

# Technologie von RFID

- wie RFID-Transponder mit Spannung versorgt werden
- wie die Datenübertragung funktioniert

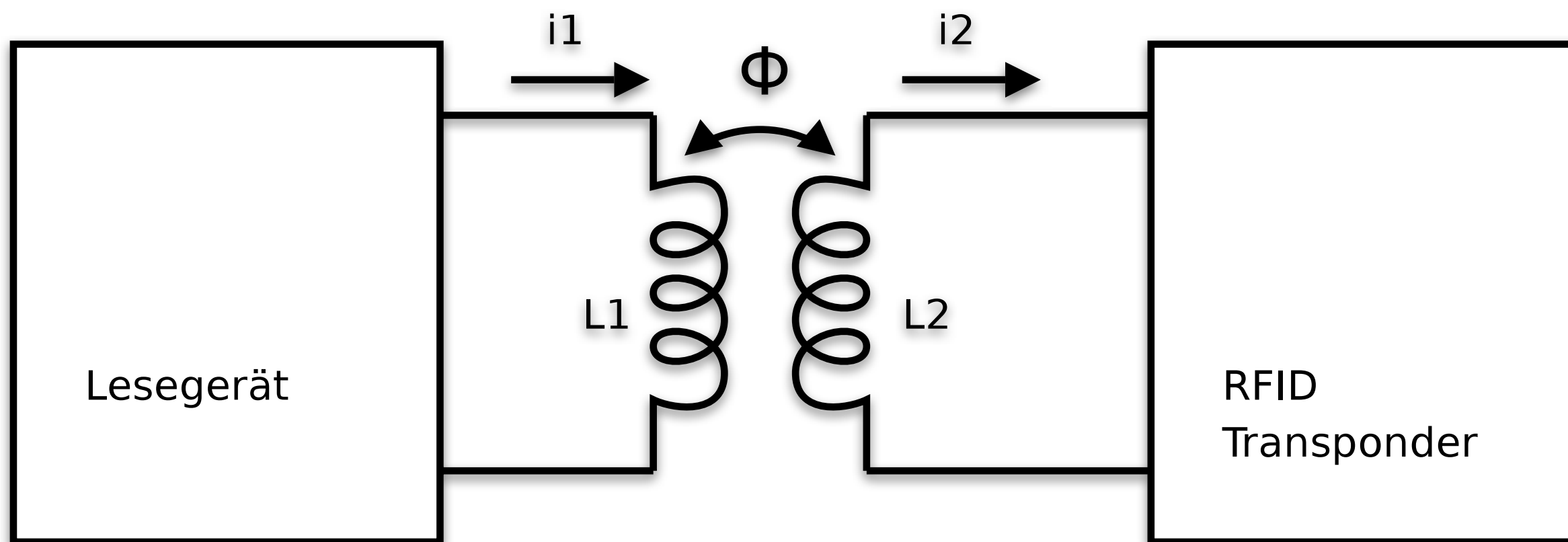


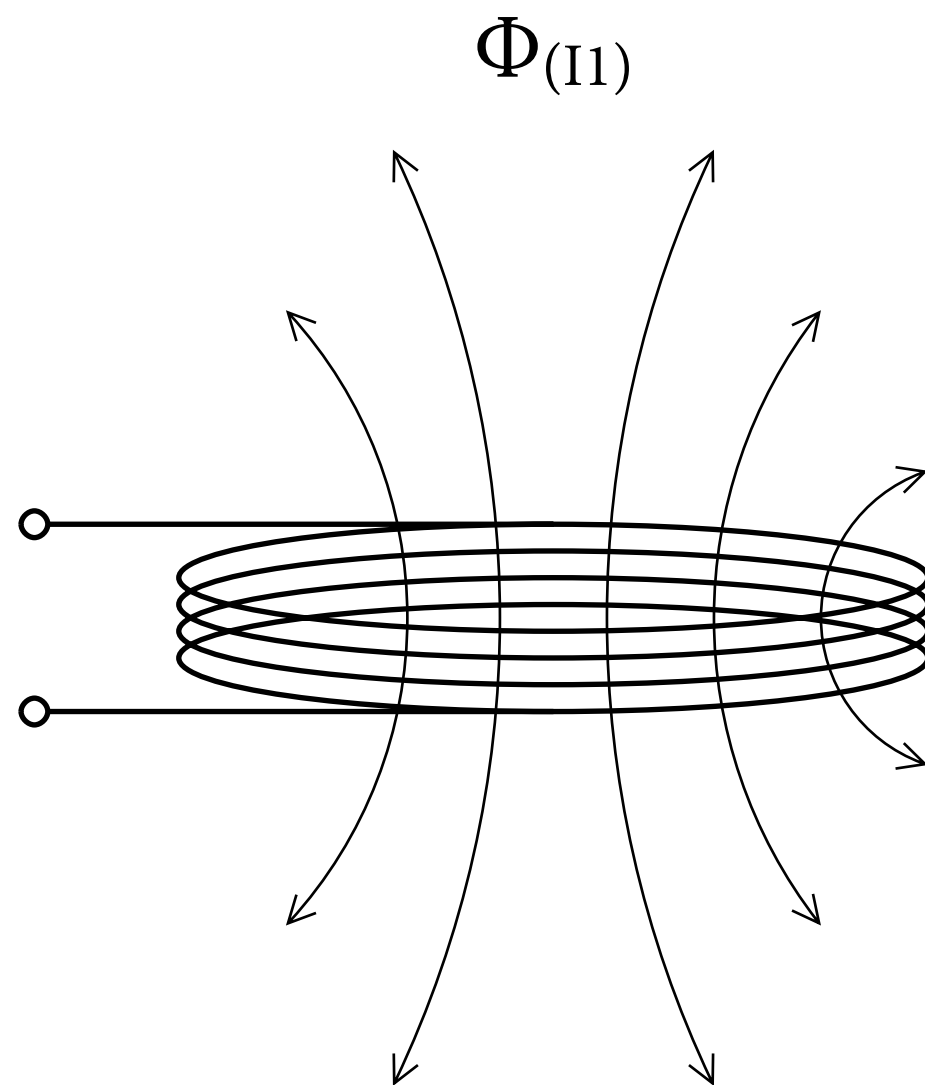
es gibt verschiedene Arten von RFID-Transpondern

die sich in allen möglichen Merkmalen unterscheiden

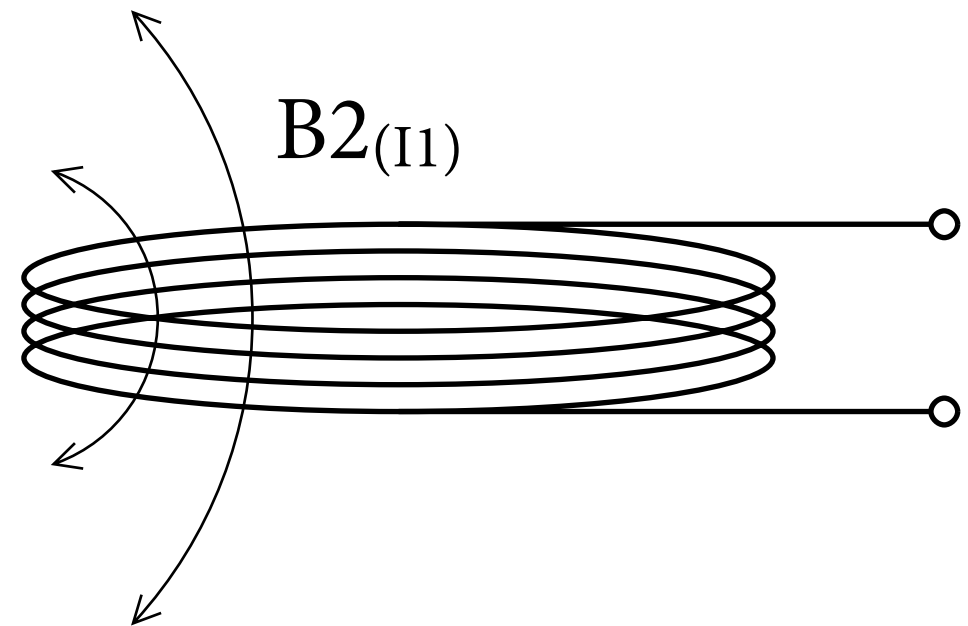
gespeicherte Datenmenge, Leseabstand, Rechenleistung, Frequenzbereich, Datenübertragung, ...

