

## Virtual Bones – 3D-Modelle menschlicher Knochen im Biologieunterricht

### Virtual Bones – 3D models of human bones in teaching biology

Karsten Damerau, Aida Mesanovic-Voigt, Luisa Spätgens, Angelika Preisfeld

---

#### Zusammenfassung

Im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung und technischen Entwicklung werden digitale 3D-Modelle im naturwissenschaftlichen Unterricht immer präsenter. So liegen Hinweise darauf vor, dass 3D-Modelle zu einem schnelleren und effektiveren Wissenserwerb beitragen können und dass sie als hilfreich für Lernprozesse wahrgenommen werden. Insbesondere das Begreifen komplexer anatomischer Strukturen wird von diesem Modelltyp unterstützt. Durch die zunehmend einfachere Zugänglichkeit frei verfügbarer 3D-Modelle, können neue Zugänge für die Unterrichtspraxis geschaffen werden. Im Rahmen des vorliegenden Artikels wird Lehrkräften ein Workflow zum Umgang mit digitalen Knochenmodellen in einer Open Source Software aufgezeigt, um in einem Biologieunterricht zum Thema *Bones – Dem Skelettfund auf der Spur* mit Schüler\*innen eine Identifizierung menschlicher Knochen realisieren zu können. Mit Hilfe eines bereitgestellten Identifizierungsschlüssels gelingt es Schüler\*innen, das Lebensalter, das biologische Geschlecht und die Größe eines Skelettes zu bestimmen. Zudem wird durch die aktive Anwendung digitaler Tools sowie durch die Interaktion mit 3D-Modellen ein Beitrag zur Förderung der Medien- und Modellkompetenz geleistet.

**Schlüsselwörter:** Naturwissenschaftlicher Unterricht, 3D-Modelle, Knochen, Anatomie lehren, Bestimmungsschlüssel

#### Abstract

In the course of advancing digitization and technological development, digital 3D models are becoming more present in science education. There is evidence that 3D models can contribute to faster and more effective knowledge acquisition and that they are perceived as helpful for learning processes. In particular, the comprehension of complex anatomical structures is supported by this type of model. Due to the increasingly easy accessibility of freely available 3D models, new approaches for teaching practice can be created. In this article, teachers are shown a workflow for working with digital bone models in open-source software in order to identify human bones with students in a biology class on the topic *Bones – Tracking down the Skeleton*. Using a skeletal identification guide provided, students determine the age, biological sex, and height of a skeleton. In addition, the active use of digital tools and interaction with 3D models contributes to the promotion of digital literacy and model competence.

**Keywords:** science education, 3D models, bones, anatomy teaching, identification guide

---

#### 1 Anatomische 3D-Modelle im Biologieunterricht

Digitalisierung prägt die heutige Gesellschaft und hat zunehmend Einzug in den Bildungsbereich gehalten. Digitale Unterrichtsmedien werden – nicht erst bedingt durch die Corona-Pandemie – auch für den Biologieunterricht immer relevanter und ihre Einsatzmöglichkeiten sind breit gefächert. Sie können als Rechen-, Explorations-, Visualisierungs-, Übungs-, Kommunikations-, Kollaborations- und Produktionswerkzeug dienen

(Kramer, et al., 2019). Visualisierungen sind ein elementarer Bestandteil im naturwissenschaftlichen Unterricht. Sie können Lernprozesse fördern, indem sie den Schüler\*innen dabei helfen, die Struktur und Funktion von Gegenständen besser erfahren, erklären und verstehen zu können. Im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung leisten Modelle als Visualisierungen realer Objekte einen elementaren Beitrag zur Vermittlung von Lerninhalten in der naturwissenschaftlichen Bildung (KMK, 2005, 2020; Upmeier zu Belzen & Krüger, 2019). Durch das gezielte Reduzieren

und Hervorheben von Strukturen, tragen Modelle zu einer besseren Veranschaulichung bei. Somit können komplexe Zusammenhänge leichter erkannt und das Verständnis dadurch gefördert werden (Heitzmann, 2019). Doch gerade hier muss den Schüler\*innen auch deutlich gemacht werden, dass Modelle immer eine abstrahierte Repräsentation begrenzter Erklärungsmacht darstellen (Haider, 2019), und es folglich immer einer Modellkritik bedarf.

In der Medizin, der Biologie und der Kunst hat der Einsatz von Modellen insbesondere im Kontext der Vermittlung anatomischer Gegebenheiten eine lange Tradition (Narang et al., 2021; Talairach-Vielmas, 2014), da Modelle wie kein anderes Medium direkte Einblicke in die dreidimensionalen Lagebeziehungen anatomischer Strukturen vermitteln können (Chen et al., 1999). Die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte sorgte für den Einzug digitaler 3D-Modelle in die Anatomie-Lehre (Brazina et al., 2014; Erolin et al., 2019). Auch zur Unterstützung von Schul- und Hochschullehre wird dem Einsatz digitaler anatomischer 3D-Modelle zunehmend Bedeutung beigemessen (Murgitroyd et al., 2015; Pujol et al., 2016). So liegen Hinweise darauf vor, dass in Anatomie-Apps eingebundene 3D-Modelle bei Studierenden der Medizin zu einem schnelleren und effektiveren Wissenserwerb beitragen, als die Arbeit mit Anatomie-Büchern (Haque et al., 2021; Nicholson et al., 2006; Zilverschoon et al., 2021). Insbesondere das Begreifen komplexer anatomischer Strukturen wird von diesem Modelltyp unterstützt (Rosario, 2021). Gelegentlich deutet sich zudem an, dass dieser Modelltyp den Wissenserwerb unter Umständen deutlicher fördern kann als Kunststoffmodelle (Zibis et al., 2021). Während Studierende der Medizin anatomischen Originalobjekten sowie durch anatomische Kunststoffmodelle ergänzte Laborpraktika den höchsten Lehrbeitrag beimessen, schätzen einige Studierende an digitalen 3D-Modellen deren gute Zugänglichkeit sowie die Interessantheit digitaler 3D Applikationen (Mahrous et al., 2021; Totlis et al., 2021). Auch Schüler\*innen nehmen 3D-Modell gestützte Augmented Reality und Mixed Reality Anatomie-Apps als hilfreich für den Lernprozess wahr, wobei sich die Interaktivität der App als lernwirksames Kriterium andeutet (Albino, 2021; Efraim et al., 2021). Darüber hinaus lassen sich einige unterrichtspraktische Vorteile digitaler 3D-Modelle identifizieren:

