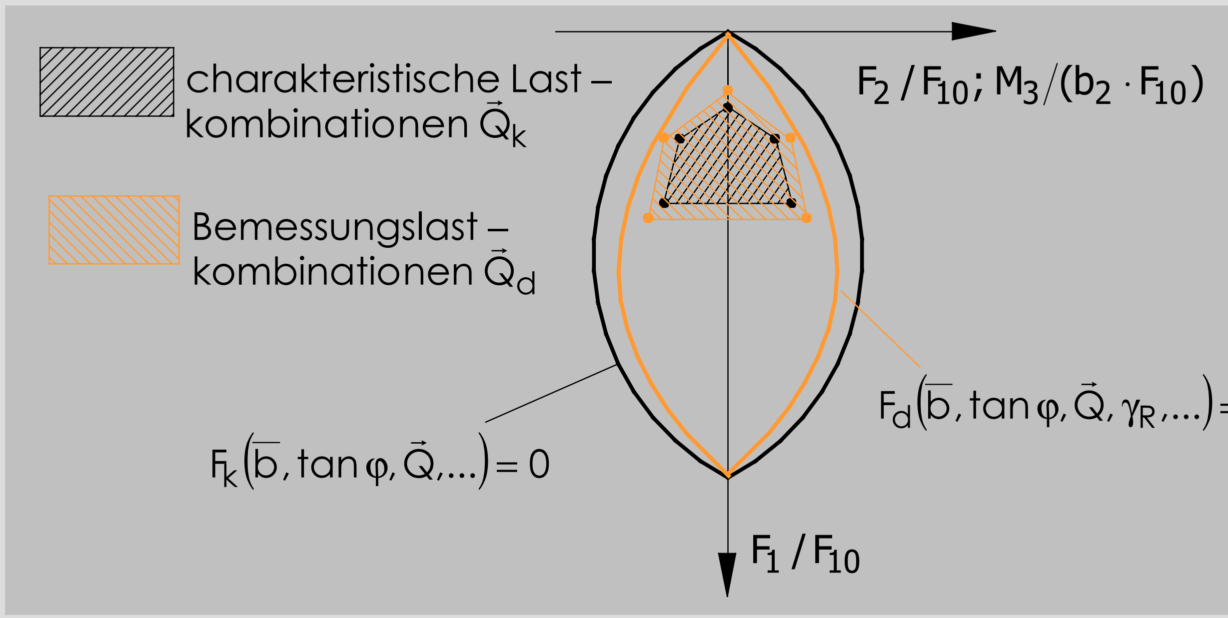
Lastkombination:
Mittig schräg
angreifende Kraft

konsistentes
Berechnungsverfahren!

Systemgesetz – Implementierung eines Sicherheitskonzepts

charakteristische Größen → *Teilsicherheitsbeiwerte* → **Bemessungsgrößen**

Versagensfläche schrumpft



Kombinierter Nachweis:

$$\underset{\vec{Q}_d \in Q_d}{\forall} \mathbf{F_d}\left(\mathbf{b_2}, \mathbf{b_3}, \mathbf{d}, \gamma, \mathbf{tan}\varphi, \mu_S, \mu_W, \vec{\mathbf{Q}}_d, \gamma_R\right) < \mathbf{0} \quad \wedge \quad \underset{\vec{Q}_k \in Q_k}{\forall} \vec{U}\left(\vec{Q}_k, F_d\right) < \mathbf{zul}\ \vec{U}$$