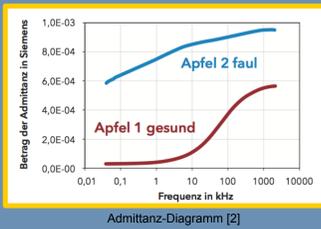


Der Apfel im Wechselstromkreis

Andreas Seibt, Karsten Jessen; Physikalische Praktika, LMU München

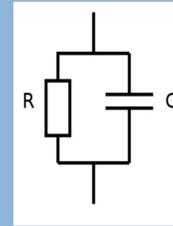
Motivation

- Vermittlung von Physik im biologischen Kontext [1]
- Körperfettwaagen arbeiten nach dem selben Prinzip
- Bezug zur Wissenschaft herstellen. Z.B. wird die Impedanzspektroskopie zur Untersuchung elektrochemischer Systeme, oder zur Qualitätsüberwachung von Lebensmitteln verwendet.
- Einen frischen und faulen Apfel unterscheiden.



Grundlagen

- Biologisches Gewebe besitzt kapazitive Eigenschaften, welche man im externen Wechselstromfeld zur Charakterisierung der Probe verwenden kann.
- Zerlegt man die Impedanz $Z = R + iX_C$ in ihren Real- und Imaginärteil, kann der Frequenzgang im Nyquistdiagramm (siehe Ergebnisse) dargestellt werden.
- Die Zellen des Apfels können vereinfacht als RC-Glied modelliert werden. Aus dem physikalischen Modell kann man eine Kreisgleichung (Gl. 1) zum Vergleich mit dem Nyquist-Diagramm herleiten.
- Bei dem Nyquistdiagramm wird der Imaginärteil gegen den Realteil graphisch aufgetragen.
- Die Admittanz Y ist der Kehrwert der Impedanz Z



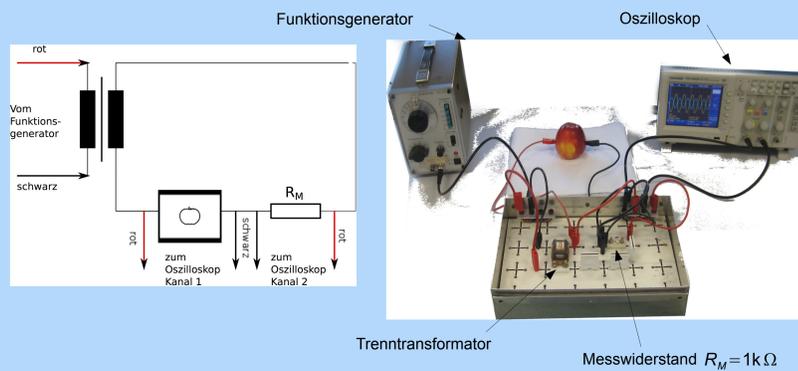
$$\left(\operatorname{Re}(Z) - \frac{R}{2} \right)^2 + \operatorname{Im}(Z)^2 = \left(\frac{R}{2} \right)^2 \quad (1)$$

Kreisgleichung für das Nyquist-Diagramm [3]

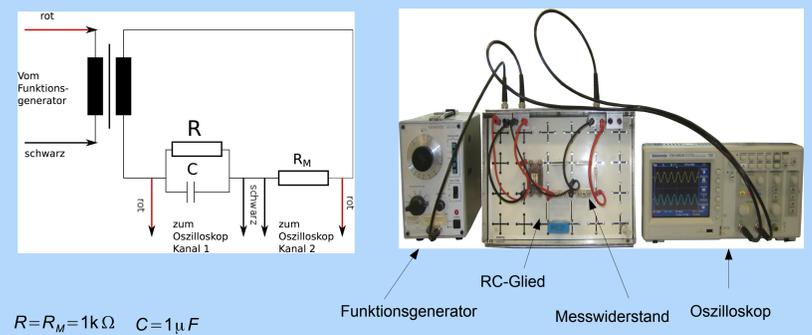
Mess- und Auswertemethodik

- Im jeweiligen Versuchsaufbau wurde bei Variation der Frequenz die Spannung am Apfel U , b.z.w. RC-Glied und am Messwiderstand U_M gemessen. Für die Phasenverschiebung φ misst man die Zeitdifferenz zwischen den beiden Signalen.
- Der Betrag der Impedanz wird mit der Formel $|Z| = \frac{U}{U_M} * R_M$ berechnet.

