

Tim Vogelmann

Elektromyographische Muskelstimulation/Muskelaktivierung (EMS/EMA) im Leistungs-/Breitensport

**Trainingseffekte im Vergleich zu
konventionellem Training**

Vogelmann, Tim: Elektromyographische Muskelstimulation/Muskelaktivierung (EMS/EMA) im Leistungs-/Breitensport: Trainingseffekte im Vergleich zu konventionellem Training. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2013

Buch-ISBN: 978-3-8428-8239-3

PDF-eBook-ISBN: 978-3-8428-3239-8

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2013

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.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2013

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Einleitung.....	1
1 Historischer Überblick der elektromyographischen Muskelstimulation (EMS).....	3
2 EMS Anwendungen im Sport	7
3 Elektrotechnische Grundlagen der EMS.....	10
3.1 Elektrischer Strom/ Leiter 1. und 2. Ordnung	10
3.2 Elektrische Spannung	11
3.3 Elektrischer Widerstand	11
3.4 Stromformen	12
3.4.1 Gleichstrom.....	12
3.4.2 Wechselstrom	14
3.4.3 Frequenzspektrum	15
3.5 Niederfrequenter Reiz-/Impulsstrom	16
3.5.1 Modulation	19
3.6 Mittelfrequenter Wechselstrom	20
3.6.1 Apolares Reizgesetz	22
3.6.2 Gildemeister-Effekt.....	25
3.6.3 Wedensky-Hemmung.....	26
3.6.4 Sonstige Eigenschaften der Mittelfrequenz.....	26
3.6.5 Reiner Mittelfrequenzstrom	28
3.6.6 Interferenzstromverfahren.....	29
3.6.7 Amplitudenmodulationsverfahren / Amplipuls/ "russische Stimulation" ...	30
3.6.8 Mittelfrequenzschwellstrom / Wymoton-Verfahren	31
3.6.9 Modulierte Mittelfrequenz-Elektro-Therapie (MET)	32
4 Grundlagen der natürlichen Muskelkontraktion.....	42
4.1 Ruhemembranpotential.....	42
4.2 Erregungsphysiologie.....	42
4.3 Aktionspotential.....	43
4.4 Rekrutierung und Frequenzierung	45
4.5 Muskelfasertypen	45
5 Grundlagen der von NF EMS initiierten Muskelkontraktion.....	47
5.1 Erregungsphysiologie.....	47

5.2	Frequenzierung	48
5.3	Rekrutierung	49
5.4	Besonderheiten der NF GK EMS	49
6	Kontraindikationen und allgemeine Kritik der EMS	52
7	Der Forschungsstand von EMS Anwendungen im Leistungs- und Breitensport bezüglich der erreichten Trainingseffekte	54
7.1	Methodik der Literaturrecherche	54
7.2	Muskelfaserspektrum	55
7.3	Faserspezifische Hypertrophie/Innervationsreihenfolge	57
7.4	Dynamische Anwendung von NF Reizstrom	61
7.5	Hypertrophie	62
7.6	Maximalkraft.....	64
7.7	Kraftausdauer	68
7.8	Ermüdung der Muskulatur	70
7.9	Schnellkraft	71
7.10	Kraftentwicklung - Unterschiede zur Willkürkontraktion	76
7.11	Einfluss von Elektrodengröße und –positionierung	77
7.12	Hormon- und Enzymreaktion	78
7.13	Weitere Effekte/ allgemeine Effekte	81
7.14	Trainingseffekte bei Ganzkörper NF EMS Training.....	82
7.15	Zusammenfassung der Forschungsergebnisse	86
8	Fazit.....	93
9	Zusammenfassung	101
	Literaturverzeichnis	104
	Anhang.....	106

Einleitung

„Waschbrettbauch in nur drei Tagen“ - So oder so ähnlich lauten oft die Verkaufsslogans für im TV Shop angebotene Elektrostimulationsgeräte. Dass dieses Versprechen nicht gehalten werden kann, erschließt sich dem versierten Sportler sofort.

Elektromyographische Muskelstimulation (EMS) wird aber auch jenseits von unseriösen TV Shops mit teilweise großer Überzeugung im Leistungs- und Breitensport zur Leistungssteigerung, Schmerzlinderung und Regeneration eingesetzt. Oft wird speziell im Fitnessbereich mit erfolgversprechenden wissenschaftlichen Studien geworben und maximaler Trainingserfolg bei minimalem Trainingseinsatz versprochen.

