

# **Naturmuseen können es besser: Einfache Analysen und Visualisierungen von Sammlungsdaten zur besseren Sichtbarkeit ihrer wissenschaftlichen Bedeutung**

*Claudio Bozzuto und Hannes Geisser*

## Zusammenfassung

Während der letzten 20 Jahre haben viele Studien den Wert von naturhistorischen Sammlungen für die evolutionsbiologische und ökologische Forschung betont. Zudem bieten diese Sammlungen unschätzbare Einsichten zum Verständnis der aktuellen Biodiversitätskrise. Parallel hierzu stellt ihre Digitalisierung eine dringende globale Herausforderung dar. Zwar haben diverse Initiativen bereits beeindruckende Resultate erzielt, aber die Mehrzahl von regionalen Sammlungsdaten ist weiterhin nur auf Anfrage erhältlich. Als Ansporn für Naturmuseen, ihre Daten aktiver und online schneller verfügbar zu machen, fasst der vorliegende Artikel einige vorgängig publizierte, forschungsrelevante räumlich-zeitliche Analysen und Visualisierungen von Sammlungsdaten zusammen. Auf einer grundlegenden Ebene zeigt der Artikel weiter, dass die Notwendigkeit der Digitalisierung und Visualisierung von Sammlungsdaten sich vom Kernauftrag eines Naturmuseums ableitet: einen nachhaltigen Umgang mit allen Lebensformen auf dem Planeten unterstützen.

### ***Les musées d'histoire naturelle peuvent faire mieux : des analyses et des visualisations simples des données des collections pour une meilleure visibilité de leur importance scientifique***

*Au cours des 20 dernières années, de nombreuses études ont souligné la valeur des collections d'histoire naturelle pour la recherche en biologie de l'évolution et en écologie. De plus, ces collections offrent des perspectives inestimables pour comprendre la crise actuelle de la biodiversité. Parallèlement, leur numérisation constitue un défi mondial urgent. Certes, diverses initiatives ont déjà obtenu des résultats impressionnants, mais la majorité des données de collections régionales ne sont toujours disponibles que sur demande. Afin d'inciter les musées d'histoire naturelle à rendre leurs données plus activement et plus rapidement disponibles en ligne, le présent article résume quelques analyses et visualisations spatio-temporelles des données de collection publiées précédemment et pertinentes pour la recherche. A un niveau plus fondamental, l'article montre également que la nécessité de la numérisation et de la visualisation des données de collection découle de la mission principale d'un musée d'histoire naturelle : soutenir une gestion durable de toutes les formes de vie sur terre.*

### ***Natural history museums can do better: Simple analyses and visualisations of collection data for a better visibility of their scientific significance***

*Over the last two decades, many studies have emphasized the value of natural history collections for ecological and evolutionary research. Furthermore, with the current biodiversity crisis worsening by the day, these specimens offer invaluable insights to better understand past and current environmental changes. In parallel, the digitization of collections continues being an on-going and pressing endeavor at the global scale. Despite several global digitization efforts being impressive, many regional data collections continue being only available by request. As an incentive for natural history museums to more actively and rapidly share their data, we here summarize previously published, simple spatio-temporal analyses and visualizations of collection data helpful to display NHC data in a research-oriented way. More fundamentally, we argue that the effort to digitize collections and visualize these data in a research-oriented way is dictated by the museum's core purpose of informing the stewardship of life on Earth.*

## 1 Einleitung

Gesamthaft lagern in Schweizer Naturmuseen schätzungsweise über 60 Millionen Objekte (SCNAT 2019). Aufgrund des in Fachkreisen anerkannten wissenschaftlichen Nutzens von Museumssammlungen (z. B. Graham et al. 2004, Bakker et al. 2020) könnte die Forschung von einer quantitativen Aufbereitung und Analyse von Sammlungsdaten in Naturmuseen stark profitieren. Forschende aus den Bereichen Evolutionsbiologie, Klima- und Umweltwandel, Ökologie oder Naturschutzbiologie – um nur einige zu nennen – erhalten durch die potenzielle Datenfülle ganz neue Möglichkeiten, Prozesse und Veränderungen in Raum und Zeit zu analysieren. Dies könnte nicht zuletzt einen wichtigen Beitrag zur Bekämpfung der aktuellen Biodiversitätskrise liefern (z. B. Meineke et al. 2019). Ein Grund für die Eignung von Sammlungsdaten zum Verständnis und zur Entwicklung von Gegenmassnahmen und zur Bekämpfung der Biodiversitätskrise ist das zeitliche Ausmass: Viele Sammlungen überspannen (weit) mehr als ein Jahrhundert, und dies erlaubt Umweltzustände vor mit denjenigen nach dem Einsetzen von einschneidenden anthropogenen Veränderungen zu vergleichen (z. B. Laussmann et al. 2021).

