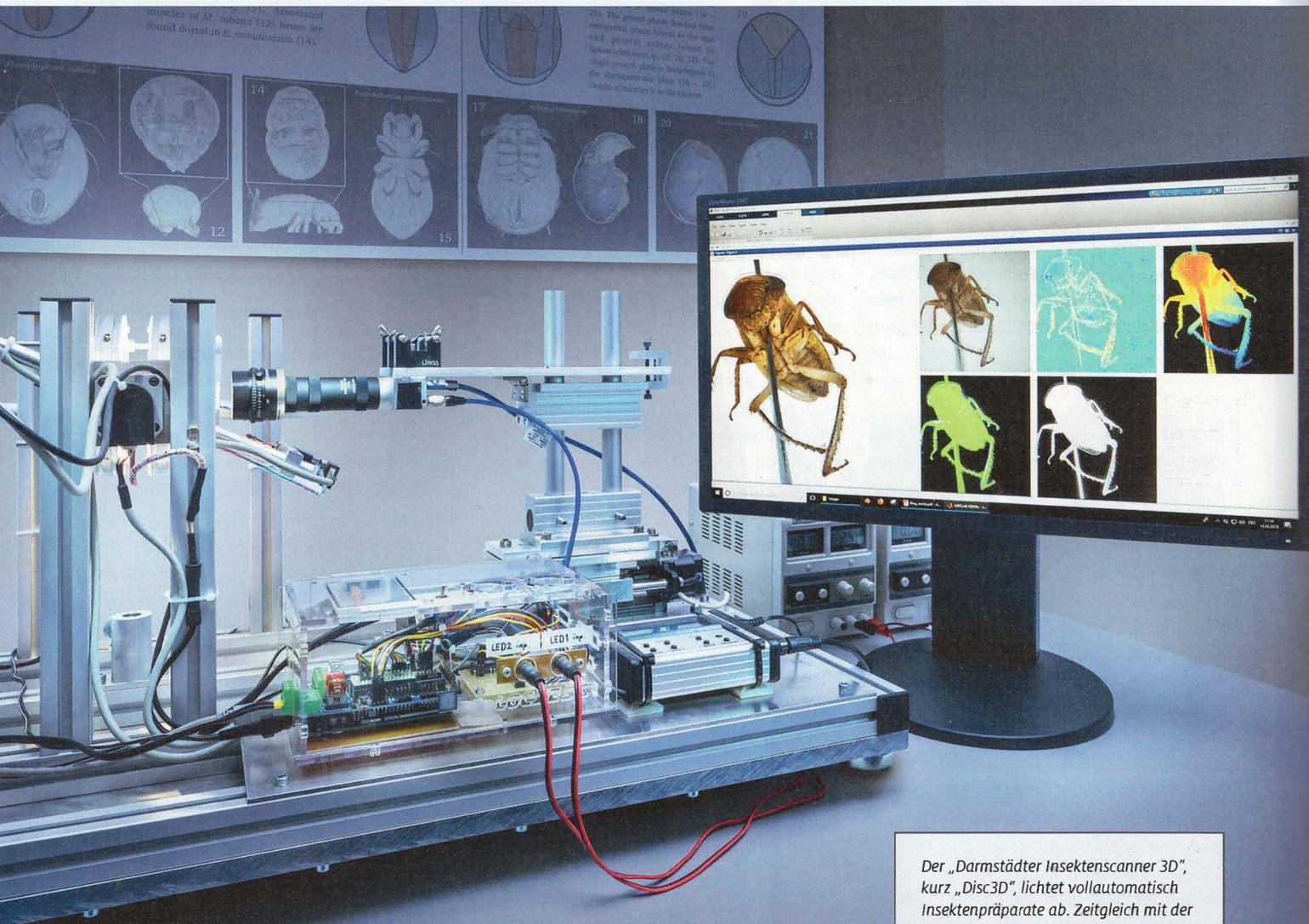


# Sechs Beine in drei Dimensionen

In Museen und Archiven liegen unzählige Präparate von Insekten. Viele von ihnen hat noch kein Biologe zu Gesicht bekommen. Forscher wollen das jetzt ändern – mit einem Scanner für Sechsbener

von JAN BERNDORFF



Der „Darmstädter Insektenscanner 3D“, kurz „Disc3D“, lichtet vollautomatisch Insektenpräparate ab. Zeitgleich mit der Aufnahme berechnet die Software ein digitales 3D-Modell der Krabblere.