- Digitale 3D-Modelle werden zunehmend einfacher und kostengünstiger verfügbar. Online existieren mittlerweile viele kostenpflichtige aber auch frei zugängliche Angebote digitaler anatomischer 3D-Modelle (z.B. auf [www.sketchfab.com](http://www.sketchfab.com), letzter Zugriff am 07.12.21). Es existiert zudem freie Software zur Handhabung dieser Modelle (z.B. die kostenlose Open Source Software Blender, [www.blender.org](http://www.blender.org), letzter Zugriff am 05.12.21).
- Digitale 3D-Modelle können animiert werden, um auch komplexe funktionelle anatomische Beziehungen (z.B. das Zusammenspiel ganzer Muskelgruppen) zu veranschaulichen (Hoyek et al., 2014).
- Digitale 3D-Modelle können – einen geeigneten Computerraum oder geeignete mobile Hardware vorausgesetzt – mit Schüler\*innen in Kleingruppen eingesetzt werden, ohne dass zahlreiche physische Modelle notwendig werden.
- Digitale 3D-Modelle können Schüler\*innen auch online, z.B. bei Vor- oder Nachbereitungen im Unterricht zugänglich gemacht werden. Gerade in Zeiten der Corona-Pandemie deutet sich die Relevanz interaktiver 3D-Modelle für anatomische Lehr-/Lernkontexte an (Obrero-Gaitán et al., 2021).
- Geeignete digitale 3D-Modelle bieten die Möglichkeit, über 3D-Druck physische Modelle zu generieren. 3D-Druckmodelle unterstützen den Verstehens- und Behaltensprozess (Monkovic et al., 2021). Hier sollte allerdings der ggf. hohe Zeitaufwand für den Herstellungsprozess sowie die häufig noch eingeschränkte Druckqualität berücksichtigt werden, was ggf. diesen Vorteil – heute noch – relativiert.
- Digitale 3D-Modelle realer Objekte können von Biologielehrer\*innen und Schüler\*innen zum Teil im Unterrichtskontext auch selbst generiert werden (z.B. mittels mobiler Endgeräte und Photogrammetrie-Apps).
- In der Auseinandersetzung mit digitalen 3D-Modellen werden zudem auch digitale Kompetenzen der Lernenden im Umgang mit digitalen Endgeräten sowie Programmen und (fach-) spezifischen Tools gefördert. Somit wird ein Beitrag zur Entwicklung notwendiger

Kompetenzen in der digitalen Welt geleistet (KMK, 2017).

Die voranschreitende Digitalisierung im Bildungsbereich bringt neben neu geschaffenen Handlungsräumen (Lehr- und Lernräume) in den naturwissenschaftlichen Fächern aber auch Fragen nach dem Mehrwert und dem methodisch-didaktisch gezielten Einsatz digitaler Medien im Biologieunterricht mit sich (Kerres, 2000; Schaal, 2017). Die gewinnbringende Einbindung digitaler Medien und Technologien im Unterricht kann nur erfolgen, wenn diese den Lehr- und Lernprozess bereichern. Dabei geht es nicht um die Frage nach analog oder digital, sondern vielmehr darum, ob die eingesetzten digitalen Medien Zugänge ermöglichen, die ohne sie nicht möglich wären (Schaal, 2017). Zudem gilt, dass das Unterrichtsvorhaben nicht allein durch das Medium motiviert sein sollte. Vielmehr bedarf es einer sinnvollen methodisch-didaktischen Begründung, um das volle Potenzial digitaler Medien im Lernprozess entfalten zu können. Der Einsatz digitaler Medien

erscheint insbesondere dann wertvoll, wenn das Medium die aktive Auseinandersetzung mit dem Inhalt direkt unterstützt und die individuelle Transformationsleistung der Lernenden bei der Aneignung fördert (Kerres, 2000). Die im Folgenden vorgestellte Doppelstunde zum Thema „Bones - Dem Skelettfund auf der Spur. Knochenidentifizierung mithilfe von digitalen 3D-Modellen“ soll eine solche Auseinandersetzung ermöglichen.

## 2 Curriculare Anbindung

Die neunzigminütige Unterrichtsstunde lässt sich – exemplarisch am Kernlehrplan der Sekundarstufe I des Gymnasiums in NRW (MSB NRW, 2019) – als inhaltlicher Exkurs im Inhaltsfeld „Mensch und Gesundheit“ und im inhaltlichen Schwerpunkt „Bewegungssystem – Abschnitte des Skeletts und ihre Funktionen“ verorten. Die Stunde könnte beispielsweise eine Unterrichtssequenz zum Thema „Der Bewegungsapparat des Menschen“ (vgl. Tabelle 1) abschließen.

UE	Thema/ Unterrichtsinhalte	Angestrebte Lernziele
		Die Schüler*innen...
<b>1. Sequenz: Der Bewegungsapparat des Menschen</b>		
1	Unser Gerüst – Bau und Funktion des Skeletts	können die zentralen Abschnitte des Skeletts bestimmen und den Bau und die Funktion des Skeletts im Hinblick auf das Bewegungssystem erläutern. Die Schüler*innen vergleichen die Skelette von Mensch und Hund und nennen Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
2	Das doppelte „S“ – Die menschliche Wirbelsäule	können die Abschnitte der Wirbelsäule nennen und die Struktur und Funktion der Wirbelsäule erläutern.
3	Exkurs: Gesunder Rücken – Die richtige Haltung im Alltag	erarbeiten sich theoretisch und praktisch Kriterien einer guten und gesunden Körperhaltung.
4	Was macht uns gelenkig? – Bau und Funktion der Gelenke	können die Funktion der Gelenke für das Bewegungssystem beschreiben und vier Gelenktypen anhand von Beispielen erklären.
5	Was bewegt uns? – Bau und Funktion der Muskulatur	können den Aufbau eines Muskels benennen. Die Schüler*innen erarbeiten sich mithilfe eines Funktionsmodells das Gegenspielerprinzip.
6*	Exkurs: Bones – Dem Skelettfund auf der Spur. Knochenidentifizierung mithilfe von digitalen 3D-Modellen	können nach den Teiloperationen des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs digitale 3D-Knochenmodelle mithilfe eines Identifizierungsschlüssels bestimmen und somit die Struktureigenschaften kriteriengeleitet untersuchen.
<b>2. Sequenz: Fit und gesund</b>		

