



FAKULTÄT FÜR
MASCHINENBAU

INSTITUT FÜR
WERKSTOFF- &
FÜGETECHNIK



MDZ-Forschungsseminar 2023

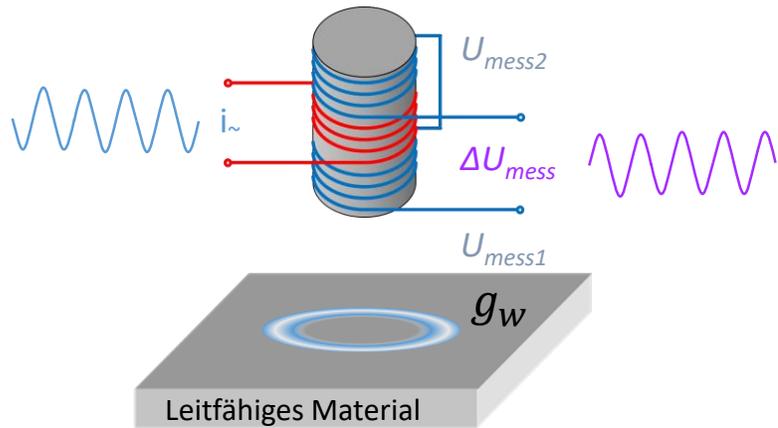
Materialcharakterisierung durch Softsensoren auf Basis von Wirbelstromprüfung

Sebastian Hütter

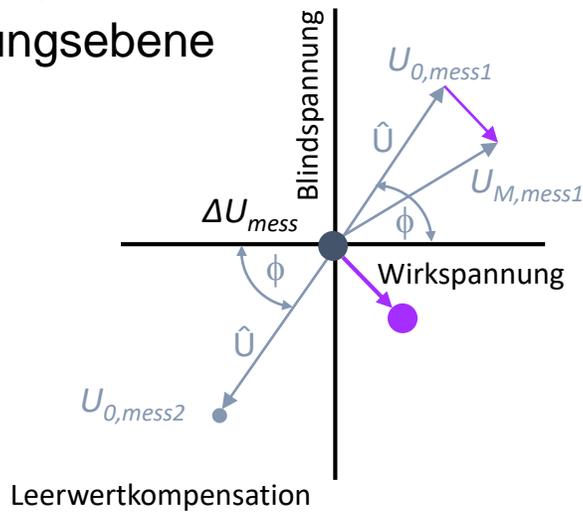
apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Mook

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Halle

Lehrstuhl Metallische Werkstoffe
Institut für Werkstoff- und Fügetechnik
Otto-von-Guericke Universität Magdeburg



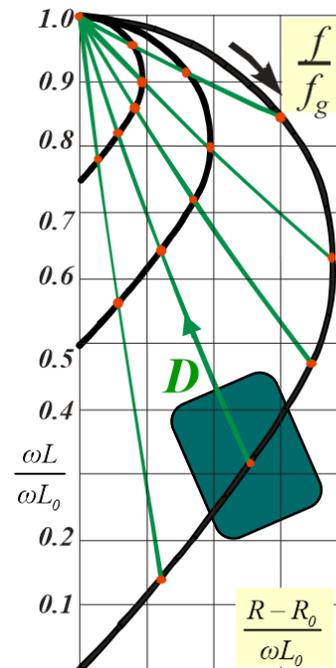
- Komplexe Spannungsebene



- Komplexe Impedanz:

$$Z = \frac{U_{mess}}{i}$$

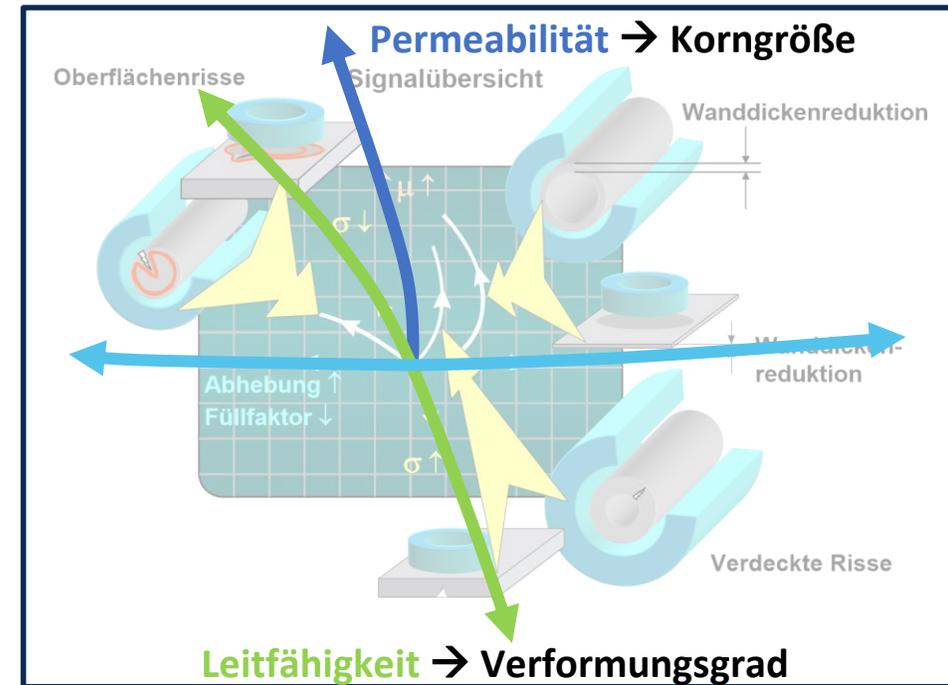
- Komplexe Impedanzebene



- Faraday'sches Induktionsgesetz:

