

EMS im isokinetischen Krafttraining am Bsp. Rudern

Projektleiter: Prof. Dr. Andreas Hohmann

Ansprechpartner: Dr. Uli Fehr

Projektstart: 01.10.2007 **Projektende:** 30.06.2008

Projektnummer: IIA1-070513/07-08 **Externe Partner:** Deutscher Ruderverband

Geldgeber: Bundesinstitut für Sportwissenschaft

Projektbeschreibung:

1 Einleitung

Der Forschungsstand zum Nutzen der Elektromyostimulation (EMS) in der *medizinischen Rehabilitation* zur Verhinderung bzw. zumindest Verzögerung von Inaktivitätsatrophien sowie im Muskelaufbautraining nach Operationen ist weitgehend unbestritten (Morrissey, 1988; Mucha, 2004; Snyder-Mackler, Delitto, Bailey & Stralka, 1995 und weitere), ebenso der Einsatz als Funktionale Elektrostimulation (FES) bei Paraplegikern (z.B. Glinsky, Harvey & van Es, 2007; Ragnarsson, 2008). Die Übertragbarkeit dieser und zahlreicher weiterer Anwendungsfelder der Elektromyostimulation auf das (hoch-) leistungssportliche Training ist u.a. aufgrund des stark differierenden Leistungsniveaus jedoch problematisch. Aufgrund widersprüchlicher Studienresultate forderten Dudley und Stevenson unlängst weitergehende Untersuchungen zum Thema Elektromyostimulation im Sport – insbesondere „... to examine the effect of EMS that is applied during dynamic muscle actions.“ (Dudley & Stevenson, 2005, S. 433) fordern.

2 Forschungsstand: EMS-Training und Kraftausdauerleistung

Ikai & Yabe fanden bereits 1969 eine um 13% größere Steigerung der Kraftausdauer bei einem EMS-Training im Vergleich zu reinen Willkürkontraktionen, ebenso fand (Gorodnicev, 1979) einen höheren Anstieg der Ausdauer des zusätzlich mit 50Hz-Impulsen stimulierten m. tibialis anterior als bei Übungsausführung ohne EMS. (Bogomolov, Merkin & Spirin, 1985) stimulierte die Rückenmuskulatur von Kanuten und sah die EMS als geeignet an, um die spezielle Ausdauer und das technische Fertigniveau zu verbessern. Ein großes Manko bei der zusammenfassenden Beurteilung der zahlreich vorliegenden Treatmentstudien ist deren geringe Standardisierung aufgrund der Vielfalt der zu variierenden Stimulationsparameter, unterschiedlichen Muskelgruppen und Trainingsprogramme. Nichts desto trotz indizieren zahlreiche positive Befunde beim Einsatz der EMS im Sport eine erfolgversprechende Methode zur Steigerung von Kraftparametern. Eine Reihe gegenteiliger Studienergebnisse (z.B. Martin, Cometti, Pousson & Morlon, 1994; Poumarat, Squire & Lawani, 1992) lassen jedoch zum jetzigen Zeitpunkt keine generelle Empfehlung der EMS zu und legen weitere, strukturierte und standardisierte Untersuchungen nahe.

3 Forschungsstand: EMS während aktiver Bewegung

Die muskuläre Elektrostimulation bei bislang durchgeführten Studien wurde fast ausschließlich unter isometrischen Bedingungen appliziert, was jedoch aufgrund der eingeschränkten Koordination als nur bedingt relevant für die Entwicklung der antriebswirksamen Muskulatur angesehen werden kann (Andrianowa, Koz, Martjanow & Chwilon, 1974). Allein aus diesem Grund erscheint – ungeachtet der ebenfalls unklaren Erkenntnislage im physiologischen Detail – die Untersuchung des sportartspezifischen, dynamischen Einsatzes der Elektrostimulation als lohnendes Ziel einer trainingswissenschaftlichen Untersuchung mit direktem Nutzungspotential für die Sportpraxis (Willoughby und Simpson, 1996; 1998). Bei einer umfassenden Literatursichtung konnten über 150 Interventionsstudien gefunden werden. Lediglich fünf davon untersuchten allerdings die Wirkung einer Stimulation während dynamischer Bewegungen, die übrigen Untersuchungen beschränken sich auf eine isometrische Anwendung. Zudem vergleicht lediglich die Studie von Willoughby & Simpson (1998) die EMS-Effekte mit denen durch herkömmliche Krafttrainingsmethoden zu erzielende.