**Tabelle 1:** Tabellarischer Verlauf der Themeninhalte innerhalb der Unterrichtsreihe, bei den aufgeführten Stunden handelt es sich um Doppelstunden (90 Minuten). (UE: Unterrichtseinheit. \*grau hinterlegt: Einbettung der vorliegenden Stunde)

<b>Thema der Unterrichtsstunde:</b> Bones – Dem Skelettfund auf der Spur. Knochenidentifizierung mithilfe von digitalen 3D-Modellen		Sekundarstufe I Fach: Biologie		
<b>Kernanliegen:</b> Indem die Schüler*innen nach den Teiloperationen des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs digitale 3D-Knochenmodelle mithilfe eines Identifizierungsschlüssels bestimmen, können sie die Struktureigenschaften und Merkmale kriteriengeleitet untersuchen und somit den Skelettfund aus dem fiktiven Fallbeispiel begründet einordnen. Damit erweitern sie im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten, 3D-Modelle zur Erfassung der Wirklichkeit zu nutzen. Durch das Arbeiten mit 3D-Modellen wird ein zusätzlicher Beitrag zur Förderung der Medienkompetenz der Schüler*innen geleistet. Gezielt wird hier im Kompetenzbereich „Problemlösen und Handeln“ entsprechend der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2017) gefördert.				
Phase	Unterrichtsaktivität	Sozialform	Material/Medien	Methodisch-didaktischer Kommentar
Einstieg	L. stellt den SuS einen fiktiven Fall eines Skelettfundes bei einer Ausgrabung vor.	Plenum (UG)	Exemplarisches Fallbeispiel	Motivation und Interesse wecken
Hinführung	Die SuS stellen in ihren Forscherteams Hypothesen auf, um wen es sich bei dem Skelettfund handeln könnte.			Forschendes Lernen, aktives Einbeziehen der Lernenden, Überleitung zur Erarbeitungsphase, naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozess
Erarbeitung	Die SuS bestimmen die Struktureigenschaften und Merkmale der vorliegenden 3D-Modelle mithilfe eines Identifizierungsschlüssels. Die SuS halten ihre Ergebnisse in einem Identifizierungsschlüssel fest.	Forscherteams (Kleingruppen)	Identifizierungsschlüssel, Computer, Blender, 3D-Modelle	Differenzierter Zugang zum Unterrichtsgegenstand, Bedeutung der Modelle im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung zur Erfassung der Wirklichkeit, Beitrag zur Förderung der Medienkompetenz, Anwenden und Bedienen digitaler Tools
Präsentation	In Kleingruppen stellen die SuS ihre erarbeiteten Ergebnisse vor.	Plenum (UG)		Kompetenzförderung: Darstellung und Präsentation des Erarbeiteten
Sicherung	Die Ergebnisse werden im Plenum diskutiert und gesichert.			Sicherung, Überprüfung und Zusammenführen der Ergebnisse, Rückbezug zu den Hypothesen und Beantwortung der Stundenfrage
Vertiefung	Die SuS reflektieren das Arbeiten mit digitalen 3D-Modellen.			Förderung der Reflexionskompetenz, Modellkritik

Abbildung 1: Synoptischer Verlaufsplan (SuS: Schüler\*innen, L: Lehrkraft, UG: Unterrichtsgespräch)



In der Unterrichtsstunde nehmen die Schüler\*innen eine Identifizierung menschlicher Knochen anhand digitaler 3D-Modelle zwecks Aufklärung eines fiktiven Skelettfundes vor (vgl. Abbildung 1). Legitimiert wird die Auseinandersetzung mit dem Inhaltsgegenstand gerade in Bezug auf die Bedeutung von Modellen im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung (ebd.). Hier liegt auch der didaktische Schwerpunkt der vorliegenden Unterrichtsstunde. Zudem werden die Schüler\*innen am Ende der Unterrichtsstunde angehalten, das Arbeiten mit 3D-Modellen kritisch zu reflektieren und die Chancen und Grenzen der eingesetzten Modelle aufzuzeigen. An dieser Stelle wird ein Beitrag zur Förderung der Modellkritik geleistet, welche wesentlich für den Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung ist (KMK, 2005, 2020). Durch das Arbeiten mit 3D-Modellen und einem digitalen Messwerkzeug werden zudem Beiträge zur Medienkompetenzförderung der Schüler\*innen geleistet, welche gegenwärtig im Bildungsbereich stärker an Bedeutung gewinnen. Rahmengebend hierfür ist dabei der verbindliche Kompetenzrahmen der KMK-Strategie „Bildung in der digitalen Welt“ (KMK, 2017).

#### 4 Hinweise zum Umgang mit 3D-Modellen menschlicher Skelette

Seit den 90er Jahren wird auf internationaler Ebene zunehmend über den Umgang mit menschlichen Überresten in Museen und Sammlungen diskutiert. Anlass waren Rückgabeforderungen bezüglich menschlicher Überreste meist außereuropäischen Ursprungs (Deutscher Museumsbund e.V., 2013). Vor diesem Hintergrund veröffentlichte der Deutsche Museumsbund e.V. im Jahr 2013 Empfehlungen zum Umgang mit menschlichen Überresten in Museen und Sammlungen, die in aktueller Form von 2021 neben u.a. rechtlichen Grundlagen auch ethisch-moralische Gesichtspunkte sowie die Digitalisierung dieses sensiblen Sammlungsgutes thematisieren. So wird darauf hingewiesen, dass es vor der Überführung menschlicher Überreste in speicherbare Digitalisate wie 3D-Scans gilt, den Erkenntnisgewinn auch mit ethischen Maßstäben abzuwiegen. Zudem gilt es, die allgemeinen Vorgaben der Datenschutzgrundverordnung und der Rechte am eigenen Bild zu beachten (Deutscher Museumsbund e.V., 2021). Das Recht am eigenen Bild in Deutschland kann

zwar 10 Jahre nach dem Tod einer Person nicht mehr geltend gemacht werden (vgl. § 22 Satz 3 KunstUrhG), doch auch darüber hinaus gilt der postmortale Persönlichkeitsschutz (Jansen, 2008). Zur Wahrung der o.g. ethischen Grundsätze und rechtlichen Bestimmungen, streben wir aktuell die Erstellung digitaler Knochenmodelle, die für die Identifizierungsübung optimiert wurden, in Kooperation mit Institutionen der medizinisch-anatomischen Lehre und Forschung an, deren Sammlungen Skelette nachvollziehbarer Herkunft enthalten und deren Verwendung für Lehre und Forschung legitimiert wurde. Bis dahin kann die im Weiteren vorgestellte Identifizierungsübung mit bereits öffentlich im Internet verfügbaren Modellen realisiert werden. Dies erfordert einige zusätzliche Vorbereitungsschritte.