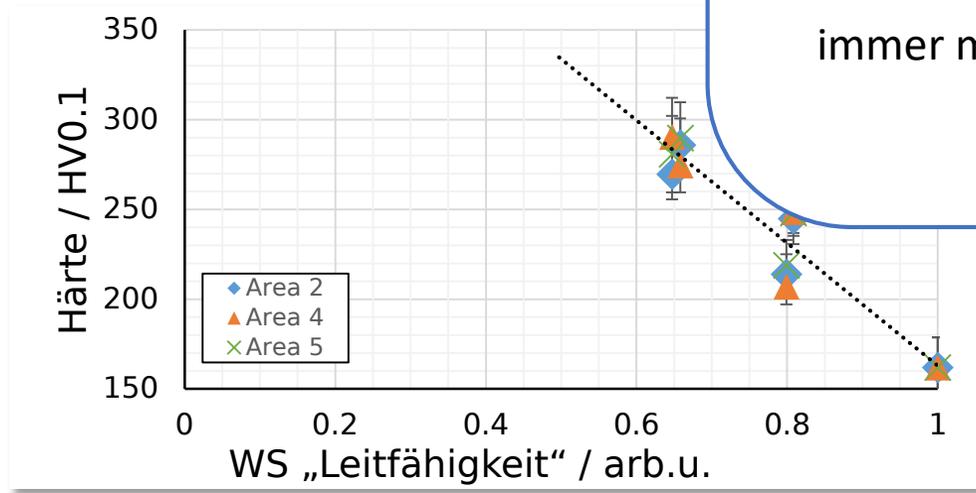
$$u_{ring} = - \frac{d\Phi}{dt} = -\mu \cdot A_{\Phi} \cdot \frac{dH_p}{dt}$$

