

Die Störartigen

Ein Missgeschick enthüllte einen „uralten“ Grundtyp

KÁLDY et al. (2020) kreuzten versehentlich den Russischen Stör und den Löffelstör. Damit hatte niemand gerechnet, da die beiden Arten zu unterschiedlichen Familien gehören, die aus evolutionärer Perspektive seit ca. 180 Millionen radiometrischen Jahren (MrJ) auseinanderentwickelt haben sollen. Eine Kreuzbarkeit nach so langer Trennung erschien zuvor unmöglich.

Benjamin Scholl

Einleitung

Störe sind weithin bekannt, da man aus den Eiern der Weibchen verschiedener Störarten den teuren Kaviar gewinnt. Dies hat leider dazu geführt, dass viele Störarten an den Rand der Ausrottung gebracht worden sind. Andererseits hat der Bedarf an Kaviar aber auch zu Kreuzungsexperimenten motiviert, die etwas Erstaunli-

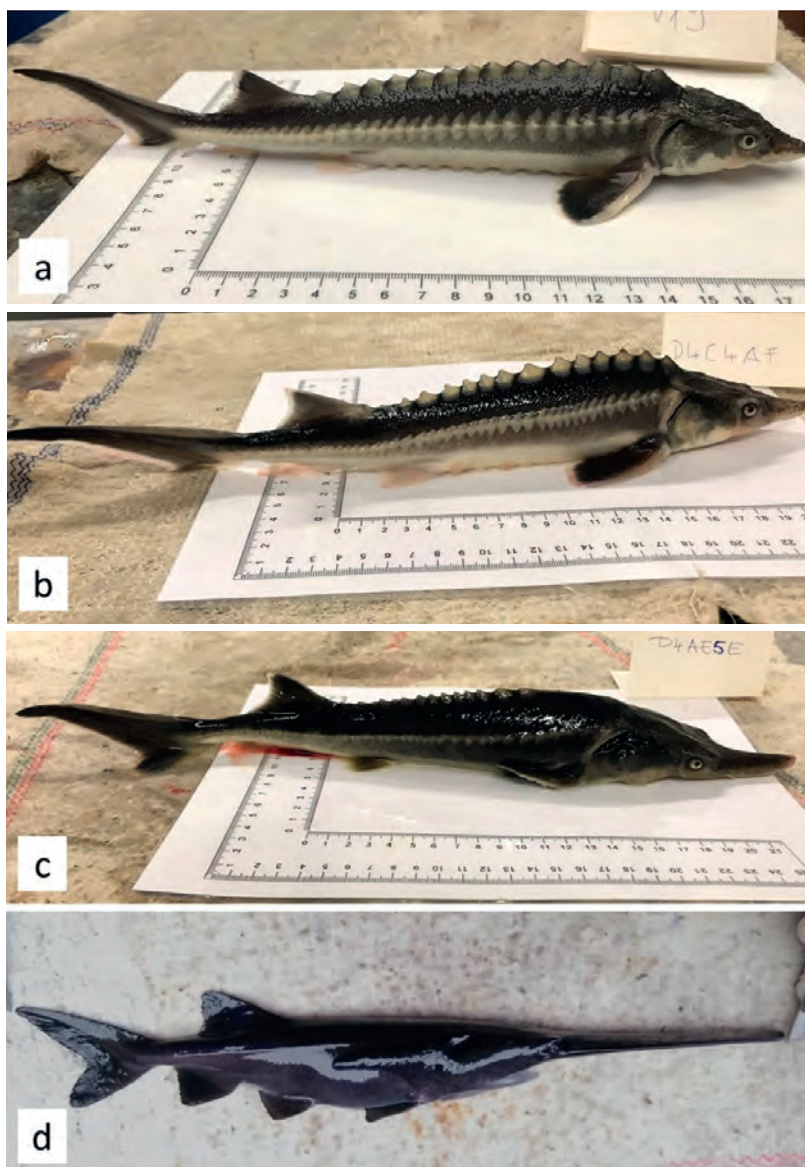
ches aus Grundtyp-Perspektive zutage gefördert haben: überlebensfähige Hybriden (Mischlinge) von Russischem Stör und Löffelstör.