Mensakarte: hohe Rechenleistung (nötig für Kryptographie) deshalb relativ hoher Strombedarf, daher kleine Reichweite





Lesegerät



Transponder

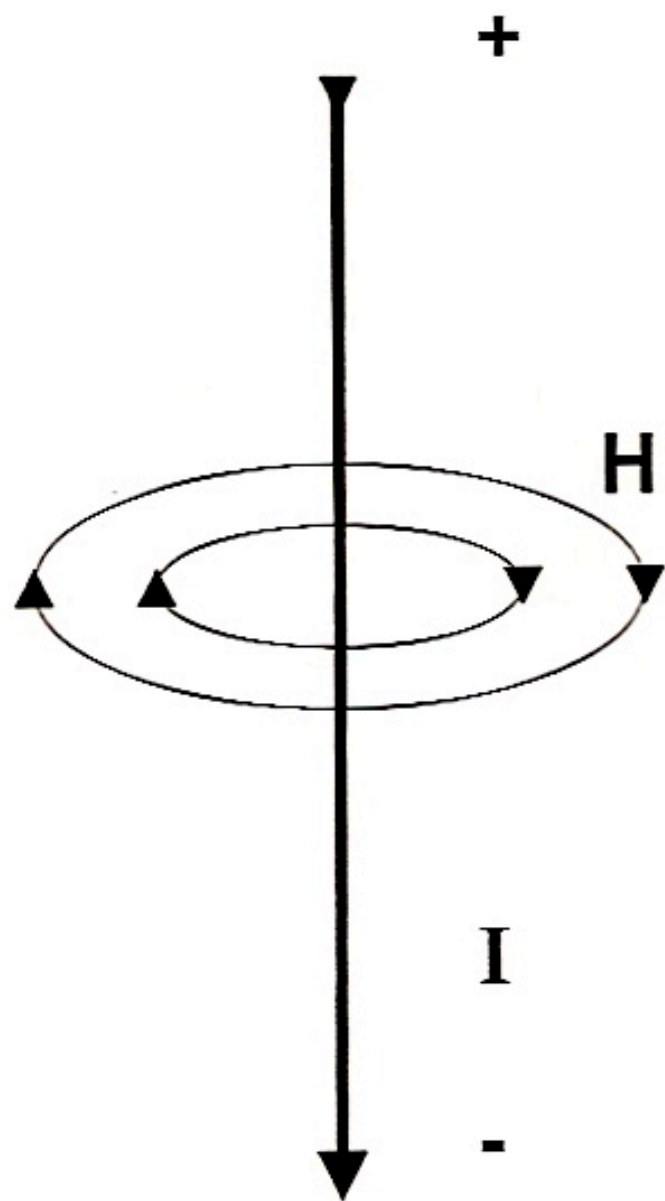
$$M = \frac{N_2 \Phi_{A2}(I_1)}{I_1} = \oint_{A2} \frac{B_2(I_1)}{I_1} dA_2$$

magnetischer Fluss  
im Verhältnis zum  
Sendestrom

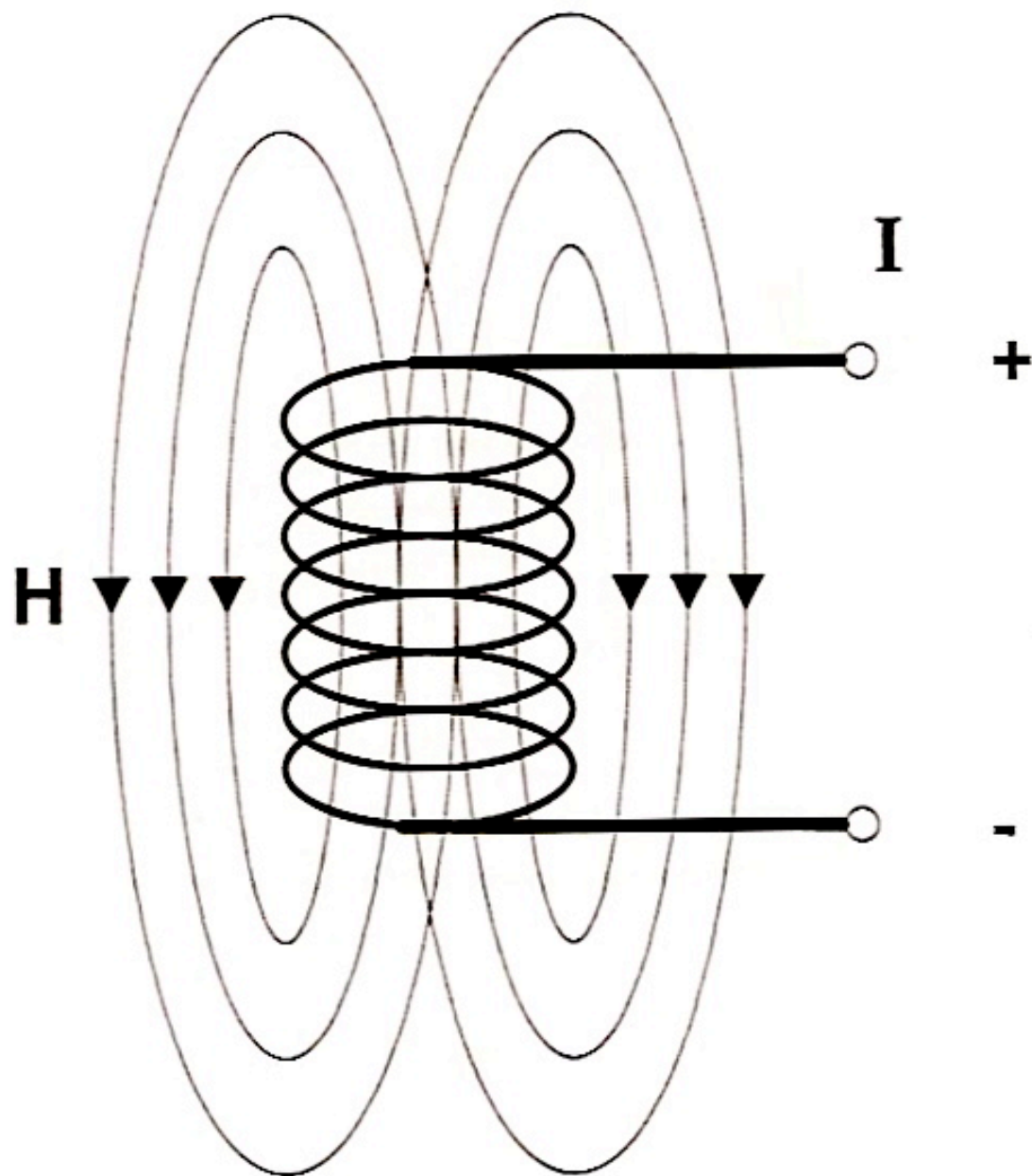
$B$  = Induktion/magnetische  
Flussdichte ( $Vs/m^2$ )

... um die Gegeninduktivität ausrechnen zu können brauchen wir erst einmal das Feld, das von einer Spule erzeugt wird ...





$$H = \frac{l}{2\pi r}$$



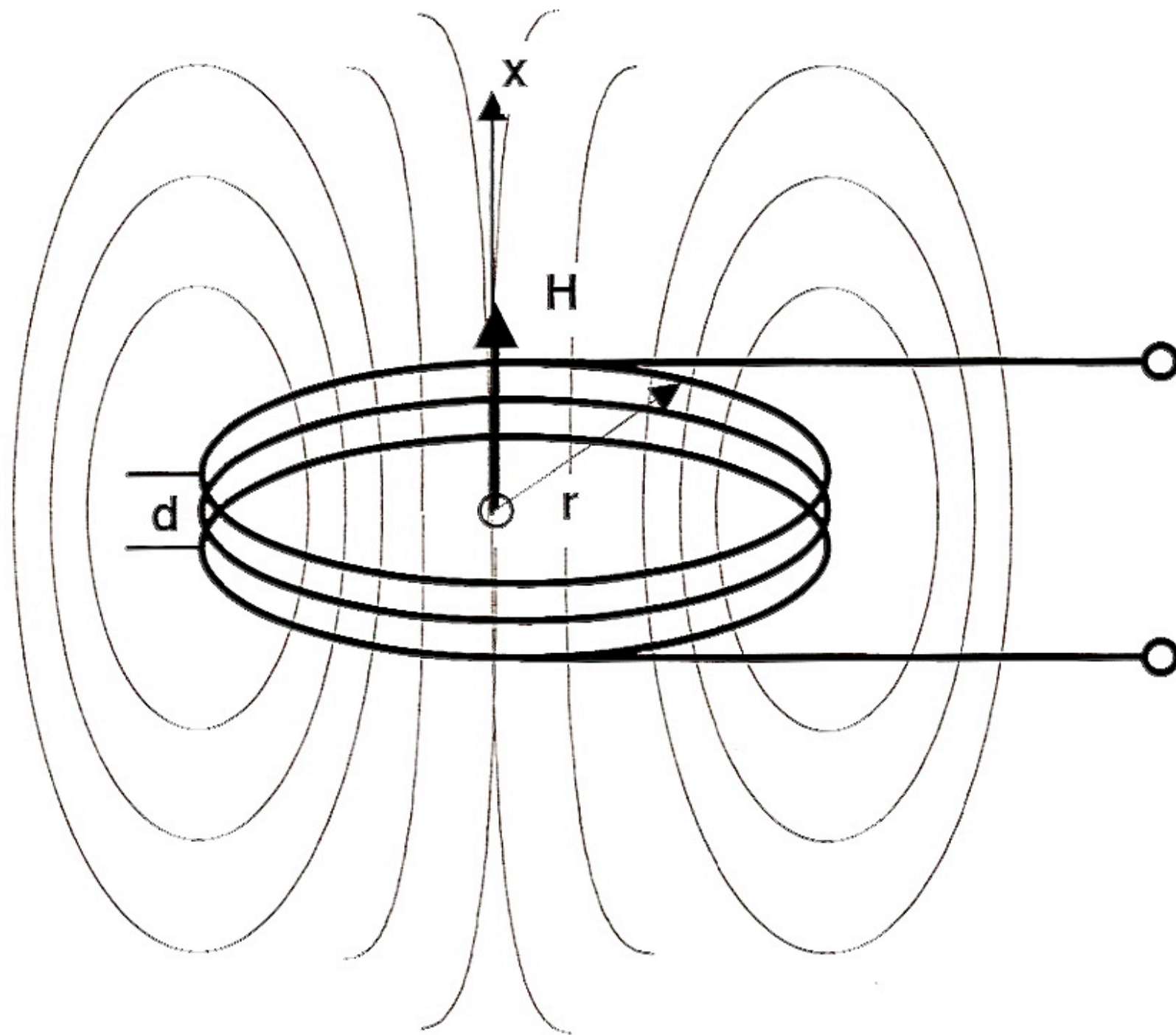
$$H = \frac{NI}{l}$$

N = Windungszahl  
l = Länge der Spule

Q5 (T5555)