Im medizinischen/rehabilitativen Anwendungsbereich außerhalb des Sports hat die EMS mittlerweile einen relativ gefestigten und anerkannten Stand. Die Anwendungsfelder erstrecken sich auf unterschiedliche Gebiete, wie Herzschrittmacher und Defibrillatoren, Cochlea Implantate, Harn-/ Stuhlinkontinenzbehandlung, Schmerzbehandlung (TENS), Wundheilung, funktionale EMS denervierter Muskulatur (FES) und Rehabilitation (vgl. Fehr, 2010, S. 28–33).

Im Bereich der EMS Anwendungen innerhalb des Sports stellt sich der Kenntnisstand uneinheitlicher dar. Es gibt zahlreiche Interventionsstudien sowohl mit positiven, als auch mit negativen Effekten bezüglich der EMS, was dem Interesse jedoch keinen Abbruch tut:

„Angesichts der fortschreitenden Ausreizung von Leistungsreserven im konventionellen Trainingsprozess, der dank Mikroprozessortechnik enorm gestiegenen technischen Möglichkeiten und der fortschreitenden Kenntnis über Muskelaufbau und -innervation ist die Elektromyostimulation als Trainingsmethode im Leistungssport vielleicht sogar aktueller denn je.“ (Fehr, 2010, S. 23)

Die vorliegende Studie soll, nach einer historischen Einführung, die Funktionsweise der EMS erklären (s. Punkt 3 und 5) und einen Einblick in die Anwendungen der EMS innerhalb des Sportbereichs geben (s. Punkt 2).

Die meisten EMS Geräte arbeiten im niederfrequenten Strombereich (s. Punkt 3.5), jedoch gibt es auch Geräte, die mit mittelfrequentem (MF) Strom arbeiten. Die MF-EMS findet in der Fachliteratur zur EMS im Leistungs- und Breitensport bisher wenig Beachtung und wird in Punkt 3.6 vorgestellt.

Bezüglich der EMS Anwendungen im Sportbereich drängen sich Fragen auf, wie:

Welche Trainingseffekte können durch EMS-Anwendungen im Leistungs- und Breitensport im Vergleich zu einem vergleichbaren herkömmlichen Training erreicht werden? Inwiefern kann der Leistungs- oder Amateursportler von einer zusätzlichen Anwendung von EMS zu konventionellem Training profitieren?

Können womöglich in kürzerer Zeit die gleichen Trainingsergebnisse erzielt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen (s. Punkt 8) wird der aktuelle Forschungsstand anhand mehrerer Reviewartikel und einzelner Studien bezüglich niederfrequenter EMS Anwendungen (sowohl lokale-, als auch Ganzkörper-EMS) im Leistungs- und Breitensport mit Hinblick auf die unterschiedlichen erreichten Trainingseffekte in Punkt 7 und 8 dargestellt und diskutiert.

Eine Zusammenfassung der gesamten Studie erfolgt in Punkt 9.

1 Historischer Überblick der elektromyographischen Muskelstimulation (EMS)

Die EMS findet ihren Ursprung bereits in der Antike. Mehrere römische Ärzte nutzten im ersten Jahrhundert n. Chr. die von Zitterrochen, Zitteraalen und Zitterwelsen erzeugten Stromstöße, die eine Spannung von 300 bis 800 Volt erzeugen können (vgl. Wenk, Ach & Wolf, 2004, S. 4).

Scribonius Largus (14-54 n. Chr.) beschreibt in seiner berühmten Rezeptsammlung „Compositiones Medicae“ die Behandlung von Kopfneuralgien oder Gicht mit Hilfe der durch Zitterrochen erzeugten elektrischen Impulse. Der Fisch wurde hierzu im lebenden Zustand solange auf die schmerzende Stelle gelegt oder über diese gehalten, bis der Schmerz aufhörte. Anschließend wurde die Behandlung mit verschiedenen Exemplaren mehrfach wiederholt (vgl. Fehr, 2010, S. 30–31).

Heutzutage weiß man, dass Zitteraale und ähnliche Gattungen Stromstöße erzeugen, die einer Reizstrombehandlung gleichen, auf die in einem späteren Teil der Arbeit eingegangen wird (vgl. Michel, 2006, S. 27).

