Größe-Gewichts Formeln als effektive Methode zur Biomassebestimmung bei Laufkäfern: Eine Evaluation von existierenden Formeln, Vorschläge zur Optimierung und Empfehlungen zur Anwendung

Fabio Weiss [1,2] & Andreas Linde [1]

[1] Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich Wald und Umwelt
[2] Leuphana Universität Lüneburg, Fakultät für Nachhaltigkeit

Abstract: Size-weight equations as an effective method to determine carabid biomass: An evaluation of existing equations, suggestions for further improvement and recommendations for practical application

Insect biomass has been used as an ecological indicator in the past, but in recent years has become a key metric in the study of insect population trends, especially since the first reports about the so-called insect decline. However, directly measuring insect biomass can be methodologically challenging, labour intensive and, in the case of purely digital data, not possible; depending on the methods used, it can even introduce bias. Size-weight equations provide a straightforward method for estimating insect biomass when the insect's body length is known. Although, they are widely used in insect research, they have rarely been tested with independent data so far. We evaluated two size-weight equations for carabid beetles (Coleoptera:Carabidae), by Szyszko (1983) and Booij & al. (1994), drawing on independent data by comparing model predictions with actual measurements of biomass. We found that both models produced systematically biased results: Szyszko´s equation yielded more accurate results for larger species, while the equation of Booij & al. did so for smaller species. Moreover, we found that the inclusion of additional taxonomic parameters, in this case subfamily, could generally improve results. However, limited data availability currently does not permit the development of a taxonomically informed equation with practical applicability. Meanwhile, we recommend a combined use of both evaluated equations: Szyszko's for carabids ≥ 11.8 mm, and the equation of Booij & al. for carabids < 11.8 mm, respectively, and give further advice for the practical application of size-weight equations.

Key words: Carabidae, Biomasse, Insekten-Monitoring, Insektenrückgang, Methoden, biomass, insect monitoring, insect decline, methods

Andreas Linde, Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde, E-Mail: andreas.linde@hnee.de

Einleitung

Seit den ersten Berichten über einen gravierenden Insektenrückgang (Sorg & al. 2013, Hallmann & al. 2017), ist Insektenbiomasse zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Studien gerückt – so auch bei Laufkäfern (Coleoptera:Carabidae) (z.B. Hallmann & al. 2020). Das direkte Wiegen der abgetropften Fänge (zumeist aus Bodenfallen) ist dabei eine naheliegende und oft verwendete Methode zur Biomassebestimmung und ist im aktuellen Methodenleitfaden „Insektenmonitoring" des Bundesamtes für Naturschutz für Laufkäfer vorgesehen (BfN 2023). Neben dem relativ hohen Arbeitsaufwand bringt diese Methode jedoch Probleme mit sich: Fang- und Konservierungsflüssigkeiten können Abtropf- und sogar Trockengewichte nachweislich verfälschen (Braun & al. 2009, Knapp 2012); anhaftende Verunreinigungen aus den Fallen sind dabei ein weiterer Faktor. Auch ist auf diesem Wege eine nachträgliche Bestimmung der Biomasse bei archivierten oder historischen Daten, die nur digital oder in Papierform vorliegen, nicht möglich. Eine Option diese Probleme zu umgehen, bietet die Beziehung zwischen Gewicht und Körpergröße bei Insekten. Meist besteht eine enge lineare Korrelation zwischen

den Logarithmen beider Metriken. Es existieren mehrere Formeln, die diese Korrelation ausnutzen und eine Biomasseberechnung auf Basis der Körpergröße ermöglichen, sowohl für Insekten im Allgemeinen (Rogers & al. 1976, Gruner 2003), als auch speziell für Laufkäfer. Während sich einige dieser Formeln auf Trockengewichte beziehen (Jarosik 1989, Sabo & al. 2002, Gruner 2003), lassen sich mit anderen Lebendgewichte errechnen (Szyszko 1983, Booij & al. 1994). In der Forschung werden verschiedene Formeln bereits regelmäßig zur Ermittlung von Biomasse angewendet (z.B. Cárdenas & Hidalgo, 2007, Saint-Germain & al. 2007, Homburg & al. 2019, Skarbek & al. 2021), doch ihre Gültigkeit wurde bis jetzt noch nicht anhand unabhängiger Daten überprüft.