Bis heute sind jedoch viele der Sammlungsbelege noch nicht einmal digital erschlossen und daher weder bekannt, noch sind sie für Forschungszwecke ausserhalb der Museen verfügbar. Um diesen Missstand zu beheben, wurde 2018 in der Schweiz unter Federführung der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften SCNAT und des Verbands der naturwissenschaftlichen Museen und Sammlungen der Schweiz und Liechtenstein *musnatcoll.ch* ein Projekt gestartet, welches das wertvolle Wissen in den Sammlungen der Schweizer Naturmuseen koordiniert zutage fördern soll (SCNAT 2019). Die geplante Digitalisierungsoffensive ist ein bedeutender Schritt in die richtige Richtung. Nur: Wie lässt es sich verhindern, dass die Sammlungsdaten nicht auf einem Datenfriedhof zu liegen kommen – wie dies offenbar in anderen Fachgebieten der Fall zu sein scheint (O'Dohoghue et al. 2018, Praz 2022). Was können Naturmuseen dazu beitragen, dass ihre Sammlungsdaten in der Wissenschaftswelt wahrgenommen werden und Eingang finden in Anwendungsstudien und Forschungsprojekte? Und wie verschaffen sich die Museen selber einen Überblick über das bereits Vorhandene, um ihre eigenen Sammlungen in Zukunft gezielt weiterzuentwickeln? Mit Blick auf diese Fragen haben wir ein Projekt realisiert, das sowohl Denkanstösse als auch konkrete und einfach umsetzbare Ideen liefert; die entsprechende Originalpublikation (Bozzuto & Geisser 2022) steht auf der Plattform *ReserachGate* zur Verfügung (QR-Code mit Link auf die Originalpublikation nebstehend). Im vorliegenden Artikel besprechen wir ausgewählte Beispiele daraus und erörtern die Wichtigkeit und Dringlichkeit solcher Analysen und Visualisierungen.



## 2 Alles Unkenrufe? Ein Augenschein

Die Rolle von Naturmuseum «to deploy their vast research collections, systematics expertise, and knowledge of the planet's biodiversity to inform the stewardship of life on Earth» (Krishtalka & Humphrey 2000, S. 611) wurde über die letzten 30 Jahre wiederholt in Erinnerung gerufen (z. B. Alberch 1993, Krishtalka & Humphrey 2000, Mei-

neke & Daru 2021). Dies trifft auch auf die Digitalisierung von Sammlungsdaten zu. Zwar startete der Prozess bereits in den 1970er-Jahren, aber Anfang unseres Jahrtausends waren erst 5 bis 10% aller Sammlungsbelege weltweit digitalisiert (Graham et al. 2004). In der Schweiz sind es heute schätzungsweise 17% (SCNAT 2019). Ein weiterer Grund, dass Sammlungsdaten noch viel zu selten für angewandte Studien und Forschungsprojekte benutzt werden, liegt in der Verfügbarkeit der (digitalisierten) Daten. Nur allzu oft müssen Forschende beispielsweise für regional ausgerichtete Projekte relevante Naturmuseen einzeln kontaktieren, welche dann die Daten in Form von digitalen Tabellen zur Verfügung stellen. Danach folgt ein nicht unbedeutender Arbeitsaufwand, um die Daten zu homogenisieren, um die Frage zu beantworten, ob diese Daten überhaupt für die Forschungsfrage hilfreich sind.

