

# Bestimmung des Herzkammerflimmer- Risikos bei Stromunfällen mit Frequenzen bis 1 MHz

Dipl.-Ing. Pia Schneeweiß  
13.06.2018 Kassel

# Inhalt

- Motivation
- Ziele
- Methodik
  - Norm-Reihe 60479
  - Sim4Life
- Ergebnisse
- Diskussion
- Ausblick
- Zusammenfassung

# Motivation

## → Was sind Stromunfälle?

durch den Körper fließende Ströme, die durch Potentialdifferenzen aufgrund von Induktion oder Berühren leitfähiger Gegenstände hervorgerufen werden können

## → Wovon hängt die Wirkung dieser Ströme ab?

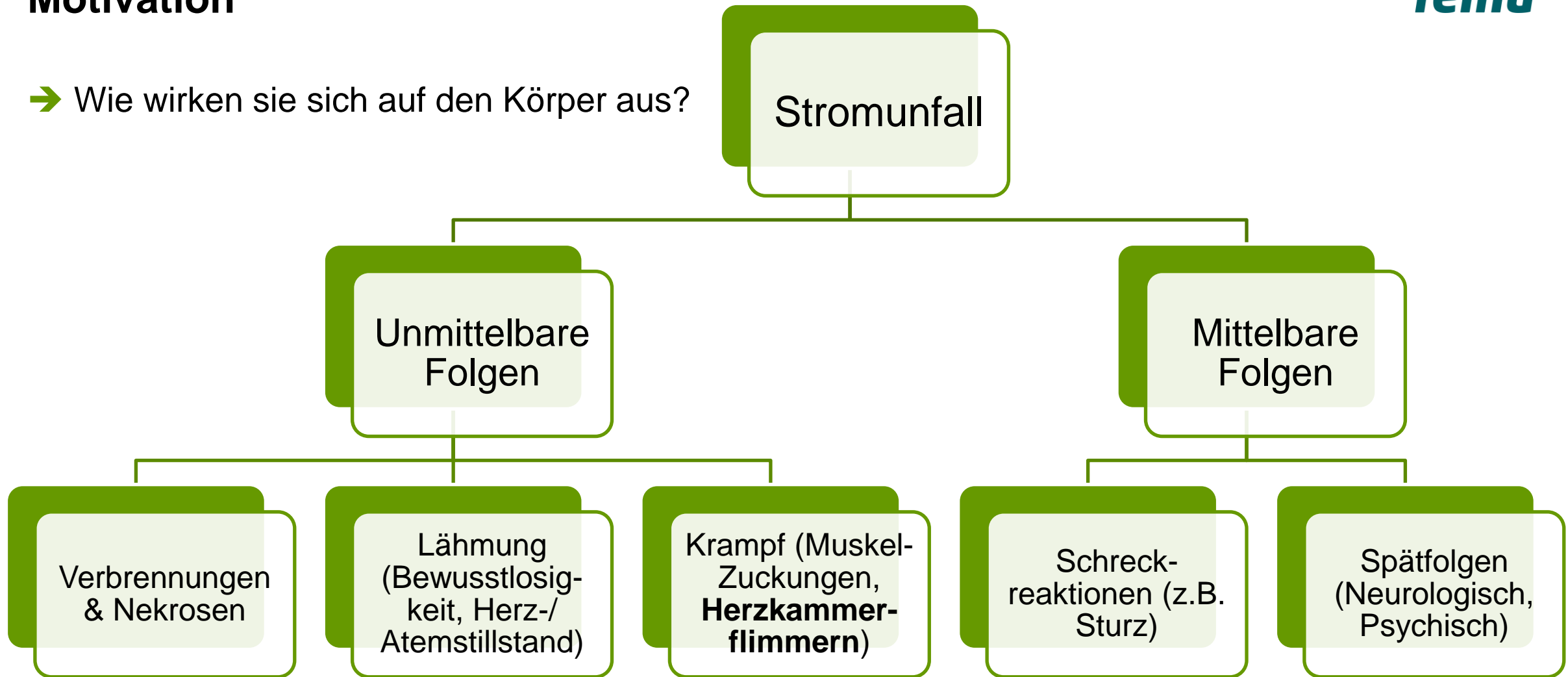
- Stromweg durch den Körper
- Gesamtwiderstand des Körpers
- Amplitude und Frequenz
- Dauer des Stromflusses
- Grad der Hautfeuchte
- Größe der Berührungsfläche
- Umgebungstemperatur



Quelle: Elektro-/Stromunfälle URL: <https://www.arbeitsschutz-center.de/>, abgerufen am 15.5.2018.