Methoden

Wir nutzten unabhängige Daten, durchschnittliche Lebendgewichte und Größen von 149 Laufkäferarten (Schultz 1998), um die Gültigkeit der Formeln von Booij & al. (1994) und Szyszko (1983) zu überprüfen. Des Weiteren nutzten wir die ebenfalls veröffentlichten Daten von Booij & al. (1994) von 107 Laufkäferarten, um mittels linearer Regression eine eigene Formel mit zusätzlichen taxonomischen Parametern (in diesem Fall Unterfamilien) zu entwickeln und wiederum mit den Daten von Schultz (1998) zu überprüfen. Der Vergleich der mit den verschiedenen Formeln errechneten und tatsächlich gemessenen Lebendgewichten geschah durch Regressionsanalyse. Es wurde dabei getestet, inwieweit die Beziehung der beobachteten Werte zu den vorhergesagten Werte von der Steigung 1 abwich (observed vs. predicted regression nach Piñeiro & al. 2008). Weitere Details zu den Methoden sind in Weiss & Linde (2022) nachzulesen.

Formel nach Szyszko (1983):	$\ln(weight[g]) = -8.92804283 + 2.5554921 * \ln(size[mm])$
Formel nach Booij & al. (1994):	$\log(weight[mg]) = -1.3 + 2.95 * \log(size[mm])$

Ergebnisse

Beim Vergleich mit tatsächlich gemessenen Lebendgewichten (Schultz 1998) weisen die Berechnungen mit Größe-Gewichtsgleichungen Abweichungen von -50% bis +150% auf. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Biomasseberechnungen nach der Formel von Szyszko (1983) vor allem bei kleineren Arten signifikant von den gemessenen Werten abweicht, während dies bei Verwendung der Formel von Booij & al. (1994) vor allem bei größeren Arten der Fall ist (Abb.1). Eine Formel mit zusätzlichen Parametern für Laufkäfer-Unterfamilien zeigt hingegen keinerlei signifikante Abweichungen von den gemessenen Werten und weist mit R^2=0.986 ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß auf (Szyszko (1983): R^2=0.964, Booij & al. (1994): keine Angaben). Abb. 1 (rechts) zeigt, dass die Unterfamilien unterschiedliche Größe-Gewichtsbeziehungen aufweisen: Beispielsweise ist die Beziehung für Carabinae flacher, während sie für Nebriinae und Trechinae steiler ist.

Diskussion

Die Abweichungen der berechneten Laufkäferbiomassen zwischen den beiden Formeln lassen sich durch die jeweils zugrundeliegenden Daten erklären. Während Szyszko (1983) in polnischen Wälder mit Bodenfallen wahrscheinlich (die Artenlisten und Rohdaten sind nicht veröffentlicht) verhältnismäßig größere Arten fing, sammelte Booij & al. (1994) im Offenland (Niederlande) mehr kleinere Arten mit Bodenfallen und Handfängen. Die von uns zum Vergleich genutzten Daten von Schultz (1998) wurden mit Handfängen in Vorpommern aufgenommen und beinhalten überwiegend kleinere, aber auch einige größere Arten (z. B. acht *Carabus* Arten). Wir deuten unsere Ergebnisse dahingehend, dass die Größe-Gewichts Beziehung verschiedener taxonomischer Gruppen (hier Unterfamilien) von Laufkäfern voneinander abweichen. Da sich die verschiedenen Unterfamilien auch in ihren durchschnittlichen Größen unterscheiden (z. B. Trechinae und Carabinae) könnte das wiederum zu einer generellen Größe-Gewichts Beziehung bei Carabiden führen, die sich mit der Größe ändert und somit (logarithmiert) nicht komplett linear wäre. Die aktuell geringe Datenmenge zu Lebendgewichten von Laufkäfern schränkt die generelle Anwendbarkeit von Größe-Gewichts Gleichungen mit taxonomischen Parametern momentan noch ein. Bis sich dies ändert, empfehlen wir die Verwendung der Formel nach Booij & al. (1994) für Laufkäfer <11.8 mm und der nach Szyszko (1983) für Laufkäfer ≥ 11.8mm.