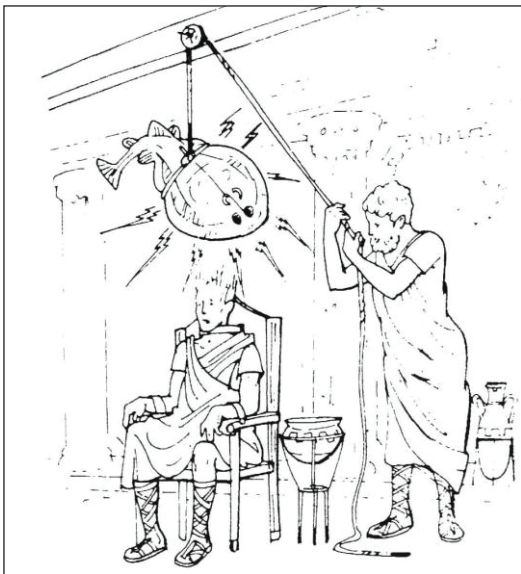


Abb. 1 Behandlung mit den Stromimpulsen eines Zitterrochens (Wenk et al., 2004, S. 2)

Ab dem 17. Jahrhundert wurden sogenannte Reibungselektrisiermaschinen gefertigt. Die ersten Maschinen besaßen rotierende Schwefelkugeln als Reibungskörper, welche durch den Reibungskontakt mit z.B. einem Tuch elektrisch aufgeladen wurden. Der Arzt Christian Gottlieb Kratzenstein setzte 1660 erstmals eine von Otto von Guericke konstruierte Reibungselektrisiermaschine in der Therapie ein. Kratzenstein gilt mit seiner Monographie „Nutzen der Electricität in der Arzneiwissenschaft“ als Initiator der physikalischen Therapie (vgl. Fehr, 2010, S. 25).

Die therapeutische Anwendung der Reibungselektrizität wurde später unter dem Namen Franklinisation bekannt, benannt nach Benjamin Franklin (1706-1790) (vgl. Wenk et al., 2004, S. 2).

Die Elektrisiermaschinen konnten jedoch nur kurzzeitige Stromstöße erzeugen, welche zur spontanen Muskelstimulation oder Schmerzlinderung eingesetzt wurden.

1745 entdeckten der Leydener Professor Muschenbroek und der Dekan Kleist unabhängig voneinander eine Möglichkeit zur kurzzeitigen Energiespeicherung. Mit Hilfe der sog. Leydener, bzw. Kleistschen Flaschen, in der sich zwei elektrisch leitende Platten gegenüberstehen (Prinzip des heutigen Kondensators), konnte die durch Elektrisiermaschinen erzeugte Energie gespeichert werden.

1792 stellte Luigi Galvani fest, dass Froschschenkel zucken, nachdem sie Stromstöße über ein mit Kupferhaken verbundenes Eisengitter erhalten haben. Galvani vermutete die Quelle der Spannung jedoch in den Schenkeln selbst (vgl. Wenk et al., 2004, S. 2–3). Erst sein italienischer Arztkollege Alessandro Volta erkannte den Froschschenkelmuskel richtigerweise als „Spannungsdetektor“ (Fehr, 2010, S. 25). Mithilfe eines mit verdünnter Salzsäure gefüllten Gefäßes mit mehreren hintereinandergeschalteten Kupfer- und Zinkplatten, welche als elektrische Elemente Spannung erzeugten, bewies Volta, dass die Ursache der Elektrizität in dem Kontakt der Froschschenkel mit zwei verschiedenen Metallen lag. Seine Anordnung wurde 1799 als „Voltasche-Säule“ bekannt und löste quasi als erste Batterie die Leydener Flaschen ab. Die „Voltasche-Säule“ entwickelte sich zur wichtigsten Spannungsquelle während der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts (vgl. Wenk et al., 2004, S. 3).