Die Apparatur surrt leise vor sich hin. Zwischen Alustangen, elektronischen Schaltelementen, Kabeln und Leuchtdioden ist eine silberne, faustgroße Kugel befestigt. Eine Kamera auf einem Schlitten nähert sich ihr und fährt wieder zurück. Durch einen Schlitz um ihre Mitte dringt Licht aus der Kugel. Das gesamte Gerät ist nicht viel größer als ein aufgeschlagener Aktenordner. Es steht auf einem einfachen Tisch in der Ecke eines schmucklosen Raums, der zum Fachbereich Biologie der Technischen Universität Darmstadt gehört.

So unscheinbar der Apparat wirkt und so unspektakulär er seine Arbeit verrichtet – für die Insektenkunde könnte er eine Revolution bedeuten. Rund eine Million Insektenarten sind bislang wissenschaftlich beschrieben. Das ist mehr als die Hälfte aller Tierarten, die wir kennen. Fachleute vermuten, dass da draußen noch ein Vielfaches mehr an unbekanntem Insektenarten kreucht und fleucht – vor allem in den tropischen Regenwäldern.

Allein in den Archiven der Naturkundemuseen und den zoologischen Instituten dieser Welt schlummern wahrscheinlich noch zigtausende Neuentdeckungen: konservierte, mehr oder minder kleine Sechsbener, von denen man zwar weiß, wann, wo und von wem sie gefangen wurden. Aber noch niemand hat die Zeit gefunden, sie genau anzuschauen, zu klassifizieren und zu prüfen, ob es sich um eine noch unbeschriebene Art handelt.

„Der Nachholbedarf bei der Bestimmung von Insekten ist riesig“, sagt der Insektenforscher Michael Heethoff von der Arbeitsgruppe Ökologische Netzwerke der TU Darmstadt, „und für uns Entomologen kaum zu bewältigen.“

### Eine Welt ohne Insekten?

Dabei wäre es gerade jetzt wichtig. Denn in den letzten Jahren haben Forscher eine alarmierende Feststellung gemacht: Nicht nur der Bestand der allseits beliebten Bienen geht stark zurück, sondern der von Fluginsekten insgesamt: Schmetterlinge, Käfer, Fliegen, Mücken... in den letzten knapp 30 Jahren ist ihre Biomasse in manchen Regionen Deutschlands um bis zu 80 Prozent eingebrochen. Ein drastischer Schwund, der in eine ökologische Katastrophe führen könnte. Denn die Natur

So funktioniert der Scanner: Das Präparat liegt frei beweglich zwischen zwei ausgeleuchteten Halbkugeln. Ein Motor dreht es alle 30 Sekunden ein Stück weiter – insgesamt 400 Mal. Durch eine Öffnung in der rechten Halbkugel macht eine Kamera Digitalfotos. Für jede Einstellung und je nach Größe des Insekts fotografiert sie 30 bis 80 Mal.



braucht Insekten: Sie bestäuben viele Pflanzen – darunter einen Großteil unserer Nutzpflanzen –, sie bereiten Nährstoffe im Boden auf und fungieren dort auch als eine Art Müllabfuhr. Und gehören zur Nahrungsgrundlage anderer Lebewesen. „Eine Welt ohne Insekten ist undenkbar“, sagt Heethoff. „Wir müssen schnell Wege finden, um ihren Schwund zu stoppen.“

Der Apparat soll dafür die Grundlage schaffen. Die Forscher haben ihn „Darmstädter Insektenscanner 3D“ genannt, kurz „Disc3D“. Das Gerät lichtet vollautomatisch Insektenpräparate aus allen Richtungen hochauflösend ab. Anschließend berechnet es aus den Bilddaten digitale dreidi-

mensionale Kopien der Präparate. Die Modelle lassen sich in eine Online-Datenbank einspeisen, sodass sie weltweit per Internet verfügbar sind. „Jede Entomologin, jeder Entomologe – und auch interessierte Laien – könnten sich an der Mammutaufgabe beteiligen, die Tiere zu bestimmen“, sagt Heethoff.

Bislang müssen Forscher zu den Museen reisen, um dort die archivierten Exemplare in Augenschein zu nehmen – falls sie eine Genehmigung erhalten, denn viele Museen hüten ihre oft einzigartigen Präparate wie Schätze. „Für Hobby-Entomologen und Forscher aus Schwellenländern ist das kaum machbar“, meint Heethoff. Zudem kann es viel Zeit in Anspruch nehmen, Körpermerkmale wie die Länge eines Insektenbeinchens unter dem Mikroskop zu messen.