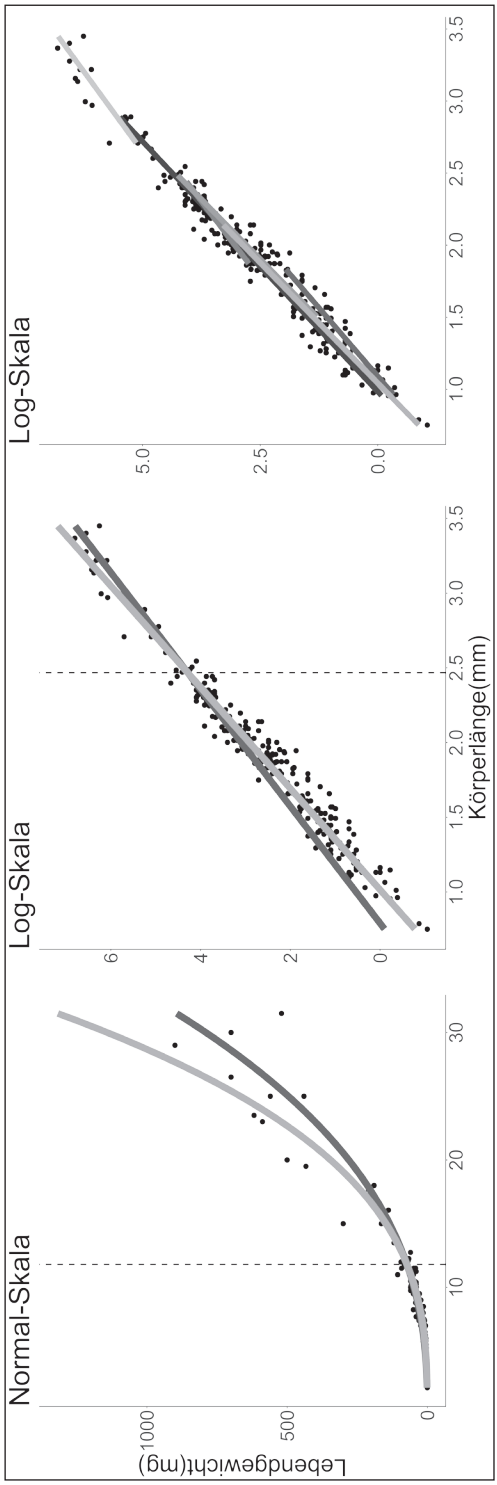

Abb. 1: Darstellung der Daten von Booij & al. (1994) und Schultz (1998) nicht transformiert (links) und log-transformiert (mitte und rechts).
Links und mitte: Die Größe-Gewichts Beziehung nach Booij & al. (1994) (hellgrau) und Szyszko (1983) (dunkelgrau) sind jeweils als Linien dargestellt, während die gestrichelte Linie ihren Schnittpunkt markiert (~11.8mm).
Rechts: Die Linien in verschiedenen Graustufen repräsentieren Größe-Gewichts Beziehungen für verschiedene Laufkäfer-Unterfamilien.