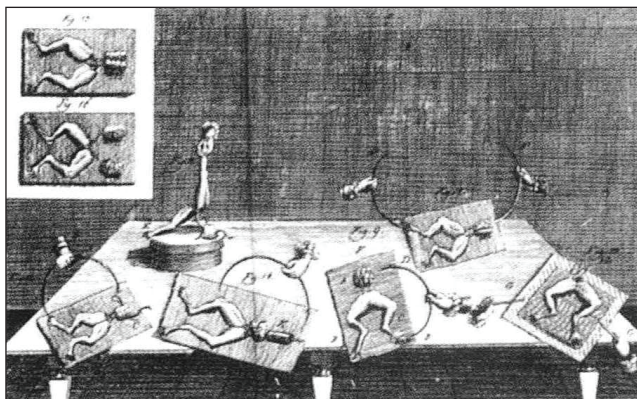


Abb. 2 Versuche von Galvani mit Froschschenkeln (Wenk et al., 2004, S. 3)

Ebenfalls im Jahr 1792 gelang auch Schmuck der Nachweis der elektrischen Erregbarkeit von Muskeln am Herzen. Die ersten Studien zur elektrischen Muskelstimulation wurden 1892 durch den Physiker J.L. Hoorweg durchgeführt (vgl. Fehr, 2010, S. 26).

1899 erkannte der Physiker Walther Nernst eine Ionenverschiebung an semi-permeablen Membranen in Folge einer elektrischen Reizung und formulierte daraufhin das Reizschwellengesetz.

Gildemeister untersuchte 1904 die elektrische Reizfähigkeit des Nerv-Muskel-Systems, was später zur Formulierung des sog. Gildemeister-Effekts führte.

Zur ungefähr gleichen Zeit wurden die Begriffe Rheobase (gibt die Schwellen-Stromintensität an, bei der ein Nerv oder Muskel ein Aktionspotential auslöst) und Chronaxie (Zeitbedarf der zu stimulierenden Nervenfasern) von Bourguignon und Lapique geprägt und das Aktionspotential von Eccles, Huxley und Hodgkin beschrieben (vgl. Wenk et al., 2004, S. 5).

In Paris wurde 1901 von Leduc das erste Stimulationsgerät entwickelt und erfolgreich zur Behandlung von Muskellähmungen und Neuralgien eingesetzt (vgl. Michel, 2006, S. 27).

1908 kam das Stimulationsgerät „Multostat“ der deutschen Firma Sanitas auf den Markt. Das Gerät war vorrangig für medizinische Zwecke, wie Iontophorese, Galvanisation u.ä. bestimmt (vgl. Unbekannter Autor, S. 900).

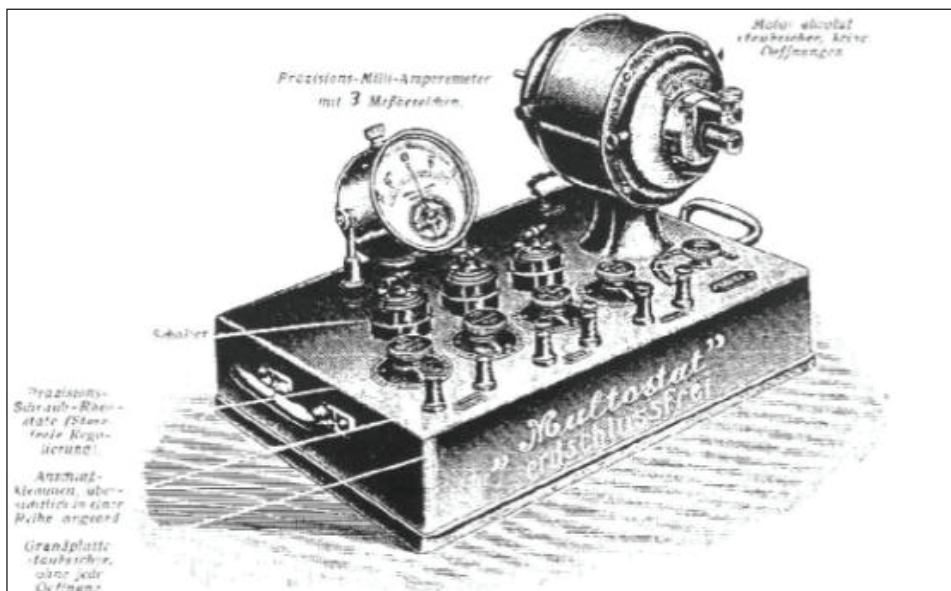


Abb. 3 Potentialfreies Stimulationsgerät "Multostat" der Fa. Sanitas, Berlin (Fehr, 2010, S. 4)

Der Mediziner John B. Ziegler entwickelte 1956 das Stimulationsgerät „Isotron“ zur Behandlung von Poliopatien. Später wurde es auch im Leistungssport eingesetzt.