Führende Naturmuseen und globale Dateninitiativen haben in den letzten Jahren verschiedene Digitalisierungsoffensiven gestartet. Wie sieht es also mit den Online-Angeboten beispielsweise von GBIF (Global Biodiversity Information Facility) oder den Naturmuseen in Berlin, London oder Paris aus? Es steht ausser Frage, die Datenfülle ist überwältigend [1]. Einen schnellen Überblick betreffend Eignung der Daten für die eigene Forschungsfrage gewinnt man hingegen kaum: Lange Listen von Objektdaten und Weltkarten mit Pins – auch nach einer Datenfilterung – sind keine hilfreichen Mittel, um beispielsweise ökologisch relevante Aspekte für die eigene (regionale) Fragestellung intuitiv zu erfassen oder um zu neuen Denkansätzen inspiriert zu werden. Das Problem ist auch aus anderen Fachbereichen bekannt (O'Donoghue et al. 2018, S. 276): Ziel der Visualisierung von Daten sollte es sein, «[to] amplify cognition and accelerate discovery and communication». Naturmuseen und globale Dateninitiativen müssten sich darum vermehrt bemühen, ihre verfügbaren Sammlungsdaten anwenderfreundlich zu präsentieren. Mit Bezug auf verschiedene Anwendungsbereiche sollten sie relevante Voranalysen und Visualisierungen zur Verfügung stellen, welche bereits online wichtige Fragen beantworten oder zu neuen anregen. Natürlich ist es unmöglich, alle denkbaren Fragen, die Forschende an Sammlungsdaten stellen könnten, von vornherein zu kennen. Es ist aber nicht zuletzt im Interesse der Naturmuseen, der Forschergemeinschaft durch eine entsprechende Aufbereitung und Visualisierung ihrer Sammlungsdaten deren Potenzial für aktuelle Fragestellungen aufzuzeigen und sie damit zur Nutzung der Daten zu motivieren.

### **3 Als Beispiel die Schmetterlingssammlung des Naturmuseums Thurgau**

Die Sammlung des Naturmuseums Thurgau wurde 1859 durch die Thurgauische Naturforschende Gesellschaft begründet und umfasst heute rund 115'000 Objekte. Über 90% der Sammlungsbelege sind digital inventarisiert. Damit ist dieses einzigartige Naturarchiv für die Forschung zugänglich. Entsprechend wird es von Forschenden aus der Schweiz auch regelmässig genutzt (z. B. Bozzuto 2020, Widmer et al.

[1] GBIF: <https://www.gbif.org>; Museum für Naturkunde Berlin: <https://www.museumfuernaturkunde.berlin/de>; Natural History Museum: <https://www.nhm.ac.uk>; Muséum national d'histoire naturelle: <https://www.mnhn.fr/fr>



Abbildung 1: Die Insektensammlungen ist mit knapp 50'000 Belegen der grösste Bereich der Sammlung des Naturmuseums Thurgau und wissenschaftlich besonders wertvoll. Rund die Hälfte davon, rund 22'000 Belege, sind Schmetterlinge (Lepidoptera). Sie stammen zu einem grossen Teil aus dem Kanton Thurgau. Foto: Eliane Huber.

2021, Scheidegger 2017). Innerhalb der Museumssammlung ist die Schmetterlings-sammlung mit rund 22'000 Belegen, vornehmlich aus dem Kanton Thurgau und der Schweiz, einer der bedeutendsten Bereiche (Abbildung 1 und Anhang 1). Für unser Projekt haben wir beispielhaft diesen Sammlungsteil bearbeitet, der unter anderem zu Forschungsfragen der Biodiversität von Bedeutung ist (z. B. Wagner et al. 2021).

Zusammenfassend schlagen wir in unserer Publikation (Bozzuto & Geisser 2022) forschungsrelevante Ideen zur Analyse und Visualisierung von drei Aspekten einer Sammlung – oder von der vom Benutzenden online getroffenen Auswahl – vor: die zeitliche Entwicklung und die Diversität der Sammlungsbelege sowie deren räumliche Verteilung. Im Folgenden möchten wir beispielhaft die letzten zwei Punkte grafisch erläutern.

### 3.1 Räumliche Diversität abbilden

Im Vergleich zu den gängigen (Welt-)Karten mit Pins, welche Fundorte signalisieren (siehe oben), erlaubt *Abbildung 2* bereits forschungsrelevante Einsichten auf die Sammlungsdaten. Für den Nordwesten des Kantons Thurgau zeigt die Karte flächen-deckende Polygone, und jedes davon ist um einen einzelnen Fundort konstruiert. Weiter sind die Polygone gefärbt: Dunkelgrün bedeutet eine tiefe Diversität der

