

**Auswertung von mittelalterlichen und neuzeitlichen Fischresten  
unter Anwendung eines kombinierten methodischen Ansatzes.  
Ein Beitrag zur Erforschung des menschlichen Umgangs mit  
aquatischen Ökosystemen im Schweizer Rheineinzugsgebiet**

**Inauguraldissertation**

Zur Erlangung der Würde eines Doktors der Philosophie  
vorgelegt der  
Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Basel

von

Simone Ruth Häberle  
aus Basel BS

Basel, 2017

Genehmigt von der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

auf Antrag von

Prof. Dr. Jörg Schibler, Dr. Heide Hüster Plogmann, Prof. Dr. Wim van Neer

Basel, den 23.06.2015

Dekan Prof. Dr. Jörg Schibler



## Danksagung

Zum Gelingen dieser Arbeit haben viele Menschen beigetragen. Allen voran danke ich Dr. Heide Hüster Plogmann und Prof. Dr. Jörg Schibler (Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie, Universität Basel). Sie ermöglichten mir im Rahmen des Schweizerischen Nationalfondsprojektes „Nahrungsressource Fließgewässer: Der Umgang mit aquatischen Ökosystemen im Mittelalter“ (CR21I2\_144558:) zu doktorieren. Zusammen mit Prof. Dr. Wim Van Neer (Königliches Belgisches Institut für Naturwissenschaften, Brüssel) fungierten sie als fachkundige Begleitung und Unterstützung. Sie hatten während der Entstehungszeit der vorliegenden Arbeit immer ein offenes Ohr für meine Anliegen und standen mir bei fachlichen und organisatorischen Fragestellungen mit wertvollen Ratschlägen zur Seite.

Ich danke Guido Lassau, Kantonsarchäologe von Basel-Stadt und Martin Schindler, Kantonsarchäologe von St. Gallen, welche nicht nur archäologisches Material und ihr Wissen zur Verfügung stellten, sondern auch als Mitantragssteller für den Antrag beim Schweizer Nationalfonds fungierten. Ebenfalls danke ich Reto Marti Kantonsarchäologe von Basel-Land, Markus Höneisen, Kantonsarchäologe von Schaffhausen und Renata Windler von der Kantonsarchäologie Zürich für die Bereitstellung von archäologischem Fischmaterial. Den Fischereiinspektoren Hans-Peter Jermann, Jörg Himmelberger, Kurt Keller, Patrick Wasen, den Berufsfischern Adrian Gerny, Roger Welti, Andreas Zollinger als auch Manfred Steffen (Verein „Karpfen Pur Natur“) sei herzlich gedankt für die Zurverfügungstellung des rezenten Fischmaterials.

Für die sehr motivierende und konstruktive Zusammenarbeit danke ich meinen Co-Autoren Dr. Benjamin T. Fuller und Dr. Olaf Nehlich (Max Planck Institut für Evolutionäre Anthropologie, Leipzig). Ich danke herzlich Wim Wouters vom Königlichen Belgischen Institut für Naturwissenschaften, Brüssel, der sein umfassendes Wissen über die Bestimmung der Cypriniden bereitwillig mit mir teilte. Für die Präparation und Analyse der Kohlenstoff- und Stickstoffisotopen danke ich dem Team von Imprint Analytics GmbH wie auch Prof. Dr. Michael P. Richards, Lysann Raedisch und Annabell Reiner vom Max Planck Institut für Evolutionäre Anthropologie, Leipzig. Bei Prof. Dr. Mathew Collins und Oliver Hounslow (BioArCH, Departments of Archaeology and Biology, University of York) bedanke ich mich für die Kooperation bei der Ausführung der ZooMS-Analysen.

Ich danke Dr. des. Julia Elsner, Dr. Benjamin Jennings und Dr. Sandra Pichler für einen regen fachlichen Austausch und für die sprachlichen Verbesserungen der englischen Artikel.

Zu grossem Dank verpflichtet bin ich dem Schweizer Nationalfonds (SNSF), der Freiwilligen Akademischen Gesellschaft der Universität Basel (FAG) und der Stiftung Geschwister I & H. Die vorliegende Arbeit wäre ohne ihre grosszügige Förderung nicht zu verwirklichen gewesen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Rahmen des Projektes .....	1
1.2 Fragestellung und Zielsetzung .....	1
1.3 Forschungsstand .....	2
1.3.1 Archäoichthyologische Hinweise zu Fischkonsum, Fischerei und menschlichem Gesellschaftsgefüge .....	2
1.3.2 Gewässerrekonstruktion anhand der Untersuchung archäologischer Fischreste .....	3
1.3.3 Archäoichthyologie im Blickfeld des modernen Gewässerschutzes .....	4
<b>2. Material</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Methoden</b> .....	<b>7</b>
3.1 Artbestimmung von Cyprinidenknochen anhand verfeinerten morphologischen Bestimmungskriterien .....	7
3.2 Artbestimmung von Cyprinidenknochen mit ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry)..	8
3.3 Ökologische Parameter zur Einschätzung der historischen Gewässersituation .....	9
3.4 Stabile Isotopenanalyse an archäologischen Fischresten .....	10
3.5 Berechnung des <i>Shannon-Wiener-Index</i> und der <i>Evenness</i> an archäologischem Fischmaterial	11
3.6 Vergleich mit historischen Quellen .....	11
<b>4. Fachartikel</b> .....	<b>12</b>
4.1 Häberle u. a. 2015a: S. Häberle / B.T. Fuller / O. Nehlich / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Inter- and intraspecies variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11 <sup>th</sup> – 19 <sup>th</sup> century AD). <i>Environmental Archaeology - The Journal of Human Palaeoecology</i> Volume 21, 2016 - Issue 2: A Fish Story or History? Evidence from the Past. The 17th biennial meeting of the Fish Remains Working Group (FRWG) held at Tallinn University, Estonia, September 2013, 119-132. ....	<b>13-31</b>
4.2 Häberle u.a. 2015b: S. Häberle / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Fischknochen als Indikatoren für Gewässerzustand und menschliche Fischselektion. Eine zusammenfassende Auswertung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus dem Rheineinzugsgebiet der Schweiz. <i>Archäologisches Korrespondenzblatt</i> , Jahrgang 45 (2015), Heft 3, 417-437. ....	<b>33-53</b>
4.3 Häberle u.a. 2016: S. Häberle / O. Nehlich / B. Fuller / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Carbon and nitrogen isotopic ratios in archaeological and modern Swiss fish as possible markers for diachronic anthropogenic activity in freshwater ecosystems. <i>Journal of Archaeological Science: Reports</i> 10 (2016), 411–423. ....	<b>55-74</b>

<b>5. Resultate und Einschätzung der angewandten Methoden .....</b>	<b>76</b>
5.1. Artbestimmung von Cyprinidenknochen anhand verfeinerten morphologischen Bestimmungskriterien .....	76
5.2. Artbestimmung von Cyprinidenknochen mit ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry).....	76
5.3. Ökologische Parameter zur Einschätzung der historischen Gewässersituation .....	77
5.4. Stabile Isotopenanalyse an archäologischen Fischresten .....	78
5.5. Berechnung des <i>Shannon-Wiener-Index</i> und der <i>Evenness</i> an archäologischem Fischmaterial .....	80
5.6. Vergleich mit historischen Quellen .....	81
<b>6. Synthese:</b>	
<b>Menschlicher Umgang mit aquatischen Ökosystemen im Mittelalter und der Neuzeit.....</b>	<b>83</b>
6.1. Veränderungen in Gewässerökosystemen.....	83
6.2. Intensive Befischung lokaler Gewässer .....	84
6.3. Fischselektion und gesellschaftlicher Status der Konsumenten .....	85
6.4. Zusammenfassung.....	86
6.5. Ausblick.....	86
<b>7. Literatur .....</b>	<b>88</b>
<b>8. Anhang</b>	



# **1. Einleitung**

## **1.1 Rahmen des Projektes**

Die vorliegende Dissertation war Teil eines Schweizerischen Nationalfondsprojekts (CR2112\_144558: „Nahrungsressource Fließgewässer: Der Umgang mit aquatischen Ökosystemen im Mittelalter“). Das Projekt stand unter der Leitung von Dr. Heide Hüster Plogmann, Leiterin der Abteilung für Kleintierreste, Institut für prähistorische und naturwissenschaftliche Archäologie der Universität Basel. Die Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds, der Freien Akademischen Gesellschaft Basel und der Stiftung Geschwister I&S ermöglichte eine vierjährige Forschungsarbeit zur summarischen Auswertung von mittelalterlichen und neuzeitlichen Fischresten aus dem Schweizer Rheineinzugsgebiet, wobei verschiedene methodische Ansätze geprüft und angewendet wurden. Ausschlaggebend für die Realisierung der Dissertation war der aktuelle Forschungsstand in der Schweizerischen Archäoichthyologie: Einerseits wurden bereits aus mittelalterlichen und neuzeitlichen Fundstellen Fischreste analysiert, bisher stand jedoch eine zusammenfassende Beurteilung dieser Fischreste noch aus, insbesondere unter der Berücksichtigung von gewässerökologischen Aspekten. Andererseits finden verschiedene Methodenansätze in der Archäobiologie bereits Verwendung, deren Potential bei der Analyse von Fischresten noch kaum ausgeschöpft wurde. So fand bei Projektbeginn jahrzehntelang archiviertes Fischknochenmaterial den Weg zurück ins Labor, um mit Hilfe von vielversprechenden Untersuchungsmethoden neue Erkenntnisse zu gewinnen.

## **1.2 Fragestellung und Zielsetzung**

Das Ziel dieser Dissertation war die zusammenfassende Auswertung von mittelalterlichen und neuzeitlichen Fischresten aus dem Schweizer Rheineinzugsgebiet um Hinweise zum menschlichen Umgang mit aquatischen Ökosystemen zu erhalten. Insbesondere interessierte, ob Gewässer und Fischbestand in damaliger Zeit bereits durch die menschliche Aktivität beeinflusst und verändert wurden. Eine weitere Forschungsfrage widmete sich den soziokulturellen Aspekten des Fischkonsums in vergangener Zeit. Dazu wurde untersucht, wie die archäologische Fischartenvielfalt durch eine menschliche Selektion geprägt wurde und welche Faktoren hierbei eine Rolle spielten.

Für die Beantwortung obiger Fragestellung wurden archivierte Fischreste verschiedener Fundstellen aus dem Rheineinzugsgebiet zusammengestellt und mit potentiell geeigneten Methoden untersucht. Es erfolgte eine Einschätzung der Chancen und Grenzen der eingesetzten archäozoologischer, ökologischer und biochemischer Verfahren. In ausgesuchten historischen Quellen wurde nach Hinweisen gesucht, welche die Aussagen dieser Auswertung unterstützen können.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie dienen als Grundlage für einen Interpretationsversuch zum menschlichen Umgang mit Gewässern und Fischbeständen zu historischer Zeit am Beispiel des Schweizer Rheineinzugsgebiets. Die Arbeit erfasst jedoch nicht nur den archäologischen und kulturhistorischen Kontext, sondern ist auch als Beitrag zur Umweltgeschichte der Schweiz zu verstehen. Die Studie liefert einen Ansatzpunkt für vergleichende Untersuchungen zwischen der historischen und gegenwärtigen Gewässersituation im Schweizer Rheineinzugsgebiet, dessen Ökosysteme bis heute von anthropogen bedingten Gewässer- und Fischbestandsveränderungen geprägt sind.



### 1.3 Forschungsstand

Die Untersuchung von archäologischen Fischresten hat sich zusehends in der Archäozoologie etabliert. Durch die allmähliche Optimierung der Grabungs- und Schlämmmethoden wurde deutlich, welches Informationspotential in den oft nur millimeterkleinen Fischknochen steckt. Obwohl Grabungsmethoden, taphonomische Prozesse sowie unterschiedliche Fundzusammenhänge bis zu einem bestimmten Grad den Aussagegehalt der Fischreste beeinflussen können (z.B. Zohar / Belmaker 2005; Partlow 2006) und archäologisches Material immer einen lokalen und zeitlich begrenzten Ausschnitt der Vergangenheit darstellt, kann die Auswertung von archäologischen Fischresten einen wichtigen Beitrag zur Beschreibung von menschlichen Ernährungsstrategien, zu soziokulturellen Aspekten sowie zur Umweltrekonstruktion leisten. Dabei liegt in der Schweiz vor allem aus neolithischen, römischen, sowie mittelalterlichen bis neuzeitlichen Befunden eine vergleichsweise hohe Anzahl an ausgewerteten Fischresten vor. Die folgende summarische Übersicht zum Forschungsstand beschränkt sich deshalb auf diese Epochen.

#### 1.3.1 Archäoichthyologische Hinweise zu Fischkonsum, Fischerei und menschlichem Gesellschaftsgefüge

Bislang kann davon ausgegangen werden, dass bereits im Neolithikum Fisch ein wichtiger Faktor in der Ernährung des Menschen war (z.B. Hüster Plogmann 1997; Schibler u.a. 1997; Hüster Plogmann 2004). In den neolithischen Seeufersiedlungen der Schweiz sind neben Fischresten auch Funde verschiedener Fischfanggeräte wie Harpunen, Netze, Angelhaken, Reusen und Fischfanganlagen nachgewiesen, welche die bereits ausgefeilten Fischfangtechniken belegen. Erste Hinweise zu einer spezialisierten Freiwasserfischerei konnten in der Seeufersiedlung in Arbon Bleiche am Bodensee (3384 -3370 v. Chr.) erkannt werden (Hüster Plogmann 2004).

Die Fischreste aus römischen Fundstellen weisen auf eine vermehrt selektiv betriebene Fischerei der einheimischen Gewässer hin, wohl aufgrund übernommener, mediterraner Konsumtraditionen (Hüster Plogmann 2006). Es existieren Nachweise von importierten Fischerzeugnissen (z.B. *garum*, *altec*, *salsamenta*), wie auch erste Anzeichen für eine durch gesellschaftliche Hierarchien geprägte Ernährungsweise, nicht nur was Fisch anbelangt. In Befunden, welche mit den begüterten Bevölkerungsschichten im Zusammenhang stehen, fällt die grosse Anzahl an gefundenen Resten von Fischen aus der Familie der Lachsartigen (Salmonidae) auf. Diese Arten kommen vor allem in oligotrophen Fliessgewässern vor. Im Epos „Mosella“ des Ausonius (4. Jh. AD) werden die Vorzüge von Fischen aus „klaren Gewässern mit kiesigem Grund“ festgehalten, während Fische wie der Hecht (*Esox lucius*), aus trüben und nährstoffreichen Gewässern herabgewürdigt werden. Tatsächlich fanden sich bisher nur wenige Hechtreste in römischem Kontext. Zudem konnten die Reste dieses Raubfisches ausschliesslich in Befunden nachgewiesen werden, welche auf weniger wohlhabenden Bevölkerungsschichten in Zusammenhang gebracht werden. Eine Ausnahme bildet derzeit nur der Tempelbezirk in Kempraten (SG), wo erstmals Hechtreste in kultischem Kontext gefunden wurden (mündl. Mitt. Hüster Plogmann).

Die Reichhaltigkeit an nachgewiesenen Fischresten in Schweizer Fundstellen aus dem Mittelalter und der Neuzeit lässt eine starke Zunahme des Fischkonsums ab dem Hochmittelalter vermuten, welche unter anderem auch mit den eingeführten, kirchlichen Fastenbestimmungen in Verbindung gebracht wird (Hüster Plogmann 2006). Im Vergleich zu römischen Gegebenheiten ist eine menschliche Präferenz für einzelne Fischarten und Gewässertypen anhand der archäologischen Fischreste nicht mehr feststellbar. Es fällt jedoch auf, dass insbesondere junge Karpfenartige (Cypriniden), Jungfische von Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) oder Bach- oder Seeforellen (*Salmo trutta fario / lacustris*) sowie

verschiedene kleinbleibende Arten wie Groppe (*Cottus gobio*), Elritze (*Phoxinus phoxinus*), Gründling (*Gobio gobio*) und Schmerle (*Noemacheilus barbartulus*) häufig in mittelalterlichen und neuzeitlichen Befunden nachgewiesen sind (vgl. z.B. Hüster Plogmann u.a. 1999; Hüster Plogmann 2006, Häberle u.a. 2010). Der Hecht ist im Gegensatz zur Römerzeit wieder ein begehrter Speisefisch. Neben der lokalen Fischerei wurden Fischteiche angelegt, in welchen auch der mittlerweile in die Schweiz eingeführte Karpfen (*Cyprinus carpio*) gehalten wurde (Hoffmann 2006). Auch konservierte Meeresfische wie Hering (*Clupea harengus*) wurden in die Schweiz importiert. Hering ist bereits für das 11. Jh. auf Burg Altenberg nachgewiesen, spätere Funde liegen aus Basel und Winterthur vor (Hüster Plogmann u.a. 2002; Häberle 2010; Häberle unpubl. a). Schriftlichen Quellen zufolge wurden jedoch auch Süßwasserfische transportiert (Müller 1989), was aufgrund der geringen Unterschiede der jeweiligen regionalen Fischdiversität der Schweizer Gewässer am archäologischen Material bisher selten bestätigt werden konnte. Ein Transport von Frischfisch über eine längere Distanz erscheint jedoch nur für grössere Fische möglich, da kleine Fische und Jungfische aufgrund ihrer schnellen Verderblichkeit für den Transport ungeeignet waren (Hoffmann 2001). Ein Beispiel von überregionalen Fischhandel stellen Hechtreste aus der Fundstelle Tomils in Graubünden dar, welche nicht in der näheren Umgebung der Fundstelle, sondern in Seen und langsam fließenden Flussabschnitten in geographisch tiefer liegenden Gebieten gefangen wurden (Caduff u.a. 2003).

### **1.3.2 Gewässerrekonstruktion anhand der Untersuchung archäologischer Fischreste**

Aussagen zur Situation der aquatischen Ökosysteme innerhalb der Schweiz konnten bisher nur für wenige Fundplätze und Epochenabschnitte beantwortet werden.

In gewissen neolithischen Seeufersiedlungen der Schweiz sind durch die Untersuchung von archäobiologischem Material bereits erste Anzeichen einer anthropogen bedingten, lokalen Gewässeränderung zu fassen (Schibler u. a. 1997). So reagierten die empfindlichen Ökosysteme in den relativ flachen Buchten der Voralpenseen auf den Eintrag von organischen Nährstoffen aus den Siedlungen. Dies wurde durch die Auswertung der Fischreste aus der Seeufersiedlung Zürich Mozartstrasse am oberen Zürichsee bestätigt, denn es konnte eine Veränderung der Fischartenzusammensetzung zwischen den Schichten des 39. Jahrtausends v. Chr. (Cortailod) und den Schichten des 37. Jahrtausends (Pfyf) erkannt werden (Hüster Plogmann 1997). Den archäobotanischen Analysen zufolge entwickelten sich parallel dazu die ursprünglich vom Flussbarsch dominierten, pflanzenarmen Uferstreifen zu schilfbestandenen Idealbiotopen für den Hecht.

Trotz reichhaltigen und regelmässigen Funden von Fischresten aus römerzeitlichen Befunden kann die Frage nach dem menschlichen Einfluss auf die Binnengewässer in den römischen Provinzen der Schweiz nur ansatzweise beantwortet werden. Dies steht wohl vor allem mit der oben genannten, vermehrt betriebenen selektiven Fischerei in Zusammenhang. Durch die kulturell und gesellschaftshierarchisch geprägte Fischselektion sind Aussagen zum tatsächlich vorhandenen Artenspektrum und somit auch zur Situation in den aquatischen Ökosystemen bisher nur begrenzt möglich. Die nachgewiesenen Fischarten widerspiegeln zwar das Vorhandensein verschiedener Biotope, aber Veränderungen der Gewässergegebenheiten wurden bis anhin anhand des archäologischen Fischmaterials nicht nachgewiesen. Auch aus anderen römischen Provinzen und dem Mutterland wird wenig über gewässerökologische Fragen referiert, zudem stammen die Aussagen lediglich aus vereinzelt Passagen schriftlicher Überlieferungen (Thüry 2006 a und b).

Die mittelalterlichen und neuzeitlichen Fischreste weisen ebenfalls auf eine Befischung verschiedenster Biotope hin. Weitere Aussagen in Bezug auf die ökologischen Gewässerhältnisse in Mittelalter und Neuzeit erfolgten bislang hauptsächlich anhand der Angaben in historischen

Quellen (z.B. Gerster / Staub 1991; Hoffmann 2005). Hier wird vor allem davon ausgegangen, dass das Bevölkerungswachstum den anthropogenen Einfluss auf die aquatischen Ökosysteme drastisch erhöhte (z.B. Jackson u.a. 2001; Hoffmann 2005). Weiter wird dahingehend vermutet, dass die einhergehende verstärkte Siedlungstätigkeit vor allem zu einer intensiven Fischerei, zu erhöhtem Fangdruck und zu verstärkter Gewässerbelastung mit menschlichen Abfällen führte.

### **1.3.3 Archäoichthyologie im Blickfeld des modernen Gewässerschutzes**

Eingriffe in die Binnengewässer in der Schweiz wie in ganz Europa sind seit dem Ende des 19. Jh. unübersehbar und haben zum Teil drastische Konsequenzen hinsichtlich Grundwasser, Hochwasserschutz, Natur- und Umweltschutz als auch dem Fischereiwesen. Politik und Gesellschaft werden sich der Situation zunehmend bewusst. In der Schweiz wurde durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) für das Jahr 2015 eine Revidierung der Gewässerschutzverordnung angesetzt, welche zusätzlich zu den bisher festgelegten Massnahmen zur Erlangung eines naturnahen Zustandes der Fliessgewässer und Seen in der Schweiz (Gewässerschutzgesetz vom 1. Januar 2011), insbesondere auf die Beseitigung der umweltbelastenden Spurenstoffe in den Abwasserreinigungsanlagen abzielt.

Auch die Europäische Union nimmt sich des Gewässerschutzes an. In der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (Water Framework Directive, WFD) werden alle EU-Mitgliederstaaten aufgefordert, einen Qualitätsstandard der Oberflächengewässer wie auch des Grundwassers bis zum Ende 2015, spätestens jedoch bis 2027 zu gewährleisten. Neben der Erstellung und Umsetzung von Massnahmenkatalogen und Bewirtschaftungsplänen soll die Charakterisierung eines Referenzgewässers ausgearbeitet werden, welches über „natürliche Konditionen“ verfügen und als Vorbild zukünftiger Renaturierungsmassnahmen fungieren soll. Insbesondere wird eine Annäherung an die natürlich vorkommende Fischfauna angestrebt. Die WFD empfiehlt dabei die Nutzung von historischen und paläoökologischen Daten (Chave 2001). Mit dem Potential der Aufarbeitung solcher Daten beschäftigten sich Van Neer / Ervynck (2010) und untersuchten dafür die Gegebenheiten in den zwei belgischen Stromgebieten der Meuse und Scheldt. Sie stellten fest, dass bislang genutzte historische Daten lediglich bis in die Zeit der Mitte des 19. Jh. zurückreichen, in welcher schon erhebliche negative Einflüsse auf die Gewässer bestanden. Deswegen empfehlen Van Neer / Ervynck (2010) den Einbezug älterer, mindestens bis ins Mittelalter reichende historische Archive und deren Ergänzung mit archäologischen Daten.

Dieser empfohlene theoretische Ansatz wurde in der hier vorgelegten Dissertation ebenfalls miteinbezogen und räumlich auf das Gebiet der Schweiz übertragen. Die Ergebnisse der Zusammenfassung ausgesuchter archäologischer und historischer Daten geben somit einen Einblick in die Gewässergegebenheiten vor den signifikanten menschlichen Eingriffen des 19. Jh. und liefern einen Anhaltspunkt für zukünftige Renaturierungsprojekte.

## 2. Material

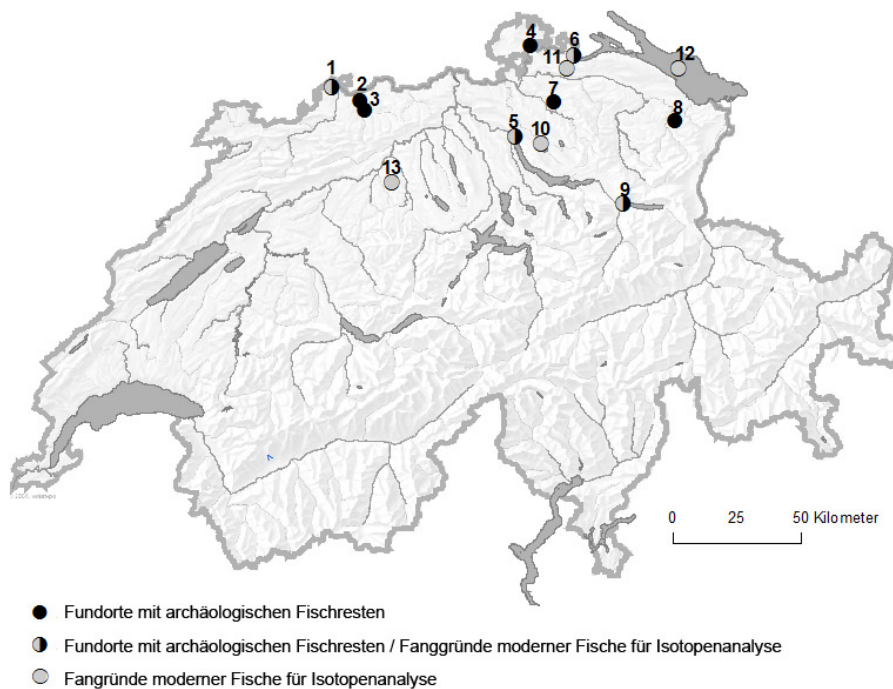


Abbildung 1: Fundorte mit archäologischen Fischresten: 1 = Basel (6 Fundstellen); 2 = Füllinsdorf (1 Fundstelle); 3 = Lausen (1 Fundstelle); 4 = Schaffhausen (1 Fundstelle); 5 = Zürich (1 Fundstelle), 6 = Stein am Rhein (1 Fundstelle); 7 = Winterthur (2 Fundstellen) 8 = St. Gallen (1 Fundstelle); 9 = Weesen (1 Fundstelle). Moderne Fische für die Isotopenanalyse stammen aus: 1 = Rhein bei Basel; 5 = Zürichsee; 6 = Rhein bei Stein am Rhein; 9 = Walensee; 10 = Greifensee; 11 = Nussbaumersee; 12 = Bodensee; 13 = Fischteiche bei Pfaffnau / Brittnau.

Für die Untersuchung wurden Fischreste aus archäologischen Fundstellen verwendet, die ins 11. bis 19. Jh. datieren (Abb. 1). Einzig eine Fundstelle (Lausen Bettenach) datiert ins Frühmittelalter. Die Fischreste von diesem untersuchten Grubenhaus wurden jedoch nur für eine Untersuchungsmethode verwendet (ZooMS, Kap. 2.3) und lieferten wohl aufgrund der schlechten Erhaltungsbedingungen keine verwertbaren Daten. Die Datierungs- und Befundangaben aller Fundstellen wurden aus der entsprechenden Fundstellen-Literatur übernommen (Tab. 1).

Sechs Fundstellen sind in der Stadt Basel (Bäumleingasse, Schnabelgasse, Wildensteinerhof, Museum der Kulturen, Reischacherhof, Kleinhüningen Fischereihaus), eine Fundstelle ist in Basel-Land (Burg Altenberg bei Füllinsdorf) zu verorten. Weiteres Material stammt aus dem Kanton Schaffhausen (Kloster Allerheiligen und Bürgerspital Stein am Rhein), der Stadt und dem Kanton St. Gallen (St. Gallen Multergasse und Weesen), den Städten Zürich (Schöffelgasse) und Winterthur (Obere Kirchgasse und Obergasse). Insbesondere die Fundstellen der Stadt Basel, welche zeitlich vom 12. Jh. bis ins 19. Jh. datieren, lassen auf engstem Raum eine diachrone Überprüfung zu. Somit lässt sich untersuchen, ob und in welchem Ausmass sich ein bestimmter Gewässerabschnitt über die Jahrhunderte veränderte.

Die ausgewählten Fundstellen befinden sich im Rheineinzugsgebiet und werden biogeographisch dem Mittelland zugeordnet, nur Weesen am Walensee befindet sich in der Voralpenregion (Gonseth u.a. 2001). Da sich beim Vergleich der heutigen Fischartenspektren nur zwischen der Alpennord- und der Alpensüdseite relevante Unterschiede ergeben (Gerster / Staub 1991), lassen sich unter

Berücksichtigung der regionalen und lokalen Besonderheiten der jeweiligen Naturräume (etwa den Fischregionen) auch Vergleiche zwischen der Fundstelle Weesen am Walensee und den übrigen Fundstellen machen. Weiter kann davon ausgegangen werden, dass diese biogeographische Einteilung auch für das Mittelalter und die Neuzeit gilt.

Fundstelle	Ort/Kanton	Datierung Jh. AD	Archäologischer Befund	Angewendete Untersuchungsmethoden*	Literarnachweis für weitere Informationen zur Fundstelle und zu den archäoichthyologischen Daten
Lausen Bettenach	Lausen/BL	6-9	Grubenhäuser	2	Hüster 1992
Burg Altenberg	Füllinsdorf/BL	11	vers. Kulturschichten	1, 2, 3, 4	Marti-Grädel 2008; Marti u.a. 2013
Kloster Allerheiligen Phase 1	Schaffhausen/SH	11	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek / Brombacher 1999; Bächteli u.a. 1999
Schnabelgasse Phase 1	Basel/BS	12	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle u. a. 2010; Rodel 2003
Multergasse Phase 1	Sankt Gallen/SG	12	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle unpubl.b; Schindler 2009
Kloster Allerheiligen Phase 2	Schaffhausen/SH	12	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek / Brombacher 1999; Bächteli u.a. 1999
Obere Kirchgasse	Winterthur/ZH	12	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Hüster Plogmann u.a. 2002; Hüster Plogmann / Kühn 2013
Kleinhüningen Fischereihaus mittelalterl. Phasen	Basel/BS	12-14	vers. Abfall/ Kulturschichten	1, 2, 4	Hüster Plogmann 2005; Springer 2005
Bäumleingasse	Basel/BS	13	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Hüster Plogmann u. a. 1999
Schoffelgasse	Zürich/ZH	13	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Hüster Plogmann u.a. 2004
Multergasse Phase 2	Sankt Gallen/SG	13	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle unpubl.b; Schindler 2009
Obergasse	Winterthur/ZH	13	Verfüllung Latrine	1, 2, 4	Hüster Plogmann u.a. 2002; Hüster Plogmann / Kühn 2013
Bürgerasyl Stein am Rhein Phase 1	Stein am Rhein/SH	13/14	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek 2006; Bächteli / Höneisen 2006
Schnabelgasse Phase 2	Basel/BS	14	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle u. a. 2010; Rodel 2003
Wildensteinerhof	Basel/BS	14	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Hüster Plogmann / Veszeli unpubl.
Weesen	Weesen/SG	14	Verfüllung Ehgraben	1, 2, 3, 4	Häberle in Vorb. b; Homberger 2008; Homberger in Vorb.
Bürgerasyl Stein am Rhein Phase 2	Stein am Rhein/SH	14/15	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek 2006; Bächteli / Höneisen 2006
Museum der Kulturen 1	Basel/BS	15/16	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle unpubl. a; Straumann 2010
Museum der Kulturen 2	Basel/BS	15/16	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Häberle unpubl. a; Straumann 2010
Bürgerasyl Stein am Rhein Phase 3	Stein am Rhein/SH	15/16	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek 2006; Bächteli / Höneisen 2006
Kloster Allerheiligen Phase 3	Schaffhausen/SH	15/16	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Rehazek / Brombacher 1999; Bächteli u.a. 1999
Reischacherhof	Basel/BS	17	Verfüllung Latrine	1, 2, 3, 4	Schibler / Hüster Plogmann 1996
Kleinhüningen Fischereihaus neuzeitl. Phasen	Basel/BS	18/19	vers. Abfall/ Kulturschichten	1, 2, 3, 4	Hüster Plogmann 2005; Springer 2005

Tab. 1. Zusammenstellung der ausgewählten archäologischen Fundstellen mit Angaben zu Datierung, Fundort, Befundart sowie zu den angewendeten Untersuchungsmethoden (1: Cyprinidenbestimmung; 2: ZooMS; 3: Isotopenanalyse; 4: Ökologische Parameter und Biodiversitätsindizes; siehe Kap. 3).

Bei den ausgesuchten Befunden handelt es sich meist um Latrinen (vgl. Tab. 1), welche in sich abgeschlossene und ungestörte Strukturen darstellen und sich durch ein anaerobes und wassergesättigtes Milieu auszeichnen. Latrinen bieten sehr gute Erhaltungschancen für organische Funde bei einer kurzen Akkumulationszeit des archäologischen Materials (z.B. Hüster Plogmann u. a. 1999; Häberle 2010). Die Fischreste aus der Fundstelle Altenberg, Kleinhüningen Fischereihaus und Weesen wurden aus Abfall- und anderen Kulturschichten geborgen.

Alle archäologischen Fischreste wurden im Laufe der letzten 20 Jahre von Mitarbeiter/innen des IPNA nach der am Institut üblichen Vorgehensweise analysiert und artbestimmt (vgl. Tab. 1, Literaturnachweise). Auf die genaue Vorgehensweise bei der Analyse von archäologischen Fischknochen wird z.B. in Hüster Plogmann (2006) wie auch in den vorgelegten Fachartikeln (Häberle u.a. 2015; Häberle u.a. 2015b; Häberle u.a. 2016) eingegangen. Für eine stabile Isotopenanalyse wurde zusätzlich rezentes Fischmaterial aus Fangplätzen am Rhein (Basel und Stein am Rhein), aus fünf Seen (Bodensee, Zürichsee, Walensee, Greifensee, Nussbaumersee) und zwei Fischteichen (Pfäffikon und Brittnau) verwendet (Abb. 1 und Häberle u. a. 2016).

### 3. Methoden

Für die zusammenfassende Auswertung der Fischreste wurden zwei neue Methoden zur Artbestimmung von Cypriniden angewendet. Es handelt sich dabei um eine verfeinerte Bestimmung anhand morphologischer Kriterien und um ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry). Des Weiteren wurden ökologische Parameter der modernen Gewässerbewertung, ökologische Biodiversitätsindizes (*Shannon-Wiener-Index und Evenness*) und die stabile Isotopenanalyse eingesetzt. Zusätzlich erfolgte ein Vergleich der Ergebnisse mit Angaben aus historischen Quellen. Detaillierte Ausführungen zur Methodik finden sich in den drei hier präsentierten Fachartikeln (Häberle u.a. 2015a; Häberle u.a. 2015b; Häberle u.a. 2016).

Während die Cyprinidenbestimmung anhand verfeinerten, morphologischen Kriterien vor allem als Grundlage für die weitere Auswertung diente, waren die Resultate der ZooMS-Analyse nicht reproduzierbar (siehe dazu Kap.5). Beide Anwendungen wurden daher nicht weiter in den Fachartikeln behandelt. In der folgenden zusammengefassten Darstellung der Methoden wird jedoch etwas ausführlicher auf die beiden Techniken zur Cyprinidenbestimmung eingegangen.

#### 3.1 Artbestimmung von Cyprinidenknochen anhand verfeinerten morphologischen Bestimmungskriterien

Die klassische Artbestimmung der Fischreste in den untersuchten Fundstellen ergab, dass die Anzahl an nicht näher bestimmbareren Fischresten überall den grössten Anteil im Artenspektrum ausmacht. Dies ist auf den starken Fragmentierungsgrad der feinen, zerbrechlichen Fischreste zurückzuführen (vgl. Häberle u.a. 2015b, Tab. 3). Um detaillierte Rückschlüsse über den Zustand eines Gewässers zu ziehen, braucht es aber eine möglichst hohe Anzahl an artbestimmten Fischresten. Neben Arten wie Bachforelle oder Groppe, die sehr sensibel auf Veränderungen im Gewässer reagieren (Struktur, Temperatur, Strömung und Chemie), sind auch die Vertreter aus der Familie der Karpfenartigen (Cyprinidae) gute Bioindikatoren. Insbesondere Barbe (*Barbus barbus*), Schneider (*Alburnoides bipunctatus*), Nase (*Chondrostoma nasus*) und Hasel (*Leuciscus leuciscus*) reagieren ebenfalls sensitiv auf Gewässeränderungen. Andere Mitglieder dieser artenreichen Familie sind anspruchsloser was die Gewässerqualität betrifft und können als Anzeiger für Eutrophierungsgrad, Verschmutzung, Temperatur und Fliessgeschwindigkeit herangezogen werden. So fühlen sich beispielsweise Rotaugen (*Rutilus rutilus*), Schleie (*Tinca tinca*) und Brachse (*Abramis brama*) im Gegensatz zu den oben genannten, sensiblen Cyprinidenarten in sauerstoffarmen, nährstoffreichem Gewässern mit viel Vegetation und schlammigen Untergrund am wohlsten (Muus / Dahlström 1990).

Für die meisten Skelettelemente von Cypriniden ist eine Artbestimmung nach den bisher verwendeten morphologischen Merkmalen schwierig. Sichere Bestimmungskriterien finden sich an Schlundknochen (*Os pharyngeus*) und weiteren Kopfknochen, welche aufgrund ihrer Zerbrechlichkeit im archäologischen Kontext oft untervertreten oder nur fragmentarisch erhalten sind. Zusätzlich sind im mittelalterlichen und neuzeitlichen Material oftmals eine hohe Anzahl an Resten von Jungfischen enthalten, bei welchen oft noch keine Artbestimmung erfolgen kann, da die artspezifischen, morphologischen Merkmale wenig oder andersartig ausgeprägt sind. So war die Zahl der detailliert bestimmten Cyprinidenreste bisher oft beschränkt (Anhang Tab. 1).

Um für die nachfolgenden Untersuchungen auf eine möglichst hohe Anzahl an bestimmten Cypriniden zurückgreifen zu können, wurde eine verfeinerte, morphologische Bestimmungsmethode

für Cyprinidenknochen angewendet (Wouters 2009). Die Methode wurde von Wim Wouters (Königliches Belgisches Institut für Naturwissenschaften, Brüssel, Belgien) ausgearbeitet. Er stellte eine umfassende Vergleichssammlung der Cyprinidenarten zusammen, wobei von den jeweiligen Arten mehrere Individuen verschiedenen Alters zur Verfügung stehen. Derzeit erarbeitet Wim Wouters eine Liste mit morphologischen Kriterien, um eine sichere und schnelle Bestimmung zu ermöglichen. Er hat sich bereit erklärt, die Autorin in der Bestimmungsmethode einzuweisen und damit die Methode an den Schweizer Fischresten versuchsweise anzuwenden. So konnte an 1152 als nicht weiter bestimmbar deklarierten Cyprinidenknochen aus 14 Fundstellen (Tab. 1) die verfeinerte, morphologische Bestimmungsmethode getestet werden. Dazu wurden die ausgesuchten Cyprinidenknochen systematisch nach den verfeinerten morphologischen Kriterien hin abgesucht und mit gleich grossen Exemplaren aus der Vergleichssammlung verglichen. Sofern es der Erhaltungsgrad des einzelnen Skelettelements zulies, wurden mehrere morphologische Kriterien für die Bestimmung herangezogen, was sich als ein sehr verlässliches Vorgehen herausstellte.

### **3.2 Artbestimmung von Cyprinidenknochen mit ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry)**

Bei einigen Skelettelementen von Cypriniden (Wirbel, Rippen, Flossenstrahlen und Schuppen) stösst auch die oben beschriebene verfeinerte morphologische Methode der Artbestimmung an ihre Grenzen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde deshalb eine weitere Methode zur Cyprinidenbestimmung getestet: ZooMS (ZooArchaeology by Mass Spectrometry). Die Methode wurde von einem Team um Prof. Dr. Matthew Collins, BioArCH, Departments of Archaeology and Biology, University of York (England) ausgearbeitet und ist eine Form von «Protein Barcoding», bei welchem die Proteine im Knochenkollagen analysiert werden (Collins u.a. 2010).

Das genaue Vorgehen wird ausführlich in Buckley u.a. (2009) und Collins u. a. (2010) beschrieben und hier zusammengefasst wiedergegeben. Bei der ZooMS-Analyse werden die Kollagenproteine eines Knochenfragments isoliert, extrahiert und mit Hilfe des Verdauungsenzyms Trypsin in Peptidketten gespalten. Das Gewicht dieser Peptidketten kann mit einem Massenspektrometer bestimmt werden. Da jede Tierart mehrere spezifische Peptidmassenpeaks aufweist, kann ein charakteristischer biologischer Barcode generiert werden, welcher mit zur Verfügung stehenden Barcodes von der Datenbank des BioArCH verglichen wird, um Übereinstimmungen in den Mustern zu finden. Somit kann eine taxonomische Klassifizierung vorgenommen werden.

Die Methode wird seit 2010 vermehrt für archäozoologisches Material genutzt, dabei wurden Bestimmungen auf den taxonomischen Ebenen von Ordnung, Familie, Gattung und Art erreicht. (Buckley u. a. 2010; Stewart u. a. 2013; Buckley u. a. 2014).

ZooMS präsentiert sich auch für die Artbestimmung von Fischresten als erfolgsversprechende Alternative im Vergleich zu DNA-Analysen, insbesondere wenn eine grosse Probenanzahl von Fischresten untersucht werden soll: Einerseits reicht eine geringe Probenmenge an Knochensubstanz (< 1 mg) aus, andererseits ist die Aufbereitung der Proben für ZooMS im Vergleich zu DNA-Untersuchungen einfacher und kostengünstiger, da die Peptide in vergleichsweise grossen Mengen vorhanden sind und kaum mit Fremd-Material kontaminiert werden können (Collins u. a. 2010).

Die Methode wurde schliesslich zur Bestimmung von acht Fischarten aus vier verschiedenen Ordnungen (Clupeiformes, Salmoniformes, Gadiformes und Perciformes) unter Anwendung eines statistischen Verfahrens zur Mustererkennung getestet (Richter u. a. 2011). Diese erste Studie mit Fischresten bestätigt das Potential dieser Methode, beschreibt aber auch bestehende Schwierigkeiten. Im Gegensatz zu Proben von archäologischen Säugerknochen ergaben die

archäologischen als auch modernen Fischproben eine mindere Qualität der generierten Peptidspektren (Richter u. a. 2011). Eine Herausforderung stellte auch die Unterscheidung von nahverwandten Arten wie Lachs (*Salmo salar*) und Forelle (*Salmo trutta*) beziehungsweise Schellfisch (*Melanogrammus aeglefinus*) und Hechtdorsch (*Merluccius merluccius*) dar. Um die ZooMS-Methode für Fischreste zu perfektionieren, empfehlen Richter u.a. (2011) unter anderem die Analyse grösserer Datenmengen. Da die zusammengestellten Fischreste aus den Schweizer Fundstellen hinsichtlich Anzahl und Erhaltungszustand ein geeignetes Material für die Weiterentwicklung der ZooMS-Analyse darstellten, wurden aus 15 Fundstellen (Tab. 1) insgesamt 475 geeignete Cyprinidenreste ausgesucht und für eine ZooMS-Analyse dem BioArCH zugeführt.

Die Laborarbeit und die erstmalige Artbestimmung der Cyprinidenreste wurden von Oliver Hounslow, (Hounslow unpubliziert) durchgeführt, wobei die Auswertung der generierten Barcodes ohne statistische, computerunterstützte Verfahren erfolgte. Jedes einzelne Peptidpeakmuster der beprobten Cyprinidenreste wurde mit der Datenbank des BioArCH verglichen, die 15 von insgesamt der 24 in Frage kommenden Cyprinidenarten beinhaltet. Stichprobenartig erfolgte anschliessend an den von Oliver Hounslow als Karpfen bestimmte Cypriniden eine weitere Bestimmung unter Anwendung des open-source Programms „mMass“, welches die Analyse und Interpretation von massenspektrometrischen Daten ermöglicht (Strohalm u. a. 2008). In dieses Programm können definierte Datenbanken eingespeist werden, um darin dann nach dem passenden Gegenstück des zu bestimmenden Peptidbildes zu suchen. Zum Vergleich standen wiederum die vorhandenen Daten der 15 Cyprinidenarten aus der BioArCH Datenbank zur Verfügung.

### **3.3 Ökologische Parameter zur Einschätzung der historischen Gewässersituation**

Zur Durchführung einer Einschätzung der modernen Schweizer Gewässerökologie wurde vom BAFU (Schweizer Bundesamt für Umwelt) und vom EAWAG (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) ein methodisches Konzept mit vier ökologischen Parametern entwickelt (Schager u.a. 2004). Zwei von vier Parametern können an die Auswertung von archäologischen Fischresten angepasst werden und wurden erstmals zur Beurteilung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fliessgewässer miteinbezogen (Häberle u.a. 2015b). Hier erfolgt eine kurze Definition der angewendeten ökologischen Parameter 1 und 2, den detaillierten Angaben zur Methodik und den Adaptionen für die Bearbeitung von archäologischen Fischresten. Die statistisch-mathematische Überprüfung der Resultate findet sich im vorgelegten Fachartikel Häberle u.a. (2015b).

Mit Parameter 1 werden Arten- beziehungsweise Fischgildenspektren und das Verhältnis der Arten- und Fischgildenhäufigkeiten zueinander untersucht (Dominanzverhältnis; vgl. Schager u.a. 2004; Weber / Peter 2005). Dabei soll festgestellt werden, ob für die jeweilige Fischregion auch die typischen Fischgilden dominieren, da eine Verschiebung der Häufigkeiten auf Störungen des Ökosystems hinweisen kann. Weiter werden auch Häufigkeit und Verhältnis ausgesuchter Indikatorarten (Bachforelle, Groppe, Barbe, Trüsche) beurteilt.

Parameter 2 beinhaltet die Untersuchung der Populationsstruktur der ausgewählten Indikatorarten Bachforelle, Groppe und Barbe (vgl. Schager u.a. 2004). Hier wird das Vorhandensein der Altersklasse 0<sup>+</sup> (Individuen bis und mit 1 Jahr alt) und der Altersklasse > 0<sup>+</sup> (Individuen über 1 Jahr alt) sowie das Vorhandensein verschiedener Altersklassen insgesamt bewertet.

Im Gegensatz zur Bewertung moderner Gewässer kann an archäologischem Material keine absolute Quantifizierung des Fischbestandes innerhalb eines bestimmten Fangareals ausgerechnet werden (vgl. Schager u.a. 2004, Parameter 3). Auch eine Überprüfung der Fischindividuen auf Krankheiten,



Deformationen und Anomalien (vgl. Schager u.a. 2004, Parameter 4) lässt sich kaum verwirklichen, da beim vorliegenden Knochenmaterial keinerlei pathologische Veränderungen erkannt werden konnten, die auf Krankheiten oder stresserzeugende Umweltfaktoren hinweisen (vgl. Van Neer u.a. 2005). Es wird deshalb für vorliegende Arbeit davon ausgegangen, dass bereits die Anwendung der ökologischen Parameter 1 und 2 an den untersuchten archäologischen Fischartenspektren Hinweise zur ökologischen Gewässersituation als auch zum Fangdruck auf Fischbestände geben können.

### **3.4 Stabile Isotopenanalyse an archäologischen Fischresten**

Als weitere Methode zur Auswertung der archäologischen Fischreste wurde die stabile Isotopenanalyse von Stickstoff- und Kohlenstoff hinzugezogen (Häberle u.a. 2015a; Häberle u.a. 2016). In der archäologischen Forschung wird die stabile Isotopenanalyse an Fischresten vorrangig zur Schaffung einer Datengrundlage für die Rekonstruktion der menschlichen Ernährungsweise verwendet. In einigen Studien wird jedoch auch beschrieben, dass die Untersuchung stabiler Isotopen von Fischen ebenfalls Potential zur Beantwortung ökologischer und fischbiologischer Fragestellungen hat (vgl. Grupe u. a. 2009; Miller u. a. 2010; Fuller u. a. 2012; Vika / Theodoropoulou 2012; Robson u. a. 2012).

Beantwortet wurden solche gewässerökologische Fragestellungen bisher vornehmlich in Studien zur modernen Fischfauna (z.B. Macko / Onstrom 1994; Hansson u. a. 1997; Schlachter u. a. 2005), wobei auch einige Isotopenuntersuchungen an Schweizer Süßwasserfischen erfolgten (Dufour u. a. 1999; Dufour / Gerdeaux 2001; Perga / Gerdeaux 2003; Lucek u. a. 2013). Diese Studien belegen, dass die Analyse von Stickstoff- und Kohlenstoffisotopen Informationen über den Eutrophierungsgrad eines Gewässers sowie über die Belastung und Verschmutzung durch anthropogen eingeführte Stoffe liefern kann.

Eine derartige Untersuchung der Isotopensignaturen von archäologischen Fischresten aus Schweizer Fundstellen stand bisher noch aus. In der vorliegenden Arbeit wird deshalb der Frage nachgegangen, ob die Analyse von Kohlenstoff- ( $^{13}\text{C}$ ) und Stickstoffisotopen ( $^{15}\text{N}$ ) an archäologischen Fischresten ebenfalls Aussagen zur damaligen Gewässerökologie wie auch zur Fischbiologie ermöglichen.

Im Rahmen dieses Projektes wurden die  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{15}\text{N}$  Werte von 202 archäologischen Fischknochenproben aus 14 Fundstellen analysiert (Tab. 1). Es wurden Knochen folgender fünf Fischarten beprobt: Hecht (*Esox lucius*), Flussbarsch (*Perca fluviatilis*), Barbe (*Barbus barbus*), Rotauge (*Rutilus rutilus*), Rotfeder (*Scardinius erythrophthalmus*), Karpfen (*Cyprinus carpio*) sowie von unbestimmbaren Cypriniden. Miteinbezogen wurden 29 rezente Proben derselben Fischarten, da bisher keine modernen Vergleichswerte von Kohlenstoff- und Stickstoffisotopen der hier untersuchten Arten aus Schweizer Gewässern publiziert wurden (Häberle u.a. 2016 Tab. 2). Es wurden zwei Probensets separat aufbereitet und gemessen. Die Auswahl des zweiten Probensets wurde nach dem Erhalt der Resultate des ersten Probensets angepasst. Probenset 1 umfasste 140 archäologische Fischreste und lieferte einen ersten Überblick über die inter- und intraspezifischen Variabilität der Isotopensignale (Häberle u. a. 2015a). Das zweite Probenset ergänzt das Erste mit weiteren 62 archäologischen Fischresten sowie den 29 rezenten Fischknochen (Häberle u. a. 2016). Da sich bei der Messung von Probenset 1 herausstellte, dass die Chance auf einen ausreichenden Kollagengehalt bei grossen Skelettelementen am höchsten ist (Häberle u. a. 2015a), wurden für das Probenset 2 hauptsächlich Skelettelemente grösserer Fischexemplare ausgesucht, welche möglichst nicht unter 10 mg wogen. Die Probenaufbereitung und die massenspektrometrischen Analysen der archäologischen Fischreste wurden am Max Planck Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig

(D), die der modernen Fischproben bei Imprint Analytics GmbH, Neutal (AT) ausgeführt, dies jeweils unter Einhaltung der Protokolle in Richards / Hedges (1999) sowie Brown u. a. (1988).

### **3.5 Berechnung des *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness* an archäologischem Fischmaterial**

In Studien zu modernen Ökosystemen finden häufig statistisch-mathematische Berechnung von Biodiversitätsfaktoren Verwendung, welche Aussagen zur Artenvielfalt in einem Untersuchungsgebiet zulassen (Heip u. a. 1998). Einer der angewendeten Biodiversitätsfaktoren stellt der *Shannon-Wiener-Index* dar, der oft mit der *Evenness* kombiniert wird (Heip u. a. 1998).

Auch in einigen archäozoologischen Studien wurden bereits verschiedene solcher Indices angewendet (z.B. Cruz-Urbe 1988; Bar-Oz u. a. 1999; Broughton u.a. 2011), wobei festgehalten wird, dass bei der Anwendung an archäozoologischen Fundensembles die tatsächlich vorhandene Artenvielfalt durch verschiedene Faktoren geprägt wird. Als besonders einflussreich gilt die damalig stattfindende menschliche Selektion (z.B. Gaudzinski / Street 2003; Zohar / Belmaker 2005). Dieser Überlegung folgten auch Gaudzinski / Street (2003) und stellten mit der Berechnung des *Simpson – Index* an magdalènezeitlichen Faunenkomplexen fest, dass die Zusammensetzung der Jagdtiere erheblich durch menschliche Selektion geprägt wurde.

Mit dem *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness* soll am hier zur Verfügung stehenden Fischmaterial überprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen der archäologisch nachgewiesenen Fischartenvielfalt und einer menschlichen Selektion erkannt und statistisch dargestellt werden kann (Häberle u. a. 2015b). Denn bei den untersuchten Fischresten implizieren der Befundkontext (Latrinen, Abfall- und andere Kulturschichten), dass die nachgewiesenen Fischreste durch den Menschen in die untersuchten Fundstellen gelangten und somit von einer menschlichen Selektion beeinflusst wurden. Zusätzlich lassen historische Quellen zur damaligen Fischerei, Fischkonsum, Kaufkraft und Gesellschaftsgefüge (z.B. Müller 1989) vermuten, dass eine Fischselektion von verschiedenen Faktoren abhängig war. Deswegen wurde auch der Frage nachgegangen, ob sich mit Hilfe dieses statistischen Verfahrens die angenommene menschliche Selektion detaillierter interpretieren lässt, ob beispielsweise der gesellschaftliche Status der Fischkonsumenten oder das Vorhandensein von Konsumtraditionen Unterschiede in der Fischartenvielfalt hervorrufen können.

### **3.6 Vergleich mit historischen Quellen**

Über die intensive Fischerei, Fischverkauf und Fischkonsum berichten bereits früh- und hochmittelalterliche, vor allem aber spätmittelalterliche und neuzeitliche Quellen (vgl. u.a. Von Liebenau 1897; Egli 1909; Aeschbacher 1923). Spätestens ab der 1. Hälfte des 14. Jahrhunderts wurden für die meisten grösseren Schweizer Gewässer Fischereiverordnungen formuliert (vgl. Schnell 1865; Von Liebenau 1897; Aeschbacher 1923; Elsener 1951; Müller 1989; Amacher 1996).

Das Wissen aus historischen Quellen kann einen wichtigen Beitrag zur Beantwortung der genannten Fragestellungen liefern. Es wird hier insbesondere nach Parallelen zu den Ergebnissen der Auswertung der archäologischen Fischreste gesucht, welche auf Veränderungen des Gewässerzustandes und der Fischbestände hinweisen. Ebenfalls soll überprüft werden, ob in historischen Quellen Massnahmen zum Schutz der Fische und zur Bevölkerungsverorgung mit Fisch beschrieben sind. Es muss bedacht werden, dass historische Schriftstücke nur bedingt zuverlässige Quellen darstellen. Smit sollte deren Aussagewert auch immer kritisch hinterfragt werden. Der Abgleich mit dem archäologischen Kontext kann hier eine realistischere Einschätzung ermöglichen.