Eine ungeplante Hybridisierung

Die Wissenschaftler um KÁLDY et al. (2020) wollten im Zuge der Forschung zur Kaviarge-winning *gynogene* Nachkommen bei Eiern des Russischen Störs (*Acipenser gueldenstaedtii*) erzeugen (S. 2f). *Gynogenese* ist eine Form der ungeschlechtlichen Vermehrung, bei der die Entwicklung des Eis durch einen bloßen Kontaktreiz mit einem – in dem Fall mittels Gamma-Strahlung inaktivierten – Spermium ausgelöst wird, sodass sich ohne Befruchtung ein Klon der Mutter entwickelt (der aber ggf. einen anderen Chromosomensatz aufweisen kann). Als Negativkontrolle wurden hierbei Spermien des Löffelstörs (*Polyodon spathula*) verwendet, die man gar nicht erst bestrahlt hatte, weil man aufgrund von evolutionären Überlegungen davon ausgegangen war, dass eine Hybridisierung der beiden Arten unmöglich sei: „Neben dem großen phylogenetischen Abstand (d. h. sie haben sich 184,4 Mio. Jahre auseinander entwickelt) unterscheiden sich die Vertreter der Polyodontidae [Löffelstöre] und Acipenseridae [Eigentliche Störe] auch in ihrer allgemeinen Morphologie (z. B. Vorhandensein von Schuppen, Struktur von Maul, Rostrum [„Schnauze“], Filterapparat) sowie in ihrem Fressverhalten, bevorzugten Lebensraum etc.“ (S. 2f). Zudem waren ja alle bisherigen Hybridisierungsversuche dieser beiden Spezies missglückt.

Zur Überraschung der Forscher entstanden trotzdem lebensfähige Hybriden. Die Befruchtungsrate (86–93 %), die Schlupfrate (78–85 %) und auch die Überlebensrate (49–68 %) nach 180 Tagen waren dabei im Vergleich mit den Elternarten nicht außergewöhnlich (S. 7). Mittels morphologischer (körperbaulicher) Messungen sowie Mikrosatelliten-Primer- und Chromoso-

Abb. 1 Einjährige Störe im Vergleich: (a) Russischer Stör, (b) Hybride mit großem Genom (pentaploid), (c) Hybride mit kleinem Genom (triploid) sowie (d) Löffelstör (KÁLDY et al. 2020, Fig. 4 ©, Licensee MDPI, Basel, Switzerland, <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



men-Analysen bei zehnmönatigen Hybriden konnte nachgewiesen werden, dass es sich um echte Hybriden handelt (S. 3f). Es gab dabei Hybriden mit kleiner Genomgröße (*triploid* = $3n$ mit ca. 156–174 Chromosomen; s. Abb. 1c) und solche mit großer Genomgröße (*pentaploid* = $5n$ mit ca. 304 Chromosomen; s. Abb. 1b) (S. 8).

Die Störartigen aus Grundtyp-Perspektive

Es gibt heute noch 25 bis 27 Arten von Störartigen (Ordnung Acipenseriformes), die in zwei Familien eingeteilt werden: nämlich die Störe (Acipenseridae) und die Löffelstöre (Polyodontidae) (BOWMAKER & LOEW 2008; KÁLDY et al. 2020, 2; SHIVARAMU 2019, 9). Sie alle besitzen nur ein unvollständig verknöchertes Skelett, die Schuppen des Rumpfes fehlen komplett oder sind stark reduziert.