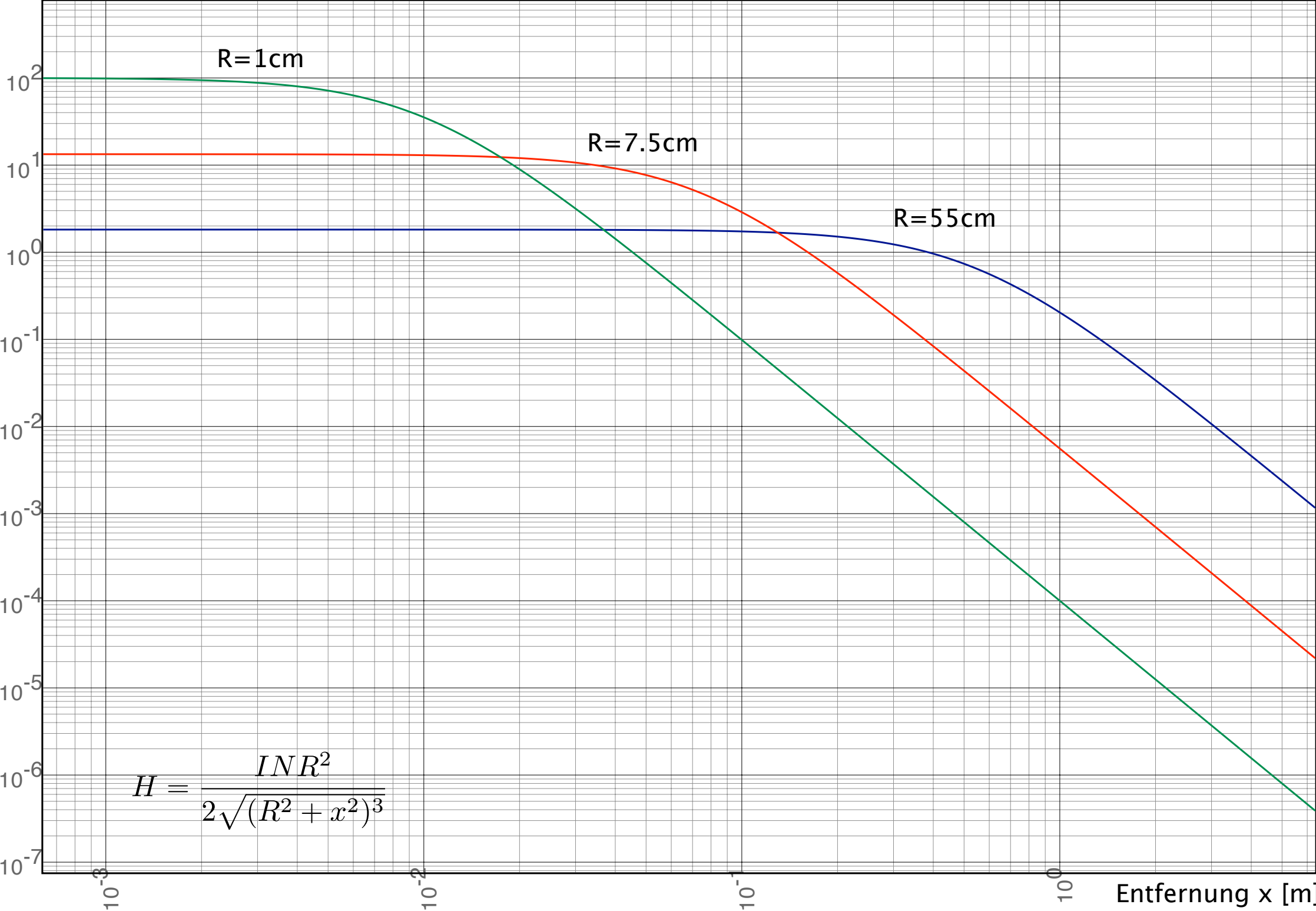


$$H = \frac{INR^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$$

... kurze dicke Spule



Magnetische Feldstärke H [A/m]



$$B = \mu_0 \mu_r \cdot H$$

$$\Phi = \int \vec{B} d\vec{A}$$

$$M = \frac{\mu_0 \cdot N_1 R_1^2 \cdot N_2 R_2^2 \cdot \pi}{2 \sqrt{(R_2^2 + x^2)^3}}$$

Nun können wir (in einigen wenigen speziellen Fällen) die Gegeninduktivität berechnen

wenn man das alles ineinander einsetzt kommt dies hier 'raus



die reale Welt ist aber nicht so einfach



hier ein Bild?

für die Berechnung reicht eine qualitative  
Angabe: *Wie gut sind die Spulen gekoppelt?*

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

typisch:  $k < 1\%$

k ist Einheitenlos

Anschaulich: Prozentsatz der Feldlinien der ersten Spule,  
die durch die 2. Spule laufen

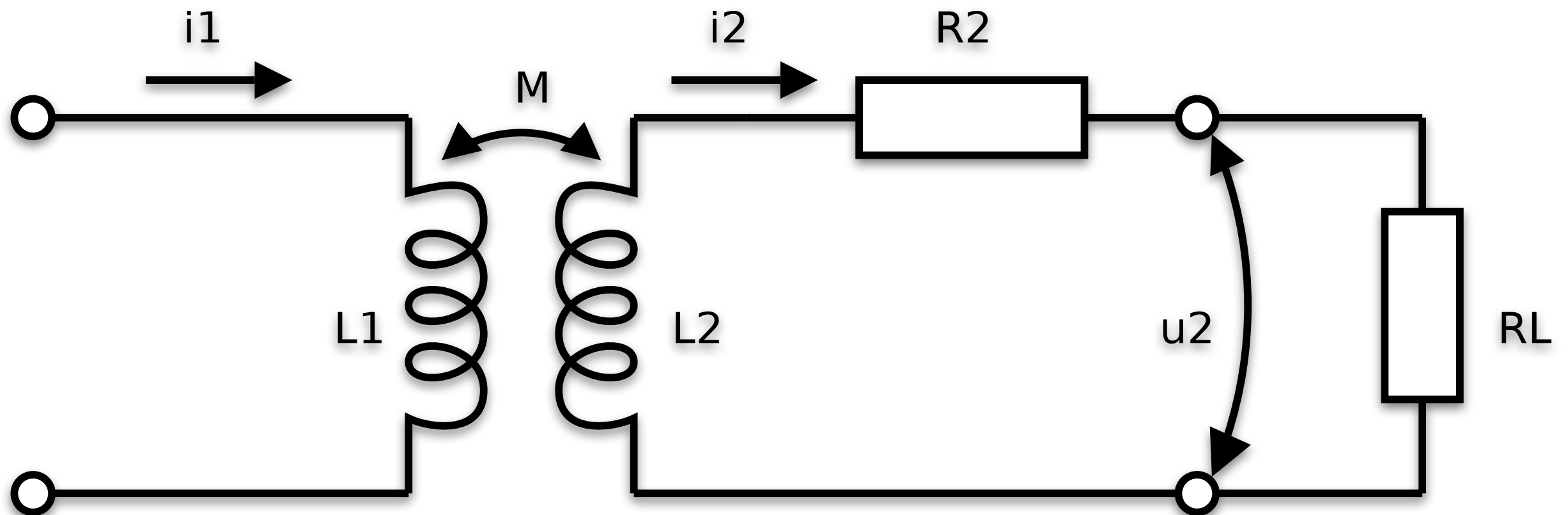
wenn man k experimentell ermittelt, dann kann man ohne weiteres M ausrechnen

jetzt können wir die im Transponder  
induzierte Spannung berechnen:

Induktionsgesetz

$$u_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$





$$u_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2$$

Gegeninduktion

Selbstinduktion

Wicklungswiderstand

$$u_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2$$

$$u_2 = j\omega M i_1 - j\omega L_2 i_2 - i_2 R_2$$

Gegeninduktion

Selbstinduktion

Wicklungswiderstand

bei sinusförmigen Strömen

$$u_2 = M \frac{di_1}{dt} - L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 R_2$$