Wenn es gelänge, die vielen Präparate der Museen in hoher Qualität zu digitalisieren, könnte man weltweit mit ein paar Mausklicks auf sie zugreifen und die Körpermerkmale am Computer berechnen lassen. Außerdem wären die Museumsstücke

### KOMPAKT

- Bei vielen Insektenpräparaten in Naturkundemuseen könnte es sich um unbekannte Arten handeln.
- Damit Biologen sie weltweit untersuchen können, haben Forscher in Darmstadt einen preiswerten und mobilen Scanner für Insekten entwickelt.
- Das Gerät nimmt die Tiere detailliert auf und speichert sie als drehbares 3D-Bild in einer Datenbank.



Links oben ein gescannter Seidiger Fallkäfer (*Cryptocephalus sericeus*), der im Original sieben Millimeter lang ist. Rechts oben ein Weibchen des afrikanischen Hirschkäfers (*Prosopocoilus savagei*). Das Insekt misst 2,3 Zentimeter. Links unten ein türkischer Maikäfer (*Polyphylla fullo*), der etwa drei Zentimeter lang ist. Rechts unten eine zwei Zentimeter große 24-Stunden-Ameise (*Paraponera clavata*).

für die Zukunft gesichert – in digitaler Form können sie weder vermodern noch Schädlingen zum Opfer fallen.

### 25 000 Einzelbilder pro Insekt

Ein Blick in die beiden Halbkugeln offenbart, wie der Scanner funktioniert: Im Inneren steckt gerade ein schwarz glänzender Mistkäfer, rund einen Zentimeter klein. Gehalten wird er von einem zehn Zentimeter langen Arm, der an einem Stativ außerhalb der Kugel befestigt ist. Der Arm verfügt über zwei Drehachsen – so lässt sich das Präparat frei schwenken. Ein Motor dreht es etwa alle 30 Sekunden ein Stück weiter.

Insgesamt nimmt der Apparat den Mistkäfer aus 400 Perspektiven auf. Für jede Einstellung fährt der Kameraschlitten einmal vor und zurück und macht dabei durch

eine Öffnung in einer der Halbkugeln Dutzende Bilder. Je nach Größe des Insekts sind pro Einstellung 30 bis 80 Fotos nötig, um das Präparat vollständig scharf zu fotografieren. Für eine gleichmäßige Ausleuchtung sorgen zahlreiche LED-Lämpchen, die in die Innenwand der Kugel eingelassen sind.

„Pro Insekt machen wir rund 25000 Einzelbilder“, rechnet der Physiker Bernhard Ströbel vor, der den Scanner zusammen mit Heethoff entwickelt hat. Das sind mehrere Hundert Gigabyte. Um der gewaltigen Datenmenge Herr zu werden, verknüpft die Software die Bilder schon während des Scans miteinander und errechnet daraus ein durchgängig scharfes 3D-Modell. „So reduzieren wir die Daten auf etwa ein halbes Gigabyte pro Insekt – damit kann man arbeiten.“

Der komplette Scan eines Präparats dauert zwei bis fünf Stunden. „Mit besserer Hard- und Software kriegen wir das noch deutlich schneller hin“, verspricht Ströbel. Vier Jahre haben er und Heethoff an dem Scanner getüftelt – denn so einfach, wie das Gerät aussieht, ist es nicht.

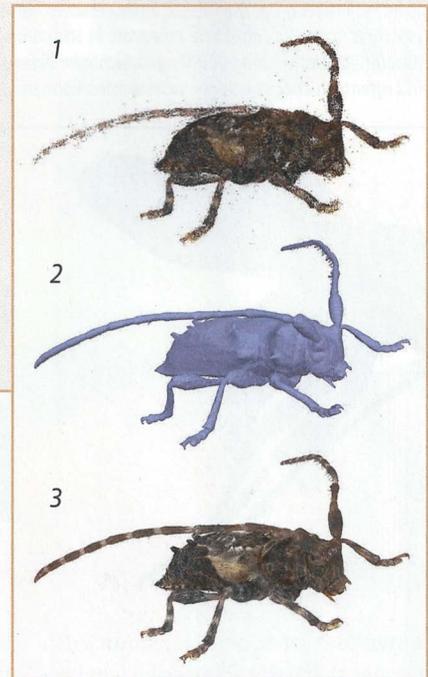
### Das Volumen des Wimperbocks

Zu Beginn wollte die Arbeitsgruppe für Ökologische Netzwerke eigentlich erforschen, wie Insekten mit der Klimaerwärmung klarkommen. Dafür nutzen die Biologen sogenannte Klimaschranke, in denen unterschiedlich warme und feuchte Lebensräume simuliert werden. Darin setzten die Forscher Versuchskrabblern aus. „Den Verlust von Wasser durch Wärme verhindern Insekten, indem sie eine Art Wachsschicht produzieren, die sie auf ihre