Zwei Jahre später wurde in Stockholm von Åke Senning der erste Herzschrittmacher implantiert.

Liberson, Holmquest, Scot und Dow begannen 1961 mit der Entwicklung der funktionellen Elektrostimulation (FES), welche der Erzeugung von funktionellen Bewegungen bei denervierter Muskulatur dienen soll (z.B. Gehen, Fahrradfahren und Herzschrittmacher).

Bereits in den 60er Jahren wurde die Elektrische Muskelstimulation intensiv zur Leistungssteigerung, bzw. Leistungserhaltung/Verhinderung von Muskelmas-

senabbau infolge von Bewegungsmangel im Leistungssport, der Raumfahrt und dem Militär (U-Boot Mannschaften) unter anderem in den U.S.A. und der UdSSR eingesetzt, jedoch wurden die Ergebnisse in der Regel nicht öffentlich publiziert (vgl. Fehr, 2010, S. 26). „Der Grund: Strikte Geheimhaltung war verordnet“ so Fehr (2010, S. 26) nach Steuernagel (1984, S. 6). Auch Michel (2006, S. 28) geht davon aus, dass die häufig als Beginn der Elektromyostimulation angesehenen Publikationen von Dr. Yakov Kotz und Chwilon bis 1970 der Geheimhaltung unterstellt waren.

Die ersten häufig zitierten veröffentlichten Studien aus der UdSSR sind die von Dr. Yakov Kotz und Chwilon aus dem Jahr 1971. Damals wurde von 10 - 30% höherer Maximalkraft und „um bis zu 40% höhere(n) Zugewinne(n) durch EMS-Training in nur wenigen Wochen“ berichtet (Fehr, 2010, S. 26).

Fehr (2010, S. 28) kommt in dem Review-Teil seiner Doktorarbeit zu dem Schluss, dass die ersten belastbaren wissenschaftlichen Studien zur Anwendung der EMS erst ab dem Ende der 70er publiziert wurden. Trotz des Umstandes, dass die von Kotz und Chwilon erreichten Trainingszuwächse nicht reproduziert werden konnten, besteht bis heute ein reges Interesse der Sportwissenschaft an der EMS zur Leistungssteigerung.

2 EMS Anwendungen im Sport

Wie bereits erwähnt wird die niederfrequente EMS bereits seit den 60er Jahren zur Leistungssteigerung eingesetzt. Zunächst geschah dies jedoch ausschließlich im Leistungssportbereich und quasi unter Ausschluss der Öffentlichkeit.

Mittlerweile gibt es diverse Hersteller von niederfrequenten Reizstrom EMS Geräten (s. Punkt 3.5), die sowohl kleine mobile Geräte (Consumer-Geräte), auch lokale EMS genannt, zur Stimulation einer oder mehrerer Muskeln (s. Abb. 4), als auch sog. GK (Ganzkörper) EMS Geräte (s. Abb. 5) anbieten und vermieten.



Abb. 4 Lokales niederfrequentes EMS Gerät mit Einzelelektroden der Fa. Compex „Sport Elite“ (Internetquelle 1)



Abb. 5 Miha „Bodytec“ GK EMS Gerät mit Elektrodenanzug (Internetquelle 2)

Eine weitere Gerätegruppe ist jene mit oder ohne PC Anbindung zur professionellen Anwendung innerhalb der Physiotherapie/Medizin, auf die hier nicht näher eingegangen wird (s. Abb. 6).

Im Bereich der mittelfrequenten EMS Geräte ist das Angebot nicht ansatzweise so umfangreich (siehe Punkt 3.6).