# Motivation

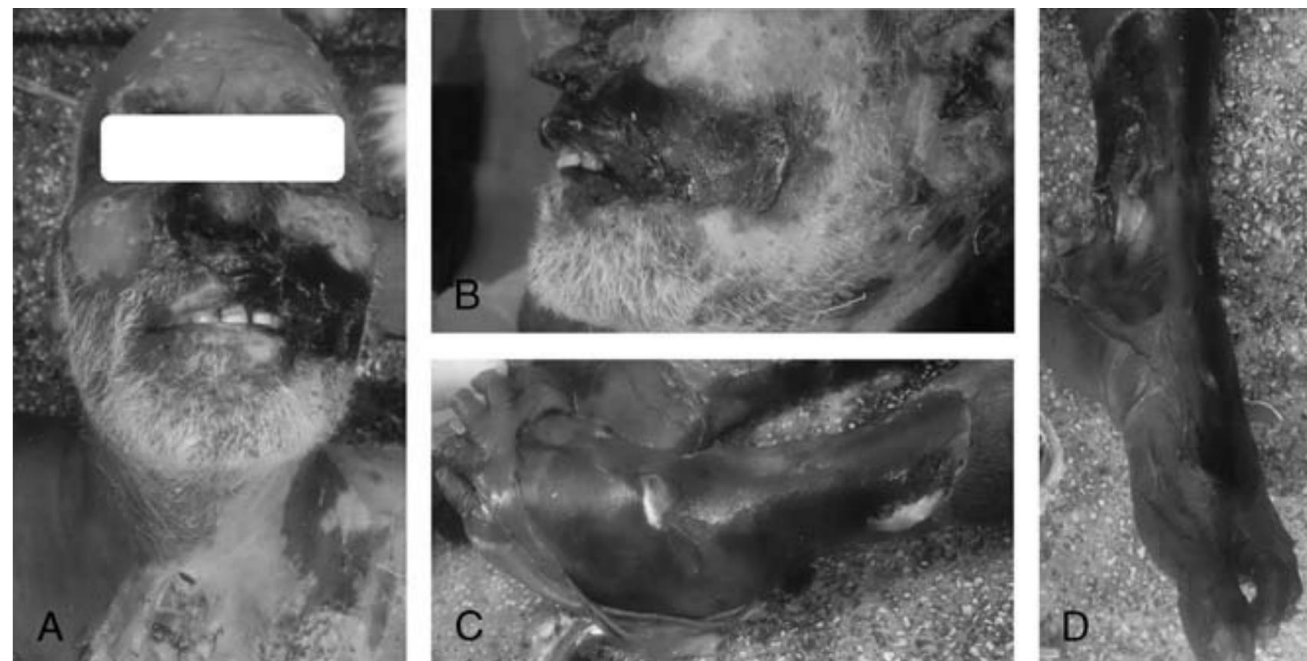
→ Wie wirken sie sich auf den Körper aus?



# Motivation



Quelle: Waldmann, V., et al. (2017). "Electrical injury." BMJ 357: j1418.



Quelle: Parakkattil, J., et al. (2017). "Atypical Exit Wound in High-Voltage Electrocution." Am J Forensic Med Pathol 38(4): 336-338.