Die Familie der Störe (Acipenseridae), zu der auch der Russische Stör gehört, zeichnet sich durch ihre haiähnliche (*heterocercale*) Schwanzflosse mit verlängerten oberen Schwanzlappen aus. Der langgestreckte, spindelförmige Körper ist von einer glatten, schuppenlosen Haut bedeckt und hat eine Panzerung von sogenannten Ganoidschuppen aus fünf Reihen (s. Abb. 1a). Die Schnauze ist abgeflacht und besitzt Barteln (Bartfäden). Die Familie der Störe kommt in der nördlichen Hemisphäre mit 23 bis 25 Arten vor. Manche ihrer Arten werden über drei Meter lang (vgl. SHIVARAMU 2019, 9; HILDE & GRANDE 2023, 190).

Die Löffelstöre (Polyodontidae) bestehen heute nur noch aus der einen Art Löffelstör (*Polyodon spathula*) – abgesehen vom wohl leider in den letzten Jahren ausgestorbenen Schwertstör

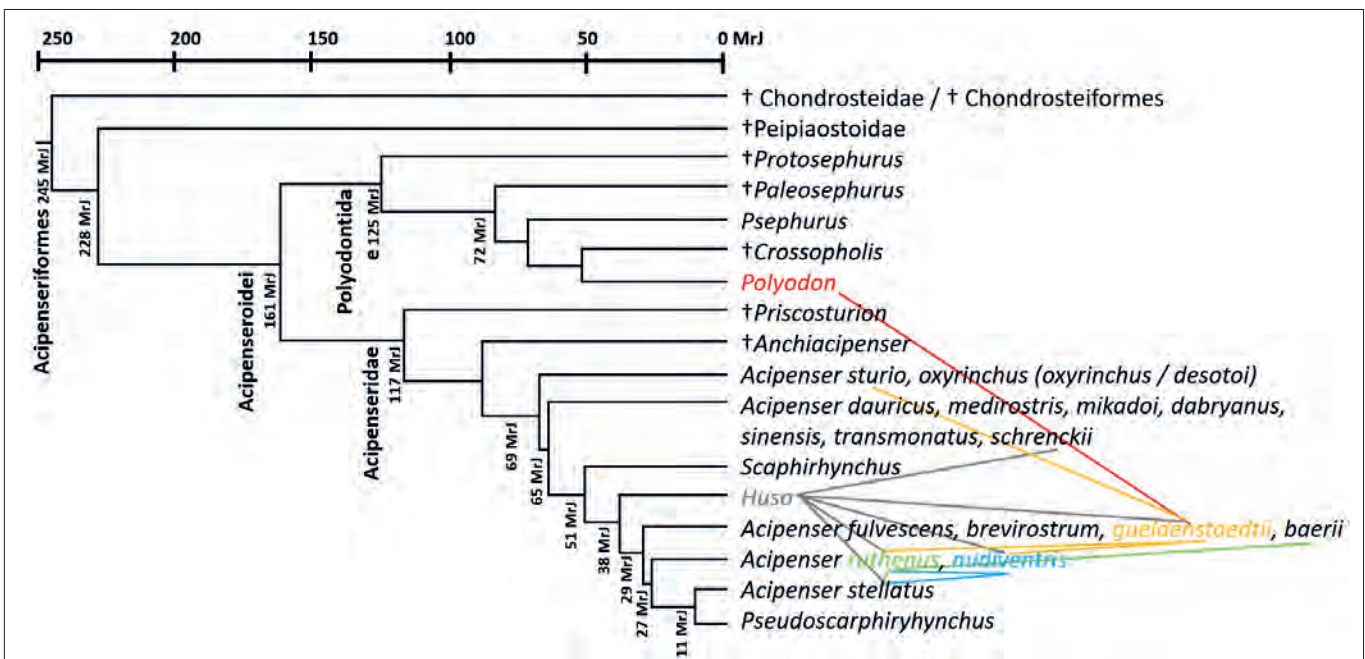
(*Psephurus gladius*). Beim Löffelstör ist, worauf der Name schon hindeutet, die lange Stirnpartie so weit verlängert und verbreitert, dass sie wie ein Löffel aussieht (s. Abb. 1d). Die Haut ist unbeschuppt und höchstens mit einzelnen kleinen Knochenkörnchen bedeckt. Die Schwanzflosse ist ebenfalls heterocercal (s. o.) und besitzt nur am oberen Lappen einige wenige Ganoidschuppen. Die *disjunkte* („zerstückelte“) Verbreitung von Löffel- und Schwertstör im Mississippi-River in den USA bzw. im Fluss Jangtsekiang in China spricht dafür, dass diese Familie aus evolutionärer Sicht sehr alt ist und im Mesozoikum (Trias, Jura und Kreide) einen gemeinsamen Ursprung hatte (s. u.).