## 4. Fachartikel

- 4.1** Häberle u. a. 2015a: S. Häberle / B.T. Fuller / O. Nehlich / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Inter- and intraspecies variability in stable isotope ratio values of archaeological fresh-water fish remains from Switzerland (11<sup>th</sup> – 19<sup>th</sup> century AD). *Environmental Archaeology - The Journal of Human Palaeoecology*, Volume 21, 2016 - Issue 2: A Fish Story or History? Evidence from the Past. The 17th biennial meeting of the Fish Remains Working Group held at Tallinn University, Estonia, September 2013, 119-132.  
DOI: 10.1179 / 1749631414Y.0000000042  
Published with Permission of Taylor & Francis
- 4.2** Häberle u.a. 2015b: S. Häberle / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Fischknochen als Indikatoren für Gewässerzustand und menschliche Fischselektion. Eine zusammenfassende Auswertung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus dem Rheineinzugsgebiet der Schweiz. *Archäologisches Korrespondenzblatt*, Jahrgang 45 (2015), Heft 3, 417-437.  
DOI: 10.11588 / ak.2015.3.34703  
Publiziert mit der Erlaubnis des Archäologischen Korrespondenzblattes
- 4.3** Häberle u.a. 2016: S. Häberle / O. Nehlich / B. Fuller / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Carbon and nitrogen isotopic ratios in archaeological and modern Swiss fish as possible markers for diachronic anthropogenic activity in freshwater ecosystems. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10, 2016, 411-423.  
DOI: 10.1016 / j.jasrep.2016.10.012  
Published with Permission of Elsevier (License Nr. 4033050953717, License date Jan 20, 2017)

# Inter- and intraspecies variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11th–19th centuries AD)

Simone Häberle<sup>1</sup>, Benjamin T. Fuller<sup>2,3</sup>, Olaf Nehlich<sup>2,5</sup>, Wim Van Neer<sup>3,4</sup>, Jörg Schibler<sup>1</sup>, Heide Hüster Plogmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Prehistory and Archaeological Science, University of Basel, Basel, Switzerland, <sup>2</sup>Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Leipzig, Germany, <sup>3</sup>Laboratory of Biodiversity and Evolutionary Genomics, Centre for Archaeological Sciences, University of Leuven, Leuven, Belgium, <sup>4</sup>Operational Direction Earth and History of Life, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels, Belgium, <sup>5</sup>The University of British Columbia, Department of Anthropology, Vancouver, BC, Canada

This paper presents carbon and nitrogen isotopic results from several Swiss freshwater fish (*Esox lucius*, *Perca fluviatilis*, *Barbus barbus*, *Rutilus rutilus* and other Cyprinidae) in order to provide information about their trophic level, feeding habits and provenance.

Freshwater fish remains are regularly recovered from archaeological contexts in Switzerland, which attests to the importance of these aquatic food resources to past communities. However, it can be difficult to determine the effect of freshwater fish consumption in human bone isotope signatures by stable isotope ratio analysis. Therefore, an establishment of baseline isotope signatures of freshwater fish by region and time is necessary. Additionally, freshwater fish isotope analysis can serve as a backdrop for research on former aquatic isotopic ecology.

We measured carbon and nitrogen isotope ratios of 140 freshwater fish bone samples from sites dating between the 11th and 19th centuries AD. Suitable C:N ratios (2.9–3.6) were obtained from 56 of the samples, a rather low success rate that may be the result of diagenetic contamination and insufficient sample weight (<20 mg). A high inter- and intraspecies variability of freshwater fish isotope signature was observed. The  $\delta^{15}\text{N}$  results indicate a size and age-related trophic level effect. Heterogeneous carbon isotope signatures from samples from the same site could indicate spatial variation in isotope values within a single ecosystem or alternatively represent the use of different fishing grounds.

**Keywords:** Switzerland, Freshwater fish, Isotopic investigation,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ , Aquatic ecosystems, Trophic level effect, Historic time

## Introduction

Stable isotope ratio analysis of fish remains is becoming increasingly important in archaeozoological and archaeological research, particularly for producing basic methodological information about human dietary reconstruction. It has been proposed that freshwater fish consumption can be inferred from  $^{15}\text{N}$ -enriched and  $^{13}\text{C}$ -depleted values in human bone collagen (Bonsall *et al.* 2004). Compared to marine fish, freshwater fish are more challenging to detect as dietary components in human isotopic signatures (Hedges and Reynard 2007). Therefore, reliable archaeozoological evidence for the intense

exploitation of fish should be provided when possible for each site (Hedges and Reynard 2007). In Switzerland, an increasing number of freshwater fish remains have been recovered from medieval and early modern sites. This illustrates the importance of freshwater fish in the diets of humans, but no isotopic measurements in this region have been undertaken until now.

However, some past research projects concerning the isotopic analysis of freshwater fish in prehistoric and historic Europe have been undertaken, including material from medieval northern England (Müldner and Richards 2005, 2007), Neolithic southern Germany (Bösl *et al.* 2006), Medieval northern Germany (Grupe *et al.* 2009), medieval and historic Belgium (Fuller *et al.* 2012), Classical Greece (Vika

Correspondence to: Simone Häberle, Integrative Prehistory and Archaeological Science, University of Basel, Spalenring 145, Basel CH-4055, Switzerland. Email: simone.haerberle@unibas.ch

and Theodoropoulou 2012) and Meso-Neolithic Denmark and northern Germany (Robson *et al.* 2012). These studies can serve as basic information for local human dietary reconstruction in certain time periods.

In addition, high inter- and intraspecies variations of modern isotope signatures from freshwater organisms were also illustrated in several studies (e.g. Schoeninger and DeNiro 1984), including research from Switzerland (Dufour *et al.* 1999; Dufour and Gerdeaux 2001; Perga and Gerdeaux 2003; Lucek *et al.* 2013). While this past research provides valuable information about freshwater fish from Switzerland, the study presented here examines different Swiss freshwater fish species and waterways, and as a result, comparisons between the datasets are beyond the scope of this paper. The heterogeneity of freshwater fish isotope values can be caused by many factors: diet, different habitats or feeding grounds, age and size. Since most freshwater fish species change their feeding habits throughout their lives, their isotope results can also change. In general, nitrogen stable isotope ratio analysis is used to determine the trophic level of an organism by a stepwise isotopic shift relative to the diet, referred to as the 'trophic level effect' (e.g. DeNiro and Epstein 1978, 1981); Szpak *et al.* (2012) suggested an increase of  $\delta^{15}\text{N}$  by  $3.6 \pm 1.3$ . In particular, older, and therefore larger, fish can reach higher trophic levels and show elevated isotope values (e.g. DeNiro and Epstein 1978; Schoeninger and DeNiro 1984; Hansson *et al.* 1997). Besides food supply, nutrient content in freshwater biotopes can impact the growth of modern specimens, but a reconstruction of these factors is difficult for past ecosystems (Boisclair and Leggett 2011). Additionally, an influence on modern freshwater fish isotopic signatures by the trophic status of the water itself was observed (Grey *et al.* 2000), and it must be considered that a habitat shift during lifetime – even in a limited biotope – can influence the isotope values of a specimen. Such spatial variation in isotope values within the single ecosystem is rarely described. Syväranta *et al.* (2006) explored variations in carbon and nitrogen isotopic signatures in different compartments of a single lake ecosystem, particularly within littoral and profundal organisms and McKinney *et al.* (1999) discovered that mussels show spatial heterogeneity in nitrogen isotope values. Additionally, water velocity can influence stable isotope signatures of organisms, as Trudeau and Rasmussen (2003) observed on algae. Therefore, differences between slow-running and fast-running river sections can be presumed. Some studies show variations of isotope signatures from recent organisms caused by water pollution. Harvey and Kitchell (2000) assumed that in Lake Superior, a spatial heterogeneity of the food

web is caused by inputs of sewage from adjacent cities that increase  $\delta^{15}\text{N}$  in different fish species and the same phenomenon was explored in the Baltic Sea by Hansson *et al.* (1997). All these impacts must be considered when interpreting freshwater fish isotope signatures.

The goal of this research is to establish the first large-scale isotopic study (carbon and nitrogen) of archaeological freshwater fish remains from Switzerland. Specimens were selected to provide an overview of the freshwater fish isotopic characteristics, including inter- and intraspecific variations and differences by region and time period. The analysis of this first background data will support more accurate and detailed reconstructions of regional human dietary patterns of historic communities in Switzerland. Additionally, the elucidation of aquatic isotopic ecology can help to lay the foundations for further palaeoenvironmental research and water protection projects in the future.

#### *Medieval and Early Modern Freshwater Fishing in Switzerland and Its Effects on Fish Stocks*

In Switzerland, fish remains from medieval and early modern sites are well documented. At least 26 sites have been studied since 1990 (Supplementary Material 1). Due to medieval fasting regulations, fish became more prominent in the diet, particularly among the upper classes (Hüster Plogmann 2006). According to written documents and archaeological findings, freshwater fish were intensively and widely exploited in Switzerland and wider Europe. In fact, in some areas freshwater fish were exploited so much that protection measures had to be taken, for example Philip IV issued fishing bans in France in the late 13th century AD in order to save stocks from extinction (Hoffmann 1996). In other regions it is possible to see the direct effects of over-exploitation: in the Elbe region of Germany there is evidence for a decline in sturgeon populations from the 8th/9th to the 12th century (Benecke 1986) and in Belgium, catfish probably became extinct in the Scheldt basin in the early 14th century AD and in the Meuse basin in the 15th century AD (Van Neer and Ervynck 2009). Measures for conservation are recorded for Switzerland, with prohibitions against catching yearlings issued in the early 15th century AD (e.g. Müller 1989; Häberle and Betschart 2010). While high catch rates are one possible cause of changes in freshwater fish populations in the regions mentioned, other influences could include climatic change, anthropogenic alterations (e.g. riverine obstacles to fish movement) or changes in water quality. Anthropogenic water pollution due to medieval settlement activities is also considered to have impact upon

freshwater fish (e.g. Hoffmann 2005; Van Neer *et al.* 2009), but has yet to be confirmed.

### *Freshwater Fish Provenance*

For medieval Switzerland, it is assumed that fish derived from environments in close vicinity to the excavated archaeological sites and settlements. Freshwater fish that had been transported over long distances were probably only available to members of the clerical and aristocratic upper classes. Hoffmann (2001) describes that overland transport of fresh fish prior to industrialisation was possible by fast horse relays within a maximum of 150 km distance. A written source from the 12th century AD details the transport of whitefish over 100 km from Lake Lucerne to Basel, where the Cathedral Provost held a feast (Müller 1989). Further records do not appear until the 14th century AD, when freshwater fish were traded from one region to another in order to supply an increased demand during long fasting periods (Müller 1989). However, the demand of the majority of the population was likely accommodated by fish from local rivers and lakes. Particularly, young fish smaller than 10 cm – which are found in the thousands in medieval cess pits (e.g. Hüster Plogmann *et al.* 1999; Häberle *et al.* 2010) – are highly perishable and therefore not suitable for long-distance transport. All selected archaeological sites in this study are located near a body of water, and it is assumed that most of the sampled fish were caught in local fishing grounds. However, sporadic trade cannot be entirely excluded.

It has to be noted that in medieval times freshwater fish were not only caught in natural water systems but were also kept in artificial ponds, ditches or mill streams. In particular, the nobility and clerical classes commissioned the construction of ponds for fish farming as a method to maintain the fish supply (Häberle and Marti-Grädel 2006).

## **Materials and Methods**

### *Collection and Species Identification*

A total of 140 freshwater fish bones from 11 archaeological sites were selected for the study. The archaeozoological analysis of the fish remains was undertaken at the Institute of Prehistory and Archaeological Science (IPAS), University of Basel, Switzerland. Wet sieving of sediment sampled on the archaeological sites over a column of 4, 1 and 0.35 mm mesh size is part of the standard procedure at the IPAS in order to obtain the small fish bones that often weigh less than 0.1 g. Identification of fish bones was realized by comparing them to a reference collection. If possible, fish total length (TL in cm: length from the tip of the snout to the tip of the longer lobe of the caudal fin) was estimated by comparison with modern fish skeletons of

known size (Zohar and Belmaker 2005). Fish remains are grouped according to sizes defined in five different classes (TL 1 = 5–10 cm, TL 2 = 10–20 cm, TL 3 = 20–30 cm, TL 4 = 30–50 cm and TL 5 = >50 cm). This method is suitable to assess age, life stage, corresponding feeding habits and occupied biotope of a fish species and has been applied in several studies (e.g. Barrett *et al.* 2011; Fuller *et al.* 2012; Robson *et al.* 2012).

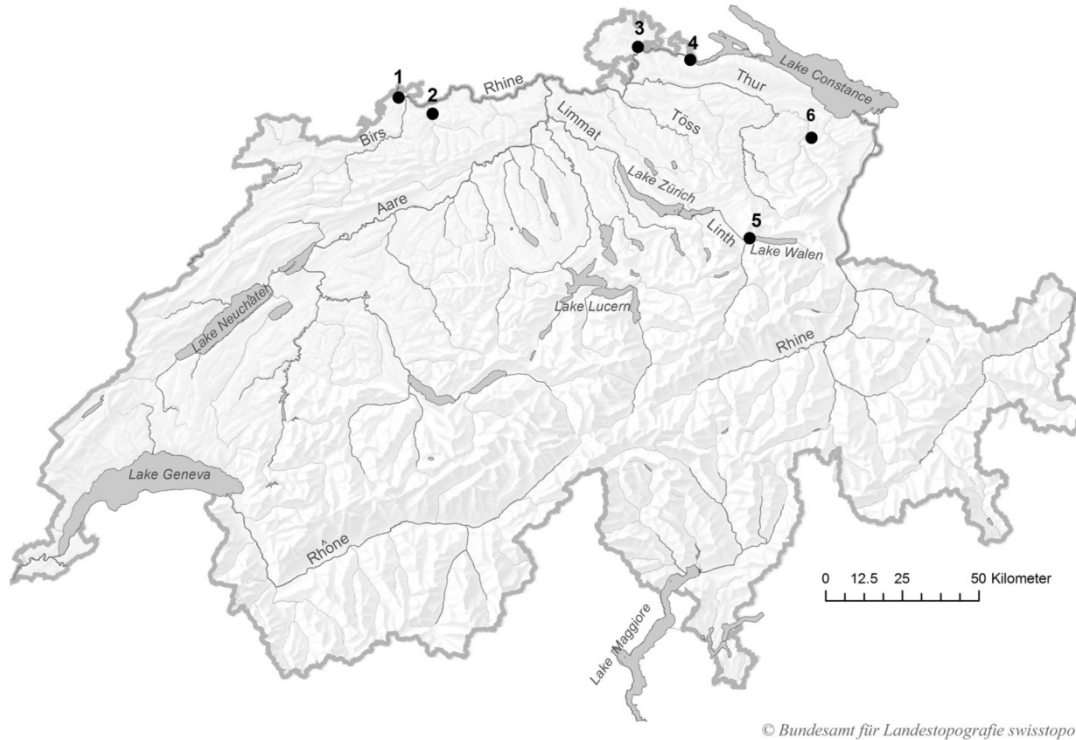
### *Selected Sites, Fish Species and Skeletal Elements*

The archaeological sites studied are detailed in Fig. 1 and Table 1. Nine sites are situated along the river Rhine or one of its tributaries: six in the city of Basel – Schnabelgasse (SG), Bäumleingasse (BG), Wildensteinerhof (WI), Kleinhüningen Fischereihaus (KLFH), Reischacherhof (REI) and Museum der Kulturen (MKB); one close to Basel – castle Altenberg (AB) in the countryside of Füllinsdorf; and two more upstream at the Schaffhausen Rhine falls – the monastery Allerheiligen in Schaffhausen (SHA) and the monastery hospital in Stein am Rhein (STRH). The site Multergasse (SGM) was excavated in the old town of St Gallen, adjacent to the small river Steinach and neighbouring Lake Constance. Additionally, fish remains from the lakeshore site Weesen (WEE) at Lake Walen were selected for comparison with freshwater fish from the riverine water systems. It should be noted that all the fish specimens studied here represent fish populations primarily from the Rhine River drainage basin, and thus it is not possible to compare these results to previous research which was conducted on the Rhône, Doubs, Po and Inn River systems (e.g. Dufour *et al.* 1999; Perga and Gerdeaux 2003; Lucek *et al.* 2013).

Archaeological sites that contained large number of fish remains were selected, with closed, undisturbed features preferred. The best preservation conditions for medieval and early modern contexts often exist in cess pits (Schibler and Hüster Plogmann 1996; Hüster Plogmann *et al.* 1999; Häberle *et al.* 2010) and accordingly, nearly all material selected was from latrines; only three assemblages originate from refuse and other cultural layers. All sites reveal a dating horizon defined by pottery, coin, artefact typology and/or radiocarbon measurement and span from the 11th to the 19th centuries AD (Table 1, references).

The selected fish bones are from four different species: pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*), barbel (*Barbus barbus*) and roach (*Rutilus rutilus*), and also samples of unidentified cyprinids (Cyprinidae).

Freshwater fish species from different trophic positions, ages and lengths were selected in order to detect variations in isotope values between high and low trophic level feeders, as well as age- or size-



**Figure 1** Map of Switzerland with main rivers and lakes and location of sites sampled in this study: 1=Basel (6 sites); 2=Füllinsdorf (1 site) 3=Schaffhausen (1 site); 4=Stein am Rhein (1 site); 5=Weesen, (1 site); 6=St. Gallen, (1 site). For additional information see Table 1.

related variations. Pike and perch are high trophic level feeders, thus have higher positions in the food chain, while barbel, roach and cyprinids generally represent low trophic level feeders.

When possible, one large skeletal element for each archaeological sample was chosen. For assemblages consisting mostly of small and young specimens, several skeletal elements of similar sized specimens

were selected to represent one sample in order to obtain enough collagen for the isotope analysis (Supplementary Material 2). If this was the case, the bones were collected from the same closed stratigraphic context. Vertebrae were preferred but there are also samples which include other skeletal elements like head or fin bones (Supplementary Material 2).

**Table 1** Details of the archaeological sites, locations, depositional contexts, chronology and references for the fish bones.

Archaeological site	Code	City/Canton	No. in Fig.1	Depositional context	Dating (century AD)	References
Schnabelgasse	SG	Basel/BS	1	Cesspit	12	Rodel (2003); Häberle (2010)
Bäumleingasse	BG	Basel/BS	1	Cesspit	13	Hüster Plogmann <i>et al.</i> (1999)
Wildensteinerhof	WI	Basel/BS	1	Cesspit	14	Hüster Plogmann (unpublished)
Kleinhüningen Fischereihaus	KLFH	Basel/BS	1	Cultural/refusal layers	18–19	Hüster Plogmann (2005), Springer (2005)
Reischacherhof	REI	Basel/BS	1	Cesspit	17	Schibler und Hüster Plogmann (1996)
Museum der Kulturen	MKB	Basel/BS	1	Cesspits	15/16	Straumann (2010); Häberle (unpublished)
Altenberg	AB	Füllinsdorf/BL	2	Cultural layers	11	Marti-Grädel (2008); Marti <i>et al.</i> (2013)
Allerheiligen	SHA	Schaffhausen/ SH	3	Cesspits	11–16	Bünteli <i>et al.</i> (1999); Rehazek and Brombacher (1999)
Stein am Rhein	STRH	Stein am Rhein/ SH	4	Cesspits	13–15	Bünteli (2006); Rehazek (2006)
Multergasse	SGM	St. Gallen/SG	6	Cesspit	13	Schindler (2009); Häberle (unpublished)
Weesen	WEE	Weesen/SG	5	Refusal layers	14	Homberger (2008); Häberle (unpublished)

### Stable Isotope Ratio Analysis

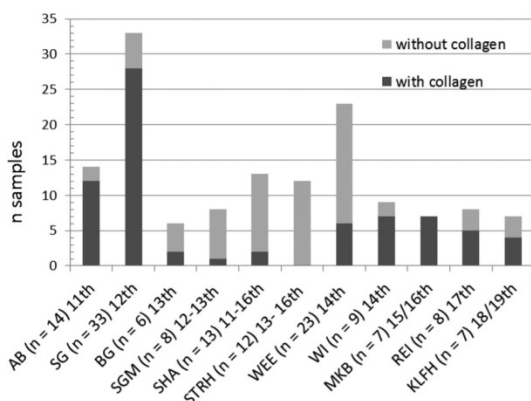
Preparation and isotopic measurements of the archaeological samples were performed at the Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology in Leipzig, Germany, following the protocol outlined in Richards and Hedges (1999). The tiny and fragile fish bones (between 10 and 100 mg) were demineralised whole in 0.5 M HCl at 4°C. The residue was rinsed three times in deionised H<sub>2</sub>O, then placed in a pH 3 HCl solution, gelatinised for 48 hours at 70°C and EZEE® Elkay Laboratory Products (UK) Ltd., Hampshire, (UK) filtered. This procedure was followed by an additional ultrafiltration step (Millipore, Amicon® (MerckChemicals GmbH, Hessen Germany) cut-off >30 kDa, <30 kDa and <10 kDa) after Brown *et al.* (1988). The collagen solution was then freeze-dried, weighed into tin capsules and combusted in a Flash Elemental Analyser (Flash EA 2212, Thermo-Finnigan® Thermo-Finnigan MAT GmbH, Bremen, Germany) coupled to a continuous-flow isotope ratio-monitoring mass-spectrometry (Thermo-Finnigan® Delta V Bremen, Germany). The precision in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values on known standards is  $\pm 0.2\%$  or better.

### Statistics

It was tested whether collagen extraction success depends on sample weight, age or type of site, and whether there exists age- and time-related effects in stable isotope signatures of the measured specimens using non-parametric analysis of variance (Mann–Whitney *U*-test) and linear regression analysis with PAST (Paleontological Statistics) (Hammer *et al.* 2001).

### Results

In Fig. 2, the collagen extraction success rate is plotted by archaeological site. From a total of 140 prepared samples, 66 (47%) produced no or too little collagen



**Figure 2** Success rate of collagen extraction of the Swiss freshwater fish bone samples plotted in relation to archaeological sites. Abbreviations of the sites are the same as in Table 1. All dates refer to centuries AD.

for isotope measurement despite the use of three successive filters in the preparation procedure (Supplementary Material 2). Samples from SGM and SHA showed a low success rate of collagen extraction, while in samples from site STRH collagen was not left after the preparation.

Samples with a start mass >100 mg have a success rate of 100% (16 of 16) and 27 of 29 of the samples with a weight >50 mg produced enough collagen. A start mass between 50 and 20 mg did not lead to a significant difference in collagen content (Mann–Whitney  $U = 180.5$ ,  $P = 0.067$ ; Supplementary Material 2) and linear regression analysis shows no influence of age ( $r^2 = 0.016$ ) or type of site (cesspit, refusal or cultural layers;  $r^2 = 0.010$ ) to extraction success. Finally, a decline of collagen extraction success was observed for samples with a starting mass <20 mg (Mann–Whitney  $U = 55.5$ ,  $P = 0.011$ ). Thus, an influence of sample weight on collagen extraction success is identified in our dataset, with a success likelihood threshold at >20 mg.

Tables 2 and 3 summarise the information of the isotope data obtained, while the individual results are presented in Supplementary Material 2.

Isotopic results of the measured fish bone samples were only used when they fall within the traditional C:N range (2.9–3.6), as recommended by DeNiro (1985) and later by Szpak (2011). Sufficiently well-preserved collagen with C:N ratios in the accepted range were established for 56 samples (40%). Due to insufficient collagen or C:N ratios outside of the approved range, a total of 84 samples (60%), including all samples from four sites (SHA, STRH, BG and SGM, Table 3) had to be excluded from further evaluation.

The 56 acceptable carbon and nitrogen results are plotted in Fig. 3 by species (or family) and corresponding site. The  $\delta^{13}\text{C}$  values range between  $-25.1$  and  $-20.4\%$  and the  $\delta^{15}\text{N}$  values range between  $5.3$  and  $14.2\%$ . Table 2 shows that the pike ( $n = 8$ ) have  $\delta^{13}\text{C}$  values ranging from  $-25.1$  to  $-21.3\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $-23.4 \pm 1.4\%$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values ranging from  $7.9$  to  $14.2\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $10.7 \pm 2.6\%$ . The  $\delta^{13}\text{C}$  values of the perch ( $n = 28$ ) plot between  $-24.9$  and  $-21.1\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $-23.5 \pm 0.8\%$ , while  $\delta^{15}\text{N}$  values range between  $5.3$  and  $10.7\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $7.2 \pm 1.3\%$ . Barbel samples ( $n = 13$ ) cluster between  $\delta^{13}\text{C}$  values from  $-23.9$  to  $-20.4\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $-22.1 \pm 0.8\%$  and show  $\delta^{15}\text{N}$  values from  $6.9$  to  $11.5\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $8.3 \pm 1.2\%$ . The cyprinids ( $n = 6$ )  $\delta^{13}\text{C}$  values group between  $-23.8$  and  $-22.1\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $-22.9 \pm 0.5\%$  while their  $\delta^{15}\text{N}$  values cluster between  $5.6$  and  $11.1\%$ , mean  $\pm$  SD values of  $7.9 \pm 1.7\%$ . The single roach sample shows a  $\delta^{13}\text{C}$  value of  $-22.3$  and a  $\delta^{15}\text{N}$  value of  $7.4\%$ .



**Table 2 Summary of carbon and nitrogen isotopic results for freshwater fish samples from Switzerland. Samples with poor C:N ratios are indicated in grey. Standard deviations are calculated only for n > 2.**

Species (or family)	Common Name	Total length class (TL)	Total length in cm	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	Species (or family) mean $\delta^{13}\text{C}$		Species (or family) mean $\delta^{15}\text{N}$		
							$\pm$ SD	$\pm$ SD			
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-21.8	7.1	3.2					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-22.1	7.6	3.1					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-22.8	6.9	3.4					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-21.7	8.3	3.3					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-21.3	8.0	3.2					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	1	5–10	-22.6	7.4	3.3	-22.0	0.5	7.5	0.5	
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	2	10–20	-22.7	8.0	3.3					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	2	10–20	-21.9	7.1	3.5	-22.3		7.1		
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	3	20–30	-23.9	8.3	3.5	-23.9		8.3		
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	4	30–50	-21.7	9.5	3.4					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	4	30–50	-22.3	8.8	3.2	-22.0		8.3		
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	5	> 50	-21.7	9.4	3.4					
<i>Barbus barbus</i>	Barbel	5	> 50	-20.4	11.5	3.3	-21.1		10.4		
							Total Barbel	-22.1	0.8	8.3	1.2
Cyprinidae indet	Cyprinid	1	5–10	-23.8	6.4	3.5					
Cyprinidae indet	Cyprinid	1	5–10	-22.1	5.6	3.5					
Cyprinidae indet	Cyprinid	1	5–10	-23.1	8.0	3.3					
Cyprinidae indet	Cyprinid	1	5–10	-23.1	8.0	3.4	-23.0	0.6	7.0	1.0	
Cyprinidae indet	Cyprinid	2	10–20	-20.1	8.7	3.64					
Cyprinidae indet	Cyprinid	2	10–20	-22.8	8.1	3.57	-22.8		8.1		
Cyprinidae indet	Cyprinid	4	30–50	-22.5	11.1	3.2	-22.5		11.1		
							Total Cyprinid	-22.9	0.5	7.9	1.7
<i>Esox lucius</i>	Pike	2	10–20	-24.1	7.7	3.8					
<i>Esox lucius</i>	Pike	2	10–20	-23.8	8.7	4.2					
<i>Esox lucius</i>	Pike	3	20–30	-25.9	9.3	3.9					
<i>Esox lucius</i>	Pike	3	20–30	-25.9	9.2	4.5					
<i>Esox lucius</i>	Pike	3	20–30	-24.8	4.7	4.4					
<i>Esox lucius</i>	Pike	3	20–30	-21.3	8.7	3.3					
<i>Esox lucius</i>	Pike	3	20–30	-23.2	9.0	3.5					
<i>Esox lucius</i>	Pike	>3	> 20	-22.5	8.5	3.4	-22.3	0.8	8.7	0.2	
<i>Esox lucius</i>	Pike	5	> 50	-23.4	9.6	3.4					
<i>Esox lucius</i>	Pike	5	> 50	-25.0	14.2	3.3					
<i>Esox lucius</i>	Pike	5	> 50	-24.7	13.9	3.2					
<i>Esox lucius</i>	Pike	5	> 50	-25.1	14.2	3.4					
<i>Esox lucius</i>	Pike	5	> 50	-21.7	7.9	3.3	-24.0	1.3	12.0	2.7	
							Total Pike	-23.4	1.4	10.7	2.6
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.7	7.5	3.63					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.4	5.5	3.8					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.1	8.1	3.9					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.7	8.4	3.8					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.8	6.4	3.5					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.8	5.7	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.3	6.5	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-22.7	8.1	3.5					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.6	6.5	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.3	6.3	3.2					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.8	7.0	3.4					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.0	7.2	3.4					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.2	6.5	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.0	7.6	3.2					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.4	7.0	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.9	5.9	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-23.6	6.6	3.3					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	1	5–10	-24.3	7.3	3.2	-23.8	0.5	6.7	0.7	
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-17.1	11.3	4.0					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-23.8	8.7	4.8					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-24.1	7.7	3.7					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-25.2	4.1	4.1					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-21.1	10.3	3.2					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-22.2	7.1	3.2					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-22.9	6.8	3.1					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-23.7	6.0	3.4					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-23.7	5.8	3.5					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-23.8	6.5	3.2					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-23.0	6.6	3.5					
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	2	10–20	-24.1	5.3	3.5	-23.0	1.0	6.9	1.5	

Continued

Table 2 Continued

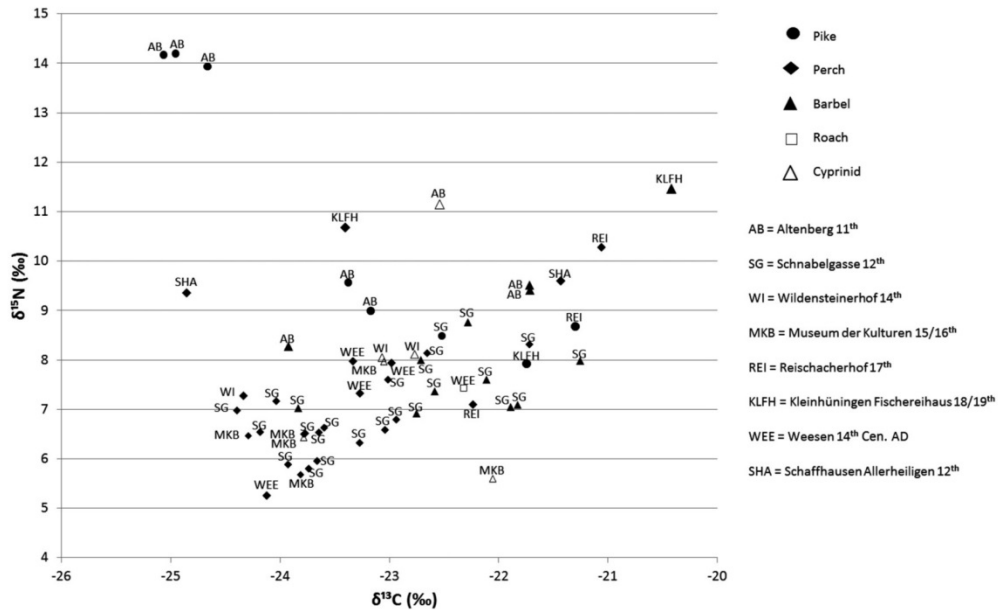
Species (or family)	Common Name	Total length class (TL)	Total length in cm	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	Species (or family) mean $\delta^{13}\text{C}$		Species (or family) mean $\delta^{15}\text{N}$	
							$\pm$ SD	$\pm$ SD		
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–22.9	7.6	3.7				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–22.7	9.4	3.65				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–23.9	9.0	3.74				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–23.4	10.7	3.3				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–23.3	7.3	3.2				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	3	20–30	–23.0	7.9	3.2				
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	> 3	> 20	–23.3	8.0	3.3	–23.2	0.2	8.5	1.3
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	4	30–50	–24.9	9.4	3.1	–23.1		9.5	
<i>Perca fluviatilis</i>	Perch	4	30–50	–21.4	9.6	3.2	–23.5	0.8	7.2	1.3
							Total Perch			
<i>Rutilus rutilus</i>	Roach	1	20–30	–23.1	8.4	3.8				
<i>Rutilus rutilus</i>	Roach	3	20–30	–22.3	7.4	3.2				

In Fig. 4A and B, carbon and nitrogen isotope values of pike, perch, barbel, roach and cyprinids are plotted in relation to their estimated length. The carbon isotope values are heterogeneous and do not show a correlation between size and trophic level, likely mirroring the different provenances of the sampled fish specimens ( $r^2 = 0.012$ ). The  $\delta^{13}\text{C}$  values of smaller specimens (TL 1–TL 3) plot between  $-24.4$  and  $-21.1\%$ , while larger fish (TL 4 and TL 5) group between  $-25.1$  and  $-20.4\%$ . By contrast, the nitrogen results of pike, perch, barbel and

cyprinids show a strong positive correlation with length or age ( $r^2 = 0.57$ ). While  $\delta^{15}\text{N}$  values of smaller specimens (TL 1–TL 3) group between  $5.3$  and  $10.7\%$ , the  $\delta^{15}\text{N}$  values of larger fish (TL 4 and TL 5) range between  $7.9$  and  $14.2\%$ . In Fig. 5A and B, the mean values of pike, perch, barbel, roach and cyprinids are plotted in relation to every total length class. Here, the same phenomenon can be observed: larger pike, perch, barbel and cyprinid show higher  $\delta^{15}\text{N}$  values, while the  $\delta^{13}\text{C}$  values show a broader range.

Table 3 Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  results of Swiss freshwater fish in relation to total length (TL) and archaeological site (standard deviations are calculated only for  $n > 2$ ).

Site	Dating (century AD)	$n$	Species (or family)	Total length class	Total length in cm	Mean $\delta^{13}\text{C}$	$\pm$ SD	Mean $\delta^{15}\text{N}$	$\pm$ SD
AB (Castle Altenberg)	11	1	<i>Esox lucius</i>	3	20–30	–23.2		9.0	
		4	<i>Esox lucius</i>	5	>50	–24.5	0.7	13.0	2.0
		1	<i>Barbus barbus</i>	3	20–30	–23.9		8.3	
		1	<i>Barbus barbus</i>	4	40–50	–21.7		9.5	
		1	<i>Barbus barbus</i>	5	>50	–21.7		9.4	
		1	Cyprinidae indet	4	40–50	–22.5		11.1	
SG (Schnabelgasse)	12	10	<i>Perca fluviatilis</i>	1	5–10	–22.8	0.9	6.9	0.6
		5	<i>Perca fluviatilis</i>	2	10–20	–23.4	0.4	6.3	0.4
		6	<i>Barbus barbus</i>	1	5–10	–22.1	0.5	7.4	0.4
		2	<i>Barbus barbus</i>	2	10–20	–22.1		7.8	
		1	<i>Barbus barbus</i>	4	30–50	–22.3		8.8	
		1	<i>Esox lucius</i>	3	20–30	–22.5		8.5	
SHA (Monastery Allerheiligen)	12	2	<i>Perca fluviatilis</i>	4	30–50	–23.1		9.5	
WI (Wildensteinerhof)	14	1	<i>Perca fluviatilis</i>	1	5–10	–24.3		7.3	
		1	Cyprinidae indet	1	5–10	–22.8		8.0	
		1	Cyprinidae indet	2	10–20	–23.1		8.1	
WEE (Weesen)	14	1	<i>Perca fluviatilis</i>	2	10–20	–24.1		5.3	
		3	<i>Perca fluviatilis</i>	3	20–30	–23.2	0.5	7.7	0.3
		1	<i>Rutilus rutilus</i>	3	20–30	–22.3		7.3	
MKB (Museum der Kulturen)	15/16	3	<i>Perca fluviatilis</i>	1	5–10	–24.0	0.2	6.2	0.4
		3	Cyprinidae indet	1	5–10	–23.0	0.7	6.7	1.0
REI (Reischacherhof)	17	1	<i>Esox lucius</i>	3	20–30	–21.3		8.7	
		2	<i>Perca fluviatilis</i>	2	10–20	–21.6		8.7	
KLFH (Kleinhüningen Fischereihaus)	18/19	1	<i>Esox lucius</i>	5	>50	–21.7		7.9	
		1	<i>Perca fluviatilis</i>	3	20–30	–23.4		10.7	
		1	<i>Barbus barbus</i>	5	>50	–20.4		11.5	



**Figure 3** Carbon and nitrogen stable isotope ratio results with acceptable C:N ratios. Pike, perch, barbel, roach and cyprinids ( $n = 56$ ) from eight archaeological sites in Switzerland. All dates refer to centuries AD.

In Fig. 6A and B, the plotted carbon and nitrogen values are classified by body length (TL) for every species (and family) and by site in chronological order. Both carbon and nitrogen isotope values do not show diachronic trends ( $\delta^{13}\text{C}$ :  $r^2 = 0.078$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ :  $r^2 = 0.0079$ ), while age-related variation is again visible in the  $\delta^{15}\text{N}$  values.

## Discussion

### Collagen Yield and Contamination

From the dataset, 66 samples (47%) produced no or too little collagen for isotope measurement (Fig. 2). Fuller *et al.* (2012) had a low success rate of collagen extraction in fish bones from cesspits and refuse layers in Belgium, which was likely the result of diagenetic contamination. Most of the Swiss freshwater fish samples studied here are also from such aggressive environments, where soil components including humic and fulvic acids can contaminate the chemical structure of bone (*cf.* Fuller *et al.* 2012). Thus, the varying success rates in the dataset might be related to preservation conditions, but a distinctive correlation between sample start mass and collagen extraction success was also revealed. Samples with a weight  $<20$  mg show a strong decline in collagen yield. This relationship between initial sample weight and collagen extraction success should be examined in future studies of archaeological freshwater fish samples.

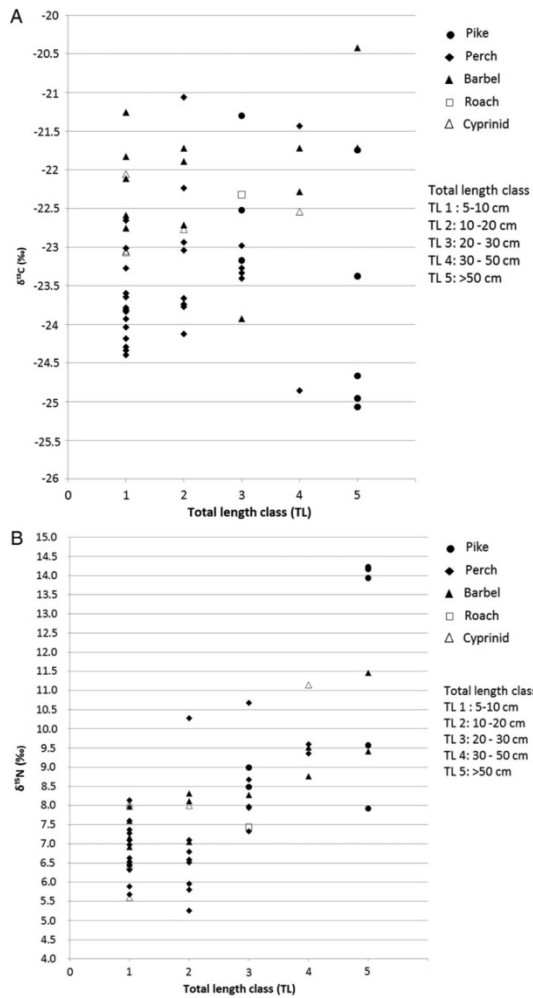
Of the 74 samples isotopically analysed, 18 showed elevated C:N ratios (Table 2). This shift in fish bone collagen C:N ratios has also been observed in other

studies (e.g. Grupe *et al.* 2003, 2009; Fuller *et al.* 2012). While Grupe *et al.* (2009) suggested to extend the acceptable C:N ratio to 4 for their isotopic fish data, Szpak (2011) recommends to use the 'traditional' C:N ratio between 2.9 and 3.6, although he specified that selective chemical hydrolysis of amino acids, especially of glycine, could produce higher C:N ratios in fish collagen. However, since the exact causes determining the elevated C:N ratio of fish collagen samples are still unclear, samples outside of the 'traditional' C:N ratio were excluded in the further discussion.

### Isotope Signatures in Swiss Freshwater Fish Species

As expected, the freshwater fish specimens produced noticeable inter- and intraspecific variations in their isotopic values.

The eight specimens of successfully measured pike show a high intra-species variability in carbon and nitrogen isotope signatures between, and even within, the present length classes TL 3 and TL 5 (Fig. 5B). While smaller pike between 20 and 30 cm (TL 3) fall in the same isotopic range as perch or barbel of the same size, large specimens (TL 5) have the most  $^{15}\text{N}$ -enriched mean values. Mature pike are mainly piscivores, but young pike feed generally on invertebrates, fry and small fish (Muus and Dahlström 1990). A correlation between  $\delta^{15}\text{N}$  values, size or age and position in the food chain is assumed, even though there are variations within the nitrogen isotope signature of the TL 5 pike (mean value  $\pm$  SD  $12.0 \pm 2.7\text{‰}$ ,



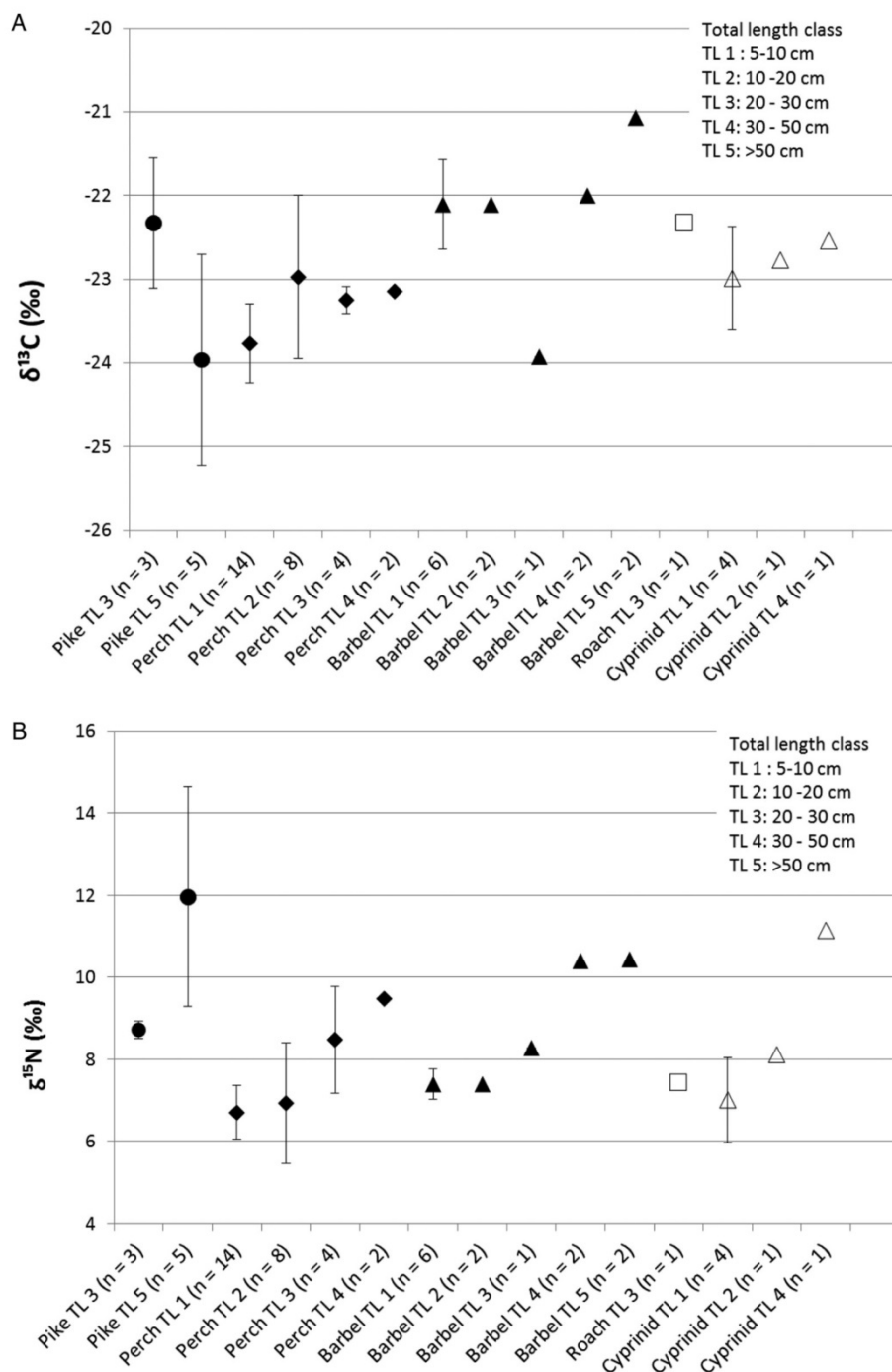
**Figure 4 (A) δ<sup>13</sup>C results plotted against Swiss freshwater fish length classes; (B) δ<sup>15</sup>N results plotted against Swiss freshwater fish length classes.**

Table 2), which can be attributed to their broad spectrum of food and feeding grounds. Depending on the food supply, larger pike can feed on invertebrates, and also on small mammals and other vertebrates, including amphibians or small waterfowl (Muus and Dahlström 1990). In contrast, the low δ<sup>15</sup>N value of the single pike from KLFH (7.9‰, Table 3) suggests only a small amount of higher trophic level organisms in its diet.

Pike occur in lakes or in slow-flowing rivers. During the juvenile phase, the specimens are very sedentary in the littoral zone with rich vegetation, while adult pike can occur in different water zones, migrate during spawning season and follow prey to deeper water. In summer, large pike are closer to shallow vegetated zones than in winter (Jepsen *et al.* 2001). How strongly such – often seasonal – habitat shift within the single ecosystem can influence a variation in isotope values is still elusive. Unlike the smaller pike (TL 3), most

of the TL 5 pike show C-depleted carbon isotope values (Fig. 5) that might be related to a life in deeper waters (Fuller *et al.* 2012).

All pike samples came from archaeological sites SG, REI, KLFH in Basel and nearby site AB and are associated to the river Rhine and its tributaries. However, three large pike from AB and one large pike from KLFH might indicate catching grounds in different water bodies. Fig. 3 shows that the three large pike from AB, conspicuously cluster. Those three specimens have elevated δ<sup>15</sup>N and <sup>13</sup>C-depleted values that differ from the other two pike at this site and from all other sampled fish, indicating a provenance from a different water system. As the three ~50 cm long pike come from a 11th century AD castle, it can be speculated that fish (often of standard size) were given to the castle owners as tribute as is assumed for other wild or domestic animals found in the archaeozoological material (Marti *et al.* 2013). Furthermore, a written source from the 16th century AD refers to regional pike stocking in ponds in Oberwil (Rippmann 1992), about 13 km from the site AB. As the use of fish ponds began long before 16th century AD (e.g. Häberle and Marti-Grädel 2006), a provenance from a pond can also be considered for the large pike from AB. The large pike of KLFH has an elevated carbon (-21.7‰) and a depleted nitrogen isotope signature (7.9‰), compared to pike of the other sites. The carbon isotope value suggests that this specimen might have been caught at another location, but the site's young age (18/19th century AD) could also suggest river pollution in the Rhine caused by human waste, manure or industrial effluents. During this time, industrial wastewater probably had an impact on the food chain and possibly on isotope signatures. Studies on modern fish have shown that anthropogenic activities can influence aquatic systems and create shifts in the isotopic signatures of water bodies (Macko and Ostrom 1994; Hansson *et al.* 1997; Perga and Gerdeaux 2003; Schlachter *et al.* 2005). At the onset of industrialisation, ‘a mixture of’ diverse organic and inorganic effluents were produced, including waste from heavy industry (Macko and Ostrom 1994). In fact, unlike the carbon isotope signature, the low nitrogen isotope value of the KLFH pike does not appear to support this kind of influence. A possible explanation for this low δ<sup>15</sup>N value might be that water pollution caused a general reduction of prey fish, and pike in this environment had to switch to a diet consisting of lower trophic organisms, which in turn decreased their nitrogen isotope signatures. Besides pollution, the unique isotopic signature of the water can also influence the isotopic composition of all freshwater organisms, including the trophic level (Grey *et al.* 2000). However, it was not possible to elucidate the extent to which ecological

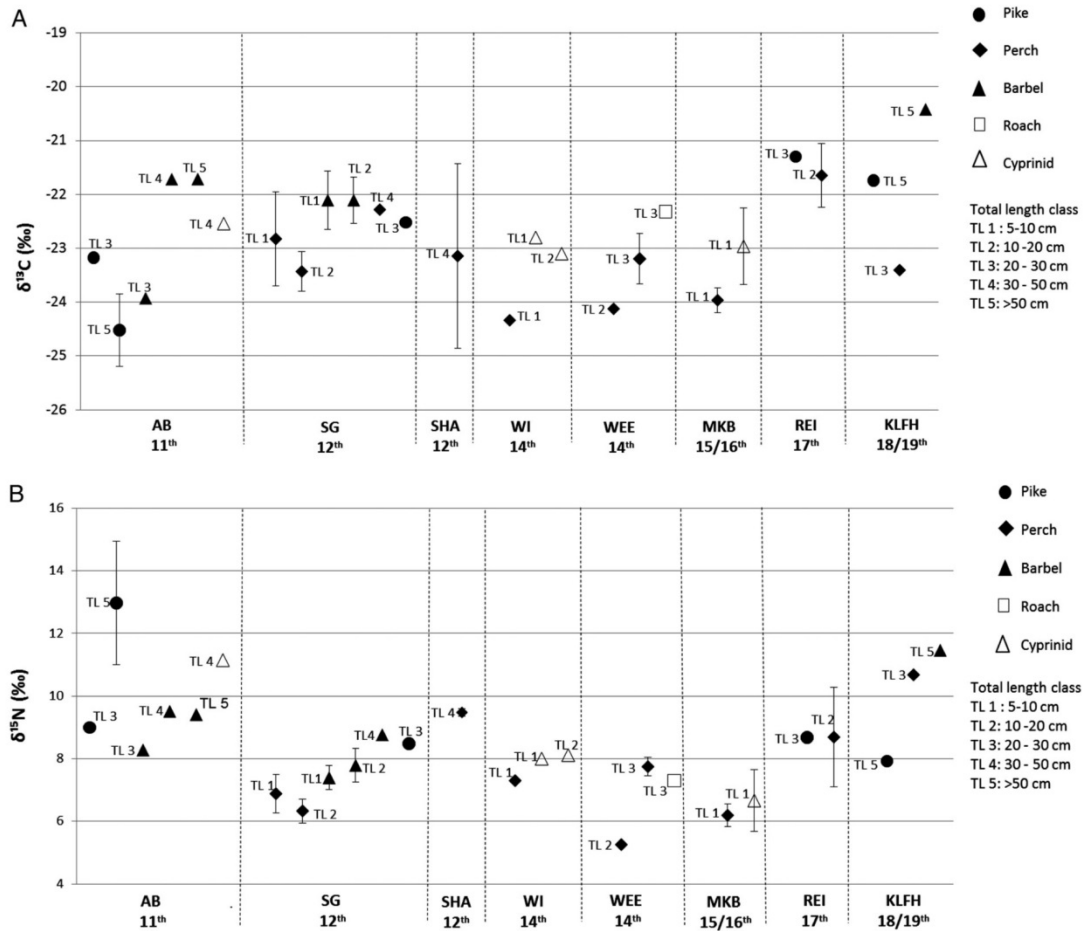


**Figure 5** (A) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}C$  results in relation to Swiss freshwater fish classified by their length (TL 1–TL 5). (B) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{15}N$  results in relation to Swiss freshwater fish classified by their length (TL 1–TL 5). Standard deviations are calculated only for  $n > 2$ . For detailed mean values see Table 2.

changes in aquatic systems occurred in the past not least because of the small sample sizes in the dataset.

The study also included 28 samples of perch with acceptable C:N ratios from four estimated length classes. Perch with an estimated length of 5–10 cm (TL 1) are presumed to be yearlings, between 10 and

20 cm body length (TL 2) are juveniles and those between 20 and 30 (TL 3) and 30 and 50 cm (TL 4) represent, respectively, younger adults and mature specimens. Although perch, like pike, is carnivorous, the results revealed lower  $\delta^{15}N$  signatures (mean  $\pm$  SD values of  $7.2 \pm 1.3\%$ ) and less intra-species



**Figure 6** (A) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}\text{C}$  results of Swiss freshwater fish in relation to total length of species (TL), diachronically plotted by archaeological site. (B) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{15}\text{N}$  results of Swiss freshwater fish in relation to TL, diachronically plotted by archaeological site. All dates refer to centuries AD. Standard deviations are calculated only for  $n > 2$ . For detailed mean values see Table 3.

variability, because most of the samples ( $n = 22$ ) came from small, sub-adult individuals (TL 1 and TL 2, Fig. 5B). Such young perch first feed on plankton, then on invertebrates, especially crustaceans, insect larvae and fry (Muus and Dahlström 1990). They form large schools. Older perch (TL 3 and TL 4) feed mostly on small fish and are often solitary hunters (Muus and Dahlström 1990). This species is found in rivers and lakes. The small perch (TL 1 and TL 2) in the data set likely originate from water bodies in proximity to the sampled sites, because it was not possible to transport them to long distances. Fig. 5B shows a size-related increase in  $\delta^{15}\text{N}$  values that correspond with the different trophic position of the different sized perch. Simultaneously, variation in nitrogen isotope values within the single length classes can be observed. While perch within length classes TL 2 and TL 3 show a wide range of  $\delta^{15}\text{N}$  values, the yearlings are more clustered. This distribution likely represents a uniform plankton diet of the yearlings, while juvenile perch feed on diverse organisms. Additionally, small perch (TL 1 and TL

2) from the sites SG, WI and MKB in Basel group closely, indicating the same dietary habits and origin (Fig. 3). The larger perch (TL 3 and TL 4) from the two younger sites REI and KLFH, both close to the river Rhine, show elevated nitrogen values compared to the perch of same size from other sites (Fig. 6B). Large rivers, like the Rhine, meandered considerably in past times and therefore encompassed a whole range of biotopes. Besides tributaries with different isotopic signatures, there were likely dead branches, slow running river sections or calm pools with standing waters that show a different isotopic ecology than the stretches of faster running waters. Possibly, the perch from REI and KLFH originate from such spatially limited biotopes with special isotopic signatures. Another possibility could be a shift in nitrogen isotope values caused by an elevated influx of pollution through human activity, but the number of samples does not allow further assumptions.