$$u_2 = j\omega M i_1 - j\omega L_2 i_2 - i_2 R_2$$

Gegeninduktion

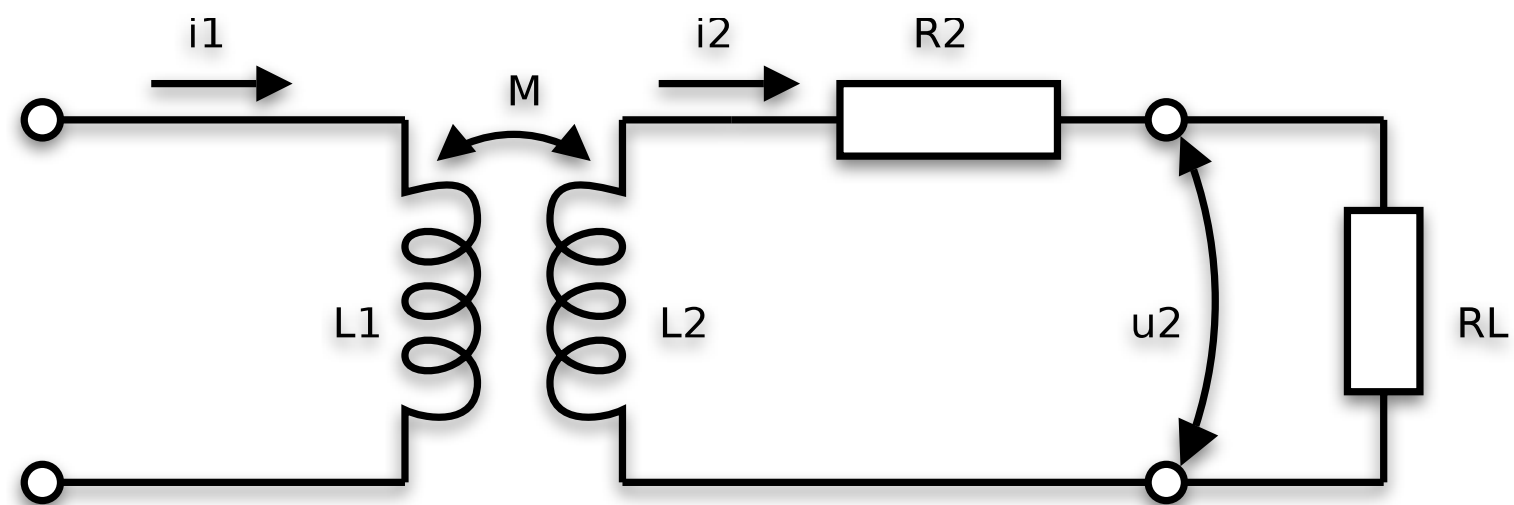
Selbstinduktion

Wicklungswiderstand

$$i_2 = \frac{u_2}{R_L}$$

bei sinusförmigen Strömen





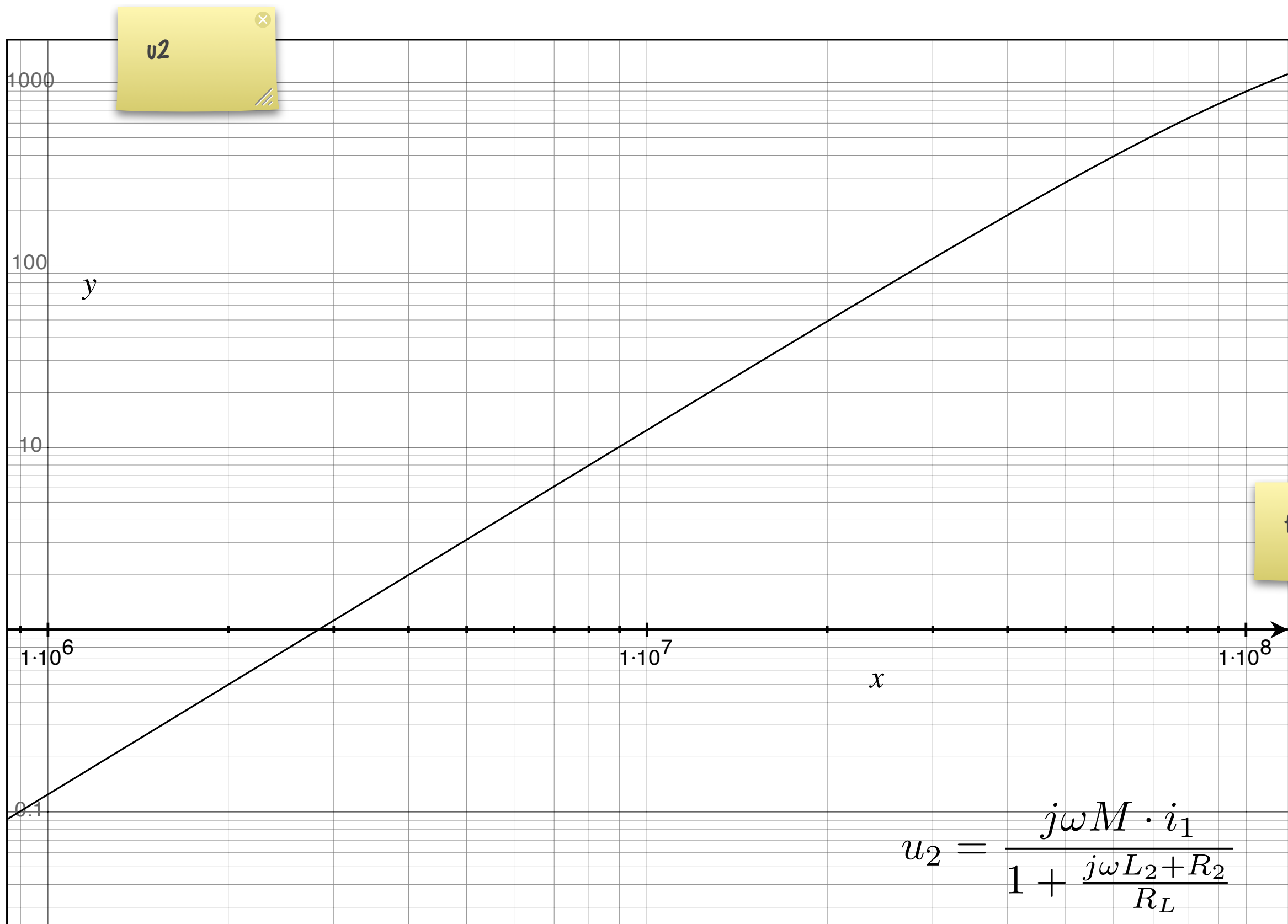
Auflösen nach  $u_2$ :

$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + \frac{j\omega L_2 + R_2}{R_L}}$$

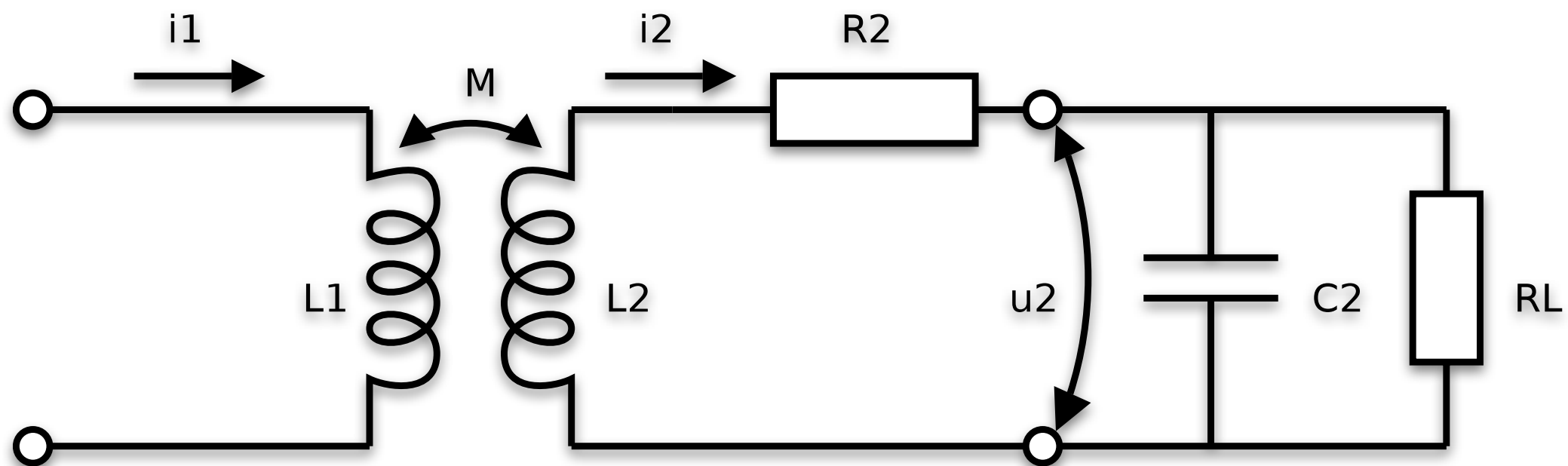
man sieht die Abhängigkeit von  $R_L$

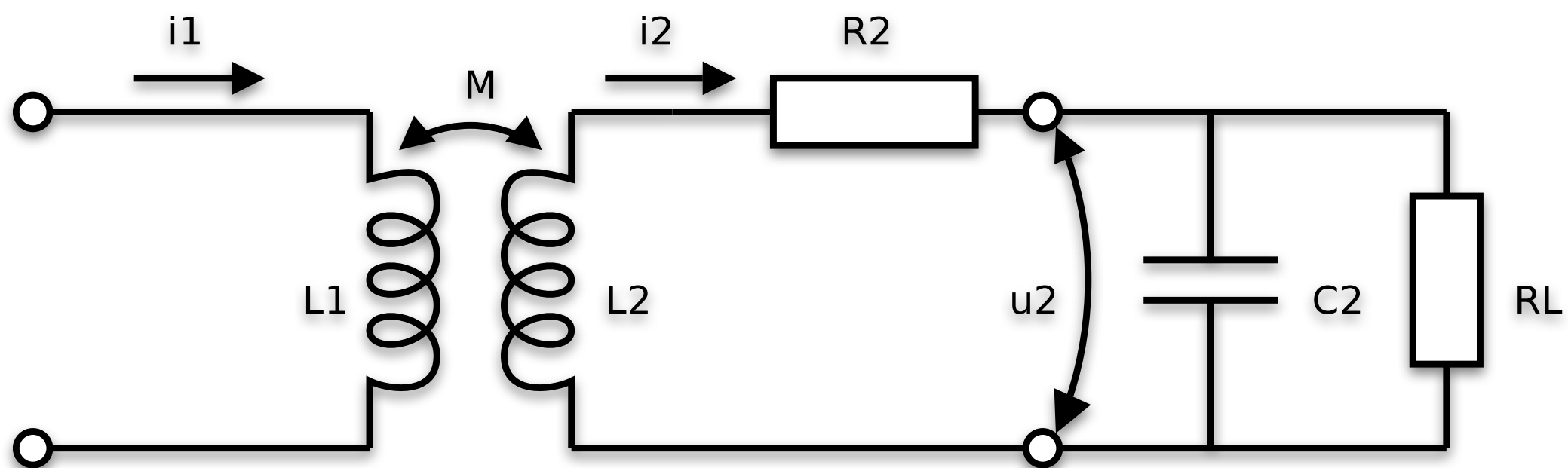
$$R_L \rightarrow 0 : u_2 \rightarrow 0$$