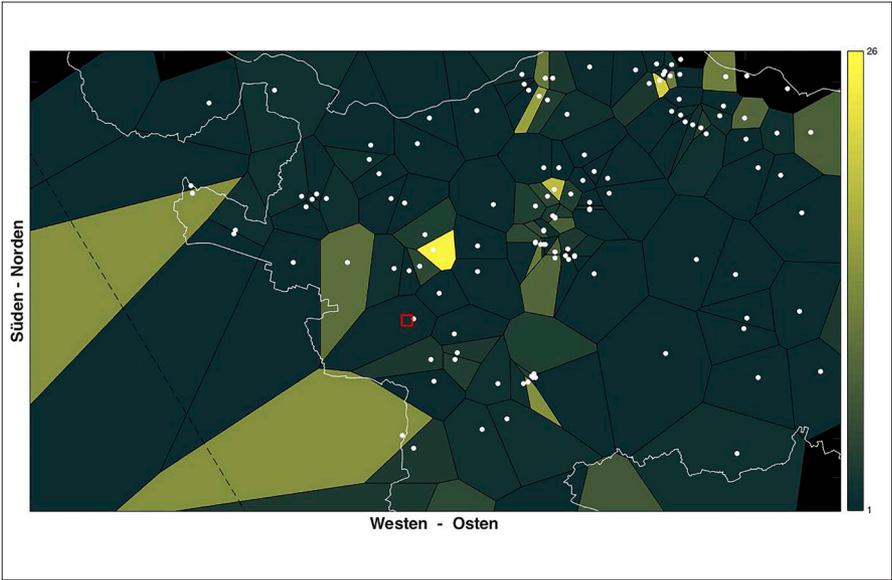


Abbildung 2: Der ausgewählte Kartenausschnitt des Kantons Thurgau zeigt die analysierten Fundorte als weisse Punkte (der rote Punkt ist die Stadt Frauenfeld), um welche herum flächendeckend Polygone gezeichnet sind. Die Farbe eines Polygons widerspiegelt die Vielfalt der Sammlungsobjekte mit entsprechendem Fundort (siehe Farbskala rechts).

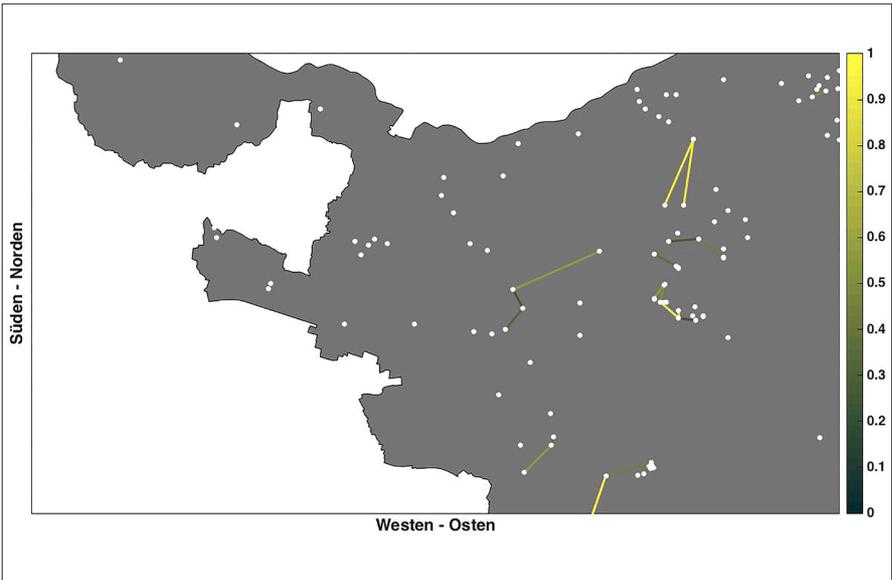


Abbildung 3: Der ausgewählte Kartenausschnitt des Kantons Thurgau zeigt die analysierten Fundorte als weisse Punkte, und die gefärbten Linien verbinden benachbarte Fundorte. Hellere Linienfarben widerspiegeln eine höhere Ähnlichkeit in der Artzusammensetzung (Farbskala rechts). Verbindungen mit sehr tiefen Ähnlichkeitswerten sind nicht abgebildet.