Wir schließen uns Schwerk & Szyszko (2007) sowie Knapp (2012) an, die das direkte Wiegen von Lebendfängen als genauste Methode der Biomassebestimmung bei Laufkäfern empfehlen. Hierbei sollten aufgrund jahreszeitlicher Gewichtsschwankungen (Knapp 2012) die Tiere möglichst im ganzen Verlauf der Vegetationsperiode gefangen werden; je Art sollten dabei mindestens 50 Tiere für die Ermittlung eines Referenzgewichtes gewogen werden (Schwerk & Szyszko 2007). Sollte dies wegen des hohen Arbeitsaufwands oder weil historische Daten ausgewertet werden nicht möglich sein, können beschriebenen Größe-Gewichts Formeln verwendet werden. Beide Methoden sind der Verwendung von Abtropfgewichten aus genannten Gründen (siehe oben) vorzuziehen. Unsere Ergebnisse zeigen, dass auch Berechnungen mit Größe-Gewichtsgleichungen erhebliche Abweichungen aufweisen können. Wir gehen allerdings davon aus, dass diese sich vor allem bei größeren Datensätzen ausgleichen, da zwischen Größe und Gewicht insgesamt eine starke und klare Korrelation besteht. Aufgrund der Logarithmustransformation ist es allerdings wichtig, dass Größe-Gewichtsgleichungen insbesondere für größere Arten größtmögliche Genauigkeit aufweisen. Die Genauigkeit der Berechnungen lässt sich steigern, indem man pro Art die Körperlänge (Mandibel bis Flügeldeckenspitze) von mind. 50 Individuen misst und den Durchschnittswert als Referenzgröße für den jeweiligen Datensatz verwendet. Dies sollte bestenfalls separat für verschiedene Erfassungsgebiete und –Jahre geschehen. Allerdings sollte an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass sich durch die Lagerung in ethanolhaltigen Konservierungsflüssigkeiten wie z.B. Scheerpeltz-Lösung (Scheerpeltz, 1936: 70% Ethanol, 25% Wasser, 5% Essigsäure) die Maße der gelagerten Insekten und somit auch die Körperlänge verändern können (Hódar 1996). Falls eine direkte Größenmessung, wie im Falle historischer Daten, nicht möglich sein sollte, kann auf Durchschnittsgrößen aus der Bestimmungsliteratur oder aus Online-Datenbanken zurückgegriffen werden (Müller-Motzfeld 2004, Lompe 2012, Homburg & al. 2014).

Wir stellen eine Sammlung von verschieden Größe-Gewichts Gleichungen mitsamt Funktionen zur schnellen Anwendung in R auf Researchgate.net zur Verfügung (https://doi.org/ 10.13140/RG.2.2.26560.00007/1).

Danksagung
Wir danken Kees Booij und Kolleg*innen sowie Roland Schultz für die Veröffentlichung ihrer Rohdaten – eine Praxis, die Transparenz in der Wissenschaft fördert und weitere Forschungen wie diese anregt und ermöglicht. Diese Forschung wurde durch das Biosphere Reserves Insitute vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur (MWFK) des Landes Brandenburgs gefördert.

Literaturverzeichnis

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2023): Einheitlicher Methodenleitfaden „Insektenmonitoring“ – https://www.bfn.de/sites/default/files/2023-02/Methodenleitfaden_Insektenmonitoring_barrierefrei_2023.pdf: 67 pp. (Stand 6.3.2023).

Booij, K.; den Nijs, L.; Heijermann, T.; Jorritsma, I.; Lock, C. & Noorlander, J. (1994): Size and weight of carabid beetles: ecological applications. – Proc. Exper. Appl. Entomol. **5:** 93-98.

Braun, M.; Simon, E.; Fábián, I. & Tóthmérész, B. (2009): The effects of ethylene glycol and ethanol on the body mass and elemental composition of insects collected with pitfall traps. – Chemosphere **7:**1447-1452.

Cárdenas, A.M. & Hidalgo, J.M. (2007): Application of the mean individual biomass (MIB) of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) to assess the recovery process of the Guadiamar Green Corridor (southern Iberian Peninsula). – Biodivers. Conserv. **16**: 4131-4146.

Gruner, D.S. (2003): Regressions of Length and Width to Predict Arthropod Biomass in the Hawaiian Islands. – Pac. Sci. **57**: 325-336.

Hallmann, C.A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H.; Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörren, T.; Goulson, D. & de Kroon, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. – PLOS ONE **12**: e0185809

Hallmann, C.A.; Zeegers, T.; van Klink, R.; Vermeulen, R.; van Wielink, P.; Spijkers, H.; van Deijk, J.; van Steenis, W. & Jongejans, E. (2020): Declining abundance of beetles, moths and caddisflies in the Netherlands. – Insect Conserv. Divers. **13**: 127-139.