4 Methodik

Zur Überprüfung der aufgestellten Hypothese, dass eine bewegungsbegleitend durchgeführte Elektromyostimulation im Kraftausdauertraining auf dem Ruderergometer zu einer signifikant höheren Leistungssteigerung als bei identischem Training ohne EMS führt, wurde ein Experiment in Form eines *zweifaktoriellen Randomisierungsplans*, d.h. mit einem erweiterten Prä-Posttest-Design mit zweigestuften Treatmentgruppen durchgeführt.

4.2 Personen- und Merkmalsstichprobe

30 männliche Probanden (Alter $24,6 \pm 3,1$ Jahre; Körpergröße $183,8 \pm 7,2$ cm; Körpergewicht $79,8 \pm 8,7$ kg) absolvierten als Eingangstest fünf maximale Ruderschläge sowie einen Maximaltest über 500 m ($t_{500} = 95,3 \pm 7,3$ s) auf einem Concept II Ruderergometer. Sowohl Zugkraft als auch Griffposition wurden während der Tests gemeinsam mit dem Elektromyogramm (EMG) von zehn ruderrelevanten Muskeln erfasst und so u.a. die in Abbildung 1 dokumentierten Parameter erhoben.

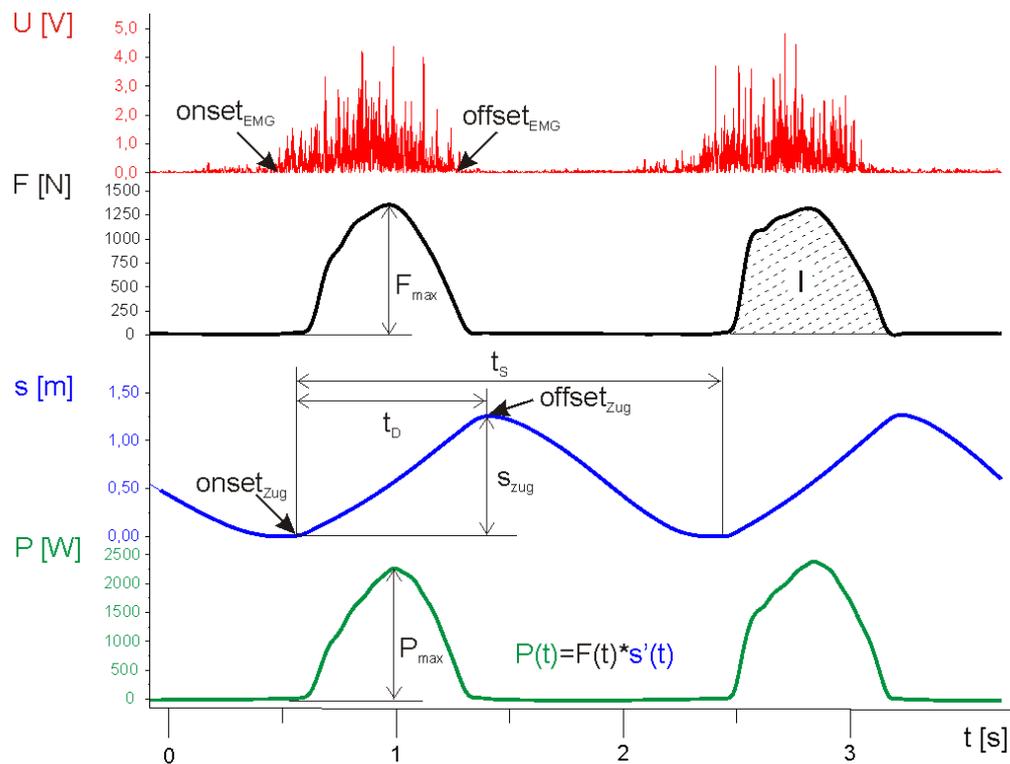


Abb.1 : Grafische Darstellung der erhobenen Parameter

4.3 Treatment

Nach *Randomisierung* in Form einer Parallelisierung (matched samples) in Treatmentgruppe 1 mit herkömmlichem Training und Treatmentgruppe 2 mit zusätzlicher Elektromyostimulation erfolgte zunächst in *Treatmentphase I* ein vierwöchiges Trainingsprogramm nach der Dauerperiode mit wöchentlich drei Einheiten á 30 min mit 20er Schlag bei einer Intensität von 71% der im 500 m Tests erzielten Zeit. In einer anschließenden *Treatmentphase II* wurde mit gleichem Umfang ein Intervalltraining mit fünf Intervallen von 2:20 min Dauer bei 26er Schlagfrequenz und 2:00 min aktiver Pause, in der mit 20er Schlagfrequenz weitergerudert wurde, absolviert. Das Training beider Treatmentgruppen unterschied sich lediglich durch die zusätzliche *EMS-Applikation* (MotionStim8, Fa. Krauth + Timmermann, Hamburg) mit biphasischen Rechteckimpulsen (Frequenz 50 Hz, Impulsdauer 300 μ s) in den Aktivitätsphasen der Muskeln triceps surae, quadriceps femoris und biceps brachii wobei die Stimulationsintensität jeweils auf die individuell maximal tolerierte Stromstärke eingestellt wurde.

In der Treatmentphase I erfolgte die Stimulation in der Zugphase in sechs Phasen von vier Minuten Dauer, gefolgt von einer Minute ohne Stimulation. In Treatmentphase II erfolgte die Stimulation komplett während der ersten drei Intervalle, während das vierte und letzte Intervall der Trainingseinheit ohne Stimulation gerudert wurde. Dadurch ist analog zur Treatmentphase I ein Vergleich kinematischer, dynamischer und elektromyographischer Merkmale mit und ohne EMS möglich.

5 Ergebnisse

Die Entwicklung des Außenkriteriums 500-m-Zeit der beiden alternativen Treatmentgruppen zeigt Tabelle 1. Trotz des nicht signifikant rund 0,7 s schlechteren Ausgangsniveaus der EMS-Gruppe zeigt sich bei dieser mit 3,4 s zu 4,6 s eine um über eine Sekunde geringere Steigerung als bei der Treatmentgruppe mit herkömmlichen Trainingsprogramm.

Tab. 1: Deskriptive Statistik der 500 m Zeiten im Eingangs- und Ausgangstest

	Gruppe	Mittelwert	Standard- abweichung	N
Zeit 500 m Eingangstest	Treatmentgruppe 1	94,29	5,43	11[1]
	Treatmentgruppe 2 (EMS)	94,99	7,27	15
	Gesamt	94,69	6,44	26
Zeit 500 m Ausgangstest	Treatmentgruppe 1	89,69	3,87	11
	Treatmentgruppe 2 (EMS)	91,55	6,01	15
	Gesamt	90,77	5,21	26

Eine Varianzanalyse mit Messwiederholung weist die Verbesserung der 500-m-Zeiten für die Gesamtgruppe als hochsignifikant ($p < 0,001$; $F = 45,35$; $\eta^2 = 0,65$) aus, jedoch kann kein Gruppeneffekt nachgewiesen werden ($p = 0,338$, $F = 0,96$, $\eta^2 = 0,04$).

Mittels einfaktorieller Varianzanalyse konnten weder bei dem nach jeder Trainingseinheit ($p = 0,381$) und nach den 500-m-Tests ($p = 0,829$ und $p = 0,375$) abgefragten subjektiven

Belastungsempfinden, noch bei der Anzahl der tatsächlich absolvierten Trainingseinheiten ($p = 0,779$) und bezüglich der sportlichen Betätigung außerhalb der Studie ($p = 0,586$) signifikante Unterschiede zwischen den beiden Treatmentruppen festgestellt werden. Gleiches gilt für die unter 4.2 genannten Merkmale der Probanden ($p > 0,246$) und bezüglich der tatsächlich realisierten Trainingsintensität ($p = 0,418$), so dass diese als Störvariablen ausgeschlossen werden können. Bei keinem der über die 500-m-Endzeit hinaus erhobenen kinematischen, dynamischen und elektromyographischen Parameter im Maximaltest mit fünf Schlägen bzw. im Test über 500 m konnten signifikante Gruppenunterschiede festgestellt werden, in der Tendenz zeigten sich überwiegend geringere Verbesserungen in der EMS-Gruppe.

Den Zusammenhang des subjektivem Belastungsempfindens mit der zwischen Eingangs- und Ausgangstest realisierten prozentualen Zeitverbesserung über 500 m veranschaulicht das Streudiagramm incl. Regressionsgeraden für die beiden Untergruppen in Abb. 2.

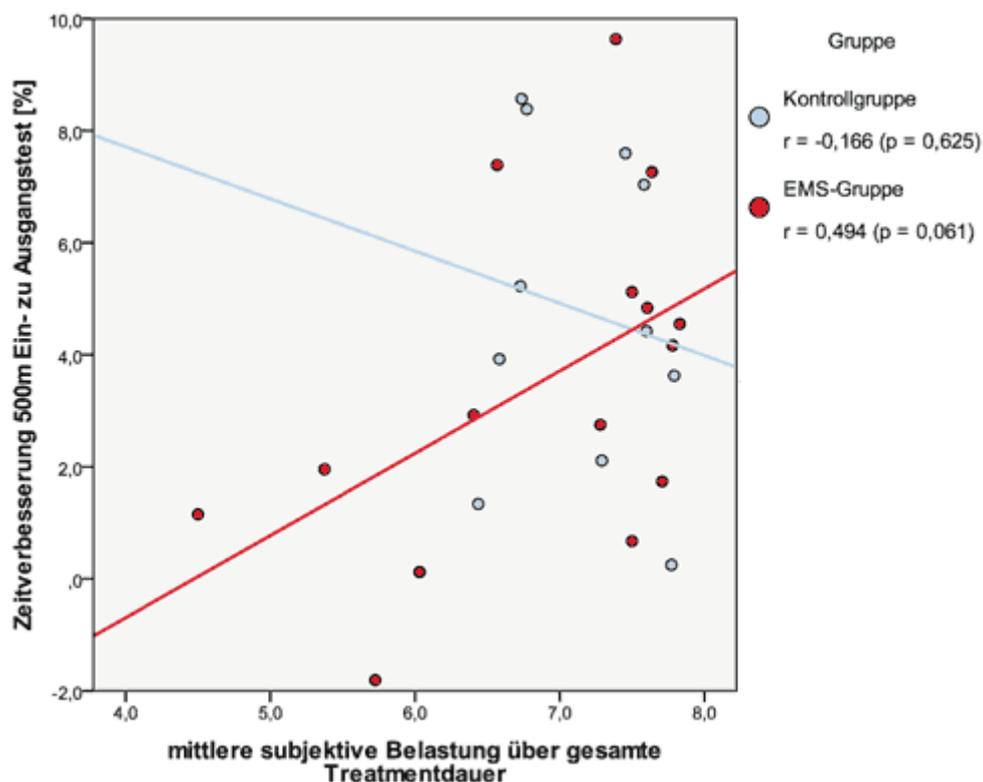


Abb. 2: Streudiagramm: Subjektives Belastungsempfinden zu prozentualer Zeitverbesserung von Eingangs- zu Ausgangstest.

Während das subjektive Belastungsempfinden in der EMS-Gruppe eine nahezu signifikante Korrelation aufweist und knapp 25% der Varianz in der Leistungssteigerung des Außenkriteriums aufzuklären vermag, zeigt sich in der Kontrollgruppe eindeutig kein systematischer Zusammenhang der beiden Variablen. Die nichtsymmetrische Verteilung lässt sich inferenzstatistisch mittels am Median dichotomisierter 500-m-Zeitverbesserung über den Mann-Whitney-U-Test für die EMS-Gruppe ($p = 0,021$) absichern.

Bezüglich der von den Probanden tolerierten Stromstärken zeigte sich konform zum im Forschungsstand bekannten Gewöhnungseffekt ein signifikanter Anstieg sowohl innerhalb einer Trainingseinheit, als auch über die gesamte Treatmentdauer hinweg (Abb. 3).

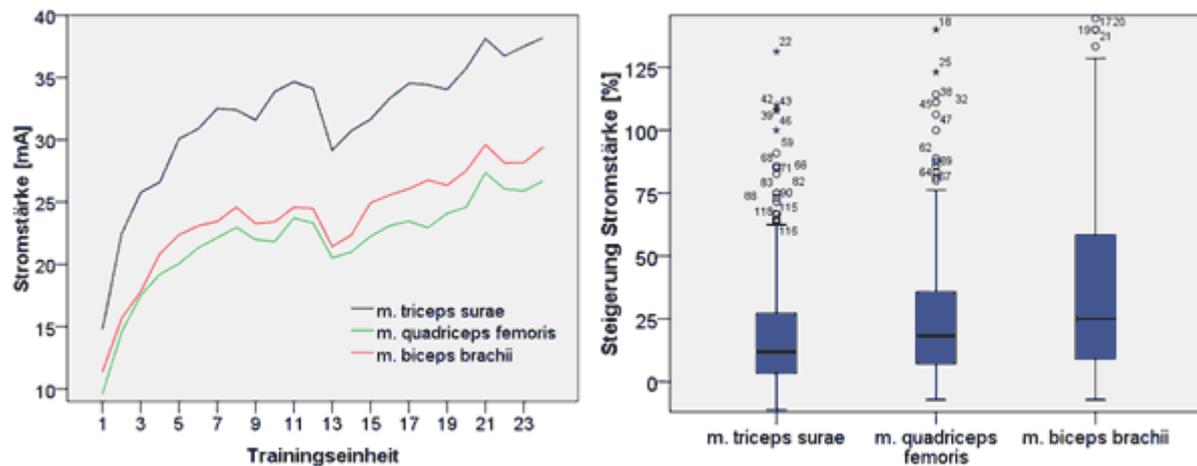


Abb. 3: Entwicklung der mittleren Stimulationsstromstärke über die einzelnen Trainingseinheiten hinweg (links) und prozentuale Steigerung innerhalb einer Trainingseinheit (rechts)

6 Diskussion und Schlussfolgerungen in Bezug auf den Praxistransfer

Die bewegungsbegleitend durchgeführte Elektromyostimulation im Kraftausdauertraining auf dem Ruderergometer führte zu einem nicht signifikant *geringerem Leistungsanstieg* als bei der Treatmentgruppe mit identischem Training ohne Elektromyostimulation. Da bei keinem der erfassten Einflussparameter der komplexen Wettkampfleistung ein positiver Effekt durch die Elektromyostimulation zu beobachten war und auch beim hier nicht näher erläuterten Retentionstest keine Leistungssteigerung in Relation zur Treatmentgruppe festzustellen war, muss die aufgestellte Hypothese klar verworfen werden und die hier angewendete Form der Elektromyostimulation zunächst als wirkungslos betrachtet werden.

Bemerkenswert ist jedoch die festgestellte Abhängigkeit der Trainingswirkung vom subjektivem Belastungsempfinden (Abb. 2), wobei sich dieses nicht auf unterschiedliche Belastungen im Training zurückführen lässt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Kraftausdauerleistungen mit EMS-Unterstützung sowohl mit weitgehend unverändertem subjektivem Belastungsempfinden im Vergleich zu Willkürbedingungen absolviert werden können, als auch mit möglicherweise verringerter zentralnervöser Aktivität mit der Folge eines geringeren Belastungsempfindens (Abb. 2 linker Bereich). Letzteres ist jedoch mit geringeren Adaptationsprozessen verbunden – überdurchschnittliche Leistungssteigerungen gehen in beiden Gruppen ausnahmslos mit hohen Werten des subjektiven Belastungsempfindens einher und geringe Leistungsfortschritte zeigen ausschließlich Probanden der EMS-Gruppe mit einhergehendem niedrigem Belastungsempfinden. Entscheidend für die Wirkung eines dynamischen, EMS-gestützten Trainings wäre somit die Aufrechterhaltung einer hohen Willküraktivität verbunden mit einer stärkeren subjektiven Belastungswahrnehmung. Rein muskelphysiologische Adaptationsprozesse, die ebenso durch reine periphere EMS-Aktivierung motorischer Einheiten hervorgerufen werden können und gleichen