### Punkt, Punkt, Komma, Strich – fertig ist der Wimperbock

Circa 25 000 Einzelbilder stecken im fertigen 3D-Modell von *Pogonocherus hispidus* (rechts) – genauer: von einem Präparat des Dornigen Wimperbocks, dessen lebende Artgenossen in Mittel- und Südeuropa vorkommen. Für das digitale Abbild des sechs Millimeter großen Käfers nimmt die Kamera des Darmstädter Insekten-scanners aus 398 Blickrichtungen jeweils etwa 70 Bilder mit verschiedenen Fokusebenen auf. Schon während der Aufnahme legt die Scanner-Software diese Fotos übereinander. Aus dem Bildersatz

können dann mithilfe eines speziellen Programms für Photogrammetrie die dreidimensionalen Modelle berechnet werden. Im Detail erstellt die Software eine Punktwolke, indem sie die Bilddaten und die Positionsdaten in Deckung bringt (1). Anschließend berechnet das Programm eine geschlossene 3D-Form (2). Zuletzt wird darauf die Textur – die aus den Bilddaten berechnete Oberflächenstruktur des Präparats – aufgesetzt (3). Am Bildschirm kann das Insekt gedreht und von allen Seiten betrachtet werden.



Michael Heethoff von der TU Darmstadt (links) und Bernhard Ströbel von der Hochschule Darmstadt (rechts) haben den Insekten-scanner gebaut.

Außenhaut auftragen“, erläutert Heethoff. „Um die Menge dieser Substanz einzuordnen, müssen wir wissen, wie groß die Oberfläche des Insekts ist. Aber bestimmen Sie einmal die Oberfläche oder das Körpervolumen von einem Dornigen Wimperbock! Das ist ein wenige Millimeter kleiner Käfer mit lauter Auswölbungen, zarten Beinchen, Antennen und unzähligen Härchen. Selbst unter dem Mikroskop – keine Chance!“

Bislang greifen Biologen für so etwas auf die Aufnahmen spezieller ultrahochauflösender Computertomografen zurück. „Aber das wird sehr schnell zu teuer, wenn man viele Tiere analysieren will“, sagt Heethoff. Es brauchte eine einfache, kostengünstige Lösung. Auf den Tipp eines Kollegen hin klopfte Heethoff bei der Abteilung für Optotechnik und Bildverarbei-

tung der Hochschule Darmstadt an, die Bernhard Ströbel mit aufgebaut hat und die quasi vor der Haustür liegt. So fanden Heethoff und Ströbel zusammen.

#### Großer Nutzen für wenig Geld

In mühevoller Fleißarbeit lötetten und schraubten die beiden zusammen mit ihren Studenten Kleinteile zusammen, die sie aus aller Welt besorgten oder selbst anfertigten. Zugleich entwickelten sie Algorithmen für die Verarbeitung der Bilder. „Unsere Liste mit Bauteilen ist fünf Seiten lang“, sagt Ströbel.

Die Forscher probierten das Gerät an Mistkäfern aus, die wegen ihres schwarz glänzenden Panzers besonders schwierig abzulichten sind, und auch an Schneckengehäusen und den Schädeln von Kleinsäu-gern und Vögeln. Dabei nutzten sie ver-

schiedene Verfahren aus der 3D-Messtechnik, die so noch nie kombiniert wurden.

Für die filigrane Arbeit muss alles haarfeln aufeinander abgestimmt sein, keine Lichtreflexion darf die Aufnahmen verderben. Und das alles bei überschaubaren Kosten. Denn zum einen musste das Projekt ohne Drittmittel finanziert werden. „Zum anderen sollen sich auch kleine Museen und Forschungsinstitute den Scanner zulegen können, um ihre Insektenbestände zu digitalisieren“, erklärt Heethoff. Und so stecken in dem Prototyp viele Stunden Arbeit, aber nur gut 4000 Euro Materialkosten – kein Vergleich zu millionenteuren Computertomografen.

2018 ging das Team mit dem Disc3D an die Öffentlichkeit. Die ersten Museen und Institute haben schon angefragt. Das Ganze ist als Open-Source-Projekt angelegt: ➤

Unten eine Fliege aus der Gattung *Thricops*. Das Präparat ist etwa sechs Millimeter groß. Die Darmstädter Forscher hoffen, dass mithilfe ihres Scanners zahlreiche Präparate in Sammlungen (rechts: Museum für Naturkunde und Vorgeschichte in Dessau) digitalisiert und öffentlich zugänglich gemacht werden können.