Hódar, J.A. (1996): The use of regression equations for estimation of arthropod biomass in ecological studies. – Acta Oecologica **17**(5): 421-433.

Homburg, K., Drees, C., Boutaud, E., Nolte, D., Schuett, W., Zumstein, P., Ruschkowski, E. v. & Assmann, T. (2019): Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. – Insect Conserv. Divers. **12**: 268-277.

Homburg, K., Homburg, N., Schäfer, F., Schuldt, A. & Assmann, T. (2014): Carabids.org – a dynamic online database of ground beetle species traits (Coleoptera, Carabidae). – Insect Conserv. Divers. **7**, 195-205.

Jarosik, V. (1989): Mass vs. length relationship for carabid beetles (Col., Carabidae). – Pedobiologia **33**: 87-90.

Knapp, M. (2012): Preservative fluid and storage conditions alter body mass estimation in a terrestrial insect. – Entomol. Exp. Appl. **143**: 185-190.

Lompe, A. (2012): Käfer Europas. https://coleonet.de/coleo/texte/carabidae.htm. (06.03.2023)

Müller-Motzfeld, G. (2004): Bd. 2 Adephaga 1: Carabidae (Laufkäfer). – In: Freude, H., Harde, K.W., Lohse, G.A. & Klausnitzer, B.: Die Käfer Mitteleuropas., 2nd ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin: 535 pp.

Piñeiro, G., Perelman, S., Guerschman, J.P. & Paruelo, J.M. (2008): How to evaluate models: Observed vs. predicted or predicted vs. observed? – Ecol. Model. **216**: 316-322.

Rogers, L.E., Hinds, W.T. & Buschbom, R.L. (1976): A General Weight vs. Length Relationship for Insects. – Ann. Entomol. Soc. Am. **69**: 387-389.

Sabo, J.L., Bastow, J.L. & Power, M.E. (2002): Length-mass relationships for adult aquatic and terrestrial invertebrates in a California watershed. – J. North Am. Benthol. Soc. **21**: 336-343.

Saint-Germain, M., Buddle, C.M., Larrivée, M., Mercado, A., Motchula, T., Reichert, E., Sackett, T.E., Sylvain, Z. & Webb, A. (2007): Should biomass be considered more frequently as a currency in terrestrial arthropod community analyses? – J. Appl. Ecol. **44**: 330-339.

Schultz, R. (1998): Die Laufkäfer (Coleoptera: Carabidae) als Indikatoren der Renaturierung des Salzgrünlandes im Ostseebereich Vorpommerns. Culliver-Verlag, Göttingen: 242 pp.

Scheerpeltz, O. (1936): Aus der Praxis des Käfersammlers. XXIX. Über Tötung, Konservierung und Präparation von Käfern. – Koleopterologische Rundschau **22**: 23-33.

Schwerk, A. &, Szyszko, J. (2007): Mittlere Individuen Biomasse (MIB) von epigäischen Laufkäfern (Coleoptera: Carabidae) als Indikator für Sukzessionsstadien. – Angew. Carabidol**. 8**, 69-72.

Skarbek, C.J., Kobel-Lamparski, A. & Dormann, C.F. (2021): Trends in monthly abundance and species richness of carabids over 33 years at the Kaiserstuhl, southwest Germany. – Basic Appl. Ecol. 50: 107-118.

Sorg, M., Schwan, H., Stenmans, W. & Müller, A. (2013): Ermittlung der Biomassen flugaktiver Insekten im Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch mit Malaise Fallen in den Jahren 1989 und 2013. – Mitteilungen Aus Dem Entomol. Ver. Kref. **1**: 1-5.

Szyszko, J. (1983): Methods of macrofauna investigations. – In: Szyszko J (Ed.) The Process of Forest Soil Macrofauna Formation after Afforestation Farmland. – Warsaw Agricultural University Press, Warsaw: 10-16.

Weiss, F. & Linde, A. (2022): How to estimate carabid biomass? – an evaluation of size-weight models for ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and perspectives for further improvement. – J. Insect Conserv. **26**: 537-548.