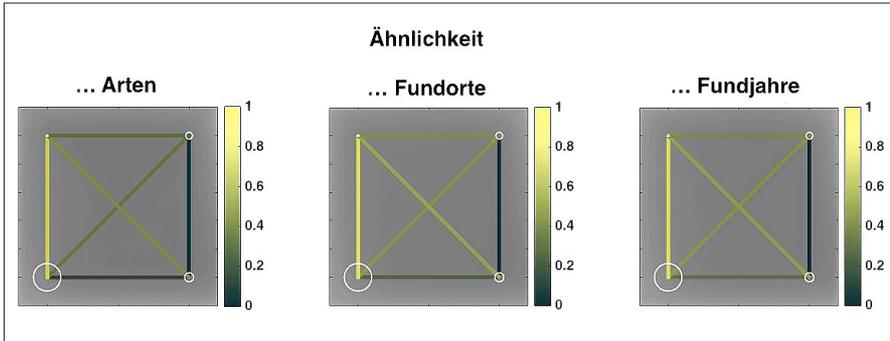


Abbildung 4: Die analysierte Schmetterlingssammlung ist virtuell in vier unterschiedlich grosse Sammlungen (Kreissegmenten der Ecken) aufgeteilt worden. Jede gefärbte paarweise Verbindung zwischen Sammlungen widerspiegelt die Ähnlichkeit der Art- (links), Fundort- (mitte) und Fundjahr-Zusammensetzung (rechts), wo hellere Farben eine höhere Ähnlichkeit anzeigen (Farbskala rechts). Je nach Fragestellung können beim Vergleich von Sammlungen oder von ganzen Regionen hohe Werte (z. B. homogene, räumliche Ausdehnung) oder tiefe Werte (z. B. komplementäre Artzusammensetzung) von Interesse sein.

Schmetterlingsgemeinschaft (gemessen mit Hill-Zahlen), gelb hingegen bedeutet eine hohe. Bereits eine solche Onlinedarstellung könnte helfen, die Sammlungsdaten schnell einzuschätzen: Bezüglich räumlicher Vielfalt sind Regionen mit kleinen, hellen, angrenzenden Polygonen vorteilhaft. Für diese Fundorte weist die Sammlung demzufolge eine hohe Diversität auf, und die Sammlungsbelege sind räumlich dicht repräsentiert – beides spiegelt potenziell die Diversität im Feld wider (Bozzuto & Geisser 2022 und Referenzen darin).

Eine weitere nutzbringende Möglichkeit ist der Vergleich der Diversität von verschiedenen Sammlungen, von verschiedenen Regionen, oder einer anderweitig vom Benutzenden online getroffenen Auswahl. *Abbildung 3* knüpft von der Idee her an *Abbildung 2* an, wobei dieses Mal benachbarte Fundorte bezüglich der Vielfalt der Schmetterling-Lebensgemeinschaften verglichen werden: Je heller eine Verbindung zwischen zwei Fundorten ist, desto höher ist die Ähnlichkeit ihrer Diversität. Ob eine hohe oder tiefe Gemeinsamkeit erwünscht ist, hängt von der Fragestellung ab: Soll ein möglichst grosses homogenes Netzwerk ausschlaggebend sein, oder sind kontrastierende Fundorte erwünscht, um beispielsweise eine veränderte Landnutzung zu untersuchen?

### 3.2 Diversität von Regionen oder Sammlungen vergleichen

*Abbildung 4* schliesslich zeigt den Vergleich von vier Schmetterlingssammlungen von vier Museen hinsichtlich Ähnlichkeit der Artenzusammensetzung, Fundorte und Fundjahre (die Sammlung des Naturmuseums Thurgau wurde für diesen Zweck zufällig auf vier Museumssammlungen aufgeteilt). Online könnte der Benutzende auch verschiedene Regionen o. ä. miteinander vergleichen. Die Grösse der Kreise widerspiegelt im Beispiel die Grösse der Sammlungen und die gefärbten Verbindungen zwischen den Sammlungen spiegeln die entsprechende Ähnlichkeit wider (Lesebeispiel s. Legende zu *Abbildung 4*).

#### 4 Der Kernauftrag von Naturmuseen: Version 2.0

Wie eingangs erläutert, ist die Datenverfügbarkeit für Forschende, die an naturkundlichen Sammlungsdaten interessiert sind, bis heute unbefriedigend. Viele Sammlungen warten noch auf ihre Digitalisierung, und nicht wenige der bereits digitalisierten Daten sind nur auf Anfrage an das jeweilige Museum erhältlich. Datenvisualisierungen, wie sie in diesem Beitrag angesprochen wurden, lassen sich auch nach längerer Suche selbst auf Webseiten der weltweit grössten Naturmuseen nicht finden. Stellt sich die Frage, warum dies so ist. Denn mit Blick auf heute drängende Fragen wie die Auswirkungen des Klimawandels oder den weltweiten Verlust der Biodiversität sollte es im Interesse der Naturmuseen liegen, ihre umfangreichen Sammlungsdaten nicht nur möglichst bald zu digitalisieren und online zu stellen, sondern sie darüber hinaus auch auf eine forschungsorientierte Weise aufzuarbeiten (*Meineke et al. 2019*).