$$g_w \sim u_{ring} \cdot \frac{\sigma \cdot A_w}{l_w}$$

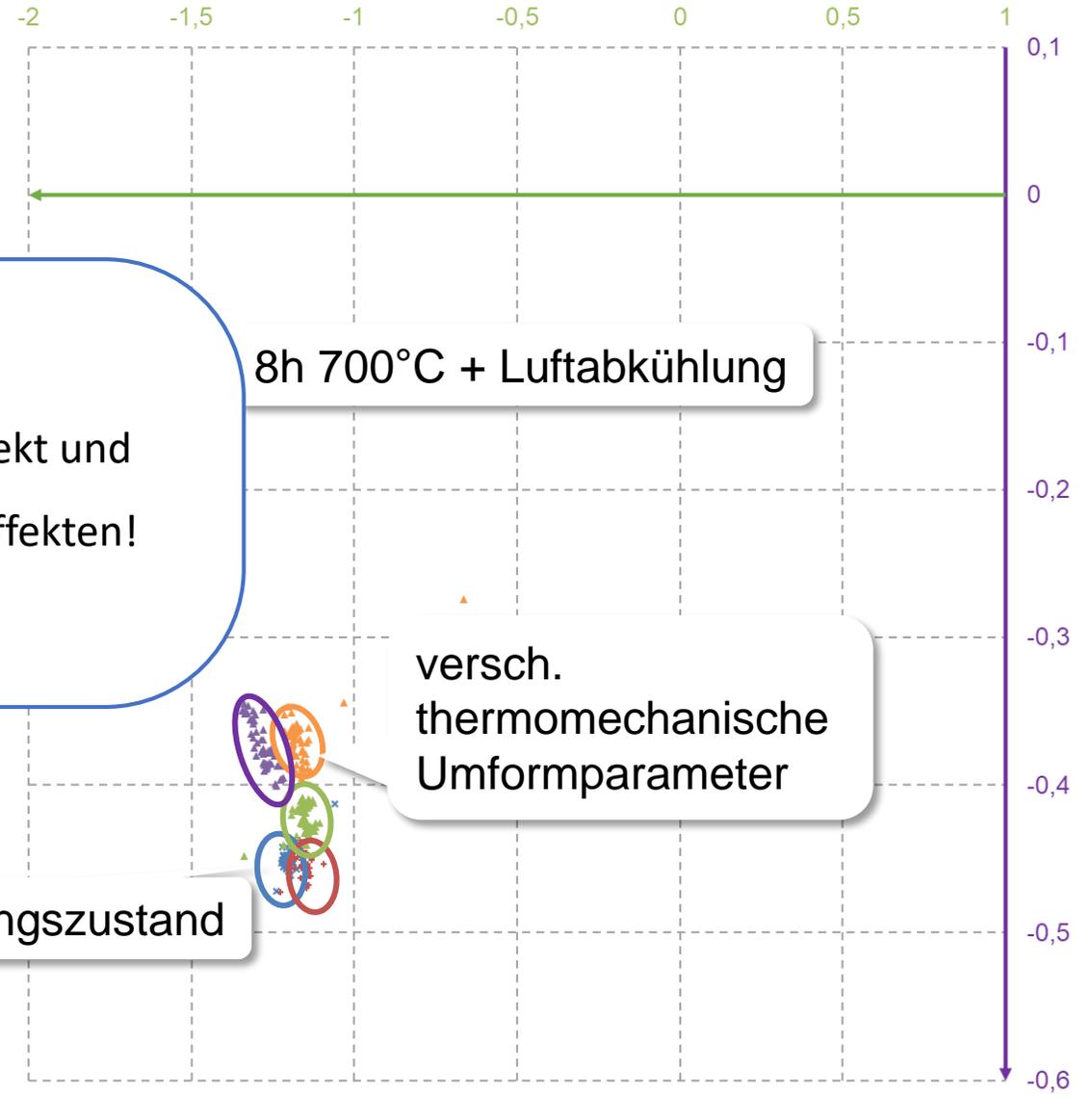


■ Technologisch relevante Eigenschaften:

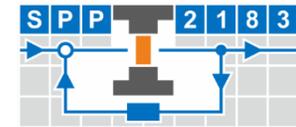
- Korngröße (in der Randschicht)
- Verformungsgrad, Versetzungsdichte



Nicht allgemein direkt und immer mit Nebeneffekten!



HÜTTER, S., LAFARGE, R., SIMONIN, R., MOOK, G., BROSIUS, A., HALLE, T.: Determination of Microstructure Changes by Eddy-Current Methods for Cold and Warm Forming Applications. In: *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering* (2021)

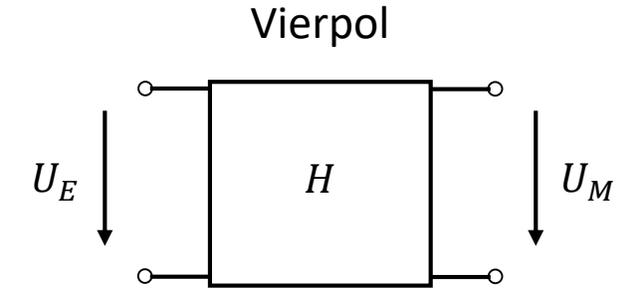
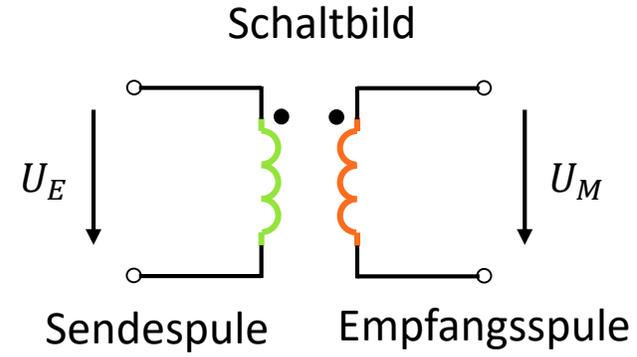
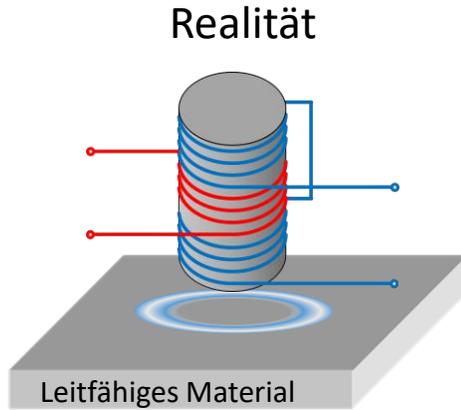


„verallgemeinertes (synthetisches) Messinstrument mit dem Ziel, eine Größe zu bestimmen, die durch prozessabhängige Transformation und/oder räumliche und zeitliche Inter- oder Extrapolation aus erfassbaren Messgröße(n) einer oder mehrerer Sensoren abgeleitet wird.

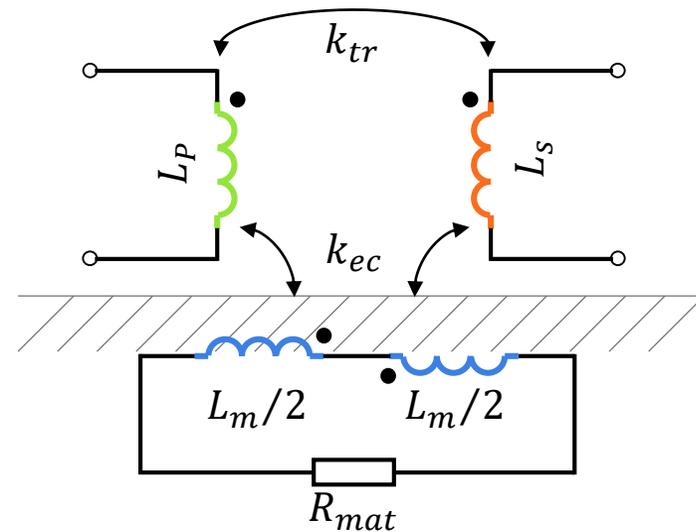
Dazu werden Modelle unterschiedlicher Klasse, Komplexität und Geschwindigkeit eingesetzt“

