

Robert Darkow | Jan Faust | Carsten Kroker

# Leitfaden zur Elektrotherapie in der Logopädie

## Elektrostimulation: Basiswissen und Praxis für die Logopädie



Schulz-  
Kirchner  
Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Besuchen Sie uns im Internet: [www.skvshop.de](http://www.skvshop.de)

1. Auflage 2024

ISBN 978-3-8248-1321-6

eISBN 978-3-8248-9869-5

Alle Rechte vorbehalten

© Schulz-Kirchner Verlag GmbH, 2024

Mollweg 2, D-65510 Idstein

Vertretungsberechtigte Geschäftsführer:

Dr. Ullrich Schulz-Kirchner, Martina Schulz-Kirchner

Umschlagfoto: © Ginger Hamster – Adobe Stock

Lektorat: Doris Zimmermann

Layout: Susanne Koch

Bilder 1, 2, 3, 4, 6, 13, 16, 17, 18, 19: © Carsten Kroker

Bilder 12, 14, 15a, 15b, 20, Autorenbild Jan Faust: © Jan Faust

Bilder 21, 22, Autorenbild Robert Darkow: © Robert Darkow

Autorenbild Carsten Kroker: © Adrienne Kroker

Druck und Bindung: Plump Druck & Medien GmbH

Rolandsecker Weg 33, 53619 Rheinbreitbach

Printed in Germany

Die Informationen in diesem Werk sind von den Verfassern und dem Verlag sorgfältig erwogen und geprüft, dennoch kann eine Garantie nicht übernommen werden. Eine Haftung der Verfasser bzw. des Verlages und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes (§ 53 UrhG) ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar (§ 106 ff UrhG). Das gilt insbesondere für die Verbreitung, Vervielfältigungen, Übersetzungen, Verwendung von Abbildungen und Tabellen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung oder Verarbeitung in elektronischen Systemen. Eine Nutzung über den privaten Gebrauch hinaus ist grundsätzlich kostenpflichtig. Anfrage über: [info@schulz-kirchner.de](mailto:info@schulz-kirchner.de)

# Inhalt

<b>Vorwort</b> . . . . .	9
<b>Physikalische und physiologische Grundlagen der Elektrotherapie</b> . . . . .	11
Wirkung eines elektrischen Reizes . . . . .	25
<b>Kontraindikationen und Vorsichtsmaßnahmen für Elektrostimulation.</b> . . . . .	27
Kontraindikationen für funktionelle Elektrostimulation (nieder- und mittelfrequente Stimulation) . . . . .	28
Sicherheitsprofil und Kontraindikationen der tDCS . . . . .	32
<b>Grundlagen der funktionellen Elektrostimulation (FES)</b> . . . . .	37
Galvanischer Strom . . . . .	37
<b>Funktionelle Elektrostimulation bei Fazialisparesen</b> . . . . .	47
Einleitung. . . . .	47
Anatomie . . . . .	47
Fazialisparese . . . . .	49
Besonderheiten der mimischen Muskulatur und therapeutische Konsequenzen. . . . .	50
Vorüberlegungen zur Therapie . . . . .	51
Studienlage insgesamt. . . . .	53
Praktisches Vorgehen. . . . .	57
<b>Funktionelle Elektrostimulation bei Larynxparesen.</b> . . . . .	63
Einleitung. . . . .	63
Motorische Innervation des Larynx . . . . .	63
Larynxparesen . . . . .	64
Ziele der Elektrostimulation bei Larynxparesen . . . . .	71
Reizstromdiagnostik (neurophysiologische Diagnostik). . . . .	73
Erstellung des Stimulationsprotokolls . . . . .	76
Neuromuskuläre elektrophonatorische Stimulation (NMEPS) . . . . .	78
Studienlage. . . . .	79
Weitere Indikationen und Stimulationsprotokolle . . . . .	81
<b>Funktionelle Elektrostimulation bei Dysarthrie</b> . . . . .	85
Einleitung. . . . .	85
Therapie der Dysarthrie mittels Elektrostimulation . . . . .	86
Symptomatik einzelner Dysarthrieformen . . . . .	87