The two specimens from SHA show almost the same nitrogen signatures. As they noticeably differ in their carbon isotope values (Table 2), it is presumed that

the two specimens come from different catching grounds, although the limited number of samples ( $n = 2$ ) make this difficult to determine with certainty.

Four perch with an estimated length of 20–30 cm (TL 3) stem from WEE, near Lake Walen (Fig. 1). Their nitrogen isotope values lay between those of the small specimens from the sites SG, WI and MKB in Basel and the larger specimens from SHA and KLFH (Fig. 6B). A small perch from WEE shows the most  $^{15}\text{N}$ -depleted value of all the sampled fish bones (Fig. 3). Although the sample size from WEE is small, not surprisingly the comparison of fish from two different water bodies (River Rhine vs. Lake Walen) reveal differences in isotope signatures.

Thirteen barbel samples produced results within the suitable C:N ratio. All length classes are represented (TL 1–TL 5). Barbels mature between 3 and 4 years of age and by approximately 25 cm length (Muus and Dahlström 1990). As typical ground feeders, they live on rocky or gravel river bottoms (barbel region). When small, the young barbel (TL 1 and TL 2) show low nitrogen isotope signatures, older and larger barbel have elevated  $\delta^{15}\text{N}$  values (Fig. 4A). Like the nitrogen values of perch and pike, the observed barbel nitrogen values show a size-related effect, caused by different feeding habits. Barbel feed on benthic organisms, including crustaceans, insect larvae and molluscs and also regularly eat plant material when young and benthic invertebrates and small fish when older (Muus and Dahlström 1990). The isotopic signatures of small barbel, small perch and small unidentified cyprinids (TL 1 and TL 2, Figs. 3 and 4) cluster, indicating comparable feeding habits and trophic levels. Like the single perch from KLFH, the single barbel from the same site shows enriched  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  values compared to barbels of the same size from other sites (Fig. 6A and B), raising again the question of whether their isotopic signature indicates an ecological niche, pollution of the Rhine or a special diet.

Included in the study were 10 samples of unidentified cyprinids, of which 7 had acceptable C:N ratios. Observed carbon and nitrogen isotope signatures and intra-species variation within the length classes TL 1 and TL 2 are comparable to those of perch with the same body length in the data set (Fig. 5). Although the dataset is small, it is assumed that young specimens from different cyprinid species and young perch have comparable isotope signatures because both swim together in schools in shallow water shore zones and have the same feeding habits. It is likely that juvenile perch and juveniles of different cyprinid species occupy the same trophic levels (Muus and Dahlström 1990). In contrast, adult specimens of the cyprinid family show species-specific feeding habits

and habitat selection behaviour which might lead to a high inter-species diversity of isotope signatures. About 25 cyprinid species are resident in the studied region today, and many of them are also observed in archaeological contexts. When identifiable to species level, they serve as good bio-indicators and provide key information, including the ecological situation in their habitat or the human use of different catching grounds. Unidentified mature cyprinids are not suitable to establish such a context and are therefore not recommended for stable isotope analysis. Additional isotopic measurements of different species within the family of cyprinids are necessary to provide a greater resolution of inter-species variation.

Only one of the five roach samples produced enough collagen for stable isotope analysis (Table 2). The measured specimen comes from the site WEE near Lake Walen. Like the small perch (TL 1) from the same site, this roach shows a relatively low nitrogen isotope signature (7.3‰) which is most likely caused by feeding habits. Roach feed on invertebrates, including plankton, worms, insect larvae and molluscs and also on plants, detritus and algae (Muus and Dahlström 1990).

## Conclusion

The presented results represent the first archaeological freshwater fish isotopic signatures from Switzerland. We observed a possible influence of sample weight on the collagen extraction success, especially for bone samples with a starting mass of <20 mg. Thus, we recommend not sampling bones from small fish, but to measure samples that include a collection of several bones from the same fish species and from the same closed stratigraphic context.

Furthermore, the study illustrated a high variation in freshwater fish isotope values within all fish species as well as between them. Effectively, a size and age-related trophic level influence in the species isotopic signatures was detected and some unique isotope ratios in the dataset might indicate a provenance from different fishing grounds. No diachronic trends were detected in the isotope data. It was discussed that adult specimens of the cyprinid family can vary notably in behaviour, feeding habits and biotope demands. In contrast to young cyprinids, they likely show a broad isotopic variation between the single species signatures. It is recommended to include bone samples which are identified to species level and not only by family in order to provide information about the ecological situation or the human use of different catching grounds.

This study demonstrates the potential of freshwater fish isotope analysis to answer archaeological, archaeozoological and palaeoenvironmental questions. While no statistical significance was found in our

limited dataset, we believe that some of the results are reflecting more than just ‘natural variability’, and additional research is required to determine what constitutes a ‘normal range’ of isotopic variability in freshwater fish species (due to diet, habitat, feeding ground, age and size), and what is the result of ‘anthropogenic influences’ such as pollution. Beyond the realisation of an expansion to a larger number of archaeological samples, sulphur isotope analysis might have potential for answering the above questions, at least from the beginning of industrialisation onwards (Van Neer *et al.* 2009, Nehlich *et al.* 2011). Additionally, a comparison between archaeological samples with those from recent freshwater fish can detect differences or similarities in human – aquatic environment relationships over time. In conclusion, increased isotopic research focused on freshwater fish species has enormous potential to provide new information not only about the ecology of freshwater fish (including changes in aquatic ecosystems in the past) but will contribute to a more accurate and detailed reconstruction of human dietary patterns.

### Acknowledgements

The authors would like to sincerely thank to Michael P. Richards, Lysann Raedisch and Annabell Reiner, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology. They are very grateful to Guido Lassau, Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt and Martin Schindler, Kantonsarchäologie St Gallen and Markus Höneisen, Kantonsarchäologie Schaffhausen for granting permission to sample freshwater fish bones of their archaeological archives and their expertise. Generous funding of this project was provided by Swiss National Science Foundation (SNSF), Freiwillige akademische Gesellschaft Basel (FAG) and Stiftung Geschwister I & H. Olaf Nehlich acknowledges the funding by the German Science Foundation (DFG: NE 1666/1-1). The contribution of Wim Van Neer to this paper presents research results of the Interuniversity Attraction Poles Programme, Belgian Science Policy.

### References

- Bänteli, K. 2006. *Das Bürgerasyl in Stein am Rhein – Geschichte eines mittelalterlichen Spitals*. Schaffhausen: Baudepartement des Kantons Schaffhausen.
- Bänteli, K., Gamper, R. and Lehmann, P. 1999. *Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen*. Schaffhausen: Baudepartement des Kantons Schaffhausen.
- Barrett, J., Orton, D., Johnstone, C., Harland, J., Van Neer, W., Ervynck, A., Roberts, C., Locker, A., Amundsen, C., Bødker Enghoff, I., Hamilton-Dyer, S., Heinrich, D., Hufthammer, A. K., Jones, A. K. G., Jonsson, L., Makowiecki, D., Pope, P., O’Connell, T. C., de Roo, T. and Richards, M. 2011. Interpreting the expansion of sea fishing in medieval Europe using stable isotope analysis of archaeological cod bones. *Journal of Archaeological Science* **38**, 1516–24.
- Benecke, N. 1986. Some remarks on the sturgeon fishing in the Southern Baltic region in medieval times, pp. 9–17 in Brinkhuizen, D. C. and Clason, A. T. (eds.), *Fish and Archaeology*. BAR International Series 294. Oxford: Archaeopress.
- Boisclair, D. and Leggett, W. C. 2011. Among-population variability of fish growth: I. influence of the quantity of food consumed. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **46**(3), 457–67.
- Bonsall, C., Cook, G. T., Hedges, R. E. M., Higham, T. F. G., Pickard, C. and Radovanovi, E. 2004. Radiocarbon and stable isotope evidence of dietary change from the Mesolithic to the Middle ages in the iron gates: new results from Lepenski vir. *Radiocarbon* **46**(1), 293–300.
- Bösl, C., Grupe, G. and Peters, J. 2006. A Late Neolithic vertebrate food web based on stable isotope analyses. *International Journal of Osteoarchaeology* **16**, 296–315.
- Brown, T. A., Nelson, D. E. and Southon, J. R. 1988. Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon* **30**, 171–7.
- DeNiro, M. J. 1985. Postmortem preservation and alternation of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* **317**, 806–9.
- DeNiro, M. J. and Epstein, S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**, 495–506.
- DeNiro, M. J. and Epstein, S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**, 341–51.
- Dufour, E. and Gerdeaux, D. 2001. Apport des isotopes stables aux études écologiques sur les poissons. *Cybiurn* **23**, 419–20.
- Dufour, E., Bocherens, H. and Mariotti, A. 1999. Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian Lacustrine fish. *Journal of Archaeological Science* **26**, 617–27.
- Fuller, B. T., Müldner, G., Van Neer, W., Ervynck, A. and Richards, M. P. 2012. Carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis of freshwater, brackish and marine fish from Belgian archaeological sites (1st and 2nd millennium AD). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* **27**, 807–20.
- Grey, J., Jones, R. I. and Sleep, D. 2000. Stable isotope analysis of the origins of zooplankton carbon in lakes of differing trophic state. *Oecologia* **123**, 232–40.
- Grupe, G., Mikic, Z., Peters, J. and Manhart, H. 2003. Vertebrate food webs and subsistence strategies of Meso- and Neolithic populations of central Europe, ppp. 193–213 in Grupe, G. and Peters, J. (eds.), *Deciphering Ancient Bones. The Research Potential of Bioarchaeological Collections*. Documenta Archaeobiologiae 1. Rahden/Westf. Verlag Marie Leidorf GmbH.
- Grupe, G., Heinrich, D. and Peters, J. 2009. A brackish water aquatic foodweb: trophic levels and salinity gradients in the Schlei fjord, Northern Germany, in Viking age and medieval times. *Journal of Archaeological Science* **36**, 2125–44.
- Häberle, S. and Betschart, M. 2010. Mittelalterliche Ordnungen zur Fischerei am Bielersee. *Bieler Jahrbuch* **2009**, 232–40.
- Häberle, S. and Marti-Grädel, E. 2006. Die Teichwirtschaft vom Mittelalter bis in die Frühe Neuzeit, ppp. 149–59 in Hüster, and Plogmann, H. (ed.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden. Eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz*. (Forschungen in Augst 39). Augst: Römermuseum Augst.
- Häberle, S., mit Beiträgen von Matt, C., Vandorpe, P. and Akeret, Ö. 2010. Esskultur im Hinterhof – Interdisziplinäre Auswertung einer mittelalterlichen Latrine, Grabung 2002/15, Schnabelgasse 6, Basel. *Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt* **2008**, 75–146.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P.D., 2001. Past: palaeontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* **4**(1), art. 4: 9, 178kb. [Accessed 4 March 2014]. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm).
- Hansson, S., Hobbie, J. E., Elmgren, R., Larsson, U., Fry, B. and Johansson, S. 1997. The stable nitrogen isotope ratio as a marker of food-web interactions and fish migration. *Ecology* **78**(7), 2249–57.
- Harvey, C. J. and Kitchell, J. F. 2000. A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a Lake Superior food web. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* **75**, 1395–403.
- Hedges, R. E. M. and Reynard, L. 2007. Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science* **34**, 1240–51.
- Hoffmann, R. 1996. Economic development and aquatic ecosystems in medieval Europe. *The American Historical Review* **101**(3), 631–69.



- Hoffmann, R. 2001. Frontal food for late medieval consumers: culture, economy, ecology. *Environment and History* 7(2), 131–67.
- Hoffmann, R. 2005. A brief history of aquatic resource use in medieval Europe. *Helgoland Marine Research* 59, 22–30.
- Homberger, V. 2008. Ein neu entdecktes spätrömisches Kastell bei Weesen SG. *Jahrbuch der Archäologie der Schweiz* 2008, 141–9.
- Hüster Plogmann, H. 2005. Tierreste aus Schlammproben – Fische aus dem Fischereihaus, pp. 180–5 in Springer, A., et al., *Die Archäologie macht Kleinhüninger Dorfgeschichte. Eine interdisziplinäre Auswertung der Grabung Kleinhüningen-Fischereihaus (1999/47)*. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt. 2003, 111–265. Basel: Werner Druck AG.
- Hüster Plogmann, H. (ed.) 2006. *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden. Eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz*. Forschungen in Augst 39. Augst: Römermuseum Augst.
- Hüster Plogmann, H., Brombacher, Ch., Helmig, G., Klee, M., Rentzel, Ph., Rodel, S. and Veszeli, M. 1999. ...und was davon übrig bleibt – Untersuchungen an einem mittelalterlichen Latrinenschacht an der Bäumleingasse 14. *Jahresbericht der Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt* 1998, 93–132.
- Hüster Plogmann, H. and Veszeli, M. Die Tierknochen aus der Latrine des Wildensteinerhofs. Unpublished.
- Jepsen, N., Beck, S., Skov, C. and Koed, A. 2001. Behavior of pike (*Esox lucius* L.) >50 cm in a turbid reservoir and in a clearwater lake. *Ecology of Freshwater Fish* 10, 26–34.
- Lucek, K., Sivasundar, A., Roy, D. and Seehausen, O. 2013. Repeated and predictable patterns of ecotypic differentiation during a biological invasion: lake–stream divergence in parapatric Swiss stickleback. *Journal of Evolutionary Biology* 26, 2691–709.
- Macko, S. A. and Ostrom, N. E. 1994. Pollution studies using Stable Isotopes, pp. 45–62 in Lajtha, K. and Michener, R. (eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Oxford: Blackwell Scientific Publishers.
- Marti, R., Meyer, W. and Obrecht, J. 2013. *Der Altenberg bei Füllinsdorf. Eine Adelsburg des 11. Jahrhunderts*. Schriften der Archäologie Baselland 50. Basel/Muttenz: Schwabe.
- Marti-Grädel, E. 2008. *Archäozoologische Untersuchungen der Tierknochen aus der Burgstelle Altenberg BL (11. Jh.) und aus früh- bis hochmittelalterlichen Siedlungen des Kantons Baselland (5–12. Jh.)*: Wirtschafts- und Umweltgeschichte des Früh- und Hochmittelalters in der Nordwestschweiz. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Basel.
- McKinney, R. A., Lake, J. L., Allen, M. and Ryba, S. 1999. Spatial variability in mussels used to assess base level nitrogen isotope ratio in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia* 412, 17–24.
- Möldner, G. and Richards, M. P. 2005. Fast or feast: reconstructing diet in later medieval England by stable isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* 32, 39–48.
- Möldner, G. and Richards, M. P. 2007. Diet and diversity at later medieval fishergate: the isotopic evidence. *American Journal of Physical Anthropology* 134, 162–74.
- Müller, L. 1989. Die Fischerei im spätmittelalterlichen Basel. Unpublished Lizentiat, Universität Basel.
- Muus, B. J. and Dahlström, P. 1990. *Süßwasserfische Europas – Biologie, Fang, wirtschaftliche Bedeutung*. BLV Bestimmungsbuch, 6th ed. München: BLV Verlagsgesellschaft GmbH.
- Nehlich, O., Fuller, B. T., Smith, C., Jay, M., Mora, A., Nicholson, R. A. and Richards, M. P. 2011. Application of sulphur isotope ratios to examine weaning patterns and freshwater fish consumption in Roman Oxfordshire, U.K. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 75(17), 4963–77.
- Perga, M. E. and Gerdeaux, D. 2003. Using the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of whitefish scales for retrospective ecological studies: changes in isotope signatures during the restoration of Lake Geneva, 1980–2001. *Journal of Fish Biology* 63, 1197–207.
- Rehazek, A. 2006. Tierknochen aus Speiseabfällen, pp. 143–50 in Kantonsarchäologie Schaffhausen (ed.), *Das Bürgerasyl in Stein am Rhein – Geschichte eines mittelalterlichen Spitals*. Schaffhauser Archäologie 7. Schaffhausen: Kantonsarchäologie.
- Rehazek, A. and Brombacher, C. 1999. Umwelt und Ernährung – Untersuchung der Tier- und Pflanzenreste, pp. 213–30 in Bânteli, K., Gamper, R. and Lehmann, P., (ed.), *Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen*. Schaffhauser Archäologie 4. Schaffhausen: Kantonsarchäologie.
- Richards, M. P. and Hedges, R. E. M. 1999. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by late Mesolithic humans at sites along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science* 26, 717–22.
- Rippmann, D. 1992. Der Weiher zu Oberwil (BL) im 16. Jh: Interessenskonflikte im fürstbischöflichen Amt Birseck, pp. 1–18 In *Geschichte 2001: Mitteilung der Forschungsstelle der Baselbieter Geschichte* 9. Beilage Baselbieter Heimatblatt 57. 1–8. Schwabe Verlag.
- Robson, H., Andersen, S., Craig, O., Fischer, A., Glykou, A., Hartz, S., Lübke, H., Schmölcke, U. and Heron, C. 2012. Carbon and nitrogen isotope signals in eel bone collagen from Mesolithic and Neolithic sites in northern Europe. *Journal of Archaeological Science* 39, 2003–11.
- Rodel, S. 2003. Vorbericht über die Grabungen 2002 in der Schnabelgasse 6. *Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt* 2002, 115–24.
- Schibler, J. and Hüster Plogmann, H. 1996. Tierknochenfunde aus mittelalterlichen Latrinen als Informationsquelle zur Wirtschafts-, Sozial-, Kultur- und Umweltgeschichte, pp. 77–8 in Kamber, P. and Keller, C., (ed.), *Fundgruben – stille Örtchen ausgeschöpft*. Basel: Historisches Museum.
- Schindler, M. 2009. St. Gallen, südliche Altstadt. *Jahresbericht der Kantonsarchäologie St. Gallen* 2009, 1–3.
- Schlachter, T. A., Liddell, B., Gaston, T. F. and Schlachter-Hoeningler, M. 2005. Fish track wastewater pollution to estuaries. *Oecologia* 144, 570–84.
- Schoeninger, S. and DeNiro, M. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 625–39.
- Springer, A. 2005. Die Archäologie macht Kleinhüninger Dorfgeschichte. Eine interdisziplinäre Auswertung der Grabung Kleinhüningen-Fischereihaus (1999/47). *Jahresbericht der archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt* 2003, 111–265.
- Straumann, S. 2010. 2008/3, Münsterplatz 19, Museum der Kulturen: Ausgrabungen und Funde im Jahr 2009: Münsterhügel. *Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt* 2009, 32–4.
- Syväranta, J., Hämäläinen, H. and Jones, R. I. 2006. Within-lake variability in carbon and nitrogen stable isotope signatures. *Freshwater Biology* 51, 1090–102.
- Szpak, P. 2011. Fish bone chemistry and ultrastructure: implications for taphonomy and stable isotope analysis. *Journal of Archaeological Science* 38(12), 3358–72.
- Szpak, P., Orchard, T. J., McKechnie, I. and Gröcke, D. R. 2012. Historical ecology of late Holocene Sea Otters (*Enhydra lutris*) from Northern British Columbia: isotopic and Zooarchaeological Perspectives. *Journal of Archaeological Science* 39(5), 1553–71.
- Trudeau, V. and Rasmussen, J. B. 2003. The effect of water velocity on stable carbon and nitrogen isotope signatures of periphyton. *Limnology and Oceanography* 48(6), 2194–9.
- Van Neer, W. and Ervynck, A. 2009. The Holocene occurrence of the European catfish *Silurus glanis* in Belgium: the archaeological evidence. *Belgian Journal of Zoology* 139, 70–8.
- Van Neer, W., Ervynck, A., Fuller, B. T., Degryse, P. and Wouters, W. 2009. Freshwaters fisheries in Belgium during medieval and postmedieval times: looking for markers for the onset of overfishing and pollution, pp. 31–4 in Mackowiecki, D., Hamilton-Dyer, S., Riddler, I., Trzaska-Nartowski, N. and Makohonienko, M. (eds.), *Fishes – Culture – Environment. Through Archaeoichthyology. Ethnography & History. The 15th meeting of the ICAZ Fish Remains Working Group, September 3–9, 2009. Poznań and Toruń, Poland*. Poznań: Bogucki Wydawnictwo Naukowe.
- Vika, E. and Theodoropoulou, T. in press. Re-investigating fish consumption in Greek antiquity: results from  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis from fish bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 39(5), 1618–1627.
- Zohar, I. and Belmaker, M. 2005. Size does matter: methodological comments on sieve size and species richness in fishbone assemblages. *Journal of Archaeological Science* 32(4), 635–641.

## Supplementary material Häberle u.a. 2015a

Supplementary material table S1: Details of 26 Swiss archaeological sites with fish remains that have been studied since 1990 in chronological order. For not registered references in paper reference list (marked in yellow) see supplementary material S2.

Site	Region / Canton	Date (c. AD)	Depositional context	References	fishbones identified to family/species
Lausen Bettenach	Lausen/BL	6-9	pit house floor	Hüster Plogmann 1992	70
Müstair 7. Jh.	Müstair/ GR	7	cultural layers	Hüster Plogmann 2007b; Semthausen 2007	129
Tomils 7. Jh.	Tomils/GR	7	floor isolation	Caduff et al. 2003	428
Altenberg	Füllinsdorf BL	11	cultural layers	Marti-Grädel 2008; Marti et al. 2013	1101
Allerheiligen, Phase 1	Schaffhausen SH	11	cesspit	Rehazek, Brombacher 1999; Banteli et al. 1999	172
Schnabelgasse Phase 1	Basel/BS	12	cesspit	Häberle 2010; Rodel 2003	14'042
Multengasse Phase 1	Sankt Gallen SG	12	cesspit	Häberle unpublished data; Riegert, Schindler 2009	169
Allerheiligen, Phase 2	Schaffhausen SH	12	cesspit	Rehazek, Brombacher 1999; Banteli et al. 1999	328
WT-Kirchgasse	Winterthur ZH	12	cesspit	Hüster Plogmann et al. 2002	817
Kleinhühningen Fischereihaus	Basel/BS	12 - 14	refusal/cultural layers	Hüster Plogmann 2005; Springer 2005	137
Bäumleingasse	Basel/BS	13	cesspit	Hüster Plogmann et al. 1998	2959
Schoffelgasse	Zürich ZH	13	cesspit	Hüster Plogmann et al. 2004	610
Multergasse Phase 2	Sankt Gallen SG	13	cesspit	Häberle unpublished data; Riegert, Schindler 2009	1347
WT-Obergasse	Winterthur ZH	13	cesspit	Hüster Plogmann et al. 2002	311
Stein, Bürgerasyl Phase 1	Stein am Rhein, SH	13/14	cesspit	Rehazek 2006; Banteli 2006	425
Hallwyl 13.Jh	Seengen/AG	13/14	canal	Hüster Plogmann 2007a; Frey 2007	291
Schnabelgasse Phase 2	Basel/BS	14	cesspit	Häberle 2010; Rodel 2003	90
Wildensteinerhof	Basel/BS	14	cesspit	Hüster Plogmann, Veszeli unpublished data	3046
Martinsgasse 14.Jh.	Basel/BS	14	refusal layers	Schibler, Hüster Plogmann 1996	575
Weesen	Weesen, SG	14	refusal layers	Häberle unpublished data; Homberger 2008	4560
Stein, Bürgerasyl Phase 2	Stein am Rhein, SH	14/15	cesspit	Rehazek 2006; Banteli 2006	98
Museum der Kulturen 1	Basel/BS	15/16	cesspit	Häberle unpublished data; Straumann 2009	481
Museum der Kulturen 2	Basel/BS	15/16	cesspit	Häberle unpublished data; Straumann 2009	4532
Stein, Bürgerasyl Phase 3	Stein am Rhein, SH	15/16	cesspit	Rehazek 2006; Banteli 2006	226
Allerheiligen, Phase 3	Schaffhausen SH	15/16	cesspit	Rehazek, Brombacher 1999; Banteli et al. 1999	147
Reischacherhof	Basel/BS	17	cesspit	Schibler, Hüster Plogmann 1996	276

Supplementary material table S3: Isotopic results for fish from archaeological sites from Switzerland (11th - 19th century AD). The data is listed by sites in alphabetical order. Results with poor C:N ratios are indicated in red. An estimation of body size is given using total length classes: TL 1 = 5-10 cm, TL 2 = 10-20 cm, TL 3 = 20-30 cm, TL 4 = 30-50 cm, TL 5 = > 50 cm. Every sample was measured in two subsamples a and b. S-EVA = lab code of Max Planck Institute of Evolutionary Anthropology.

S-EVA	Submitter No.	Species	Element	Total length class (TL)	Site/Canton	Time period (century AD)	Start mass (mg)	Mass into microtube (>30kDa)	<30kDa mass (S-EVA-X2) collagen % (mg)	<10kDa mass (S-EVA-X3) collagen % (mg)	Name	13C	15N	%C	%N	C:N	IRMS Mass
25953	SHA 1	<i>Esox lucius</i>	1 Branchialia 8 Vertebrae, 1 Oudarium, 2 Basipterygium	5	Allerheiligen Scharfhausen	15th/16th century	33.3	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25954	SHA 2	<i>Perca fluviatilis</i>	19 Vertebrae	1	Allerheiligen Scharfhausen	15th/16th century	12.5	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25955	SHA 3	<i>Perca fluviatilis</i>	19 Vertebrae	1	Allerheiligen Scharfhausen	15th/16th century	4.3	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25956	SHA 4	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Keratohyalin, 24 Vertebrae	1	Allerheiligen Scharfhausen	15th/16th century	8	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25957	SHA 5	<i>Esox lucius</i>	1 Quadratum	4	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	96.7	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25958	SHA 6	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	69.2	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25959	SHA 7	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	4	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	96.3	to less	0.00	0.4	-	-	-	-	-	-	-
25960	SHA 8	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Articulare	4	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	60.2	0.3	0.50	0.6	-	-	-	-	-	-	-
25961	SHA 9	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	5	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	33.4	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25962	SHA 10	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	3.7	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25963	SHA 11	<i>Perca fluviatilis</i>	2 Vertebrae caudales	1	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	3.1	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25964	SHA 12	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra	5	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	23.4	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
25965	SHA 13	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra	5	Allerheiligen Scharfhausen	12th century	16.3	0	0.00	0	-	-	-	-	-	-	-
26001	BG 1	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra	2	Baumleingasse Basel	13th century	20.8	0	0.00	1.4	6.73	-24.09	7.98	7.85	2.43	3.77	0.49
26002	BG 2	<i>Perca fluviatilis</i>	3 Maxillare, 5 Squama, 7 Vertebrae	1	Baumleingasse Basel	13th century	19.7	0.2	1.02	0	0.00	-24.02	7.47	6.77	2.07	3.82	0.53
26003	BG 3	<i>Perca fluviatilis</i>	11 Vertebrae	1	Baumleingasse Basel	13th century	2.9	0	0.00	0	0.00	-24.48	7.15	5.83	1.93	3.52	0.48
26004	BG 4	<i>Perca fluviatilis</i>	5 Vertebrae	1	Baumleingasse Basel	13th century	17.7	0.1	0.56	0	0.00	-24.92	7.76	6.10	1.90	3.74	0.53
26005	BG 5	<i>Cyprinidae indet</i>	8 Vertebrae praecaudales, 20 Vertebrae caudales	1	Baumleingasse Basel	13th century	12.5	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-
26006	BG 6	<i>Cyprinidae indet</i>	4 Vertebrae praecaudales, 19 Vertebrae caudales	1	Baumleingasse Basel	13th century	4.3	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-
23241	AB 1	<i>Barbus barbus</i>	1 Lepidotrichus	4	Burg Altenberg Baselland	11th century	265	10.4	0	0.00	-	-21.65	9.53	42.46	14.75	3.36	0.50
23242	AB 11	<i>Cyprinidae indet</i>	1 Costa	4	Burg Altenberg Baselland	11th century	296	3.8	0	0.00	-	-21.78	11.80	43.06	14.85	3.38	0.61
26127	AB 1	<i>Esox lucius</i>	1 Cleithrum	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	52.3	1.9	3.63	1.8	3.44	-24.10	11.15	38.31	13.14	3.85	0.54
26128	AB 2	<i>Esox lucius</i>	1 Cleithrum	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	89.5	1.4	1.56	2.3	2.57	-26.01	9.32	17.44	5.14	3.96	0.52
26129	AB 3	<i>Esox lucius</i>	1 Cleithrum	5	Burg Altenberg Baselland	11th century	215.2	8.3	3.86	3.7	1.72	-25.85	9.22	12.34	3.20	4.50	0.45
26130	AB 4	<i>Esox lucius</i>	1 Cleithrum	5	Burg Altenberg Baselland	11th century	205.2	8.3	4.04	6	2.92	-23.22	8.92	11.20	3.77	3.47	0.61
26131	AB 5	<i>Esox lucius</i>	1 Ectoperygium	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	47.7	1.5	3.14	1.7	3.56	-23.12	9.07	11.88	3.99	3.47	0.54
26132	AB 6	<i>Esox lucius</i>	1 Ectoperygium	5	Burg Altenberg Baselland	11th century	126.2	5.1	4.04	3.2	2.54	-24.92	14.32	43.54	15.21	3.34	0.58
26133	AB 7	<i>Esox lucius</i>	1 Ectoperygium	5	Burg Altenberg Baselland	11th century	138.6	5.8	4.18	4.3	3.10	-25.07	14.17	44.14	15.16	3.40	0.46
26134	AB 8	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Operculare	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	74.1	1.3	1.75	0	0.00	-	-	-	-	-	-
26135	AB 9	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Supra-clithrale	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	44.7	0.2	0.05	0.3	0.67	-	-	-	-	-	-
26136	AB 10	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Epithale	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	21.1	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-
26137	AB 11	<i>Barbus barbus</i>	1 Lepidotrichus	3	Burg Altenberg Baselland	11th century	61.9	3.2	3.91	2.7	3.30	-23.93	8.28	43.74	14.79	3.45	0.48
26138	AB 12	<i>Barbus barbus</i>	1 Lepidotrichus	5	Burg Altenberg Baselland	11th century	190.9	6.5	4.31	4.4	2.92	-21.72	9.41	44.45	15.07	3.44	0.46
25994	KLF 1	<i>Esox lucius</i>	1 Dentale	5	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	1764	189.3	11.5	6.08	9	4.75	-20.56	11.51	42.65	14.82	3.36	0.55
25995	KLF 2	<i>Barbus barbus</i>	1 Neurocranium	5	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	1804 and later	150.4	9.5	6.32	3.2	2.13	-20.28	11.41	45.97	15.52	3.30	0.45
25996	KLF 3	<i>Perca fluviatilis</i>	2 Vertebrae praecaudales	3	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	1804 and later	32.1	0.1	0.31	0.4	1.25	-23.38	10.93	28.05	9.95	3.29	0.54
25997	KLF 4	<i>Perca fluviatilis</i>	13 Squame, 1 Vertebra caudalis, 2 Vertebrae praecaudales	2	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	1804 and later	11.6	to less	0.00	0.1	0.86	-	-	-	-	-	-
25998	KLF 5	<i>Perca fluviatilis</i>	6 Squama, 1 Vertebra praecaudalis	2	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	before 1764	12.8	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-
25999	KLF 6	<i>Perca fluviatilis</i>	3 Vertebrae praecaudales	2	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	first half of the 18th century	9.8	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-
26000	KLF 7	<i>Perca fluviatilis</i>	2 Vertebrae praecaudales	2	Kleinhüningen Fischereihaus Basel	?	27.5	to less	0.00	0.5	1.82	-17.10	11.26	33.83	9.85	4.01	0.49

Supplementary material table S3 (continued)

S-EVA	Submitter No.	Species	Element	Total length class (TL)	Site/Canton	Time period (century AD)	Start mass (mg)	Mass into microtube (>30 kDa) (mg)	collagen %	<30 kDa mass (S-EVA-X.2) (mg)	collagen %	<10 kDa mass (S-EVA-X.3) (mg)	collagen %	Name	13C	15N	%C	%N	C:N	IRMS Mass	
25886	SGM 1	<i>Perca fluviatilis</i>	21 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen	12th century	2.6	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-25887 a	-24.43	5.45	9.89	3.07	3.76	0.52	
25887	SGM 2	<i>Perca fluviatilis</i>	73 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen	12/13th century	16.5	0	0.00	0	0.00	0.6	3.64								
25888	SGM 3	<i>Perca fluviatilis</i>	37 Vertebrae 1 Maxillare, 2 Keratohyale, 31 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen	13th century	15.9	0.1	0.63	0	0.00	0	0.00								
25889	SGM 4	<i>Perca fluviatilis</i>	65 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen		6.7	0	0.00	0	0.00	0	0.00								
25990	SGM 5	<i>Perca fluviatilis</i>	95 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen		23.9	0	0.00	0	0.00	0	0.00								
25991	SGM 6	<i>Perca fluviatilis</i>	12 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen		31.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00								
25992	SGM 7	<i>Perca fluviatilis</i>	76 Vertebrae	1	Multergasse St. Gallen		28.8	0	0.00	0	0.00	0	0.00								
25993	SGM 8	<i>Perca fluviatilis</i>	146 Vertebrae	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		29.1	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26120 a	-24.10	6.75	4.25	1.40	3.54	0.57	
26120	MKB 1	<i>Perca fluviatilis</i>	7 Vertebrae praecaudales, 6 Vertebrae caudal	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		72	0	0.00	0	0.00	6.9	9.58	S-EVA-26120 b	-23.47	6.12	3.65	1.24	3.44	0.55	
26121	MKB 2	<i>Perca fluviatilis</i>	96 Vertebrae	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		26.3	0	0.00	0	0.00	0.5	1.90	S-EVA-26121 a	-24.56	7.99	10.94	3.38	3.78	0.58	
26122	MKB 3	<i>Cyprinidae indet</i>	200 Vertebrae	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		90.9	7.9	8.69	7.4	8.14	23.5	25.85	S-EVA-26122 a	-21.54	6.10	3.72	1.06	3.53	0.41	
26123	MKB 4	<i>Cyprinidae indet</i>	21 Vertebrae	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel	15th/16th century	71.8	5.9	8.22	1.3	1.81	22.3	31.06	S-EVA-26122 b	-21.54	6.10	2.81	0.96	3.40	0.62	
26124	MKB 5	<i>Cyprinidae indet</i>	41 Vertebrae, 1 Supradentale	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		36.4	0.6	1.65	1.1	3.02	0.9	2.47	S-EVA-26123 a	-22.73	5.07	2.49	0.85	3.41	0.56	
26125	MKB 6	<i>Perca fluviatilis</i>	21 Vertebrae	1	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		66.1	0	0.00	0	0.00	5.2	7.87	S-EVA-26123 b	-22.73	5.07	2.49	0.85	3.41	0.60	
26126	MKB 7	<i>Perca fluviatilis</i>	2 Vertebrae caudales, 7 Keratohyale, 1 Branchialia	2	Museum der Kulturen, Röllenhof, Basel		26.9	to less	0.00	to less	0.00	1.9	7.06	S-EVA-26124 a	-22.85	8.02	30.80	11.47	3.13	0.56	
25978	REI 1	<i>Exocoelacanth</i>	1 Vertebra	3	Reischacherhof Basel		18.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26124 b	-22.81	7.89	29.90	11.05	3.16	0.52	
25979	REI 2	<i>Perca fluviatilis</i>	3 Vertebrae, 3 Dentale	1	Reischacherhof Basel		28.7	0.4	1.39	0.4	1.39	0	0.00	S-EVA-26125 a	-24.12	5.84	3.92	1.35	3.38	0.55	
25980	REI 3	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	2	Reischacherhof Basel		15	0.1	0.67	to less	0.00	0.5	3.33	S-EVA-26125 b	-23.51	5.52	3.80	1.34	3.30	0.55	
25981	REI 4	<i>Perca fluviatilis</i>	6 Vertebrae, 1 Maxillare	2	Reischacherhof Basel		51.2	1	1.95	1.6	3.13	0.3	0.59	S-EVA-26126 a	-24.36	6.46	5.87	2.07	3.31	0.47	
25982	REI 5	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra	2	Reischacherhof Basel		12.5	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26126 b	-24.36	6.46	5.30	1.86	3.32	0.46	
25983	REI 6	<i>Exocoelacanth</i>	1 Vertebra	2	Reischacherhof Basel		6.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-25979 a	-21.54	10.70	38.36	13.37	3.35	0.41	
25984	REI 7	<i>Exocoelacanth</i>	2 Vertebrae caudales, 7 Vertebrae praecaudales, 1 Praemaxillare	2	Reischacherhof Basel		28.7	0.4	1.39	0.4	1.39	0	0.00	S-EVA-25979 b	-20.58	10.36	42.06	15.71	3.12	0.46	
25985	SG 1	<i>Perca fluviatilis</i>	20 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel	second half of the 14th	19.4	0.3	1.55	0.3	1.55	0	0.00	S-EVA-25980 a	-24.05	8.15	34.05	3.46	3.88	0.56	
26140	SG 2	<i>Perca fluviatilis</i>	150 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel		98.4	5.2	5.28	4.5	4.57	20.6	20.93	S-EVA-25981 a	-22.34	7.05	41.14	15.46	3.10	0.46	
26141	SG 3	<i>Perca fluviatilis</i>	33 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel		88.3	1.6	1.81	3.8	4.30	11.3	12.80	S-EVA-26140 b	-23.81	8.74	12.46	3.46	4.20	0.59	
26142	SG 4	<i>Barbus barbus?</i>	3 Vertebrae praecaudales, 3	2	Schnabelgasse Basel		32.6	0.9	2.76	1.2	3.68	1.4	4.29	S-EVA-26140 b	-23.76	6.52	45.67	11.15	4.78	0.36	
26143	SG 5	<i>Barbus barbus?</i>	66 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel		50.2	1.3	2.59	1.7	3.39	0.00	0.00	S-EVA-26140 b	-23.53	6.55	9.60	2.16	3.35	0.55	
26144	SG 6	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Urohiale	3	Schnabelgasse Basel		51.7	1.6	3.09	2.1	4.06	1.4	2.71	S-EVA-26140 b	-23.53	6.55	9.60	2.16	3.35	0.55	
26145	SG 7	<i>Rutilus rutilus</i>	11 Vertebrae praecaudales, 9 Vertebrae caudales	2	Schnabelgasse Basel	late 12th century	13.8	0.2	1.45	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26141 a	-21.21	7.41	66.92	14.85	5.26	0.48	
26146	SG 8	<i>Perca fluviatilis</i>	97 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel		56.2	1.3	2.31	1.5	2.67	0.9	1.60	S-EVA-26141 b	-22.08	8.29	35.04	11.83	3.46	0.49	
26147	SG 9	<i>Barbus barbus</i>	1 Opercular	4	Schnabelgasse Basel		81.7	3.5	4.28	4.3	5.26	2.5	3.06	S-EVA-26142 a	-21.36	8.34	35.24	13.05	3.15	0.51	
26148	SG 10	<i>Barbus barbus</i>	12 Vertebrae praecaudales, 10	2	Schnabelgasse Basel		141.5	6.1	4.31	3	2.12	2	1.41	S-EVA-26142 b	-22.69	8.10	35.86	11.42	3.66	0.49	
26149	SG 11	<i>Perca fluviatilis</i>	79 Vertebrae	1	Schnabelgasse Basel		47.7	0.5	1.05	0	0.00	2.4	5.03	S-EVA-26143 a	-21.26	7.98	39.25	14.13	3.24	0.58	
26150	SG 12	<i>Rutilus rutilus</i>	68 different headbones and vertebrae	1-2	Schnabelgasse Basel		11	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26143 a	-22.69	9.43	30.52	9.76	3.65	0.46	
26151	SG 13	<i>Rutilus rutilus</i>	68 different headbones and vertebrae	1-2	Schnabelgasse Basel		110	5.9	5.36	8.7	7.91	20	18.18	S-EVA-26144 a	-21.03	8.98	38.83	13.91	3.26	0.46	
26152	SG 14	<i>Perca fluviatilis</i>	68 different headbones and vertebrae	1-2	Schnabelgasse Basel		110	5.9	5.36	8.7	7.91	20	18.18	S-EVA-26144 b	-21.03	8.98	38.83	13.91	3.26	0.46	

Supplementary material table S3 (continued)

S-EVA	Submitter No.	Species	Element	Total length class (TL)	Site/Canton	Time period (century AD)	Start mass (mg)	Mass into microtube (>30 kDa) (mg)	collagen % (S-EVA-X-2) (mg)	collagen % (S-EVA-X-3) (mg)	<10 kDa mass (S-EVA-X-3) (mg)	collagen %	Name	13C	15N	%C	%N	C:N	IRMS Mass	
26153	SG 15	<i>Perca fluviatilis</i>	15 Clivithra	2	Schmabelgasse Basel		89.7	8.8	9.81	10.59	52.6	58.64	S-EVA-26153 b	-23.66	5.96	2.73	0.93	3.45	0.49	
26154	SG 16	<i>Barbus barbus</i>	3 Kerentehale	2	Schmabelgasse Basel		17	to less	0.00	0.00	0	0.00	S-EVA-26154 a	-21.89	7.05	7.64	2.54	3.51	0.54	
26155	SG 17	<i>Rutilus rutilus</i>	1 Quartatum, 6 Dentale	1	Schmabelgasse Basel		20.8	0.48	2.31	0.96	0.2	0.96	S-EVA-26155 a	-23.06	8.36	29.34	9.04	3.78	0.48	
26156	SG 18	<i>Barbus barbus</i>	2 Maxillaria	2	Schmabelgasse Basel		17.6	0.2	1.14	0.2	0	0.00	S-EVA-26156 a	-23.04	7.93	16.90	5.62	3.51	0.46	
26157	SG 19	<i>Barbus barbus?</i>	9 Vertebrae	2	Schmabelgasse Basel		24.2	0.7	2.89	0.7	1.6	6.61	S-EVA-26157 a	-23.39	8.07	21.04	7.72	3.18	0.46	
26158	SG 20	<i>Barbus barbus?</i>	31 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		34.3	0.4	1.17	0	5.4	15.74	S-EVA-26158 b	-21.81	6.92	9.97	3.76	3.09	0.50	
26159	SG 21	<i>Perca fluviatilis</i>	136 Vertebrae	2	Schmabelgasse Basel		177.8	19.7	11.08	10.69	94	52.87	S-EVA-26159 b	-23.74	5.80	3.28	3.42	3.28	0.47	
26160	SG 22	<i>Perca fluviatilis</i>	138 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		303.5	5.2	1.71	0	6.5	2.14	S-EVA-26160 a	-22.94	7.89	41.97	15.39	3.18	0.52	
26161	SG 23	<i>Scardinius eryth.</i>	1 Dentale	3	Schmabelgasse Basel	late 12th century	18.8	0.3	1.60	0.5	0	0.00	S-EVA-26161 a	-22.75	6.92	11.91	4.13	3.36	0.48	
26162	SG 24	<i>Barbus barbus</i>	5 Vertebrae	2	Schmabelgasse Basel		22.2	0.4	1.80	0.4	0	0.00	S-EVA-26162 b	-22.52	8.39	8.21	2.92	3.28	0.56	
26163	SG 25	<i>Barbus barbus?</i>	54 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		36.4	0.1	0.27	0	3.2	8.79	S-EVA-26163 a	-22.11	7.53	10.48	4.03	3.04	0.56	
26164	SG 26	<i>Perca fluviatilis</i>	32 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		56.9	0.9	1.58	0.9	0.8	1.41	S-EVA-26164 a	-24.02	7.04	3.17	9.00	0.41	0.48	
26165	SG 27	<i>Perca fluviatilis</i>	125 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		75.1	6.5	8.66	5.4	30.8	41.01	S-EVA-26165 a	-23.91	5.78	3.89	1.39	3.25	0.52	
26166	SG 28	<i>Barbus barbus?</i>	28 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		31.3	0	0.00	0	0.4	1.28	S-EVA-26166 b	-22.95	6.00	4.08	1.45	3.29	0.51	
26167	SG 29	<i>Esox lucius</i>	1 Circum-orbitalia	?	Schmabelgasse Basel		29.3	to less	0.00	0	2.8	9.56	S-EVA-26167 a	-22.52	8.39	8.21	2.92	3.28	0.56	
26168	SG 30	<i>Perca fluviatilis</i>	42 Vertebrae	2	Schmabelgasse Basel		99.3	7.1	7.15	7.9	28.3	29.51	S-EVA-26168 a	-23.76	6.55	6.43	2.30	3.26	0.51	
26169	SG 31	<i>Perca fluviatilis</i>	112 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		74.3	2.3	3.10	3.23	7.9	10.63	S-EVA-26168 b	-23.78	6.48	5.94	2.15	3.23	0.53	
26170	SG 32	<i>Barbus barbus?</i>	15 Vertebrae	1	Schmabelgasse Basel		28	0.5	1.79	0	1.3	4.64	S-EVA-26169 a	-22.85	7.47	16.99	5.60	3.54	0.52	
26171	SG 33	<i>Perca fluviatilis</i>	33 Vertebrae	2	Schmabelgasse Basel		93.9	4.1	4.37	5.9	6.28	7	7.45	S-EVA-26170 a	-23.29	7.26	10.79	3.78	3.33	0.60
25966	STRH 1	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	5	Stein am Rhein Aargau	Mid. 15th - first half of the 16th century	38.9	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 a	-22.80	6.60	6.76	2.29	3.45	0.57	
25967	STRH 2	<i>Perca fluviatilis</i>	3 Vertebrae praecaudales, 1 Dentale, 1 Basipterygium	1	Stein am Rhein Aargau		6.7	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 b	-	-	-	-	-	-	
25968	STRH 3	<i>Perca fluviatilis</i>	14 Vertebrae praecaudales, 2 Vertebrae caudales	1	Stein am Rhein Aargau	Second Half of the 15th - first half of the 16th century	13.4	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26169 b	-	-	-	-	-	-	
25969	STRH 4	<i>Perca fluviatilis</i>	39 Vertebrae	1	Stein am Rhein Aargau		20.6	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26170 b	-	-	-	-	-	-	
25970	STRH 5	<i>Perca fluviatilis</i>	14 Vertebrae praecaudales, 5 Vertebrae caudales	1	Stein am Rhein Aargau	Late 13th / early 14th century	22.9	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 a	-	-	-	-	-	-	
25971	STRH 6	<i>Perca fluviatilis</i>	37 Vertebrae	1	Stein am Rhein Aargau		17	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26169 a	-	-	-	-	-	-	
25972	STRH 7	<i>Perca fluviatilis</i>	7 Dentale, 4 Supradentale	1	Stein am Rhein Aargau	14th/15th century	9.9	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26170 a	-	-	-	-	-	-	
25973	STRH 8	<i>Perca fluviatilis</i>	17 Vertebrae	1	Stein am Rhein Aargau		16.1	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 a	-	-	-	-	-	-	
25974	STRH 9	<i>Perca fluviatilis</i>	3 Hyomandibulare, 2 Supradentale	2	Stein am Rhein Aargau	1281 - early 14th century	22.4	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 a	-	-	-	-	-	-	
25975	STRH 10	<i>Perca fluviatilis</i>	40 Vertebrae	1	Stein am Rhein Aargau		23.3	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 b	-	-	-	-	-	-	
25976	STRH 11	<i>Perca fluviatilis</i>	6 Vertebrae praecaudales, 2 Vertebrae caudales	1	Stein am Rhein Aargau	Late 13th / Early 14th century	18.4	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 a	-	-	-	-	-	-	
25977	STRH 12	<i>Perca fluviatilis</i>	39 Vertebrae	1	Stein am Rhein Aargau		15.5	0	0.00	0	0	0.00	S-EVA-26171 b	-	-	-	-	-	-	

Supplementary material table S3 (continued)

S-EVA	Submitter No.	Species	Element	Total length class (TL)	Site/Canton	Time period (century AD)	Start mass (mg)	Miss into microtube (>30 kDa) (mg)	collagen %	<30 kDa mass (S-EVA-X.2) (mg)	collagen %	<10 kDa mass (S-EVA-X.3) (mg)	collagen %	Name	13C	15N	%C	%N	C/N	IRMS Mass	
25932	WEE 1	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra caudalis	4	Weesen St. Gallen		49.7	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25933	WEE 2	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Weesen St. Gallen		23	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25934	WEE 3	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Weesen St. Gallen		17.7	0	0.00	0.2	1.13	0.48	2.71	S-EVA-25934.3 a	-24.83	4.74	5.11	1.36	4.38	0.48	
25935	WEE 4	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra caudalis	3	Weesen St. Gallen		27.8	0.1	0.36	0.5	1.80	0.1	0.36	S-EVA-25935.2 a	-23.27	7.33	36.03	13.31	3.16	0.53	
25936	WEE 5	<i>Esox lucius</i>	1 Basinoperygium	5	Weesen St. Gallen		57.7	to less	0.00	0.2	0.35	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25937	WEE 6	<i>Esox lucius</i>	1 Keratohyalin	3	Weesen St. Gallen		28.7	to less	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25938	WEE 7	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	2	Weesen St. Gallen		4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25939	WEE 8	<i>Rutilus rutilus</i>	1 Operculare	2	Weesen St. Gallen		19.3	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-25940 a	-22.54	7.55	35.98	12.84	3.27	0.50	
25940	WEE 9	<i>Rutilus rutilus</i>												S-EVA-25940 b	-22.46	7.51	36.57	12.96	3.29	0.47	
25941	WEE 10	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Basioccipitale	1	Weesen St. Gallen		154.9	2	1.29	6.4	4.13	6.3	4.07	S-EVA-25940.2 a	-22.14	7.29	38.52	14.18	3.17	0.49	
25942	WEE 11	<i>Perca fluviatilis</i>	12 Vertebrae	3	Weesen St. Gallen		5.2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-25940.2 b	-22.08	7.39	37.89	13.86	3.19	0.56	
25943	WEE 12	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Basioccipitale	2	Weesen St. Gallen		19.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25944	WEE 13	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Weesen St. Gallen	14th century	23.2	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25945	WEE 14	<i>Perca fluviatilis</i>	28 Vertebrae	1	Weesen St. Gallen		11.9	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25946	WEE 15	<i>Perca fluviatilis</i>	4 Vertebrae	1	Weesen St. Gallen		9.3	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25947	WEE 16	<i>Perca fluviatilis</i>	2 Vertebrae praecaudales, 1 Vertebra caudalis	2	Weesen St. Gallen		21	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25948	WEE 17	<i>Perca fluviatilis</i>	32 Vertebrae	1	Weesen St. Gallen		19.6	to less	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25949	WEE 18	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Vertebra praecaudalis	2	Weesen St. Gallen		13	0	0.00	0	0.00	0.5	3.85	S-EVA-25948.3 a	-24.12	5.26	16.83	5.53	3.55	0.56	
25950	WEE 19	<i>Esox lucius</i>	87 Vertebrae	1	Weesen St. Gallen		34.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25951	WEE 20	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Weesen St. Gallen		11.8	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
25952	WEE 21	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebra praecaudalis	3	Weesen St. Gallen		15.6	0	0.00	0	0.00	0	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
23243	WEE I	<i>Perca fluviatilis</i>	106 Squame	>3	Weesen St. Gallen		141	3.1						S-EVA-23243 a	-23.33	7.97	41.00	14.67	3.26	0.46	
23244	WEE II	<i>Perca fluviatilis</i>	28 Articulare, 28 Praeoperculare, 20	3	Weesen St. Gallen		99	1.9						S-EVA-23243 b	-22.98	7.94	40.49	14.99	3.15	0.50	
26007	WI 1	<i>Perca fluviatilis</i>	6 Vertebrae praecaudales, 1 Vertebra caudalis, 37 Vertebrae	1	Wildensteinhof Basel	14th century	20.1	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-23244 a	-23.03	7.99	40.63	14.08	3.37	0.37	
26008	WI 2	<i>Perca fluviatilis</i>	147 Vertebrae	2	Wildensteinhof Basel		35.8	to less	0.00	to less	0.00	2.9	8.10	S-EVA-26008.3 a	-25.15	6.83	10.21	2.97	4.01	0.45	
26009	WI 3	<i>Perca fluviatilis</i>	107 Vertebrae	1	Wildensteinhof Basel		38.1	0.9	2.36	to less	0.00	3.5	9.19	S-EVA-26008.3 b	-25.25	6.74	10.15	2.88	4.12	0.51	
26010	WI 4	<i>Perca fluviatilis</i>	1 Dentale, 1 Squama, 1 Vertebra	3	Wildensteinhof Basel		42	1.4	1.20	1.2	2.86	1.3	3.10	S-EVA-26009 a	-25.29	7.66	-	-	-	0.48	
26011	WI 5	<i>Perca fluviatilis</i>	248 Vertebrae	1	Wildensteinhof Basel		110.5	2.6	2.35	4.1	3.71	6.9	6.24	S-EVA-26009 b	-23.73	9.02	26.38	8.37	3.67	0.53	
26012	WI 6	<i>Cyprinidae indet.</i>	5 Vertebrae	2	Wildensteinhof Basel		29.6	to less	0.00	0.2	0.68	1.7	5.74	S-EVA-26010 a	-24.13	9.08	28.44	8.70	3.81	0.51	
26013	WI 7	<i>Cyprinidae indet.</i>	33 Vertebrae	2	Wildensteinhof Basel		54.8	1	1.82	2	3.65	0.7	1.28	S-EVA-26010 b	-24.43	7.12	20.71	7.63	3.17	0.50	
26014	WI 8	<i>Cyprinidae indet.</i>	77 Vertebrae	1	Wildensteinhof Basel		55.1	0.6	1.09	0.1	0.18	0	0.00	S-EVA-26011 a	-24.24	7.43	20.76	7.35	3.30	0.56	
26015	WI 9	<i>Cyprinidae indet.</i>	28 Vertebrae	1	Wildensteinhof Basel		7.4	0	0.00	0	0.00	0	0.00	S-EVA-26011 b	-21.39	8.75	17.34	5.45	3.71	0.47	
														S-EVA-26012.3 a	-18.73	8.60	10.75	3.51	3.57	0.60	
														S-EVA-26012.3 b	-22.77	8.11	32.63	10.67	3.57	0.55	
														S-EVA-26013 a	-23.07	8.05	28.18	9.78	3.36	0.44	
														S-EVA-26013 b	-	-	-	-	-	-	



## **FISCHKNOCHEN ALS INDIKATOREN FÜR GEWÄSSERZUSTAND UND MENSCHLICHE FISCHSELEKTION**

EINE ZUSAMMENFASSENDE AUSWERTUNG MITTELALTERLICHER  
UND NEUZEITLICHER FISCHRESTE AUS DEM RHEINEINZUGSGEBIET DER SCHWEIZ

Die Interaktion zwischen dem Menschen und seiner Umwelt stellt ein wichtiges Forschungsfeld in der Archäologie dar. Archäobiologische Untersuchungen belegen, dass auch aquatische Ökosysteme spätestens seit dem Neolithikum unter dem Einfluss des Menschen standen. Die Auswertung archäologischer Fischreste spielt dabei eine wesentliche Rolle.