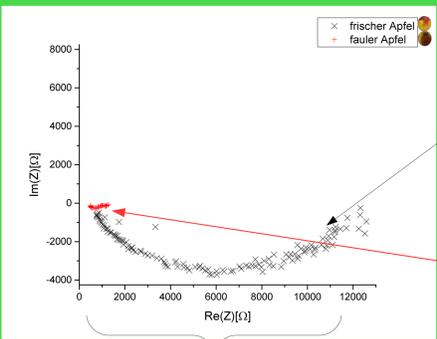
Versuchsaufbau frischer/fauler Apfel



Versuchsaufbau experimentelles Modell

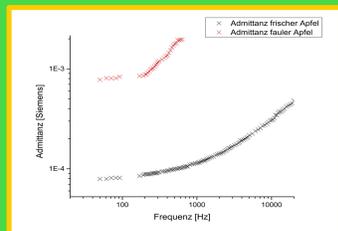


Ergebnisse



- Imaginärteil negativ, kapazitive Eigenschaften
- Form ist mit dem experimentellen Modell vergleichbar!
- Apfel kann mit RC-Gliedern modelliert werden.
- Imaginärteil konstant bei Null, → keine kapazitiven Eigenschaften, also große Zellerstörung!

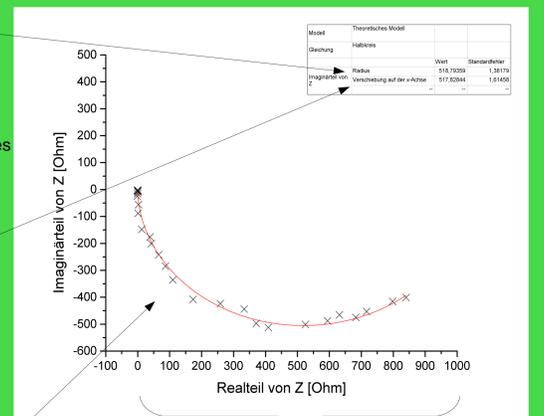
Durchmesser ca. 11k Ω
Vergleich mit Multimetermessung $R_A = 11,3k \Omega$ liefert nahezu Übereinstimmung.



Gemessenes Admittanz-Spektrum
Vergleich mit Abb. oben links liefert grob Übereinstimmung.

Ergebnisse

- ⇒ Radius $\frac{R_{exp}}{2} \approx 519 \Omega$
- Aus Gl. (1) folgt:
 $R_{exp} = (104 \pm 1) * 10 \Omega = R$
- D.h. der Durchmesser des Kreises entspricht dem Widerstand der Probe im Modell
- ⇒ Verschiebung auf der x-Achse $\approx 518 \Omega$
- Aus Gl. (1) folgt:
 $\frac{R}{2} = 518 \Omega$



Imaginärteil negativ, → kapazitive Eigenschaften

Durchmesser ca. 1k Ω, Stimmt mit R nahezu überein

Schlussfolgerung:

- Anhand des Nyquist-Diagramms lässt sich herausfinden, ob ein Apfel frisch oder faul ist. Ist er frisch zeigt sich das charakteristische Bild eines Halbkreises.
- Ein frischer Apfel hat die physikalischen Eigenschaften eines RC-Glieds und lässt sich somit gut modellieren.
- Ausblick: Andere Auswertemethoden, wie z.B. den Vergleich der Phasenverschiebung liefern ebenso Erkenntnis über den Zustand der Äpfel.

Literatur:

- [1] Huber Sabine et. al.: *Inhalte für das Physikpraktikum der Biologen*. LMU München, für die DPG Frühjahrstagung, Jena 2013
- [2] U. Grupa, W. Wilke et. al.: *Impedanzspektroskopie für die In-Line-Prozessanalytik in der Qualitätsüberwachung von Lebensmitteln*. In: Technologie Transfer Netzwerk Hessen,ACHEMA 2012, Frankfurt (2012), S. 27F
- [3] A.H. Gitter et. al.: *Die Barrierefunktion des Kolonepithels unter physiologischen und pathophysiologischen Bedingungen*. Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin, 2000