Diagnostik der Artikulationsstörung . . . . .	89
Therapie der Artikulationsstörung . . . . .	92
Diagnostik und Therapie der Stimmstörung . . . . .	98
Diskussion. . . . .	99
<b>Funktionelle Elektrostimulation bei Dysphagie . . . . .</b>	<b>103</b>
Einleitung . . . . .	104
Vorüberlegungen . . . . .	105
Wahl der Stromparameter . . . . .	107
Einsatz von Einzelimpulsen . . . . .	110
Studienlage . . . . .	112
Kombination mit funktionellen Verfahren . . . . .	115
Alternative Stimulationsformen. . . . .	117
Fazit . . . . .	118
<b>Transkranielle Gleichstromstimulation . . . . .</b>	<b>121</b>
Grundlagen . . . . .	121
Komponenten und Aufbau . . . . .	123
Stimulationsparameter. . . . .	125
Elektrodenplatzierung . . . . .	127
Verblindung. . . . .	129
Hands on . . . . .	130
Stimulation testen . . . . .	132
Forschungsstand . . . . .	132
<b>Transkranielle Gleichstromstimulation bei primärer Aphasie. . . . .</b>	<b>133</b>
Aphasie . . . . .	133
Neuronales Korrelat von Aphasie . . . . .	134
Aktueller Stand der tDCS-Forschung . . . . .	135
tDCS bei akuter und subakuter Aphasie . . . . .	135
tDCS bei chronischer Aphasie . . . . .	139
Fazit . . . . .	147
<b>Transkranielle Gleichstromstimulation bei Dysphagie . . . . .</b>	<b>149</b>
Dysphagie. . . . .	149
Neuronales Korrelat von Dysphagien. . . . .	150
Aktueller Stand der tDCS-Forschung . . . . .	151
Fazit . . . . .	154

<b>Transkranielle Gleichstromstimulation bei Stottern</b> . . . . .	157
Stottern . . . . .	157
Neuronales Korrelat von Stottern im Erwachsenenalter . . . . .	157
Aktueller Stand der tDCS-Forschung . . . . .	160
Fazit . . . . .	164
<b>Glossar</b> . . . . .	165
<b>Abkürzungen</b> . . . . .	168
<b>Literatur</b> . . . . .	169
<b>Die Autoren</b> . . . . .	191

**Genderhinweis**

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wurde die männliche Sprachform verwendet. Dies bedeutet jedoch keine Benachteiligung des weiblichen/dritten Geschlechts, sondern soll im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen sein.

## Vorwort

Vor dem Hintergrund der prognostizierten Zunahme altersassoziierter Erkrankungen wie Aphasie und Dysphagie und den limitierten Ressourcen des Gesundheitssystems ist die Entwicklung effizienter und nachhaltiger Behandlungsmethoden von herausragender Bedeutung. Übungsbasierte Therapie ist dabei ein unverzichtbarer Baustein in der Rehabilitation von Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen. Um Effektivität und Effizienz klassischer Interventionen zu steigern oder zu ergänzen, etablieren sich elektrotherapeutische Ansätze zunehmend. Auch wenn sich die Stimulation peripherer oder zentraler Nerven sowie muskulären Gewebes bislang nicht in der klinischen logopädischen Routine etablieren konnte, wächst die Anzahl an Publikationen mit hoher Evidenzstufe, die in Summe zunehmend Aussagen zu Effektivität und Effizienz ermöglichen.

Elektrotherapeutische Ansätze stellen bis heute üblicherweise keine Standardkomponente logopädisch sprachtherapeutischer Curricula dar. Das vorliegende Werk möchte daher einen Beitrag leisten, um die Wirkweise nachvollziehen zu können sowie die aktuelle Datenlage einschätzen zu können, und versteht sich als theoretische Grundlage in einem Bereich, dessen selbstständige Umsetzung zwingend auch einer praktischen Schulung bedarf. Auch Empfehlungen zur praktischen Anwendung können diese praktische Anleitung nicht ersetzen. Gleichzeitig kann dieses Buch die Wirksamkeit dieser Verfahren nur anhand der vorliegenden Daten einzuschätzen versuchen. Oftmals bedarf es weiterer Forschungsarbeiten, um klar generalisierbare Empfehlungen zu generieren. Nur durch zukünftige Arbeiten können Fragen wie die nach optimalen Stimulationsprotokollen für einzelne Störungsbereiche oder Prädiktion des Ansprechens auf hoher Evidenzstufe beantwortet werden. Empfehlungen und Berichte aus klinischer Erfahrung sollen den Einsatz der Elektrotherapie in der Praxis erleichtern und müssen an vielen Stellen vorerst Evidenznachweise ersetzen.

# Physikalische und physiologische Grundlagen der Elektrotherapie

Das vorliegende Werk richtet sich an erfahrene Therapeuten im Bereich neurologisch bedingter Sprach-, Sprech- und Schluckstörungen. Grundlagen zu den genannten Störungsbildern setzen wir deshalb als bekannt voraus. Die Elektrostimulation, gleich welcher Art, verstehen wir als Werkzeug, also als Unterstützung (Adjuvant) bestehender logopädischer Maßnahmen. Richtig angewandt kann sie ein wertvoller und lohnender Bestandteil der Therapie sein. Wir beschreiben im Wesentlichen die Beeinflussung der Körperfunktion und Aktivität. Es liegt in der Fähigkeit eines erfahrenen Therapeuten, dieses Werkzeug so einzusetzen, dass der Patient nicht nur auf funktioneller, sondern auch auf ganzheitlichen Ebenen davon profitiert, indem er die Elektrostimulation in ein ganzheitliches Konzept einbettet.