In unserer Studie (*Bozzuto & Geisser 2022*) schlagen wir Analysen und Visualisierungen vor, die interessierten Forschenden eine schnelle Bewertung der Eignung von Sammlungsdaten für ihre jeweilige Fragestellung ermöglichen. Aber nicht nur Forschende, auch Mitarbeitende der öffentlichen Hand (z. B. Gemeinden, Kantone) oder von Umweltbüros könnten dank solcher Analysen und Visualisierungen Sammlungsdaten vermehrt in Projekte und Beurteilungen miteinbeziehen. Darüber hinaus sind die gezeigten Analysen und Visualisierungen auch für die Museen selber von Nutzen, beispielsweise um den Status quo der eigenen Sammlung zu charakterisieren, die künftige Sammlungsentwicklung gezielt zu lenken oder den Wert der Sammlungen zu belegen (*Krishtalka & Humphrey 2000, SPNHC 2018*). Nebenbei bemerkt: Obwohl sich unsere Studie auf Daten aus naturkundlichen Sammlungen konzentrierte, sind die Methoden allgemein genug, um auch digitalisierte kulturhistorische Sammlungen mit ihren Kulturgüterobjekten in ähnlicher Weise zu analysieren und zu visualisieren.

Ein häufig gehörtes Problem im Zusammenhang mit der Online-Verfügbarkeit von Sammlungsdaten ist die Datenqualität. Gerade historische Belege aus vergangenen Jahrhunderten sind oftmals nicht georeferenziert oder es liegen – wenn überhaupt – nur wenige Metadaten vor. Es ist verständlich, dass die Sammlungsverantwortlichen nach «perfekten Daten» streben (*Krishtalka & Humphrey 2000*). Dennoch können – sofern klar kommuniziert und entsprechend gekennzeichnet – auch «unvollkommene» Daten nützlich sein, um eine wissenschaftliche Frage mit den entsprechenden statistischen Methoden zu untersuchen. Letztendlich wissen die an Sammlungsdaten interessierten Forschenden selber am besten, welche Art von Daten sich für ihre Fragestellungen eignen. Verschiedene Autorinnen und Autoren haben zudem statistische Methoden für einen korrekten Umgang mit «nicht perfekten» Sammlungsdaten entwickelt (z. B. *Daru et al. 2018, Meineke & Daru 2021, Ward 2012*).

Die in diesem Beitrag angesprochenen Analysen und Visualisierungen verstehen wir als Denkanstoss. Ziel sollte es letztendlich sein, solche Visualisierungen online und interaktiv abrufbar zu machen. So könnten Forschende selber mit den Sammlungsdaten entsprechende Visualisierungen durchführen und sie auf die Tauglichkeit für

ihre Forschungsfragen hin überprüfen oder gewinnen Inspiration für erweiterte Fragestellungen. Werkzeuge, um Webanwendungen für interaktive Datenvisualisierungen einzurichten, stehen bereits heute vielfältig zur Verfügung (siehe Hinweise in *Bozuto & Geisser 2022*). Nicht zuletzt hat die Covid-19-Pandemie die Einrichtung zahlreicher zuverlässiger Webseiten angeregt, die epidemiebezogene Informationen und Metriken auf der Grundlage verschiedener Datenströme zusammenfassen und berechnen – einige erfolgreiche Webseiten wurden sogar von Privatpersonen oder Forschenden in kürzester Zeit erstellt. Dennoch bleibt die Frage, wer solche Analysen für Sammlungsdaten aus Naturmuseen umsetzt, bzw. entsprechende Webanwendungen programmiert. Das benötigte Fachwissen dürfte in den wenigsten Museen vorhanden sein. Es sind daher Partnerschaften gefragt. Partnerschaften mit externen Spezialistinnen und Spezialisten, wie sie das Naturmuseum Thurgau für diese Studie eingegangen ist. Aber auch Partnerschaften unter den Naturmuseen, die ihre Daten gemeinsam digitalisieren und in der hier aufgezeigten Art und Weise bereitstellen. Wichtig wären auch Kooperationen von Naturmuseen aus einer Region, die gemeinsam Fördermittel für solche Sammlungsprojekte generieren. Regionale Kooperationen böten zudem den Vorteil, dass die kooperierenden Naturmuseen ihre Sammlungen in Zukunft vermehrt koordiniert und aufeinander abgestimmt weiterentwickeln könnten. Schliesslich besteht auch die Möglichkeit, die eigenen digitalisierten Sammlungsdaten einer globalen Dateninitiative wie GBIF zur Verfügung zu stellen, verbunden mit der Aufforderung, die Daten für Forschende und andere Anwender gewinnbringend darzustellen.