## **Ziele** – Bestimmung des Herzkammerflimmer-Risikos bei diversen Berührungsspannungen zur Vermeidung tödlicher Stromunfälle

### Schritt 1

- Entwicklung Körpermodell
- Ermittlung Herzstromfaktor

### Schritt 2

- Bestimmung Herzkammerflimmerrisiko
- Validierung mittels T-NEURO Solver

## Ziele – Bestimmung des Herzkammerflimmer-Risikos bei diversen Berührungsspannungen zur Vermeidung tödlicher Stromunfälle

### Schritt 1

- Entwicklung Körpermodell
- Ermittlung Herzstromfaktor

### Schritt 2

- Bestimmung Herzkammerflimmerrisiko
- Validierung mittels T-NEURO Solver

- Herzstromfaktor F:

$$F = \frac{I_{\text{(linke Hand – beide Füße)}}}{I_{\text{(betrachteter Stromweg)}}}$$

$F < 1$ : geringeres Risiko für Herzkammerflimmern bei betrachtetem Stromweg

$F > 1$ : höheres Risiko für Herzkammerflimmern bei betrachtetem Stromweg

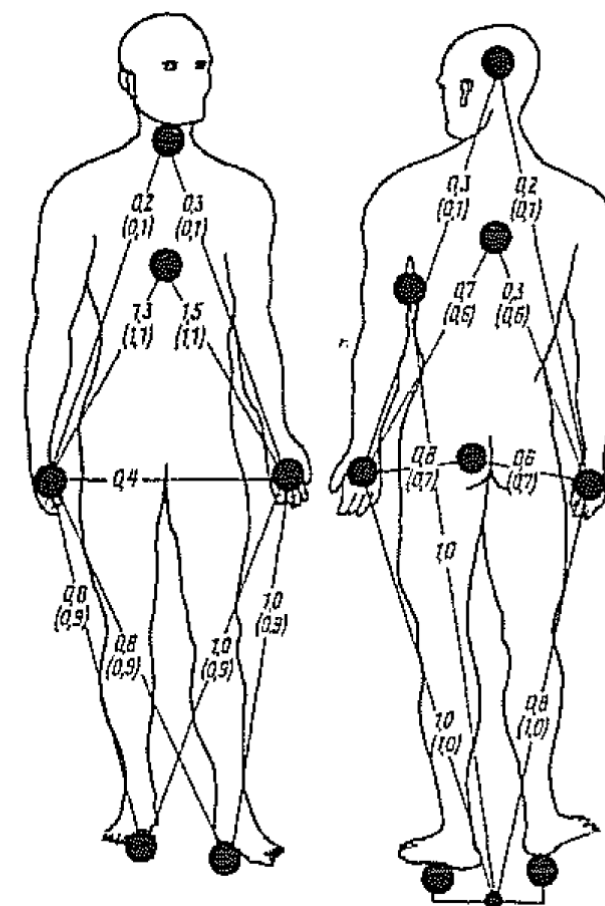




# Methodik – Norm-Reihe 60479

Studie an Leichen von Sam (1966, 1967)

- Stromunfall beim Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln in Kesseln, Behältern und Rohrleitungen
- Ermittlung der elektrischen Teilwiderstände besonders für „verkürzte“ Stromwege

