

MIKLÓS KELLERMAYER

PRAKTIKUM DER MEDIZINISCHEN BIOPHYSIK

Dritte, neu bearbeitete Auflage



Haupterausgeber
Miklós Kellermayer

Bearbeitet von
István Derka

Zusammengestellt von
den Mitarbeitern des Instituts für Biophysik und Strahlenbiologie (Direktor Miklós Kellermayer)

Autoren dieser Auflage:
István Derka, András Kaposi, Ferenc Tölgyesi, István Voszka

An der Neuverfassung einzelner Kapitel nahmen teil:
Gergely Agócs, Barnabás Böcskei-Antal, Pál Gróf, Levente Herényi, Zsolt Mártonfalvi, Kristóf Molnár, Irén Nagy-Bárdos, Gusztáv Schay, Dániel Veres

Abbildungen:
István Derka

Übersetzung aus dem Ungarischen
Titel der Originalausgabe:
Kellermayer Miklós, Orvosi Biofizikai Gyakorlatok, Semmelweis kiadó, 2017
ötödik, átdolgozott kiadás

Lektor der ungarischen Ausgabe:
László Grama

Übersetzung:
Dagmar Merkel

Lektor der dritten deutschen Ausgabe:
Ádám Orosz

© *Dr. István Derka, Dr. Miklós Kellermayer, 2020*

© *Dr. Gergely Agócs, Dr. Barnabás Böcskei-Antal, Dr. István Derka, Dr. Pál Gróf, Dr. Levente Herényi, Dr. András Kaposi, Dr. Zsolt Mártonfalvi, Dr. Kristóf Molnár, Dr. Irén Nagy-Bárdos, Dr. Gusztáv Schay, Dr. Ferenc Tölgyesi, Dr. Dániel Veres, Dr. István Voszka, 2020*

© *Semmelweis Verlag, 2020*

ISBN978-963-331-522-4

Dieses Werk und seine Datenträger (sei das eBook, CD oder eine andere digitale Form) sind urheberrechtlich geschützt. Jegliche Art der Vervielfältigung von Teilen oder des Ganzen ist nur bei vorheriger schriftlicher Genehmigung des Haupterausgebers, des Herausgebers, der Autoren und des Verlags rechtmäßig.



Verantwortlicher Redakteur: Direktor Dr. László Táncoş
Umschlaggestaltung: Júlia Mallász
SKD677

Titelblatt: „Mikropyramiden“ (Katalin Kis-Petik, Dániel Veres, Miklós Kellermayer, SE Institut für Biophysik und Strahlenbiologie) Laserraster-Zwei-Photonen-Fluoreszenzmikroskopieaufnahme eines Lösungstropfens mit MnFe₂O₄ Nanoteilchen (mittlerer Durchmesser 50 nm). I. Preis des wissenschaftlichen Photowettbewerbs „Képes Csodák – Csodás Képek“ (bildliche Wunder – wunderbare Bilder) der Semmelweis Universität 2014 (<http://semmelweis.hu/hirek/2014/06/18/nanoreszecske-es-ossejt-tobb-mint-hetvenkutato-indult-a-fotopalyazaton/>). Durch die Verdunstung während der Laserbestrahlung (Wellenlänge 980 nm, Impulsbreite 100 fs) erscheinen in der Probe immer größere, pyramidenförmige Salzkristalle.