#### 5 Notwendige Vorbereitungen durch die Lehrkraft

**Hardware:** Die Identifizierungsübung ist in der Regel auf den Rechnern eines Computerraumes in der Schule realisierbar. Die benötigte Rechenleistung hängt deutlich vom Detailgrad der verwendeten 3D-Modelle ab, i.d.R. ist aber keine besonders leistungsfähige Grafikkarte erforderlich. Geeignete Computer vorausgesetzt, können Schüler\*innen die Identifizierungsübung auch zu Hause umsetzen. Benötigt wird das Betriebssystem Windows, MacOS oder Linux sowie eine Maus mit Mousrad.

**Software:** Für die Durchführung der virtuellen Knochenidentifizierung wird die Open Source 3D-Software Blender benötigt (Version 2.8 oder neuer). Diese ist kostenfrei erhältlich für Windows, MacOS und Linux auf <https://www.blender.org/download/> (letzter Zugriff 07.12.21) und sollte vor dem Unterricht auf den Computern installiert werden.

**3D-Modelle – Suche, Download & Optimierung** (Achtung: Die folgenden Schritte sind nur vor der erstmaligen Durchführung der Identifizierungsübung notwendig. Nach ihrer Durchführung liegen Ihnen gut handhabbare Dateien der für die Identifizierungsübung notwendigen 3D-Modelle vor, die Sie dann später im Unterricht jederzeit wieder nutzen können): Vor dem Unterricht sollten geeignete 3D-Modelle für die Identifizierungsübung gesucht werden, damit diese später in der Software Blender von

den Schüler\*innen vermessen werden können. Benötigt werden 3D-Modelle eines menschlichen Schädels, Beckens, Oberarmknochens und Oberschenkelknochens. Digitale 3D-Modelle menschlicher Knochen können – zum Teil kostenpflichtig und zum Teil kostenfrei – in verschiedenen Online-Bibliotheken bezogen werden. Die verfügbaren Modelle besitzen sehr heterogene Qualität. Für die Identifizierungsübung sind aufgrund ihrer in der Regel realistischeren relativen Maße 3D-Modelle aus 3D-Scans oder photogrammetrischer Erstellung zu präferieren. Geeignete (auch kostenfreie) Modelle finden sich beispielsweise auf der 3D-Modell-Sharing-Webseite Sketchfab (<https://sketchfab.com/>, letzter Zugriff 07.12.21) und können nach Registrierung heruntergeladen werden. Geben Sie in der Suchleiste auf Sketchfab als Suchbegriffe beispielsweise „human skull“ ein. Es erscheinen Bilder verschiedener 3D-Modelle. Modelle, die direkt zum Download zur Verfügung stehen, besitzen ein Downloadsymbol rechts oben in dem entsprechenden Bild. Kostenpflichtige Modelle besitzen ein Dollarsymbol; Modelle ohne Symbol können nur online angesehen werden und stehen nicht zum Download zur Verfügung. Ein Klick mit dem linken Mausbutton auf das Download-Symbol öffnet ein Fenster mit Lizenzinformationen zu dem jeweiligen Modell (bitte beachten!) und einer Auswahlmöglichkeit des gewünschten Dateiformates. Verwenden Sie nach Möglichkeit das .fbx, .obj, oder .stl-Dateiformat. Diese Formate können problemlos in Blender geöffnet werden. Hinweis: Einige 3D-Modelle besitzen texturierte – verschiedenfarbige – Oberflächen. Sollten die Online gefundenen 3D-Modelle

.obj-Format besitzen und texturiert sein, ist zu berücksichtigen, dass die .obj-Dateien selbst keine Textur enthalten. Diese muss dann zusätzlich als Bilddatei (z.B. .png - oder .jpg-Format) gemeinsam mit einer .mtl-Datei zur Verfügung stehen. Kopieren Sie diese Dateien in den Ordner zur Datei des 3D-Modells. Falls Ihr gefundenes .obj-3D-Modell keine zusätzlichen Dateien enthält, besitzt es keine Textur und Blender wird es in einheitlicher Farbe – in der Regel grau – darstellen. Bei .fbx-Modellen ist die Textur häufig in die .fbx-Datei eingebettet und muss nicht extra kopiert werden). Nach dem Download des 3D-Modells eines Schädels sollten auch noch 3D-Modelle eines Beckens (Suchbegriffe: human pelvis), eines Oberarmknochens (Suchbegriffe: human humerus) sowie eines Oberschenkelknochens (Suchbegriffe: human femur) heruntergeladen werden. Falls eine heruntergeladene Datei mehrere 3D-Modelle enthält, kann das unerwünschte Modell später in Blender entfernt werden. Die heruntergeladenen 3D-Modelle besitzen nicht immer einen realistischen Maßstab, d.h. bei einer Vermessung in einem 3D-Programm ist ein Oberarmknochen dann z.B. nur wenige Millimeter oder aber viele Kilometer lang. Manchmal befinden sich die importierten 3D-Modelle auch irgendwo im dreidimensionalen Raum, aber nicht dort, wo Sie diese beim Öffnen in Blender direkt sehen können. Bevor die Modelle für die Identifizierungsübung eingesetzt werden, sollte ihre Position und Größe daher angepasst werden. Starten Sie dazu Blender über das Symbol auf dem Desktop. Es öffnet sich die Bedienoberfläche (Abbildung 2).