In einzelnen Publikationen zu Fischresten aus mittelalterlichen und neuzeitlichen Fundstellen der Schweiz wurden Fragen zum menschlichen Umgang mit den aquatischen Ökosystemen aufgegriffen (Tab. 1), eine zusammenfassende sowie übergreifende Betrachtung stand jedoch noch aus und wird nun in der vorliegenden Arbeit präsentiert. Mit einer Kombination von archäozoologischen, ökologischen und historischen Methoden konnten Faktoren wie der Fangdruck auf die Fischbestände, die Auswahl der Fanggründe, Veränderungen des Gewässerzustandes, aber auch eine menschliche Fischselektion erkannt werden, die die Zusammensetzung der Fischartenspektren in archäologischen Fundorten beeinflussen.

### **FORSCHUNGSSTAND: ARCHÄOLOGISCHE UND HISTORISCHE QUELLEN IM VERGLEICH**

Historische Schriftquellen geben einen ersten Eindruck von den gewässerökologischen wie auch soziokulturellen Aspekten, die in der Beziehung von Mensch, Fisch und Wasser eine Rolle spielten. Über Fischerei, Fischverkauf und Fischkonsum berichten schon früh- und hochmittelalterliche Schriftzeugnisse (vgl. u. a. von Liebenau 1897; Egli 1909; Aeschbacher 1923). Spätestens ab der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts wurden Fischereiverordnungen für die meisten größeren Schweizer Gewässer formuliert (z. B. Schnell 1865; von Liebenau 1897; Aeschbacher 1923; Elsener 1951; Müller 1989; Amacher 1996). Auffallend häufig sind Vorschriften zum Schutz der Jungfische und des Fischlaichs. Weiter ist in den Fischereiverordnungen festgehalten, dass für Selbstversorger das Fischen mit einfachen Geräten wie Angel oder Kescher in Gewässerabschnitten am Ufer erlaubt war (z. B. Schnell 1865). Dies ermöglichte auch in weniger kaufkräftigen Bevölkerungsschichten eine gelegentliche Bereicherung des Speiseplans. Berufsfischer dagegen besaßen die nötige Infrastruktur und Berechtigung zum Fang und Verkauf von exklusiven Fischarten wie Lachs oder Hecht (Amacher 2006). Diese Fischarten waren vor allem der besser gestellten Bevölkerungsschicht zugänglich. Die Fischereiverordnungen legen die große Bedeutung des Erhalts der einheimischen Fischbestände dar, wobei wohl noch kein rein ökologischer Gedanke im Vordergrund stand, sondern eher die Sicherung der Bevölkerungsversorgung. Um die einheimische Fischfauna zu entlasten, wurden zusätzlich konservierte Meeresfische wie Hering (*Clupea harengus*) auf dem Fischmarkt feilgeboten und künstliche Fischteiche angelegt (Amacher 1996; Häberle/Marti-Grädel 2006). Andere historische Quellen, wie klösterliche Kon-



Gewässer-kategorie	Fundstelle	Ab-kür-zung	Stadt/Kanton	Nr. in Abb. 1	Befund	Datie-rung (Jh. AD)	Literaturnachweis
Rheinabschnitt 1	Altenberg	AB	Füllinsdorf/BL	2	Kultur-/Abfallschicht	11	Marti-Grädel 2008; Marti/Meyer/Obrecht 2013
	Schnabelgasse Phase 1	SG 1	Basel/BS	1	Latrine	12	Häberle u. a. 2010; Rodel 2002
	Bäumleingasse	BG	Basel/BS	1	Latrine	13	Hüster Plogmann u. a. 1999
	Schnabelgasse Phase 2	SG 2	Basel/BS	1	Latrine	14	Häberle u. a. 2010; Rodel 2002
	Wildensteinerhof	WI	Basel/BS	1	Latrine	14	Hüster Plogmann/Veszeli 2001
	Kleinhühningen Fischerhaus Phase 1	KLFH 1	Basel/BS	1	Kultur-/Abfallschicht	Dez-14	Hüster Plogmann 2005; Springer 2005
	Museum der Kulturen Latrine 1	MKB 1	Basel/BS	1	Latrinen	15/16	Häberle 2009; Straumann 2010
	Museum der Kulturen Latrine 2	MKB 2	Basel/BS	1	Latrinen	15/16	Häberle 2009; Straumann 2010
	Reischacherhof	REI	Basel/BS	1	Latrine	17	Schibler/Hüster Plogmann 1996
	Kleinhühningen Fischerhaus Phase 2	KLFH 2	Basel/BS	1	Kultur-/Abfallschicht	18-19	Hüster Plogmann 2005; Springer 2005
Rheinabschnitt 2	Allerheiligen Phase 1	SHA 1	Schaffhausen/SH	3	Latrinen	11	Rehazek/Brombacher 1999; Bánteli/Gamper/Lehmann 1999
	Allerheiligen Phase 2	SHA 2	Schaffhausen/SH	3	Latrinen	12	Rehazek/Brombacher 1999; Bánteli/Gamper/Lehmann 1999
	Obere Kirchgasse	WKG	Winterthur/ZH	8	Latrine	12	Hüster Plogmann/Stopp/Kühn 2002; Hüster Plogmann/Kühn 2013
	Obergasse	WOG	Winterthur/ZH	8	Latrine	13	Hüster Plogmann/Stopp/Kühn 2002; Hüster Plogmann/Kühn 2013
	Stein am Rhein Phase 1	STRH 1	Stein am Rhein/SH	4	Latrinen	13/14	Rehazek 2006; Bánteli/Höneisen 2006
	Stein am Rhein Phase 2	STRH 2	Stein am Rhein/SH	4	Latrinen	14/15	Rehazek 2006; Bánteli/Höneisen 2006
	Allerheiligen Phase 3	SHA 3	Schaffhausen/SH	3	Latrinen	15/16	Rehazek/Brombacher 1999; Bánteli/Gamper/Lehmann 1999
	Stein am Rhein Phase 3	STRH 3	Stein am Rhein/SH	4	Latrinen	15/16	Rehazek 2006; Bánteli/Höneisen 2006
	Multergasse Phase 1	SGM	St.Gallen/SG	6	Latrine	12	Häberle 2011; Schindler 2009
	Multergasse Phase 2	SGM	St.Gallen/SG	6	Latrine	13	Häberle 2011; Schindler 2009
See	Schoffelgasse	ZHS	Zürich/ZH	7	Latrine	13	Hüster Plogmann/Kühn/Motschi 2004
	Weesen	WEE	Weesen/SG	5	Ehgraben	14	Häberle in Vorb.; Homberger 2008

**Tab. 1** Informationen zu den archäologischen Fundstellen, Fundorten, Befunden und Datierung.

stitutionen, Spitalverordnungen oder Werke zur Gesundheitslehre, belegen jedoch die anhaltende Nachfrage nach Fisch aus lokalen Gewässern (Hüster Plogmann 2006; Häberle u. a. 2008).

Weitere historische Quellen lassen erahnen, dass neben dem enormen Fischkonsum andere Faktoren die Fischbestände bedrohten. In den Städten wurden Abfälle aus Haushalt, Handwerk und Gewerbe in die Gewässer eingeleitet und diese belasteten Fische und deren Lebensraum (Simon-Muscheid 2006). Besonders immissionsreiche Berufe wie Gerberei, Metzgerei, Walkerei, Färberei oder Papiermacherei wurden deshalb vielerorts in untere Stadtteile oder an den Ausgang des Stadtbachs verbannt (Simon-Muscheid 2006). Für den Großteil der Bevölkerung schien diese räumliche Verschiebung der gewässerbelastenden Gewerbe eine annehmbare Lösung, nicht jedoch für die von abnehmenden Fangzahlen betroffenen Fischer, wie schriftlich festgehaltene Fälle von Auseinandersetzungen zwischen Fischern und Gerbern verdeutlichen (Simon-Muscheid 2006). Zusätzlich ist aufgrund der verstärkten Siedlungstätigkeit im Laufe der Epochen eine Erhöhung des menschlichen Einflusses auf die aquatischen Ökosysteme zu vermuten (Jackson u. a. 2001).

»Handfeste« Belege zum menschlichen Umgang mit Gewässern und Fischen sind die archäologischen Fischreste, die zu Tausenden in den mittelalterlichen und neuzeitlichen Fundstellen der Schweiz entdeckt wurden. Diese hohe Anzahl an Fischresten weist eindeutig auf eine starke Befischung der Gewässer hin. Wie bei jeglichem archäologischen Material kann auch der Aussagegehalt der Fischreste bis zu einem bestimmten Grad durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst werden, beispielsweise durch ungeeignete Grabungsmethoden oder unbekanntes tafonomische Prozesse (z. B. Zohar/Belmaker 2005; Partlow 2006). Ebenso muss die Möglichkeit berücksichtigt werden, dass die archäologischen Überreste der damals gefangenen und konsumierten Fische nicht ausschließlich aus lokalen Fischgründen stammen. Da die untersuchten Fundstellen sich alle in der Nähe von Flüssen, Bächen oder Seen befinden, wird jedoch vornehmlich von der Befischung dieser nahe gelegenen Gewässer ausgegangen. Ein Transport ist nur für größere Frischfischexemplare anzunehmen (Hoffmann 2001), kleine und somit leicht verderbliche Fische unter 10 cm waren sicherlich nicht dafür geeignet. Der Großteil der gefundenen Reste kann solchen Jungfischen zugewiesen werden, deren Fang einerseits schriftlichen Quellen zufolge vielerorts verboten wurde. Andererseits werden diese kleinen Jungfische als bedeutende Fasten- oder Krankenspeise beschrieben (z. B. Rehazek/Brombacher 1999; Hüster Plogmann 2006; Häberle u. a. 2008). Heringsfunde (*Clupea harengus*) belegen den Handel mit Meeresfisch ab dem 11. Jahrhundert (Marti-Grädel 2008) und erste archäologische Hinweise auf Teichkarpfen (*Cyprinus carpio*) finden sich aus neuzeitlichen Fundstellen (Schibler/Hüster Plogmann 1996; Häberle 2009).

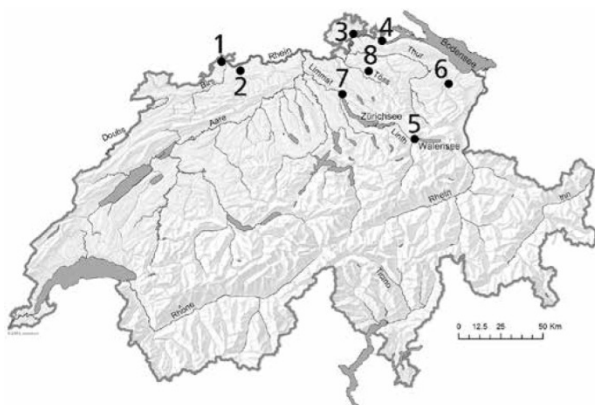
Die in schriftlichen Quellen abgefassten Informationen werden also teilweise durch die archäologischen Fischreste bestätigt. Die bisher gewonnenen Erkenntnisse sollen nun mit der hier vorgelegten übergreifenden Untersuchung in einen größeren Kontext gestellt und detaillierter analysiert werden.

## MATERIAL

Für die Untersuchung wurden rund 80 000 Fischreste aus 14 mittelalterlichen und neuzeitlichen Fundstellen ausgewählt (Tab. 1-2), die während der letzten 20 Jahre am Institut für Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie der Universität Basel (IPNA) ausgewertet wurden. Die Fundorte decken den Zeitraum vom 11. bis zum 19. Jahrhundert ab. Es handelt sich bei den meisten archäologischen Befunden um Latrinen, in denen sehr gute Erhaltungsbedingungen und -chancen für die fragilen Fischreste bestehen und eine kurze Akkumulationszeit des archäologischen Materials gegeben ist (z. B. Hüster Plogmann u. a. 1998; Häberle u. a. 2008).

Fischgilden: Zugehörigkeit nach Toleranz	Fischart		See	Forellen- region	Äschen- region	Barben- region	Brachsen- region
intolerant	<i>Barbus barbus</i> *	Barbe*		---	██████████		
	<i>Chondrostoma nasus</i> *	Nase*		---	██████████		
	<i>Salmo trutta fario</i> *	Bachforelle*		██████████	██████████	-----	
	<i>Salmo trutta lacustris</i> *	Seeforelle*	███	██████████	██████████	-----	
	<i>Salmo salar</i>	Lachs (ausgestorben)	---	-----	-----	-----	
	<i>Coregonus spec.</i>	Felchen	███	?	?	?	
	<i>Thymallus thymallus</i> *	Äsche*		---	██████████	-----	
	<i>Salvelinus alpinus</i>	Seesaibling	███				
	<i>Cottus gobio</i> *	Groppe*			██████████	-----	
	<i>Lota lota</i> *	Trüsche*	███	-----	-----	██████████	-----
	Salmonidae indet.	Lachsartige unbestimmt	---	-----	-----	-----	
tolerant	<i>Leuciscus spec.</i>	Döbel?	---	---	██████████	██████████	-----
	<i>Leuciscus cephalus</i>	Döbel	---	---	██████████	██████████	-----
	<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	███		-----	██████████	██████████
	<i>Gobio gobio</i>	Gründling	███		-----	██████████	-----
	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder	███			-----	██████████
	<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	███	██████████	██████████	-----	
	<i>Noemacheilus barbartulus</i>	Schmerle	███	██████████	██████████	-----	
	<i>Perca fluviatilis</i>	Flussbarsch/Egli	███		-----	██████████	-----
	<i>Esox lucius</i>	Hecht	███		-----	██████████	
tolerant/sehr tolerant	Cyprinidae indet.	Karpfenartige unbestimmt	---	-----	-----	-----	
sehr tolerant	<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaug	███		-----	██████████	██████████
	<i>Tinca tinca</i>	Schleie	███			-----	██████████
	<i>Abramis brama</i>	Brachse	███			-----	██████████
	<i>Abramis bjoerkna</i>	Blicke	███			-----	██████████
	<i>Anguilla anguilla</i>	Aal	███	---	██████████	██████████	██████████

**Tab. 2** In den Fundstellen nachgewiesene einheimische Arten, eingeteilt nach den definierten Fischgilden (intolerant, tolerant, sehr tolerant), sowie deren Vorkommen in den verschiedenen Fischregionen (Forellen-, Äschen-, Barben- und Brachsenregion). Die Balken stellen das Hauptverbreitungsgebiet der jeweiligen Art dar (in Anlehnung an Schager/Peter/Göggel 2004). Indikatorarten sind mit \* bezeichnet.



**Abb. 1** Lokalisation der Fundorte: **1** Basel. – **2** Füllinsdorf. – **3** Schaffhausen. – **4** Stein am Rhein. – **5** Weesen. – **6** St. Gallen. – **7** Zürich. – **8** Winterthur. – In Basel befinden sich sechs Fundstellen, in Winterthur zwei Fundstellen, in den restlichen Fundorten jeweils eine Fundstelle; weitere Informationen vgl. **Tab. 1**. – (Karte S. Häberle; Vorlage Bundesamt für Landestopografie, Wabern).

Die Fundstellen aus Basel, Füllinsdorf (Kt. Basellandschaft), Stein am Rhein (Kt. Schaffhausen), Schaffhausen und Winterthur (Kt. Zürich) befinden sich im Rheineinzugsgebiet und können biogeographisch dem Mittelland zugeordnet werden (Gonseth u. a. 2001). Zum Vergleich wurden innerhalb des Rheineinzugsgebiets Fundorte in der Nähe eines Sees (Stadt Zürich und St. Gallen) hinzugezogen (**Abb. 1; Tab. 2**). Einzig die Fundstelle Weesen am Walensee (Kt. St. Gallen) befindet sich in der biogeographischen Region der Voralpen. Da sich heute das Fischartenspektrum jedoch nur zwischen der Alpennord- und der Alpensüdseite unterscheidet, ist anzunehmen, dass für das Mittelalter und die Neuzeit das Gleiche gilt. Ein Vergleich der in den Fundstellen vorhandenen Fischartenspektren lässt sich also aus biogeographischer Sicht durchführen.

Die Fischreste stammen aus entnommenen Sedimentproben der Fundorte, die über eine Siebkolonne von 4,1 und 0,35 mm Maschengröße geschlämmt wurden. Einzig von der Fundstelle Füllinsdorf-Altenberg (Abb. 1, 2) wurden auch von Hand aufgelesene Fischreste miteinbezogen. Die Artbestimmung der Fischreste erfolgte anhand der Vergleichssammlung am IPNA aufgrund morphologischer Kriterien. Dabei stellte die Identifizierung von Karpfenartigen (Cypriniden) eine besondere Herausforderung dar, weil nur wenige Skelettelemente der Cypriniden artspezifische Merkmale aufweisen und diese zusätzlich bei Jungfischen noch kaum ausgeprägt sind. Für die Bestimmung der Cypriniden wurde darüber hinaus auf die verfeinerte Methode von Wim Wouters (Institut royal des Sciences naturelles de Belgique) zurückgegriffen (Wouters 2009).

An vollständig erhaltenen und artbestimmten Skelettelementen wurde die Totallänge der jeweiligen Individuen rekonstruiert (TL in cm: Länge vom Schnauzenende bis zum Ende der längeren Schwanzflossenlappe), wobei die Größenschätzung auf dem Vergleich von Skeletten moderner Fische mit bekannter Totallänge basiert.

## METHODEN ZUR ÖKOLOGISCHEN EINSCHÄTZUNG MITTELALTERLICHER UND NEUZEITLICHER GEWÄSSER

Fische sind sehr gute Bioindikatoren und liefern in ökologischen Studien wichtige Erkenntnisse zum aktuellen Gewässerzustand. Um Aussagen zur mittelalterlichen und neuzeitlichen Gewässersituation zu erlangen, wurde eine Methode zur Einschätzung der modernen Gewässerökologie gewählt. Diese beruht auf der Anwendung von ökologischen Parametern an Fischen (Schager/Peter/Göggel 2004). Für die Umsetzung dieses methodischen Ansatzes an dem zahlenmäßig umfangreichen archäologischen Material wurden die Fischarten in Fischgilden gruppiert und die Fundstellen nach gewässerökologischen Aspekten eingeteilt.

### Gruppierung der Fischarten in Fischgilden

Ökologische Fischgilden (Tab. 2) fassen diejenigen Fischarten zusammen, die ähnliche Strategien zur Ressourcennutzung verfolgen oder eine ähnliche Lebensform zur Reproduktion, Ernährung oder Migration aufweisen (Jungwirth u. a. 2003). Für die vorliegende Arbeit wurde die Toleranz gegenüber Verschmutzung und Degradierung der Gewässer, insbesondere gegenüber anthropogen bedingten Veränderungen, als Kriterium zur Definition der Fischgilden verwendet (nach Oberdorff/Hughes 1992; Belpaire u. a. 2000; Schager/Peter/Göggel 2004; Weber/Peter 2005; ergänzt durch Angaben in Muus/Dahlström 1990; Zaugg u. a. 2003). Es wurden drei Gilden definiert: intolerante, tolerante und sehr tolerante Arten (Tab. 2).

Unter den Bezeichnungen *Leuciscus spec.*, *Coregonus spec.* (Tab. 2) wurden nicht weiter bestimmbare Reste der Gattungen *Leuciscus* und *Coregonus* zusammengefasst. Aufgrund des Verbreitungsmusters, der Skelettmorphologie und der rekonstruierten Größe können die Reste der *Leuciscus spec.* am ehesten dem Döbel und somit der Gilde der »toleranten« Arten zugeordnet werden. Coregonen gehören zu den sensiblen Fischarten, deshalb lassen sich die nicht weiter artbestimmten Felchenreste (*Coregonus spec.*) in die Gilde der intoleranten Arten einreihen. Für die nicht artbestimmbaren Reste von Salmoniden und Cypriniden wurden aufgrund der fehlenden Artzuweisung zwei weitere Fischgilden definiert. Alle Arten aus der Familie der Lachsartigen (Salmonidae) reagieren empfindlich auf Gewässeränderungen. Deshalb werden die unbestimmbaren Salmoniden als zusätzliche, intolerante Gilde betrachtet. Die unbestimmbaren Cyprini-

denreste wurden einer weiteren, toleranten Gilde zugewiesen, die wohl vor allem weitere tolerante bis sehr tolerante Cypriniden umfasst, da sich die intoleranten Arten Barbe (*Barbus barbus*) und Nase (*Chondrostoma nasus*) skelettmorphologisch gut von diesen unterscheiden lassen.

### Einteilung der Fundstellen

Fließgewässer werden traditionell in Fischregionen eingeteilt (Huet 1949), die nach den jeweiligen Leitarten als Forellen-, Äsche-, Barben- und Brachsenregion angesprochen werden (**Tab. 2**). S. Gerster und E. Staub (1991) halten aufgrund frühneuzeitlicher Beschreibungen damals vorkommender Fischarten fest, dass der damalige Hochrhein ähnlich wie heute vorwiegend als Äschen- und Barbenregion bezeichnet werden kann. Als typische Äschenregion beschreiben S. Gerster und E. Staub (1991) den Abschnitt zwischen Stein am Rhein über den Rheinfluss von Schaffhausen bis zur Thurmündung, während von der Thurmündung bis zur Aaremündung Nasen dominieren, aber auch Äschen und Forellen anzutreffen sind (**Abb. 1**). Dieser Abschnitt stellte also einen Übergang zwischen Äschen- und Barbenregion dar. Die typische Barbenregion befand sich weiter stromabwärts, zwischen der Aaremündung und Basel. Ähnlich dem Rhein unterlagen auch die Schweizer Seen Veränderungen. Aufgrund historischer Quellen kann aber von einem ähnlichen Fischartenspektrum wie heute ausgegangen werden.

Gemäß den oben genannten Definitionen wurden die hier berücksichtigten Fundstellen nahe dem Rhein und seinen Nebenflüssen in die zwei Kategorien »Rheinabschnitt 1« und »Rheinabschnitt 2« eingeteilt (**Tab. 1**). Rheinabschnitt 1 könnte gemäß S. Gerster und E. Staub (1991) der oben erwähnten Barbenregion, Rheinabschnitt 2 der Äschenregion zugeordnet werden, wobei beachtet werden muss, dass die Übergänge fließend sind (**Tab. 2**). Diese hypothetisch entwickelte Einteilung der Fischregionen soll anhand der archäologischen Fischreste überprüft werden. Die Fundstellen Zürich-Schöffelgasse, St. Gallen-Multergasse und Weesen wurden aufgrund ihrer Nähe zum Zürcher-, Boden- oder Walensee der dritten Kategorie »See« zugeordnet (**Tab. 1**). Die Fundorte wurden ihrer Datierung entsprechend innerhalb dieser Kategorien in Zeitabschnitte zusammengefasst.

### Ökologische Parameter zur Einschätzung der Gewässer

Zur Einschätzung der damaligen ökologischen Gewässersituation wurden folgende Parameter der Publikation von E. Schager u. a. (2004) zur Beurteilung der modernen Schweizer Fließgewässer angewendet und an die Auswertung von archäologischen Fischresten angepasst:

Parameter 1: Fischartenspektrum, Fischgildenspektrum und Dominanzverhältnis

Mit diesem Parameter wird untersucht, ob die nachgewiesenen Arten und Gilden den jeweiligen Fischregionen bzw. Gewässertypen entsprechen und ob Unterschiede zwischen den Arten- und Gildenspektren der Fundstellen bestehen. Das Dominanzverhältnis erfasst das Verhältnis der Arten- und Gildenhäufigkeiten zueinander und kann weitere Hinweise zum Zustand der Fischfauna und des Gewässers liefern. Für Parameter 1 werden zusätzlich ausgesuchte Indikatorarten gesondert betrachtet. Als Indikatorarten wurden die in vielen gewässerökologischen Studien genutzte Bach-/Seeforelle (*Salmo trutta* subspec.) und Groppe (*Cottus gobio*)<sup>1</sup> gewählt (z. B. Schager/Peter/Göggel 2004; Küry/Heller 2005), die für die Beurteilung der Äschenregion (Bachforelle und Groppe) und der Seen (Seeforelle) herangezogen werden. Für die Barbenregion wurden die Barbe und ihre Begleitarten Nase und Trüsche ausgewählt.

Parameter 2: Populationsstruktur von ausgewählten Indikatorarten (Bachforelle, Barbe, Groppe)

Es wird das Vorhandensein von verschiedenen Altersklassen, insbesondere der Altersklasse 0<sup>+</sup> (Individuen bis und mit 1 Jahr alt) und der Altersklasse >0<sup>+</sup> (Individuen über 1 Jahr alt), überprüft, denn dieses wird als Beleg für eine ausgeglichene Population und eine funktionierende Reproduktion angesehen (Schager/Peter/Göggel 2004). Für die Einteilung in 0<sup>+</sup>- und >0<sup>+</sup>-Kohorten wurde die rekonstruierte Größe der archäologischen Fischreste aus der Literatur (Tab. 1) übernommen. Die größenbestimmten Fischreste wurden nach dem von D. Kury und M. Heller (2005) angegebenen, artspezifischen Verhältnis zwischen Alter und Totallänge den entsprechenden Altersklassen zugeordnet. Barben erreichen mit einem Jahr eine durchschnittliche Größe von 10 cm, Bachforellen von 11 cm, daher ist die 0<sup>+</sup>-Generation dieser Arten hauptsächlich der Größenklasse 1 (5-10 cm) zuzurechnen. Groppen weisen als 0<sup>+</sup>-Individuen eine Größe von 3 cm auf (Zbinden/Pilotto/Dorouvenoz 2004). Aufgrund der wenig ausgeprägten Verknöcherung des Skeletts ist dieses Altersstadium in archäologischen Befunden kaum nachzuweisen und so wird bei der Groppe das Vorhandensein verschiedener Altersstadien bewertet. In manchen Fundstellen liegen größenbestimmte Reste nur in geringer Anzahl vor.

Bei der Übertragung von den Parametern 1 und 2 auf archäologisches Material muss bedacht werden, dass in modernen gewässerökologischen Studien festgelegte Fangareale untersucht werden, um absolute Fischbestanddichte zu berechnen. Auch werden gefangene Tiere auf Krankheiten, Deformationen und Anomalien überprüft. Die so erlangten Informationen fehlen bei der Auswertung von archäologischen Fischresten. Trotzdem kann ein Eindruck von Gewässerveränderungen und Fangdruck vermittelt werden, insbesondere wenn, wie hier, Fundstellen einer bestimmten Region diachron untersucht werden können.

Eine statistische Auswertung zu den Parametern der Gewässereinschätzung erfolgte mit nicht-parametrischen ANOVA (*analysis of variance*)-Tests (Kruska-Wallis und Mann-Whitney-U) mit PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis; Hammer/Harper/Ryan 2001).

## METHODE ZUR UNTERSUCHUNG DES MENSCHLICHEN EINFLUSSES AUF DIE ARCHÄOLOGISCHE FISCHARTENVIELFALT

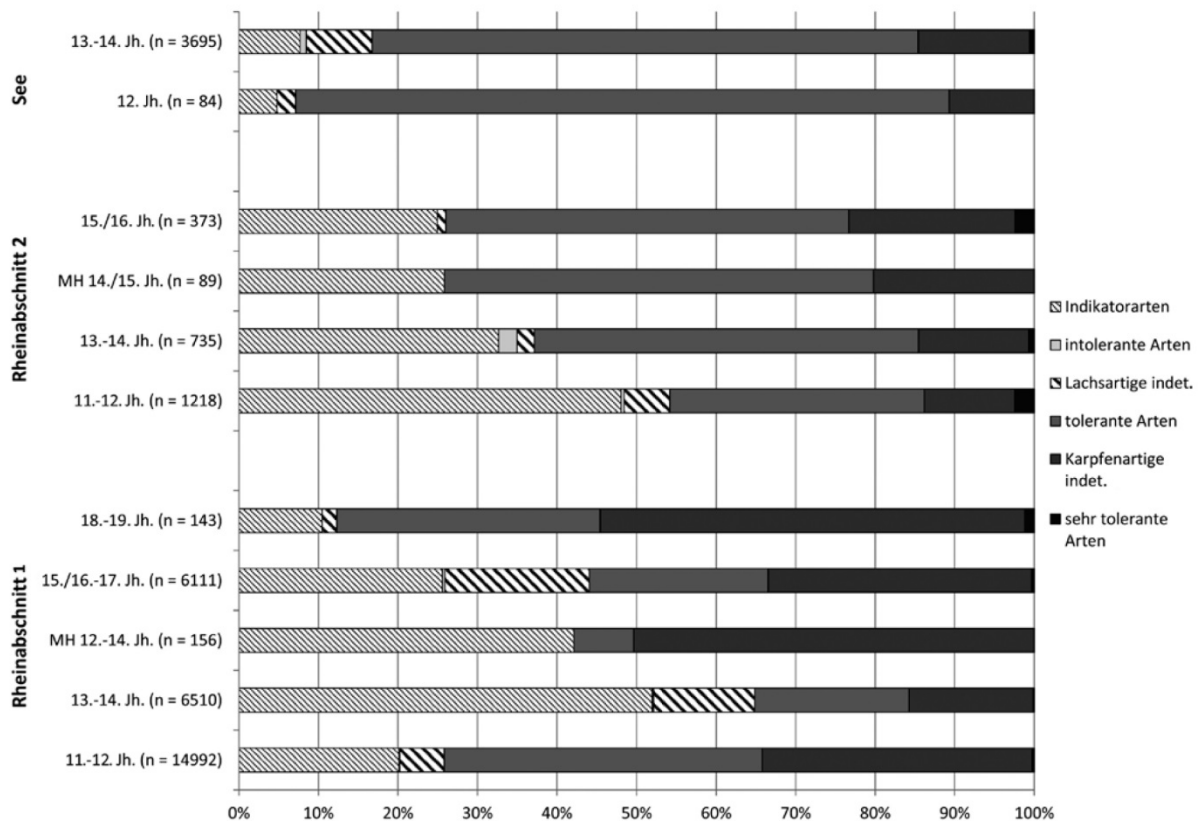
In modernen gewässerökologischen Studien findet häufig eine Berechnung von Biodiversitätsfaktoren Verwendung (z. B. Heip/Herman/Soetaert 1998; Hörger/Keiser 2003; Rau 2010). Eine solche Berechnung stellt der Shannon-Wiener-Index dar, mit dem die Artenvielfalt eines ökologischen Systems beschrieben werden kann (z. B. Hörger/Keiser 2003; Colwell 2009):

$$H_n = - \sum (p_i \cdot \ln p_i)$$

$H_n$  = Diversitätsindex,  $p_i$  = relative Häufigkeit der Art  $i$ ,  $n$  = Anzahl der vorhandenen Arten.

Der Shannon-Wiener-Index  $H_n$  berücksichtigt dabei die Artenanzahl sowie die Anzahl von Individuen innerhalb einer Art. Je höher die Kennzahl des Shannon-Wiener-Index, desto höher ist die Artenvielfalt innerhalb des untersuchten Systems. Meist wird der Shannon-Wiener-Index mit der Evenness ( $E = H_n / \ln n$ ) kombiniert. Die Evenness beschreibt die Verteilung der Arten im vorhandenen Artenspektrum (z. B. Hörger/Keiser 2003; Colwell 2009), wobei der Wert für die Evenness zwischen 0 (stärkste Ungleichverteilung) und 1 (totale Gleichverteilung) liegt. Während der Shannon-Wiener-Index also die Artenvielfalt beschreibt, lässt sich anhand der Evenness untersuchen, ob gewisse Fischarten im Fischartenspektrum einer Fundstelle dominieren.

Die Berechnung von Biodiversitätsfaktoren wurde bereits in einigen archäozoologischen Studien angewendet (Cruz-Urbe 1988; Bar-Oz/Dayan/Kaufmann 1999; Broughton u. a. 2011). Der Aussagewert bezüglich



**Abb. 2** Relative Anteile der definierten Fischgilden, eingeteilt nach den drei Gewässerkategorien und Datierungen. – MH = Mischhorizont. – (Graphik S. Häberle).

der Rekonstruktion der tatsächlich vorhandenen natürlichen Artenvielfalt wird im Gegensatz zu modernen Ökosystemen insbesondere durch eine damals stattfindende menschliche Selektion eingeschränkt (Zohar/Belmaker 2005). In einer Studie von S. Gaudzinski und M. Street (2003) wurde dieser Umstand dazu genutzt, mit der Berechnung eines Biodiversitätsfaktors (*Simpson-Index*) Hinweise auf eine selektierte Jagd in untersuchten magdalänienszeitlichen Faunenkomplexen zu erlangen.

Im Folgenden soll nun analysiert werden, ob neben Indizien für die damalige Fischartenvielfalt auch derartige Selektionsfaktoren an archäologischen Fischresten erkannt werden können, denn nicht nur der Befundkontext (Latrinen, Abfall- und andere Kulturschichten), sondern auch die historischen Quellen implizieren einen solchen Zusammenhang.

Die Berechnung von Shannon-Wiener-Index und Evenness erfolgte ebenfalls mit PAST. Des Weiteren wurde eine Regressionsanalyse (Excel) und ein Kruska-Wallis-Test (PAST) durchgeführt.

## ERGEBNISSE ZUR EINSCHÄTZUNG MITTELALTERLICHER UND NEUZEITLICHER GEWÄSSER

### Spektrum und Dominanzverhältnis der Fischgilden

Abbildung 2 zeigt eine tendenzielle Abnahme der empfindlichen Gilden (Indikatorarten, intolerante Arten, unbestimmbare Lachsartige) in den Rheinabschnitten 1 und 2 im Laufe der Jahrhunderte, wobei in Rhein-

abschnitt 2 (Äschenregion) ein vergleichsweise höherer Anteil der empfindlichen Gilden erwartet wurde. Weiter sind in den beiden Rheinabschnitten hohe Anteile der toleranten Arten und der unbestimmbaren Karpfenartigen vertreten. Auch in den Seefundstellen sind hohe Anteile der toleranten Fischgilden zu verzeichnen. Da es sich mit Ausnahme von Seeforelle, Seesaibling und Felchen bei den empfindlichen Indikatorarten und intoleranten Arten primär um rheophile (strömungsliebende) Fischarten handelt, erstaunt dies jedoch nicht. Aufgrund ihrer Biotopansprüche sind auch Flussbarsch, Hecht und viele tolerante Cyprinidenarten verhältnismäßig stark vertreten (vgl. **Tab. 3**). Auch die rheophilen Arten Äsche, Groppe oder Bachforelle konnten in den Seefundstellen nachgewiesen werden (vgl. **Tab. 3**). Die Gilde der sehr toleranten Fische kommt in allen Fundorten und Gewässerkategorien selten vor. Anteilsmäßig ist sie in den Fundstellen von Rheinabschnitt 2 am stärksten vertreten, in Rheinabschnitt 1 und den Seefundstellen weniger regelmäßig nachgewiesen (vgl. **Tab. 3**), wobei eher eutrophe Gewässer liebende Arten wie Schleie, Brachse, Blicke oder Aal (*Anguilla anguilla*) weniger häufig belegt sind als das anpassungsfähige Rotauge. Da eine Reduzierung der Anteile an sensitiven Arten auf eine Veränderung, gar auf eine Beeinträchtigung der Gewässer hinweisen kann, erfolgte eine statistische Überprüfung (mit Kruska-Wallis-Test und paarweisem Mann-Whitney-U-Test; **Tab. 4** s. [http://web.rgzm.de/fileadmin/AK/2015-03/Haeberle\\_ua.pdf](http://web.rgzm.de/fileadmin/AK/2015-03/Haeberle_ua.pdf)). Tatsächlich waren zwischen den nach Datierung und Gewässerabschnitten eingeteilten Fischgildenspektren signifikante Unterschiede auszumachen (Kruska-Wallis  $p = 0,0004$ ), wobei sich insbesondere innerhalb des Rheinabschnitts 1 die Gildenspektren der älter datierten von den jüngeren unterschieden (Mann-Whitney-U  $p = 0,021-0,041$ ; **Tab. 4** s. o.). Der Vergleich zwischen der Fischgildenzusammensetzung der Seefundstellen des 12. Jahrhunderts und der des 13.-14. Jahrhunderts ergab ebenfalls statistisch relevante Unterschiede (Mann-Whitney-U  $p = 0,013$ ), die wohl auf der Zusammenfassung der Daten von Fundorten dreier Seen mit stark andersartiger Morphologie beruhen. Innerhalb des Rheinabschnitts 2 gab es weniger statistisch fassbare Divergenzen, jedoch offenbart der Vergleich von Rheinabschnitt 1 mit Rheinabschnitt 2 wiederum die Tendenz zu Unterschieden zwischen älter und jünger datierten Fundstellen.

### Präsenz der Indikatorarten

Die Auswertung der Indikatorarten Barbe, Nase, Trüsche (Barbenregion), Bach-/Seeforelle und Groppe (Äschenregion/See) ergab weitere Hinweise zu Gewässerqualität und Fischregion. Miteinbezogen wurde die Gilde der unbestimmten Lachsartigen, da darunter hauptsächlich weitere Reste von Bach- und Seeforellen anzunehmen sind.

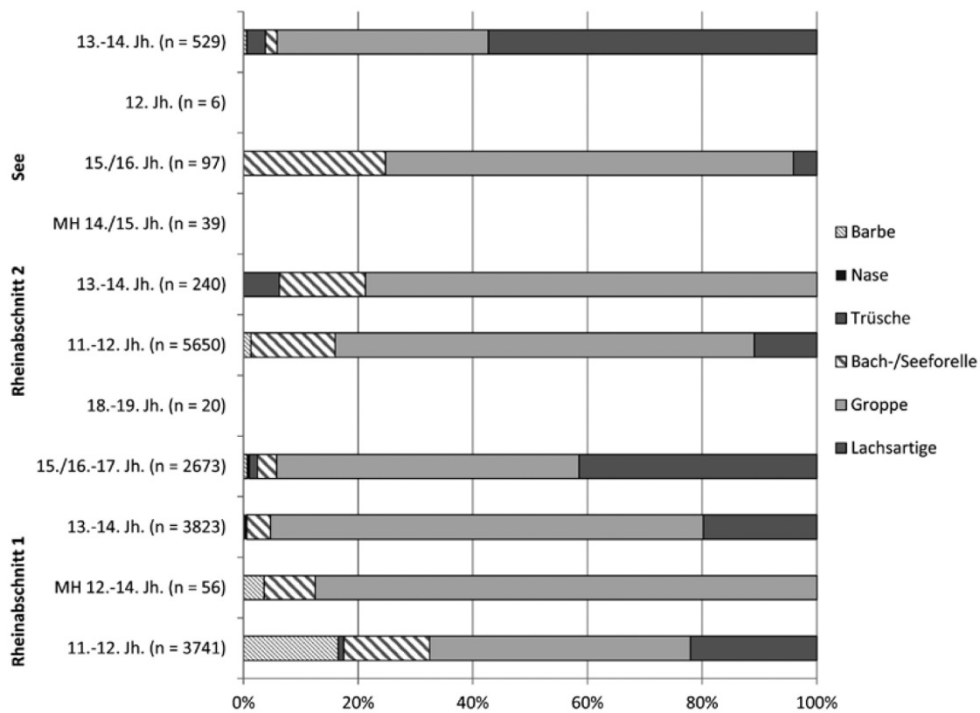
Der Fischregion entsprechend finden sich in allen Fundstellen von Rheinabschnitt 1 regelmäßig Barben, wobei die höchste Anzahl in den Fundorten des 11.-12. Jahrhunderts zu verzeichnen ist (**Abb. 3**). In Rheinabschnitt 2 und den Seefundstellen ist diese Indikatorart deutlich weniger oft nachgewiesen. Die Nase, typische Begleitart in der Barbenregion, ist in geringer Anzahl ausschließlich ab dem 14. Jahrhundert in Rheinabschnitt 1 vertreten. Die Trüsche kommt regelmäßig, wenn auch in geringer Anzahl in allen untersuchten Gewässerabschnitten vor. Auch heute ist diese Art vorwiegend in der Barbenregion, aber auch in der Äschenregion und in Seen zu finden. Bachforellen kommen ebenfalls häufig in der Äschenregion vor. Zusammen mit den Seeforellen sind sie regelmäßig in den untersuchten Fundstellen nachgewiesen, mit etwas höheren Anteilen im Rheinabschnitt 2. In Rheinabschnitt 1 ist tendenziell eine Abnahme der Anteile dieser Salmoniden von den älteren zu den jüngeren Fundorten zu beobachten, was wiederum auf Veränderungen im Gewässer hindeutet. Groppen sind räumlich wie auch zeitlich durchgehend und oftmals in hoher Anzahl nachzuweisen.

Die statistische Überprüfung der nach Gewässerabschnitt und Datierung geordneten Indikatorarten ergaben beim Kruska-Wallis-Test signifikante Unterschiede ( $p = 0,0084$ ), wobei diese hauptsächlich zwischen



Fischart	Rheinabschnitt 1 (Basel und Umgebung)										Rheinabschnitt 2 (Stein am Rhein bis Tössmündung)						See (Bodensee, Walensee, Zürichsee)						
	Fillinsdorf – Altenberg 11. Jh.	Basel – Schnabelgasse Phase 1 12. Jh.	Basel – Kleinuntungen Phase 1 12.-14. Jh.	Basel – Bäurleingasse 13. Jh.	Basel – Schnabelgasse Phase 2 14. Jh.	Basel – Wildensteinherhof 14. Jh.	Basel – Museum der Kulturen 1 15/16. Jh.	Basel – Museum der Kulturen 2 15/16. Jh.	Basel – Reischachherhof 17. Jh.	Basel – Kleinuntungen Phase 2 18.-19. Jh.	Total Rheinabschnitt 1	Schaffhausen – Obere Kirchgasse 12. Jh.	Winterthur – Obergasse 13. Jh.	Stein am Rhein – Bürgerasyl Phase 1 13./fr.14. Jh.	Stein am Rhein – Bürgerasyl Phase 2 14/15. Jh.	Stein am Rhein – Bürgerasyl Phase 3 15/16. Jh.	Schaffhausen – Allerheiligen Phase 3 15/16. Jh.	Total Rheinabschnitt 2	St. Gallen – Mültergasse Phase 1 12. Jh.	St. Gallen – Mültergasse Phase 2 13. Jh.	Zürch – Schöffelgasse 13. Jh.	Wiesen 14. Jh.	See Total
<i>Barbus barbus</i>	185	431	2	3		3	18			9	651	1	2	5	1			9			2	1	3
<i>Chondrostoma nasus</i>						13	7			7	27												
<i>Salmo trutta fario</i>	21	538	5	34	1	96	15	73	1	785	39	9	58	35				24			11		11
<i>Salmo trutta</i> subsp. spec.				35		11				46													
<i>Salmo salar</i>	10	3	1							14													
<i>Coregonus</i> spec.	12		3				8	3		26	4	1	17	9				31	1			24	25
<i>Thymallus thymallus</i>	6	137	4	18		18	6	8	1	198	6	3	22	1				32	1			25	26
<i>Salvelinus alpinus</i>				6			8			14												2	2
<i>Cottus gobio</i>	56	1703	49	2153	4	731	155	1206	49	6107	8	466	1	115	74	23	31	38	756	2	32	50	145
<i>Lota lota</i>		38				2	40			80				15					15	2	23	17	42
<i>Salmonidae</i> indet.	115	710		184	8	564	83	1019	7	2693	14	4	53	7	9			4	91	2	38	6	259
<i>Leuciscus</i> spec.		19		26						45			12						12				
<i>Alburnus alburnus</i>		29		4		3	1	13	9	59	2		11	4					17			1	1
<i>Gobio gobio</i>		40		4		5	3	41	1	94													
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	1	29		1		1	1	1		33		2											1
<i>Phoxinus phoxinus</i>	8	275	5	5		2	8	32		330					6	3							
<i>Leuciscus cephalus</i>	6	21				80	5	4		116												1	2
<i>Noemacheilus barbatulus</i>		92	2	1		4	4			105		1		3	2				6				
<i>Perca fluviatilis</i>	20	5203	8	94	40	860	96	1094	47	7508	60	242	23	77	268	40	154	28	892	69	631	242	1534
<i>Esox lucius</i>	165	9		5		8	17	11	1	216	4	6	33	1	2	1	1	1	48			1	40
<i>Cyprinidae</i> indet.	492	4531	67	329	31	622	127	1852	46	87	8184	35	66	40	66	36	18	29	49	339	9	71	24
<i>Anguilla anguilla</i>	3	8				1	1	1		15		2	6										
<i>Rutilus rutilus</i>		18		2		6	9	1		36	1	6	1	4	1							1	19
<i>Cyprinus carpio</i>						1	1	22		24													21
<i>Tinca tinca</i>	1	4				1	8			14	1		2									1	
<i>Abramis brama</i>		8				1				9		4	5										
<i>Abramis bjoerkna</i>										0	1												
<i>Pisces</i> indet.	2295	23349	54	3071	51	3301	813	6529	158	285	39906	578	706	102	795	279	71	112	89	2732	85	548	693
<i>Pisces</i> total	3396	37195	191	5979	135	6330	1291	11934	434	450	67335	750	1523	379	1106	704	169	338	236	5205	169	1347	1034
																							4561
																							7111

**Tab. 3** In den Fundstellen nachgewiesene Süßwasserfischarten, Gattungen, Familien. Der aufgelistete Karpfen (*Cyprinus carpio*) aber auch der Hering (*Clupea harengus*) wurden in der gesamten Auswertung nicht miteinbezogen, da nicht einheimisch. Da von der Äsche vorwiegend kaum quantifizierbare Schuppenfragmente vorliegen, werden hauptsächlich ihre Begleitarten bewertet. Indikatorarten sind mit \* bezeichnet.



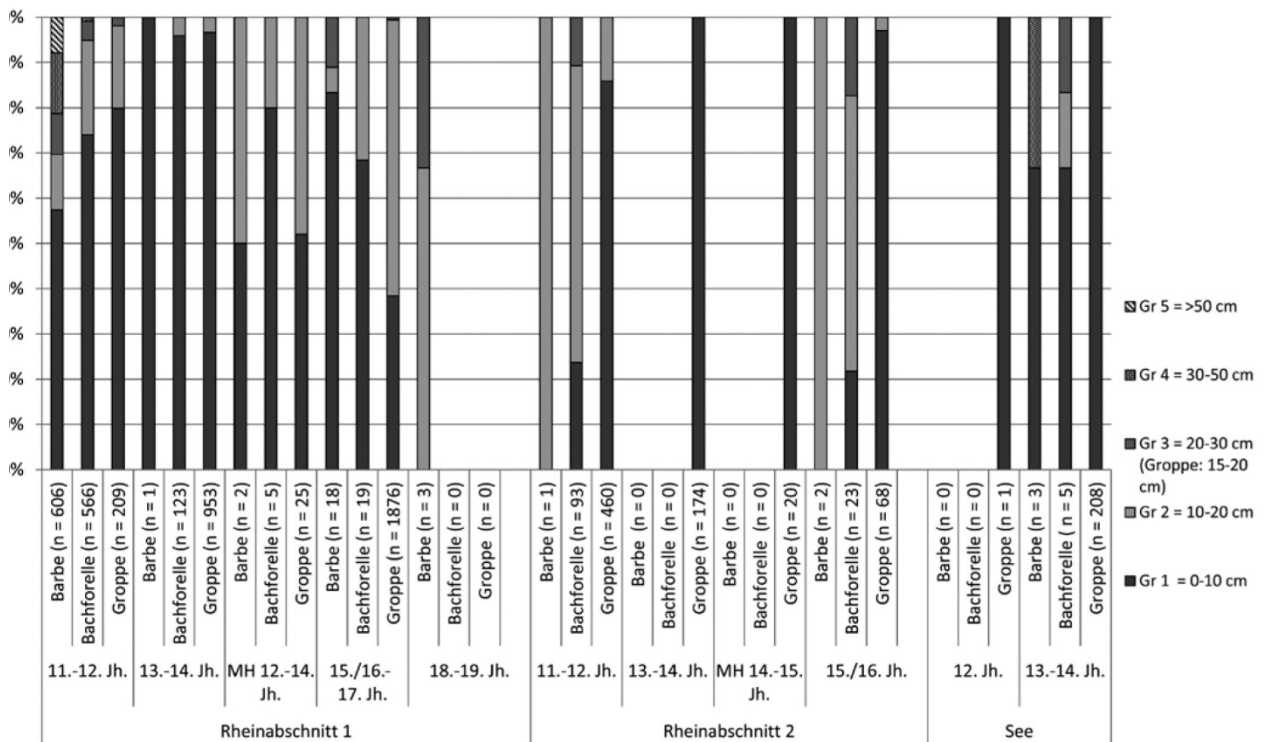
**Abb. 3** Relative Anteile der fünf Indikatorarten Barbe, Nase, Bach-/Seeforelle, Groppe und Trüsche sowie der unbestimmten Lachsartigen. Die Kategorien Rheinabschnitt 1, 18.-19. Jh. ( $n = 17$ ), Rheinabschnitt 2, MH 14./15. Jh. ( $n = 23$ ), und See, 11.-12. Jh. ( $n = 4$ ), fehlen aufgrund der geringen Anzahl an Resten ( $n < 50$ ). – MH = Mischhorizont. – (Graphik S. Häberle).

Rheinabschnitt 1 und Rheinabschnitt 2 und zwischen Rheinabschnitt 1 und den Seefundstellen zu verzeichnen sind (Tab. 5 s. [http://web.rgzm.de/fileadmin/AK/2015-03/Haerberle\\_ua.pdf](http://web.rgzm.de/fileadmin/AK/2015-03/Haerberle_ua.pdf)). Parallel zu den Unterschieden der Fischgilden divergieren innerhalb des Rheinabschnitts 1 die am ältesten datierten von den jüngeren Fundorten (Mann-Whitney- $U$   $p = 0,01-0,045$ ; Tab. 5 s. o.), was auf die Abnahme der Barben und der Bach-/Seeforellen zurückzuführen ist.

### Populationsstruktur

Die Populationsstruktur wurde von den drei zahlenmäßig in den Fundstellen am stärksten vertretenen Indikatorarten Barbe, Bachforelle und Groppe untersucht.

**Abbildung 4** gibt einen Überblick über das Vorhandensein der verschiedenen Altersstadien. Im Rheinabschnitt 1 und in den Seefundstellen überwiegt der Anteil der 0<sup>+</sup>-Kohorten (Größenklasse [Gr] 1) von Barbe und Bachforelle. Einzig im Rheinabschnitt 2 ist bei Barbe und Bachforelle die Gr 2 häufiger vertreten. Zusätzlich sind unter den unbestimmbaren Salmoniden wohl Reste weiterer, maximal einjähriger Forellen zu erwarten, die aufgrund fehlender morphologischer Merkmale nicht artbestimmt werden konnten. Die Groppe ist mit zwei Größenklassen vertreten (Gr 1 und Gr 2), wobei Gr 1 am deutlichsten dominiert, was bei dieser klein bleibenden Art nicht erstaunt. In der ältesten Fundstelle von Rheinabschnitt 1 (11.-12. Jh.) sind zusätzlich wenige Exemplare in Gr 3 vorhanden. Bei Barbe und Bachforelle ist insgesamt eine größere Bandbreite der Größenklassen zu verzeichnen. Die höchste Anzahl an verschiedenen Altersstadien bei allen drei Arten Barbe, Bachforelle und Groppe liegt in den Fundstellen des 11.-12. Jahrhunderts aus Rheinabschnitt 1 (Füllinsdorf-Altenberg und Basel-Schnabelgasse) vor, wobei die Barben in Gr 4 und Gr 5 sowie die Bachforellen in Gr 4 der Fundstelle Füllinsdorf-Altenberg zuzuschreiben sind.

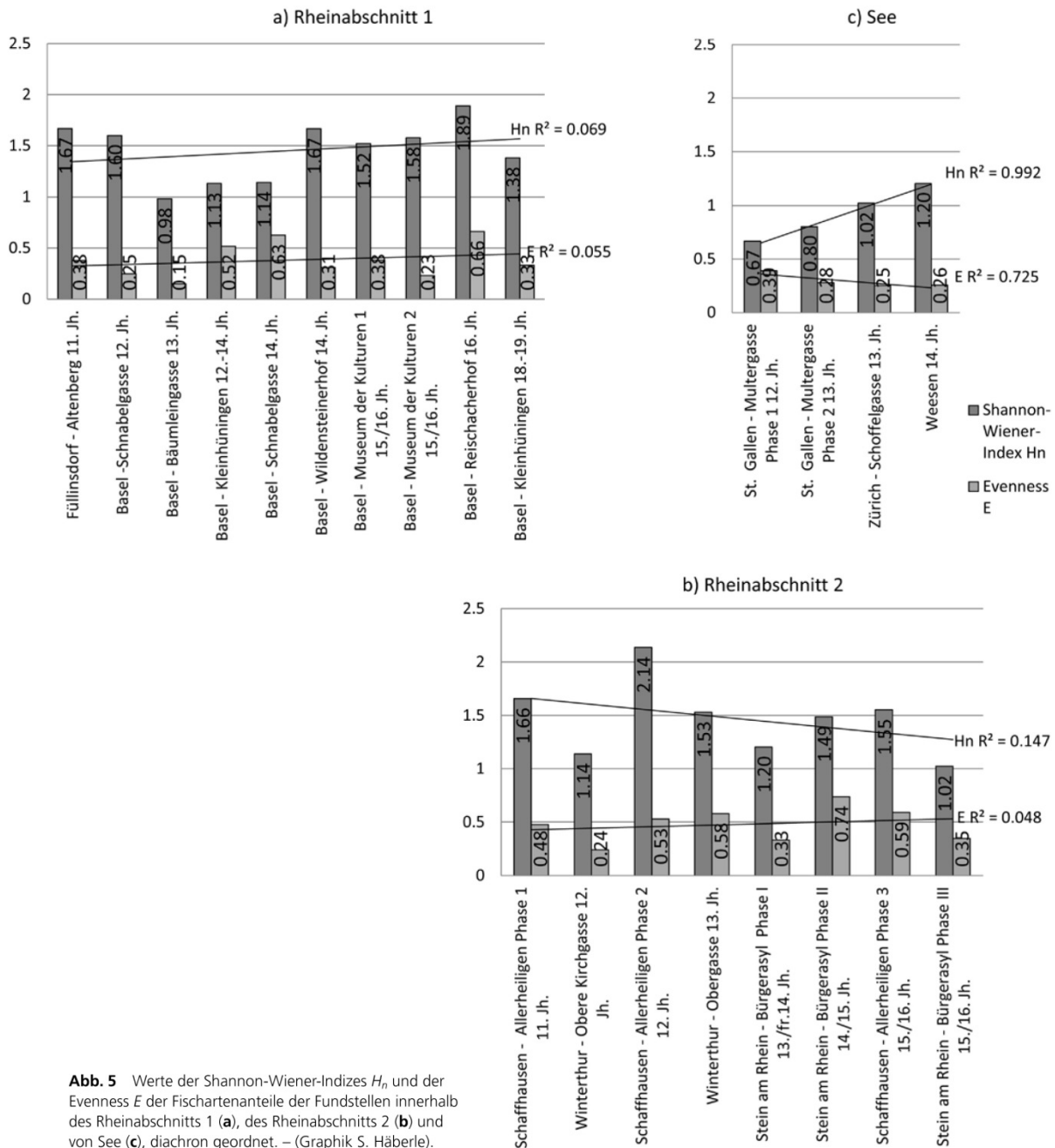


**Abb. 4** Absolute Anzahlen der in Größenklassen (Gr) 1-5 eingeteilten Barben, Bachforellen und Groppen, nach Jahrhunderten und Gewässerkategorien geordnet. – MH = Mischhorizont. – (Graphik S. Häberle).