► **Nutzung von Modellen zusätzlich zu Sensordatenfusion zur Darstellung eines „synthetischen“ Sensors**

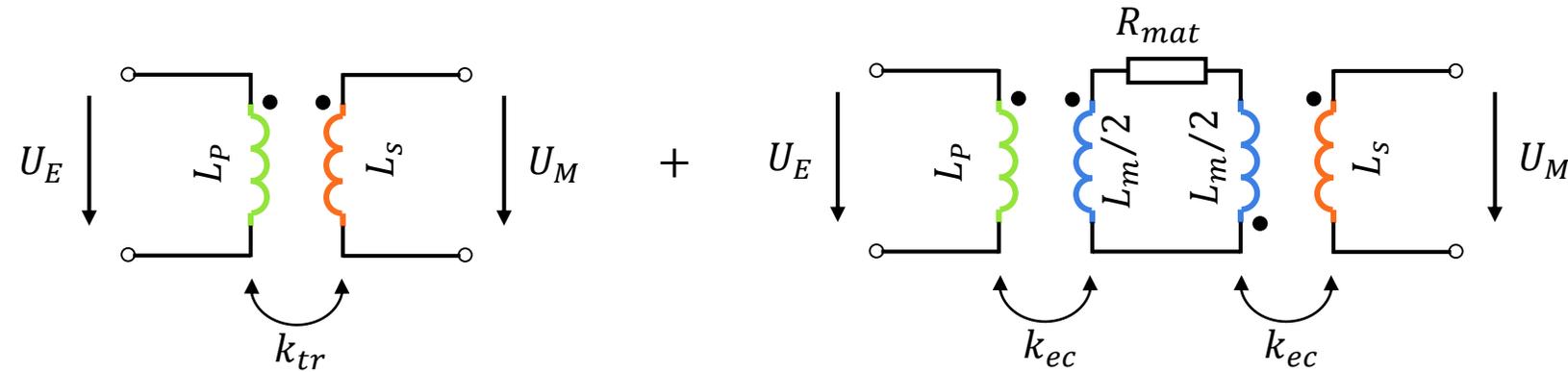
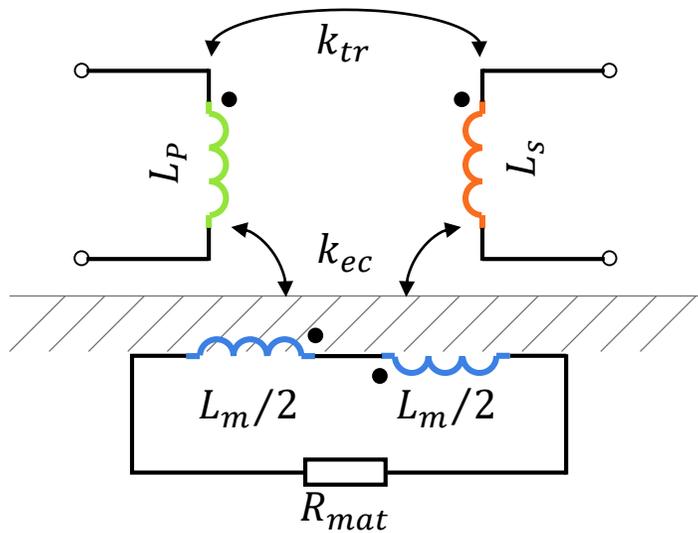
- Komplette elektromagnetische Formulierung ist kompliziert und langsam
- Zielstellung: Integration von schnellem Modell mit einfach interpretierbaren Kennwerten



$$H = \frac{U_M}{U_E} \hat{=} S_{21}$$



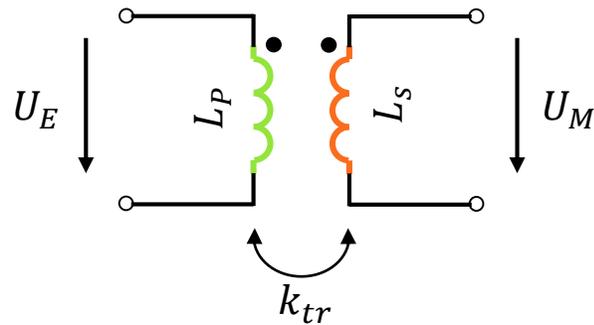
Zerlegung der überlagerten Effekte



$$H(i\omega) = H_{tr}(i\omega) + H_{ec}(i\omega)$$

Annahmen:

- ✓ Effekte beeinflussen sich nicht gegenseitig
- ✓ Energieerhaltung wird nicht verletzt