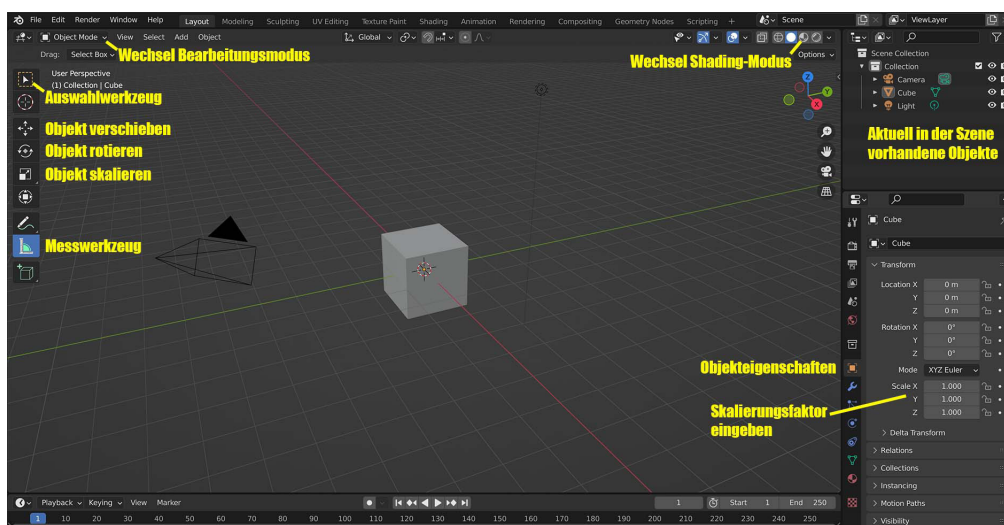


Abbildung 2: Graphical User Interface (GUI) von Blender (eigene Abbildung)

Beim Start von Blender wurde automatisch das 3D-Modell eines Würfels geöffnet. Löschen Sie den Würfel, indem Sie ihn mit der linken Maustaste (LMT) auswählen und dann Entf auf der Tastatur drücken. Sie schauen nun direkt auf den Nullpunkt eines dreidimensionalen Koordinatensystems. Klicken Sie links oben in der Menüleiste auf File, dann Import und wählen Sie das Dateiformat Ihrer 3D-Datei aus. Suchen Sie nun den Ordner, in dem Sie Ihr 3D-Modell gespeichert haben und klicken Sie auf Import (das Öffnen kann einen Moment dauern). Idealerweise sehen Sie jetzt das 3D-Modell, welches im Bereich des Nullpunktes liegt. Wenn Sie es nicht sehen, dann a) liegt es wahrscheinlich irgendwo anders im Raum oder b) es ist extrem klein oder groß. Mit dem Mausrad können Sie an den Nullpunkt heran- bzw. von ihm herauszoomen. Falls das Zoomen mit dem Mausrad extrem sprunghaft erfolgt und nicht fein dosiert werden kann, können Sie dies in der Regel leicht beheben. Klicken Sie das 3D-Modell einmal mit der LMT an. Gehen Sie oben in der Bedienoberfläche von Blender auf View > Frame selected. Nun ist Ihre Sicht auf das 3D-Modell fokussiert und Sie sollten flüssig zoomen können. Sollte das Modell allerdings immer noch nicht zu sehen sein, dann liegt es evtl. irgendwo anders im 3D-Raum, d.h. die Position muss angepasst werden.

**3D-Modelle – Position kontrollieren und ggf. anpassen:** Damit die Schüler\*innen das Modell später beim Öffnen von Blender direkt sehen, zentrieren Sie das Modell nun, indem Sie rechts oben in der Scene Collection (listet alle gerade in der Szene vorhandenen Objekte auf) einmal mit der LMT auf ihr importiertes Modell (vgl. Abbildung 2) klicken. Dann klicken Sie mit der rechten

Maustaste (RMT) einmal in den leeren 3D-Raum und wählen Set Origin > Geometry to Origin. Nun sollte sich das 3D-Modell im Nullpunkt befinden. Falls Sie es etwas rotieren möchten (um es z.B. parallel zur Ebene auszurichten), klicken Sie links im Menü auf das Rotieren-Symbol (Abbildung 2). Es erscheint nun ein Rotieren Werkzeug. Wenn Sie z.B. mit der LMT auf den blauen Kreis klicken und die Maus bewegen, rotieren Sie das Modell um die Z-Achse. Sie können sich auch selbst im 3D-Raum um das Modell herumbewegen, indem Sie auf das Mausrad klicken (das Mausrad ist bei den meisten Mäusen gleichzeitig eine Taste!), es gedrückt halten und die Maus bewegen. Wenn Sie gleichzeitig dabei die Shift-Taste auf der Tastatur drücken, bewegen Sie sich im 3D-Raum seitwärts.

**3D-Modelle – Größe kontrollieren und ggf. anpassen:** Um die Größe des Modells zu überprüfen, wählen Sie links im Menü mit der LMT das Messwerkzeug aus. (Abbildung 2). Halten Sie nun auf der Tastatur die Strg-Taste (bei Mac die Ctrl-Taste) gedrückt, während Sie den Mauszeiger auf das Modell bewegen, um mit ihm auf den gewünschten Startpunkt Ihrer Messung zu gehen. Solange Sie dabei die Strg-Taste drücken, sehen Sie auf dem Modell einen weißen Kreis um Ihren Mauszeiger der sicherstellt, dass Ihre Messpunkte genau auf der Oberfläche des Modells und nicht irgendwo weiter vorne oder hinten im 3D-Raum liegen. Klicken Sie mit der LMT auf den gewünschten Startpunkt (Strg-Taste und LMT dabei weiter gedrückt halten!) und ziehen Sie den Mauszeiger auf dem Modell bis zum gewünschten Endpunkt Ihrer Messung. Lassen Sie die LMT und danach die Strg-Taste los. Ihnen wird nun die Länge der gemessenen Strecke in Metern angezeigt (vgl. Abbildung 3).