Vor über 20 Jahren begannen *Krishtalka & Humphrey (2000, S. 611)* ihren Beitrag mit einem Weckruf: *«As natural history museums prepare to enter the twenty-first century, much of their core still sits in the 1800s. Despite enormous expansion in collections and exhibits during the past 100 years, many museums still resemble Victorian cabinets of natural history. Many still behave as isolated island endemics undergoing genetic drift, eschewing the hybrid vigor and collaborative power of a community»*. Glücklicherweise ist die Situation heute (ein wenig) anders. Dennoch: Naturmuseen können es (noch) besser machen. Vor allem kleine bis mittelgrosse Museen mit ihren regional ausgerichteten Sammlungen sollten keine falsche Bescheidenheit an den Tag legen und auf die Initiative der grossen Institutionen warten. Gerade regionale Daten sind von besonderer Bedeutung für das Verständnis globaler Veränderungen wie den Klimawandel oder den Verlust der Biodiversität (*Pillotto et al. 2020, Büttner et al. 2022*). Naturmuseen sollten in Zukunft ihre Sammlungsdaten mit Forschenden und anderen interessierten Personen öffentlich teilen, und zwar über Tabellen oder das blosses Darstellen von Sammlungsfundorten auf einer Google-Map-Karte hinausgehend. Nur so wecken sie bei Forschenden auch das Interesse und die Motivation, mit den Sammlungsdaten vermehrt zu arbeiten, dies vor allem mit Blick auf die Herausforderungen des Klimawandels und der Biodiversitätskrise im Anthropozän.

## 5 Literatur

- *Alberch P., 1993*: Museums, collections and biodiversity inventories. – *Trends in Ecology & Evolution*, 8(10), 372–375.
- *Bakker F. T., Antonelli A., Clarke J. A., Cook J. A., Edwards S. V., Ericson P. G. P., Faurby S., Ferrand N., Gelang M., Gillespie R. G., Irestedt M., Lundin K., Larsson E., Matos-Maraví P., Müller J., Proschwitz T. von, Roderick G. K., Schliep, A., Wahlberg, N., Wiedenhoeft J. & Källersjö, M., 2020*: The Global Museum: Natural history collections and the future of evolutionary science and public education. – *PeerJ*, 8, e8225.
- *Bozzuto C., 2020*: A quantitative framework to guide restoration of butterfly communities in fragmented landscapes. – *Technischer Bericht, Wildlife Analysis GmbH, Zürich, Schweiz*. doi:10.13140/RG.2.2.28616.14080. <https://www.researchgate.net/publication/346561944>.
- *Bozzuto C. & Geisser H., 2022*: Natural history museums can do better: Simple analyses and visualizations of collection data to attract more researchers. – *Technischer Bericht, Wildlife Analysis GmbH, Zürich, Schweiz*. doi:10.13140/RG.2.2.35625.06243. <https://www.researchgate.net/publication/361052377>.
- *Büttner M., Weibel U., Jutzki M., Bergamini, A. & Holderegger R., 2022*: A 150-year-old herbarium an floristic data testify regional species decline. – *Biological Conservation* (272), 109609.
- *Daru B. H., Park D. S., Primack R. B., Willis C. G., Barrington D. S., Whitfeld T. J. S., Seidler T. G., Sweeney P. W., Foster D. R., Ellison A. M., & Davis C. C., 2018*: Widespread sampling biases in herbaria revealed from large-scale digitization. – *New Phytologist*, 217(2), 939–955.
- *Graham C. H., Ferrier S., Huettman F., Moritz C. & Peterson A.T., 2004*: New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. – *Trends in Ecology and Evolution* 19(9): 497–503.
- *Krishnalka L., & Humphrey P. S., 2000*: Can Natural History Museums Capture the Future? – *BioScience*, 50(7), 611–617.
- *Laussmann T., Dahl A., & Radtke, A., 2021*: Lost and found: 160 years of Lepidoptera observations in Wuppertal (Germany). – *Journal of Insect Conservation*, 25(2), 273–285.
- *Meineke E. K., Davies T. J., Daru B. H., & Davis C.C., 2019*: Biological collections for understanding biodiversity in the Anthropocene. – *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1763), 20170386.
- *Meineke E. K., & Daru B. H., 2021*: Bias assessments to expand research harnessing biological collections. – *Trends in Ecology & Evolution*, 36(12), 1071–1082.
- *O'Dohoghue S. I., Benedetta F., Baldi S., Clark J., Darling A. E., Hogan J. M., Kaur S., Maier-Hein L., McCarthy D. J., Moore W. J., Stenau E., Swedlow. J. R. Vuong J. & Procter J.B., 2018*: Visualization of Biomedical Data. – *Annual Review of Biomedical Data Science*, 1, 275–304.
- *Praz S., 2022*: Strapaziöse Suche nach wertvollen Informationen. – *Horizonte* 1, 22–24.
- *Pillotto et al., 2020*: Meta-analysis of multidecadal biodiversity trends in Europe.