## ERGEBNISSE ZUR UNTERSUCHUNG DES MENSCHLICHEN EINFLUSSES AUF DIE ARCHÄOLOGISCHE FISCHARTENVIELFALT

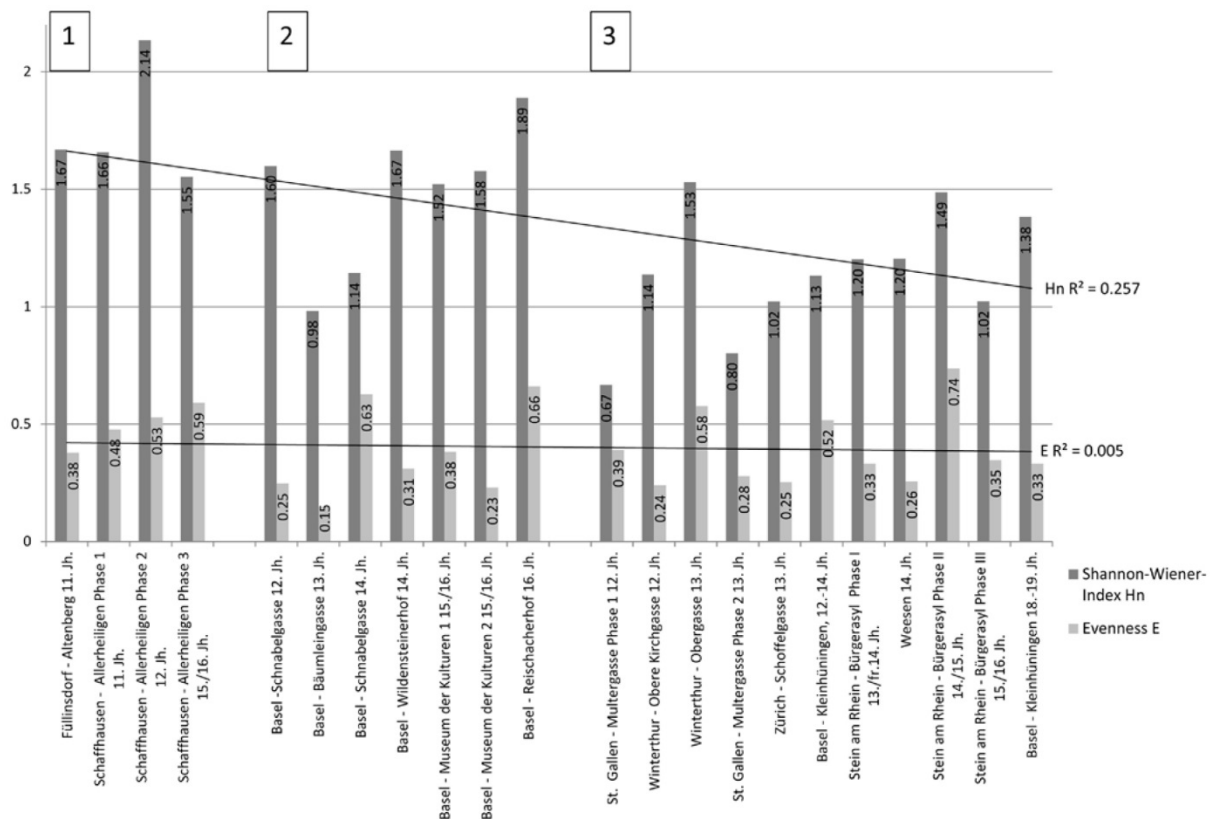
Die berechneten Werte des Shannon-Wiener-Index  $H_n$  und der Evenness  $E$  sind innerhalb der drei untersuchten Gewässerabschnitte sehr unterschiedlich und ergaben auch im diachronen Vergleich der Fundstellen ein heterogenes Bild. In den Rheinabschnitten 1 ( $H_n$   $R^2 = 0,069$ ; **Abb. 5a**) und 2 ( $H_n$   $R^2 = 0,147$ ; **Abb. 5b**) besteht kein signifikanter diachroner Trend. Bei den Seefundstellen können sowohl eine tendenzielle Erhöhung des Shannon-Wiener-Index ( $H_n$   $R^2 = 0,992$ ; **Abb. 5c**) als auch die Tendenz zu einer steigenden Ungleichverteilung der Arten ( $E$   $R^2 = 0,725$ ; **Abb. 5b**) im Laufe der Jahrhunderte beobachtet werden, die sich wahrscheinlich aufgrund des Vergleiches von Fundorten an drei Seen mit sehr unterschiedlicher Morphologie ergaben. Obwohl die Ergebnisse wohl teilweise mit der unterschiedlichen absoluten Zahl der ausgewerteten Reste zusammenhängen, lassen die Resultate insgesamt vermuten, dass neben der biogeographischen Lage und der Zeitstellung noch andere Faktoren die nachgewiesene Fischartenvielfalt beeinflussen. Andernorts (s. Literaturnachweise in **Tab. 1**) wurde angenommen, dass der soziale Status und die Kaufkraft der Fischkonsumenten dabei eine Rolle spielen.

Um dies zu überprüfen, wurden die Fundstellen zusätzlich in die drei Gruppen »Adel, Klerus«, »gut situierte Haushalte« und »wenig begüterte Bevölkerungsschichten« eingeteilt. Diese Einteilung orientiert sich an den jeweiligen Angaben zum soziokulturellen Kontext aus besagter Fundstellenliteratur, die anhand der archäologischen, archäozoologischen und archäobotanischen Auswertung definiert wurden. In **Abbildung 6** zeichnet sich ein Zusammenhang zwischen der Fischartenvielfalt und der gesellschaftlichen Stellung der Konsumenten ab ( $H_n$   $R^2 = 0,312$ ). Dies belegt auch der Kruska-Wallis-Test ( $p = 0,006$ ). Wie die Shannon-Wiener-Indizes zeigen, konnten insbesondere Adel und Klerus (Gruppe 1) auf eine große Artenvielfalt an



**Abb. 5** Werte der Shannon-Wiener-Indizes  $H_n$  und der Evenness  $E$  der Fischartenanteile der Fundstellen innerhalb des Rheinabschnitts 1 (a), des Rheinabschnitts 2 (b) und von See (c), diachron geordnet. – (Graphik S. Häberle).

Fisch zurückgreifen (Abb. 6). Die Evenness des Artenspektrums von Burg Altenberg weist auf die Dominanz von Hecht und Barbe hin ( $E = 0,379$ ; vgl. Artenspektrum in Tab. 3). Die größte Artenvielfalt konnte am Artenspektrum des Klosters Allerheiligen von Schaffhausen Phase 2 ermittelt werden ( $H_n = 2,14$ ; Abb. 6). In allen Phasen des Klosters Allerheiligen liegt zwar ein hoher Anteil an klein bleibenden Fischarten (Groppe) und Jungfischen (Flussbarsche/Egli und Bachforellen) vor, jedoch sind die unterschiedlichen Arten gleichmäßiger verteilt als auf Burg Altenberg ( $E = 0,48-0,59$ ). Den Shannon-Wiener-Indizes zufolge bestand auch



**Abb. 6** Werte der Shannon-Wiener-Indizes  $H_n$  und der Evenness  $E$  der Fischartenanteile einzelner Fundstellen, nach soziokulturellem Kontext gruppiert (Gruppe 1, 2 und 3) und diachron geordnet. – (Graphik S. Häberle).

in »gut situierten Haushalten« (Gruppe 2) die Möglichkeit dazu, auf eine Vielfalt an Fischen zurückzugreifen, denn fünf von sieben Basler Latrinen weisen Kennzahlen über 1,5 aus (**Abb. 6**). Das Artenspektrum in der Latrine an der Bäumleingasse lässt einen niedrigen Shannon-Wiener-Index ( $H_n = 0,98$ ) und zusätzlich eine starke Ungleichverteilung ( $E = 0,15$ ) erkennen, die wohl durch die Dominanz der Groppe (vgl. **Tab. 3**) verursacht wird. Ähnlich verhält es sich bei den Fundstellen Basel-Schnabelgasse (12. Jh.), Basel-Wildensteinerhof und Basel-Museum der Kulturen, in denen ebenfalls hohe Anzahlen von Gropfen nachgewiesen sind. In Gruppe 3 werden Fundorte zusammengefasst, die im Kontext einer weniger begüterten Gesellschaftsschicht stehen (Shannon-Wiener-Index meist  $< 1,2$ ; **Abb. 6**). Insbesondere die in Seenähe liegenden Fundstellen St. Gallen-Multergasse und Zürich-Schoffelgasse zeigen neben geringen Shannon-Wiener-Indizes auch eine sehr geringe Evenness, die eine Ungleichverteilung der Arten andeutet, wiederum vor allem Gropfen und junge Egli. Auch in Winterthur-Obere Kirchgasse, Winterthur-Obergasse und Weesen sind diese Arten häufig vertreten, jedoch ist die Fischvielfalt größer. In der Fundstelle Stein am Rhein-Bürgerasyl Phasen I und III weisen niedrige Shannon-Wiener- und Evenness-Werte auf eine geringe Fischartenvielfalt und auf ein Überwiegen junger Egli hin (vgl. Evenness-Werte; **Abb. 6**; **Tab. 3**). Die relativ hohen Shannon-Wiener-Zahlen in Phase II von Stein am Rhein-Bürgerasyl lässt vergleichbare (Fischkonsum-)Verhältnisse wie in Schaffhausen-Allerheiligen vermuten. Eine höhere Artenvielfalt ist auch in den beiden Phasen der Fundstelle Basel-Kleinhüningen Fischereihaus nachgewiesen.

## DISKUSSION

### Ökologische Gewässersituation und Zustand der Fischbestände in Mittelalter und Neuzeit

Das Spektrum und das Dominanzverhältnis der Fischgilden lassen eine Abnahme der Anteile der empfindlichen Gilden über die Zeit erkennen, was mit Veränderungen im Gewässer in Zusammenhang gebracht werden kann. Diese Entwicklung ist hauptsächlich für die Rheinabschnitte 1 und 2 nachgewiesen. In den Seefundstellen sind viele tolerante Fische zu verzeichnen, jedoch sind auch die restlichen Gilden vorhanden, was auf eine Befischung sowohl der Seen als auch der umliegenden Flüsse und Bäche hindeutet. Unterschiede zwischen den Fischgilden der beiden Rheinabschnitte und denen der Seefundstellen beruhen wohl auf den verschiedenen biogeographischen Lagen wie auf den unterschiedlichen Gewässerarten. Obwohl Rheinabschnitt 2 der Äschenregion zugeordnet ist, sind neben den erwarteten intoleranten auch viele tolerante Fischarten nachgewiesen. Die Gründe für diese etwas verschobenen Dominanzverhältnisse sind vielfältig: Die Übergänge der Fischregionen waren damals (wie auch heute) fließend und die einzelnen Gewässerabschnitte wiesen divergierende, kleinräumige Biotope auf, die Fischarten mit unterschiedlichsten Ansprüchen Lebensraum boten. Ebenso können aber auch hier menschliche Eingriffe in die Gewässer oder eine Selektion der Fischgründe eine Rolle gespielt haben. Das geringe Auftreten der sehr toleranten Arten in allen Fundstellen lässt vermuten, dass wohl nur wenige lokale, kleinräumige Biotope von einer Gewässerbelastung, insbesondere von einer Nährstoffanreicherung durch Siedlungsabfall, betroffen waren. In Kombination mit der Tatsache, dass die sensitiven Fischgilden mit der Zeit abnehmen, kann jedoch davon ausgegangen werden, dass solche vermehrt anthropogen beeinflusste Gewässerbereiche durchaus vorhanden waren und Einfluss auf die Fischbestände nahmen. Auch durch pollenanalytische Untersuchungen konnten derartige Nährstoffanreicherungen in Gewässern belegt werden, beispielsweise für den spätmittelalterlichen Bodensee, wo ein erhöhter Anteil an Laichkräutern (*Potamogeton*) festgestellt wurde, die mäßig eutrophe Gewässer bevorzugen (Rösch 1992). Ähnliche Hinweise auf Gewässerveränderungen geben kürzlich publizierte Resultate der stabilen Isotopenanalyse von 140 Fischresten, die aus 11 der hier vorgestellten 22 Fundstellen stammen (Häberle u. a. 2015). Es konnte ein Zusammenhang zwischen den Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenwerten der Fische und ihrer Ernährungsstrategie, dem Habitat und Individuenalter nachgewiesen werden, der sich in einer inner- und zwischenartlichen Variabilität der Isotopensignaturen darstellt. Einige der Isotopensignaturen lassen sich kaum mit dieser natürlichen Variabilität erklären, sondern eher mit einer Beeinträchtigung lokaler Gewässerabschnitte aufgrund erhöhter Einträge organischer Abfälle, einer Befischung von verschiedenen Gewässertypen oder einer Bewirtschaftung von Teichen. Weitere Studien sind hier aber erforderlich.

Die Verteilung der Artenspektren entspricht im Hinblick auf die definierten Fischregionen nach M. Huet (1949) sowie S. Gerster und E. Staub (1991) den Erwartungen und belegt somit auch die lokale Fischerei. Barben und Nasen sind dementsprechend größtenteils in Rheinabschnitt 1, Bach-/Seeforellen und Lachsartige vermehrt in Rheinabschnitt 2 und den Seefundstellen nachgewiesen. Die Nase ist nur in geringer Anzahl und erst ab dem 14. Jahrhundert in den Fundorten vertreten. Diese Unterrepräsentanz bleibt auf den ersten Blick unerklärlich, da historische Quellen oft von einem Überangebot und sogar von der Verwendung der Nasen als Düngemittel im Kartoffelanbau berichten (Gerster/Staub 1991). Da diese Fischart der Familie der sehr grätenreichen Karpfenartigen und deshalb den weniger gefragten und weniger teuren Speisefischen angehörte, war sie wohl hauptsächlich in der Ernährung der ärmeren Gesellschaftsschichten von Bedeutung. In diesem gesellschaftlichen Kontext standen Latrinen jedoch kaum zur Verfügung, somit fehlen hier die archäologischen Befunde, in denen die Überreste zu vermuten sind. Das geringe Vorhanden-

sein der Trüsche lässt sich wohl damit erklären, dass diese Art im Mittelalter und in der Neuzeit eher ein Exot unter den Speisefischen war, u. a. weil die Trüschenfischung mit Einzelangel an geeigneten Plätzen wie kiesigen Flussdeltas oder in großer Seetiefe relativ aufwendig war. Betrachtet man die Anteile der Forellenarten in Rheinabschnitt 1, kann tendenziell eine Abnahme der Anteile dieser Salmoniden von den älteren zu den jüngeren Fundstellen beobachtet werden, was wiederum auf Veränderungen im Gewässer hindeutet. Erstaunlich ist, dass unter den hier nachgewiesenen Salmoniden der für die Rheinfischerei so wichtige Lachs stark untervertreten ist. Es wurde in Latrinen wohl aufgrund des unbeliebten Ausschöpfens die Entsorgung von größeren Schlacht- und Zubereitungsresten gering gehalten, dennoch sind die Reste größerer Exemplare anderer Fische durchaus dokumentiert – das erklärt somit nicht das rätselhafte Fehlen des Lachses. Die Groppe ist räumlich wie auch zeitlich durchgehend in sehr hohen Anteilen des Fischartenspektrums belegt. Interessanterweise lässt sich mit dieser Indikatorart nicht nur das Vorhandensein klarer, schnell fließender Gewässerabschnitte fassen, sondern auch eine bestimmte Konsumtradition des Mittelalters und der Neuzeit. Denn dieser bis max. 15 cm Gesamtlänge kleine und empfindliche Fisch scheint ab dem Mittelalter bis in die Neuzeit in der Ernährung große Bedeutung gehabt zu haben (vgl. Hüster Plogmann u. a. 1998; Hüster Plogmann 2003; Häberle u. a. 2008). Auch gesundheitliche Aspekte spielen vermutlich bei der intensiven Groppenbefischung eine Rolle: Besonders »kleine Fische mit festem Fleisch, welche den Leib fett machen«, wurden gerne als Fasten- oder Krankennahrung gereicht (z. B. Hüster Plogmann 2006; Häberle u. a. 2008).

Bei der Untersuchung der Populationsstruktur von Barbe, Bachforelle und Groppe erscheint der Anteil an Jährlingen und Jungfischen (0<sup>+</sup>-Generation) durchgehend als auffällig. Dies wurde auch schon in der Literatur zu den einzelnen Fundstellen beschrieben. Dieser Umstand weist wiederum auf den hohen Fangdruck hin, unter dem Jungfische und auch klein bleibende Fischarten standen und der wohl die damalige Fischpopulation bereits beeinträchtigte. Auch die schriftlich festgehaltenen Fischereiverordnungen zeugen vom systematischen Abfischen der 0<sup>+</sup>-Generationen und auch von dem Wissen, dass damit die Reproduktion gefährdet wurde. Erahnen lässt sich hier zudem ein Zusammenhang mit der rechtlichen Situation der Uferfischerei, denn im Uferbereich, also dort, wo sich Jungfische und Groppen besonders häufig aufhalten, war die Fischerei für die breite Bevölkerung gestattet. Große Exemplare von Barben (Gr 4 und Gr 5) und Bachforellen (Gr 4) sind ausschließlich in der Fundstelle Füllinsdorf-Altenberg anzutreffen. Es scheint, dass insbesondere auf der von Adelsherren bewohnten Burg Altenberg große und teure Fische, wie Barben und Hechte, Absatz fanden (Tab. 3). Diese Fische durften ausschließlich von beauftragten oder freien Berufsfischern gefangen werden, denn nur ihnen war die Fischerei mit Booten und großen Netzen erlaubt (Amacher 1996).

### **Menschliche Einflussfaktoren auf die archäologische Fischartenvielfalt**

Die Shannon-Wiener-Indizes und die Evenness-Werte der nachgewiesenen Fischartenspektren konnten eine menschliche Fischselektion bestätigen. Der Konsum gewisser einheimischer Fischarten und vor allem die Artenvielfalt in der (Fisch-)Ernährung stellen sich dabei als Privileg bestimmter Gesellschaftsschichten dar. Insbesondere Adel und Klerus konnten sich – nicht zuletzt um christlichen Fastenverordnungen nachzukommen – viel und vor allem viel verschiedenen Fisch leisten. So spielte bei den adeligen Bewohnern auf Burg Altenberg Fisch eine wichtige Rolle in der Ernährung (Marti-Grädel 2008). Zusätzlich war eine ausreichende Kaufkraft vorhanden, um eine Vielzahl von verschiedenen Fischarten zu konsumieren, insbesondere auch große und teure Exemplare von Hecht und Barbe. Auch im klerikalen Kontext des Klosters Allerheiligen wurde auf eine große Fischvielfalt Wert gelegt, vor allem in Phase II, in der auch die archäologischen Groß-

tierreste auf Speisen gehobener Qualität hinweisen (Rehazek/Brombacher 1999) und die Fischreste größtenteils von Jungfischen (Flussbarsch und Bachforellen), aber auch von Groppen stammten.

In den gut situierten Haushalten bestand wohl auch die Möglichkeit dazu, auf eine gewisse Vielfalt an Fischen zurückzugreifen. Insbesondere für die Fundorte Wildensteinerhof, Museum der Kulturen und Reischacherhof auf dem Basler Münsterhügel erstaunt dies nicht, denn diese im Mittelalter bevorzugte Wohnlage war vor allem der wohlhabenderen Bevölkerung vorbehalten. Die vielen Groppen in den unterschiedlich datierten Basler Fundstellen Schnabelgasse Phase 1, Bäumleingasse, Wildensteinerhof und Museum der Kulturen (Gruppe 2) sowie in den beiden Winterthurer Fundstellen (Gruppe 3) zeugen von der wichtigen Rolle dieser Fischart in der Ernährung und lassen sich wahrscheinlich mit der Befischung eines ertragreichen Groppenstandorts, einer Konsumtradition oder einem saisonalen und kulturellen Phänomen, wie etwa den Fängen zum Frühjahrsbeginn, in Zusammenhang bringen (z. B. Hüster Plogmann 2006). Für beide Befunde in Winterthur konnten anhand der archäologischen und archäobotanischen Befunde keine Belege für die Zuweisung zu besser gestellten Nutzer/innen ausgemacht werden, jedoch kann die dokumentierte Fischartenzusammensetzung von Winterthur-Obergasse eher mit jener in den Basler Latrinen verglichen werden, wobei die archäologischen Großtierknochen aus Winterthur-Obergasse immerhin einen »bescheidenen Wohlstand« vermuten lassen (Hüster Plogmann/Kühn 2013).

Die unterschiedlichen Werte der drei Phasen von Stein am Rhein-Bürgerasyl lassen sich wahrscheinlich auf die Geschichte dieses von Benediktinern gegründeten Klosterspitals zurückführen. Zu Phase I finden sich kaum archäologische Informationen. Wahrscheinlich diente das Kloster wie in Phase II als Wohnheim für Arme oder Kranke, in der es der Schutzherrschaft »zum heiligen Geist« unterstellt war, wobei aber keine entsprechende Beziehung zum Orden bestand (Bänteli/Höneisen 2006). In Phase II lassen verschiedene An- und Umbauten vermuten, dass vermehrt finanzielle Mittel vorhanden waren (durch Schenkungen und Stiftungen) und vielleicht auch ein Wechsel des Benutzerkreises stattfand, der sich wohl auch auf die (Fisch-) Ernährung der Bewohner auswirkte. Im 15./16. Jahrhundert ereignete sich ein Funktionswechsel der Gebäude des Klosterspitals zum städtischen Spital, in dem die materiellen Grundlagen wiederum eher dürftig waren (Bänteli/Höneisen 2006). Dies scheint sich nicht nur an der geringeren Fischartenvielfalt in Phase III bemerkbar zu machen, sondern auch am Artenspektrum der Großtierreste (Bänteli/Höneisen 2006; Rehazek 2006). Auch die Fundstellen in Seenähe, St. Gallen-Multergasse und Zürich-Schoffelgasse, sind aufgrund der geringeren Fischvielfalt eher im Kontext einer weniger begüterten Gesellschaftsschicht zu sehen. Dort wird vermutlich die für alle Gesellschaftsschichten erlaubte Uferfischerei gefasst, die vor allem auf junge Flussbarsche und Cypriniden abzielte. Im Gegensatz dazu kann aufgrund der hohen Fischartenvielfalt für die Fundstelle Weesen am Walensee wohl nicht nur die Fischerei im See selbst, sondern auch in den umliegenden Flüssen und Bächen angenommen werden. Die mittelalterliche Fischartenvielfalt (12.-14. Jh.) des Fundortes Basel-Kleinhüningen Fischereihaus weist eher auf die Befischung verschiedenster Fischgründe und Fischarten hin. Dagegen deutet das Artenspektrum des 18.-19. Jahrhunderts eher die Hinwendung zur spezialisierten Rheinfischerei auf Barbe, Döbel und Nase an (vgl. **Tab. 3**). In dieser Zeit war das dem Befund zugehörige Haus tatsächlich von einer Fischerfamilie bewohnt (Hüster Plogmann 2003; Springer 2003) und es lässt sich mutmaßen, ob die nachgewiesenen Veränderungen im Fischartenspektrum wirklich mit einem Wandel in der Fischereimethode zusammenhängen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die am archäologischen Fischmaterial berechneten Shannon-Wiener-Indizes und Evenness-Werte nicht per se auf die ökologisch bedingte Fischartenvielfalt hinweisen, sondern eher als eine menschliche Fischselektion und eine unterschiedliche Vielfalt in Fischernahrung gedeutet werden können, die insbesondere vom sozialen Status der Konsumenten und von deren Kaufkraft beeinflusst wurde.



## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegende zusammenfassende Untersuchung bestätigt und erweitert die bisherigen Forschungsergebnisse auf eindruckliche Weise und unterstreicht das Potenzial der Auswertung von archäologischen Fischresten zur Beantwortung von gewässerökologischen sowie soziokulturellen Fragestellungen.

Die Resultate belegen die Beeinflussung der archäologisch nachgewiesenen Fischartenspektren durch eine Vielfalt von Faktoren.

So zeugen die Fischreste in Hinblick auf die Fischregionen von einer mehrheitlich lokalen Fischerei. Die Untersuchung der Fischgilden und der Indikatorarten aus den beiden Rheinabschnitten bestätigt die Einteilung in Barbenregion (Rheinabschnitt 1) und Äschenregion (Rheinabschnitt 2), wobei die nachgewiesenen, diversen Fischartenspektren auch Übergangsregionen und kleinräumige Biotope verschiedenster Art belegen, die einer Vielzahl von Fischen Lebensraum boten. Die Zusammensetzung der Fischgilden und der Indikatorarten aus den Seefundstellen ist schwieriger zu bewerten, allerdings trugen Unterschiede der natürlichen Gegebenheiten sicherlich auch zum jeweiligen Fischartenspektrum bei. In den beiden Rheinabschnitten jedoch lassen die signifikanten Unterschiede der Fischgilden und eine Abnahme der sensitiven Fischarten im Laufe der Jahrhunderte einen zunehmenden Einfluss des Menschen vermuten. Anzunehmen ist, dass eine verstärkte Siedlungstätigkeit und der damit einhergehende Eintrag von organischen Abfällen schon damals ihre Spuren in aquatischen Ökosystemen hinterließen. Diese Beeinträchtigungen sind jedoch nicht mit den einschneidenden baulichen Maßnahmen und der Gewässerbelastung durch industrielle Abwässer zu vergleichen, die am Ende des 19. Jahrhunderts eine ökologisch weniger erfreuliche Ära einläuteten und gar das Aussterben einiger Rheinfischarten (z. B. Lachs) verursachten.

Weitere Faktoren prägten die einheimischen Fischartenspektren. Durch die Untersuchung des Shannon-Wiener-Index und der Evenness wurde der Zusammenhang zwischen dem gesellschaftlichen Status sowie der Kaufkraft der Konsumenten und der (Arten-)Vielfalt der konsumierten Fische bestätigt. Aber auch verschiedene Konsumtraditionen und die rechtliche Regelung des Fischfangs spielten eine Rolle.

Das hohe Vorkommen der Groppe scheint eine derartige Konsumtradition widerzuspiegeln, denn der Fang und Verzehr dieser kleinen Fischart können weder gesellschaftlich noch zeitlich oder räumlich eingegrenzt werden. Die Vielzahl an Gropfen deutet zusätzlich auf eine intensive Uferfischerei hin, die allen Gesellschaftsschichten erlaubt war und deswegen wohl beständig betrieben wurde. Gleichzeitig fand wahrscheinlich in denselben Gewässerbereichen ein intensiver Fang auf Jungfische statt, der durch die hohen Anteile der 0<sup>+</sup>-Generation ausgesuchter Indikatorarten belegt ist, aber den historischen Fischereiverordnungen zufolge vielerorts verboten war. In welchem Ausmaß der Jungfischfang bereits damals die Populationsstruktur und die Reproduktionsfähigkeit störte und somit eine Dezimierung der älteren Generationen verursachte, ist bisher kaum abschätzbar.

Allgemein kann über den Verbleib der großen Individuen im archäologischen Material nur gemutmaßt werden. Es stellt sich die Frage, ob der Fang von Adulttieren rechtlich stärker geregelt wurde, da ja der Fang und Verkauf von größeren Fischen vor allem den Berufsfischern zustand. Diese kapitalen Fischexemplare waren somit teuer und wohl nur für Mitglieder der wohlhabenden Gesellschaftsschichten erschwinglich.

Insgesamt lassen die schriftlichen und auch die archäologischen Quellen zunehmend erahnen, dass die menschliche Nutzung der aquatischen Ökosysteme bereits im Mittelalter einen negativen Einfluss auf die Gewässerqualität sowie auf die Fischbestände und damit auf das ökologische Potenzial der Gewässer hatte.

## Anmerkung

1) Obwohl im Rhein zwei neue Groppenarten entdeckt wurden (Freyhof/Kottelat/Nolte 2005), ist die taxonomische Einteilung insbesondere für die Schweizer Gewässer noch nicht vollends geklärt. In der stets aktualisierten Fischliste des Schweizerischen

Bundesamts für Umwelt sowie in der Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei, Anhang 1, wurde der wissenschaftliche Name *Cottus gobio* für die Groppe beibehalten und hier übernommen.

## Literatur

- Aeschbacher 1923: P. Aeschbacher, Die Geschichte der Fischerei im Bielersee und dessen Nebenflüssen. Heimatkd. Monogr. 1 (Bern 1923).
- Amacher 1996: U. Amacher, Zürcher Fischerei im Spätmittelalter. Realienkunde, Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Fischerei im Zürcher Gebiet. Mitt. Antiqu. Ges. Zürich 63 (Zürich 1996).
- 2006: U. Amacher, Geschichte der Fischer und der Fischerei im Mittelalter. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forsch. Augst 39 (Augst 2006) 95-105.
- Bünteli/Gamper/Lehmann 1999: K. Bünteli / R. Gamper / P. Lehmann, Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen. Zum 950. Jahr seiner Gründung am 22. November 1049. Schaffhauser Arch. 4 (Schaffhausen 1999).
- Bünteli/Höneisen 2006: K. Bünteli / M. Höneisen, Das Bürgerasyl in Stein am Rhein – Geschichte eines mittelalterlichen Spitals. Schaffhauser Arch. 7 (Schaffhausen 2006).
- Bar-Oz/Dayan/Kaufmann 1999: G. Bar-Oz / T. Dayan / D. Kaufmann, The Epipalaeolithic faunal sequence in Israel: a view from Neve-David. Journal Arch. Scien. 26, 1999, 67-82.
- Belpaire u. a. 2000: C. Belpaire / R. Smolders / I. Vanden Auweele / D. Ercken / J. Breine / G. Van Thuyne / F. Ollevier, An Index of Biotic Integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. Hydrobiologia 434, 2000, 17-33.
- Broughton u. a. 2011: J. Broughton / M. Cannon / F. Bayham / D. Byers, Prey Body Size and Ranking in Zooarchaeology: Theory, Empirical Evidence, and Applications from the Northern Great Basin. Am. Ant. 76/3, 2011, 403-428.
- Colwell 2009: R. K. Colwell, Biodiversity: Concepts, Patterns, and Measurement. In: S. A. Levin (Hrsg.), The Princeton Guide to Ecology (Princeton 2009) 257-263.
- Cruz-Urbe 1988: K. Cruz-Urbe, The use and meaning of species diversity and richness in archaeological faunas. Journal Arch. Scien. 15, 1988, 179-196.
- Egli 1909: J. Egli (Hrsg.), Eccardus IV. Sangallensis – Der Liber Benedictionum Ekkeharts IV.; nebst den kleineren Dichtungen aus dem Codex Sangallensis 393. Mitt. Vaterländ. Gesch. 31 = 4. F., 1 (St. Gallen 1909).
- Elsener 1951: F. Elsener (Hrsg.), Die Rechtsquellen des Kantons St. Gallen. 3. Teil: Rechte der Landschaft; 1. Band: Landschaft Gaster mit Wesen. Slg. Schweizer. Rechtsquellen 14, 3/1 (Aarau 1951).
- Freyhof/Kottelat/Nolte 2005: J. Freyhof / M. Kottelat / A. Nolte, Taxonomic diversity of European Cottus with description of eight new species (Teleostei: Cottidae). Ichthyol. Explor. Freshwater 16/2, 2005, 107-172.
- Gaudzinski/Street 2003: S. Gaudzinski / M. Street, Reconsidering hunting specialisation in the German Magdalenian faunal record. In: S. Costamagno / V. Laroulandie (Hrsg.), Mode de vie au Magdalénien: Apports de l'archéozoologie. Actes du XIV<sup>ème</sup> congrès UISPP, Université de Liège, Belgique, 2-8 septembre 2001, Section 6: Paléolithique Supérieur; colloque 6.4. BAR Internat. Ser. 1144 (Oxford 2003) 11-21.
- Gerster/Staub 1991: S. Gerster / E. Staub, Hochrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit. Schriftenr. Fischerei 49 (Bern 1991).
- Gonseth u. a. 2001: Y. Gonseth / T. Wohlgemuth / B. Sasonnens / A. Buttler, Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard. Umwelt-Mat. 137 (Bern 2001).
- Häberle 2009: S. Häberle, Die archäologischen Schlammreste aus zwei Basler Latrinen, Grabung 2008/3, Münsterplatz 19, Museum der Kulturen [unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel 2009].
- 2011: S. Häberle, Archäozoologische Reste aus einer hochmittelalterlichen Latrine in St. Gallen, Multergasse 1 [unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel 2011].
- in Vorb.: S. Häberle, Die archäozoologischen Schlammreste aus dem Ehgraben, Grabung Weesen Rosengärten 2006/2007. In: Homberger in Vorb.
- Häberle/Marti-Grädel 2006: S. Häberle / E. Marti-Grädel, Die Teichwirtschaft vom Mittelalter bis in die Frühe Neuzeit. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forsch. Augst 39 (Augst 2006) 149-159.
- Häberle u. a. 2008: S. Häberle / C. P. Matt / P. Vadorpe / Ö. Akeret, Esskultur im Hinterhof – Interdisziplinäre Auswertung einer mittelalterlichen Latrine, Grabung 2002/15, Schnabelgasse 6, Basel. Jahresber. Arch. Bodenforsch. Basel-Stadt 2008 (2010), 75-146.
- Häberle u. a. 2015: S. Häberle / B. T. Fuller / O. Nehlich / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Inter- and intraspecific variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> century AD). Environmental Arch. (2015). DOI: 10.1179/1749631414Y.0000000042. <http://dx.doi.org/10.1179/1749631414Y.0000000042>.
- Hammer/Harper/Ryan 2001: Ø. Hammer / D. A. T. Harper / P. D. Ryan, Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontol. Electronica 4/1 (2001). [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (18. 9. 2015).
- Heip/Herman/Soetaert 1998: C. H. R. Heip / P. M. J. Herman / K. Soetaert, Indices of diversity and evenness. Oceanis 24/4, 1998, 61-87.
- Hoffmann 2001: R. Hoffmann, Frontal food for late medieval consumers: culture, economy, ecology. Environment and Hist. 7/2, 2001, 131-167.
- Homberger 2008: V. Homberger, Ein neu entdecktes spätrömisches Kastell bei Weesen SG. Jahrb. Arch. Schweiz 91, 2008, 141-149.
- in Vorb.: V. Homberger, Das mittelalterliche Städtchen Alt-Weesen. Neubetrachtung anhand der Ausgrabungen Rosengärten und Speerplatz 2006-2008. Arch. Kt. St. Gallen (in Vorb.).

- Hörger/Keiser 2003: C. Hörger / Y. Keiser, Verbreitung und Habitatsansprüche der Fische in der Thur unter spezieller Berücksichtigung des Strömers (*Leuciscus souffia*) [unpubl. Diplomarbeit, Abt. Umweltnaturwiss., ETH Zürich 2003].
- Huet 1949: M. Huet, Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. Schweizer. Zeitschr. Hydrol. 11, 1949, 333-351.
- Hüster Plogmann 2003: H. Hüster Plogmann, Tierreste aus Schlammproben – Fische aus dem Fischerhaus. In: Springer 2003, 180-185.
- 2006: H. Hüster Plogmann, ... der Mensch lebt nicht von Brot allein. Gesellschaftliche Normen und Fischkonsum. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forsch. Augst 39 (Augst 2006) 187-199.
- Hüster Plogmann/Kühn 2013: H. Hüster Plogmann / M. Kühn, Fisch, Lamm und Pflaumen aus Latrinen und Gruben – Einblicke in Ernährung und Pflanzenwelt im mittelalterlichen Winterthur. Arch. Kt. Zürich 2, 2013, 75-118.
- Hüster Plogmann/Veszeli 2001: H. Hüster Plogmann / M. Veszeli, Die Tierknochen aus der Latrine des Wildensteinerhofs [unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel 2001].
- Hüster Plogmann/Kühn/Motschi 2004: H. Hüster Plogmann / M. Kühn / A. Motschi, Früh- und hochmittelalterliche Siedlungsreste in Zürich-Niederdorf. Beiträge von Archäobotanik und Archäozoologie. Jahrb. SGUF 87, 2004, 313-321.
- Hüster Plogmann/Stopp/Windler 2002: H. Hüster Plogmann / B. Stopp / R. Windler, Lamm, Gitzi und Fisch: Gehobene Esskulturen im 12. Jahrhundert. Wintherthurer Jahrb. 2003, 160-165.
- Hüster Plogmann u.a. 1998: H. Hüster Plogmann / Ch. Brombacher / G. Helmig / M. Klee / Ph. Rentzel / S. Rodel / M. Veszeli, ... und was davon übrig bleibt – Untersuchungen an einem mittelalterlichen Latrinenschacht an der Bäumleingasse 14. Arch. Bodenforsch. Kt. Basel-Stadt, Jahresber. 1998 (1999), 93-132.
- Jackson u.a. 2001: J. B. C. Jackson / M. X. Kirby / W. H. Berger / K. A. Bjornda / L. W. Botsford / B. J. Bourque / R. H. Bradbury / R. Cooke / J. Erlandson / J. A. Estes / T. P. Hughes / S. Kidwell / C. B. Lange / H. S. Lenihan / J. M. Pandolfi / C. H. Peterson / R. S. Steneck / M. J. Tegner / R. R. Warner, Historical Over Fishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. Science 293, 2001, 629-638.
- Jungwirth u.a. 2003: M. G. Jungwirth / O. Haidvogel / S. Moog / S. Muhar / S. Schmutz, Angewandte Fischökologie an Fließgewässern (Wien 2003).
- Küry/Heller 2005: D. Küry / M. Heller, Fischfauna St. Alban-Teich. Bewertung nach Modulstufenkonzept Fische Stufe F (Basel 2005).
- von Liebenau 1897: Th. von Liebenau, Geschichte der Fischerei in der Schweiz (Bern 1897).
- Marti/Meyer/Obrecht 2013: R. Marti / W. Meyer / J. Obrecht, Der Altenberg bei Füllinsdorf. Eine Adelsburg des 11. Jahrhunderts. Schr. Arch. Baselland 50 (Basel, Muttenz 2013).
- Marti-Grädel 2008: E. Marti-Grädel, Archäozoologische Untersuchungen der Tierknochen aus der Burgstelle Altenberg BL (11. Jh.) und aus früh- bis hochmittelalterlichen Siedlungen des Kantons Baselland (5.-12. Jh.): Wirtschafts- und Umweltgeschichte des Früh- und Hochmittelalters in der Nordwestschweiz [unpubl. Diss. Univ. Basel 2008].
- Müller 1989: L. Müller, Die Fischerei im spätmittelalterlichen Basel [unpubl. Lizentiat, Univ. Basel 1989].
- Muus/Dahlström 1990: B. J. Muus / P. Dahlström, Süßwasserfische Europas – Biologie, Fang, wirtschaftliche Bedeutung (München 1990).
- Oberdorff/Hughes 1992: T. Oberdorff / R. M. Hughes, Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. Hydrobiologia 228, 1992, 117-130.
- Partlow 2006: M. A. Partlow, Sampling Fish Bones: A Consideration of the Importance of Screen Size and Disposal Context in the North Pacific. Arctic Anthr. 43, 2006, 67-79.
- Rau 2010: C. Rau, Ökologische Erfolgskontrolle von Revitalisierungsmassnahmen an kleinen Bächen [unpubl. Diplomarbeit Univ. Tübingen 2010].
- Rehazek 2006: A. Rehazek, Tierknochen aus Speiseabfällen. In: Bäteli/Höneisen 2006, 143-150.
- Rehazek/Brombacher 1999: A. Rehazek / Ch. Brombacher, Umwelt und Ernährung – Untersuchung der Tier- und Pflanzenreste. In: Bäteli/Gamper/Lehmann 1999, 213-230.
- Rodel 2002: S. Rodel, Vorbericht über die Grabungen 2002 in der Schnabelgasse 6. Jahresber. Arch. Bodenforsch. Kt. Basel-Stadt 2002 (2003), 115-124.
- Rösch 1992: M. Rösch, Human impact as registered in the pollen record: some results from the western Lake Constance region, Southern Germany. Vegetation Hist. and Archaeobotany 1/2, 1992, 101-109.
- Schager/Peter/Göggel 2004: E. Schager / A. Peter / W. Göggel, Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). Mitt. Gewässerschutz 44 (Bern 2004).
- Schibler/Hüster Plogmann 1996: J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Tierknochenfunde aus mittelalterlichen Latrinen als Informationsquelle zur Wirtschafts-, Sozial-, Kultur- und Umweltgeschichte. In: P. Kamber / C. Keller, Fundgruben – stille Örtchen ausgeschöpft [Ausstellungskat.] (Basel 1996) 77-87.
- Schindler 2009: M. Schindler, St. Gallen, südliche Altstadt. Jahresber. Kantonsarch. St. Gallen 2009, 1-3.
- Schnell 1865: J. Schnell (Hrsg.), Rechtsquellen von Basel. 2: Landschaft. Sammlung Schweizer Rechtsquellen (Basel 1865).
- Simon-Muscheid 2006: K. Simon-Muscheid, Der Umgang mit Wasser im hohen und späten Mittelalter: Theoretische Kenntnisse und praktische Massnahmen zum Gewässerschutz. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forsch. Augst 39 (Augst 2006) 21-31.
- Springer 2003: A. Springer, Die Archäologie macht Kleinhüninger Dorfgeschichte. Eine interdisziplinäre Auswertung der Grabung Kleinhüningen-Fischerhaus (1999/47). Jahresber. Arch. Bodenforsch. Kt. Basel-Stadt 2003 (2005), 111-265.
- Straumann 2009: S. Straumann, 2008/3, Münsterplatz 19, Museum der Kulturen: Ausgrabungen und Funde im Jahr 2009: Münsterhügel. Jahresber. Arch. Bodenforsch. Kt. Basel-Stadt 2009 (2010), 32-34.
- Weber/Peter 2005: C. Weber / A. Peter, Steckbrief 10: Fische: ökologische Gilden. In: S. Woolsey u.a., Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Anhang I: Indikatorsteckbriefe. [www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/welcome.php](http://www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/welcome.php) (10.7.2015).
- Wouters 2009: W. Wouters, Osteological differences within the family of Cyprinidae. In: D. Mackowiecki u.a. (Hrsg.), Fishes – Culture – Environment. Through Archaeoichthyology, Ethnography & History. The 15<sup>th</sup> Meeting of the ICAZ Fish Remains Working Group (Poznan 2009) 197-198.
- Zaugg u.a. 2003: B. Zaugg / P. Stucki / J. C. Pedroli / A. Kirchhofer, Pisces: Atlas. Fauna Helvetica 7 (Neuchâtel 2003).

Zbinden/Pilotto/Durouvenoz 2004: S. Zbinden / J.-D. Pilotto / V. Durouvenoz (Bearb.), Biologie, Gefährdung und Schutz der Groppe (*Cottus gobio*) in der Schweiz. Mitt. Fischerei 77 (Bern 2004).

Zohar/Belmaker 2005: I. Zohar / M. Belmaker, Size does matter: methodological comments on sieve size and species richness in fishbone assemblages. Journal Arch. Scien. 32/4, 2005, 635-641.

### *Zusammenfassung / Summary / Résumé*

#### **Fischknochen als Indikatoren für Gewässerzustand und menschliche Fischselektion. Eine zusammenfassende Auswertung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus dem Rheineinzugsgebiet der Schweiz**

Diese zusammenfassende Untersuchung historischer Fischreste aus der Schweiz ergab bedeutsame Hinweise zum menschlichen Umgang mit Gewässern und deren Fischbeständen. So ist ein Zusammenhang zwischen Fischkonsum und gesellschaftlichem Status der Verbraucher zu erkennen, die archäologischen Fischreste spiegeln aber auch den Fangdruck auf die Fischbestände, die Veränderungen des Gewässerzustandes sowie die rechtlichen Regelungen der Fischerei wider. Es wurde vorwiegend Fisch aus lokaler Fischerei konsumiert. Insbesondere in den Fundstellen am Rhein kann ein Rückgang der sensitiven Fischarten im Laufe der Jahrhunderte beobachtet werden.

#### **Fish Bones as Indicators for Ecological Water Conditions and Anthropogenic Species Selection. An Overview of Medieval and Modern Samples from the Swiss Rhine Drainage Basin**

This comprehensive study of medieval and modern fish remains from archaeological sites in Switzerland provides insights into former aquatic ecology and socio-cultural aspects. Local fishing practices predominate, and there is a clear correlation between the consumer's social status and fish consumption. Fishing pressure, changes in water ecology and fishing regulations are also reflected in the species spectra. A decrease of sensitive fish species over the centuries becomes apparent, particularly in the studied sites on the Rhine.

#### **Os de poissons comme indicateurs de l'état des eaux et de la sélection de poissons par l'homme. Étude synthétique des restes de poissons du Moyen Âge et de l'époque moderne du bassin versant du Rhin en Suisse**

Cette étude approfondie consacrée aux restes de poissons du Moyen Âge et de l'époque moderne, provenant de Suisse, a livré des indices sur les écosystèmes aquatiques et les questions socio-culturelles. Ainsi, une diminution sensible des espèces a pu être observée au fil des siècles dans les tronçons étudiés du Rhin. La consommation de poisson dépendait vraisemblablement du statut social des consommateurs et on peut supposer une pêche essentiellement locale. L'étude des restes de poissons traduit également la pression de pêche, les changements de l'état de l'eau et les règlements de pêche.

### *Schlüsselwörter / Keywords / Mots clés*

Schweiz / Mittelalter / Neuzeit / Archäoichthyologie / Binnenfischerei / Paläoökologie / Ernährung  
Switzerland / Middle Ages / Modern times / archaeoichthyology / fishery / palaeoecology / diet  
Suisse / Moyen Âge / époque moderne / archéoichthyologie / pêche / paléoécologie / alimentation

**Simone Häberle**

**Jörg Schibler**

**Heide Hüster Plogmann**

Universität Basel

Integrative Prähistorische und Naturwissenschaftliche Archäologie

Spalenring 145

CH - 4055 Basel

simone.haerberle@unibas.ch

joerg.schibler@unibas.ch

heide.huester-plogmann@unibas.ch

**Wim Van Neer**

Operationele Directie Natuurlijk Milieu

Vautierstraat 29

B - 1000 Brussel

wwanneer@naturalsciences.be





# Carbon and nitrogen isotopic ratios in archaeological and modern Swiss fish as possible markers for diachronic anthropogenic activity in freshwater ecosystems



Simone Häberle<sup>a,\*</sup>, Olaf Nehlich<sup>b,c</sup>, Benjamin T. Fuller<sup>b,d,e</sup>, Jörg Schibler<sup>a</sup>, Wim Van Neer<sup>d,f</sup>, Heide Hüster Plogmann<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute for Prehistory and Archaeological Science (IPAS), University of Basel, Spalenring 145, CH-4055 Basel, Switzerland

<sup>b</sup> Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Deutscher Platz 6, D-04103 Leipzig, Germany

<sup>c</sup> Department of Anthropology, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

<sup>d</sup> University of Leuven, Laboratory of Biodiversity and Evolutionary Genomics, Ch. Debériotstraat 32, B-3000 Leuven, Belgium

<sup>e</sup> Department of Archaeology and Anthropology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

<sup>f</sup> Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Vautierstraat 29, B - 1000 Brussel, Belgium

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 25 March 2016

Received in revised form 7 October 2016

Accepted 17 October 2016

Available online xxxx

### Keywords:

Freshwater fish

Middle Ages

Stable isotope analysis

Archaeoichthyology

Water condition

Pollution

Human impact

## ABSTRACT

The aim of this study is to investigate isotopic variability in archaeological ( $n = 85$ ) and modern ( $n = 29$ ) freshwater fish specimens from Switzerland. Here, carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) stable isotope ratio analysis was performed on bone collagen samples of pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*), barbel (*Barbus barbus*), roach (*Rutilus rutilus*) and carp (*Cyprinus carpio*) from eleven archaeological (11th to 18/19th centuries CE) and modern sites. The archaeological vs. modern fish data revealed significant isotopic differences for pike, perch and barbel ( $\delta^{13}\text{C}$   $p \leq 0.03$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p \leq 0.008$ ), and provides possible evidence for a temporal change in Swiss aquatic ecosystems from Medieval to modern times. In comparison to archaeological fish ( $\delta^{13}\text{C}$  mean  $\pm$  SD;  $-23.3 \pm 1.6\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$  mean  $\pm$  SD;  $8.3 \pm 1.8\text{‰}$ ), the modern fish samples show decreased  $\delta^{13}\text{C}$  and increased  $\delta^{15}\text{N}$  values ( $\delta^{13}\text{C}$  mean  $\pm$  SD;  $-27.4 \pm 2.3\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$  mean  $\pm$  SD;  $12.5 \pm 4.1\text{‰}$ ) that can be associated with anthropogenic effects: fossil fuel combustion, deforestation and organic waste in the form of sewage and fertilizers. The isotopic signatures of archaeological fish remains indicate a local fishery practice, but also the exploitation of distant fishing grounds and freshwater fish transportation. Furthermore, a diachronic isotopic trend is observed in young perch from sites in Basel, dating between the 12th and 15/16th centuries CE, and the isotopic data from the Rhine freshwater fish (18/19th century CE) suggests that a significant shift in the river's trophic state was possibly caused by organic pollution from urban and industrial wastewater. This retrospective research illustrates possible natural processes and human activities which can cause differences in fish stable isotope data and highlights the ability to elucidate changes in past bodies of water. Furthermore, this study provides an interpretative framework for additional palaeoenvironmental studies and modern restoration projects focused on freshwater ecosystems.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Stable isotope ratio analysis has become an important tool to examine ecological processes and anthropogenic impact on modern freshwater ecosystems and fish stocks in lakes and rivers (e.g. Macko and Ostrom, 1994; Kendall et al., 2007; Gladyshev, 2009). Past studies have found that freshwater fish carbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) isotope values of muscle tissue, bone and scales can act as important bio-indicators that reflect the ecological water conditions and the input of contaminants (e.g. Harvey and Kitchell, 2000; Lake et al., 2001; Perga

and Gerdeaux, 2003; Miller et al., 2010). While it is clear that isotopic studies provide invaluable information about modern ecological processes, only a handful of studies have addressed these topics in prehistoric or historic freshwater ecosystems (e.g. Dufour et al., 1999; Van Neer et al., 2009; Miller et al., 2010; Fuller et al., 2012). Thus, it is still unclear to what extent humans have influenced freshwater fish stocks and aquatic environments in the past. This is especially true for early modern, Medieval and Roman periods, where possible human impact on aquatic ecosystems is assumed to have occurred (e.g. Van Neer et al., 2009).

One approach to evaluate past aquatic environments with archaeozoological material is to reconstruct the species composition of the fish stocks populating a body of water at a specified time. A shift

\* Corresponding author.

E-mail address: [simone.haerberle@unibas.ch](mailto:simone.haerberle@unibas.ch) (S. Häberle).

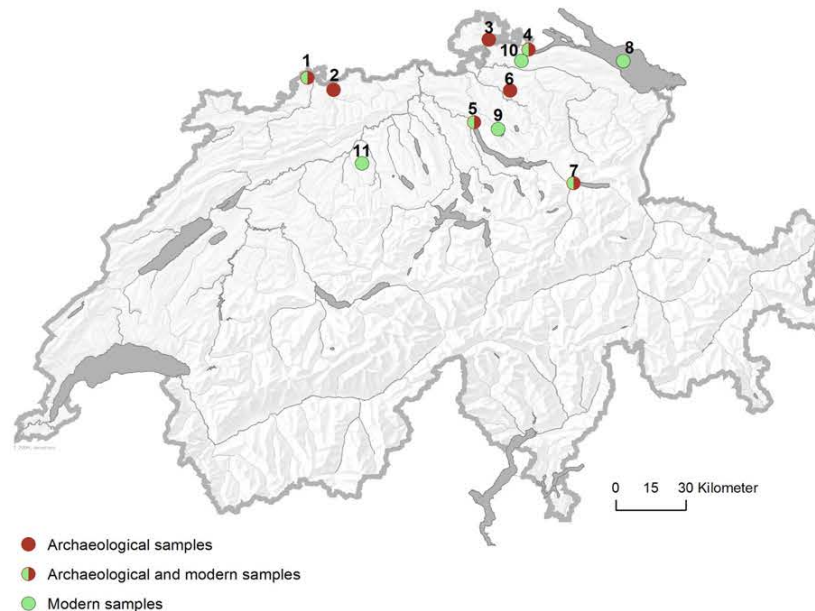
from sensitive to more tolerant fish species may indicate a change in water condition (Van Neer et al., 2009; Van Neer and Ervynck, 2010). Indeed, such a decrease in the sensitive freshwater fish species spectra has been detected at numerous archaeological sites of the Rhine drainage basin in Switzerland (Basel, Stein am Rhein, Schaffhausen, Winterthur; c.f. Fig. 1; Häberle et al., 2015). This decline in indicator species including several salmonids (Salmonidae), barbel (*Barbus barbus*) and bullhead (*Cottus gobio*) occurred at minimum, from the 14th to 19th centuries CE and suggests the possibility that there was increased anthropogenic impact on fish and water systems during this time. Although Medieval written records reveal evidence of coeval human interference in Swiss water bodies (Amacher, 1996; Simon-Muscheid, 2006), a further methodological approach, the analysis of stable isotope signatures of freshwater fish, was undertaken here in order to better understand the archaeozoological data. This study was performed on archaeological pike (*Esox lucius*), perch (*Perca fluviatilis*), barbel (*Barbus barbus*), roach (*Rutilus rutilus*) and carp (*Cyprinus carpio*) from sites of the Rhine drainage basin, dating between the 11th–19th centuries CE (Fig. 1). Due to the fact that modern fish isotopic values can detect alterations in water systems (Macko and Ostrom, 1994; Brenner et al., 1999; Lake et al., 2001; Schlachter et al., 2005), a comparison of the archaeological fish isotope signatures with those obtained from modern freshwater fish species from the same region was performed to provide more information about the possible changes in aquatic environments from the Medieval period onwards.