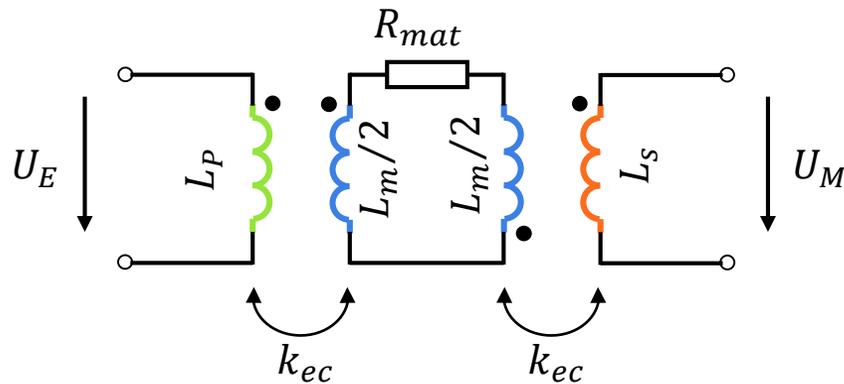


- „Transformatorischer“ Teil:

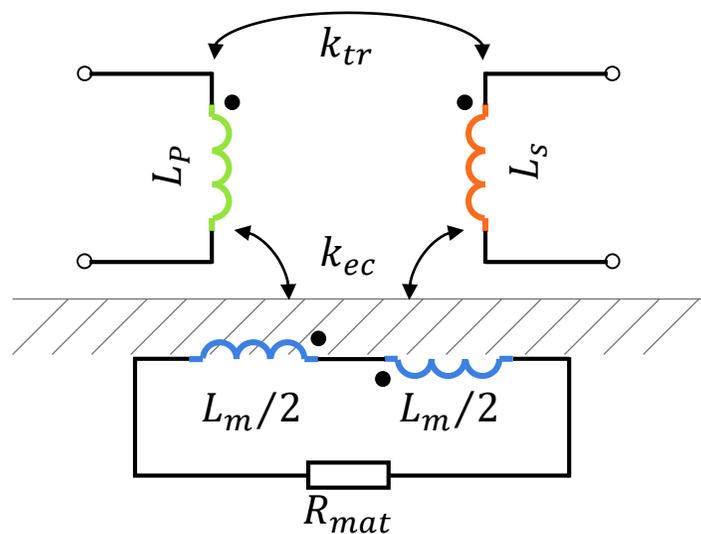
$$M_{ab} := k_{ab} \sqrt{L_a L_b}$$

$$H_{tr}(s) := \frac{M_{ps} s}{R_p + (L_p + M_{ps})s}$$

- „Wirbelstrom“-Anteil:



$$H_{ec}(s) := \frac{(M_{p1} M_{2s}) s^2}{R_{mat} R_p + (L_{m1} R_p + L_{m2} R_p + L_p R_{mat} + M_{2s} R_p + M_{p1} R_{mat} + M_{p1} R_p) s + (L_p L_{m1} + M_{p1} L_{m1} + L_p L_{m2} + M_{p1} L_{m2} + L_p M_{2s} + L_p M_{p1} + M_{p1} M_{2s}) s^2}$$



Geräteparameter:

- DC-Widerstand Sendespule: R_p
- Induktivität Sendespule: L_p
- Induktivität Empfangsspule: L_s