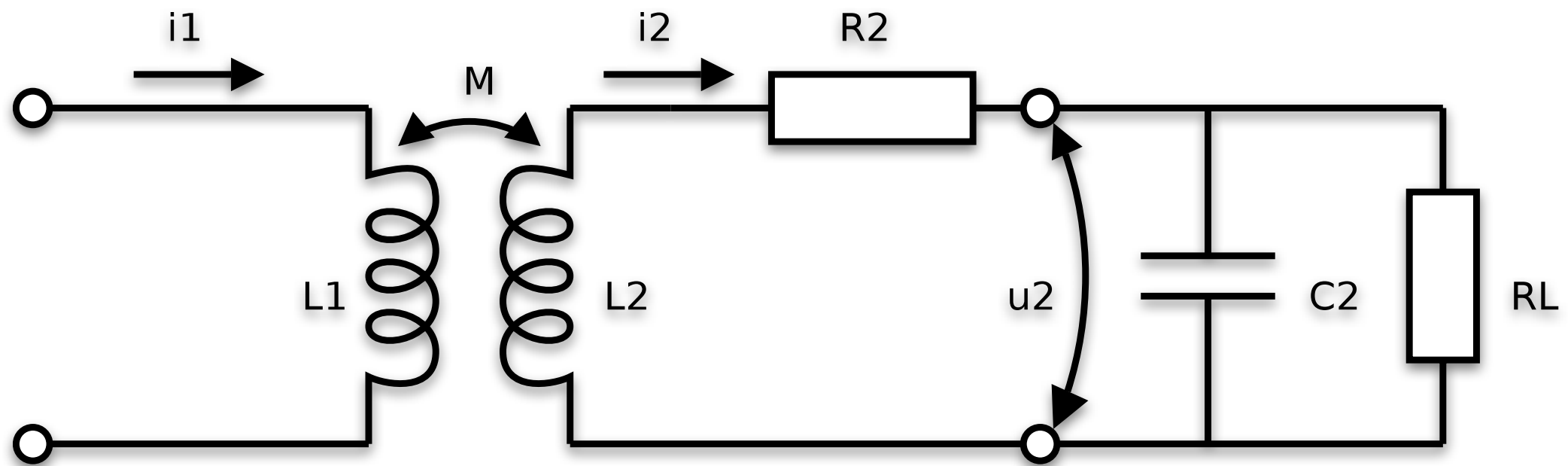
$$R_L \rightarrow \infty : u_2 \rightarrow j\omega Mi_1$$



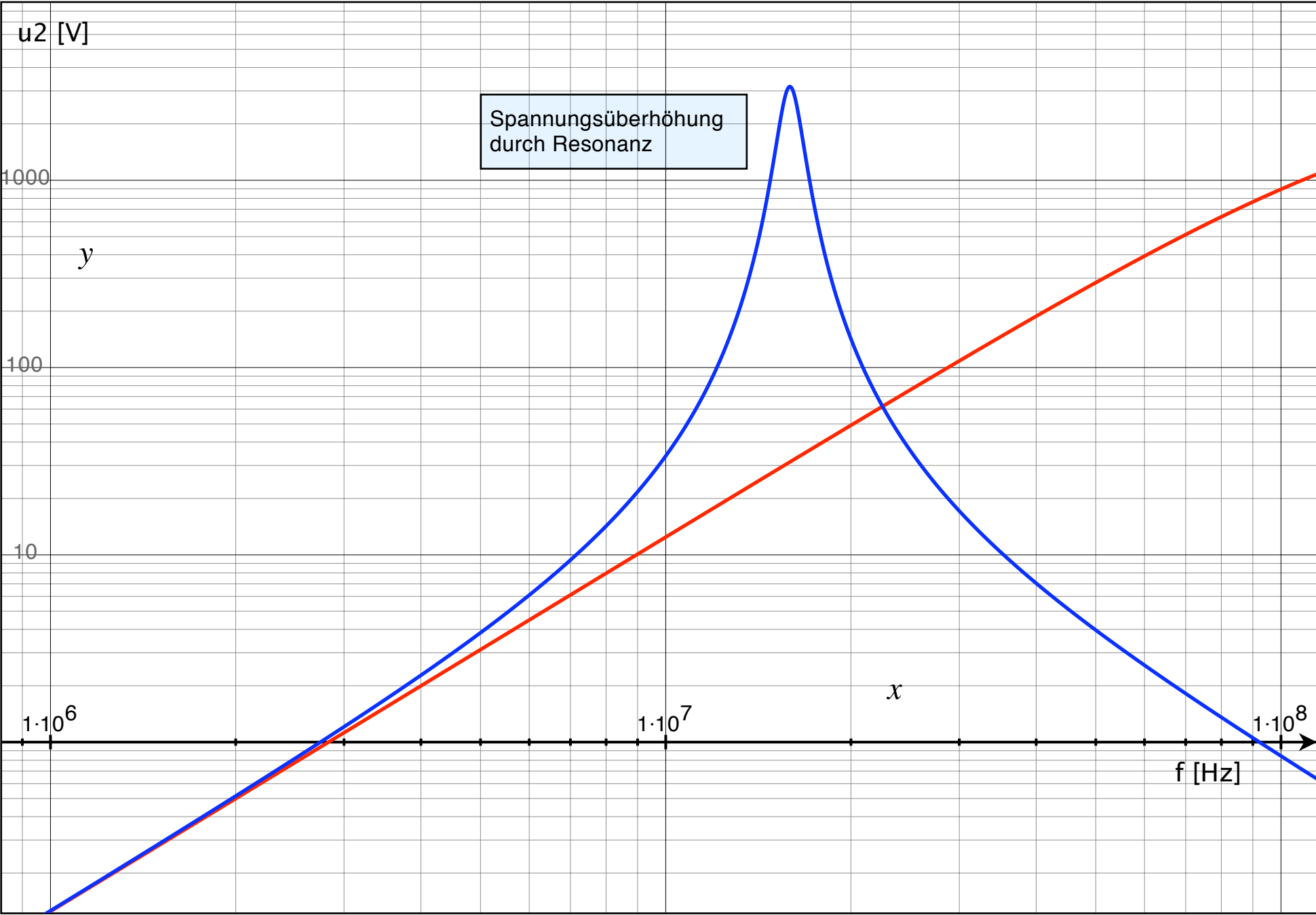









$$u_2 = \frac{j\omega M \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \left( \frac{1}{R_L} + j\omega C_2 \right)}$$