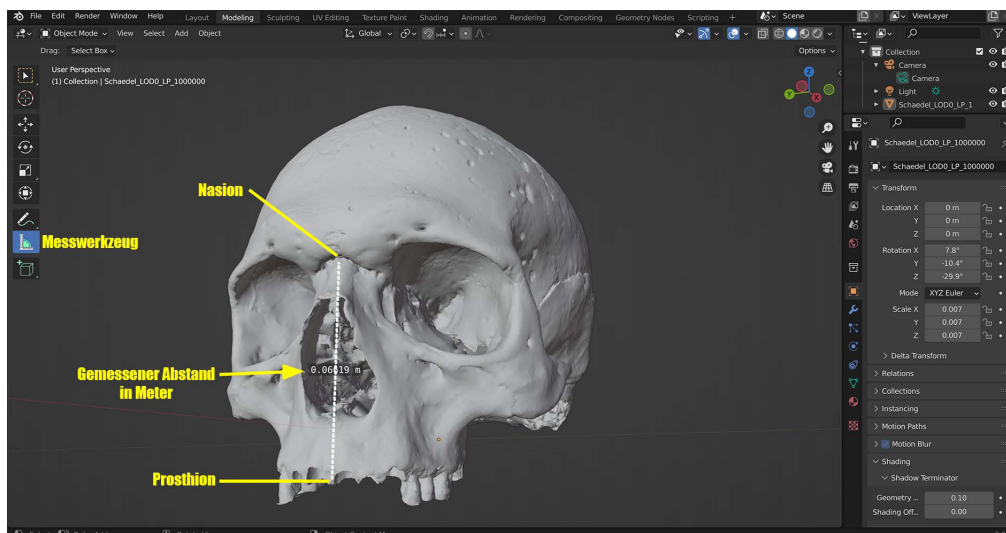


Abbildung 3: Messung mit dem Messwerkzeug in Blender (eigene Abbildung)

Wenn Sie eine Messung wieder löschen möchten, klicken Sie diese mit der LMT an und drücken dann X auf der Tastatur.

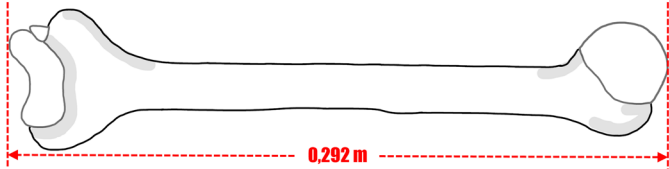
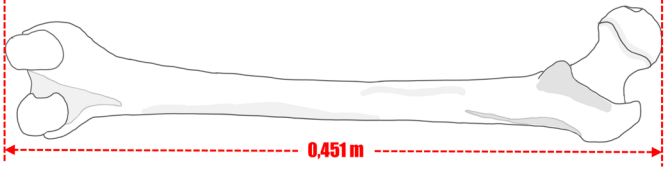
In der Tabelle 2 haben wir in Orientierung am Skelett eines Erwachsenen einige Messwerte aufgeführt, die Ihnen helfen, die aus dem Internet heruntergeladenen 3D-Modelle auf realistische Größen zu skalieren.

Messen Sie zunächst an jedem der heruntergeladenen 3D-Modelle die in Tabelle 2 beschriebenen Abstände und vergleichen Sie diese mit den genannten Richtwerten realer Knochen. Sollte der im Modell gemessene Abstand nicht der Distanz am realen Knochen entsprechen, so skalieren Sie das Modell auf die passende Größe. Dazu gehen Sie rechtsseitig in der Bedienoberfläche von Blender auf die Objekteigenschaften (vgl. Abbildung 2). Ihr Modell hat nach dem Importieren in Blender zunächst relative Maße (Scale) von  $x = 1$ ,  $y = 1$  und  $z = 1$ . Mit der folgenden Formel können Sie anhand Ihrer Messwerte am Modell und der Richtwerte aus Tabelle 2 einen Skalierungsfaktor berechnen, welchen Sie dann unter Scale für  $x$ ,

$y$  und  $z$  eintragen (kein Komma, sondern Punkt verwenden), um das Modell auf die korrekte Größe zu skalieren:

$$\text{Skalierungsfaktor} = \frac{\text{Richtwert aus Tabelle 3 [m]}}{\text{Maß am Modell [m]}}$$

Messen Sie nach dem Skalieren zur Sicherheit noch einmal nach, ob der Abstand im Modell nun den Richtwerten aus Tabelle 2 entspricht. Sollte dies der Fall sein, gehen Sie links oben in der Menüleiste auf File > External Data und setzen ein Häkchen bei Automatically Pack Resources (dieser Schritt ist nur wichtig, wenn Ihr Modell eine Textur besitzt) und dann auf File > Save as. Geben Sie Ihrer Datei einen passenden Namen, z.B. „Humerus.blend“ und wählen Sie einen Zielordner aus. Sie haben das 3D-Modell jetzt in einem realistischen Maßstab im Dateiformat einer Blender-Datei gespeichert. Selbst wenn das 3D-Modell ursprünglich eine .obj-Datei mit einer zusätzlichen Datei für die Grafiktatur war, sollte die Textur nun mit in der Blender-Datei enthalten sein, d.h. wenn Sie das 3D-Modell auf einen anderen Rechner kopieren möchten, benötigen Sie nur noch die .blend-Datei. Diese Datei kann von den Schüler\*innen in der Identifizierungsübung

Knochen	Abstandsmessung	Richtwert [m]
Schädel	Entfernung Nasion (in diesem Punkt treffen sich das Stirnbein und die beiden Nasenbeine) bis zum Prosthion (Punkt unten am Oberkiefer zwischen den beiden mittleren Schneidezähnen, vgl. Abbildung 3)	0,066 (Nitek et al., 2009)
Becken	Abstand zwischen den beiden Punkten, in denen das Kreuzbein mit dem Darmbein im Beckenring aufeinander-treffen	0,113 (Schroeder et al., 1997)
Oberarm-knochen	Maximale Länge des Oberarmknochens 	0,292 (in Anlehnung an Desai & Shaik, 2012)
Ober-schenkel-knochen	Maximale Länge des Oberschenkelknochens 	0,451 (in Anlehnung an Pandya et al., 2011)

**Tabelle 2:** Richtwerte zur ungefähren Größenskalierung der 3D-Modelle in Orientierung an den Knochen eines Erwachsenen, Tabelle enthält eigene Abbildungen)



in Blender geöffnet werden und die Messungen können von den Schüler\*innen vorgenommen werden, ohne dass die Schüler\*innen zuvor weitere Einstellungen vornehmen müssen.