Hybridisierungen sind trotz der großen Unterschiede hinsichtlich Chromosomenzahlen bei den verschiedenen Störarten möglich.

Bei den Stören waren bereits vor dem genannten Experiment 20 art-/gattungsübergreifende Hybriden bekannt (SHIVARAMU 2019, Tab. 3 sowie 13f) – aber noch keine familienübergreifenden (s. Abb. 2).¹ Dabei sind Hybridisierungen trotz der großen Unterschiede bei den Chromosomenzahlen bei den verschiedenen Störarten möglich.²

KÁLDY und Kollegen konnten nur deshalb diese Hybriden *versehentlich* erzeugen, weil sie von 184,4 Millionen Jahren getrennter Evolutionsgeschichte ausgegangen sind und somit keine genetische Kompatibilität der beiden Arten mehr erwarteten. Übrigens gibt SHEDKO (2022) eine ähnliche Divergenzzeit (Aufspaltungszeitraum) der Familien Löffelstöre und Störe von 162 MrJ (195–137 MrJ) an (s. Abb. 2).³

Abb. 2 Ein Cladogramm der Ordnung der Störartigen von SHEDKO (2022, Fig. 2; vereinfacht) samt Hybriden. Aufgrund fossiler Kalibrierungspunkte sind die radiometrischen Altersangaben der Divergenzzeiten aber wahrscheinlich etwas zu niedrig angesetzt. Jeweils mindestens eine Elternart der Hybriden ist zwecks Übersichtlichkeit farbig markiert. (Eigene Darstellung)



Die Kreuzung erfolgte nur, weil man annahm, dass nach 184,4 Millionen Jahren Evolutionsgeschichte keine genetische Kompatibilität mehr gegeben sei.

In Abb. 2 sind gattungsübergreifende Hybriden innerhalb der Störartigen in das mit einer Standard-Datierung versehene Cladogramm (Abstammungsschema) eingezeichnet. Es wird durch die Hybriden deutlich, dass mindestens alle Löffelstöre und Störe gemeinsam einen Grundtyp (Schöpfungseinheit) bilden (vgl. SCHERER 1993). Im Gegensatz zu evolutionären Erwartungen hat aber seit dem Unterjura bzw. Mitteljura keine wesentliche genetische Evolution stattgefunden, die die Hybridisierungsfähigkeit dieser beiden Familien von Störartigen unterbunden hätte. Damit sind die morphologischen und genetischen Unterschiede der Acipenseroiden (Unterordnung, die alle heutigen Störe umfasst) ein Beispiel für Artbildung innerhalb desselben Grundtyps, die möglicherweise auf vorprogrammierten Modulen beruht.

Alle Unterschiede zwischen den heutigen Störartigen sind ein Beispiel für Artbildung innerhalb desselben Grundtyps.