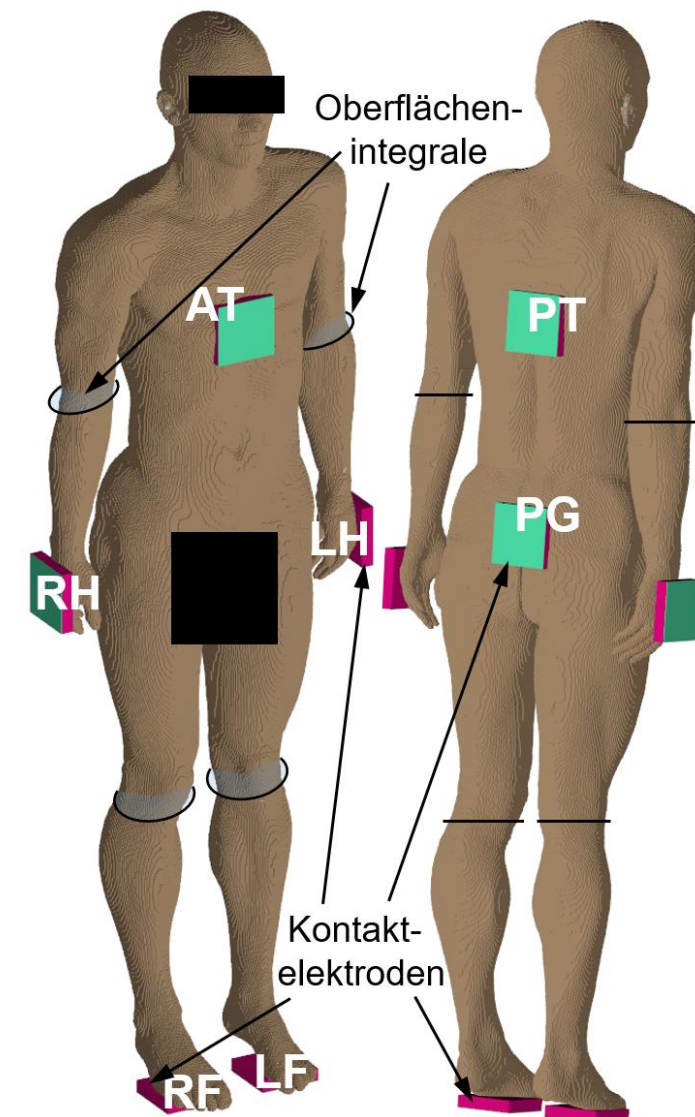


Quelle: Sam, U. (1967). Untersuchungen über die elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen, insbesondere bei Arbeiten in Kesseln, Behältern und Rohrleitungen (2. Teil). Elektromed Biomed Tech 12(1): 29-37.

## Methodik – Sim4Life

- Simulationssoftware basierend auf Finite-Elemente-Methode
- Duke Körpermodell von Virtual Population: 300 unterteilte Gewebe, 1-3 mm Auflösung, Gewebeeigenschaften aus IT'IS Datenbank
- 7 Elektroden à 100 cm<sup>2</sup>
- 16 Stromwege
- Berührungsspannung: 25 ... 1000 V
- Frequenz: DC ... 1 MHz
- 2 Körpermodelle: Intern-Bodymodel, Total-Bodymodel

	DC ≤ f ≤ 1 kHz	1 kHz < f ≤ 1 MHz
25 V ≤ U <sub>t</sub> ≤ 220 V	Total-BM	Intern-BM
U <sub>t</sub> > 220 V	Intern-BM	Intern-BM



# Ergebnisse

- Longitudinale Stromwege:
  - Herzstromfaktor  $\approx 1$
  - Frequenzunabhängig
- Transversale Stromwege:
  - frequenzabhängig

Weg	Norm-Reihe für 50 Hz	Simulationen				
		DC	50 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
LH-BF	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
RH-BF	0,80	1,06	1,02	1,02	1,00	0,95
LH-RH	0,40	0,53	0,63	0,63	0,64	0,69
RF-LF	0,04	0,027	0,026	0,028	0,030	0,037
PT-LH	0,70	0,528	0,573	0,568	0,587	0,624
AT-LH	1,50	1,990	2,027	1,953	2,054	2,201

- Stromwege zu Brust bzw. Rücken hängen stark von der genauen Elektrodenposition ab
- wurde von Sam nicht genau genug definiert

## Diskussion

- Leichen-Studien:



Reale Anatomie

Auflösung der Sonde  
Herzklappen geschlossen  
Physiologische Veränderungen *post mortem*

- In silico*-Studien:



Hochgradig lokale  
Beurteilung  
Validierung der  
Ganzkörperimpedanz

Validierung der einzelnen  
Gewebearten  
Rechen- und Speicherleistung  
Anisotropie

## **Ziele** – Bestimmung des Herzkammerflimmer-Risikos bei diversen Berührungsspannungen zur Vermeidung tödlicher Stromunfälle