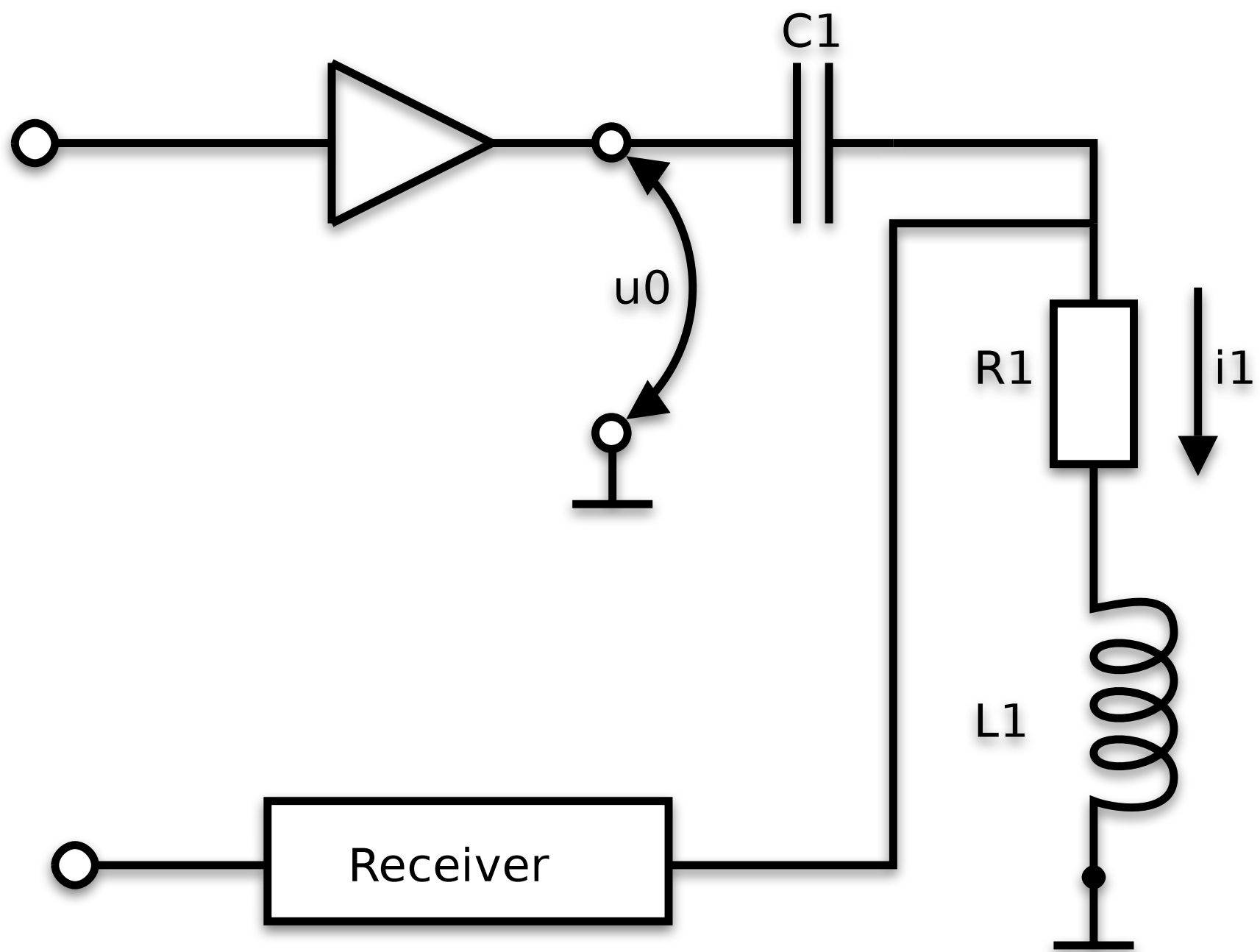


- **Spannungsversorgung**
- **Datenübertragung**

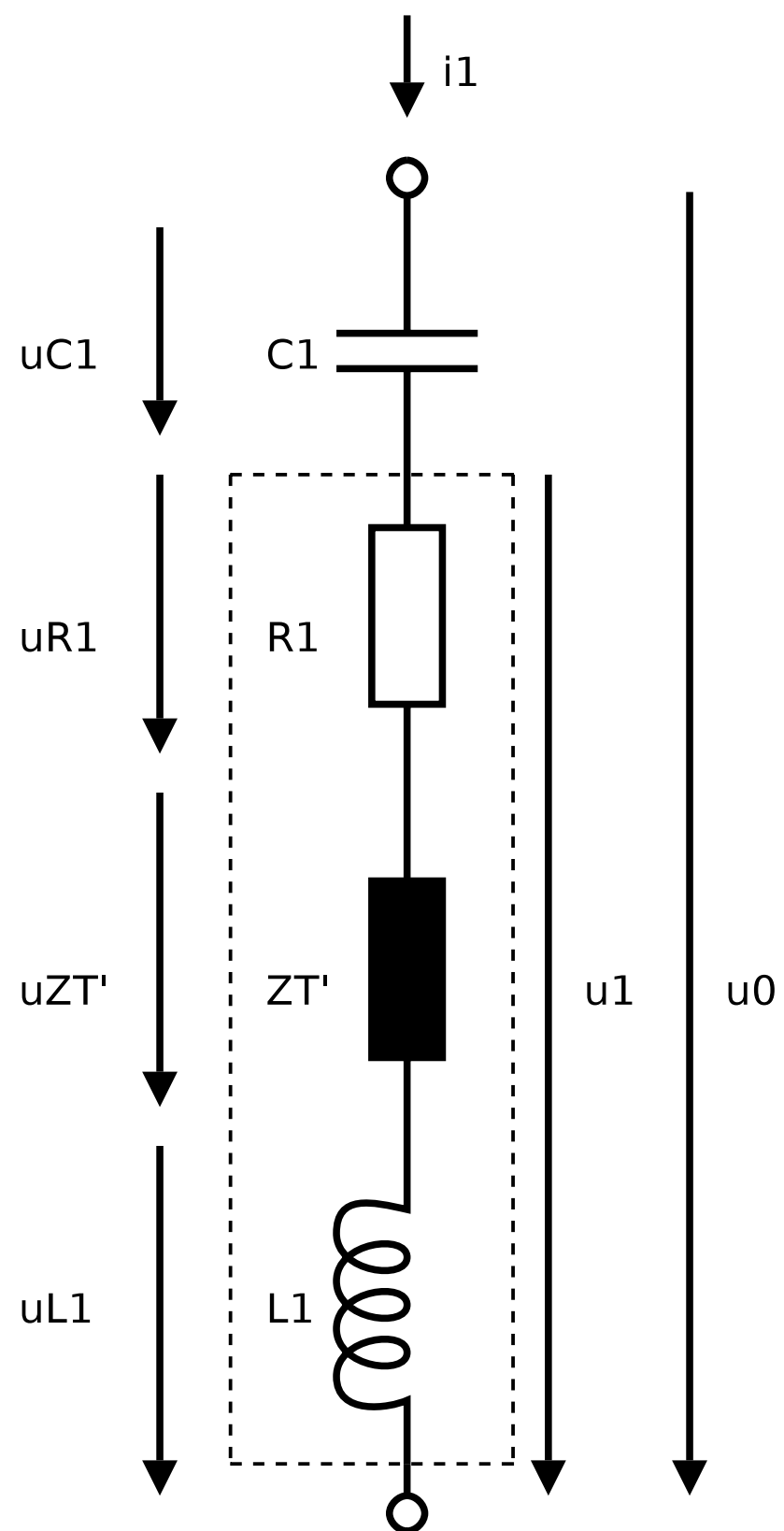
- Spannungsversorgung 
- Datenübertragung

dafür müssen wir das  
Lesegerät genauer betrachten

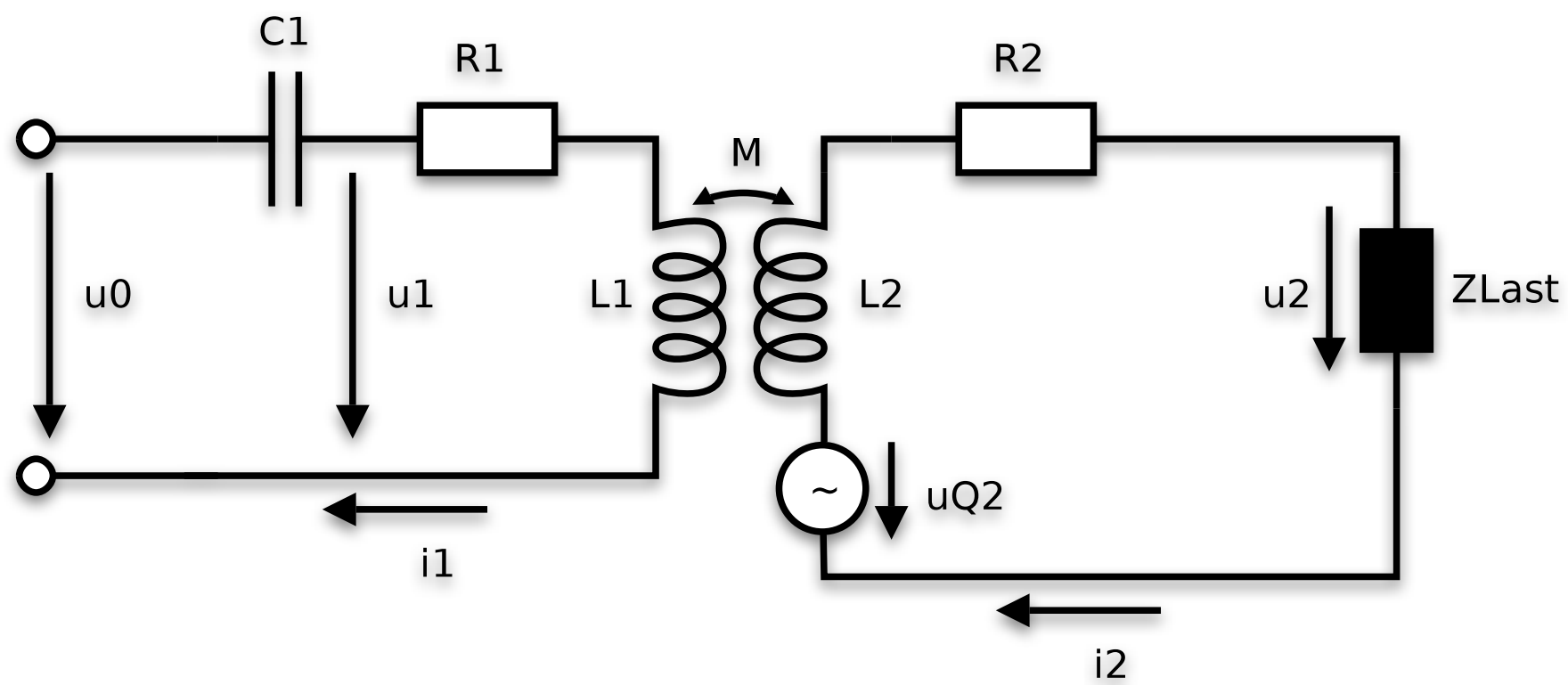




$$U_{ZT'} = i_2 j \omega M$$



hier ist  $i_2$  unbekannt, die Formel dafür kann man sich aus der Transponderschaltung herleiten ...



$$i_2 = \frac{u_{Q2}}{Z_{L2} + Z_{R2} + Z_{Last}}$$

$$i_2 = \frac{j\omega M i_1}{j\omega L_2 + R_2 + Z_{Last}}$$

$$u_0 = R_1 \dot{i}_1 - j\omega M \cdot \frac{j\omega M \cdot \dot{i}_1}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}}$$