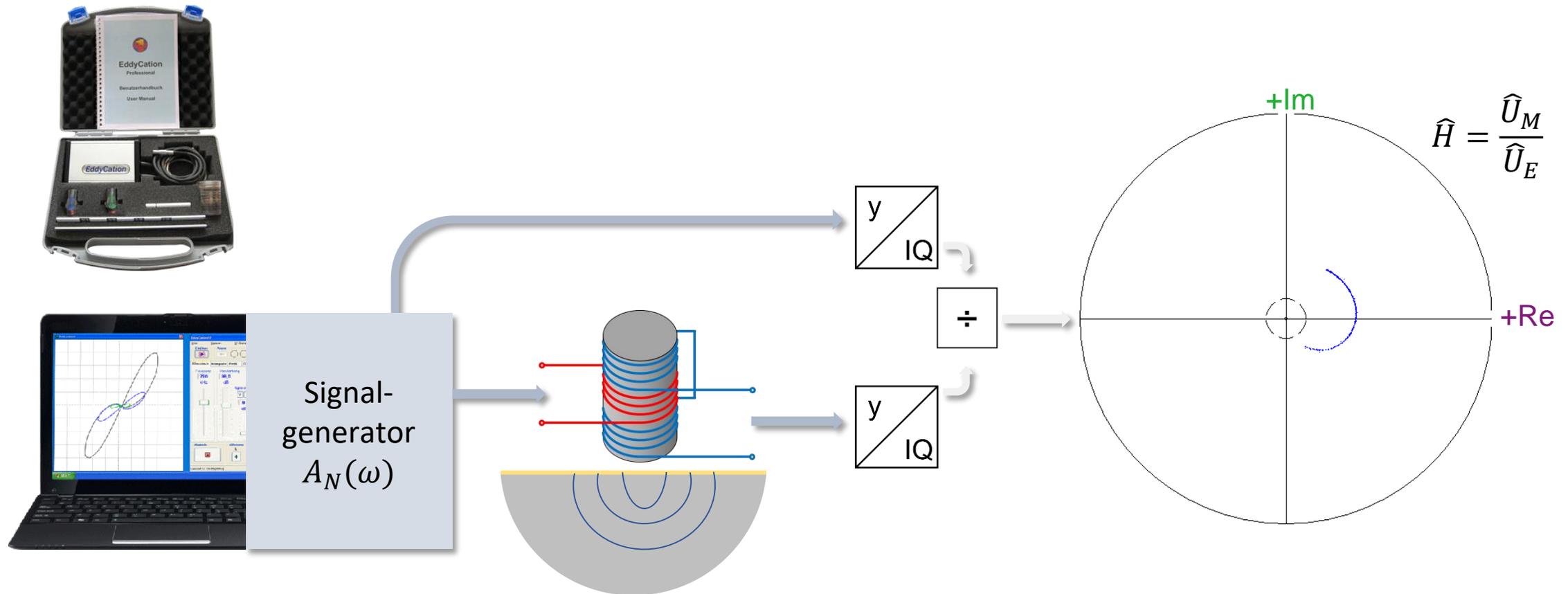
Materialparameter

- Verlustwiderstand: R_{mat}
- Verlustinduktivität: L_m
- WS-Kopplung: k_{ec}
- Trafo-Kopplung: k_{tr}

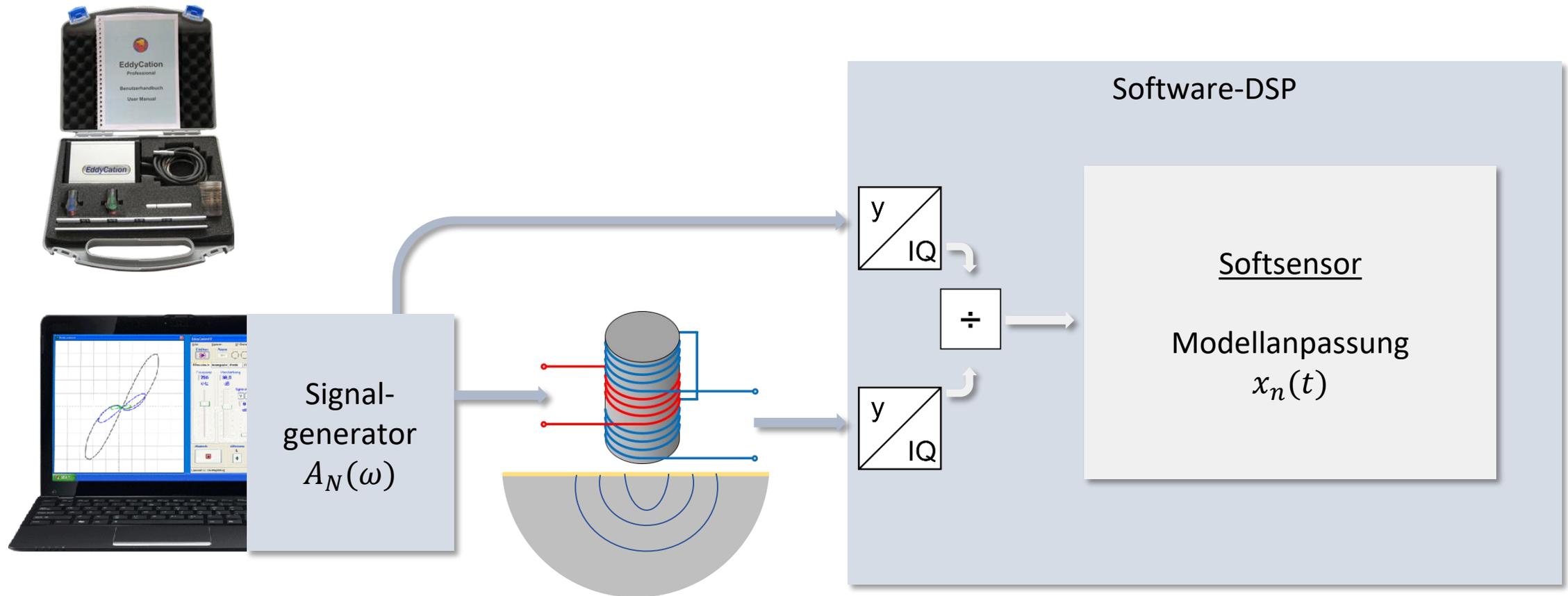
- Stark nichtlinear, aber:

► Beschreibung der Übertragungsfunktion durch 3 schnell optimierbare Parameter

- Messsystem: *EddyCationPlus* (MDZWP e.V., Magdeburg)