Identifizierungsschlüssel: Der als Online-Supplement verfügbare Schlüssel zur Identifizierung menschlicher Knochen kann im Unterricht in Papierform oder als pdf (z.B. auf Tablets) eingesetzt werden. Nach einer kurzen Einführung in die wesentlichen Bedienelemente sowie in das Messtool von Blender werden die Schüler\*innen Schritt für Schritt durch die Bestimmung des biologischen Geschlechtes, der Größe sowie des erreichten Lebensalters der Person geleitet. Auch für die Bestimmung evtl. in biologischen Schulsammlungen vorhandener physischer Modell-Skelette kann dieser Schlüssel Verwendung finden.

## 6 Abschließende Hinweise

Es ist zu erwarten, dass die Schüler\*innen innerhalb der Identifizierung eines Skelettes bzw. sogar innerhalb einzelner Knochen – beispielsweise bei der Bestimmung des biologischen Geschlechts oder des Lebensalters – auf scheinbar widersprüchliche Merkmalskombinationen stoßen, die eine abschließende Identifizierung erschweren. Hier bietet es sich nicht nur an, im Rahmen der Sicherungsphase des Unterrichts die Limitierungen der Repräsentationsform 3D-Modell zu thematisieren. Die beobachtete anatomische Vielfalt menschlicher Knochen bietet zudem die Chance, die begrenzte Aussagekraft einer schubladenartigen Kategorisierung zu verdeutlichen, um ein Bewusstsein sowie Akzeptanz für die Vielfalt des Menschen zu fördern. Bei geeigneter Diskussion der Ergebnisse kann Virtual Bones damit nicht nur einen motivierenden Beitrag zur Kenntnis des menschlichen Skelettes sowie zur Entwicklung digitaler Kompetenzen leisten, sondern darüber hinaus auch den Anforderungen einer modernen Sexualerziehung gerecht werden, wie sie in Schulgesetzen und schulischen Richtlinien gefordert wird (z.B. Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung, 1999).

## Literatur

- Albino, M. (2021).* Technology Tool in Teaching Biology: A Mixed Reality Mobile Application. *International Journal of Multidisciplinary Research and Explorer*, 1(4), 43–46. <http://doi-ds.org/doi/10.1016/j.sbspro.2014.07.496>
- Brazina, D., Fojtik, R., & Rombova, Z. (2014).* 3D Visualization in Teaching Anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 143, 367–371. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.07.496>
- Chen, J. C., Amar, A. P., Levy, M. L., & Apuzzo, M. L. (1999).* The development of anatomic art and sciences: The ceroplastica anatomic models of La Specola. *Neurosurgery*, 45(4), 883-892. <https://doi.org/10.1097/00006123-199910000-00031>
- Desai, S. D., & Shaik, H. S. (2012).* A morphometric study of humerus segments. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(10), 1943–1945.
- Deutscher Museumsbund e.V. (2013).* Empfehlungen zum Umgang mit menschlichen Überresten in Museen und Sammlungen. <https://www.museumsbund.de/wp-content/uploads/2017/04/2013-empfehlungen-zum-umgang-mit-menschl-ueberresten.pdf> (23.11.21)
- Deutscher Museumsbund e.V. (2021).* Leitfaden Umgang mit menschlichen Überresten in Museen und Sammlungen. <https://www.museumsbund.de/wp-content/uploads/2021/06/dmb-leitfaden-umgang-menschl-ueberresten-de-web-20210623.pdf> (21.12.2021)
- Efrain, J. F., Putra, H. E. W., & Michelle, E. T. (2021).* Augmented Reality for Human Digestive Anatomy Biology Learning. [https://www.researchgate.net/profile/Hafiz-Elfia-Wedo-Putra/publication/354118592\\_Augmented\\_Reality\\_for\\_Human\\_Digestive\\_Anatomy\\_Biology\\_Learning/links/6126247138dec11b8a313fe7/Augmented-Reality-for-Human-Digestive-Anatomy-Biology-Learning.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Hafiz-Elfia-Wedo-Putra/publication/354118592_Augmented_Reality_for_Human_Digestive_Anatomy_Biology_Learning/links/6126247138dec11b8a313fe7/Augmented-Reality-for-Human-Digestive-Anatomy-Biology-Learning.pdf) (23.12.21)
- Erolin, C., Reid, L., & McDougall, S. (2019).* Using virtual reality to complement and enhance anatomy education. *Journal of Visual Communication in Medicine*, 42(3), 93–101. <https://doi.org/10.1080/17453054.2019.1597626>
- Haider, M. (2019).* Modellkompetenz Im Naturwissenschaftlichen Sachunterricht: Eine Empirische Studie Zum Lernen Mit Modellen und über Modelle in der Primarstufe. Berlin: Logos.
- Haque, A., Shafi, R., Faisal, T., Naseem, S., Ambreen, S., & Rafi, A. (2021).* Effect on academic performance