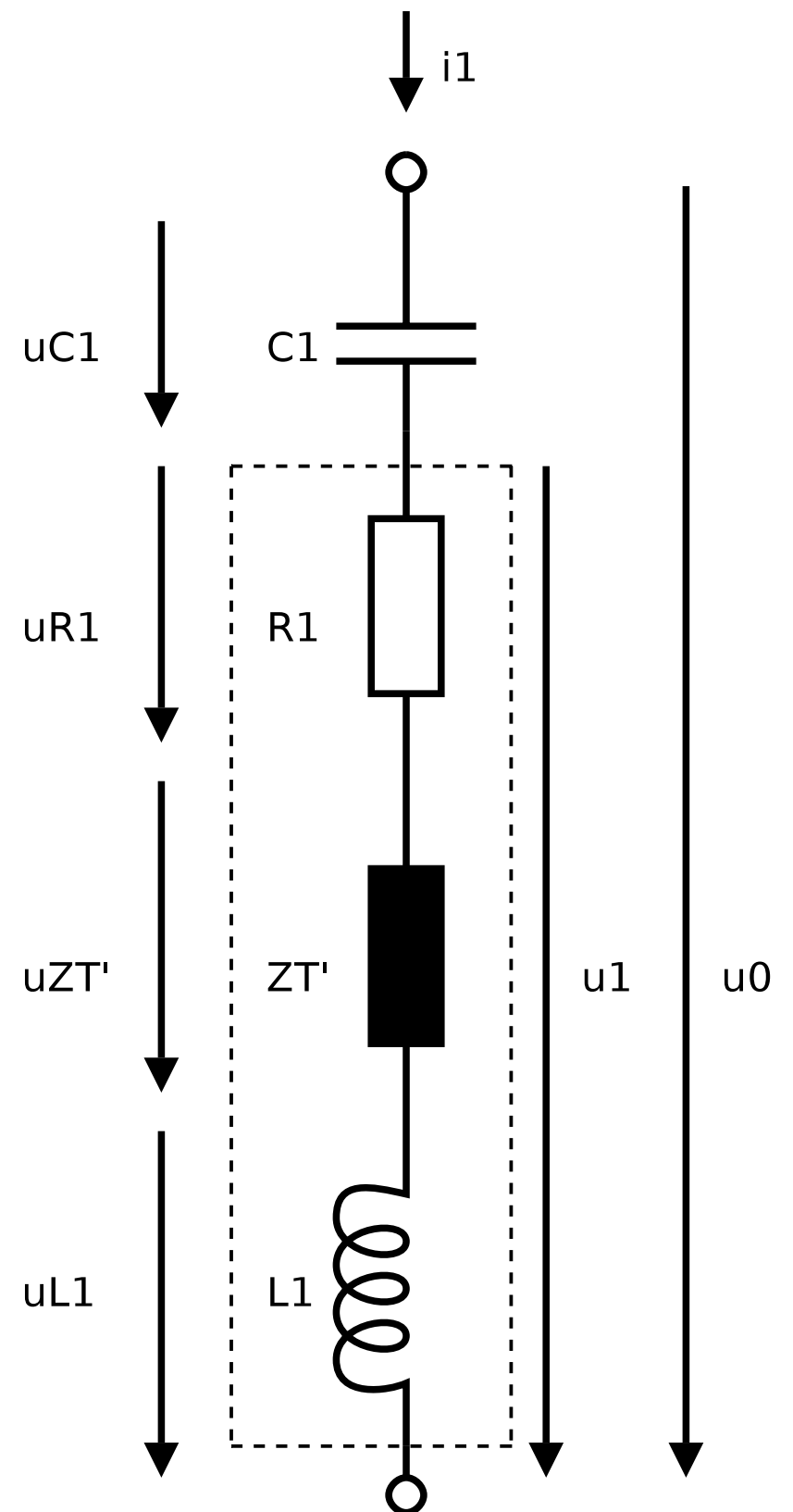
$$u_0 = R_1 \dot{i}_1 - \frac{j\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}} \dot{i}_1$$

$$u_0 = R_1 \dot{i}_1 - j\omega M \cdot \frac{j\omega M \cdot \dot{i}_1}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}}$$

$$u_0 = R_1 \dot{i}_1 - \frac{j\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{\underline{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}}} \dot{i}_1$$

$$Z'_T = \frac{\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + \frac{R_L}{1 + j\omega R_L C_2}}$$

in der Formel sind alle Bauteile  
des Transponders enthalten



Platzhalter: Eigenschaften von ZT'  
Abhängigkeit von Größen im Transponder

Ortskurven!



Jetzt haben wir ein Bild von den elektrischen  
Vorgängen im Lesegerät und können uns  
ansehen, wie eigentlich Daten übertragen  
werden

Der Transponder hat Einfluss auf  $Z_T'$ :

$$Z_T' = \frac{\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + \frac{R_L}{1 + j\omega R_L C_2}}$$

Der Transponder hat Einfluss auf  $Z_T'$ :

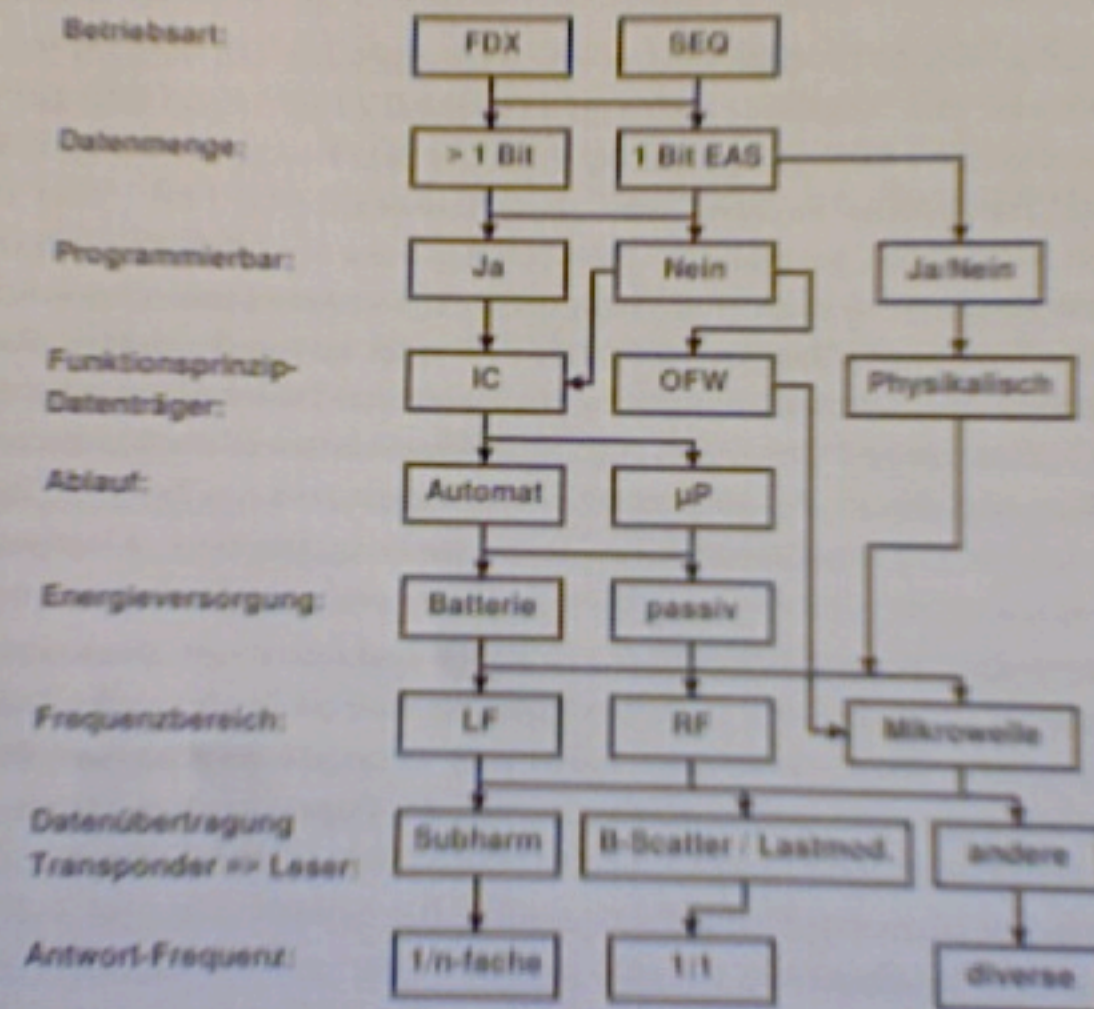
$$Z_T' = \frac{\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + \frac{\underline{R_L}}{1 + j\omega \underline{R_L} \underline{C_2}}}$$

(Ortskurven dazu)

$$u_0 = R_1 i_1 - j\omega M \cdot \frac{j\omega M \cdot i_1}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}}$$

$$u_0 = R_1 \dot{i}_1 - \frac{j\omega^2 k^2 \cdot L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_{Last}} \dot{i}_1$$

## 2.1 Grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale



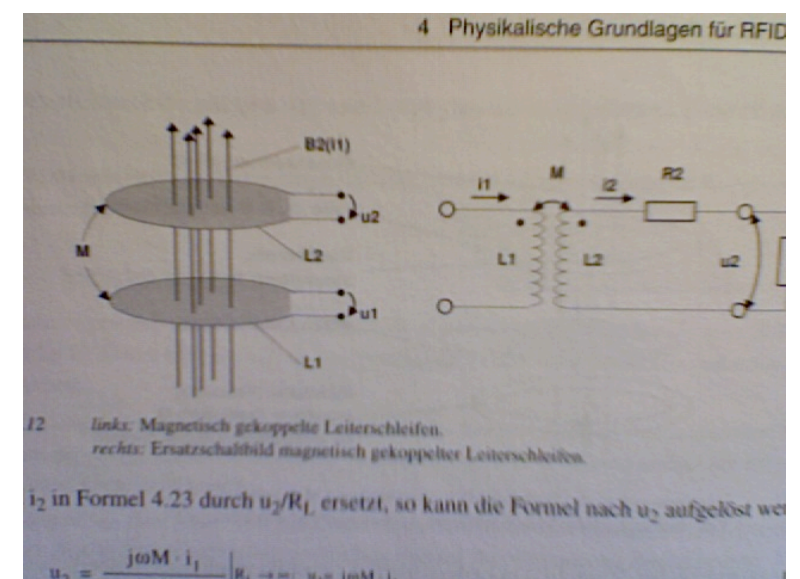
Abl. 2.1 Verschiedene Unterscheidungsmerkmale von RFID-Systemen. [isd]