INHALTSVERZEICHNIS

TITEL	UNTERTITEL	AUTOREN
1. EINLEITUNG	Inhaltsverzeichnis, Allgemeine Hinweise, Musterprotokoll	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
2. MIKROSKOPIE I.	Optische Grundlagen, Bilderzeugung	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
3. MIKROSKOPIE II.	Spezielle Lichtmikroskope, Auflösungsvermögen, Kontrast	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
4. REFRAKTOMETRIE	Konzentrationsbestimmung mit dem Refraktometer	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
5. LICHEMISSION	Emissionsspektroskopie, Untersuchung der Emissionsspektren von Lichtquellen	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
6. LICHTABSORPTION	Physikalische Grundlagen der Spektrophotometrie, Untersuchung des Absorptionsspektrums von komplexen Lösungen	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka, I. Nagy-Bardos
7. POLARIMETRIE	Untersuchung der optischen Aktivität	I. Derka, G. Agócs
8. DIE OPTIK DES AUGES	Die Optik des Auges	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
9. NUKLEARE GRUNDMESSUNG	Grundlagen der nuklearmedizinischen Messtechnik	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
10. GAMMA-ABSORPTION	γ -Strahlungsabsorption, Strahlenschutz	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
11. GAMMA-ENERGIE	γ -Energiebestimmung als Grundlage der Doppelisotopmarkierung	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
12. ISOTOPENDIAGNOSTIK	Bestimmte physikalische Probleme der Isotopendiagnostik	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
13. RÖNTGEN	Herstellung und Absorption der Röntgenstrahlung	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
14. RÖNTGEN-CT	Grundlagen der Röntgendiagnostik Das Prinzip der computerisierten Röntgentomographie (CT)	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
15. DOSIMETRIE	Messtechnische Grundlagen der Dosimetrie und des Strahlenschutzes	F. Tölgyesi, I. Derka, A. Kaposi, I. Voszka
16. UV-DOSIMETRIE	Messung der biologisch wirksamen Dosis von Ultraviolettstrahlung	I. Derka, P. Gróf, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
17. MESSTECHNIK	Anwendung analoger und digitaler Messgeräte	I. Derka, G. Agócs
18. VERSTÄRKER	Untersuchung der Charakteristiken eines elektrischen Verstärkers	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
19. SINUSOSZILLATOR	Herstellung von Hochfrequenz-Schwingungen, medizinische Anwendungen	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
20. ULTRASCHALL	Diagnostische und therapeutische Anwendungen des Ultraschalls	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
21. RESONANZ	Elastizität, Schwingungen, Resonanz, Grundlagen der Rasterkraftmikroskopie	I. Derka, G. Agócs
22. IMPULSGENERATOR	Herstellung von Rechteckimpulsen, Impulszählung	B. Böcskei, I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
23. COULTER-ZÄHLER	Elektronische Zählung der Blutzellen	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
24. HAUTIMPEDANZ	Bestimmung der Hautimpedanz	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
25. AUDIOMETRIE	Physikalische Grundlagen der Audiometrie, Aufnahme der individuellen Hörschwellenkurve	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
26. SENSOR	Modellierung der Sensorfunktion (Lichtwahrnehmung), Kontrolle des Stevens-Gesetzes mit Lautstärkemessungen	K. Molnár, D. Veres, I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
27. EKG	Physikalische Grundlagen der Elektrokardiographie	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
28. STRÖMUNG	Flüssigkeitsströmung in starrwandigen Röhren und im Blutgefäßsystem	Zs. Mártonfalvi, I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
29. DIFFUSION	Transportprozesse; Bestimmung des Diffusionskoeffizienten	G. Schay, L. Herényi, I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka
30. ANHANG	Griechisches Alphabet, Einheiten und Vorsätze, Physikalische Konstanten und Daten, Sicherheitsvorschriften in Laboratorien, mm-Papier	I. Derka, A. Kaposi, F. Tölgyesi, I. Voszka

ALLGEMEINE HINWEISE

Das Praktikumsbuch "Praktikum der Medizinischen Biophysik" wurde für Medizin-, Zahnmedizin- und Pharmaziestudenten der ersten zwei Semester zusammengestellt. Die mit den Themen der Vorlesungen eng verbundenen Praktika bedeuten überwiegend von den Studenten individuell (bzw. in Paaren) auszuführende Messungen. Das Praktikumsbuch enthält die kurze Beschreibung dieser Messungen, gleichzeitig ist aber auch der theoretische Hintergrund zu jeder Messung zusammengefasst. Im Interesse der erfolgreichen Ausführung der Praktikumsarbeit ist es jedoch darüber hinaus unbedingt notwendig, die zu Beginn der Messbeschreibungen angegebenen Abschnitte des Lehrbuches Damjanovich–Fidy–Szöllösi durchzulesen.

Einige nützliche Ratschläge:

Die Messbeschreibungen dürfen keinesfalls mechanisch ausgeführt werden. Das würde nämlich dazu führen, dass die Instrumente abgelesen und daraus die gewünschten Größen berechnet würden, dann wundert man sich bald über falsche Ergebnisse und beschuldigt die Instrumente. Selbstverständlich können auch die Instrumente fehlerhaft sein, viel zu oft ist aber das falsche Ergebnis auf ein Fehlen der angemessenen Sorgfalt und Umsicht bei den Messungen zurückzuführen.