### Schritt 1

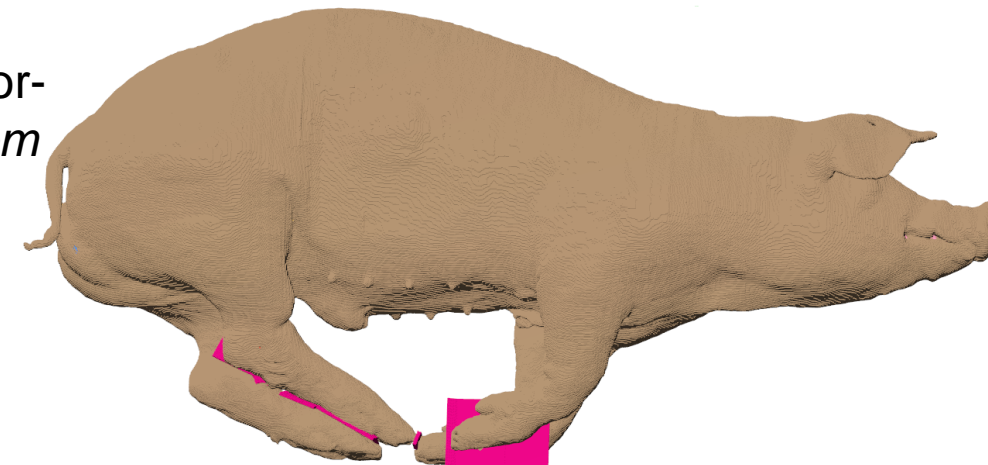
- Entwicklung Körpermodell
- Ermittlung Herzstromfaktor

### Schritt 2

- Bestimmung Herzkammerflimmerrisiko
- Validierung mittels T-NEURO Solver

# Ausblick

- Ableiten des tatsächlichen Herzkammerflimmer-Risikos durch die vorhandenen E-Feld-Verteilungen im Herzmuskel bis zu 1 MHz
  - ➔ Numerische Nachbildung von Tierversuchen mit Schwein-Modell
  - ➔ Vergleich mit *in vivo* gemessenen E-Feldern an Schweinen
  - ➔ Übertragung der Flimmerschwellen auf den Menschen
  - ➔ Validierung mit dem Zellerregungsmodell (T-NEURO Solver)
- Weitere Anwendungen in Zellerregungsmodellen und Vergleich mit veröffentlichten Tierstudien zu Herzkammerflimmern
- Weitere Vergleiche zwischen *ex vivo*- und *in silico*-Herzstromfaktor-Studien bzgl. Herzklappen und Gewebeeigenschaften *post mortem*



## Zusammenfassung

- 2 validierte Körpermodelle (Total-BM und Intern-BM)
- Herzstromfaktoren wurden für 50 Hz neu berechnet und zu einem Spektrum zwischen DC und 100 kHz erweitert
- Geeignet zum Einsatz in der Prävention von Stromunfällen, um...
  - ➔ individuelle Unfallszenarien nachzustellen
  - ➔ häufige Unfallszenarien ad-hoc zu bewerten
  - ➔ kritische Unfallszenarien zu identifizieren



**Dipl.-Ing. Pia Schneeweiß**

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit

Phone: +49 241 80 36418

Fax: +49 241 80 82636

[schneeweiss@femu.rwth-aachen.de](mailto:schneeweiss@femu.rwth-aachen.de)

Diese Arbeit wurde gefördert von der Berufsgenossenschaft Energie, Textil, Elektro und Medienerzeugnisse (BG ETEM).





# Literatur

Biegelmeier, G., et al. (2003). Schutz in elektrischen Anlagen - Band 1: Gefahren durch den elektrischen Strom. Berlin, VDE Verlag GmbH.

Freiberger, H. (1934). Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom, Springer.

IEC (2005). Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects; IEC/TS 60479-1: 2005-07, International Electrotechnical Commission.

Osypka, P. (1963). "Meßtechnische Untersuchungen über Stromstärke, Einwirkungsdauer und Stromweg bei elektrischen Wechselstromunfällen an Mensch und Tier. Bedeutung und Auswertung für Starkstromanlagen. (Teil 1, Teil 2)." Elektromedizin und ihre Grenzgebiete **8**(3): 153-179; **8**(4): 193-214.

Sam, U. (1966, 1967). "Untersuchungen über die elektrische Gefährdung des Menschen bei Teildurchströmungen, insbesondere bei Arbeiten in Kesseln, Behältern und Rohrleitungen (1. Teil, 2. Teil, Schluss)." Elektromed Biomed Tech **11**(4): 193-212; **12**(1): 29-37; **12**(3): 102-114.