Nature Communications, 11(1), 1–11.

- *Scheidegger T., 2017: «Petite Science». Ausseruniversitäre Forschung in der Schweiz.* – Wallstein Verlag, Göttingen, 707 pp.
- *SCNAT Swiss Academies of Arts and Sciences, 2019: Nationale Bedeutung naturwissenschaftlicher Sammlungen der Schweiz.* – Swiss Academies Factsheet, Vol. 14, No. 1.
- *SPNHC The Society for the Preservation of Natural History Collections, 2018: Survey Results: Harnessing Natural History Collections Data.* – Zusammenfassung online:  
<https://spnhc.org/survey-results-harnessing-natural-history-collections-data/>
- *Wagner D.L., Grames E. M., Forister M. L. & Stopak D., 2021: Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts.* – PNAS Vol. 118 (2), e2023989 118
- *Ward D. F., 2012: More Than Just Records: Analysing Natural History Collections for Biodiversity Planning.* – PLOS ONE, 7(11), e50346.
- *Widmer I., Mühlethaler R., Baur B., Gonseth Y., Guntern J., Klaus G., Knop E., Lachat T., Moretti M., Pauli D., Pellissier L., Sattler T. & Altermatt F., 2021: Insektenvielfalt in der Schweiz: Bedeutung, Trends, Handlungsoptionen.* – Swiss Academies Reports 16 (9), 111 pp.

Adresse der Autoren:

Claudio Bozzuto  
Wildlife Analysis GmbH  
Oetlisbergstrasse 38  
8053 Zürich  
bozzuto@wildlifeanalysis.ch  
www.wildlifeanalysis.ch

Hannes Geisser  
Naturmuseum Thurgau  
Freie Strasse 24  
8510 Frauenfeld  
hannes.geisser@tg.ch

## Anhang 1

Übersicht über die Lepidopteren-Sammlung des Naturmuseums Thurgau. Für die gesamte Sammlung und die sieben Familien, die in diese Studie einbezogen wurden, zeigt die Tabelle (von links nach rechts): die Anzahl der Exemplare, den Anteil der in der Schweiz bzw. im Kanton Thurgau gesammelten Exemplare (in Prozent, gerundet) und den Anteil der georeferenzierten Exemplare, die in der Schweiz gesammelt wurden (in Prozent, gerundet).

	Anzahl Belege	Anteil Belege Schweiz (%)	Anteil Belege Kanton Thurgau (%)	Anteil georeferenzierter Belege Schweiz (%)
<b>Schmetterlinge (Lepidoptera)</b>	22'130	94	51	57
<i>Tagfalter</i>	4'221	88	31	33
<i>Papilionidae</i>	206	84	19	20
<i>Pieridae</i>	566	89	43	39
<i>Nymphalidae</i>	1'138	83	36	33
<i>Satyridae</i>	911	91	22	31
<i>Lycaenidae</i>	1'017	92	27	33
<i>Hesperiidae</i>	383	90	37	41