Die Messungen sollen in jedem Falle dokumentiert werden! Das angefertigte Dokument ist das sog. Messprotokoll, das jede, mit der Messung zusammenhängende wichtige Information enthalten soll:

1. Titel der Messung
2. Name des Protokollanten
3. Messaufgabe
4. Skizze der Messanordnung, benutzte Methoden, Modelle, Messinstrumente und ihre Einstellungen
5. Daten, weitere Umstände (z.B. verwendete Materialien und ihre Kennwerte, Temperatur usw.)
6. Messergebnisse (meist in Tabellenform)
7. Auswertung, Berechnungen, grafische Darstellung
8. Schlussfolgerungen

Als Hilfe bei der Anfertigung der Tabellen für das Protokoll sind in den einzelnen Praktika „**Mustertabellen für das**

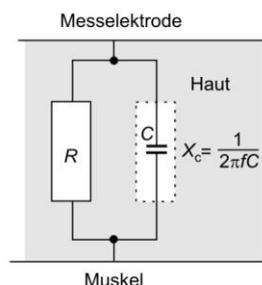
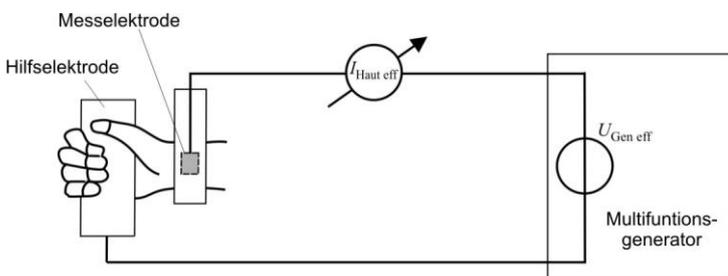
Protokoll“ zu finden. Die Einzelheiten zeigen wir anhand eines Musterprotokolls.

Es ist eine häufige Frage, "Wie viele Dezimalstellen sind bei den Ergebnissen anzuführen?" Eine für alle Fälle gültige Antwort kann auf diese Frage selbstverständlich nicht gegeben werden, vielleicht aber einige Hinweise. Ganz allgemein soll man sich vor Augen halten, dass das Ergebnis niemals genauer sein kann, als der ungenaueste Ausgangswert. Es lohnt sich im Ergebnis so viele signifikante Stellen (nicht Dezimalstellen!) anzugeben, wie viele signifikante Stellen in dem ungenauesten Ausgangswert vorhanden waren. Wenn z.B. der Durchmesser eines Erythrozyten an der Okularskala mit der Genauigkeit von einer signifikanten Stelle gemessen wird (z.B. neun Okulareinheiten), kennt man umsonst den Eichwert der Skala mit einer Genauigkeit von 3 signifikanten Stellen (z.B. 1 Okulareinheit = 2,25 μm), die Angabe $9 \cdot 2,25 = 20,25 \mu\text{m}$ ist sinnlos, es ist zweckmäßig das Ergebnis in der Form 20 μm anzugeben. Dies ist selbstverständlich nur eine Faustregel, die bei komplizierteren Berechnungen nicht immer stimmen muss.

Die Bestätigung bzw. Qualifizierung der Durchführung des Praktikums erfolgt aufgrund des Messprotokolls, das daher mit besonderer Sorgfalt zu erstellen ist. Es darf nicht vergessen werden, dass die Dokumentation einen wichtigen Bestandteil der späteren medizinischen Arbeit darstellt! Die Ausfüllung der Krankenblätter, der Fiebertafeln, der Antragsblätter zur Untersuchung und zum Konsilium, die Fertigstellung der Befunde, der Rezepte und der Arztbriefe sind stets notwendige Begleitaufgaben der ärztlichen Arbeit. Durch deren sorgfältige, auch für andere lesbare und die erforderlichen Informationen enthaltende Erstellung können wir uns selbst und anderen, im Gesundheitswesen arbeitenden Mitarbeitern viel Ärger und Unannehmlichkeiten ersparen. Auch den Kranken sollen die erneut durchzuführenden überflüssigen Untersuchungen erspart bleiben. Ausschließlich die korrekten, transparent dargestellten Informationen bieten die Möglichkeit zur nachträglichen Zurückverfolgung, Kontrolle und zum Vergleich der einzelnen Fälle. Die Messprotokolle sollen als Modell der Krankendokumentation betrachtet werden und gleich am Anfang sollte man sich daran gewöhnen, dass Protokolle erstellt werden, in denen sich auch andere zurechtfinden: die Messprotokolle sollen übersichtlich, verständlich, geordnet sein!