## 2. Isotopic analysis of archaeological and modern freshwater fish: opportunities and limitations

Many factors can account for the different isotopic signatures of modern and archaeological freshwater fish, and these will be briefly addressed in this section. Variations are caused by spatial (e.g. benthic-pelagic gradients) or temporal differences (e.g. seasonal shifts) in aquatic ecosystem as well as by differences in fish feeding habits and fish habitats, a change in primary production levels or even by organic pollution (c.f. Cabana and Rasmussen, 1994; McClelland et al., 1997; Lake et al.,

2001; Vander Zanden and Rasmussen, 1999; Grey et al., 2000; Perga and Gerdeaux, 2003; Schlachter et al., 2005; Gu et al., 2011; Miller et al., 2010; Morrissey et al., 2012; Thibodeau et al., 2013). Several studies on modern fish confirm the relationship between  $^{15}\text{N}$ -enriched values and the input of organic pollutants like sewage and fertilizers that change the trophic state or condition of the water (Macko and Ostrom, 1994; Brenner et al., 1999; Lake et al., 2001; Schlachter et al., 2005). For archaeological fish, the exploration of anthropogenic pollution in past aquatic ecosystems with stable isotope analysis is a promising avenue of research, when combined with available historical records, archaeological and archaeoichthyological information (e.g. Van Neer et al., 2009; Miller et al., 2010; Fuller et al., 2012).

Other factors influencing  $\delta^{15}\text{N}$  values in both modern and archaeological fish, are age and size related trophic level effects (e.g. DeNiro and Epstein, 1978; Schoeninger and DeNiro, 1984; Hansson et al., 1997; Szpak et al., 2012; Häberle et al., 2016). These effects can result in higher mean  $\delta^{15}\text{N}$  values of the larger and older fish specimens. Furthermore, the comparison of specimens with similar or identical niches from different water bodies can be complicated by the fact that water systems have specific isotopic signatures due to differences in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  inputs (c.f. Fry and Sherr, 1984; Finlay and Kendall, 2007). Disentangling these various factors presents a major challenge for modern and even more so for archaeological data. These problems are enhanced by the fact that studies of archaeological samples are limited by the availability of the archaeological record. Degradation and contamination is another common problem with archaeological fish remains (e.g. Szpak, 2011; Fuller et al., 2012; Häberle et al., 2016). In addition, even if the dating and location of the presented archaeological sites are well defined, determining freshwater fish provenance at archaeological sites is more difficult in comparison to modern fish, because specimens could originate from either local waters or have been transported from distant fishing grounds. For example, a historical source from the 12th century CE describes the transportation of whitefish from Lake Lucerne to Basel (about 110 km) by the order of the Provost of Basel (Müller, 1989). Additionally, some species could even come from fish ponds (especially carp, other cyprinids and pike) due



**Fig. 1.** Map of Switzerland with sites sampled in this study. Archaeological fish samples come from the following sites: 1 = Basel, Canton Basel-Stadt (5 sites); 2 = Füllinsdorf, Canton Basel-Landschaft (1 site); 3 = Schaffhausen; Canton Schaffhausen (1 site); 4 = Stein am Rhein, Canton Schaffhausen (1 site); 5 = Zürich, Canton Zürich (1 site); 6 = Winterthur, Canton Zürich (2 sites); 7 = Weesen, Canton St. Gallen (1 site). Modern fish samples come from the following locations: 1 = Rhine, Basel, Canton Basel-Stadt; 4 = Rhine, Stein am Rhein; Canton Schaffhausen; 5 = Lake Zürich, Zürich, Canton Zürich; 7 = Lake Walen, Weesen, Canton St. Gallen; 8 = Lake Constance; Altenrhein, Canton St. Gallen; 9 = Lake Greifen, Maur and Schwarzenbach, Canton Zürich; 10 = Lake Nussbaum, Canton Thurgau; 11 = Two artificial fish ponds in Pfaffenau, Canton Luzern and in Brittnau, Canton Aargau.

to the rise of freshwater fish cultivation in the Middle Ages (Aston, 1988). All of these circumstances can increase the variability of the isotopic values of freshwater fish from both modern and archaeological sites. Therefore, it is important to study the detailed context of the specimens and extra care is needed in the interpretation of the isotopic results of freshwater fish.

### 3. Material and methods

#### 3.1. Archaeological fish

Archaeological fish bones ( $n = 54$ ) from 12 sites in northern and eastern Switzerland were selected for study. Sample and site information are presented in Fig. 1 and Table 1. Fish remains were obtained by wet sieving sediment over a column of 4, 1 and 0.35 mm mesh size. Sieving, sorting, archaeozoological analysis and species identification was carried out at the Institute of Prehistory and Archaeological Science (IPAS), University of Basel, Switzerland (Hosch and Zibulski, 2003; Hüster Plogmann, 2006a). The species targeted for study included low trophic level feeders, i.e. barbel, roach and carp, and high trophic level feeders, i.e. pike and perch. The fish remains represent individuals of different age and size. Different skeletal elements, mostly vertebrae and head bones were used. To obtain sufficient bone collagen from small and young specimens, samples of several skeletal elements from the same closed stratigraphic context were compiled - a commonly applied method (Szapak et al., 2009; Fuller et al., 2012). Most fish bones were recovered from cess pits; only three assemblages come from refuse or other cultural layers (Burg Altenberg, Kleinhüningen Fischereihaus, Weesen). The selected sites date between the 11th to 18/19th centuries CE and the dating was made by typology (pottery, coins and artefacts) and/or radiocarbon measurement. In addition, to the samples presented here, the previously published isotopic data of 50 fish samples from ten of these sites (Häberle et al., 2016) is integrated into this study to produce a more complete dataset for analysis.

#### 3.2. Modern fish

Modern freshwater fish ( $n = 29$ ) were analysed from five Lakes: Constance, Zürich, Walen, Greifen and Nussbaum in northern and eastern Switzerland and from two different fishing locations in the River Rhine (Fig. 1, Table 2). These locations were selected due to their close proximity to the archaeological sites (<20 km). While Lakes Constance and Walen are oligo-mesotrophic, Lake Zürich is mesotrophic (pers. comm. M. Kunz, Swiss Federal Office for the Environment, FOEN), and Lake Greifen and Nussbaum is thought to reflect a eutrophic environment (pers. comm. A. Scholits, Amt für Umwelt, Canton Thurgau). In addition, the Rhine water quality (FOEN monitoring stations at Weil am Rhein and Stein am Rhein) was estimated as moderate to good by DOC (dissolved organic carbon), ammonium, nitrite, nitrate, phosphorous and phosphate concentrations. The same modern fish species as in the archaeological data set were chosen for analysis, using vertebrae and fin ray bone samples. Due to the established minimum legal size of modern fish, specimens were only obtained from individuals with a size >25 cm, except two samples obtained from 5 cm carp yearlings from an extensive cultivation pond (no addition of food, fertilizer or medication).

Some authors recommend a correction of the measured  $\delta^{13}\text{C}$  values because of the Suess effect (Suess, 1955; Keeling, 1979; Schloesser et al., 2009), and there exist many diverse approaches to do this (Friedli et al., 1986; Schelske and Hodell, 1995; Verburg, 2007). The Suess effect describes a relative decrease of atmospheric  $^{13}\text{C}$  levels caused by the increased input of lighter carbon ( $^{12}\text{C}$ ) from the burning of fossil fuels and the reduction of forest and soil carbon reservoirs over the last 150 years. In regard to inland freshwater ecosystems, the need to correct for the Suess effect is controversial (e.g. O'Reilly et al., 2005; Verburg, 2007). It is unknown, to what extent single samples are

affected by varying factors (e.g. size and depth of the lake/river, variations in surface fluctuations, lake inflow/outflow rate or riverine flow rate, vertical water mixing, organic matter inputs), and it is not inferable how strongly the Suess effect influences  $\delta^{13}\text{C}$  values of freshwater fish. Furthermore, it can be assumed that the Suess effect has accelerated in the last few decades. Therefore, an adjustment of the modern fish isotope values was not pursued in this study.

#### 3.3. Fish length determination

A length estimation of the archaeological fish was undertaken in order to determine life stage, feeding habits and habitat of a fish species (e.g. Barrett et al., 2011; Fuller et al., 2012; Robson et al., 2012). Therefore, the selected archaeological fish remains were compared with fish skeletons of known size from the reference collection (IPAS, University of Basel) in order to estimate the total length (TL) in centimeters: length from the tip of the snout to the tip of the longer lobe of the caudal fin. Furthermore, this method allows comparisons between the archaeological and modern fish, which were taken from individuals of known size. Archaeological and modern fish were assigned to one of five defined length classes: TL 1 = 5–10 cm, TL 2 = 10–20 cm, TL 3 = 20–30 cm, TL 4 = 30–50 cm, TL 5  $\geq$  50 cm.

#### 3.4. Isotopic analysis

Archaeological collagen extraction and isotopic analysis was conducted at the Department of Human Evolution, Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology in Leipzig, Germany, using the protocol outlined in Richards and Hedges (1999) and complemented by an additional ultrafiltration (cut-off >30 kDa) step (Brown et al., 1988). Previous work found a strong decline in collagen yield in samples with a starting mass < 20 mg (Häberle et al., 2016), therefore a starting mass > 20 mg was preferred. The extracted collagen was weighed into tin capsules and combusted in a Flash Elemental Analyzer (Flash EA 2212, Thermo-Finnigan® Bremen, Germany) coupled to a continuous-flow isotope ratio-monitoring mass-spectrometer (Thermo-Finnigan® Delta V Bremen, Germany).

Modern collagen preparation and isotopic measurement was performed at the Imprint-Analytics GmbH, Austria using the same collagen extraction method as described above, adding a lipid removal step due to the high lipid content of fresh fish bone (2:1 methanol/chloroform, e.g. Szpak, 2011; Fuller et al., 2012). ~0.5 mg of collagen was combusted online using a Eurovector 3000 elemental analyzer (HekaTech, Wegberg, Germany). The resulting  $\text{CO}_2$  and  $\text{N}_2$  was separated by Gas Chromatography (GC) and introduced into a Nu Horizon (Nu Instruments, Wrexham, UK) isotope-ratio mass-spectrometer via an open split and compared to pure  $\text{CO}_2$  or  $\text{N}_2$  reference gas.

The archaeological and modern results were obtained with a standard deviation of better than 0.2 per mille on the duplicates and long term monitoring with international standards (for more information on the standards see Supplementary Table A.1 and A.2). Results are scaled against VPDB and air for  $\text{d}^{13}\text{C}$  and  $\text{d}^{15}\text{N}$ , respectively.

#### 3.5. Statistics

It was tested if there were significant differences between stable isotope signatures of modern and archaeological fish bone samples, using a variance analysis (one-way ANOVA). To detect differences of stable isotope signatures from the different sites, a non-parametric analysis (Kruskal-Wallis and Mann-Whitney-U), and a linear regression analysis was applied. Statistical analysis was performed with PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis; Hammer et al., 2001) and Excel.



**Table 1**

Summary information and isotopic results from archaeological freshwater fish. Samples with sufficient collagen content and acceptable C:N are in bold type and previous published results from Hüberle et al. (2016) are shaded in grey. Individual sample details listed in Supplementary Table A.1.

Site/Locality/Canton	Code	Site number in Fig. 1	Time period (cen. AD)	Species	Total length class (TL)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C:N	
Allerheiligen, Schaffhausen, Canton Schaffhausen	SHA	3	11 <sup>th</sup> /12 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	3		no collagen	
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-22.1	10.8	3.7
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-20.9	8.9	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-24.9	9.4	3.1
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-21.4	9.6	3.2
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-23.3	7.9	3.5
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-23.2	8.3	3.4
Burg Altenberg, Füllinsdorf, Canton Basel-Land	AB	2	11 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-23.4	9.6	3.4
				Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-25.0	14.2	3.3
				Pike	<i>Esox lucius</i>	3	-23.2	9.0	3.5
				Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-24.7	13.9	3.2
				Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-25.1	14.2	3.4
				Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-23.3	9.3	3.5
				Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-21.6	9.1	3.5
				Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-24.5	8.9	3.5
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-23.9	8.3	3.5
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-22.0	8.6	3.4
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	-21.7	9.5	3.4
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	-21.7	9.5	3.4
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-21.7	9.4	3.4
Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-23.9	9.8	3.3				
Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-24.0	9.9	3.5				
Kleinhüningen Fischereihaus, Basel, Canton Basel-Stadt	KLFH	1	18 <sup>th</sup> /19 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-21.7	7.9	3.3
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-20.4	11.5	3.3
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-19.6	11.5	3.5
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-23.4	10.7	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-23.9	7.8	3.4
Museum der Kulturen, Basel, Canton Basel- Stadt	MKB	1	15 <sup>th</sup> /16 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-15.4	11.1	3.3
				Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-20.5	9.1	4.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.8	6.4	3.5
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.8	5.7	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.3	6.5	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.5	9.4	3.6
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.6	8.4	3.5
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-24.1	8.8	3.6
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	3	-24.0	8.1	3.7
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	3	-25.6	7.5	3.5
Reischacherhof, Basel, Canton Basel-Stadt	REI	1	17 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	3	-21.3	8.7	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-25.2	9.0	3.7
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-21.1	10.3	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-22.2	7.1	3.2
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	1	-24.2	8.7	3.6
				Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	3	-25.4	7.9	3.2
				Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	4	-26.7	6.8	3.4
Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	4	-25.7	7.6	3.4				
Schnabelgasse, Basel, Canton Basel-Stadt	SG	1		Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-24.3	7.1	3.8
				Pike	<i>Esox lucius</i>	3–5	-22.5	8.5	3.4
				Perch	<i>Perca</i>	1	-23.6	6.5	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.3	6.3	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.8	7.0	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.0	7.2	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.0	7.6	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.4	7.0	3.3
Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.9	5.9	3.3				

Schnabelgasse, Basel, Canton Basel-Stadt (continued)	SG	1	12 <sup>th</sup>	Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-23.6	6.6	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.2	7.8	4.1
				Perch	<i>fluviatilis</i>	1-2	-24.2	6.5	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-22.9	6.8	3.1
				Perch	<i>fluviatilis</i>	2	-23.7	6.0	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-23.7	5.8	3.5
				Perch	<i>Perca</i>	2	-23.8	6.5	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-23.0	6.6	3.5
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-25.6	6.8	3.8
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2		no collagen	
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2		no collagen	
				Barbel	<i>Barbus</i>	1	-22.1	7.6	3.1
				Barbel	<i>Barbus</i>	1	-22.8	6.9	3.4
				Barbel	<i>Barbus</i>	1	-22.6	7.4	3.3
				Barbel	<i>barbus</i>	1	-21.8	7.1	3.2
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	1	-21.3	8.0	3.2
				Barbel	<i>Barbus</i>	2	-21.9	7.1	3.5
				Barbel	<i>Barbus</i>	2	-22.7	8.0	3.3
				Barbel	<i>Barbus</i>	2	-21.7	8.3	3.3
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	2	-21.4	9.6	3.7
Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	-22.3	8.8	3.2				
Schöffelgasse, Zürich, Canton Zürich	ZHS	5	13 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	3		no collagen	
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1		no collagen	
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-25.0	8.1	3.4
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	0.0	5.8	0.0
Stein am Rhein, Canton Schaffhausen	STRH	4	13/14 <sup>th</sup>	Barbel	<i>Barbus barbus</i>	2	-24.6	7.4	3.6
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	1		no collagen	
Weesen, Canton St. Gallen	WEE	7	14 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-24.6	9.1	3.6
				Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-22.8	9.4	3.3
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	2	-24.1	5.3	3.5
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-23.3	7.3	3.2
				Perch	<i>Perca</i>	3	-23.0	7.9	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-24.1	7.8	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-23.2	8.9	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-22.0	9.3	3.4
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	>3	-23.3	8.0	3.3
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	2	-21.8	6.8	3.5
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	2	-22.9	7.5	3.4
				Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	3	-22.3	7.4	3.2
Wildensteinerhof, Basel- Stadt	WI	1	14 <sup>th</sup>	Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.3	7.3	3.2
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.5	9.4	3.6
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-25.2	7.7	3.6
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-24.5	8.2	3.8
Obere Kirchgasse, Wintherthur, Canton Zürich	WKG	6	12 <sup>th</sup>	Pike	<i>Esox lucius</i>	3	-23.5	8.4	3.8
				Pike	<i>Esox lucius</i>	3	-24.5	8.7	3.7
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-25.8	7.5	3.6
				Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1	-27.3	13.0	3.5
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	-25.5	9.9	3.2
				Barbel	<i>Barbus barbus</i>	4	-24.0	9.1	3.3
Obergasse, Winterthur, Canton Zürich	WOG	6	13 <sup>th</sup>	Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	1		no collagen	

## 4. Results

### 4.1. Archaeological fish isotopic signatures

A total of 35 out of 54 (65%) archaeological freshwater fish remains produced sufficient collagen with acceptable C:N between 2.9 and 3.6 as defined by DeNiro (1985). These 35 results were

then combined with the previously published isotope values ( $n = 50$ ) of Häberle et al. (2016) so that 85 specimens were available for interpretation (Table 1, Fig. 2). The  $\delta^{13}\text{C}$  values ranged between  $-27.3\text{‰}$  and  $-15.4\text{‰}$  (mean  $\pm$  SD;  $-23.3 \pm 1.6\text{‰}$ ), and the  $\delta^{15}\text{N}$  values ranged between  $5.3\text{‰}$  and  $14.2\text{‰}$  (mean  $\pm$  SD;  $8.3 \pm 1.8\text{‰}$ ) (Fig. 3 and Supplementary Table A.3). The range of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values is similar to other archaeological freshwater isotopic

**Table 2**

Summary information and isotopic results of modern freshwater fish. Individual sample details are listed in Supplementary Table A.2.

Catching site/nearby locality/Canton	Code	Site number in Fig. 1	River length km / lake surface area km <sup>2</sup>	Max. lake depth m	Species	Total length class (TL)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C:N	
(High-) Rhine, Stein am Rhein, Canton Schaffhausen	RSR	4	145		Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-26.0	12.2	3.0
(Upper-) Rhine, Basel, Canton Basel-Stadt	RBS	1	350		Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-26.1	11.7	3.1
					Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-23.8	14.3	3.6
Lake Constance, Altenrhein, Canton St. Gallen	LC	8	536	254	Barbel	<i>Barbus barbus</i>	5	-22.9	11.1	3.2
					Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-24.7	13.2	3.3
					Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-26.2	13.3	3.5
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	4	-24.8	10.1	3.2
Lake Zürich, Zürich, Canton Zürich	LZ	5	88	136	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-26.6	14.4	3.5
					Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-27.3	14.4	3.0
					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-27.8	14.1	3.6
					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-26.7	14.4	3.6
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	3	-27.8	11.8	3.5
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	4	-28.1	11.5	3.6
Lake Walen, Weesen, Canton St. Gallen	LW	7	24	150	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-26.3	8.1	3.1
					Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-24.9	8.5	3.3
					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-27.5	6.7	3.1
					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	3	-26.5	8.2	3.5
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	4	-23.4	4.0	3.6
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	4	-22.7	4.5	3.3
Lake Greifen, Maur, Canton Zürich	LG	9	8	34	Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-30.2	20.3	3.5
					Pike	<i>Esox lucius</i>	4	-29.7	20.1	3.3
Lake Greifen, Schwerzenbach, Canton Zürich					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-30.2	18.3	3.4
					Perch	<i>Perca fluviatilis</i>	4	-29.9	20.2	3.5
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	4	-25.1	13.5	3.6
					Roach	<i>Rutilus rutilus</i>	3	-27.0	12.9	3.4
Lake Nussbaum, Canton Thurgau	LN	10	0.3	3.9	Pike	<i>Esox lucius</i>	5	-27.7	15.5	3.0
Pond 1, Pfaffenau, Canton Luzern	POND 1	11	0.002	1	Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	1	-24.4	12.3	3.5
Pond 2, Brittnau, Canton Aargau	POND 2		0.005	1	Carp	<i>Cyprinus carpio</i>	1	-20.2	6.8	3.4

signatures (e.g. Grupe et al., 2009; Fuller et al., 2012). For both the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values, no significant diachronic trend was visible (Supplementary Fig. A.4.1). Furthermore, a Kruskal-Wallis-test revealed significant differences between the  $\delta^{13}\text{C}$  values (Kruskal-Wallis  $p = 0.010$ ), and between the  $\delta^{15}\text{N}$  values of the different archaeological sites (Kruskal-Wallis  $p = 0.000$ ). An additional pairwise Mann-Whitney-test revealed differences between the pairwise compared sites, in both  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values (Supplementary Table A.5).

#### 4.2. Modern fish isotopic signatures

All modern freshwater fish remains ( $n = 29$ ) produced sufficient collagen with acceptable C:N as defined by DeNiro (1985) (Table 2; Fig. 4). The  $\delta^{13}\text{C}$  values range between  $-32.0\text{‰}$  and  $-20.2\text{‰}$  (mean  $\pm$  SD;  $-27.4 \pm 2.3\text{‰}$ ; pike mean  $\pm$  SD of  $-27.1 \pm 1.8\text{‰}$ ; perch mean  $\pm$  SD of  $-28.1 \pm 1.5\text{‰}$ ; barbel mean  $\pm$  SD of  $-24.7 \pm 1.4\text{‰}$ ; roach mean  $\pm$  SD  $-26.4 \pm 2.8\text{‰}$ ; carp mean  $\pm$  SD of  $-22.3 \pm 2.1\text{‰}$ ) and do not show high heterogeneity. In contrast,

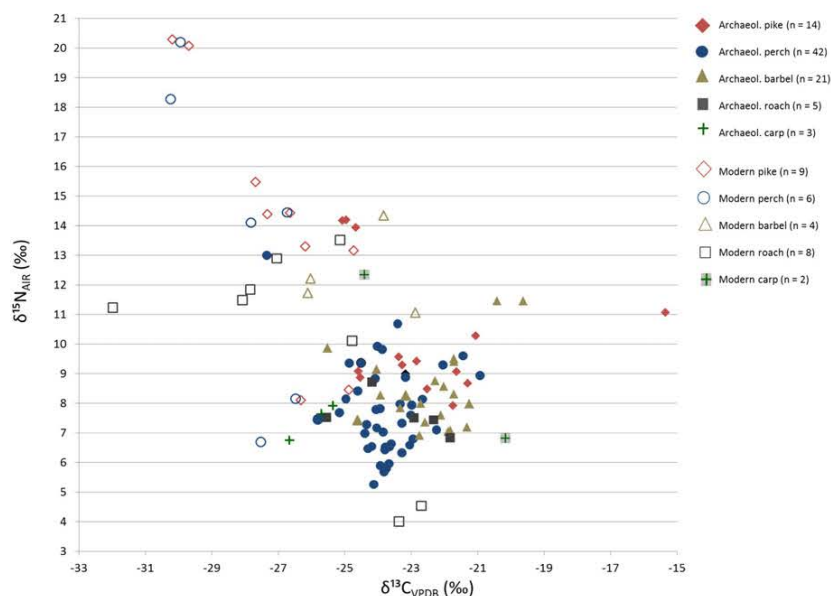
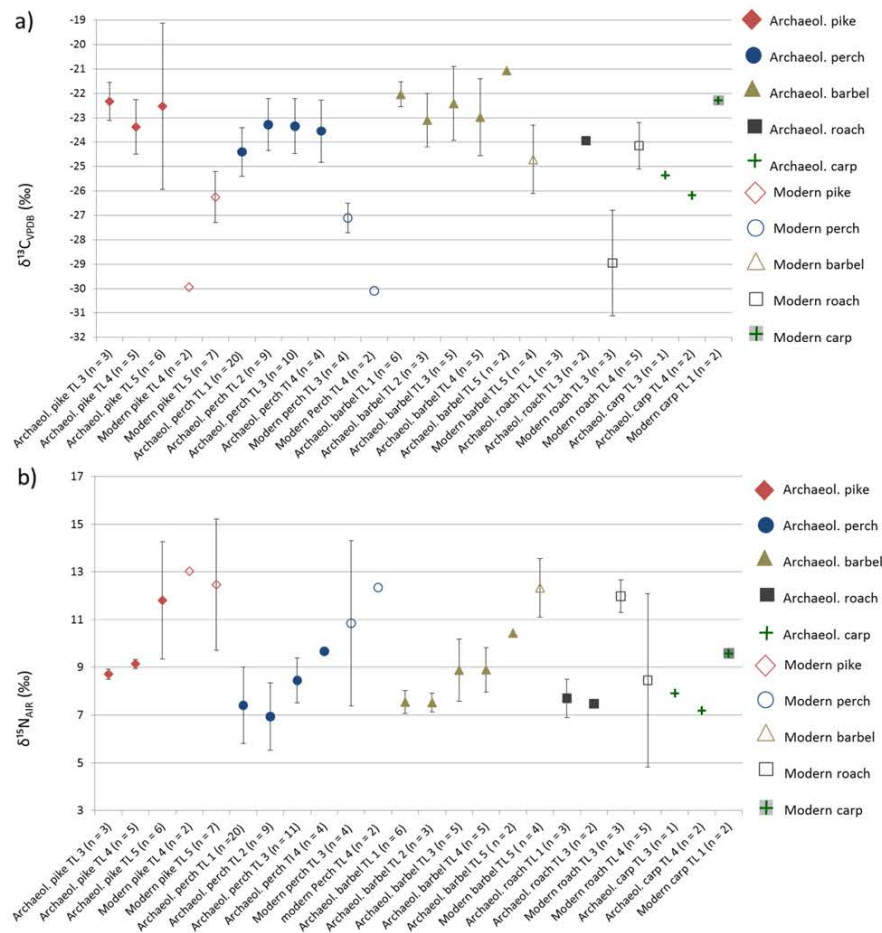


Fig. 2.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  results for 85 archaeological (solid) and 29 modern (open) fish species with acceptable C:N.



**Fig. 3.** a) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}C$  values and b) Mean  $\pm$  SD  $\delta^{15}N$  values of archaeological (solid) and modern (open) samples of the five sampled freshwater fish species classified by their length (TL 1–TL 5). Standard deviations are calculated for  $n \geq 2$ .

the  $\delta^{15}N$  values reveal a high variability, which is visible in the wide standard deviation. The  $\delta^{15}N$  values range between 4.0‰ and 20.3‰ (mean  $\pm$  SD;  $12.5 \pm 4.1\%$ ). A similar heterogeneity in carbon and nitrogen isotope values was detected in whitefish scales (*Coregonus* sp.) from 14 Swiss lakes ( $\delta^{13}C$  mean  $\pm$  SD of  $-27.0 \pm 2.8\%$  and  $\delta^{15}N$  mean  $\pm$  SD of  $12.3 \pm 4.0\%$ ; Perga and Gerdeaux, 2003). A Kruskal-Wallis-test confirms that both the  $\delta^{13}C$  ( $p = 0.004$ ) and  $\delta^{15}N$  ( $p = 0.005$ ) results from the different water bodies were significantly different, and this could be attributed to the different size, basin morphology and possible trophic state of the selected modern water systems. In addition, the modern fish samples are lower in  $\delta^{13}C$  and higher in  $\delta^{15}N$  values compared to the archaeological fish (Fig. 3).

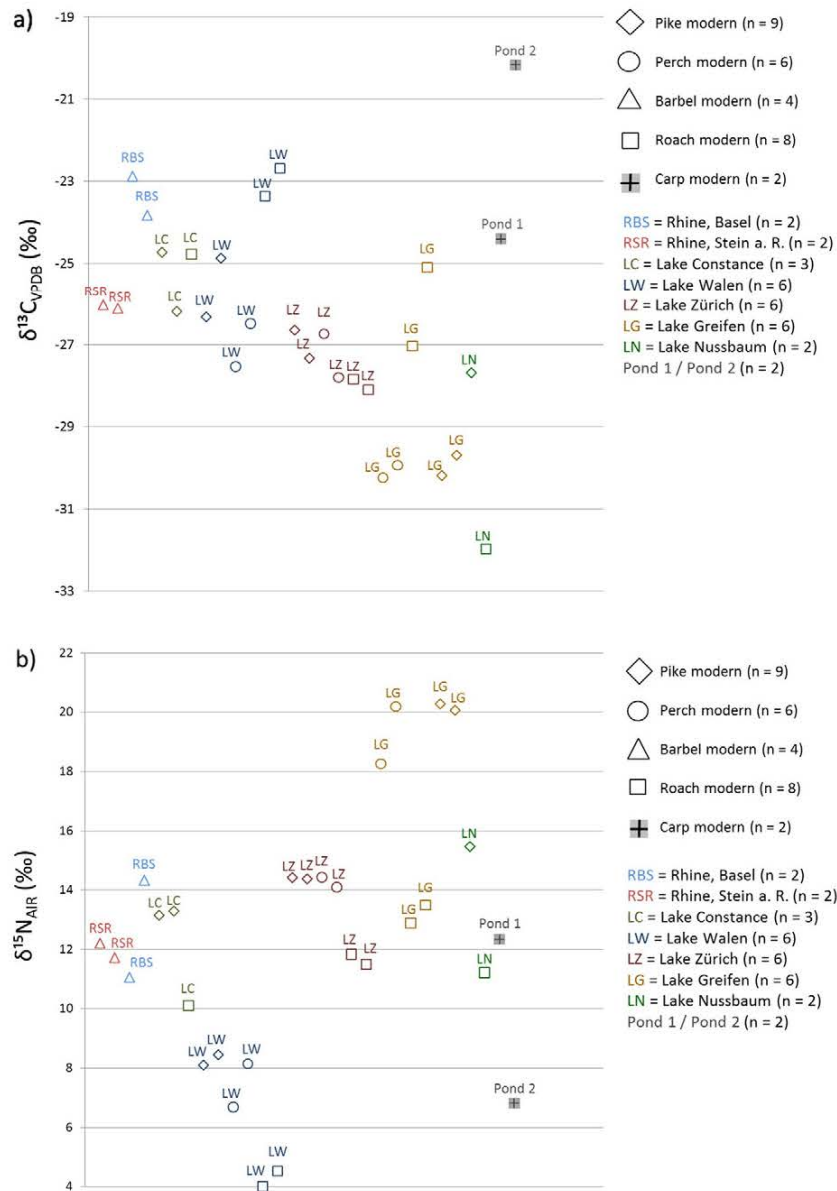
## 5. Discussion

### 5.1. Interpretation of isotopic signatures of archaeological fish

The archaeological freshwater fish show a large isotopic variability, possibly due to the above mentioned influencing factors. Thus, no temporal pattern was observed between the fish samples from the different archaeological sites (Supplementary Table A.4.1). Due to the age and size related trophic level effects, a separate analysis of the isotopic data from adult fish (TL 3–5) and young fish (TL1) was performed (note: fish samples from the TL 2 category were excluded because they are in a transition stage). Most of the young fish in the

archaeological dataset are perch which come from sites in Basel from different time periods, between the 12th and the 15/16th centuries CE (Fig. 5). These young specimens are assumed to be caught near Basel since they are less likely to migrate (c.f. Wang and Eckmann, 1994) and due to the fact that young freshwater fish would not have been transported over long distances by humans because of their fast perishability (e.g. Hüster Plogmann, 2006a, 2006b; Häberle et al., 2015). Furthermore, catching small freshwater fish was not part of professional fishing operations but a casual activity by individual households to add foods to the daily diet (e.g. Amacher, 1996; Häberle et al., 2010). This non-professional preservation of small amounts of fish was too costly and time consuming and not commercially lucrative, because of the small amount of flesh relatively to the amount of bone or other non-eatable body parts. Thus, it is reasonable to conclude that these smaller fish were eaten immediately after being caught and were not preserved for transportation. In contrast, for larger fresh specimens, an overland transport by horse within 150 km was possible (Hoffmann, 2001), and even greater distances were likely for large fish that were preserved. Thus, young fish can act as baseline indicators of the local isotopic environment as they have isotopic signals that correspond to approximately a year of life, a uniform diet and to a limited inhabited biotope whereas older specimens represent the average diet, habitat and even migration over the entire lifespan of an individual (Hesslein et al., 1993; Harrod et al., 2005).

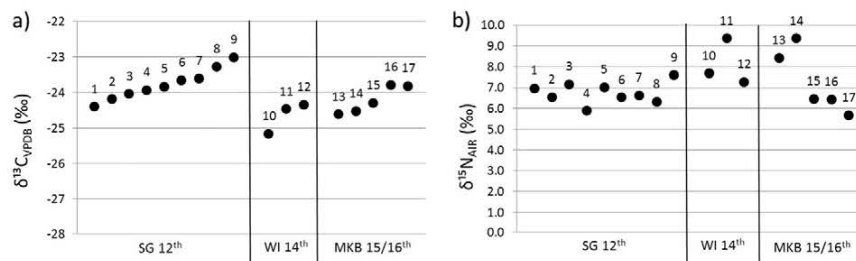
In this data set (Fig. 5), young perch from the oldest site of Schnabelgasse (SG) show significantly decreased  $\delta^{13}C$  values



**Fig. 4.**  $\delta^{13}C$  (a) and  $\delta^{15}N$  (b) results of modern pike, perch, barbel, roach and carp samples ( $n = 29$ ) with acceptable C:N. Modern samples are arranged as follows: River Rhine (RSR; RBS) – lakes (LC; LW; LZ; LG; LN) – ponds 1 and 2. Additionally, lakes and ponds are arranged according to trophic state.

(mean  $\pm$  SD;  $-23.8 \pm 0.4\text{‰}$ ) compared to the  $\delta^{13}C$  values of perch from Wildensteinerhof (WI) (mean  $\pm$  SD;  $-24.7 \pm 0.4\text{‰}$ ) and Museum der Kulturen (MKB) (mean  $\pm$  SD;  $-24.2 \pm 0.3\text{‰}$ ) (Kruskal-Wallis  $p =$

$0.034$ ), and this could indicate different catching grounds along the Rhine or one of its tributaries for these fish. In contrast, the  $\delta^{15}N$  values from SG (mean  $\pm$  SD;  $6.7 \pm 0.5\text{‰}$ ) cluster together, and perch from the



**Fig. 5.**  $\delta^{13}C$  (a) and  $\delta^{15}N$  (b) results of archaeological TL 1 perch from three sites in Basel: Schnabelgasse (SG), 12th century CE (individuals 1–9), Wildensteinerhof (WI), 14th century CE (individuals 10–12), and Museum der Kulturen (MKB), 15/16th century CE (individuals 13–17).

younger site of WI (mean  $\pm$  SD;  $-8.1 \pm 0.9\%$ ) and MKB are more scattered (mean  $\pm$  SD;  $7.3 \pm 1.4\%$ ). Even though there are no significant differences in the  $\delta^{15}\text{N}$  values ( $p = 0.138$ ) between these sites, it can be speculated that the nitrogen distribution pattern of the visible outliers from WI and MKB (individuals 10, 11, 13, 14) may indicate a change in water condition/quality near Basel. However, it is important to remember that variations in the  $\delta^{15}\text{N}$  values can also represent different feeding strategies or spatial variability in small biotopes.

A separate Kruskal-Wallis-test of the TL 3–5 pike, perch and barbel from different sites (only sites with  $n \geq 2$  fish samples were analysed: Allerheiligen (SHA), Burg Altenberg (AB), Kleinhüningen Fischereihaus (KLFH), Weesen (WEE), Obere Kirchgasse (WKG)) shows no differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values ( $p = 0.253$ ), while the  $\delta^{15}\text{N}$  values are significantly different ( $p = 0.0495$ ). This is possibly due to the different feeding habits of the three different fish species: adult pike and perch are piscivorous, whereas adult barbel feed mainly on molluscs and insects. When the three species are analysed separately, the statistical differences are no longer visible in the  $\delta^{13}\text{C}$  values for pike ( $p = 0.06$ ) and perch ( $p = 0.451$ ) and in the  $\delta^{15}\text{N}$  values of pike ( $p = 0.693$ ), perch ( $p = 0.127$ ) and barbel ( $p = 0.061$ ) even though it is assumed they were from different catching localities. This is possibly the result of the low number of samples studied. Only the  $\delta^{13}\text{C}$  values of the barbel show a difference ( $p = 0.044$ ), due to the two  $^{13}\text{C}$ -enriched KLFH individuals. Nevertheless, some archaeological TL 3–5 fish specimens with exceptional isotopic signatures exist (Supplementary Fig. A.4.2), and possible explanations for these outliers will be described below.

Compared to archaeological pike of the same size, three pike (TL 5) from AB (a castle of the 11th century CE) show increased  $\delta^{15}\text{N}$  and decreased  $\delta^{13}\text{C}$  values. In addition, these pike differ from the other pike at the same site (Fig. 6). Therefore, a provenance from a waterbody other than the Rhine, or even from a fish pond or an oxbow lake, and the transportation of these specimens to the site is possible (maybe as a part of the tribute system to the castle's inhabitants) (c.f. Häberle et al., 2015). Of exceptional interest is the discovery of a  $^{13}\text{C}$ -enriched ( $-15.4\%$ ) pike from the MKB site (15th/16th century CE). Freshwater can become  $^{13}\text{C}$ -depleted by changes in primary production of the carbon cycle or as a result of a gradient in  $^{13}\text{C}$  between marine and freshwater systems (Fry and Sherr, 1984; Fry, 2002; Harrod et al., 2005). Pike are flexible species in terms of habitat, and are able to live in brackish water zones (Muus and Dahlström, 1990). This could suggest that this individual originated much further downstream, possibly from the marine influenced Rhine estuary area. As pike do not migrate long distances (Muus and Dahlström, 1990), the human transport of this (likely preserved) individual from the 1000 km distant Rhine estuary area to Basel is a possible scenario (Pulsiano and Wolf, 1993). Furthermore, for predatory species such as pike a specific prey specialisation (fish, invertebrates, small mammals or waterfowl) and a shift from pelagic to littoral feeding habits can also cause changes in  $\delta^{13}\text{C}$  values (Maitland and Campbell, 1992; Beaudoin et al., 1999).

Samples from two sites along the Rhine show special  $\delta^{13}\text{C}$  values. Two perch (TL 3:  $-20.9$  and TL4:  $-21.4$ ) from SHA (11th/12th century CE) have slightly increased  $\delta^{13}\text{C}$  values like those of two barbel (TL 3:  $-19.6\%$  and TL 5:  $-20.4\%$ ) and like a single pike (TL 5:  $-21.7\%$ ) of KLFH (18th/19th century CE). Possible explanations for these different values include a variation in primary production levels (Wainright et al., 1993; Kiriluk et al., 1999; Perga and Gerdeaux, 2003), a provenance from different fishing grounds or a specific prey specialisation as mentioned above.

The two KLFH barbel (TL 3 and TL 5) from the 18th/19th centuries CE also exhibit increased  $\delta^{15}\text{N}$  values (Fig. 6c). Since this species is a low trophic level feeder that lives in fast running and oxygenated water (Muus and Dahlström, 1990), a provenance from a pond is not likely. Barbel show large individual movement patterns and can migrate over 300 km during their spawning season (c.f. Steinmann et al., 1937; Lucas and Batley, 1996). Therefore, a distant catching ground or ecological niche can be assumed but also a migrating specimen that was locally

caught could be possible (cf. Häberle et al., 2016). Nevertheless, short-term spatial changes should not influence the stable isotope signatures, and since this site dates from the era of industrialisation, a rise in organic pollution in the Rhine could also be possible, as was shown recently in other streams and rivers (cf. Diebel and Vander Zanden, 2009; Morrissey et al., 2012). During the 18th and 19th centuries the textile and chemical industries became prominent in Basel and the surrounding area, causing increased economic activity and a rise in population density (Degen and Sarasin, 2002). Under these circumstances high amounts of organic waste, sewage, and industrial wastewater was introduced into the Rhine and its tributaries. All these inputs may have altered the natural isotopic signatures of these waterways, but additional large scale studies are needed to confirm this possibility.

## 5.2. Comparison of the archaeological and modern fish

The archaeological and modern fish were mainly compared using the larger specimens (TL 3–TL 5). However, in the case of carp there are only two modern specimens with lengths of TL 1 that needed to be compared with the archaeological carp (TL 3–TL 4); keeping the possible size and age related trophic level effects in mind. The modern specimens of the investigated fish species have significantly decreased  $\delta^{13}\text{C}$  and increased  $\delta^{15}\text{N}$  values compared to their archaeological counterparts (Fig. 6). A statistical analysis of the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of archaeological and modern fish with lengths between TL 3 and TL 5 shows a significant difference in pike ( $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0.00$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.008$ ), perch ( $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0.00$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.006$ ) and barbel ( $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0.03$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.003$ ) (Supplementary Table A.6). This prominent isotopic shift between the archaeological and modern specimens suggests a temporal change in the aquatic ecosystems (Fig. 6). Thus, the significantly  $^{13}\text{C}$ -depleted values of these three species are likely caused by a change in the sources of carbon over time, possibly as a result of the human pollution for fossil fuel combustion (Peterson and Fry, 1987; Macko and Ostrom, 1994; Brenner et al., 1999; Lake et al., 2001; Schlachter et al., 2005). Furthermore, the  $^{15}\text{N}$ -enriched values of the modern samples suggest an input of anthropogenic organic substances like sewage and fertilizers that are known to raise the trophic state and condition of the water (Macko and Ostrom, 1994; Brenner et al., 1999; Lake et al., 2001; Schlachter et al., 2005).

While direct comparisons between archaeological and modern fish specimens from different lakes can be complicated by possible isotopic differences between water systems, our results show some interesting patterns. The  $\delta^{15}\text{N}$  values of the archaeological pike and perch are most similar to the modern pike and perch from meso-oligotroph Lake Walen (Fig. 6a and b). These results could suggest constant feeding habits at similar trophic levels for these species over time or a re-oligotrophication phase in Lake Walen after a phase of eutrophication in the last centuries because of different water protection actions (FOEN, status reports 2016). In contrast, pike from SG, Reischacherhof (REI) and KLFH and one perch from KLFH show decreased  $\delta^{15}\text{N}$  values. These results are remarkable for high trophic level feeders, and could suggest low nutrient concentrations in the aquatic biotope or modifications in their feeding ecology due to a change in food supply. As the pike and perch of KLFH date to the era of industrialisation, a reduction of prey fish species due to water pollution and therefore a shift to a diet consisting of lower trophic organisms can be suggested (cf. Häberle et al., 2015).

In contrast, the modern pike and perch  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of eutrophic Lake Nussbaum and Lake Greifen differ the most from their archaeological counterparts likely due to the high content of organic matter as well as agricultural runoff and sewage input over the last 100 years (Liechti, 1994). In addition, deforestation in the areas around these lakes may account for the reduction of allochthonous (terrestrial) organic matter leading to decreased carbon isotope values. Such effects can be observed in forest streams for example, where various organisms show increased  $\delta^{13}\text{C}$  values caused by terrestrial input, from sources

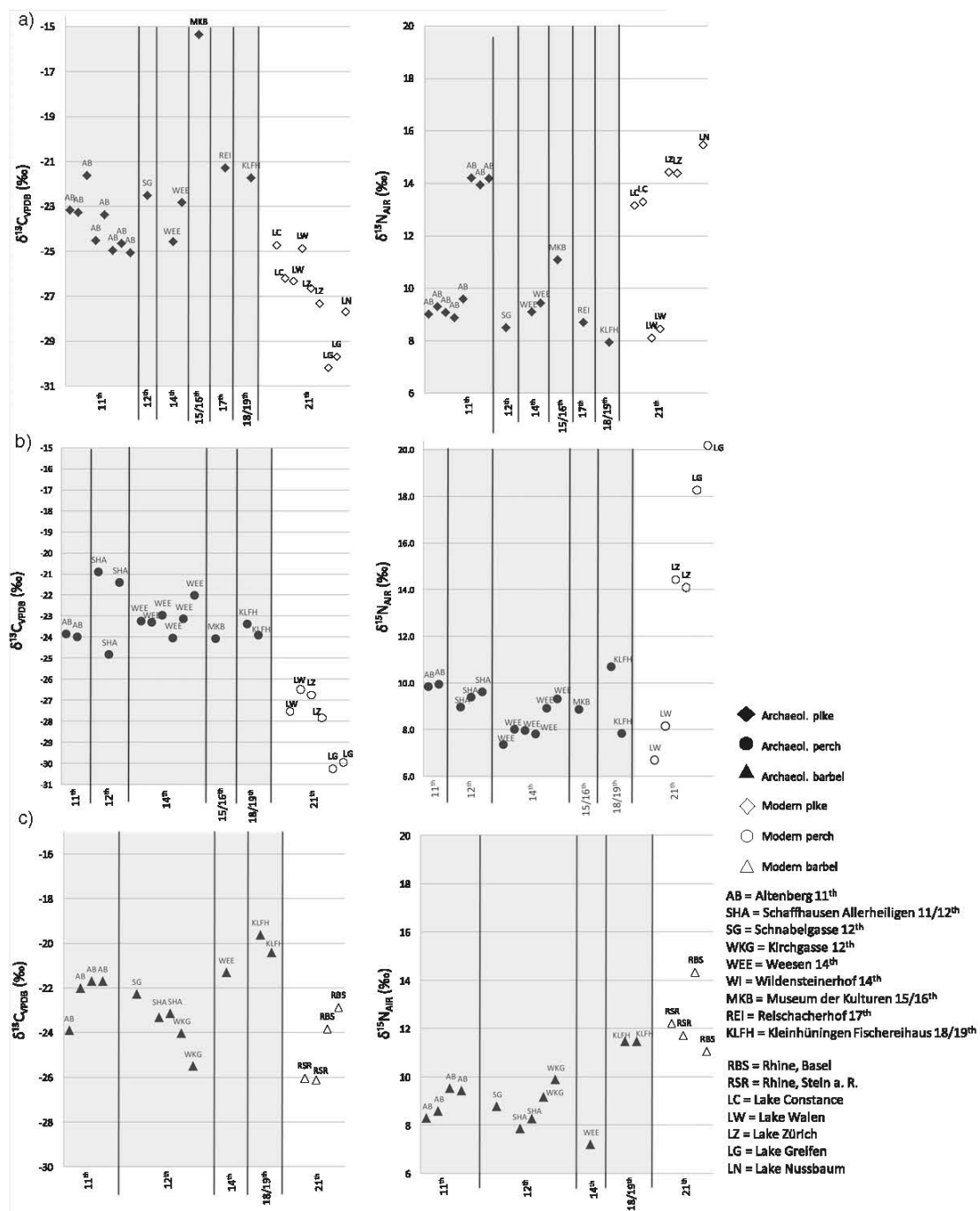


Fig. 6.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  results of archaeological and modern pike (a), perch (b), barbel (c) samples (TL 3–TL 5) diachronically plotted by archaeological site/catching site.

such as leaf litter and terrestrial invertebrates (c.f. Hicks, 1997; Finlay, 2001).

A comparison of the archaeological and modern barbel (TL 3–TL 5) shows that they have a wide range of  $\delta^{13}\text{C}$  values during both periods, even though all four modern specimens were caught in the Rhine (Fig. 6c). The  $\delta^{13}\text{C}$  differences between the modern barbel samples from the two Rhine catching sites could be caused by differing water velocity in those parts of the Rhine (cf. Trudeau and Rasmussen, 2003). Basel is situated at the slow-moving Upper-Rhine (between Basel, Switzerland and Bingen, Germany) and Stein am Rhein is located at the fast-running

High Rhine, the part of the Rhine from Lake Constance to Basel. One archaeological perch and two barbel from KLFH, dating from the era of industrialisation (18th/19th centuries), show the most  $^{15}\text{N}$ -enriched signatures and cluster with the modern samples mirroring a change in the ecology of the Rhine water system from this time to the present; likely due to the input of urban waste (Brenner et al., 1999; Lake et al., 2001; Degen and Sarasin, 2002; Morrissey et al., 2012). As there were no sewage treatment plants until 1977, sewage flowed untreated into the Rhine and its tributaries until this time (Degen, 2002). Industrial wastewater from the chemical industry, existing in Basel since 1859,

was also deposited untreated into the river (Degen and Sarasin, 2002). It is possible that these anthropogenic inputs caused the increased  $\delta^{15}\text{N}$  values of the KLFH fish. However, many factors can influence  $\delta^{15}\text{N}$  values (e.g. Diebel and Vander Zanden, 2009), and additional studies are required in the future.

Although the comparison between archaeological and modern roach ( $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0.329$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.385$ ) and carp ( $\delta^{13}\text{C}$   $p = 0.114$ ;  $\delta^{15}\text{N}$   $p = 0.386$ ) revealed no significant differences, the high intra-species variability in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of these cyprinid species is remarkable (Fig. 3). This variability is possibly caused by the high flexibility of carp and roach in their diet and habitat preference (Muus and Dahlström, 1990) or by their provenance from biotopes with different trophic states and water quality. Distinctly apparent are the decreased  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of the roach from Lake Walen (Table 2), likely due to the lakes re-oligotrophication.

Furthermore, archaeological carp from the REI site revealed different isotopic signatures in comparison to the modern carp from the two artificial ponds in Pfaffenau and Brittnau (Fig. 2). The two archaeological carp from the early modern site of REI (16th/17th centuries CE) have relatively low  $\delta^{15}\text{N}$  values (6.8‰ and 7.9‰) and do not, as expected, reflect a nutrient-rich artificial pond environment, even though this non-endemic species was an important pond fish in late Medieval times (e.g. Hoffmann, 1995; Benoit et al., 2004). These results may be related to the multitude of possible carp cultivation systems (closed ponds, mill races, moats or open ponds with fresh water supply through a connection to a river or lake; c.f. Amacher, 1996; Benoit et al., 2004) that can lead to different isotopic signatures in cultured carp. In addition, the variable diet of cultured carp is an important factor to consider (Muus and Dahlström, 1990). Carp feed on benthic invertebrates and plants but can become primarily herbivorous (Muus and Dahlström, 1990). Therefore, the low  $\delta^{15}\text{N}$  results suggest the archaeological carp fed mainly on plant material. The two modern and smaller carp (TL 1) do not show significantly lower isotopic values, likely due to agricultural runoff from the surrounding area. Furthermore, these two individuals have very different  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values, even though they originate from two neighbouring fish ponds (7.2 km apart). In both ponds, no food or fertilizer was added that could have changed the carp isotopic signatures. Thus, a possible explanation might be that for pond 1, a stronger accumulation of organic mud and detritus is documented that might account for the  $^{15}\text{N}$ -enriched values (pers. comm. Manfred Steffen, Swiss association KarpfenPurNatur).

## 6. Conclusions

The detection and control of anthropogenic pollution in aquatic environments is a major challenge for ecological projects focused on the environmental protection of modern waterways. Currently, it is not exactly known how strong the impact of pollution was on aquatic ecosystems in Switzerland during different historical periods. The results presented here illustrate that comparative isotopic studies of archaeological and modern freshwater fish can make substantial contributions to understanding changes in modern and past aquatic ecosystems.

We observed significant differences between archaeological and modern fish (TL 3–TL 5) isotope signatures, which are most likely a result of human impact by urban and agricultural activities (e.g. input of sewage, industrial wastewater, fertilizer, fossil fuel combustion and deforestation). So far, the limited archaeological data from the Rhine water systems allows the conclusion that noticeable human water pollution can be traced back to at least the era of industrialisation in 18th/19th centuries CE. In addition, differences in isotopic values of small perch (TL 1) from three sites in Basel and a decrease in abundance of sensitive fish species (salmonids, barbel, bullhead) from the 14th century CE onwards in the fish spectra of several studied sites in Basel (Häberle et al., 2015) suggests that a change in water condition possibly started much earlier. However, caution is needed in the interpretation of these results as many factors can cause the high isotopic variability observed

between the Medieval and modern periods. Therefore, careful consideration of all the available evidence: historical records, archaeological information, archaeoichthyological and isotopic results are needed to fully understand the past ecology of fish species and their palaeo-environment. The development of larger and more detailed diachronic isotopic studies comparing archaeological and modern fish remains from single sites, and the incorporation of multiple species at various life stages will build upon the work presented here and provide important information for palaeo-environmental and conservation projects.

## Acknowledgements

A special grateful thank to Michael P. Richards, Lysann Raedisch and Annabell Reiner from Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology Leipzig, Germany, for sample preparation and stable isotope measurements. Guido Lassau, Archäologische Bodenforschung Basel-Stadt and Martin Schindler, Kantonsarchäologie St. Gallen and Markus Höneisen, Kantonsarchäologie Schaffhausen are thanked for granting permission to sample freshwater fish bones from their archaeological archives and their expertise. We thank the fishing wardens Hans-Peter Jermann, Jörg Himmelberger, Kurt Keller, Patrick Wasen, the professional fishermen Adrian Gerny, Roger Welti, Andreas Zollinger and also Manfred Steffen (Swiss association KarpfenPurNatur) for providing modern freshwater fish for this study. Generous funding of this project was provided by the Swiss National Science Foundation (SNSF) (CR21I2\_144558), Freiwillige Akademische Gesellschaft Basel (FAG) and Stiftung Geschwister I & H. The contribution of Wim Van Neer to this paper presents research results of the Interuniversity Attraction Poles Programme – Belgian Science Policy. Benjamin T. Fuller acknowledges the financial support of the National Natural Science Foundation of China Research Fund for International Young Scientists (41550110224), and the Chinese Academy of Sciences International Visiting Scholar Fellowship (2016VBC002).

## Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.10.012>.