- by learning thorough 3D anatomy atlas versus 2D presentations. *PAFMJ*, 71(5), 1700–1704. <https://doi.org/10.51253/pafmj.v71i5.6963>
- Heitzmann, A. (2019)*. Modelle verwenden. In P. Labudde & S. Metzger (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.- 9. Schuljahr*. Berlin: UTB, 89–104.
- Hoyek, N., Collet, C., Di Rienzo, F., Almeida, M. de, & Guillot, A. (2014)*. Effectiveness of three-dimensional digital animation in teaching human anatomy in an authentic classroom context. *Anatomical Sciences Education*, 7(6), 430–437. <https://doi.org/10.1002/ase.1446>
- Jansen, C. (2008)*. Postmortale Persönlichkeitsrechte. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen*, 102(3), 194–198. <https://doi.org/10.1016/j.zefq.2008.02.045>
- Kerres, M. (2000)*. Mediendidaktische Analyse digitaler Medien im Unterricht. *Computer + Unterricht: Lernen Und Lehren Mit Digitalen Medien*, 10(1), 26–28.
- KMK. (2005)*. Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004. München: Luchterhand.
- KMK. (2017)*. Bildung in der digitalen Welt: Strategie der Kultusministerkonferenz. [https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie\\_2017\\_mit\\_Weiterbildung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf) (21.12.2021)
- KMK. (2020)*. Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020. Berlin, Bonn: Carl Link.
- Mahrous, A., Elgreatly, A., Qian, F., & Schneider, G. B. (2021)*. A comparison of pre-clinical instructional technologies: Natural teeth, 3D models, 3D printing, and augmented reality. *Journal of Dental Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/jdd.12736>
- Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung. (1999)*. Richtlinien für die Sexualerziehung in Nordrhein-Westfalen (1. Auflage, unveränderter Nachdruck 2011). Frechen: Ritterbach.
- Monkovic, J. M., Jones, S. M., Nicolas, M., Katyal, P., Punia, K., Noland, D., & Montclare, J. K. (2021)*. From concept to reality: the use and impact of 3D prints as academic tools for high school biology education. *Journal of Biological Education*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858927>
- MSB NRW. (2019)*. Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen: Biologie. Düsseldorf: MSB NRW.
- Murgitroyd, E., Madurska, M., Gonzalez, J., & Watson, A. (2015)*. 3d digital anatomy modelling - Practical or pretty? *The Surgeon*, 13(3), 177–180. <https://doi.org/10.1016/j.surge.2014.10.007>
- Narang, P., Raju, B., Jumah, F., Konar, S. K., Nagaraj, A., Gupta, G., & Nanda, A. (2021)*. The Evolution of 3D Anatomical Models: A Brief Historical Overview. *World Neurosurgery*, 155, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.07.133>
- Nicholson, D. T., Chalk, C., Funnell, W. R. J., & Daniel, S. J. (2006)*. Can virtual reality improve anatomy education? A randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model. *Medical Education*, 40(11), 1081–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02611.x>
- Nitek, S., Wysocki, J., Reymond, J., & Piasecki, K. (2009)*. Correlations between selected parameters of the human skull and orbit. *Medical Science Monitor*, 15(12), 370–377.
- Obrero-Gaitán, E., Nieto-Escamez, F. A., Zagalaz-Anula, N., & Cortés-Pérez, I. (2021)*. An innovative approach for online neuroanatomy and neuropathology teaching based on 3D virtual anatomical models using leap motion controller during ... *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.590196>
- Pandya, A. M., Singel, T. C., Akbari, V. J., Dangar, K. P., Tank, K. C., & Patel, M. P. (2011)*. Sexual dimorphism of maximum femoral length. *National Journal of Medical Research*, 1(2), 67–70.
- Pujol, S., Baldwin, M., Nassiri, J., Kikinis, R., & Shaffer, K. (2016)*. Using 3D Modeling Techniques to Enhance Teaching of Difficult Anatomical Concepts. *Academic Radiology*, 23(4), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2015.12.012>
- Rosario, M. G. (2021)*. The Perceived Benefit of a 3D Anatomy Application (App) in Anatomy Occupational Therapy Courses. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 6(1), 8–14. <https://dergipark.org.tr/en/pub/joltida/issue/59433/853789>
- Schaal, S. (2017)*. Man sieht den Wald vor lauter Bäumen nicht. Wie digitale Medien für den Biologieunterricht ausgewählt werden. *Unterricht Biologie*, 429, 46–47.
- Schroeder, C. F., Schmidtke, S. Z., & Bidez, M. W. (1997)*. Measuring the human pelvis: A comparison

of direct and radiographic techniques using a modern United States-based sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 103(4), 471–479.

*Talairach-Vielmas, L. (2014). Anatomical Models: A History of Disappearance? Histoire, Médecine Et Santé(5), 9–20.*

*Totlis, T., Tishukov, M., Piagkou, M., Kostares, M., & Natsis, K. (2021). Online educational methods vs. Traditional teaching of anatomy during the COVID-19 pandemic. Anatomy & Cell Biology, 54(3), 332–339. <https://doi.org/10.5115/acb.21.006>*

*Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2019). Modelle als methodische Werkzeuge begreifen und nutzen: Empirische Befunde und Empfehlungen für die Praxis. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis. Berlin: Springer Spektrum, 129–146. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9_8)*

*Zibis, A., Mitrousias, V., Varitimidis, S., Raoulis, V., Fyllos, A., & Arvanitis, D. (2021). Musculoskeletal anatomy: Evaluation and comparison of common teaching and learning modalities. Scientific Reports, 11(1), 1517. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80860-7>*

*Zilverschoon, M., Custers, E. J., Cate, O. ten, Kruitwagen, C. L. J. J., & Bleys, R. L. A. W. (2021). Support for using a three-dimensional anatomy application over anatomical atlases in a randomized comparison. *Anatomical Sciences Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ase.2110>*

#### Kontakt

Karsten Damerau, Europa-Universität Flensburg,  
Abteilung Ökologie und Umweltbildung, Auf dem  
Campus 1, 24943 Flensburg, [karsten.damerau@uni-flensburg.de](mailto:karsten.damerau@uni-flensburg.de) (Corresponding Author)

Aida Mesanovic-Voigt, Bergische Universität  
Wuppertal, Zoologie & Biologie und ihre Didaktik,  
Gaußstraße 20, 42119 Wuppertal, [mesanovic@uni-wuppertal.de](mailto:mesanovic@uni-wuppertal.de)

Luisa Spätgens, Bergische Universität Wuppertal,  
Zoologie & Biologie und ihre Didaktik, Gaußstraße  
20, 42119 Wuppertal, [luisa.spaetgens@uni-wuppertal.de](mailto:luisa.spaetgens@uni-wuppertal.de)

Angelika Preisfeld, Bergische Universität Wuppertal,  
Zoologie & Biologie und ihre Didaktik, Gaußstraße  
20, 42119 Wuppertal, [apreis@uni-wuppertal.de](mailto:apreis@uni-wuppertal.de)

Eingegangen: 17. Oktober 2021 / Angenommen: 18.  
Dezember 2021 / Online publiziert: 15. Februar 2022  
Gesellschaft für Didaktik der Naturwissenschaften und  
der Mathematik (GdNM)

Die im Text angeführten Arbeitsmaterialien für  
Schüler/innen finden Sie als digitales Materialpaket  
zum Download unter:  
[www.didaktik-biowissenschaften.de/j-bildung.html](http://www.didaktik-biowissenschaften.de/j-bildung.html)