$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

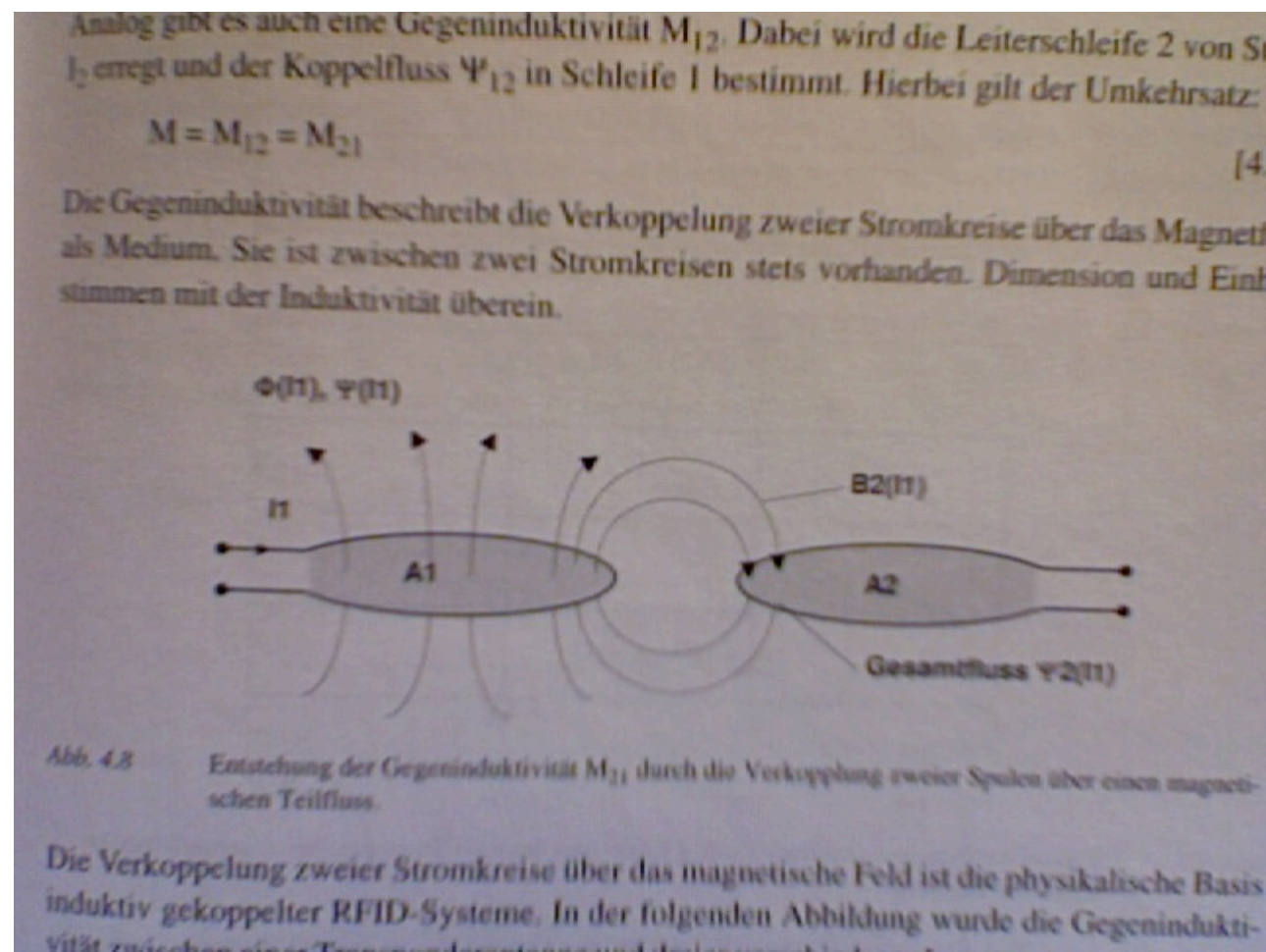
$$\Phi_{L2} = k\Phi_{L1}$$

Funktionsweise: Sender und Empfänger sind  
zwei über ein elektromagnetisches Feld  
gekoppelte Schaltkreise



(rfid/76 oben)

... wie man das elektromagnetische feld an einer Spule berechnet wisst ihr sicher noch ...



$$\Phi_{12}(t) = k \cdot \Phi_1(t)$$

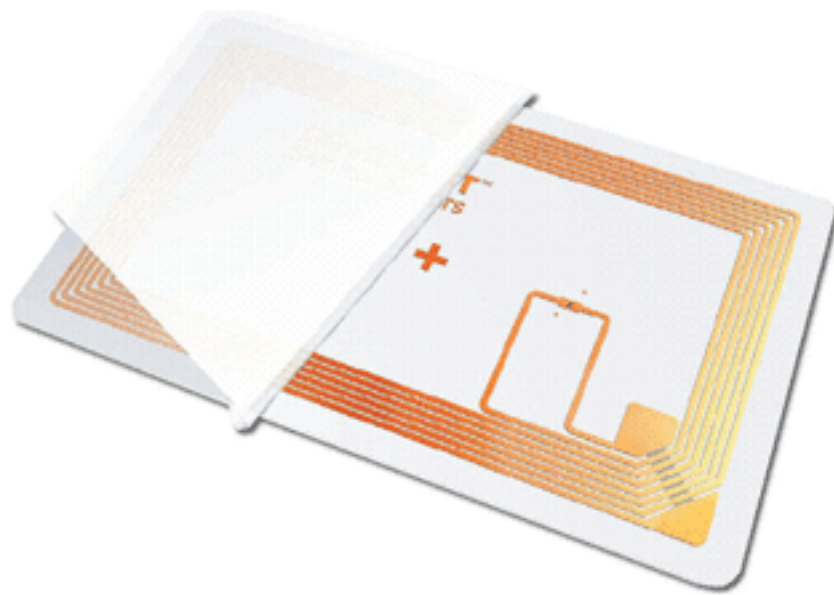
das kann man  
auch  
berechnen,  
siehe rfid/71

System aus Sende- und Empfangsspule

nur ein kleiner Teil des erzeugten Magnetfelds erreicht den Transponder.

Das kann man berechnen (Abhängig von Antennengeometrie, Lage der Antennen zueinander, anderes Zeug) Formeln (RFID/70)

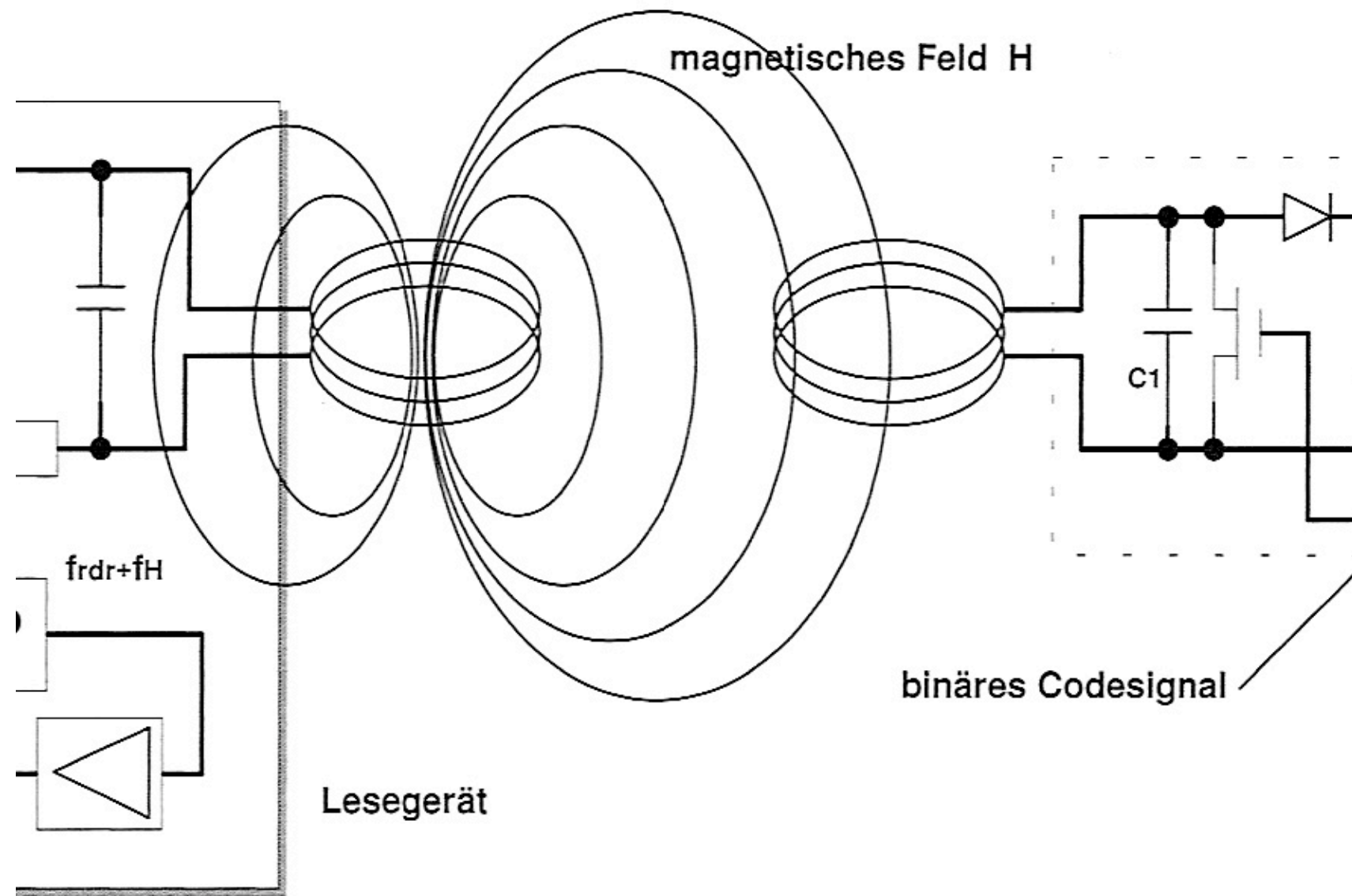
Anschaulich: Koppelfaktor  $k$  = Prozentsatz der Feldlinien der den Empfänger erreicht



ihr habt doch sicher alle eine Mensakarte?

Habt ihr euch nicht schon immer gefragt, wie die eigentlich genau funktioniert und warum die gar keine Batterie braucht?

Was ist da eigentlich drin?



den ungefähre Funktionsweise kennt ihr sicherlich: (beschreiben)

Aber das hier ist eine ES-Vorlesung, also wollen wir darauf etwas genauer eingehen

$$H = \frac{I \cdot N}{2R}$$

$$H = \frac{I \cdot N \cdot R}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$$