Fossilfunde zeigen: Die Störartigen sind „lebende Fossilien“

Auch Fossilfunde innerhalb der Ordnung der Störartigen belegen, dass es trotz vermeintlicher Evolutionsgeschichte von vielen Millionen Jahren kaum zu wesentlichen morphologischen Veränderungen kam. Störartige sollen nämlich mindestens 200 MrJ alt sein und aus dem unteren Jura stammen (KÁLDY et al. 2020, 2). Erst kürzlich wurde die Art *Gyrosteus mirabilis* (aus der ausgestorbenen Familie Chondrosteidae) aus der Ordnung der Acipenseriformes u. a. im norddeutschen Ahrensburg im Unterjura (Toarcium, ca. 183–174 MrJ) entdeckt (HORNUNG & SACHS 2020, 1f+4; vgl. FRICKHINGER 1991, 368).

Abb. 3 Die Gattung *Acipenser* ist fossil seit der Oberkreide bekannt; hier ist ein heutiger Sterlet (*A. ruthenus*) abgebildet. (Karelj, gemeinfrei)



Es ist aber umstritten, ob es fossil neben Stören und Löffelstören eine (KÁLDY et al. 2020, 2) oder eher doch zwei weitere ausgestorbene Familien der Acipenseriformes gab (HILDE & GRANDE 2023, 189; GRANDE & BEMIS 1996, Fig. 1; TSESSARSKY 2022, Fig. 1).

Störe und Löffelstöre sind seit der Blütezeit ihrer Überklasse der Knorpelganoiden, die sich bis in die Zeit des Jura erstreckte, „weitgehend unverändert“ geblieben (KLEESATTEL 2001, 124). Sie sind also „lebende Fossilien“. SHIVARAMU (2019, 9) spezifiziert: „Fossilien von Stören stammen aus der Zeit vor etwa 300 Millionen Jahren [...], und es wird angenommen, dass sie seit mehr als 200 Millionen Jahren [ihre] Merkmale beibehalten haben“. Und HILDE & GRANDE (2023, 190) schreiben: „Der Bauplan der heute lebenden Acipenseridae, der einen langgestreckten Körper, ein schwach verknöchertes Achsenskelett und einen stark heterocercalen [s. o.] Schwanz umfasst, der dorsal von rautenförmigen Schuppen begrenzt wird, ähnelt dem vieler fossiler Linien basaler Actinopterygier [Strahlenflosser], was ihnen den Beinamen ‚lebende Fossilien‘ einbrachte.“

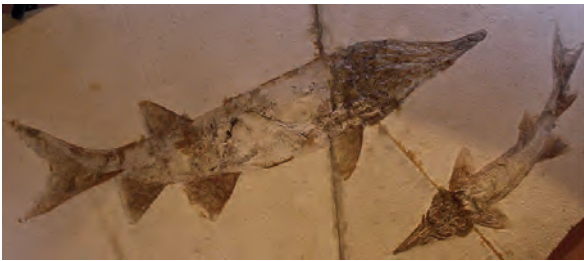
Die Familie der Störe (Acipenseridae) ist mindestens seit der unteren Oberkreide (Cenomanium: 101–94 MrJ) fossil nachgewiesen (VAVREK et al. 2014, 677f; vgl. NELSON et al. 2016, 119f; HILDE & GRANDE 2023, 190f). Die heutige Stör-Gattung *Acipenser* ist nach SEPKOSKI (2002) mindestens seit dem Campanium (ca. 84–72 MrJ) fossil bekannt. Die fossile Art *Acipenser praeparatorum* ist mindestens 72 MrJ alt (vgl. HILDE & GRANDE 2023).

Die Familie der Löffelstöre ist fossil mit der ausgestorbenen Art *Protosphephurus liui* aus der unteren Kreide bekannt (Barremium/unteres Aptium; vgl. GRANDE et al. 2002; NELSON et al. 2016, 119) – also seit ca. 125 MrJ. JENNINGS & ZIGLER (2009) geben für die Familie sogar ein fossiles Alter von ca. 135 MrJ an.