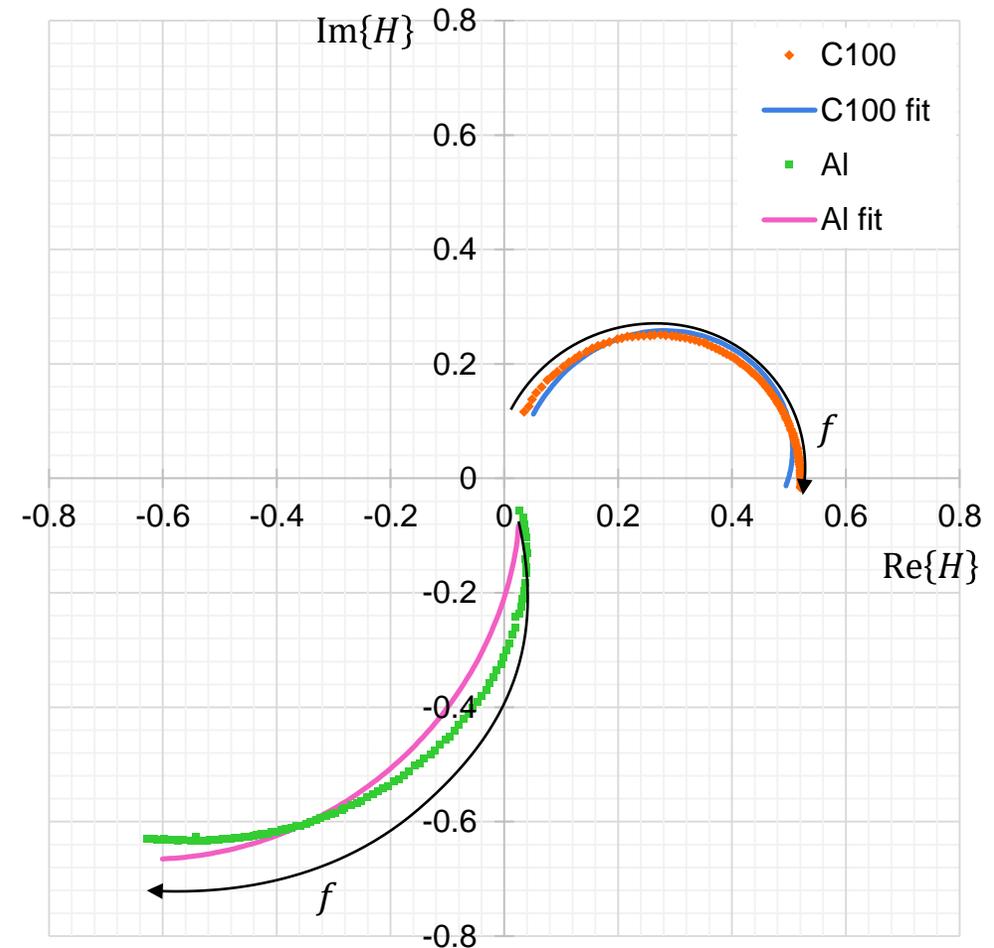


- Messsystem: *EddyCationPlus* (MDZWP e.V., Magdeburg)

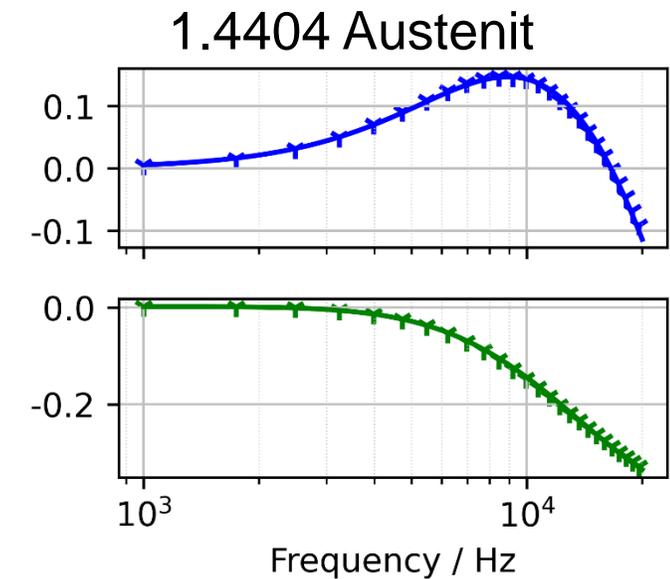
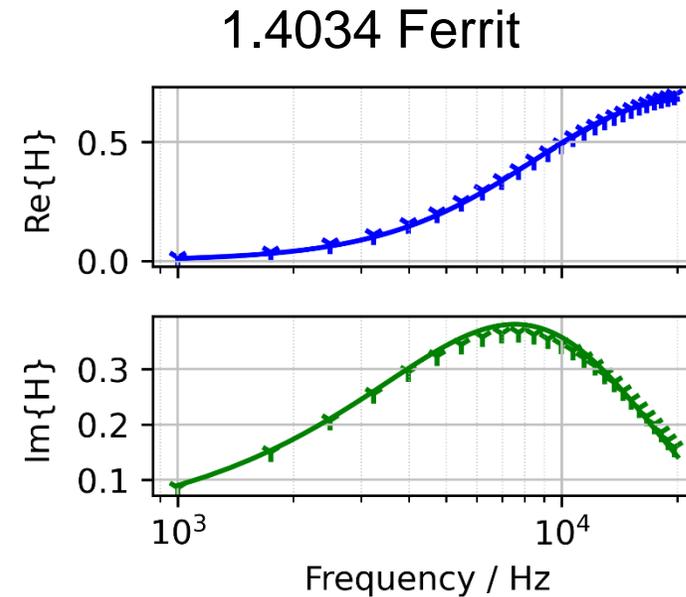


- Stahl vs. Aluminium
 - Gute Wiedergabe von (Kohlenstoff-)Stahl
 - Abweichungen bei Aluminium