Das Werk dient der theoretischen Vor- und Nachbereitung eines entsprechenden Workshops. Eine praktische Ausbildung ist auf jeden Fall vor der Anwendung am Patienten erforderlich.

Bei den hier vorgestellten Möglichkeiten der Elektrotherapie handelt es sich im Aufbau im Prinzip um einfache Stromkreise: An einer einstellbaren Stromquelle sind zwei kabelgebundene Elektroden angebracht. Diese beiden Elektroden werden an definierten Körperstellen der Patienten angebracht, der Stromkreis wird damit geschlossen, der Strom fließt durch das Gewebe zwischen den Elektroden.

Die Gesamtzusammenhänge der Elektrotherapie lassen sich daher nur erläutern, wenn ein grundlegendes physikalisches Wissen/Verständnis vorhanden ist. Da physikalisches Grundwissen nicht Bestandteil der logopädischen Ausbildung ist, erklären wir dies ausführlich und mit Querverweisen auf technische Anwendungen, um die Theorie verständlicher zu machen. Aber auch, um zu zeigen, dass es viele Parallelen gibt und elektrischer Strom eigentlich nichts Künstliches ist, sondern physiologisch im menschlichen Körper vorkommt und mit großem Nutzen für den Patienten eingesetzt werden kann. Aufgrund der Komplexität des Themas sind Darstellungen teilweise vereinfacht sowie Redundanzen in den Ausführungen beabsichtigt.

Zunächst möchten wir die Nomenklatur der therapeutischen Anwendung klären (vgl. McDonough 2008; Schick 2021a):

- **ES** (Elektrostimulation) ist ein Oberbegriff für die u. g. Verfahren, die elektrischen Strom therapeutisch einsetzen (z. B. zur Schmerzbehandlung).
- **tDCS** (engl.: transcranial direct current stimulation): Transkranielle Gleichstromstimulation bezeichnet die direkte Stimulation des Gehirns mit Gleichstrom. Ziel ist es, verschiedene Hirnareale durch von außen applizierten Strom

in ihrer Aktivierung zu beeinflussen. Durch weitere vorgeschaltete Buchstaben kann die Montage der tDCS weiter ausdifferenziert werden. Darauf gehen wir im Grundlagenkapitel zur tDCS (s. Kapitel Transkranielle Gleichstromstimulation) noch näher ein.

- **NMES** (neuromuskuläre Elektrostimulation): Periphere Nerven und Muskeln werden mit dem Ziel der Muskelkontraktion stimuliert (passive Stimulation).
- **FES** (funktionelle Elektrostimulation): Ziel ist es hier, durch Muskelstimulation eine bestimmte funktionelle Bewegung zu verbessern oder zu erzeugen (McDonough 2008; Schick 2021a). D. h., die elektrisch evozierte Muskelkontraktion wird mit Willkürbewegungen synchronisiert. In einigen Studien gerade im Bereich Dysphagie vermischen sich die Begrifflichkeiten FES und NMES und werden weniger scharf voneinander abgegrenzt. Wir werden den Begriff „FES“ verwenden, da er näher an allgemeine Definitionen (McDonough 2008; Schick 2021a) heranreicht, auch wenn die Behandlung in vielen Studien als NMES bezeichnet wird.

Im Bereich der Elektrotherapie sind viele Therapieparameter zu unterschiedlichen Störungsbildern standardisiert. Das betrifft in der Regel die Stromform, Dauer der Stimulation, Art der begleitenden Übung etc. Somit ist es dem Anwender möglich, auf ein evidenzbasiertes Vorgehen zurückzugreifen. Ein solches vorgegebenes Konzept wird als Stimulationsprotokoll bezeichnet.

### Geräte

Für Elektrotherapie – gleich welcher Art – ist eine entsprechende Hardware erforderlich. Dazu gehören ein Stimulationsgerät, Kabel und Elektroden.