Löffelstöre und Störe sind auf Familien- und z. T. sogar auf Gattungsebene „lebende Fossilien“ aus der Kreide.

Fazit

Es zeigt sich, dass es in der praktischen Forschung sehr wohl einen Unterschied ergibt, ob man von einem evolutionären Langzeitrahmen oder von einem Schöpfungs-Kurzzeitrahmen ausgeht. Durch evolutionäre Voreingenommenheit entstanden Hybriden nur versehentlich. Dadurch konnte nachgewiesen werden, dass sich die genetischen Programme von Stören und Löffelstören seit angenommenen 162 bis



184 Millionen Jahren so wenig verändert haben, dass sie immer noch genetisch kompatibel sind.⁴ Dies bedeutet, dass auch alle Unterschiede zwischen den Familien der Störe und der Löffelstöre zu der Variationsbreite desselben Grundtyps gehören. Auch in morphologischer Hinsicht zeigt sich in diesem vermeintlich langen Zeitraum eine große Stabilität, wie Störgattungen und -familien als „lebende Fossilien“ belegen.

Die Forscher um KÁLDY hoffen übrigens, dass die Hybriden zwei für die Fischzucht relevante Merkmale vereinigen könnten: die lukrative Kaviarproduktion des Russischen Störs und die günstige Ernährung des Löffelstörs, der im Gegensatz zu den Stören nicht Fische, sondern Plankton frisst (S. 12f). Aus Schöpfungsperspektive ist es interessant, dass zwei verschiedene Ernährungsweisen wahrscheinlich ursprünglich genetisch im selben Grundtyp angelegt worden sind.

Anmerkungen

- ¹ Gattungsübergreifende Hybriden: *Huso huso* × *Acipenser gueldenstaedtii* / *A. ruthenus* / *A. nudiiventris* / *A. stellatus* / *A. persicus*; *H. dauricus* × *A. schrenckii*. Artübergreifende Hybriden: *A. gueldenstaedtii* × *A. nudiiventris* / *A. ruthenus* / *A. persicus* / *A. sturio*; *A. nudiiventris* × *A. stellatus* / *ruthenus*; *A. ruthenus* × *A. stellatus* / *A. baerii*; *Pseudoscaphirhynchus kaufmanni* × *P. hermanni*; *Scaphirhynchus albus* × *S. platorynchus* (SHIVARAMU 2019, Tab. 3).
- ² Wissenschaftler gehen nämlich davon aus, dass es in der Geschichte der Störe mindestens drei verschiedene *Polyloidie-Ereignisse* gab, also Ereignisse, bei denen der Chromosomensatz verdoppelt wurde (SHIVARAMU 2019, 13) – und zwar jeweils bei der Entstehung der folgenden 3 Gruppen:
 1. Spezies mit ca. 120 (112–152) Chromosomen: der Löffelstör *Polyodon spathula* sowie die Störe *Scaphirhynchus platorynchus*, *Huso huso*, *Acipenser nudiiventris*, *A. sturio*, *A. ruthenus*, *A. stellatus*, und *A. oxyrinchus*.
 2. Spezies mit ca. 250 (229–273) Chromosomen: der Russische Stör *Acipenser gueldenstaedtii* sowie die Gattungsgenossen *A. baerii*, *A. naccarii*, *A. transmontanus*, *A. mikadoi*, *A. medirostris*, *A. persicus*, *A. fulvescens*, *A. sinensis* und schließlich *Huso dauricus*.
 3. Spezies mit ca. 370 (364–378) Chromosomen: nur *Acipenser brevirostrum* (SHIVARAMU 2019, 9+Tab. 2).
- ³ Aufgrund der im Fließtext genannten Fossilfunde von *Acipenser* mit einem Alter von mindestens 72 MrJ könnte (zumindest in Bezug auf die Acipenseroiden) sogar noch einige MrJ in die Vergangenheit zurück kalibriert werden; die Aufspaltung der heutigen Acipenseridae läge damit früher als die von SHEDKO (2022) angegebenen 68 MrJ (93–47 MrJ).
- ⁴ Zu Mutationsraten: vgl. BORGER & SCHOLL 2024.