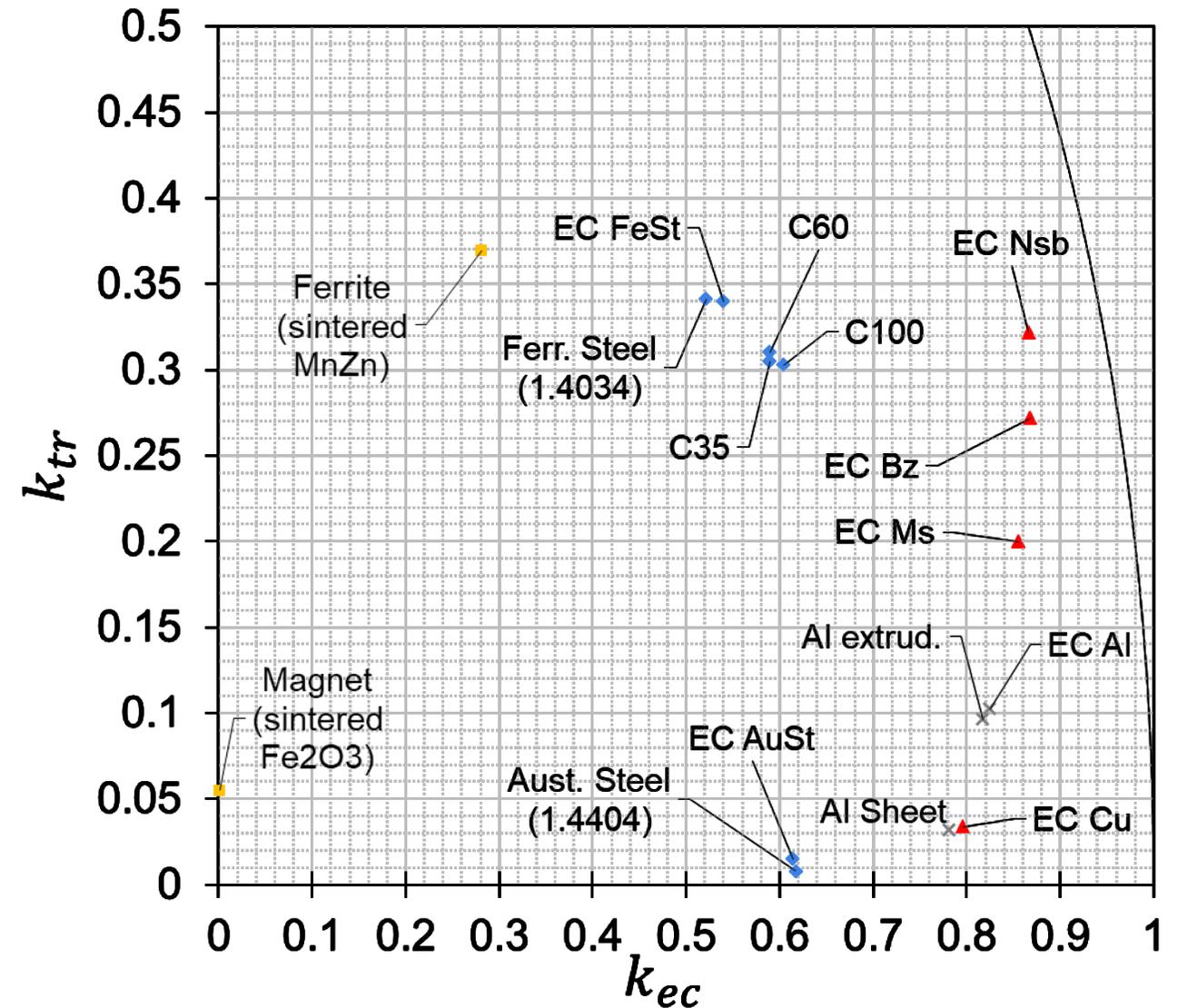
- Verschiedene Stahlsorten
 - Sehr gute Anpassung für Austenite
 - Kleine Abweichung bei ferritischem Stahl



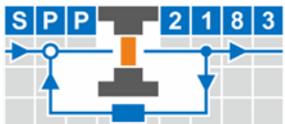
- Stahl vs. Aluminium
 - Gute Wiedergabe von (Kohlenstoff-)Stahl
 - Abweichungen bei Aluminium
- Verschiedene Stahlsorten
 - Sehr gute Anpassung für Austenite
 - Kleine Abweichung bei ferritischem Stahl



- Versuchskörper:
 - EddyCation-Testwerkstoffe
 - versch. Stähle
 - versch. Aluminiumbleche
 - Ferritkern für Transformatoren
 - Tafelmagnet (M)
- Nach Werkstoffgruppen:
 - Cu-Basis
 - Fe-Basis
 - Al-Basis
 - Magnetpulver



- Einfaches Modell zur Reproduktion der Übertragungsfunktion
 - Echtzeitfähige Parameteridentifikation
 - Relation zu Materialart und –eigenschaften
-
- Offene Fragen:
 - Temperatureinfluss
 - Separation der Effekte hinsichtlich Korngröße, Permeabilität, Leitfähigkeit, Versetzungsdichte...



Gefördert durch die DFG im Schwerpunktprogramm SPP2183
im Projekt „Thermomechanisches Ringwalzen“



Fragen?



INSTITUT FÜR
WERKSTOFF- &
FÜGETECHNIK

www.ovgu.de/iwf/



spp2183.de



mdz.ovgu.de