Bei der Anschaffung eines solchen Gerätes ist in jedem Fall darauf zu achten, dass es sich um ein Medizinprodukt im Sinne der EU-Medizinprodukteverordnung (medical device regulation, MDR) handelt. Zusätzlich ist zu beachten, dass tDCS und FES (inkl. des benötigten Zusatzmaterials wie Kabel etc.) im anterioren Halsbereich nur mit Geräten appliziert werden dürfen, die speziell für diese Anwendung zugelassen sind. Stimulator und das restliche Equipment müssen zudem als Einheit zugelassen sein. Alle Gegenstände, die mit den Patienten in Berührung kommen, müssen genauestens nach einem entsprechenden Protokoll verwendet werden. Sie müssen vor der Applikation auf ihre materielle Unversehrtheit und einwandfreie technische Funktion geprüft werden und außerdem suffizient desinfiziert sein. Um Hautschäden zu vermeiden, ist jedoch unmittelbar vor Anbringung zu gewährleisten, dass jegliches Desinfektionsmittel wieder entfernt/ausgewaschen wurde.

Alle Anwender müssen in die Bedienung des Stimulationsgerätes eingewiesen sein. Der Patient darf das Gerät nicht berühren, außer die Eigenanwendung ist durch den Hersteller durch entsprechende Sicherheitseinstellungen freigegeben. Eine Ein-

weisung kann dann durch den behandelnden Logopäden bzw. Arzt erfolgen, sofern diese in der Handhabung geschult wurden.

### Elektrischer Strom

Als elektrischen Strom bezeichnet man die Bewegung freier Elektronen. Elektronen sind negativ geladene Atomteilchen. Strom wird durch Stromquellen abgegeben. Diese besitzen immer zwei Pole mit unterschiedlicher Ladung: einen Pluspol mit einem Mangel an Elektronen und einen Minuspol mit einem Überschuss an Elektronen. Sobald eine Verbindung zwischen den Polen entsteht, fließt elektrischer Strom. Durch die negative Ladung fließen nun die Elektronen vom Minuspol (Kathode) zum Pluspol (Anode). Ein solcher Strom wird als Gleichstrom bzw. galvanischer Strom bezeichnet. Das Gegenteil wäre Wechselstrom (auch biphasischer Strom genannt); hier wechselt die Stromflussrichtung (Polarität) mehrmals pro Sekunde, einen Plus- oder Minuspol gibt es daher nicht.

### Spannung, Stromstärke und Widerstand

Die elektrische Spannung (U) wird in Volt (V) gemessen, benannt nach dem italienischen Physiker Alessandro Volta. Die Spannung ist eine physikalische Größe, die die Potentialdifferenz zwischen den Polen beschreibt. Spricht man von Potentialen, so geht man von einem willkürlichen Punkt im Stromkreislauf aus, den man als Masse bezeichnet. Die Masse hat immer das Potential 0 V. Alle anderen Punkte im Stromkreislauf haben eine Differenz zur Masse. Diese Spannungsdifferenz zur Masse ist das Potential. Die Sinnhaftigkeit lässt sich an einem analogen Alltagsproblem erläutern: Möchte man feststellen, wie schnell ein Auto fährt, muss man einen Punkt festlegen, der sich nicht bewegt. In der Regel wird das die Straße sein. Die Straße bewegt sich mit 0 km/h, sie ist also unsere Masse. Das Auto fährt mit 120 km/h in Bezug auf die Straße. Betrachtet man diesen Vorgang vom Weltall aus, kann es sein, dass das Auto gegen die Erdrotation fährt und sich somit sogar rückwärts bewegt, wenn man einen stillstehenden Punkt im Weltall als Masse betrachtet. Von diesem Punkt aus könnte die Straße sich dann mit 1000 km/h bewegen und das Auto mit 1120 km/h. Die Differenz (Potentialdifferenz) von 120 km/h zwischen Auto und Straße bleibt aber auch von diesem Punkt aus gleich, wie auch von jedem anderen willkürlich gewählten Punkt.

Der Begriff „Potential“ wird häufig genutzt, wenn man elektrische Vorgänge in Zellen beschreibt. Meist wird dann der extrazelluläre Raum als Masse verstanden. Genau wie Geschwindigkeit ist Spannung auch eine Größe, die immer zwischen zwei Punkten gemessen werden muss. Je höher die Spannung, desto höher ist der Druck einer Energiequelle auf die einzelnen geladenen Elektronen, durch den Stromkreis zu fließen. Spannung wird daher in U, vom lateinischen „urgere“ (drängen, drücken) angegeben.

### Beispiele für Spannungen

Mignon Batterie: 1,5 V	Blockbatterie: 9 V	Autobatterie: 12 V	Steckdose (Deutschland): 230 V
---------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------------------

Das Anliegen einer Spannung zwischen zwei Punkten (z. B. den Polen einer Batterie oder den zwei Kontakten einer Steckdose) allein ist nicht ausreichend für einen Stromfluss. Dieser entsteht erst, wenn die Kontakte miteinander verbunden werden. Wie viel Strom fließt, oder umgangssprachlich, wie viel Strom „verbraucht“ wird, hängt vom elektrischen Verbraucher ab, der an die Stromquelle angeschlossen wird.