## References

- Amacher, U., 1996. *Zürcher Fischerei im Spätmittelalter. Realienkunde, Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Fischerei im Zürcher Gebiet*. Zürich, Rohr.
- Aston, M. (Ed.), 1988. *Medieval Fish, Fisheries and Fish Ponds in England*. B.A.R. British Series 182. England, Oxford.
- Barrett, J., Orton, D., Johnstone, C., Harland, J., Van Neer, W., Ervynck, A., Roberts, C., Locker, A., Amundsen, C., Bødker Enghoff, I., Hamilton-Dyer, S., Heinrich, D., Hufthammer, A.K., Jones, A.K.G., Jonsson, L., Makowiecki, D., Pope, P., O'Connell, T.C., de Roo, T., Richards, M., 2011. Interpreting the expansion of sea fishing in medieval Europe using stable isotope analysis of archaeological cod bones. *J. Archaeol. Sci.* 38:1516–1524. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.02.017>.
- Beaudoin, C.P., Tonn, W.M., Prepas, E.E., Wassenaar, L.L., 1999. Individual specialization and trophic adaptability of northern pike (*Esox lucius*): an isotope and dietary analysis. *Oecologia* 130, 386–396.
- Benoit, P., Lorient, F., Matteoni, O., 2004. *Pêche et pisciculture en eau douce: la rivière et l'étang au Moyen Age*, Actes des Rencontres internationales de Liessies, 27, 28 et 29 avril 1998 (Conference proceedings on CD).
- Brenner, M., Whitmore, T.J., Curtis, J.H., Hodell, D.A., Schelske, C.L., 1999. Stable isotope ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ) signatures of sedimented organic matter as indicators of historic lake trophic state. *J. Paleolimnol.* 22:205–221. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008078222806>.
- Brown, T.A., Nelson, D.E., Southon, J.R., 1988. Improved collagen extraction by modified Longin method. *Radiocarbon* 30, 171–177.
- Cabana, G., Rasmussen, J.B., 1994. Modelling food chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes. *Nature* 372:255–257. <http://dx.doi.org/10.1038/372255a0>.
- Degen, B., 2002. *Gesellschaft, Wirtschaft und Kultur im 19. und 20. Jahrhundert*. Stiftung Historisches Lexikon der Schweiz 2. Historisches Lexikon der Schweiz, pp. 47–56.
- Degen, B., Sarasin, P., 2002. *Verfassungsgeschichte und Staatstätigkeit seit der Kantonstrennung*. Stiftung Historisches Lexikon der Schweiz 2. Historisches Lexikon der Schweiz, pp. 43–47.
- DeNiro, M.J., 1985. Post mortem preservation and alternation of in vivo bone collagen isotope ratios in relation to palaeodietary reconstruction. *Nature* 317:806–809. <http://dx.doi.org/10.1038/317806a0>.



- DeNiro, M., Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 42, 495–506.
- Diebel, M.W., Vander Zanden, M.J., 2009. Nitrogen stable isotopes in streams: effects of agricultural sources and transformations. *Ecol. Appl.* 19:1127–1134. <http://dx.doi.org/10.1890/08-0327.1>.
- Dufour, E., Bocherens, H., Mariotti, A., 1999. Palaeodietary implications of isotopic variability in Eurasian lacustrine fish. *J. Archaeol. Sci.* 26:617–627. <http://dx.doi.org/10.1006/jasc.1998.0379>.
- Finlay, J.C., 2001. Stable carbon isotope ratios of a river biota: implications for energy flow in lotic food webs. *Ecology* 82:1052–1064. <http://dx.doi.org/10.2307/2679902>.
- Finlay, J.C., Kendall, C., 2007. Stable isotope tracing of temporal and spatial variability in organic matter sources to freshwater ecosystems. In: Michener, R., Lajtha, K. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, 2nd ed. Blackwell Scientific Publishers, Oxford, pp. 283–333 (Chapter 10).
- FOEN water reports, 2016. <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13483/14095/index.html?lang=en> (visited 23th September 2016).
- Friedli, H., Löffler, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., Stauffer, B., 1986. Ice core record of the  $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of atmospheric  $\text{CO}_2$  in the last two centuries. *Nature* 324, 237–238.
- Fry, B., 2002. Conservative mixing of stable isotopes across estuarine salinity gradients: a conceptual framework for monitoring watershed influences on downstream fisheries production. *Estuaries* 25:264–271. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02691313>.
- Fry, B., Sherr, E.B., 1984.  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.* 27, 13–47.
- Fuller, B.T., Müldner, G., Van Neer, W., Eryvnc, A., Richards, M.P., 2012. Carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis of freshwater, brackish and marine fish from Belgian archaeological sites (1st and 2nd millennium AD). *J. Anal. At. Spectrom.* 27:807–820. <http://dx.doi.org/10.1039/C2JA10366D>.
- Gladyshev, M.L., 2009. Stable isotope analyses in aquatic ecology (a review). *Journal of Siberian Federal University. Biology* 4 (2), 381–402.
- Grey, J., Jones, R.L., Sleep, D., 2000. Stable isotope analysis of the origins of zooplankton carbon in lakes of differing trophic state. *Oecologia* 123:232–240. <http://dx.doi.org/10.1007/s004420051010>.
- Grupe, G., Heinrich, D., Peters, J., 2009. A brackish water aquatic foodweb: trophic levels and salinity gradients in the Schlei fjord, Northern Germany, in Viking age and medieval times. *J. Archaeol. Sci.* 36:2125–2144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.05.011>.
- Gu, B., Schelske, C.L., Waters, M.N., 2011. Patterns and controls of carbon stable isotope composition of particulate organic matter in subtropical lakes. *Environ. Appl. Limnol.* 178:29–41. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-010-1888-6>.
- Hüberle, S., Matt, C., Vondorp, P., Akeret, Ö., 2010. *Esskultur im Hinterhof - Interdisziplinäre Auswertung einer mittelalterlichen Latrine, Grabung 2002/15, Schnabelgasse 6, Basel. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt. 2008* pp. 75–146.
- Hüberle, S., Schibler, S., Van Neer, W., Hüster Plogmann, H., 2015. Fischknochen als Indikatoren für Gewässerzustand und menschliche Fischselektion. Eine zusammenfassende Auswertung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus dem Rheineinzugsgebiet der Schweiz. *Archäologisches Korrespondenzblatt.* 45/3 pp. 417–437.
- Hüberle, S., Fuller, B.T., Nehlich, O., Van Neer, W., Schibler, J., Hüster Plogmann, H., 2016. Inter- and intraspecific variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11th – 19th centuries AD). *Environ. Archaeol.* 21 (2):119–132. <http://dx.doi.org/10.1179/1749631414Y.0000000042>.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4 (1). [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (Accessed 4 March 2014).
- Hansson, S., Hobbie, J.E., Elmgren, R., Larsson, U., Fry, B., Johansson, S., 1997. The stable nitrogen isotope ratio as a marker of food-web interactions and fish migration. *Ecology* 78:2249–2257. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[2249:TSNIRA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[2249:TSNIRA]2.0.CO;2).
- Harrod, C., Grey, J., McCarthy, T.K., Morrissey, M., 2005. Stable isotope analyses provide new insights into ecological plasticity in a mixohaline population of European eel. *Oecologia* 144:673–683. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0161-x>.
- Harvey, C.J., Kitchell, J.F., 2000. A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a Lake Superior food web. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 75, 1395–1403.
- Hesslein, R.H., Hallard, K.A., Ramlal, P., 1993. Replacement of sulfur, carbon, and nitrogen in tissue of growing broad whitefish (*Coregonus nasus*) in response to a change in diet traced by  $^{34}\text{S}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{15}\text{N}$ . *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:2071–2076. <http://dx.doi.org/10.1139/f93-230>.
- Hicks, B., 1997. Food webs in forest and pasture streams in the Waikato region, New Zealand: a study based on analyses of stable isotopes of carbon and nitrogen, and fish gut contents. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 31:651–664. <http://dx.doi.org/10.1080/00288330.1997.9516796>.
- Hoffmann, R., 1995. Environmental change and the culture of common carp in medieval Europe. *Guelph Ichthyol. Rev.* 3, 57–85.
- Hoffmann, R., 2001. Frontal food for late medieval consumers: culture, economy, ecology. *Environ. Hist.* 7 (2), 131–167.
- Hosch, S., Zibulski, P., 2003. The influence of inconsistent wet-sieving procedures on the macroremain concentration in waterlogged sediments. *J. Archaeol. Sci.* 30:849–857. [http://dx.doi.org/10.1016/S0305-4403\(02\)00263-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-4403(02)00263-7).
- Hüster Plogmann, H., 2006a. *Petri Heil den Archäologen und Osteologen!* In: Hüster Plogmann, H. (Ed.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forschungen in August* 39, pp. 203–206.
- Hüster Plogmann, H., 2006b. ...der Mensch lebt nicht vom Brot allein. *Gesellschaftliche Normen und Fischkonsum*. In: Hüster Plogmann, H. (Ed.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forschungen in August* 39, pp. 187–199.
- Keeling, C.D., 1979. The Suess effect:  $^{13}\text{C}$  carbon –  $^{14}\text{C}$  carbon interrelations. *Environ. Int.* 2, 229–300.
- Kendall, C., Elliott, E.M., Wankel, S.D., 2007. Chapter 12. Tracing Anthropogenic Inputs of Nitrogen to Ecosystems. In: Michener, R., Lajtha, K. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, 2nd ed. Blackwell Scientific Publishers, Oxford, pp. 375–449.
- Kiriluk, R.M., Whittle, D.M., Russell, R.W., Cabana, G., Rasmussen, J.B., 1999. Stable isotopic compositions of archived walleye (*Stizostedion vitreum*) tissues as a measure of historical changes in the food web dynamics of the western basin of Lake Erie. In: Munawar, M., Edsall, T., Munawar, I.F. (Eds.), *State of Lake Erie: Past, Present and Future*, pp. 469–479.
- Lake, J.L., McKinney, R.A., Osterman, F.A., Pruett, R.J., Kiddon, J., Ryba, S.A., Libby, A.D., 2001. Stable nitrogen isotopes as indicators of anthropogenic activities in small freshwater systems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58:870–878. <http://dx.doi.org/10.1139/f01-038>.
- Liechti, P., 1994. *Der Zustand der Seen in der Schweiz. BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) - Schriftenreihe Umwelt NR. 237*.
- Lucas, M.C., Batley, E., 1996. Seasonal movements and behaviour of adult barbel *Barbus barbus*, a riverine cyprinid fish: implications for river management. *J. Appl. Ecol.* 33 (6):1345–1358. <http://dx.doi.org/10.2307/2404775>.
- Macko, S.A., Ostrom, N.E., 1994. Pollution studies using stable isotopes. In: Michener, R., Lajtha, K. (Eds.), *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*, 1st ed. Blackwell Scientific Publishers, Oxford, pp. 45–62.
- Maitland, P.S., Campbell, R.N., 1992. *Freshwater Fishes*. 173. Harper Collins (New Naturalist Series), London, London.
- McClelland, J.W., Valeila, I., Michener, R.H., 1997. Nitrogen-stable isotope signatures in estuarine food webs: a record of increasing urbanization in coastal watersheds. *Limnol. Oceanogr.* 42:930–937. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1997.42.5.930>.
- Miller, M.J., Capriles, J.M., Hastorf, C.A., 2010. The fish of Lake Titicaca: implications for archaeology and changing ecology through stable isotope analysis. *J. Archaeol. Sci.* 37: 317–327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.09.043>.
- Morrissey, C.M., Boldt, A., Mapstone, A., Newton, J., S.J., O., 2012. Stable isotopes as indicators of wastewater effects on the macroinvertebrates of urban rivers. *Hydrobiologia* 700:231–244. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1233-7>.
- Müller, L., 1989. *Die Fischerei im spätmittelalterlichen Basel*. University of Basel, Master thesis.
- Muus, B.J., Dahlström, P., 1990. *Süßwasserfische Europas – Biologie, Fang, wirtschaftliche Bedeutung*. 6th ed. BLV, München.
- O'Reilly, C.M., Dettman, D.L., Cohen, A.S., 2005. Paleolimnological investigations of anthropogenic environmental change in Lake Tanganyika: VI. Geochemical indicators. *J. Paleolimnol.* 34:85–91. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-005-2399-z>.
- Perga, M.E., Gerdeaux, D., 2003. Using the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of whitefish scales for retrospective ecological studies: changes in isotope signatures during the restoration of Lake Geneva, 1980–2001. *J. Fish Biol.* 63:1197–1207. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1095-8649.2003.00239.x>.
- Peterson, B.J., Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 293–320. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.18.110187.001453>.
- Pulsiano, P., Wolf, K., 1993. *Medieval Scandinavia: An Encyclopedia*. 193. Taylor & Francis, Oxford.
- Richards, M.P., Hedges, R.E.M., 1999. Stable isotope evidence for similarities in the types of marine foods used by late Mesolithic humans at sites along the Atlantic Coast of Europe. *J. Archaeol. Sci.* 26, 717–722.
- Robson, H., Andersen, S., Craig, O., Fischer, A., Glykou, A., Hartz, S., Lübke, H., Schmölcke, U., Heron, C., 2012. Carbon and nitrogen isotope signals in eel bone collagen from Mesolithic and Neolithic sites in northern Europe. *J. Archaeol. Sci.* 39:2003–2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2012.01.033>.
- Schelske, C.L., Hodell, D.A., 1995. Using carbon isotopes of bulk sedimentary organic to reconstruct the history of nutrient loading and eutrophication in Lake Erie. *Limnol. Oceanogr.* 40, 918–929.
- Schlachter, T.A., Liddell, B., Gaston, T.F., Schlachter-Hoenlinger, M., 2005. Fish track-waste-water pollution to estuaries. *Oecologia* 144:570–584. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-005-0041-4>.
- Schloesser, R.W., Rooker, J.R., Louchchuoarn, P., Neilson, J.D., Secor, D.H., 2009. Interdecadal variation in seawater  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  recorded in fish otoliths. *Limnol. Oceanogr.* 54:1665–1668. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.2009.54.5.1665>.
- Schoeninger, S., DeNiro, M., 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 625–639.
- Simon-Muschaid, K., 2006. *Der Umgang mit Wasser im hohen und späten Mittelalter: Theoretische Kenntnisse und praktische Massnahmen zum Gewässerschutz*. In: Hüster Plogmann, H. (Ed.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden. Eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forschungen in August* 39, pp. 21–31.
- Steinmann, P., Koch, W., Scheuring, L., 1937. *Die Wanderungen unserer Süßwasserfische, dargestellt auf Grund von Markierungsversuchen*. Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften 35, 369–467.
- Suess, H., 1955. Radiocarbon concentration in modern wood. *Science* 122, 415–417.
- Zspak, P., 2011. Fish bone chemistry and ultrastructure: implications for taphonomy and stable isotope analysis. *J. Archaeol. Sci.* 38:3358–3372. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.07.022>.
- Zspak, P., Orchard, T.J., Gröcke, D.R., 2009. A Late Holocene vertebrate food web from southern Haida Gwaii (Queen Charlotte Islands, British Columbia). *J. Archaeol. Sci.* 36:2734–2741. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2009.08.013>.
- Zspak, P., Orchard, T.J., McKechnie, I., Gröcke, D.R., 2012. Historical ecology of late Holocene sea otters (*Enhydra lutris*) from Northern British Columbia: isotopic and Zooarchaeological perspectives. *J. Archaeol. Sci.* 39:1553–1571. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.006>.

- Thibodeau, B., Hélie, J., Lehmann, M.F., 2013. Variations of the nitrate isotopic composition in the St. Lawrence River caused by seasonal changes in atmospheric nitrogen inputs. *Biogeochemistry* 115:287–298. <http://dx.doi.org/10.1007/s10533-013-9834-4>.
- Trudeau, V., Rasmussen, J.B., 2003. The effect of water velocity on stable carbon and nitrogen isotope signatures of periphyton. *Limnol. Oceanogr.* 48:2194–2199. <http://dx.doi.org/10.4319/lo.2003.48.6.2194>.
- Van Neer, W., Eryvnc, A., 2010. Defining 'natural' fish communities for fishery management purposes: biological, historical, and archaeological approaches. In: Bruce, S. (Ed.), *Ecologies and Economies in Medieval and Early Modern Europe. Studies in Environmental History for Richard C. Hoffmann*. Brill, Leiden/Boston, pp. 193–223.
- Van Neer, W., Eryvnc, A., Fuller, B.T., Degryse, P., Wouters, W., 2009. Freshwaters fisheries in Belgium during medieval and postmedieval times: looking for markers for the onset of overfishing and pollution. In: Mackowiecki, D., Hamilton-Dyer, S., Riddler, L., Trzaska-Nartowski, N., Makohonienko, M. (Eds.), *Fishes – Culture – Environment. Through Archaeoichthyology, Ethnography & History*The 15th meeting of the ICAZ Fisch Remains Working Group, September 3–9, 2009. Poznań and Toruń, Poland. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 31–34.
- Vander Zanden, M.J., Rasmussen, J.B., 1999. Primary consumer  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  and the trophic position of aquatic consumers. *Ecology* 80:1395–1404. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1395:PCCANA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1395:PCCANA]2.0.CO;2).
- Verburg, P., 2007. The need to correct for the Suess effect in the application of  $\delta^{12}\text{C}$  in sediment of autotrophic Lake Tanganyika, as a productivity proxy in the Anthropocene. *J. Paleolimnol.* 34:591–601. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-006-9056-z>.
- Wainright, S.C., Fogarty, M.J., Greenfield, R.C., Fry, B., 1993. Long-term changes in the Georges Bank food web: trends in stable isotopic compositions of fish scales. *Mar. Biol.* 115:481–493. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00349847>.
- Wang, N., Eckmann, R., 1994. Distribution of perch (*Perca fluviatilis* L.) during their first year of life in Lake Constance. *Hydrobiologia* 277:135–143. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00007295>.

# Supplementary material Häberle u.a. 2016

**Supplementary material table A.1:** Isotopic results of 54 fish from Swiss archaeological sites (11th - 19th century CE). The data is listed by sites in alphabetical order. Results with poor C:N ratios are indicated in red. An estimation of body size is given using total length classes: TL 1 = 5-10 cm, TL 2 = 10-20 cm, TL 3 = 20-30 cm, TL 30-50 cm, TL 5 = > 50 cm. Every sample was measured in two subsamples a and b. S-EVA = lab code of Max Planck Institute of Evolutionary Anthropology. Reference gas was calibrated against certified standards from the IAEA and NIST and international standard throughout the whole run.

LAB-ID	Code	Species	Skeletal element	Total length class (TL)	Site/Canton	Time period (century AD)	Start mass (mg)	Mass into micro-tube (>30kDa) (mg)	collagen %	Sub-sample a/b	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	%C	%N	C:N	For more site information see references:		
28011	SHA 14	<i>Barbus barbus</i>	1 Articulare	3	Allerheiligen, Schaffhausen	11 <sup>th</sup> /12 <sup>th</sup> century	48	1.8	3.75	28011 a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Bänelli K., Gampar R. and Lehmann P., Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen, In: Schaffhauser Archäologie 4, 1999, Schaffhausen; Baudepartement des Kantons Schaffhausen, Kantonsarchäologie, Renausk A. and Brombacher C., Umwelt und Ernährung - Untersuchung der Tier- und Pflanzenreste, In: Bänelli K., Gampar, R. and Lehmann P., (Eds.), Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen, 1999, Schaffhauser Archäologie 4, Baudepartement des Kantons Schaffhausen; Kantonsarchäologie, Schaffhausen, 213-230.		
28012	SHA 15	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Quadratum	2			19.2	0.2	1.04	28012 a	-23.16	8.26	42.96	14.66	3.42		12.28	3.70
28013	SHA 16	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Postdentale	3			28.3	0.8	2.83	28013 a	-21.29	9.13	12.63	3.96	3.72		3.96	3.72
28014	SHA 17	<i>Barbus barbus</i>	1 Hyomanibulare	3	-	-	117.6	1.2	1.02	28014 a	-23.72	8.00	15.68	4.68	3.91	Mart R., Meyer W. and Obrecht J., Der Altenberg bei Füllinsdorf. Eine Adelsburg des 11. Jahrhunderts, Schriften der Archäologie Basel and SO, 2013, Schwabe Basel; Marti-Gödel E., Archäologische Untersuchungen der Tierknochen aus der Burgstelle Altenberg BL (11. Jh.) und aus fisch- bis hochmittelalterlichen Siedlungen des Kantons Basel und (5-12. Jh.): Wirtschaft und Unweltschichte des Früh- und Hochmittelalters in der Nordwestschweiz, 2008, (Unpublished Ph.D. Thesis, University of Basel).		
28015	SHA 18	<i>Esox lucius</i>	1 Vertebrae	3			26.4	0	0.00	28014 b	-23.33	7.85	18.96	6.23	3.55		-	
27992	AB 13	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Dentale	4			238.3	9	3.78	27992 a	-23.87	9.82	44.95	15.79	3.32		-	
27993	AB 14	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Keratohyale	4	Burg Altenberg, Basel-Land	11 <sup>th</sup> century	73.2	2.5	3.42	27993 a	-23.86	9.82	44.89	15.70	3.33	-		
27994	AB 15	<i>Esox lucius</i>	1 Cleithrum	4			59.9	2.7	4.51	27993 b	-24.17	9.92	44.16	14.37	3.58	-		
27995	AB 16	<i>Esox lucius</i>	1 Quadratum	4			53.5	2.2	4.19	27994 a	-23.32	9.31	43.80	14.06	3.50	-		
27996	AB 17	<i>Esox lucius</i>	1 Keratohyale	4	-	-	61.2	2.1	3.43	27994 b	-23.23	9.27	44.13	15.07	3.42	-		
27997	AB 18	<i>Barbus barbus</i>	1 Quadratum	3			58.1	2.6	4.48	27995 a	-21.72	9.02	47.70	15.63	3.56	-		
27983	KLF 8	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Vertebra	3			33	1.9	5.76	27995 b	-21.56	9.12	44.37	14.84	3.49	-		
27984	KLF 9	<i>Barbus barbus</i>	1 Os pharyngeus	3	Kleinmünzigen Fischereihaus, Basel-Stadt	18 <sup>th</sup> /19 <sup>th</sup> century	53	3.2	6.04	27996 a	-24.53	8.87	41.30	13.80	3.49	-		
27998	MKB 8	<i>Esox lucius</i>	1 Lepiothrichus	5			85.8	2.1	2.45	27996 b	-22.04	8.67	43.64	14.95	3.41	-		
27999	MKB 9	<i>Esox lucius</i>	1 Dentale	5			54.4	3.4	0.62	27997 a	-23.94	7.79	44.42	15.15	3.42	-		
28000	MKB 10	<i>Barbus barbus</i>	1 Keratohyale	3	Museum der Kulturen, Röllertshof Basel-Stadt	15 <sup>th</sup> /16 <sup>th</sup> century	11.4	0.2	1.75	27998 a	-20.43	8.25	6.44	1.77	4.23	-		
28001	MKB 11	<i>Percis fluviatilis</i>	2 Posttemporale, 2 Maxillare	3			16.9	0.3	1.78	27998 b	-19.66	11.44	39.07	13.03	3.50	-		
28003	MKB 13	<i>Rutilus rutilus</i>	1 Os pharyngeus	3			47.4	1.5	3.16	27999 a	-15.35	11.12	33.56	11.53	3.40	-		
28004	MKB 14	<i>Percis fluviatilis</i>	101 Vertebrae	1	-	-	72.2	1.1	1.52	27999 b	-20.43	8.25	6.44	1.77	4.23	-		
28018	REI 9	<i>Percis fluviatilis</i>	1 Dentale, 1 Vertebra	1			6.5	0.2	3.08	28000 a	-23.97	8.11	39.03	12.46	3.65	-		
28019	REI 10	<i>Rutilus rutilus</i>	1 Keratohyale, 1 Quadratum	1			15.8	0.6	3.80	28000 b	-24.09	8.83	23.46	7.67	3.57	-		
28020	REI 12	<i>Cyprinus carpio</i>	1 Vertebra	4	Reischacherhof, Basel-Stadt	16 <sup>th</sup> century	162.9	9.5	5.83	28003 a	-25.86	7.67	41.92	13.33	3.67	-		
28021	REI 13	<i>Cyprinus carpio</i>	1 Operculare	4			95.5	2.1	2.25	28003 b	-25.55	7.52	38.13	12.90	3.45	-		
28037	REI 11	<i>Cyprinus carpio</i>	1 Keratohyale	3			74.7	4.2	5.62	28004 a	-24.46	8.42	28.79	9.69	3.47	-		



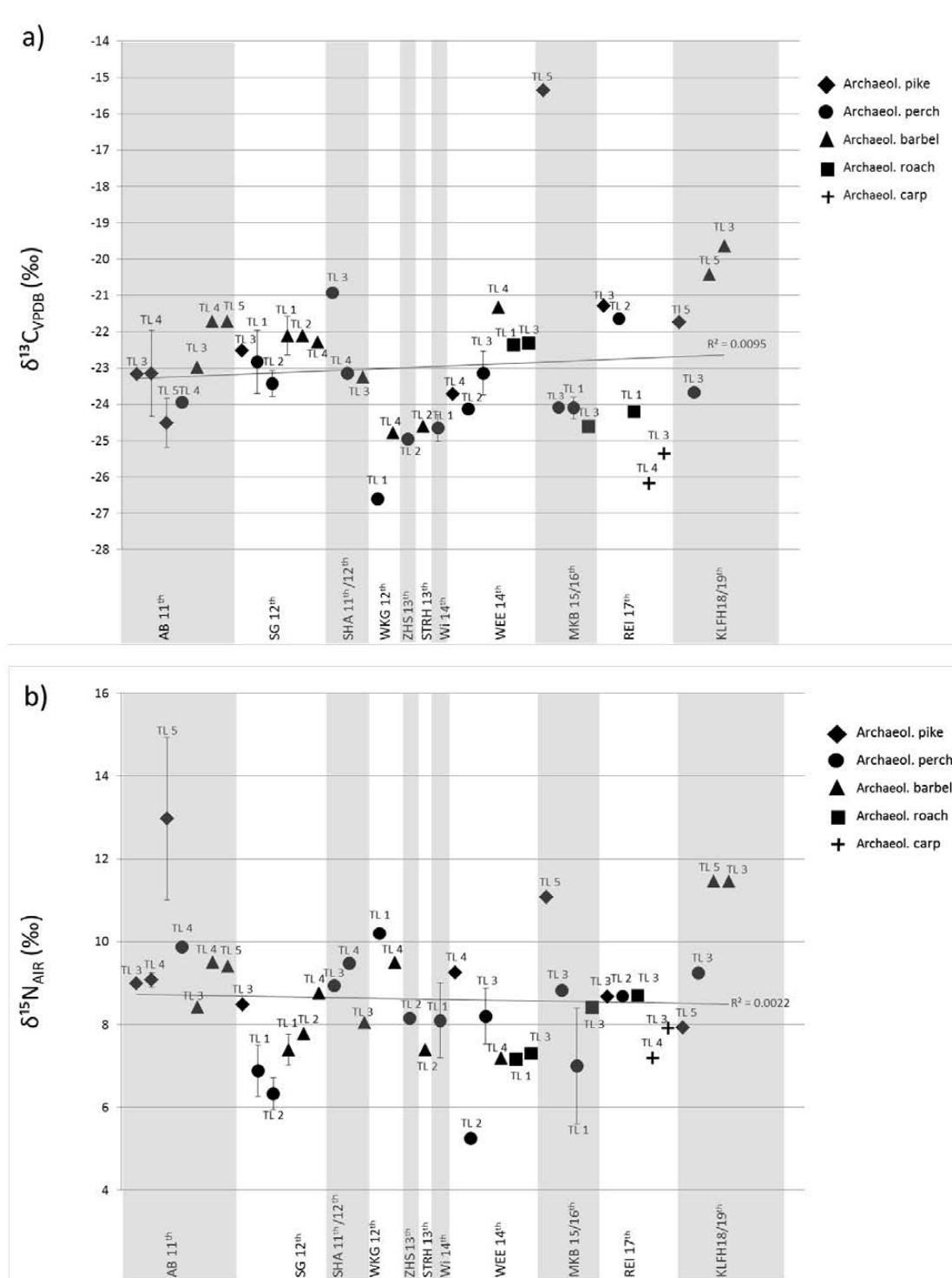
**Supplementary material table A.2:** Isotopic results from 29 modern fish from Swiss lakes and river Rhine. The data is listed by fish species in alphabetical order. An estimation of body size is given using total length classes: TL 1 = 5-10 cm, TL 2 = 10-20 cm, TL 3 = 20-30 cm, TL 4 = 30-50 cm, TL 5 = > 50 cm. Every sample was measured in two subsamples a and b. Imprint-Analytics ID = lab code of Imprint-Analytics GmbH. Reference gas was calibrated against certified standards from the IAEA and NIST and international standard (IAEA CH6, CH7, N1, N2, Bovine Liver, Caseine, Methionine) and monitored in each run the standard gas by using IAEA, NIST and international standard throughout the whole run.

Imprint-Analytics ID	S-Imprint Analytics	Submitter No.	Species	Skeletal Element	Total length class (TL)	Catching site	d13C	sd	d15N	sd	%C	%N	C:N
100.106/10	14474	RSR 1	<i>Barbus barbus</i>	Vertebra caudalis	5	Rhine, Stein am Rhein	-26.0	0.1	12.2	0.1	40.0	15.4	3.0
100.106/11	14475	RSR 2	<i>Barbus barbus</i>	Vertebra caudalis	5	Rhine, Stein am Rhein	-26.1	0.2	11.7	0.1	42.7	16.0	3.1
100.106/28	14492	RBS 2	<i>Barbus barbus</i>	Vertebra caudalis	5	Rhine, Basel	-23.8	0.0	14.3	0.3	44.7	14.7	3.6
100.106/29	14493	RBS 3	<i>Barbus barbus</i>	Vertebra caudalis	5	Rhine, Basel	-22.9	0.2	11.1	0.0	41.0	14.7	3.2
100.106/12	14476	K 4	<i>Cyprinus carpio</i>	Vertebra, lepidotrichus	1	Pond 1, Pfaffenau	-24.4	0.0	12.3	0.1	44.6	14.9	3.5
100.106/13	14477	K 6	<i>Cyprinus carpio</i>	Vertebra, lepidotrichus	1	Pond 2, Pfaffenau	-20.2	0.4	6.8	0.0	43.5	14.7	3.4
100.106/2	14466	LC 3a	<i>Esox lucius</i>	Vertebra caudalis	5	Lake Constance	-24.7	0.1	13.2	0.1	41.2	14.7	3.3
100.106/3	14467	LC 4	<i>Esox lucius</i>	Vertebra caudalis	5	Lake Constance	-26.2	0.2	13.3	0.1	42.8	14.3	3.5
100.106/4	14468	LG 1	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Greifen	-30.2	0.4	20.3	0.0	43.3	14.6	3.5
100.106/5	14469	LG 2	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Greifen	-29.7	0.2	20.1	0.0	41.8	14.6	3.3
100.106/14	14478	LN 1	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	5	Lake Nussbaum	-27.7	0.4	15.5	0.2	42.1	16.1	3.0
100.106/16	14480	LZ 1	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	5	Lake Zürich	-26.6	0.4	14.4	0.1	42.4	14.0	3.5
100.106/17	14481	LZ 2	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	5	Lake Zürich	-27.3	0.1	14.4	0.0	39.5	15.2	3.0
100.106/22	14486	LW 1	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	5	Lake Walen	-26.3	0.4	8.1	0.1	39.8	15.2	3.1
100.106/23	14487	LW 2	<i>Esox lucius</i>	Vertebra praecaudalis	5	Lake Walen	-24.9	0.4	8.5	0.0	42.2	14.9	3.3
100.106/6	14470	LG 4	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Greifen	-30.2	0.4	18.3	0.1	38.2	12.9	3.4
100.106/7	14471	LG 5	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Greifen	-29.9	0.0	20.2	0.1	44.1	14.5	3.5
100.106/18	14482	LZ 3	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Zürich	-27.8	0.2	14.1	0.4	43.8	14.0	3.6
100.106/19	14483	LZ 4	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Zürich	-26.7	0.4	14.4	0.3	43.1	14.0	3.6
100.106/26	14490	LW 6	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Walen	-27.5	0.1	6.7	0.5	43.4	16.3	3.1
100.106/27	14491	LW 7	<i>Perca fluviatilis</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Walen	-26.5	0.2	8.2	0.5	46.6	15.3	3.5
100.106/1	14465	LC 2a	<i>Rutilus rutilus</i>	Lepidotrichus	4	Lake Constance	-24.8	0.3	10.1	0.0	40.5	14.8	3.2
100.106/8	14472	LG 6	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Greifen	-25.1	0.2	13.5	0.1	45.2	14.6	3.6
100.106/9	14473	LG 7	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Greifen	-27.0	0.2	12.9	0.0	42.4	14.5	3.4
100.106/15	14479	LN 2	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Nussbaum	-32.0	0.5	11.2	0.2	40.8	15.4	3.1
100.106/20	14484	LZ 5	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	3	Lake Zürich	-27.8	0.4	11.8	0.1	43.1	14.4	3.5
100.106/21	14485	LZ 6	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Zürich	-28.1	0.1	11.5	0.0	44.4	14.3	3.6
100.106/24	14488	LW 4	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Walen	-23.4	0.4	4.0	0.0	43.8	14.3	3.6
100.106/25	14489	LW 5	<i>Rutilus rutilus</i>	Vertebra praecaudalis	4	Lake Walen	-22.7	0.0	4.5	0.0	44.4	15.8	3.3

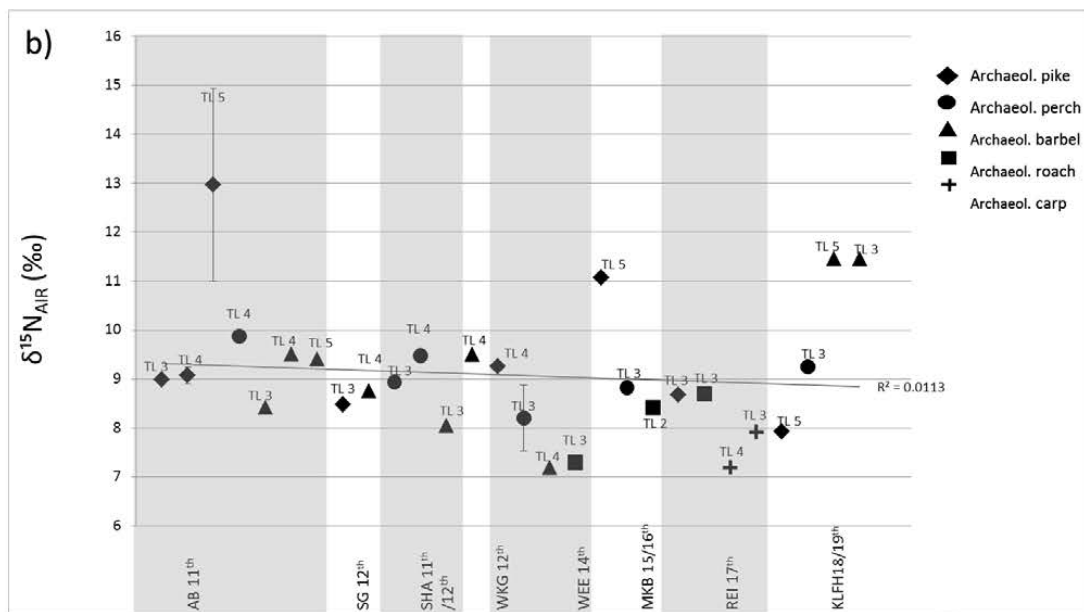
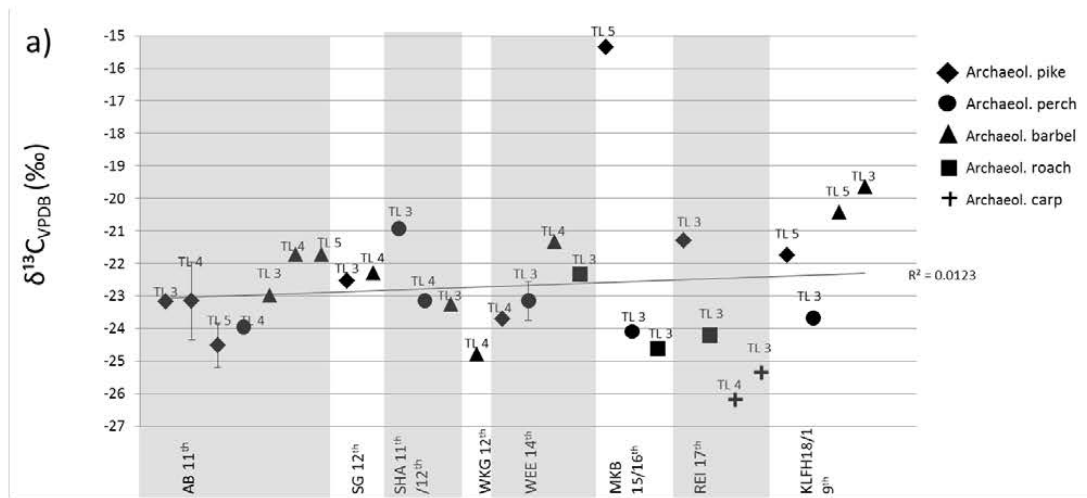
**Supplementary material table A.3:** Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values and ranges for the archaeological freshwater fish species arranged by archaeological sites. Standard deviations are only calculated for  $n \geq 2$ .

Site	Pike $\delta^{13}\text{C}$	Pike $\delta^{15}\text{N}$	Perch $\delta^{13}\text{C}$	Perch $\delta^{15}\text{N}$	Barbel $\delta^{13}\text{C}$	Barbel $\delta^{15}\text{N}$	Roach $\delta^{13}\text{C}$	Roach $\delta^{15}\text{N}$	Carp $\delta^{13}\text{C}$	Carp $\delta^{15}\text{N}$
Allerheiligen			-20.9	8.9	-23.3	7.9				
			-24.9	9.4	-23.2	8.3				
			-21.4	9.6						
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>			<b>-22.4 <math>\pm</math> 1.7</b>	<b>9.3 <math>\pm</math> 0.3</b>						
Burg Altenberg	-23.2	9.0	-23.9	9.8	-23.9	8.3				
	-23.3	9.3	-24.0	9.9	-22.0	8.6				
	-21.6	9.1			-21.7	9.5				
	-24.5	8.9			-21.7	9.4				
	-23.4	9.6								
	-25.0	14.2								
	-24.7	13.9								
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>	<b>-23.8 <math>\pm</math> 1.1</b>	<b>11.0 <math>\pm</math> 2.4</b>			<b>-22.3 <math>\pm</math> 0.9</b>	<b>8.9 <math>\pm</math> 0.5</b>				
Kleinhüningen	-21.7	7.9	-23.4	10.7	-19.6	11.5				
Fischereihaus			-23.9	7.8	-20.4	11.5				
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>										
Museum der Kulturen	-15.4	11.1	-23.8	6.4	-24.6	8.4	-25.6	7.5		
			-23.8	5.7						
			-24.3	6.5						
			-25.6	7.5						
			-24.1	8.8						
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>			<b>-22.3 <math>\pm</math> 0.9</b>	<b>7.0 <math>\pm</math> 1.1</b>						
Reischacherhof	-21.3	8.7	-21.1	10.3			-24.2	8.7	-26.7	6.8
			-22.2	7.1					-25.7	7.6
									-25.4	7.9
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>								<b>-25.9 <math>\pm</math> 0.6</b>	<b>7.70 <math>\pm</math> 0.5</b>	
Schnabelgasse	-22.5	8.5	-22.7	8.1	-21.7	8.3				
			-23.6	6.5	-21.3	8.0				
			-23.3	6.3	-21.8	7.1				
			-23.8	7.0	-22.1	7.6				
			-24.0	7.2	-22.8	6.9				
			-24.2	6.5	-22.6	7.4				
			-23.0	7.6	-21.9	7.1				
			-24.4	7.0	-22.7	8.0				
			-23.9	5.9	-22.3	8.8				
			-23.6	6.6						
			-22.9	6.8						
			-23.7	6.0						
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>			<b>-22.3 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>6.7 <math>\pm</math> 0.6</b>	<b>-22.1 <math>\pm</math> 0.5</b>	<b>7.7 <math>\pm</math> 0.6</b>				
Schöffelgasse			-25.0	8.1						
Stein am Rhein					-24.6	7.4				
Weesen	-24.6	9.1	-24.1	5.3	-21.3	7.2	-22.3	7.4		
	-22.8	9.4	-23.3	7.3			-21.8	6.8		
			-23.3	8.0			-22.9	7.5		
			-23.0	7.9						
			-24.1	7.8						
			-23.2	8.9						
			-25.8	7.5						
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>			<b>-23.3 <math>\pm</math> 0.7</b>	<b>7.8 <math>\pm</math> 1.2</b>			<b>-22.4 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>7.3 <math>\pm</math> 0.3</b>		
Wildensteinerhof			-24.3	7.3						
			-24.5	9.4						
			-25.2	7.7						
<b>Mean <math>\pm</math> SD</b>			<b>-24.7 <math>\pm</math> 0.4</b>	<b>8.1 <math>\pm</math> 0.9</b>						
Obere Kirchgasse			-27.3	13.0						
Obergasse					-24.0	9.145				
					-25.5	9.868				
<b>Total range</b>	<b>Pike <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Pike <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Perch <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Perch <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Barbel <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Barbel <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Roach <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Roach <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Carp <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Carp <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>
	-25.1 to -15.7	7.9 to 14.2	-27.3 to -20.9	5.3 to 13.0	-25.5 to -19.6	6.9 to 11.5	-25.6 to -21.8	6.8 to 8.7	-26.7 to -25.4	6.8 to 7.9
<b>Total mean <math>\pm</math> SD</b>	<b>Pike <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Pike <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Perch <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Perch <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Barbel <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Barbel <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Roach <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Roach <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Carp <math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b>Carp <math>\delta^{15}\text{N}</math></b>
	-22.3 $\pm$ 3.0	10.3 $\pm$ 2.1	-23.7 $\pm$ 1.1	7.8 $\pm$ 1.6	-22.3 $\pm$ 1.2	8.3 $\pm$ 1.2	-23.4 $\pm$ 0.6	7.6 $\pm$ 0.3	-25.9 $\pm$ 0.6	7.4 $\pm$ 0.5

**Supplementary material fig. A.4.1:** Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}\text{C}$  (a) and  $\delta^{15}\text{N}$  (b) results of archaeological freshwater fish in relation to total length of species (TL), diachronically plotted by archaeological site. All dates refer to centuries CE. Standard deviations are calculated for  $n \geq 2$ .



**Supplementary material fig. A.4.2:** Mean  $\pm$  SD  $\delta^{13}\text{C}$  (a) and  $\delta^{15}\text{N}$  (b) results of archaeological freshwater fish with Total length TL 3-5, diachronically plotted by archaeological site. All dates refer to centuries CE. Standard deviations are calculated for  $n \geq 2$ .





**Supplementary material table A.5:** Results of the pairwise Man-Whitney-analysis (PAST) of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values from the archaeological sites. Results that reach empirical level of significance:  $p < 0.05$  are in bold type. Sites ZHS and STRH are excluded:  $n = 1$ .

Test groups	$\delta^{13}\text{C}$ isotopic ratio	$\delta^{15}\text{N}$ isotopic ratio
	pairwise Man-Whitney p	pairwise Man-Whitney p
KLFH vs. REI	0.081	<b>0.045</b>
KLFH vs. MKB	0.360	0.135
KLFH vs. WEE	0.587	<b>0.027</b>
KLFH vs. WI	0.149	<b>0.049</b>
KLFH vs. WKG	<b>0.013</b>	0.932
KLFH vs. SG	0.556	<b>0.001</b>
KLFH vs. AB	0.305	0.562
REI vs. MKB	0.376	0.768
REI vs. WEE	0.204	0.693
REI vs. WI	0.868	0.868
REI vs. WKG	0.337	0.110
REI vs. SG	0.154	0.085
REI vs. AB	0.265	<b>0.002</b>
MKB vs. WEE	0.142	0.689
MKB vs. WI	0.343	0.723
MKB vs. WKG	0.075	0.315
MKB vs. SG	0.056	0.172
MKB vs. AB	0.729	<b>0.047</b>
WEE vs. WI	0.051	0.552
WEE vs. WKG	<b>0.011</b>	0.079
WEE vs. SG	1.000	<b>0.031</b>
WEE vs. AB	0.308	<b>0.001</b>
WI vs. WKG	0.488	0.247
WI vs. SG	<b>0.029</b>	0.379
WI vs. AB	0.131	<b>0.032</b>
WKG vs. SG	<b>0.003</b>	<b>0.009</b>
WKG vs. AB	<b>0.013</b>	0.873
SG vs. AB	0.230	<b>0.000</b>

**Supplementary Material table A.6:** Results of the one-way-ANOVA-test (PAST) of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of archaeological and modern fish species. Results that reach empirical level of significance:  $p < 0.05$  are in bold type.

Test groups	$\delta^{13}\text{C}$ isotopic ratio	$\delta^{15}\text{N}$ isotopic ratio
	one way-ANOVA	one-way-ANOVA
Archaeological fish vs. modern fish	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
Archaeological pike vs. modern pike	<b>0.000</b>	<b>0.008</b>
Archaeological perch vs. modern perch	<b>0.000</b>	<b>0.006</b>
Archaeological barbel vs. modern barbel	<b>0.030</b>	<b>0.001</b>
Archaeological roach vs. modern roach	0.329	0.385
Archaeological carp vs. modern carp	0.114	0.386



## 5. Resultate und Einschätzung der angewandten Methoden

### 5.1. Artbestimmung von Cyprinidenknochen anhand verfeinerten morphologischen Bestimmungskriterien

Mit der Anwendung der verfeinerten morphologischen Bestimmungskriterien konnte an 281 von insgesamt 1152 bis dahin als nicht näher bestimmbar ausgewiesenen Cypriniden eine Artbestimmung erfolgen (Anhang Tab. 1). Die zusätzliche Artbestimmung der Cypriniden hatte einen bedeutenden Effekt auf das Artenspektrum der Fundstellen und somit auf die weitere Auswertung des hier vorgestellten Fischmaterials (Häberle u.a. 2015b).

Mit dieser Methode konnten in 11 von 22 untersuchten Befunden ein bis drei zusätzlich bestimmte Cyprinidenarten das jeweilige Fischartenspektrum erweitern (Häberle u.a. 2015b Tab. 3). Bestimmt werden konnten Barben, Döbel (*Leuciscus cephalus*), Elritzen, Gründlinge, Karpfen, Lauben (*Alburnus alburnus*), Rotaugen und Schmerlen. Letztere gehören zwar in die Familie der Bachschmerlen (Noemacheilidae), werden jedoch wie die Cyprinidae in die taxonomische Ordnung der Cypriniformes eingeordnet und besitzen eine sehr ähnliche Skelettmorphologie wie die Cyprinidenarten. Für eine weitere Auswertung der Artenspektren besonders wertvoll sind die zusätzlich bestimmten Barben und Lauben, da es sich bei diesen Fischen um Indikatorarten handelt, welche sensitiv auf Gewässerveränderungen reagieren (Schager u.a. 2004; Weber / Peter 2006). In der Fundstelle Museum der Kulturen (BS) konnte mit Hilfe der verfeinerten morphologischen Bestimmungsmethode auch der Karpfen nachgewiesen werden, der mit der Bewirtschaftung von Teichen in Zusammenhang steht. Von anderen, sehr toleranten Cyprinidenarten konnten keine weiteren Exemplare bestimmt werden. So bleiben die Nachweise von Schleie (*Tinca tinca*), Brachsme (*Abramis brama*) und Blicke (*Abramis bjoerkna*), welche auf sehr nährstoffreiche Gewässer hindeuten, in den meisten Fundstellen gering (Häberle u.a. 2015b, Tab. 3).

Zu erwähnen ist, dass die zusätzlichen Bestimmungen ausschliesslich an vollständig erhaltenen Skelettelementen erfolgten. Dabei zeigte sich, dass die neuen morphologischen Kriterien besonders für die Bestimmung einiger Skelettelemente des Kopfes (*Os pharyngeus*, *Quadratum*, *Maxillare*, *Dentale*, *Operculare*, *Keratohyale*, *Hyomandibulare* und *Supracleithrale*) geeignet sind. Die Bestimmung fragmentierter Skelettelemente ist beim derzeitigen Entwicklungsstand der verfeinerten morphologischen Bestimmungsmethode noch unsicher. Derzeit wird von Wim Wouters an der Publikation der Kriterien gearbeitet. Um der Publikation nicht vorzugreifen, wird an dieser Stelle nicht weiter auf die detaillierte Vorgehensweise und die einzelnen, morphologischen Kriterien eingegangen. Die hier vorgelegten Resultate überzeugen jedoch, dass diese Methode sicherlich als wertvolles Hilfsmittel zur Bestimmung archäologischer Cyprinidenreste breite Verwendung finden wird.

### 5.2 Artbestimmung von Cyprinidenknochen mit ZooMS (Zooarchaeology by Mass Spectrometry)

Die Anwendung der ZooMS-Methode für die Cyprinidenbestimmung war bisher nicht erfolgreich. Wie schon in der Untersuchung von Richter u. a. (2011) beschrieben, war auch bei den ausgesuchten Knochenproben aus dem Rheineinzugsgebiet problematisch, dass eine grosse Anzahl Proben qualitativ unzureichende Peptidspektren ergaben oder zu wenig Knochenkollagen aufwiesen. So konnten 235 von insgesamt 482 Proben trotz einer Modifizierung des Laborprotokolls (vgl. Hounslow unpubliziert) nicht weiter untersucht werden. Weiterhin traten einige Unsicherheiten gegenüber der ersten, manuellen und nicht computerunterstützten Auswertung auf, mit welcher bei 97 Proben eine

Artbestimmung erfolgte (Hounslow unpubliziert, Anhang Tab. 2). Unter anderem wurden morphologisch eindeutige Wirbel von Karpfenartigen als Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) bestimmt - einem Vertreter der Familie der Barschartigen (Percidae). Weiter wurde eine zu Kontrollzwecken miteinbezogene Probe von Flussbarsch nicht als solche erkannt. Umgekehrt wurden Schlundknochen (*Os pharyngeus*) dem Flussbarsch zugeordnet. Da dieses Skelettelement jedoch ausschliesslich bei Cypriniden vorhanden ist, musste auch diese Artbestimmung verworfen werden. Auffällig ist auch die hohe Anzahl der bestimmten Exemplare von sehr intoleranten Cyprinidenarten, wie etwa Schleie oder Brachsme, wohingegen bei der verfeinerten morphologischen Methode gerade bei diesen Arten kaum zusätzliche Bestimmung erfolgen konnten (vgl. Kap. 5.1.1). Die ersten Artbestimmungen wurden später an den von Oliver Hounslow bestimmten Karpfen mit Hilfe der Analyse-Software „mMass“ (Strohalm u.a. 2008) ein zweites Mal bestimmt, was zu divergenten Artbestimmungen führte oder keine sicheren Resultate ergab.

Insgesamt können die Ergebnisse der ZooMS-Analysen aufgrund der aufgezeigten Unwägbarkeiten derzeit nicht reproduziert werden. Eine weitere Einschränkung der ZooMS Methode ergibt sich auch aus der Anzahl aller vorhandener Schweizer Cyprinidenarten in der Datenbank des BioArch. So sind momentan von den 24 in Frage kommenden Cyprinidenarten nur 15 Arten in der Datenbank des BioArch vorhanden, mit welchen sich die Barcodes der Proben vergleichen lassen.

Trotz der derzeitigen Hindernisse wird der zukünftigen Anwendbarkeit der ZooMS-Methode grundsätzlich mit Zuversicht entgegengesehen, da Untersuchungen an anderen Familien erfolgreich verliefen. Die Anwendung an Cyprinidenresten allerdings erscheint noch nicht ausgereift und es ist erforderlich, die limitierenden Faktoren auszuschalten. Dementsprechend wurden die Resultate bei der vorliegenden Auswertung nicht berücksichtigt. Die von Hounslow (unpubliziert) erarbeiteten Resultate sind in Tab. 2 des Anhangs wiedergegeben und mit den Artbestimmungen anhand „mMass“ und zusätzlichen Bemerkungen der Autorin ergänzt.

### **5.3 Ökologische Parameter zur Einschätzung der historischen Gewässersituation**

Die Auswertung des archäologischen Arten- und Fischgildenspektrums (Parameter 1) lässt Angaben zu den damalig vorhandenen Fischregionen und ihren Leitarten zu, welche nicht nur auf eine ausgeprägte, lokale Fischerei schliessen lassen. Mit der Betrachtung der Fischgildenzusammensetzung ergaben sich konkrete Hinweise auf eine Gewässeränderung (Häberle u.a. 2015b). Insbesondere in den Fundstellen entlang des Rheins kann im Laufe der Jahrhunderte die Abnahme der intoleranten Fischarten- und Gilden beobachtet werden. Die Reduzierung der Anteile der sensiblen Fischgilden weist auf eine anthropogen bedingte Beeinträchtigung der Gewässer hin (vgl. Van Neer 2009). Bei der Untersuchung stellte sich weiter heraus, dass sehr tolerante Arten wie Brachsme, Schleie oder Blicke in den Fundstellen durchgehend geringe Anteile aufweisen. Aufgrund der Unterrepräsentanz dieser Arten kann davon ausgegangen werden, dass eine starke Belastung der Gewässer nur kleinräumig erfolgte. Insbesondere waren wohl diejenigen Gewässerabschnitte betroffen, welche sich in der Nähe von anthropogenen Emissionsquellen befanden. Da diese sehr toleranten, einheimischen Arten spätestens ab den 14. Jahrhundert auch in Teichen gehalten wurden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass in den Fundstellen des 14. bis 18./19. Jahrhunderts auch Teichfische erfasst wurden (vgl. Häberle 2013). In den früher datierten Fundstellen kann dagegen von gefangenen Exemplaren des lokalen Wildfischbestands ausgegangen werden.

Die Begutachtung der Populationsstruktur (Parameter 2) ausgesuchter Indikatorarten (Bachforellen, Barbe und Groppe) bestätigt für alle Fundstellen und somit für den ganzen Untersuchungszeitraum eine starke Befischung der Jungfische (0<sup>+</sup>- Generation). Aufgrund der nachgewiesenen

Alterszusammensetzung muss vermutet werden, dass dadurch die Reproduktion der hier untersuchten Fischarten bereits in historischer Zeit negativ beeinflusst wurde. Das Abfischen der Jungfische hatte für die Population und die Bestandsgrößen wohl Konsequenzen, die sich vermutlich bis in die heutige Zeit nachvollziehen lassen, etwa durch eine Größenreduktion der geschlechtsreifen Tiere (z.B. Holm 2010).

Die vorgelegten Resultate zeigen, dass sich der Einsatz der modernen Parameter zur ökologischen Gewässerbewertung für eine Auswertung von archäologischen Fischresten durchaus eignet und dass damit neue Erkenntnisse zur mittelalterlichen und neuzeitlichen Gewässerökologie gewonnen werden konnten. Insbesondere die zusätzliche Auswertung von Fischgilden- und Indikatorartenzusammensetzung erwies sich als nützlich und eignet sich vor allem für eine epochenübergreifende Auswertung mehrerer Fundstellen wie auch für eine grosse Anzahl an auszuwertenden Fischresten.

#### **5.4 Stabile Isotopenanalyse an archäologischen Fischresten**

Bei der Kohlenstoff- und Stickstoffisotopenuntersuchung von archäologischen Fischproben konnte für die Arten Hecht, Flussbarsch, Barbe und Rotaugen eine hohe inter- und intraspezifische Variabilität festgestellt werden (Häberle u.a. 2015a). Insgesamt weisen die meisten Fischproben jedoch Kohlenstoff- ( $\delta^{13}\text{C}$ ) und Stickstoffisotopensignaturen ( $\delta^{15}\text{N}$ ) auf, welche für Süßwasserfische zu erwarten sind, denn die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegen zwischen -15.4‰ und -27.3‰ und die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen 5.3‰ und 14.2‰ (vgl. Grupe u.a. 2009; Fuller u.a. 2012).