Abb. 6 EMS Gerät mit PC-Anbindung zur professionellen Anwendung in der Physiotherapie/Medizin (Internetquelle 3)

Bei den GK EMS Geräten werden den Sportlern eine Art Weste, Gesäßgurte, Oberarmgurte, Oberschenkelgurte und unter Umständen weitere Gurte angezogen, in die Elektroden eingearbeitet sind. Die Elektroden sind hier jeweils so platziert, dass sie über Muskelbauch des Agonisten und ggf. des jeweiligen Antagonisten liegen. Normalerweise liegen die Elektroden auf den Oberarmmuskeln, Brustmuskeln, Bauchmuskeln, Trapez- und Latissimusmuskulatur, untere Rücken- und Gesäßmuskulatur und auf der Oberschenkelmuskulatur. Zusätzlich können noch Elektroden an der Nackenmuskulatur, Wadenmuskulatur, der Fußmuskulatur und der Unterarmmuskulatur angebracht werden. Die Hersteller gehen davon aus, dass zwischen den Elektroden alle Muskeln stimuliert werden können, auch jene, die willentlich nur schwer trainierbar sind.

Die lokale EMS hingegen ist in der Regel auf den stimulierten Muskel begrenzt. Je nach Kanalanzahl des Geräts lassen sich auch mehrere Muskelgruppen trainieren, wobei jeder Muskel mit einer eigenen Elektrodenanlage gereizt werden muss (vgl. Kleinöder et al., 2006, S. 29–30). Die Elektroden werden hier an den Eintrittsstellen der motorischen Nerven in den Muskel (sog. Motorpunkte) und/oder über dem Muskelbauch platziert.

Die modernen mikroprozessorgesteuerten (lokalen- und Ganzkörper) EMS Geräte sind technisch hinsichtlich der Stromform, Programmierfähigkeit und Kanalanzahl im Prinzip nicht begrenzt. Ihre Möglichkeiten sind z.B. die Programmierung mittels PC oder die Triggerung durch externe Sensoren. Letztere kommt beispielsweise beim FES-Radfahren zum Tragen, wo durch einen „Win-

kelgeber an der Kurbel einzelne Kanäle in bestimmten Winkelbereichen und somit Pedalstellungen aktiviert werden“ (Fehr, 2010, S. 48).

Eine nähere Erläuterung der durch niederfrequente Ganzkörper- und lokale EMS Geräte elektrisch induzierten Muskelkontraktion erfolgt in Punkt 5.

Allgemein werden niederfrequente lokale/GK Reizstrom EMS Geräte sowohl im Leistungs- und Breitensport, als auch im Wellness- und Rehabilitationsbereich beworben und eingesetzt.

Die GK EMS Geräte werden im Breitensportbereich, wohl unter anderem aufgrund des Preises (ca. 7000 EUR), vermehrt von Personal Trainern (z.B. <http://www.ems-personaltrainer.com>), speziellen EMS-Fitnessstudios (z.B. <http://www.bodystreet.com/>) und Wellness Centern eingesetzt, während die lokalen EMS Geräte (ab ca. 80 EUR) auch von Privatanwendern genutzt werden. Die Hersteller der Consumer Geräte (lokale EMS) und der GK-EMS Geräte versehen diese mit Programm(ierung)en, die den unterschiedlichsten Zielen im Bereich der Leistungssteigerung, Schmerzlinderung und Regeneration dienen sollen.

Zum Beispiel hat der Hersteller „Compex“ die folgenden 40 Programme unterteilt in 8 Kategorien in sein niederfrequentes lokales EMS Gerät „Mi-Sport“ integriert (vgl. Internetquelle 4):

- *Aufwärmen* (Kapillarisation, Aufwärmmassage, Pre Start)
- *Sport* (Aerobe Ausdauer, anaerobe Ausdauer, Kraft, Schnellkraft, Plyometrie, Hypertrophie)
- *Schmerzbehandlung* (Schmerzlinderung TENS/ TENS gewobbelt, chronischer Schmerz/ Endorphin, akuter Schmerz, Zervikalgie, Dorsalgie, Lumbalgie, Lumbago, Epikondylitis, Torticollis)
- *Cross Training* (Speed Play, Cross aerob, Cross anaerob, Crossexplosiv)
- *Fitness Basis* (Bauch, Rückenstärkung, Rumpfstabilisation)
- *Erholung* (Aktive Erholung, Erholung plus, Entspannungsmassage, Anti-Stress Massage, Strömungsmassage 1, Strömungsmassage 2, Regeneration, schwere Beine, Stretching)
- *Rehabilitation* (Muskelatrophie, -wachstum, -kräftigung)
- *Test* (Motorischer Reizpunkt)