MUSTERPROTOKOLL:

1. **TITEL:** HAUTIMPEDANZ
2. **ANGEFERTIGT VON:** Eifriger Student, 27. Oktober 2020
3. **MESSAUFGABE:** Bestimmung des spezifischen Widerstandes und der spezifischen Kapazität der Haut
4. **MESSANORDNUNG:** Messanordnung und das elektrische Modell der Haut:



Verwendete Geräte:

1. Multifunktionsgenerator (als Spannungsgenerator für Gleich- bzw. Wechselspannung)
2. Digitales Multimeter (zur Messung von $I_{\text{Haut eff}}$)

Ablauf der Messung: In der dargestellten Messanordnung werden nach Einstellen des Gleichstroms bzw. der Frequenz (16 Hz - 8 kHz) die effektive Spannung des Generators ($U_{\text{Gen eff}}$) eingestellt und berechnet und die effektive Stärke des durch die Haut durchfließenden Stromes ($I_{\text{Haut eff}}$) gemessen. Da der durchfließende Strom durch die Impedanz der Haut unter der Messelektrode bestimmt ist, kann diese Impedanz an Hand der Formel $Z = U_{\text{Gen eff}}/I_{\text{Haut eff}}$ berechnet werden.

5. **DATEN:** Die Seitenlängen der rechteckigen Messelektrode betragen $a = 22 \text{ mm}$ und $b = 38 \text{ mm}$, ihre Fläche ist $A = a \cdot b = 8,36 \text{ cm}^2 = 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

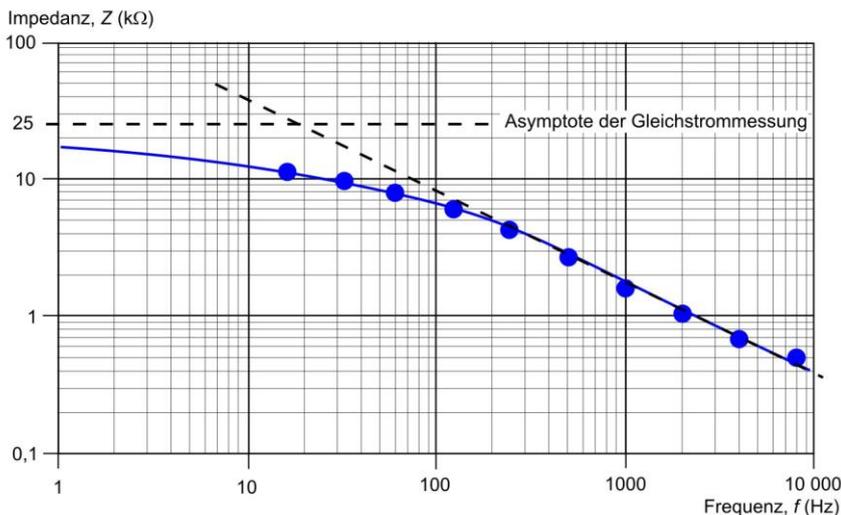
Die Messung wurde an der eigenen Haut durchgeführt.

6. **MESSERGEBNISSE:**

	f [Hz]	$U_{\text{Gen eff}}$ [V]	$I_{\text{Haut eff}}$ [mA]	Z [k Ω]
Gleichstrom	0	0,5	0,02	25,00
Wechselstrom	16	0,35	0,03	11,67
	32	0,35	0,037	9,46
	64	0,35	0,044	7,95
	125	0,35	0,058	6,03
	250	0,35	0,084	4,17
	500	0,35	0,133	2,63
	1000	0,35	0,215	1,63
	2000	0,35	0,34	1,03
	4000	0,35	0,5	0,70
8000	0,35	0,655	0,53	

7. **AUSWERTUNG:**

Die Impedanz als Funktion der Frequenz (doppeltlogarithmische Darstellung):



Aufgrund der Messung mit Gleichstrom ist: $R = 25 \text{ k}\Omega$.

Der spezifische Widerstand der Haut ist: $\rho^* = R \cdot A = 25000 \Omega \cdot 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 20,9 \Omega \text{ m}^2 = 209 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$.

An einem beliebigen Punkt der abnehmenden Geraden, z.B. bei $f = 2000 \text{ Hz}$, ist $Z = 1,03 \text{ k}\Omega = 1030 \Omega$.

Hier kann die Wirkung von R schon vernachlässigt werden, deshalb ist $Z \approx X_C$,

woraus die Kapazität der Messelektrode unter der Haut:

$$C = 1/(2\pi f Z) = 1/(2 \cdot 3,14 \cdot 2000 \text{ Hz} \cdot 1030 \Omega) = 7,73 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

und die spezifische Kapazität der Haut:

$$\gamma^* = C/A = 7,73 \cdot 10^{-8} \text{ F} / 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ F/m}^2 = 9,25 \text{ nF/cm}^2 \text{ sind.}$$

8. **SCHLUSSFOLGERUNGEN:**

An der Haut meines Handrückens betragen:

der spezifische Widerstand: $\rho^* = 209 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$

die spezifische Kapazität: $\gamma^* = 9,25 \text{ nF/cm}^2$.