Die Stromstärke wird in Ampere (A) gemessen. In Formeln wird die Stromstärke mit dem Zeichen I aufgeführt. Um die Dimension der Stromstärke handlicher zu gestalten, werden in der Elektrotherapie die Stromstärken in Milliampere (= tausendstel Ampere = mA) angegeben.

### Beispiele für Stromstärken

Transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS)	1–2 mA
Funktionelle Elektrostimulation (FES) in der Logopädie	ca. 0,5–15 mA (bei biphasischen v. a. Mittelfrequenzen bis 40 mA)
LED Glühlampe	ca. 30 mA (je nach Leistung)
Herkömmliche Glühlampe	ca. 400 mA (je nach Leistung)
Staubsauger	6000 mA = 6 A

Der Unterschied zwischen Stromstärke (I in A) und Spannung (U in V) wird häufig mit dem Bild von fließendem Wasser in Rohren erklärt. Die Spannung stellt den Wasserdruck dar, während die Menge des Wassers die Stromstärke repräsentiert, die durch das Rohr fließt. Diese Menge, die strömen kann, ist abhängig von Rohrdurchmesser und Wasserdruck. Ein hoher Wasserdruck drängt eine größere Menge Wasser durch das Rohr als ein niedriger Wasserdruck. Durch ein Rohr mit großem Querschnitt wird mehr Wasser fließen als durch ein enges Rohr. Dieses Beispiel illustriert, dass neben dem Wasserdruck (Spannung U in V) und der Wassermenge (Stromstärke in A) auch die Beschaffenheit des Rohres einen Einfluss auf den Wasserfluss hat: Das Rohr setzt dem potenziell möglichen Wasserfluss einen Widerstand entgegen und wirkt limitierend. Überträgt man dieses Bild auf die Elektrizitätslehre, bestimmt die Materialeigenschaft den elektrischen Widerstand. Ähnlich wie der Rohrdurchmesser stellt somit in der Elektrizitätslehre der Widerstand eine unveränderliche Materialeigenschaft dar, die dem jeweiligen Material gegeben ist. Diese Eigenschaften sind im Alltag gut bekannt: Metalle leiten Strom, haben also einen geringen und gut überwind-

baren Widerstand. Andere Materialien, wie z. B. Porzellan, setzen dem Strom einen so hohen Widerstand entgegen, dass sie als Nicht-Leiter oder Isolatoren gelten. Diese Eigenschaft des jeweiligen Materials gilt als nicht veränderlich. Dieser elektrische Widerstand wird in Ohm (nach dem deutschen Physiker Georg Ohm, Zeichen:  $\Omega$ ) gemessen. In Formeln wird der Widerstand mit dem Formelzeichen R angegeben. Entsprechend dem obigen Beispiel: je höher der Widerstand, je geringer der Stromfluss; je höher die Spannung (Wasserdruck), je höher der Stromfluss. Der Widerstand ist der Faktor, um den der Stromfluss „gebremst“ wird. Die Formel lautet  $I = U:R$ . Der Stromfluss entspricht somit dem Quotient aus Spannung und Widerstand.

Der Widerstand erfüllt in Stromkreisen eine maßgebliche Rolle, hier wird die elektrische Energie in eine andere Energieform umgewandelt. Diese Umwandlung ist üblicherweise der Zweck, für den der Stromkreis angelegt worden ist: Eine Glühlampe mit Glühfaden bspw. wandelt elektrische Energie im Wesentlichen in Licht und Wärme um. Eine herkömmliche 100 W Glühlampe hat etwa einen Widerstand von  $530 \Omega$ . Sie fordert am deutschen Lichtnetz einen Stromfluss von  $230 \text{ V}/530 \Omega = 0,433 \text{ A} = 433 \text{ mA}$ .

Bei der therapeutischen Anwendung am Menschen spielt die Umwandlung in chemische Energie (also gezielte Bewegung von Ionen) eine wichtige, weil erwünschte Rolle. Alle anderen Arten der Umwandlung in Form von beeinflussbaren Widerständen sind daher zu reduzieren, um unerwünschte Effekte zu vermeiden, z. B. starkes Stromgefühl auf der Haut. Dieses wird patienten-, aber auch stromformspezifisch empfunden als Kribbeln, Brennen, Jucken oder Kitzeln.

Üblicherweise sind in der ES Muskeln oder Nerven Ziel der Stimulation. Sie sind fast immer umgeben von Flüssigkeiten (Blut, Lymphe) und bieten daher keinen hohen elektrischen Widerstand. Bevor der Strom dieses Gewebe erreicht, muss er jedoch einige Stellen mit erhöhtem Widerstand passieren. Der Übergang von der Elektrode auf das menschliche Gewebe ist der erste neuralgische Punkt: Hautfette, Rückstände von Shampoo und Lotionen oder Stylingprodukte zum Festigen der Frisur können den Widerstand unmittelbar erhöhen. Im Zuge der hygienischen Maßnahmen ist außerdem darauf zu achten, dass derartige Rückstände restlos nach jeder Sitzung von den Elektroden entfernt oder die Elektroden ausgetauscht werden.

Unerwünschten Nebenwirkungen durch unerwünschte Widerstände kann durch folgende Maßnahmen vorgebeugt werden:

Die Schwammelektroden können mit einer Kochsalzlösung, die im Gegensatz zu Wasser eine erhöhte Leitfähigkeit besitzt, angefeuchtet und an die Haut gedrückt werden, um dadurch den Widerstand im Übergang von Elektrode zu Haut deutlich zu senken. Bei tDCS ist die Verwendung von Kochsalzlösung obligat, bei FES kann

auch auf Wasser zurückgegriffen werden, wobei Kochsalzlösung aus oben genannten Gründen empfehlenswert ist.

Die Haut selbst kann im Rahmen der FES mit bestimmten Stromformen vorbereitet werden: Hierbei wird die Haut vor der eigentlichen Übungsbehandlung mehrere Minuten lang durch Ströme mit hohem galvanischen Anteil stimuliert. Die dadurch entstehende stärkere Durchblutung (lokale Hyperämie) senkt den Hautwiderstand, da feuchte Körperstrukturen immer geringere Widerstände haben als trockene. Dies ist auch der Grund, warum bei der pharyngealen Elektrostimulation (vgl. Beirer 2020) mit deutlich höheren Stromstärken gearbeitet werden kann als bei transkutanen Stimulationen im anterioren Halsbereich. Wird im tiefen Rachen stimuliert, befindet sich die Elektrode auf Schleimhaut, die immer feucht und gut durchblutet ist, und daher einen sehr geringen Widerstand aufweist. Ein Leistungsabfall, der mit der Überwindung von Widerständen einhergeht, kann schlimmstenfalls in Gewebeschäden resultieren. Aufgrund der beschriebenen Eigenschaften der Schleimhaut ergeben sich hier kaum Schäden. Besonders schwierig wird es, wenn kein direkter Kontakt der Elektroden mit der Haut hergestellt werden kann, z. B. wenn an Körperstellen mit Haarwuchs stimuliert wird, beispielsweise auf dem Schädel. Hier wird mit Kochsalzlösung unter den Elektroden eine leitfähige Umgebung geschaffen, durch die der Strom in der salinen Lösung an den nicht leitenden Haaren vorbeigeführt wird.

Zusammengefasst wäre es immer wünschenswert, wenn das Zielorgan (Muskel oder Nerv) den höchsten Widerstand im ganzen Stromkreis aufweist, da hier die meiste Leistung abfallen sollte. Diesem Ideal kann man in der Praxis nur näherungsweise begegnen.

Um dies zu veranschaulichen, sei noch einmal das Beispiel der 100 W Glühlampe angeführt:

Diese hat einen Widerstand von 530  $\Omega$ .

Der Strom, der durch die Lampe fließt, muss zunächst die Zuleitung passieren. An allen Stellen im einfachen Stromkreis fließt derselbe Strom. Also ist die Stromstärke sowohl in der Zuleitung, in der Lampe selbst als auch in der Ableitung gleich. Dies ist vergleichbar mit dem Wasserkreislauf: Dieselbe Menge Wasser, die in den Kreislauf fließt, muss auch wieder herauslaufen.

Somit fließt sowohl durch das Kabel als auch durch die Lampe ein Strom von 0,433 A.

An der Lampe fällt nun eine Leistung von:

$$P = R \times I^2 = 530 \Omega \times 0,433 \text{ A} \times 0,433 \text{ A} = 99,36 \text{ W ab.}$$

Und am Kabel, das die Leistung im Wesentlichen in Wärme verwandelt:

$$P = R \times I^2 = 1\Omega \times 0,433 \text{ A} \times 0,433 \text{ A} = 0,19 \text{ W.}$$

Durch den höheren Widerstand der Lampe gegenüber dem Kabel ist der Strom an der Lampe wirksamer. Dort werden 99,36 W in Wärme und Licht umgewandelt, infolgedessen wird die Lampe hell und heiß. Am Kabel werden nur 0,19 W in Wärme umgewandelt, die Temperatur des Kabels ändert sich nur unmerklich.

Diese Berechnung zeigt, dass der wesentliche Anteil der Energie an der Lampe abfällt. Dies sind jedoch Verhältnisse, die wir in der Elektrotherapie nicht erreichen. Meist fällt ein Großteil der Leistung bereits vor dem Zielorgan ab, trotz guter Präparation am Übergang von der Elektrode auf die Haut. Es gibt deshalb in der Logopädie verschiedene Maßnahmen, Widerstände zu reduzieren. In der Dysphagietherapie versucht man beispielsweise den Strom mit relativ kleinen Elektroden direkt auf die Pharynxschleimhaut (vgl. Beirer 2020) zu applizieren. Dies bezeichnet man als pharyngeale Elektrostimulation. Die Elektroden werden hierbei an einer nasogastralen Sonde angebracht und in Höhe des Kehlkopfes platziert. Durch die natürlich hohe Feuchtigkeit und gute Durchblutung der Schleimhaut in diesem Gebiet ist der Widerstand an dem Übergang Elektrode/Haut sehr gering. Es kann somit mit sehr viel höheren Stromstärken und Stromdichten gearbeitet werden. Der Nachteil der Methode liegt darin, dass durch das obligate Vorhandensein der nasogastralen Sonde das Ganze nur im stationären klinischen Umfeld durchgeführt werden kann. Ein zweiter Nachteil sind die erheblichen Kosten für die Einmalelektroden.

Miller et al. (2021) versuchten die Hochpasseigenschaften des Übergangs Elektrode/Haut auszunutzen. Da dieser technisch gesehen eine Verschaltung aus Widerstand und Kondensator ist, hat er für Wechselstrom einen anderen Widerstand als für Gleichstrom. Der Wechselstromwiderstand wird in der Technik als Impedanz bezeichnet und ist (beim Hochpass) umgekehrt proportional zur Frequenz. Das heißt, wählt man eine sehr hohe Frequenz, sinkt der Widerstand am Übergang Haut/Elektrode deutlich. Somit kann auch wieder mit erheblich stärkeren Strömen gearbeitet werden, ohne dass Missempfindungen oder Hautschäden entstehen. Die in der zitierten Studie verwendeten Mittelfrequenzströme sind jedoch wesentlich wirksamer an gesunder als an denervierter Muskulatur (vgl. Wenk 2011). Somit können zwar deutlich tiefergelegene Strukturen stimuliert werden, jedoch reagiert denervierte Muskulatur besser auf breite Einzelimpulse. Zukünftige Studien werden zeigen, bei welchen Indikationen mittelfrequente Ströme einen Vorteil bieten.

---

**MERKE:** Es ist wünschenswert, vermeidbaren Widerstand möglichst gering zu halten.

---

Khadka et al. (2017) haben Faktoren des kutanen Stromflusses für tDCS identifiziert. Auch wenn die Stromdichte an den Ecken eckiger Elektroden gebündelt ist, treten dort selten Hautläsionen auf. Eine Zeit lang wurde empfohlen, die Haut unterhalb

der Elektroden mit einem handelsüblichen Schleifpapier aufzurauen. Aber: Diese abrasiven Verfahren erhöhen die kutane Toleranz nicht, sondern verringern sie. Eher scheinen wiederholte Applikationen die Toleranz zu erhöhen und kutane Irritationen zu senken. In ihren Experimenten schien die Passage des Stroms die Hautirritationen eher erklären zu können als elektrochemische Belastungen: Vor allem Schweißporen scheinen den Strom zu leiten, was erklärt, warum eine Befeuchtung der Haut, nicht aber ein abrasives Verfahren die Leitfähigkeit erhöht.

Bei räumlicher Nähe der Elektroden zu Hautregionen mit größeren Schweißporen scheinen Hautirritationen eher aufzutreten als in den stimulierten Regionen unter den Elektrodenecken.

Die Zuführung von Elektrizität wird nun in der Praxis so gestaltet, dass eine Größe (Spannung oder Stromstärke) stabilisiert und die andere begrenzt wird. Dies ist nicht nur bei der Elektrostimulation der Fall, sondern betrifft auch technische Anwendungen. Bei der häuslichen Elektroinstallation hat man es meist mit stabilisierten Spannungsquellen zu tun. Die Spannung an den Steckdosen wird auf 230 V stabilisiert und die Stromstärke auf 16 A begrenzt. Wird nun ein Verbraucher angeschlossen, der einen zu kleinen Widerstand hat (also eine zu hohe Stromstärke fordert), wird die Sicherung ansprechen und den Stromkreis unterbrechen, da sonst die Kabel so heiß werden würden, dass Brandgefahr bestünde. Die Spannungsstabilisierung erlaubt keinen Kurzschluss. Dieser würde entstehen, wenn man beide Pole der Steckdose mit einem Draht direkt verbinden würde, ohne einen Verbraucher zwischenzuschalten.

In der Elektrotherapie hat sich jedoch das gegenteilige Konzept etabliert: Die Stromstärke wird stabilisiert und die Spannung wird begrenzt. Das heißt, hier gilt der umgekehrte Fall: Ist der angeschlossene *Widerstand zu hoch*, würde dies eine zu hohe Spannung fordern, um die angestrebte Stromstärke zu ermöglichen, was ebenfalls Defekte auslösen würde. Hier spricht die Sicherung also nur an, wenn der Stromkreis nicht geschlossen ist, was einem unendlich hohen Widerstand gleichkäme. Tatsächlich schalten professionelle Elektrotherapiegeräte ab, wenn die Zuleitung zum Körper unterbrochen ist. Die Verhinderung zu hoher Widerstände zielt klar auf eine Vermeidung zu starker Nebenwirkungen ab, um die Patienten zu schützen.

Während bei der tDCS die Stromstärke in den Stimulationsprotokollen üblicherweise eine fest vorgegebene Größe ist, um die Intensität der Behandlung zu dosieren, erfolgt bei der FES die Einstellung meist individueller, nämlich über die Reaktion des Patienten. Hier wird meist mit drei Stufen gearbeitet:

- Sensibel schwellige Einstellung: Der Patient kann den Strom gerade wahrnehmen.
- Motorisch schwellige Einstellung: Patient oder Untersucher beobachten eine evozierte Muskelkontraktion.
- Schmerzschwelle: Der Stromfluss verursacht Schmerzen.

---

**MERKE:** Die entscheidende Größe, mit der in der Elektrotherapie gearbeitet wird, ist die Stromstärke. Sie wird in Milliampere (mA) gemessen. Bei der tDCS ist die Stromstärke dem Stimulationsprotokoll zu entnehmen.

---

Eine Alternative hierzu ist die Dosierung des Stroms nach seiner Wirkung auf den Patienten (d. h. sensible, motorische bzw. Schmerzschwelle), wie es bei der FES bzw. NMES üblich ist.

Die Stromstärke muss, damit sie in ihrer Wirkung eingeschätzt werden kann, zwingend in Bezug zur Fläche gesetzt werden, auf die sie sich bezieht. Diese Relation wird durch den Faktor der Stromdichte, gemessen in Stromstärke pro Fläche, beschrieben. Je kleiner die Fläche (Elektrode), über die die Elektrostimulation einwirkt, und je höher die Stromintensität ist, desto stärker ist die Wirkung (und auch Nebenwirkung) auf die behandelte Stelle. Die Stromdichte (Formelzeichen  $J$ ) wird in mA pro cm<sup>2</sup> angegeben. Da die Dauer der Applikation dieser Stromdichte ebenfalls einen Einfluss haben kann, wird die Gesamtmenge der elektrischen Ladung/Fläche (Gesamtladung/Fläche) angegeben: Stromdichte (mA/cm<sup>2</sup>) x Applikationszeit (in s). Ladung wird in Coulomb (C) – nach dem französischen Physiker Charles A. de Coulomb – angegeben. Ein Coulomb entspricht der Stromstärke von 1 A für 1 Sekunde (s). Die elektrische Ladung ist ein Näherungswert für die elektrische Energie, die auf die Haut abgegeben wird und hier in chemische und thermische Energie umgewandelt wird. Dies ist vor allem für die tDCS entscheidend, da hier mit reinem Gleichstrom auf empfindlicher Haut gearbeitet wird. Aktuelle Empfehlungen begrenzen die maximale Ladung auf 960 Coulomb/Quadratmeter. Die üblichen Stimulationsprotokolle, die 1–2 mA über 25 oder 35 cm<sup>2</sup> große Elektroden applizieren, sind von dieser Grenze weit entfernt und gelten als sicher (Bikson et al. 2016).

Man kann die Effekte der Stromdichte leichter nachvollziehen, wenn man Parallelen zur Mechanik zieht: Hält man einen Nagel, der über eine spitze und eine stumpfe Seite verfügt, der Länge nach zwischen Daumen und Zeigefinger, wird der Effekt deutlich: An der spitzen Seite verteilt sich der Druck auf eine kleinere Fläche, es resultiert ein höherer Druck und Schmerzen können entstehen. Je länger man dies tut, desto eher entstehen an der spitzen Seite Hautläsionen.