Die Entwickler geben den Bauplan an jeden weiter, der sich dafür interessiert, und bekommen als Echo viele Ideen zur Optimierung. Doch manche Interessenten, so Heethoff, wollen lieber den fertigen Scanner kaufen. Deshalb sei ein weiteres Ziel, das vierteilige Gerät zu einem einfachen Bausatz weiterzuentwickeln. Am Ende werde der Preis wahrscheinlich jenseits der 10000 Euro liegen, also etwa im Bereich eines besseren Mikroskops. Für die meisten Museen und Institute wäre das bezahlbar. Kommerziell vertreiben wollen die Forscher den Scanner aber nicht.

Alle Beteiligten haben vielmehr den gemeinnützigen Verein DiNArDa („Digitales Naturhistorisches Archiv Darmstadt“) gegründet, um ihre Expertise zu bündeln und das Projekt weiterzubringen. „Wir können damit zwar nicht den Klimawandel aufhalten oder mehr Blumenwiesen schaffen, um so das Insektensterben zu stoppen“, sagt Heethoff. „Aber wir können immerhin helfen, schneller Argumente für die richtigen Maßnahmen zu sammeln.“

„Der Bedarf für diesen Scanner ist auf jeden Fall da“, sagt auch Thomas Hörnschemeyer, Koordinator für Biodiversitätswissenschaften der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung in Frankfurt. „Schon zuvor wurden viele Verfahren ersonnen, um Pflanzen- und Tierpräparate zu erfassen und zugänglich zu machen.“ Die meisten seien aber auf halbem Wege steckenge-

blieben, bestätigt Alexander Riedel, Kurator für Käfer und übrige Insekten am Naturkundemuseum Karlsruhe. Entweder sie erwiesen sich als zu teuer für die Massendigitalisierung oder als zu unpräzise, um auch kleine Insekten zuverlässig zu bestimmen.

### Immer weniger Entomologen

Das entscheidende Nadelöhr aber sei der Mangel an Personal und Zeit, sagt Riedel. Deshalb ist er auch beim Disc3D skeptisch: „Ich begrüße jeden Fortschritt in diese Richtung. Aber ich fürchte, dass sich kaum genügend sachkundige Menschen finden, um die Scanner zusammenzubauen, zu konfigurieren und am Ende anhand der Aufnahmen jedes Insekt in wochenlanger Arbeit zuverlässig einzuordnen. Auch die Zahl der Hobby-Entomologen nimmt ja leider stetig ab.“ Zudem bleibe der Scanner an der Oberfläche: Für genetische Studien beispielsweise muss man Gewebeproben entnehmen, und für viele anatomische Studien, etwa zur Bestimmung des Geschlechts von Käfern, muss man ins Innere schauen. Dafür braucht man Verfahren wie die Röntgentomografie.

„Das ist richtig“, erwidert Heethoff. „Aber die äußeren Unterschiede zwischen den Arten sind in aller Regel viel größer als die inneren.“ Die Notwendigkeit, in den Körper zu schauen, sei für diesen Zweck daher die Ausnahme. Und natürlich müsse

es viele Scanner geben, um genügend Experten zu erreichen und auch Laien für Insekten zu begeistern. Darin erhoffen sich Ströbel und Heethoff einen wichtigen Nebeneffekt: „Die Scans können, ausgedruckt per 3D-Drucker, auch Ausstellungen bereichern.“ Oder Lern-Apps fürs Handy mit Daten füttern. Beim Familienausflug ins Grüne müsste man dann einfach ein Foto von einem Käfer machen – und die App verrät einem zuverlässig, um welche Art es sich handelt. „Im Idealfall trägt unser Scanner dazu bei, ein neues Bewusstsein für die wichtige Rolle der Insekten in der Natur zu schaffen“, sagt Heethoff.

Bleibt abzuwarten, ob sich die Hoffnungen erfüllen. Thomas Hörnschemeyer jedenfalls hat seine Mitarbeit bei der Weiterentwicklung zugesagt. „Der Scanner ist eine sehr gute Idee. Einfache, erschwingliche Technik, die für die Bestimmung der Insekten zu sehr guten Ergebnissen führt.“ Als Senckenberg-Vertreter weiß er, wovon er spricht: Allein die Senckenberg-Museen und -Institute horten über 20 Millionen Insektenpräparate. ■



Wissenschaftsjournalist **JAN BERNDORFF** staunte bei seinem Besuch in Darmstadt, wie viel Technik in der kleinen Maschine steckt.