Erstmals wurde auch an archäologischem Fischmaterial und für mehrere Arten die Abhängigkeit der Stickstoffisotopenwerte vom Alter/Grösse sowie von der Ernährungsweise der beprobten Individuen bestätigt (sog. „trophic level effect“ z.B. in DeNiro / Eppstein 1978 und 1981; Schoeninger / DeNiro 1984). Dabei zeigen die Proben von jüngeren und herbivoren Fischen geringere  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte als die von älteren und carnivoren Fischen. Aufgrund des nachgewiesenen «trophic level effect» wurden die beprobten Adultexemplare und die Jungfische gesondert und nach Art betrachtet (Häberle u.a. 2016).

Im Gegensatz zu den Resultaten der ökologischen Parameter konnte mit den Isotopendaten aller beprobter Fische kein statistisch belegbarer, diachroner Trend erkannt werden, der auf einen menschlichen Einfluss der aquatischen Biotope im Verlauf des 11. bis 19. Jahrhunderts schliessen lässt. Die Ergebnisse der gesonderten Isotopenanalyse junger Flussbarsche aus drei Basler Fundstellen des 12., 14. und 15./16. Jahrhunderts können jedoch als erste Hinweise auf Veränderungen im bewohnten Habitat gedeutet werden. Flussbarsche sind im ersten Lebensjahr standorttreu und ernähren sich ausschliesslich von Zooplankton. Daher kann angenommen werden, dass ihre Isotopenwerte eine geringe Variationsbreite aufweisen und im Vergleich zu adulten Fischen mit unterschiedlichen Nahrungs- und Wanderungsverhalten am ehesten die lokale Gewässerisotopensignatur im Untersuchungsgebiet widerspiegeln. Die Isotopenwerte der jungen Flussbarsche der Basler Fundstellen weichen vom erwarteten Muster etwas ab. Insbesondere die leicht ansteigenden Stickstoffisotopenwerte im Verlauf des untersuchten Zeitraums können als Anzeichen einer Veränderung des Gewässers interpretiert werden. Als mögliche Gründe hierzu kommen aber nicht nur die Befischung verschiedener Fanggründe oder Unterschiede in der Gewässerisotopie kleinräumiger Biotope in Frage. Die Resultate der Isotopenanalyse der jungen Flussbarsche weisen möglicherweise in dieselbe Richtung wie die statistisch belegbare Abnahme der sensitiven Fischgilden (Kapitel 5.1.3) und können somit als weiteren Anhaltspunkt für einen wachsenden Einfluss des Menschen auf die Fischhabitats gedeutet werden.

Bei der Untersuchung der adulten Fische wurden vor allem bei grossen Hechten, Barben und Flussbarschen Isotopensignaturen nachgewiesen, welche von den erwartenden  $\delta^{13}\text{C}$ - und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten abweichen (Häberle u.a. 2015a; Häberle u.a. 2016). Hinter diesen Abweichungen können unterschiedliche Faktoren stehen. So weisen die Werte der Hechte von der Fundstelle Altenberg (BL) darauf hin, dass diese Fische aus unterschiedlichen Fanggründen stammen könnten und somit auch über längere Strecken transportiert oder gar in Teichen gehalten wurden. Ebenfalls auffällig ist der stark erhöhte  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert eines Hechtes aus der Fundstelle Museum der Kulturen (BS), welcher gar ein von Brackwasser beeinflusstes Habitat vermuten lässt.

Weiter zeigen sich beim Abgleich mit den  $\delta^{13}\text{C}$  und  $\delta^{15}\text{N}$  Werten der modernen Proben signifikante Unterschiede. Die Messung der modernen Proben ergaben im Vergleich zu den archäologischen Proben verringerte Kohlenstoffwerte sowie erhöhte Stickstoffwerte, welche den Eintrag von fossilen Brennstoffen (z.B. Macko / Ostrom 1994; Brenner u. a. 1999; Schlachter u. a. 2005) und einem Anstieg der anthropogen bedingten Gewässerverschmutzung durch erhöhten organischen Nährstoffeintrag belegen (z.B. Lake u.a. 2001; Diebel / Vander Zanden 2009). Es ist in diesem Zusammenhang bemerkenswert, dass Barben aus der jüngsten Fundstelle Kleinhüningen Fischereihaus ähnliche  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte wie die modernen Proben aufweisen. Sie lassen stark vermuten, dass die Gewässerökologie im Rheinabschnitt bei Basel spätestens ab dem 18./19. Jh. durch verschiedene Facetten der menschlichen Siedlungsaktivität beträchtlich beeinflusst wurde (Häberle u.a. 2016), was auch in zeitgenössischen Quellen beschrieben wird (z.B. Degen / Sarasin 2002).

Für die Einschätzung der ökologischen Gegebenheiten in den Gewässern historischer Zeit hat die Auswertung von Isotopenwerten der Süsswasserfische durchaus Potential. Allerdings müssen dabei eine Vielzahl von Faktoren bei der Interpretation bedacht werden, insbesondere die inter- und intraspezifische Variabilität der Fischisotopensignaturen sowie die Heterogenität der Gewässerisotopenwerte selbst. Diesbezüglich lassen sich anhand der hier vorgestellten Resultate Empfehlungen für zukünftige Isotopenuntersuchungen an Süsswasserfischen formulieren. Eine Untersuchung der Isotopensignale sollte möglichst viele gleich grosse, gleich alte Individuen von einer Art beinhalten, um die natürliche Variabilität der Fischisotopensignaturen abzuschätzen und um den alters- und grössenbedingte „trophic level effect“ miteinzubeziehen. Da Binnengewässer sehr heterogene Ökosysteme sind und somit auch kleinräumige Unterschiede in der Isotopensignatur aufweisen können, sollten zu untersuchende Fischproben idealerweise aus räumlich nahe beieinanderliegenden und / oder epochenübergreifenden Fundstellen stammen, damit ein sinnvoller Vergleich erfolgen kann.

Weiter kann angenommen werden, dass sich für eine Interpretation der Gewässerökologie anhand von Fischisotopensignaturen insbesondere Fischarten eignen, welche am Ende der Nahrungskette stehen (sogenannte „high trophic level feeders“ wie Hecht oder Flussbarsch) und/oder eindeutige Ernährungs- und Habitatspräferenzen zeigen (z.B. Barbe). Hingegen lassen sich die Isotopensignaturen von anpassungsfähigen Arten, wie beispielsweise dem Rotaugen weniger gut beurteilen. Wie sich im Laufe der Auswertung herausgestellt hat, sollte von der Interpretation von nicht artbestimmten, adulten Cypriniden ganz abgesehen werden (Häberle u.a. 2015a). Insbesondere für gewässerökologische Fragestellungen ist es essentiell, die Basisinformationen miteinzubeziehen, welche sich aus der Artbestimmung und den damit zusammenhängenden Ernährungs- und Biotopansprüchen ergeben.

Um das tatsächliche Ausmass menschlicher Eingriffe in die Gewässer zu erkennen, bedarf es noch weiteren Studien und insbesondere eine Erweiterung des Probenensembles. Weiter ist auch die Grundlagenforschung angebracht, da kaum Erkenntnisse zu den Umbauraten des Knochenkollagens

von Süßwasserfischen vorliegen. Somit ist nicht bekannt, ob die gemessenen Isotopenwerte von (adulten) Fischen kurz- oder längerfristige Zeiträume widerspiegeln.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die stabile Isotopenanalyse von Kohlenstoff und Stickstoff eine vielversprechende Methode für die Auswertung von archäologischen Fischresten ist. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern Informationen zur Fischbiologie, insbesondere zur Ernährungsweise und Habitat aber auch zur Gewässerökologie und auch zum Umgang des Menschen mit Fisch (Befischung unterschiedlicher Fanggründe, Fischhandel und Teichwirtschaft). Der Abgleich mit dem archäologischen Kontext (Lokalisierung, Befundart, Datierung, soziokultureller Kontext) stellt dabei eine unverzichtbare Interpretationshilfe dar.

## **5.5 Berechnung des *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness* an archäologischem Fischmaterial**

Mit der Berechnung des *Shannon-Wiener-Index*  $H_n$  und der *Evenness*  $E$  konnte im Gegensatz zu den Ergebnissen der Auswertung der ökologischen Parameter keine diachrone Veränderung der Fischartenspektren und somit also keine Abnahme der Artenvielfalt im Laufe des Untersuchungszeitraums erkannt werden (Häberle u.a. 2015b). Auch innerhalb der drei untersuchten Gewässerabschnitte (Rheinabschnitt 1, Rheinabschnitt 2 und See, vgl. Häberle u.a. 2015b) sind die *Shannon-Wiener*-Werte sehr heterogen. Damit weisen die Werte sicherlich auf die Vielfalt an unterschiedlichen Biotopen in den unterschiedlichen Gewässerabschnitten hin. Sie können aber auch aufgrund anderer Faktoren entstehen, etwa durch eine menschliche Selektion, was der Befundkontext der archäologischen Fischreste und auch historische Quellen implizieren (vgl. Kap. 3.5). Zur Überprüfung dieser Annahme wurden die Fundstellen anhand der Literaturangaben (Tab. 1) in drei „soziokulturelle“ Gruppen eingeordnet. Diese Art der Fundstellenkategorisierung lässt tatsächlich an den berechneten Indices ein Zusammenhang zwischen der gesellschaftlichen Stellung und dem Konsum gewisser Fischarten sowie der Vielfalt in der (Fisch-) Ernährung erkennen. Dabei ergaben die Fischartenspektren von Fundstellen, welche in einem adeligen und klerikalen Kontext stehen oder gut situierten Haushalten zugeordnet sind, höhere *Shannon-Wiener-Indices* als solche, die mit einer weniger begüterten Gesellschaftsschicht in Zusammenhang gebracht werden. Diesem Trend zufolge kann vermutet werden, dass der soziale Status der Konsumenten als Selektionsfaktor auf die jeweiligen Fischartenspektren eingewirkt hat. Die Berechnung der *Evenness*, welche die Artverteilung innerhalb des jeweiligen Artenspektrums erfasst, ergab ebenfalls sehr unterschiedliche Zahlen, weist aber auf die Dominanz einiger Arten hin und lässt somit unterschiedliche Konsumtraditionen vermuten, welche auch mit einer selektiven Fischerei einhergehen können. Die niedrige *Evenness* im Artenspektrum von Burg Altenberg kann dem adeligen Kontext entsprechend der Dominanz von grossen, und damit teuren Hechten und Barben und einigen wenigen Lachsen zugewiesen werden. Ebenfalls niedrige *Evenness*-Werte liegen in den Basler Fundstellen Bäumleingasse, Schnabelgasse, Wildensteinerhof und Museum der Kulturen vor, welche die hohe Anzahl an Groppen und somit wahrscheinlich eine bestimmte Konsumtradition widerspiegeln. Ähnlich verhält es sich mit den Fundstellen Stein am Rhein Phase I (SH), Multergasse (SG) und Schöffelgasse (ZH), in welchen viele Reste von jungen Flussbarschen vorhanden sind.

Insbesondere im Hinblick auf die intensive Groppen- und Jungfischbefischung muss jedoch weiterhin unsicher bleiben, in welcher Form sich solche Konsum- oder Fischereitraditionen manifestierten, ob also beispielsweise eine saisonale Fischerei, Aspekte der rechtlichen Handhabung der Fischerei oder sogar bestimmte Bräuche (Frühlingsfesten o.ä.) gefasst werden können.

Insgesamt zeigt dieser erste Versuch der Berechnung des *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness* eine potentielle Anwendungsmöglichkeit zur Untersuchung von soziokulturellen Aspekten an archäologischen Fischartenspektren. Die archäozoologische wie auch die archäologische Auswertung der Fundstellen wiesen bereits auf derartige soziokulturelle Einflüsse hin, welche nun mit der Untersuchung des *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness* bestätigt werden konnten.

## 5.6 Vergleich mit historischen Quellen

Vergleicht man die Resultate der Auswertung der Fischreste mit dem Wissen aus exemplarisch ausgesuchten historischen Quellen, sind einige Übereinstimmungen betreffend den menschlichen Umgang mit aquatischen Ökosystemen zu beobachten.

Betrachten wir die Resultate der angewendeten Methoden, darf angenommen werden, dass sich im Laufe des Untersuchungszeitraums in den Gewässern Veränderungen ereigneten. Auch wenn die menschliche Gewässerverschmutzung und deren Auswirkung auf die Fischbestände in schriftlichen Quellen nicht explizit behandelt werden, können die nachgewiesenen Gewässeränderungen durchaus mit Gegebenheiten in Zusammenhang gesetzt werden, welche in schriftlichen Quellen beschrieben sind. So ist anzunehmen, dass sich durch die historisch und archäologisch belegbare, verstärkte Siedlungstätigkeit im Laufe der Epochen der menschliche Eingriff in die aquatischen Ökosysteme erhöhte (Jackson u. a. 2001). Gemäss Angaben in schriftlichen Quellen war das Ausmass der in die Gewässer eingeführten Siedlungsabfälle aus Haushalt, Handwerk und Gewerbe hoch - insbesondere in den mittelalterlichen und neuzeitlichen Städten. Weiteren Beschreibungen zufolge waren Gewerbebezweige wie Gerberei, Metzgerei, Walkerei, Färberei oder Papiermacherei besonders immissionsreich. Auseinandersetzungen zwischen Fischern und diesen Gewerbebetreibenden wurden schriftlich festgehalten (z. B. Simon-Muscheid 2006). Für die Zeit der Industrialisierung wird insbesondere für Basel eine enorme Erhöhung des anthropogenen Einflusses auf die Gewässer beschrieben (Gerster / Staub 1991; Degen 2010), zu welcher im hier vorgelegten Fischknochenmaterial ebenfalls Hinweise zu finden sind.

Weiter lassen die Resultate der Auswertung archäologischer Fischreste auf eine intensive lokale Fischerei schliessen, wie sie in den historischen Quellen überliefert ist, wobei insbesondere von einer starken Befischung der Jungfische auszugehen ist. Dies wird vor allem von mittelalterlichen und neuzeitlichen Fischereiordnungen insofern bestätigt, als dass die Befischung der Jungfischgeneration und der Fischfang während der Laichzeit vielerorts für gewisse Zeit im Jahr strikt verboten wurden (Schnell 1865; Von Liebenau 1897; Aeschbacher 1923; Elsener 1951; Müller 1989; Amacher 1996). Zu vermuten ist, dass das Vorhandensein einer ausgeglichenen Populationsstruktur schon damals als wichtiger Faktor für die Erhaltung genügend grosser Fischbestände und damit für die Bevölkerungsversorgung mit Fisch wahrgenommen wurde. Wie stark auf den Einhaltung dieser Gesetze tatsächlich gedrängt wurde, ist schwierig zu beurteilen. Es finden sich in den schriftlichen Quellen zwar immer wieder Einträge zu verhängten Geldstrafen (z.B. Amacher 1996; Müller 1998), jedoch deuten die regelmässig nachgewiesenen, hohen Anteile an Resten von Jung- und Kleinfischen in Latrinen darauf hin, dass diese zumindest zu verbotsfreien Zeiten intensiv befischt wurden. Den Regelungen in den Fischereiverordnungen zufolge war die Fischerei zum Eigenbedarf vom Uferbereich aus - also dort, wo sich Jung- und kleinbleibende Fische besonders häufig aufhalten - jedem mit einfachem Handgerät erlaubt (Amacher 1996). Es ist anzunehmen, dass diese Art von Fischerei besonders für die unteren Bevölkerungsschichten attraktiv war.

Zugleich weist die Auswertung des archäologischen Fischmaterials darauf hin, dass grosse Fischarten, wie Hecht oder Barbe bei Adel und Klerus besonders beliebt gewesen sind. Historische Quellen



beschreiben, dass solch grössere Exemplare nicht nur aus lokalen Gewässern stammen mussten, sondern auch als Handelsgut oder Naturalienabgaben transportiert wurden (z.B. Müller 1989, Hoffmann 2001). Gemäss den historischen Schriftquellen durften diese grösseren und edleren Fische ausschliesslich von beauftragten oder freien Berufsfischern gefangen und verkauft werden (Amacher 1996) - ein weiterer Hinweis darauf, dass solche kapitalen Fische nur für die bessergestellte Bevölkerung erschwinglich waren. Ein Blick auf historische Preisangaben bestätigt ebenfalls, dass diese Fische zu hohen Preisen verhandelt wurden. So entsprach Diebold Schilling's Beschreibungen aus dem Jahre 1513 zufolge ein Salm (aufsteigender Lachs) dem Wert von 18 Säcken Roggen.

Beim Vergleich von den Resultaten der zusammenfassenden Auswertung der archäologischen Fischresten und dem Wissen aus historischen Quellen konnten viele Bezüge hergestellt werden. Diese ergaben bei der ganzheitlichen Betrachtung wertvolle Hinweise auf den menschlichen Umgang mit den aquatischen Ökosystemen.

Einige Zusammenhänge zwischen schriftlichen Quellen und dem archäologischen Kontext konnten jedoch noch nicht nachgewiesen werden. So scheinen sich den schriftlichen Quellen zufolge die gesellschaftlichen Unterschiede im Fischkonsum ab dem 15. Jh. abzuschwächen. Gründe hierfür sind in der Lockerung der strengen Fastengebote durch die reformatorische Bewegung, der intensiven Fischteichbewirtschaftung und dem mittlerweile günstig zu erwerbenden importierten Hering zu suchen (vgl. Hüster Plogmann 2006). Hinweise zu dieser Entwicklung konnten am hier vorgelegten Fischmaterial jedoch nicht gefunden werden.

Des Weiteren wurden manche Fischarten wie beispielsweise der Lachs oder die Nase häufig in Schriftquellen beschrieben (vgl. Müller 19989; Gerster / Staub 1991; Häberle u.a. 2015b), jedoch liegen für diese Fischarten kaum archäologische Nachweise vor. Es wird hierfür ein Zusammenhang mit dem sozialen Kontext oder aber mit der Art des archäologischen Befundes vermutet (Hüster Plogmann 1996). So finden sich in den hier untersuchten Fundstellen die Knochen grosser Lachse sowie anderer grosser Fischexemplare eher im Kontext bessergestellten Gesellschaftsschichten. Des Weiteren sind diese auch nicht in Latrinen zu finden sondern in Abfallgruben oder anderen Kulturschichten. Gegenteilig verhält es sich mit den zu Tausenden in den mittelalterlichen Latrinen nachgewiesenen Groppen. Dieser hohen Anzahl zufolge kann eine bestimmte Konsumtradition angenommen werden, welche jedoch in historischen Quellen keine Erwähnung findet. Um derartige Verknüpfungen zwischen Schriftquellen und Archäologie zu erfassen, bedarf es noch weitere Nachforschungen.

## **6. Synthese: Menschlicher Umgang mit aquatischen Ökosystemen im Mittelalter und der Neuzeit**

Als Hauptkenntnisse dieser Arbeit hervorzuheben sind die Resultate der Isotopenanalyse, der Parameter zur Gewässerbewertung sowie der Berechnung des *Shannon-Wiener-Index* und der *Evenness*, welche einen vielfältigen menschlichen Umgang mit Fischen, eine ansteigende Gewässerbelastung und den Zusammenhang von Gesellschaftsschicht und Fischkonsum aufzeigen. Auch wenn die hier dargelegten Resultate aus einer zusammenfassenden Untersuchung von zeitlichen und räumlichen Fragmenten entstanden sind, zeichnet sich ab dem Mittelalter eine vielschichtige Einflussnahme des Menschen auf die aquatischen Ökosysteme ab. Es ist davon auszugehen, dass viele Faktoren und somit ein komplexes Beziehungsnetz von Ursache(n) und Wirkung(en) den menschlichen Umgang mit Gewässern und Fischen prägten. Nachfolgend wird die Gesamtheit der Erkenntnisse dargestellt. Insbesondere werden zusammenfassende Aussagen zu den drei Aspekten „Veränderungen in Gewässerökosystemen“, „Intensive Befischung lokaler Gewässer“ sowie „Fischselektion und gesellschaftlicher Status der Konsumenten“ ausgearbeitet, wobei sich diese Betrachtungen auf die untersuchten Regionen des Rheineinzugsgebiets wie auch auf die untersuchte Zeit zwischen dem 11. Jh. und dem 19. Jh. beziehen.

### **6.1 Veränderungen in Gewässerökosystemen**

Mit der Analyse der Fischfundensembles aus dem Rheineinzugsgebiet konnten für das Mittelalter und die Neuzeit Hinweise auf Veränderungen des ökologischen Gewässerzustandes sowie der Fischbestände festgestellt werden. Teilweise lassen sich diese durch natürliche, saisonale, klima- und wetterbedingte Gegebenheiten erklären. Dass Veränderungen in aquatischen Ökosystemen aber auch mit dem menschlichen Einfluss in Zusammenhang gesehen werden können (vgl. Jackson 2001; Hoffmann 2005), lässt sich vor allem an der Abnahme der intoleranten Fischarten in den untersuchten Artenspektren ablesen, welcher sich im Laufe des definierten Untersuchungszeitraumes verstärkt hat. Diese Abnahme der sensitiven Fischarten kann als eine Reaktion auf den Eintrag gewässerbelastender Stoffe gedeutet werden, welche mit der verstärkten Siedlungstätigkeit einhergehen. Es scheint aber, dass dieser Eintrag im Hoch- und Spätmittelalter sowie auch in der frühen Neuzeit eher punktuell war und sich nur geringfügig auf grössere Abschnitte von Gewässern auswirkte. Extreme und weitreichende Nährstoffanreicherungen der Gewässer waren wahrscheinlich selten, was nicht zuletzt auch die geringe Zahl an sehr toleranten Fischarten in den untersuchten Befunden andeutet. Betroffen waren wohl vor allem begrenzte Gewässerabschnitte, wie auch Bereiche, in welchen ein starker anthropogener Eintrag stattfand, etwa bei grösseren Städten wie Basel. Dort gelangte neben Haushaltsabfall auch viel Gewerbe- und Handwerksabfall in den Rhein und in seine Nebenflüsse, welcher bei Niedrigwasser wohl längere Zeit nicht durch den Fluss selbst abtransportiert werden konnte (vgl. Simon-Muscheid 2006). Weiter sind leichte, eventuell auch saisonale Gewässerveränderungen in kleinräumigen, langsam fliessenden bis stehenden Abschnitten (Altarme, Mäander) und in kleineren Bächen zu vermuten, was auch der regelmässige Nachweis von toleranten und anpassungsfähigen Arten andeutet.

Erst ab dem 18./19. Jh., also in der Zeit der Industrialisierung, liegen insbesondere für den Rhein bei Basel zeitgenössische Hinweise aus Schriftquellen für eine folgenschwere und weitreichende

Gewässerbelastung durch den Menschen vor. Dabei können die Intensivierung der Kohlenutzung sowie der verstärkte Eintrag von städtischen und industriellen Abwässern in den Rhein als Hauptfaktoren der Gewässerbelastung angesehen werden (vgl. Gerster / Schaub 2001; Degen / Sarasin 2002). Möglicherweise lassen sich in den Isotopenwerten der Fischproben der Fundstelle Kleinhüningen Fischereihaus erste Anzeichen für diese Entwicklung erkennen, denn sie weisen ähnlich erhöhte Stickstoffisotopenwerte wie die modernen Fischproben auf und deuten somit auf eine Gewässerbelastung hin. Die geringe Anzahl der intoleranten Fischarten im archäologischen Artenspektrum der Fundstelle unterstützt diese Vermutung.

Auch für andere Regionen des Rheineinzugsgebietes kann angenommen werden, dass die im Mittelalter und der frühen Neuzeit vorhandenen anthropogenen Eingriffe in Gewässer zwar erkennbar waren, aber nicht mit den Beeinträchtigungen zu vergleichen sind, welche ab dem 19. Jahrhundert stattfanden. Für die Zeit davor kann daher vermutet werden, dass von der menschlichen (Siedlungs-) Aktivität nicht direkt betroffenen Gewässerabschnitte noch als relativ naturbelassen betrachtet werden können.

Der detaillierten, zeitlichen Entwicklung sowie dem räumlichen Ausmass des menschlichen Einflusses auf Gewässer müssen in weiteren Analysen von neuen Fundstellen nachgegangen werden.

Den Ergebnissen dieser Untersuchung zufolge scheint im Hinblick auf die Bestrebungen der EU Water Framework Directive (WFD) und anderer zukünftiger Massnahmen zur Gewässerrenaturierung deshalb eine Definition von „natürlichen Gewässergegebenheiten“ nicht einfach zu realisieren, denn im Mittelalter und der Neuzeit scheinen naturnahe und belastete Gewässerabschnitte schon nebeneinander bestanden zu haben. Es sollte deswegen viel eher bei Renaturierungsmassnahmen einen Zustand für Gewässer angestrebt werden, welcher die WFD als Szenario 4 beschreibt: „the currently best available state of any water body type in any eco-region“ (Van Neer / Ervynck 2010). Dies stellt bereits einen bedeutenden Schritt zur Erhaltung und zum Schutz der heutigen aquatischen Ökosysteme dar.

## **6.2 Intensive Befischung lokaler Gewässer**

Während dem Mittelalter und der Neuzeit war die lokale Fischerei ein bedeutender Teil der Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln. Es bedurfte einer regen Fischereitätigkeit, um die Nachfrage nach Fisch zu stillen. Doch nicht nur historische Schriftquellen berichten von der Wichtigkeit der Befischung nahegelegener Gewässer.

Als entscheidender archäologischer Anzeiger der ausgeprägten lokalen Fischerei lässt sich die hohe Anzahl von Jung- und Kleinfischen in den untersuchten Befunden interpretieren. Aufgrund ihrer schnellen Verderblichkeit konnten sie nicht weit transportiert werden und wurden wohl vorwiegend vor Ort konsumiert. Auch die Ergebnisse der Untersuchung der Populationsstrukturen ausgesuchter Indikatorarten bestätigen die intensive Befischung der 0<sup>+</sup>-Generation über alle untersuchten Zeiträume. Es kann somit eine starke Beeinträchtigung der Populationsgrössen und der Reproduktionsfähigkeit mancher Fischarten durch den existierenden Fangdruck angenommen werden. Da viele Fischarten in einem Gewässer auch untereinander in Wechselwirkung stehen, wird als Konsequenz auch ein negativer Effekt auf den gesamten Fischbestand eines Biotopes vermutet.

Schriftliche Quellen lassen erahnen, dass man sich den Auswirkungen der intensiven lokalen Befischung gewahr war (vgl. z.B. Schnell 1865; Von Liebenau 1897; Aeschbacher 1923; Elsener 1951; Müller 1989; Amacher 1996). So wurde einerseits der Fang auf Jungfische durch Fangverbote und Schonzeiten eingegrenzt, andererseits aber durch weitere rechtliche Regelungen wiederum begünstigt. Beispielsweise war die Fischerei im Uferbereich - also im von Jung- und Kleinfischen

präferierten Habitat - für alle Bevölkerungsschichten zugelassen. (Amacher 1996). Ganz anders verhielt es sich mit dem Fang auf Gross- und Edelfische, welcher vor allem den Berufsfischern vorbehalten blieb. Die zahlreichen ichthyoarchäologischen Funde lassen jedoch vermuten, dass neben der wirtschaftlich wichtigen Berufsfischerei auch der Jungfischfang trotz Verbote eine essentielle Rolle in der Nahrungsbeschaffung spielte und somit als wichtiger Bestandteil der lokalen Fischereitätigkeit angesehen werden kann.

### **6.3 Fischselektion und gesellschaftlicher Status der Konsumenten**

Insgesamt weisen die Ergebnisse der Untersuchungen darauf hin, dass im Mittelalter und der Neuzeit die Fischerei auf eine breite Fischartenvielfalt abzielte, welche von den jeweiligen regionalen Gegebenheiten, insbesondere von den Fischregionen vorgegeben war. Gleichzeitig konnte aber eine selektive Fischerei erkannt werden, welche hauptsächlich im Zusammenhang soziokulturellen Aspekten steht. Tatsächlich scheint eine Verbindung zwischen der Fischauswahl und dem gesellschaftlichen Status der Fischkonsumenten zu bestehen, wie mit den Biodiversitätsindices statistisch untermauert werden konnte.

So sind es vor allem die Vertreter aus wohlhabenden Gesellschaftsschichten, Adel und Klerus, die auf eine Vielfalt an Fischarten und auch auf exquisite und grosse Fische zurückgreifen - nicht zuletzt, um christlichen Fastenverordnungen nachzukommen. Ihnen war auch der Erwerb von Fischen aus nicht lokalen Fanggründen sowie aus der Teichwirtschaft möglich als auch die lukrative Bewirtschaftung eigener Teiche (vgl. Müller 1989, Hoffmann 2005). Neben dem eigentlichen Fischhandel ist davon auszugehen, dass vor allem grosse und edle Fische auch innerhalb des mittelalterlichen Abgabesystems vom Adel eingefordert wurden (vgl. Marti-Grädel 2008) und so aus der näheren und fernerer Umgebung zum einflusshabenden Herrnsitz gelangten.

Den weniger begüterten Gesellschaftsschichten stand im Vergleich dazu eine insgesamt geringere Fischartvielfalt zur Verfügung. Wie bereits oben dargestellt, spielten dabei wohl neben der Finanzkraft der Konsumenten auch die rechtlichen Gegebenheiten eine wichtige Rolle, denn der Fischfang war für die Allgemeinheit auf Biotope im Uferbereich und dementsprechend auf die dort lebenden Fischarten begrenzt. Der Jung- und Kleinfischfang waren sicherlich von tragender Bedeutung für die Nahrungsbeschaffung unbemittelter Personen. Jedoch scheint diese Ressource auch in anderen Teilen der Bevölkerung beliebt gewesen zu sein - etwa als Krankennahrung in Spitälern oder als Fastenspeise in Klöstern (vgl. Rehazek / Brombacher 1999). Vermutlich spielten Jung- und Kleinfische auch bei bestimmten, gesellschaftsübergreifenden oder auch saisonalen Konsum- und Fangtraditionen eine Rolle (vgl. Hüster Plogmann 2006).

## **6.4 Zusammenfassung**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine umfassende Untersuchung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus der Schweiz durchgeführt. Fischreste aus Fundstellen des 11. bis 18./19. Jh. wurden unter Einbezug archäologischer und historischer Quellen mit verschiedenen Methoden analysiert. Für die Auswertung wurden zwei neue Methoden zur Artbestimmung von Cypriniden sowie ökologische Parameter der modernen Gewässerbewertung, ökologische Biodiversitätsindices und die stabile Isotopenanalyse angewendet. Weiter wurde das Potential der einzelnen Methoden für zukünftige ichthyoarchäologische Auswertungen eingeschätzt.

Mit dem kombinierten Methodenansatz konnten verschiedene Faktoren erkannt werden, welche zu Gewässerveränderungen und Veränderungen in der Fischartenzusammensetzung führten. Ebenso liess die Untersuchung Aussagen zum Fangdruck auf die lokalen Fischbestände, zu rechtlichen Regelungen und gesellschaftlichen Aspekten der Fischerei sowie zum Fischkonsum zu. Insgesamt ergaben sich somit vielfältige Hinweise zum damaligen menschlichen Umgang mit aquatischen Biotopen und Fischbeständen im Rheineinzugsgebiet.

## **6.5 Ausblick**

Die Auswertung von archäologischem Fischmaterial unter Zuhilfenahme verschiedener Methoden erbrachte neue Erkenntnisse zum menschlichen Umgang mit aquatischen Ökosystemen im Mittelalter und der Neuzeit. Die hier vorgestellte kombinierte Anwendung der Methoden kann für weitere Auswertungsprojekte vor allem dann in Betracht gezogen werden, wenn eine hohe Anzahl an Fischresten aus mehreren Fundstellen zur Verfügung steht. Aber auch der Einsatz der Methoden im Einzelnen ist je nach Fragestellung und Auswertungspotential einer Fundstelle sinnvoll. Die erarbeiteten Ergebnisse lassen sich somit durch weitere Untersuchungen zu den Anfängen und der Entwicklung anthropogener Eingriffe auf Gewässer und auf die Fischfauna sinnvoll ergänzen. Einen guten Ausgangspunkt für die weitere Forschungsarbeit stellen in Anbetracht des reichhaltigen Fischmaterials die neolithischen Seeufersiedlungen und römerzeitlichen Fundstellen dar. So könnte man möglichst übergreifend untersuchen, ob in den einzelnen neolithischen Seeufersiedlungen der menschliche Einfluss auf die Uferbereiche von den Seen etwa gleichzeitig oder zeitversetzt einsetzte und ob sich eine kontinuierliche Entwicklung in mehreren Siedlungen abzeichnet. Diese Untersuchung ergibt vielleicht neue Hinweise darauf, ob nicht nur lokale sondern auch bereits grossräumige Gewässerveränderungen stattgefunden haben. Weiter stellt die Anwendung des kombinierten Methodenansatzes eine Möglichkeit dar, Fischartenspektren aus römischen Fundstellen neu zu interpretieren, denn bisher liess sich vor allem eine kulturell bedingte Fischauswahl feststellen. Eine zusammenfassende Analyse von römerzeitlichem Fischmaterial, welches mit unteren und stark einheimischen Traditionen behafteten Gesellschaftsschichten in Verbindung gebracht wird, könnte erste Hinweise zur damaligen Gewässersituation geben.

Das Potential von ichthyoarchäologischen Auswertungen wurde in dieser Arbeit umrissen. insbesondere für das interdisziplinäre und integrative Forschungsfeld der Umweltgeschichte gilt es nun, dieses Potential zu nutzen.

## 7. Literatur

Aeschbacher 1923: P. Aeschbacher, Die Geschichte der Fischerei im Bielersee und dessen Nebenflüssen. Heimatkd. Monogr. 1 (Bern 1923).

Amacher 1996: U. Amacher, Zürcher Fischerei im Spätmittelalter. Realienkunde, Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Fischerei im Zürcher Gebiet. Mitt. Antiqu. Ges. Zürich 63 (Zürich 1996).

Bänteli / Höneisen 2006: K. Bänteli / M. Höneisen, Das Bürgerasyl in Stein am Rhein – Geschichte eines mittelalterlichen Spitals. Zum 950. Jahr seiner Gründung am 22. November 1049. Schaffhauser Archäologie 7 (Schaffhausen 2006).

Bänteli u.a. 1999: K. Bänteli / R. Gamper / P. Lehmann, Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen. Schaffhauser Archäologie 4 (Schaffhausen 1999).

Bar-Oz u.a. 1999: G. Bar-Oz / T. Dayan / D. Kaufman, The epipalaeolithic faunal sequence in Israel: a view from Neve-David, Journal of Archaeological Science 26, 1999, 67-82.

Brenner u.a. 1999: M. Brenner / T.J. Whitmore / J.H. Curtis / D.A. Hodell / C.L. Schelske. 1999, Stable isotope (d13C and d15N) signatures of sedimented organic matter as indicators of historic lake trophic state. Journal of Paleolimnology 22, 1999, 205-221.

Buckley u.a. 2014: M. Buckley / S. Fraser / J. Herman / N.D. Melton / J. Mulville / A.H. Pálsdóttir, Species identification of archaeological marine mammals using collagen fingerprinting. Journal of Archaeological Science, 41, 2014, 631-641.

Buckley u.a. 2010: M. Buckley / S. Whitcher Kansa / S. Howard / S. Campbell / J. Thomas-Oates / M. Collins, Distinguishing between archaeological sheep and goat bones using a single collagen peptide. Journal of Archaeological Science 37, 2010, 13-20.

Buckley u.a. 2009: M. Buckley / M. Collins / J. Thomas-Oates / J. Wilson, Species Identification by analysis of bone collagen using matrix-assisted laser desorption / ionisation time-of-flight mass spectrometry. In: Rapid commun. mass spectrom., 23, 3843-3854.

Broughton u.a. 2011: J. Broughton, M. Cannon, F. Bayham, D. Byers, Prey Body Size and Ranking in Zooarchaeology: Theory, Empirical Evidence, and Applications from the Northern Great Basin. American Antiquity 76 (3), 2011, 403-428.

Brown u. a. 1988: T.A. Brown / D.E. Nelson / J.S. Southon, Improved collagen extraction by modified longin method. Radiocarbon 30 (2), 1988, 171-177.

Caduff u.a. 2003. B. Caduff / H. Hüster Plogmann / J. Diaz Tabernero / M. Durst, Zum frühmittelalterlichen Speisezettel in Tumejl / Tomils, Sogn Murezi. Jahresberichte des Archäologischen Dienstes Graubünden und der Denkmalpflege Graubünden 2002 (2003), 96-115.

Chave 2001: P. Chave, The EU Water Framework Directive: An Introduction (London 2001).

Collins u.a. 2010: M. Collins / M. Buckley / H. Grundy / J. Thomas-Oates / J. Wilsona / N. Van Doorn, ZooMS, the collagen barcode and fingerprints. Spectroscopy Europe 22, 2010, 11-13.

Cruz-Urbe 1988: K. Cruz-Urbe, The use and meaning of species diversity and richness in archaeological faunas. *Journal of Archaeological Science* 15, 1988, 179-196.

Degen 2010: B. Degen, Rhein. In: Stiftung 563 Historisches Lexikon der Schweiz (Hrsg.), *Historisches Lexikon der Schweiz* 10, 210, 274-278.

Degen / Sarasin 2002: B. Degen / P. Sarasin, Verfassungsgeschichte und Staatstätigkeit seit der 565 Kantonstrennung. In: Stiftung Historisches Lexikon der Schweiz (ed.), *Historisches Lexikon der Schweiz* 2, 2002, 43-47.

DeNiro / Eppstein 1978: M. DeNiro / S. Epstein, Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, 1978, 495-506.

De Niro / Eppstein 1981: M. DeNiro / S. Eppstein, Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 1981, 341-351.

Diebel / Vander Zanden 2009: M.W. Diebel / M.J. Vander Zanden, Nitrogen stable isotopes in streams: effects of agricultural sources and transformations. *Ecological Applications* 19, 2009, 1127-1134.

Dufour u. a. 1999: E. Dufour / H. Bocherens / A. Mariotti, Palaeodietary Implications of Isotopic Variability in Eurasian Lacustrine Fish. *Journal of Archaeological Science* 26, 1999, 617-627.

Dufour / Gerdeaux 2001: E. Dufour / D. Gerdeaux, Apport des isotopes stables aux études écologiques sur les poissons. *Cybiurn* 23, 2001, 419-420.

Egli 1909: J. Egli (Hrsg.), *Eccardus Sangallensis 4 - Der liber benedictionum Ekkeharts IV, nebst den kleineren Dichtungen aus dem Codex Sangallensis 393*. Mitt. Vaterländ. Gesch. 31, 4. F., 1 (St. Gallen 1909).

Elsener 1951: F. Elsener (Hrsg.), *Die Rechtsquellen des Kantons St. Gallen*. 3. Teil: Rechte der Landschaft; 1. Band: Landschaft Gaster mit Wesen. Slg. Schweizer. Rechtsquellen 14, 3 / 1 (Aarau 1951).

Fuller u.a. 2012: B.T. Fuller / G. Müldner / W. Van Neer / A. Eryvnyck / M.P. Richards, Carbon and nitrogen stable isotope ratio analysis of freshwater, brackish and marine fish from Belgian archaeological sites (1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> millennium AD). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 27, 2012, 807-820.

Gaudzinski / Street 2003: S. Gaudzinski / M. Street, Reconsidering hunting specialisation in the German Magdalenian faunal record. In: S. Costamagno / V. Laroulandie (Hrsg.), *mode de vie au magdalénien: apports de l'archéozoologie. actes du XIV<sup>ème</sup> congrès uiSPP, université de liège, belgique, 2-8 septembre 2001, Section 6: Paléolithique Supérieur; colloque 6.4. bar internat. Ser. 1144 (Oxford 2003), 11-21.*

Gerster / Staub 1991: S. Gerster / E. Staub, *Hochrhein-Fischfauna im Wandel der Zeit*. Schriftenreihe Fischerei 49 (Bern 1991).

Gonseth u. a. 2001: Y. Gonseth / T. Wohlgemuth / B. Sasonens / A. Buttler, *Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard*. Umwelt-Materialien 137 (Bern 2001).

Grupe u.a. 2009: G. Gruppe / D. Heinrich / J. Peters, A brackish water aquatic foodweb: trophic levels and salinity gradients in the Schlei fjord, Northern Germany, in Viking age and medieval times. *Journal of Archaeological Science* 36, 2009, 2125-2144.

Häberle u.a. 2016: S. Häberle / O. Nehlich / B. Fuller / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Carbon and nitrogen isotopic ratios in archaeological and modern Swiss fish as possible markers for diachronic anthropogenic activity in freshwater ecosystems. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10, 2016, 411-423.

Häberle u. a. 2015a: S. Häberle / B.T. Fuller / O. Nehlich / W. Van Neer / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Inter- and intraspecies variability in stable isotope ratio values of archaeological freshwater fish remains from Switzerland (11<sup>th</sup> – 19<sup>th</sup> century AD). *Environmental Archaeology - The Journal of Human Palaeoecology*, Volume 21, 2016 - Issue 2: A Fish Story or History? Evidence from the Past. The 17th biennial meeting of the Fish Remains Working Group (FRWG) held at Tallinn University, Estonia, September 2013, 119-132.

Häberle u.a. 2015b: S. Häberle / J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Fischknochen als Indikatoren für Gewässerzustand und menschliche Fischselektion. Eine zusammenfassende Auswertung mittelalterlicher und neuzeitlicher Fischreste aus dem Rheineinzugsgebiet der Schweiz. *Archäologisches Korrespondenzblatt*, Jahrgang 45, 2015, Heft 3, 417-437.

Häberle u.a. 2010: S. Häberle mit Beiträgen von C. Matt / P. Vandorpe / Ö. Akeret. Esskultur im Hinterhof - Interdisziplinäre Auswertung einer mittelalterlichen Latrine, Grabung 2002 / 15, Schnabelgasse 6, Basel. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt 2008 (Basel 2010), 75-146.

Häberle in Vorb.: S. Häberle, Die archäozoologischen Schlammreste aus dem Ehgraben, Grabung Weesen Rosengärten 2006 / 2007 In: V. Homberger in Vorb., Das mittelalterliche Städtchen Alt-Weesen. Neubetrachtung anhand der Ausgrabungen Rosengärten und Speerplatz 2006-2008. *Archäologie im Kanton St. Gallen*.

Häberle unpubl. a: S. Häberle, Die archäologischen Schlammreste aus zwei Basler Latrinen, Grabung 2008 / 3, Münsterplatz 19, Museum der Kulturen. Unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel.

Häberle unpubl. b: S. Häberle, Archäozoologische Reste aus einer hochmittelalterlichen Latrine in St. Gallen, Multergasse 1. Unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel.

Hansson u. a. 1997: S. Hansson / J.E. Hobbie / R. Elmgren / U. Larsson / B. Fry / S. Johansson, The Stable Nitrogen Isotope Ratio as a Marker of Food-Web Interactions and Fish Migration. *Ecology* 78 (7), 1997, 2249-2257.

Heip u. a. 1998: C.H.R. Heip / P. M. J. Herman / K. Soetaert, Indices of diversity and evenness. *Oceanis* 24 (4), 1998, 61-87.

Hoffmann 2006: R. Hoffmann, Der karpfen (*Cyprinus carpio* L): Der lange Weg eines „Fremdlings“ in die Schweiz. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz*. *Forschungen in Augst* 39 (Augst 2006), 161-167

Hoffmann 2005: R. Hoffmann, A brief history of aquatic resource use in medieval Europe. *Helgoland marine research* 59 (Helgoland 2005), 22-30.



Hoffmann 2001: R. Hoffmann, Frontal food for late medieval consumers: culture, economy, ecology. *Environment and History* 7 (2), 2001, 131-167.

Holm 2010: P. Holm, *Faszinierende Fische. Biologie, Bedeutung, Zukunft* (Bern 2010).

Homberger in Vorb.: V. Homberger, Das mittelalterliche Städtchen Alt-Weesen. Neubetrachtung anhand der Ausgrabungen Rosengärten und Speerplatz 2006-2008. *Archäologie im Kanton St. Gallen*.

Homberger 2008: V. Homberger, Ein neu entdecktes spätrömisches Kastell bei Weesen SG. In: *Jahrbuch der Archäologie der Schweiz* 91, 2008, 141-149.

Hounslow unpubliziert: O. Hounslow, The species analysis of fish bones from medieval sites in Switzerland by ZooMS Analysis. Master's Thesis, Master of Science in Bioarchaeology, Department of Archaeology, University of York, September 2011.

Hüster Plogmann / Kühn 2013: H. Hüster Plogmann / M. Kühn, Fisch, Lamm und Pflaumen aus Latrinen und Gruben - Einblicke in Ernährung und Pflanzenwelt im mittelalterlichen Winterthur (mit Beiträgen von A. Matter / Ch. Muntwyler / W. Wild). *Archäologie im Kanton Zürich* 2 (Zürich 2013), 75-118.

Hüster Plogmann 2006: H. Hüster Plogmann, ...der Mensch lebt nicht vom Brot allein. Gesellschaftliche Normen und Fischkonsum. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden – eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz. Forschungen in Augst* 39 (Augst 2006), 187-199.

Hüster Plogmann 2005: H. Hüster Plogmann, Tierreste aus Schlammproben - Fische aus dem Fischerhaus. In: A. Springer u. a., *Die Archäologie macht Kleinhüninger Dorfgeschichte. Eine interdisziplinäre Auswertung der Grabung Kleinhüningen-Fischereihaus (1999/47). Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt 2003* (Basel 2005), 180-185.

Hüster Plogmann 2004: H. Hüster Plogmann, Fischfang und Kleintierbeute. Ergebnisse der Untersuchung aus den Schlammproben. In S. Jacomet / U. Leuzinger / J. Schibler, *Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon – Bleiche 3. Umwelt und Wirtschaft. Archäologie im Thurgau* 12 (Frauenfeld 2004), 253-276.

Hüster Plogmann u.a. 2004: H. Hüster Plogmann / M. Kühn / A. Motschi, Früh- und hochmittelalterliche Siedlungsreste in Zürich-Niederdorf. Beiträge von Archäobotanik und Archäozoologie. *Jahrbuch der Archäologie der Schweiz* 87 (Basel 2004), 313-321.

Hüster Plogmann u.a. 2002: H. Hüster Plogmann / B. Stopp / R. Windler, Lamm, Gitzi und Fisch: Gehobene Esskultur im 12. Jahrhundert. *Winterthur Jahrbuch* 2003, 160-165.

Hüster Plogmann u. a. 1999: H. Hüster Plogmann / Ch. Brombacher / G. Helmig / M. Klee / Ph. Rentzel / S. Rodel / M. Veszeli, ...und was davon übrig bleibt - Untersuchungen an einem mittelalterlichen Latrinenschacht an der Bäumleingasse 14. *Archäologische Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt. Jahresbericht 1998* (Basel 1999) 93-132.

Hüster Plogmann 1997: H. Hüster Plogmann, Die Fische. In: J. Schibler / H. Hüster Plogmann / S. Jacomet / C. Brombacher / E. Gross-Klee / A. Rast-Eicher, *Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee. Ergebnisse der Ausgrabungen Mozartstrasse*,

Kanalisationssanierung Seefeld, AKAD / Pressehaus und Mythenschloss in Zürich. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 20 (Zürich 1997), 112-117.

Hüster 1992: H. Hüster, Tierknochen als Quellen zur Geschichte. In: M. Schmaedecke / J. Tauber (Hrsg.), Ausgrabungen in Lausen-Bettenach, Vorbericht über die archäologischen Untersuchungen 1985-1992. Archäologie und Museum 25, 28-32.

Hüster Plogmann / Veszeli unpubl. H. Hüster Plogmann / M. Veszeli, Die Tierknochen aus der Latrine des Wildensteinerhofs. Unpubl. Ber., Inst. Prähist. u. Naturwiss. Arch., Univ. Basel.

Jackson u. a. 2001: J. B. C. Jackson / M. X. Kirby / W. H. Berger / K. A. Bjornda / L. W. Botsford / B. J. Bourque / R. H. Bradbury / R. Cooke / J. Erlandson / J. A. Estes / T. P. Hughes / S. Kidwell / C. B. Lange / H. S. Lenihan / J. M. Pandolfi / C. H. Peterson / R. S. Steneck / M. J. Tegner / R. R. Warner RR, Historical Over Fishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. Science 293, 2001, 629-638.

Lake u.a. 2001, J.L.Lake / R.A. McKinney / F.A. Osterman / R.J. Pruell / J. Kiddon / S.A. Ryba / A.D. Libby 2001, Stable nitrogen isotopes as indicators of anthropogenic activities in small freshwater systems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58(5), 2001, 870-878.

Lucek u. a. 2013: K. Lucek / A. Sivasundar / D. Roy / O. Seehausen, Repeated and predictable patterns of ecotypic differentiation during a biological invasion: lake–stream divergence in parapatric Swiss stickleback. Journal of Evolutionary Biology 26, 2013, 2691-2709.

Macko / Onstrom 1994: S.A. Macko / N.E. Ostrom, Pollution studies using Stable Isotopes. In: K. Lajtha / R. Michener (Hrsg.), Stable Isotopes in Ecology (Oxford 1994), 45-62.

Marti-Grädel 2008: E. Marti-Grädel, Archäozoologische Untersuchungen der Tierknochen aus der Burgstelle Altenberg BL (11. Jh.) und aus früh- bis hochmittelalterlichen Siedlungen des Kantons Baselland (5-12. Jh.): Wirtschafts- und Umweltgeschichte des Früh- und Hochmittelalters in der Nordwestschweiz. Dissertation, Univ. Basel 2008

Marti u.a. 2013: R. Marti / W. Meyer / J. Obrecht, Der Altenberg bei Füllinsdorf. Eine Adelsburg des 11. Jahrhunderts. Schriften der Archäologie Baselland 50 (Basel 2013).

Müller 1989: L. Müller, Die Fischerei im spätmittelalterlichen Basel. Unpubl. Lizentiatsarbeit, Univ. Basel 1989.

Partlow 2006: M. A. Partlow, Sampling Fish Bones: A Consideration of the Importance of Screen Size and Disposal Context in the North Pacific. Arctic Anthropology 43, 2006, 67-79.

Perga / Gerdeaux 2003: M. E. Perga / D. Gerdeaux, Using the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of whitefish scales for retrospective ecological studies: changes in isotope signatures during the restoration of Lake Geneva, 1980-2001. Journal of Fish biology 63, 2003, 1197-1207.

Rehazek 2006: A. Rehazek, Tierknochen aus Speiseabfällen. In: K. Bächtli / M. Höneisen, Das Bürgerasyl in Stein am Rhein – Geschichte eines mittelalterlichen Spitals. Schaffhauser Archäologie 7 (Schaffhausen 2006), 143-150.

Rehazek / Brombacher 1999: A. Rehazek A. / Ch. Brombacher, Umwelt und Ernährung – Untersuchung der Tier- und Pflanzenreste. In: K. Bächtli / R. Gamper / P. Lehmann (Hrsg.), Das Kloster Allerheiligen in Schaffhausen. Schaffhauser Archäologie 4 (Schaffhausen 1999), 213-230.

Richards / Hedges 1999: M.P. Richards / R.E.M Hedges, Stable Isotope Evidence for Similarities in the Types of Marine Foods Used by Late Mesolithic Humans at Sites along the Atlantic Coast of Europe. *Journal of Archaeological Science* 26, 1999, 717-722.

Richter u.a. 2011: K.K. Richter / J. Wilson / A. Jones / M. Buckley / N. Van Doorn / M. Collins, Fish 'n chips: ZooMS peptide mass fingerprinting in a 96 well plate format to identify fish bone fragments. *Journal of Archaeological Science* 38 (7), 2011, 1502-1510.

Robson u. a. 2012: H. Robson / S. Andersen / O. Craig / A. Fischer / A. Glykou / S. Hartz / H. Lübke / U. Schmölcke / C. Heron, Carbon and nitrogen isotope signals in eel bone collagen from Mesolithic and Neolithic sites in northern Europe. *Journal of Archaeological Science* 39, 2012, 2003-2011.

Rodel 2003: S. Rodel, Vorbericht über die Grabungen 2002 in der Schnabelgasse 6. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt 2002 (Basel 2003), 115-124.

Schager u.a. 2004: E. Schager / A. Peter / W. Göggel, Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). *Mitteilungen zum Gewässerschutz* 44 (Bern 2004).

Schibler u.a. 1999: J. Schibler / B. Stopp / J. Studer, Haustierhaltung und Jagd – Élevage et chasse. In: F. Müller / G. Kaenel / G. Lüscher (Hrsg.). *Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter – SPM IV: Eisenzeit* (Basel 1999), 116-136.

Schibler / Studer 1998: J. Schibler / J. Studer, Haustierhaltung und Jagd während der Bronzezeit der Schweiz. In: S. Hochuli / U. Niffeler / V. Rychner. *Die Schweiz vom Paläolithikum bis zum frühen Mittelalter: SPM III: Bronzezeit*, (Basel 1998), 171-191.

Schibler u. a. 1997: J. Schibler / H. Hüster Plogmann / S. Jacomet / C. Brombacher / E. Gross-Klee / A. Rast-Eicher, Ökonomie und Ökologie neolithischer und bronzezeitlicher Ufersiedlungen am Zürichsee. Ergebnisse der Ausgrabungen Mozartstrasse, Kanalisationssanierung Seefeld, AKAD / Pressehaus und Mythenschloss in Zürich. *Monographien der Kantonsarchäologie Zürich* 20 (Zürich 1997), 112-117.

Schibler / Hüster Plogmann 1996: J. Schibler / H. Hüster Plogmann, Tierknochenfunde aus mittelalterlichen Latrinen als Informationsquelle zur Wirtschafts-, Sozial-, Kultur- und Umweltgeschichte. In: P. Kamber / C. Keller, *Fundgruben – stille Örtchen ausgeschöpft* (Basel 1996), 77-87.

Schindler 2009: M. Schindler, St. Gallen, südliche Altstadt. *Jahresbericht der Kantonsarchäologie St. Gallen* 2009 (St. Gallen 2009), 1-3.

Schlachter u.a. 2005: T.A. Schlachter / B. Liddell / T.F. Gaston / M. Schlachter-Hoenlinger, Fish track wastewater pollution to estuaries. *Oecologia* 144, 2005, 570-584.

Schnell 1865: J. Schnell (Hrsg.), *Rechtsquellen von Basel. 2: Landschaft. Sammlung Schweizer Rechtsquellen* (Basel 1865).

Schoeninger / DeNiro 1984: S. Schoeninger / M DeNiro, