

e-nema GmbH, Raisdorf

Bekämpfung von Scarabaeiden mit entomopathogenen Nematoden: Möglichkeiten und Grenzen

Controlling Scarabaeid-larvae with entomopathogenic nematodes: potentiality and limitations

Arne Peters

Zusammenfassung

Zur Bekämpfung des Gartenlaubkäfers (*Phyllopertha horticola*) hat sich in Deutschland und den benachbarten Ländern der Einsatz von *Heterorhabditis bacteriophora* durchgesetzt. Auch die Arten *Aphodius contaminatus*, *Hoplia philanthus*, *Serica brunnea* und *Anomala dubia* wurden mit diesem Nematoden schon erfolgreich bekämpft. Die Arten *Melolontha melolontha*, *M. hippocastani* und *Amphimallon solstitiale* sind dagegen mit den derzeit verfügbaren Nematodenarten nicht sicher bekämpfbar. Möglichkeiten zur Steigerung der Wirkung liegen in der kombinierten Behandlung von Engerlingen mit Nematoden und anderen Pathogenen (z. B. *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus popilliae*) oder Insektiziden. Die Identifikation anfälliger Lebensstadien und ein entsprechend abgestimmter Behandlungszeitpunkt tragen zur Wirksamkeit der Nematoden bei. Die Behandlung der Larven zum ersten Häutungszeitpunkt ermöglichte beispielsweise die erfolgreiche Bekämpfung von *A. solstitiale* mit *H. bacteriophora*. Als erfolgversprechend wird die Suche nach wirksameren Nematodenarten erachtet. Der jüngst ermutigendste Fund ist die Art *Steinernema scarabaei*, dessen Massenproduktion jedoch bislang nicht gelungen ist.

Stichwörter: Scarabaeidae, entomopathogene Nematoden, *Steinernema scarabaei*, *Steinernema glaseri*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Melolontha melolontha*, *Amphimallon solstitiale*, *Hoplia philanthus*, *Serica brunnea*, *Phyllopertha horticola*, *Aphodius contaminatus*, *Anomala dubia*

Abstract

The entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* is now widely used in Germany and adjacent countries to control the garden chafer (*Phyllopertha horticola*). Besides, the species *Aphodius contaminatus*, *Hoplia philanthus*, *Serica brunnea* and *Anomala dubia* were controlled successfully using this nematode. In contrast, the species *Melolontha melolontha*, *M. hippocastani* and *Amphimallon solstitiale* can not be safely controlled with the nematodes available. Options for enhancing efficacy are the combined treatment of chafer grubs with nematodes and other pathogens (e.g. *Bacillus thuringiensis*, *Paenibacillus popilliae*) or insecticides. Identifying susceptible life stages and timing the treatment accordingly contribute to a reproducible efficacy of nematodes. For example, when treating larvae at first moult, *A. solstitiale* could be controlled with *H. bacteriophora*. Surveys for more efficient nematode isolates are

considered promising. The most encouraging recent discovery was *Steinernema scarabaei*, however, its mass production has not been yet successful.

Key words: Entomopathogenic nematodes, cockchafer, cockchafer larvae, Scarabaeidae, *Steinernema* sp., *Heterorhabditis bacteriophora*, *Melolontha melolontha*

Einleitung

Die Scarabaeiden verbringen etwa 90 % ihres Lebens als Larven im Boden oder in feuchten Substraten. Sie stellen somit ideale Wirte von insektenpathogenen Nematoden dar. So ist es nicht erstaunlich, dass viele der heute bekannten Arten in befallenen Engerlingen gefunden wurden (PETERS, 1996). Folgerichtig zielte der erste bewusste Einsatz entomopathogener Nematoden gegen Scarabaeidenlarven: Die Larven des in den USA eingeschleppten Japankäfers, *Popillia japonica*, wurden durch Ansiedlung von *Steinernema glaseri* schon in den 30er Jahren bekämpft (GLASER und FARRELL, 1935). In Deutschland werden seit 1997 auf größeren Flächen Nematoden zur Bekämpfung des Gartenlaubkäfers, *Phyllopertha horticola*, eingesetzt. Die Bekämpfung des Maikäfers, *Melolontha melolontha*, und des Junikäfers, *Amphimallon solstitiale*, mit Nematoden war bislang jedoch nicht erfolgreich. Dieser Beitrag stellt die Möglichkeiten des Nematodeneinsatzes gegen Engerlinge dar, zeigt die Grenzen auf und diskutiert Ansätze zur Überwindung derselben.

Anfällige Engerlingsarten

Der Begriff „Engerling“ bezeichnet in diesem Beitrag die Larven sämtlicher Scarabaeiden, nicht nur des Maikäfers, *Melolontha melolontha*. Seit den frühen 80er Jahren werden aus den Niederlanden vermehrt Schäden an Rasenflächen durch den Gartenlaubkäfer, *P. horticola*, gemeldet (DE GOFFAU, 1996). In Deutschland wurden spätestens seit Beginn der 90er Jahre vermehrt Schäden durch *P. horticola* beobachtet. In beiden Ländern wurde die Möglichkeit der Bekämpfung mit entomopathogenen Nematoden untersucht (SMITS et al., 1994; SULISTYANTO und EHLERS, 1996). Während in den Niederlanden mit der Art *H. megidis* nur unzureichende Ergebnisse im Freiland erzielt wurden, war der Einsatz von *H. bacteriophora* in Deutschland erfolgreich. Insbesondere wurden auch die Larven des Dungkäfers, *Aphodius contaminatus*, erfolgreich bekämpft. Seit 1997 wird *H. bacteriophora* im Produkt **nema-green**® gegen Engerlinge auf Sport- und Zierrasen vertrieben. Im Jahr 2002 wurden in Deutschland, Österreich, Belgien, den Niederlanden und Dänemark etwa 200 ha Ra-

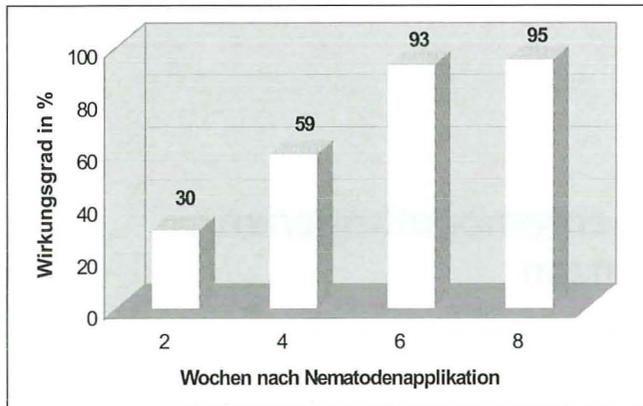
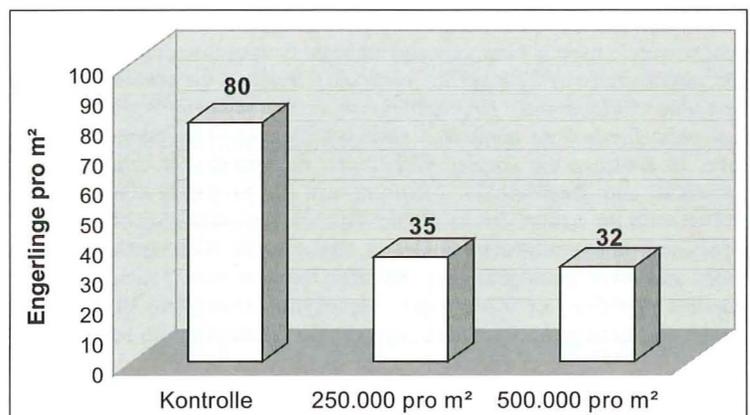


Abb. 1. Zeitlicher Verlauf der Wirkung von *Heterorhabditis bacteriophora* gegen *Phyllopertha horticola* nach Ausbringung von 0,5 Millionen Nematoden pro m² auf dem Golfplatz Aukrug im August 2000.

senfläche mit **nema-green**® behandelt. Außer dem Gartenlaubkäfer treten gelegentlich der Purzelkäfer, *Hoplia philanthis*, und der Dungkäfer, *Aphodius contaminatus*, auf. Beide Arten können ebenfalls mit **nema-green**® behandelt werden. Während der Gartenlaubkäfer von Mitte Juli bis Mitte September behandelt wird, sollten die beiden anderen Arten im April/Mai bekämpft werden. Gelegentlich treten auch der Julikäfer, *Anomala dubia*, und der rotbraune Laubkäfer, *Serica brunnea*, auf. Beide Arten sind mit *H. bacteriophora* bekämpfbar (VLUG, 2001).

Um die Wirkung der Nematoden zu gewährleisten, sind die Anwendungshinweise unbedingt zu beachten. Die Nematoden sollten vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden und deshalb erst gegen Abend ausgebracht werden. Nach der Ausbringung sollte der Boden bewässert werden. In den folgenden 3 Wochen sollte auf eine gute Wasserversorgung des Rasens geachtet werden. Ein dichter Wurzelfilz behindert das Eindringen der Nematoden in den Boden. Die Wasserführung durch die Rasenschicht kann durch im Handel erhältliche Hilfsmittel deutlich verbessert werden. Damit wird nicht nur der Transport der Nematoden in tiefere Bodenschichten erleichtert, sondern auch die Feuchtigkeit im Boden verbessert. Die Wirkung der Nematoden baut sich über mehrere Generationen auf (Abb. 1) und nur eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit gewährleistet das Auswandern der Nematoden aus den aufgezehrten Kadavern und die Re-Infektion gesunder Engerlinge. Es wird im Allgemeinen eine Aufwandmenge von 0,5 Millionen Nematoden pro m² empfohlen. In Einzelversuchen hat sich gezeigt, dass mit der halben Aufwandmenge die gleiche Wirkung erzielt werden kann (Abb. 2).

Abb. 2. Einfluss der Aufwandmenge (250 000 und 500 000 Nematoden/m²) auf den Rückgang der Larven von *Phyllopertha horticola* 4 Wochen nach Behandlung mit *Heterorhabditis bacteriophora* auf dem Golfplatz Aukrug im August 2003.



Arten mit geringer Anfälligkeit

Schädliche Scarabaeiden, die gegen die bislang untersuchten Arten entomopathogener Nematoden nur wenig anfällig sind, sind der Maikäfer, *Melolontha melolontha*, und der Junikäfer, *Amphimallon solstitiale*. Auch der Waldmaikäfer, *M. hippocastani*, erwies sich als weitgehend resistent gegen entomopathogene Nematoden (BERNER, 2003). Unterschiedliche Mechanismen sorgen für die relativ hohe Resistenz der beiden Arten gegen die Arten der Gattungen *Steinernema* und *Heterorhabditis*: Bei Larven von *M. melolontha* schützen mechanische Barrieren offensichtlich recht effizient vor dem Eindringen von Nematoden. Gelangen diese aber in das Hämocoel, hat das Immunsystem den Nematoden und den symbiotischen Bakterien nicht viel entgegenzusetzen (PETERS, 2000; BERNER, 2003). Die Larven des Junikäfers überleben selbst die Injektion von bis zu 14 Nematoden in das Hämocoel (SMITS, 1992). Die Effizienz der mechanischen Barrieren wurde bei dieser Art nicht näher untersucht.

Ansätze zur Steigerung der Wirksamkeit entomopathogener Nematoden

Eine Steigerung der Virulenz von *S. glaseri* gegen *M. melolontha* nach einigen Vermehrungszyklen in diesem Wirt wurde erstmals von VLUG (1995) beschrieben. Es blieb allerdings unklar, ob diese Steigerung durch genetische Selektion eintrat. Auffällig war, dass schon nach einer Generation in dem alternativen Wirt *G. mellonella* die Nematoden die hohe Wirksamkeit verloren (GERRITSEN et al., 1998). BERNER (2003) hat die Veränderung der Infektivität von *H. bacteriophora* und *S. glaseri* nach Passagen durch Larven von *M. melolontha* untersucht und für *H. bacteriophora* keine langfristige Steigerung feststellen können. Nur im ersten Selektionszyklus kam es zu einer auffälligen Steigerung, die in den folgenden Passagen wieder verloren ging. Der Autor erklärt den anfänglichen Anstieg mit dem Wirtswechsel, vermutet also phänotypische statt genetische Ursachen. Bei *S. glaseri* wurde auch über die folgenden Passagen durch Larven von *M. melolontha* ein stetiger Anstieg der Infektivität festgestellt. Im Gegensatz zu *H. bacteriophora* wurde bei *S. glaseri* eine Heritabilität ermittelt, die signifikant von 0 verschieden war. Nach 8 bis 9 Selektionszyklen war allerdings keine weitere Steigerung der Infektivität zu erzielen. Trotz zahlreicher Projekte zur Selektion von entomopathogenen Nematoden auf bestimmte Eigenschaften (GAUGLER und CAMPBELL, 1991; GLAZER et al., 1996; GRIFFIN und DOWNES, 1994) wurde bislang kein derart veränderter Nematode in der Praxis eingesetzt. Ein ungelöstes Problem ist die Stabilisierung einer selektierten Eigenschaft. Wenn der Selektionsdruck nachlässt oder durch andere Selektionsbedingungen ersetzt wird, wie beispielsweise bei der Massenvermehrung

der Nematoden im Bioreaktor, verschwinden die selektierten Merkmale wieder.

Die Kombination von Nematoden mit biologischen oder chemischen Insektiziden zur Bekämpfung von Scarabaeiden ist in den USA eingehender untersucht worden. Es zeigte sich, dass *Bacillus thuringiensis japonensis* die Anfälligkeit von *Cycolophala hirta* gegen *H. bacteriophora* erhöhte (KOPPENHÖFER et al., 1999). Auch der Befall mit dem Bakterium *Paenibacillus popilliae* erhöhte deren Anfälligkeit gegen *H. bacteriophora* (THURSTON et al., 1993). Sublethale Dosen des Neonicotinoids Imidacloprid verstärken die Anfälligkeit von *C. hirta* und *C. pasadenae* gegen *H. bacteriophora*. Der Einsatz dieser Chemikalien bedarf in Deutschland einer Ausnahmegenehmigung (nach § 18a/b Pflanzenschutzgesetz), die nur erteilt wird, wenn es keine alternativen Bekämpfungsverfahren gibt, also derzeit gegen den Juni- und den Maikäfer. Es ist daher dringend zu prüfen, ob durch die Kombination von Nematoden und Imidacloprid nicht bei Erteilung solcher Ausnahmegenehmigungen zumindest die Menge des hochpersistenten Imidacloprids auf ein Mindestmaß reduziert werden kann.

Die Engerlinge von *A. solstitiale* leben 2 bis 3 Jahre, die von *M. melolontha* 3 bis 4 Jahre im Boden. Während dieser Zeit durchlaufen sie 3 Larvenstadien und das Puppenstadium. Es ist anzunehmen, dass die Anfälligkeit der Tiere während dieser langen Entwicklungszeit stark schwankt. Beim Gartenlaubkäfer ist das 3. Larvenstadium für *H. bacteriophora* das anfälligste (SMITS, 1992), während beim Maikäfer die L1-Larven am ehesten von *H. bacteriophora* befallen werden (PETERS, 2000). Dagegen befällt *S. glaseri* eher die späten L2- und die L3-Larven und sogar die Puppen (BERNER, 2003). Die Puppen des Junikäfers sollen laut TOMALAK (pers. Mitteilung) das anfälligste Stadium gegen *S. arenarium* sein. In Freilandversuchen hat HENK VLUG (www.Insectconsultancy.nl) durch eine genaue Abstimmung der Behandlung auf den Übergang von der L1- zur L2-Larve des Junikäfers eine zufrieden stellende Wirkung von *H. bacteriophora* erreichen können. Eine solche genau abgestimmte Behandlung erfordert viel Zeit und Sachverstand. Beides kann bei Betreuern von Grünanlagen und Golfplätzen nicht vorausgesetzt werden, sondern muss durch Personal eingebracht werden. Eine Behandlung wird dadurch etwas teurer, bleibt aber bezahlbar. In den Niederlanden nehmen viele Greenkeeper den Service von Insect Consultancy in Anspruch, um die Wirkung der Nematoden gegen die Engerlinge abzusichern.

Die bislang entdeckten Nematodenarten machen nur einen Bruchteil der tatsächlich vorhandenen Arten aus. In Deutsch-

land unterscheidet STURHAN (1996) neben *S. feltiae*, *S. carpocapsae*, *S. bicornutum*, *S. affine*, *S. intermedium* und *S. kraussei* noch weitere 5 unbeschriebene Arten. Die weit verbreitete Praxis der Köderung von entomopathogenen Nematoden mit *G. mellonella*-Larven ist zu selektiv, um diese Arten zu isolieren. Gelegentlich werden in den Scarabaeiden selbst entomopathogene Nematoden gefunden. Aus Larven des Maikäfers wurden in Süddeutschland zweimal *H. bacteriophora* isoliert (M. BERNER, pers. Mitteilung). Die Infektivität dieser Isolate gegen Maikäfer war aber nicht höher als die anderer *H. bacteriophora*-Isolate. In einer Population von Engerlingen (vermutlich *Geotrogus inflatus*) auf Weinbergen in Marokko waren mehr als 50% der Larven mit Nematoden befallen, die morphologisch der Art *S. glaseri* nahe stehen, sich aber nicht fruchtbar mit dieser fortpflanzen. Es handelt sich um eine bislang nicht beschriebene Art. Dieses Isolat wies gegen *A. solstitiale* und *M. melolontha* zwar eine höhere Infektivität auf, erwies sich im Freilandversuch aber nur bei einer stark erhöhten, unwirtschaftlichen Nematodendosis als wirksam (PETERS und GALARZA, 2002). Eine deutlich bessere Wirkung als alle anderen Nematodenarten, insbesondere gegen bislang weitgehend resistente Engerlingsarten, zeigt dagegen die Art *S. scarabaei* (KOPPENHÖFER und FUZY, 2003). Nicht nur die resistenten Arten in Nordamerika werden von dieser Art hinreichend gut parasitiert, auch die europäischen Problemarten *M. melolontha* und *A. solstitiale* erwiesen sich im Laborversuch als außergewöhnlich anfällig gegen diese Nematoden (Abb. 3).

Literatur

- BERNER, M., 2003: Untersuchungen zur Infektionsbiologie und Heritabilität von Infektionsparametern entomopathogener Nematoden bei Larven der Maikäfer (*Melolontha* spp.) sowie Charakterisierung der Nematoden durch DNA-Fingerprinting. Dissertation, Ruprecht-Karls-Universität, Naturwissenschaftlich-Mathematische Gesamtfakultät, Heidelberg, 275 S.
- DE GOFFAU, L. J. W., 1996: Population development and dispersal of *Melolontha* and other Scarabaeidae in the Netherlands during the past 10 years. IOBC/wprs bulletin **19** (2), 9–14.
- FISCHER, R., O. STRAUCH, A. KOPPENHÖFER, R.-U. EHLERS, im Druck: *Steinernema scarabaei*, a highly potent antagonist for *Melolontha melolontha*, *Amphimallon solstitiale* and *Phyllopertha horticola*. IOBC/wprs bulletin, Working Group "Insect pathogens and entomopathogenic nematodes" (im Druck).
- GAUGLER, R., J. F. CAMPBELL, 1991: Selection for enhanced host-finding of scarab larvae (Coleoptera, Scarabaeidae) in an entomopathogenic nematode. Environ. Entomol. **20** (2), 700–706.
- GERRITSEN, L. J. M., G. L. WIEGERS, P. H. SMITS, 1998: Selection of entomopathogenic nematodes *Steinernema glaseri* for improved pathogenicity against grubs. IOBC/wprs bulletin **21** (4), 167–171.
- GLASER, R. W., C. C. FARRELL, 1935: Field experiments with the Japanese beetle and its nematode parasite. J. New York Entomol. Soc. **43**, 345–371.
- GLAZER, I., L. SALAME, D. SEGAL, 1996: Genetic enhancement of nematicide resistance by selection in the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis bacteriophora* HP88. In: Program and abstracts SIP 29th annual meeting and IIRD international colloquium on *Bacillus thuringiensis*. Sip (Hrsg.). Universidad de Cordoba, 1–6 September, 1996, Cordoba, Spain, 31.
- GRIFFIN, C. T., M. J. DOWNES, 1994: Selection of *Heterorhabditis* sp. for improved infectivity at low temperatures. In: COST 812 – Biotechnology – Genetics of entomopathogenic nematode-bacterium complexes. A. M. BURNELL, R.-U. EHLERS, J. P. MASSON (Hrsg.). Brussels, Luxembourg EUR 15681 EN, Maynooth, Co. Kildare, Ireland, 143–151.
- KOPPENHÖFER, A. M., H. Y. CHOO, H. K. KAYA, D. W. LEE, W. D. GELERNTER, 1999: Increased field and greenhouse efficacy against scarab grubs with a combination of an entomopathogenic nematode and *Bacillus thuringiensis*. Biological Control **14**, 37–44.
- KOPPENHÖFER, A. M., E. M. FUZY, 2003: *Steinernema scarabaei* for the control of white grubs. Biological Control **28**, 47–59.
- PETERS, A., 1996: The natural host range of *Steinernema* and *Heterorhabditis* spp. and their impact on insect populations. Biocontrol Sci. Technol. **6**, 389–402.

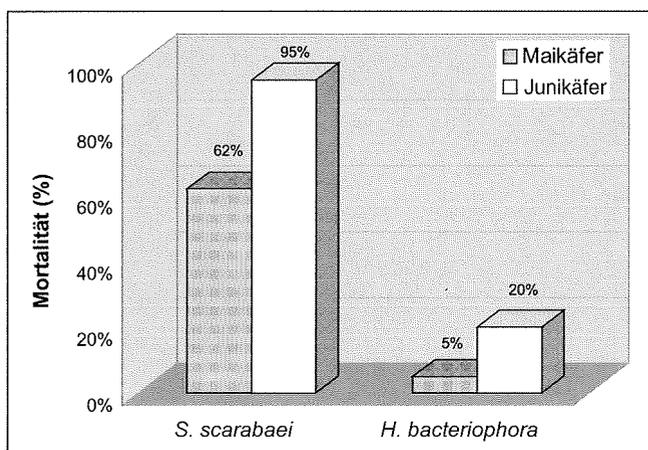


Abb. 3. Mortalität von Juni- und Maikäferlarven 7 Tage nach Behandlung mit *Steinernema scarabaei* oder *Heterorhabditis bacteriophora* (nach FISCHER et al., im Druck).

- PETERS, A., 2000: Susceptibility of *Melolontha melolontha* to *Heterorhabditis bacteriophora* H. megidis and *Steinernema glaseri*. IOBC/wprs bulletin **23**(8), 39–46.
- PETERS, A., M. GALARZA, 2002: Evaluation of a new *Steinernema* sp. against *Melolontha melolontha* and *Amphimallon solstitiale*. IOBC/wprs bulletin **25** (7), 23–28.
- SMITS, P. H., 1992: Control of white grubs, *Phyllopertha horticola* and *Amphimallon solstitiale* in grass with heterorhabditid nematodes. In: Use of pathogens in scarab pest management. T. JACKSON and T. GLARE (Hrsg.). Intercept, Andover, UK, pp. 229–35.
- SMITS, P. H., G. L. WIEGERS, H. J. VLUG, 1994: Selection of insect parasitic nematodes for biological control of the garden chafer, *Phyllopertha horticola*. Entomol. exp. appl. **70**, 77–82.
- STURHAN, D., 1996: Studies on the natural occurrence and distribution of entomopathogenic nematodes. Russian Journal of Nematology **4** (1), 98.
- SULISTYANTO, D., R.-U. EHLERS, 1996: Efficacy of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis megidis* and *Heterorhabditis bacteriophora* for the control of grubs (*Phyllopertha horticola* and *Aphodius contaminatus*) in golf course turf. Biocontrol Sci. Technol. **6**, 247–250.
- THURSTON, G. S., H. K. KAYA, T. M. BURLANDO, R. E. HARRISON, 1993: Milky disease bacterium as a stressor to increase susceptibility of scarabaeid larvae to an entomopathogenic nematode. J. Invertebr. Pathol. **61** (2), 167–172.
- VLUG, H. J., 2001: Engerlingen – Können wir ermee leben? Greenkeeper **12** (3), 8–11.
- VLUG, H. J., 1995: Occurrence and biocontrol of grassgrubs, especially of *Melolontha melolontha*. IOBC/wprs **19**(2), 35–36.

Zur Veröffentlichung angenommen: Februar 2004

Kontaktanschrift: Dr. Arne Peters, e-nema GmbH, Klausdorfer Str. 28–36, D-24223 Raisdorf, E-Mail: a.peters@e-nema.de