Leistungsoutput generieren, würden demnach ein geringeres Potential zur Leistungssteigerung beinhalten als unter Beteiligung zentralnervöser Steuerungsprozesse wie sie bei Willkürkontraktionen zwingend nötig sind. Unklar bleibt zunächst allerdings, ob eine bewusste Beeinflussung im Sinne einer Vorgabe wie „sich nicht von der EMS helfen zu lassen“ möglich ist oder ob möglicherweise eine grundsätzliche Responderproblematik bei der EMS-Anwendung besteht und sie nur bei Probanden positive Effekte zeigt, deren subjektive Belastung bei zusätzlicher Stimulation nicht abfällt. Da dieser mögliche Effekt in bisherigen Studien keine Berücksichtigung fand, könnte hierin auch eine Erklärung von in vielen Bereichen widersprüchlichen Resultaten trotz vergleichbarer Studiendesigns liegen.

Literatur

Andrianowa, G. G., Koz, J. M., Martjanow, W. A. & Chwilon, W. A. (1974). Die Anwendung der Elektrostimulation für das Training der Muskelkraft. *Leistungssport*, 4(2), 138–142.

Bogomolov, A. N., Merkin, E. N. & Spirin, E. I. (1985). Korrekcija Tehniki i Povysenie Rabotosposobnosti v Greble na Bajdarkach i Kanoe Metodom Iskusstvenoj Aktivizacii Nervno - Mysecnych Struktur Sportsmenov [Korrektur der Technik und Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Kanu-Kajak durch künstliche Aktivierung der Nerven-Muskel-Strukturen der Sportler]. *Grebnoj Sport*, 37–43.

Dudley, G. A. & Stevenson, S. W. (2005). Use of Electrical Stimulation and Power Training. In P. V. Komi (Hrsg.). *Strength and power in sport* (An IOC Medical Commission publication, 2. Aufl., S. 426–435). Oxford: Blackwell Science.

Glinsky, J., Harvey, L. & van Es, P. (2007). Efficacy of electrical stimulation to increase muscle strength in people with neurological conditions: a systematic review. *Physiotherapy Research International*, 12(3), 175–194.

Gorodnicev, R. M. (1979). O Vozmoznostjach Razvitija Mysecnoj Vynoslivosti Metodom Funkcional 'Noj Elektrostimuljacii [Möglichkeiten zur Entwicklung der Muskelausdauer mit der Methode der Funktionellen Elektrostimulation]. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, (11), 20–21.

Ikai, M. & Yabe, K. (1969). Training effect of muscular endurance by means of voluntary and electrical stimulation. *European Journal of Applied Physiology*, 28(1), 55–60.

Martin, L., Cometti, G., Pousson, M. & Morlon, B. (1994). The influence of electrostimulation on mechanical and morphological characteristics of the triceps surae. *Journal of Sports Sciences*, 12(4), 377–381.

Morrissey, M. C. (1988). Electromyostimulation from a Clinical Perspective. A Review. *Sports Medicine*, 6(1), 29–41.

Mucha, C. (2004). Effekte der funktionellen Elektrostimulation (FES) auf die postoperative Atrophie des Musculus quadriceps femoris bei vorderer Kreuzbandrekonstruktion. *Phys Med Rehab Kuror*, (5), 249–253.

Poumarat, G., Squire, P. & Lawani, M. (1992). Effect of electrical stimulation superimposed with isokinetic contractions. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 32(3), 227–233.

Ragnarsson, K. T. (2008). Functional electrical stimulation after spinal cord injury: current use, therapeutic effects and future directions. *Spinal Cord*, 46(4), 255–274.

Snyder-Mackler, L., Delitto, A., Bailey, S. L. & Stralka, S. W. (1995). Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 77(8), 1166–1173.

Willoughby, D. S. & Simpson, S. (1996). The effects of combined electromyostimulation and dynamic muscular contractions on the strength of college basketball players. *Journal of strength and conditioning research*, 10(1), 40–44.

Willoughby, D. S. & Simpson, S. (1998). Supplemental EMS and dynamic weight training: effects on knee extensor strength and vertical jump of female college track & field athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 12(3), 131–137.

[1] Zwei Probanden der Kontrollgruppe mussten die Studie aus gesundheitlichen bzw. beruflichen Gründen vorzeitig beenden, bei zwei weiteren mussten die Daten des Eingangstests von der Auswertung ausgeschlossen werden.