Literatur

- BORGER P & SCHOLL B (2024) Evolutionärer Stillstand bei „lebenden Fossilien“ auch auf molekularer Ebene. Genesisnet News vom 28.05.2024, <https://www.genesisnet.info/index.php?News=340>.
- BOWMAKER JK & LOEW ER (2008) Vision in Fish. In: MASLAND RH et al. (eds.) *The Senses: A Comprehensive Reference*. Academic Press, 53–76.
- BROILI F (1933) Weitere Fischreste aus den Hunsrück-schiefern. Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zu München. H. 2, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.
- FRIKCHINGER KA (1991) *Fossilien Atlas Fische*. Mergus, Verl. für Natur- u. Heimtierkunde Baensch.
- GRANDE L & BEMIS WE (1996) Interrelationships of Acipenseriformes, with Comments on “Chondrostei”. In: STIASNY MLJ, PARENTI LR & JOHNSON GD (eds.) *Interrelationships of Fishes*. Academic Press, 85–115.
- GRANDE L, JIN F, YABUMOTO Y & BEMIS WE (2002) *Protosphephurus liui*, a well-preserved primitive paddlefish (Acipenseriformes: Polyodontidae) from the Lower Cretaceous of China. *J. Vertebr. Paleontol.* 22, 209–237.
- HILDE EJ & GRANDE L (2023) Late Cretaceous sturgeons (Acipenseridae) from North America, with two new species from the Tanis site in the Hell Creek Formation of North Dakota. *J. Paleontol.* 97, 189–217.
- HORNUNG J & SACHS S (2020) First record of *Gyrosteus mirabilis* (Actinopterygii, Chondrosteidae) from the Toarcian (Lower Jurassic) of the Baltic Region. *PeerJ* 8, e8400, doi: 10.7717/peerj.8400.
- JENNINGS & ZIGLER (2009) Biology and Life History of Paddlefish in North America: An Update. *American Fisheries Society Symposium* 66, 1–22.
- KÁLDY J et al. (2020) Hybridization of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) and American Paddlefish (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) and Evaluation of Their Progeny. *Genes* 11, 753.
- KLEESATTEL W (2001) *Die Welt der Lebenden Fossilien. Eine Reise in die Urzeit*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- NELSON JS, GRANDE TC & WILSON MVH (2016) *Fishes of the World*. 5. Ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- SCHERER S (1993) *Typen des Lebens*. Studium Integrale. Berlin: Pascal Verlag.
- SEPKOSKI J (2002) A compendium of fossil marine animal genera. *Bull. Am. Paleontol.* 364, 560.
- SHEDKO SV (2022) Molecular Dating of Phylogeny of Sturgeons (Acipenseridae). Based on Total Evidence Analysis. *Russian Journal of Genetics* 58, 718–729.
- SHIVARAMU S (2019) Hybridization of sturgeons. Ph.D. thesis. University of South Bohemia in České Budějovice. Faculty of Fisheries and Protection of Waters, ISBN 978-80-7514-095-1.
- TSISSARSKY AA (2022) Origin and Diversification of Acipenseriforms. *J. Ichthyol.* 62, 1361–1380.
- VAVREK M, MURRAY AM & BELL PR (2014) An early Late Cretaceous (Cenomanian) sturgeon (Acipenseriformes) from the Dunvegan Formation, northwestern Alberta, Canada. *Can. J. Earth Sci.* 51, 677–681.

Abb. 4 *Protosphephurus liui* (links) ist ca. 125 MrJ alt und stammt aus derselben Familie wie der heutige Löffelstör (*Polyodon spathula*; rechts). (Jonathan Chen, CC BY-SA 4.0; CCo)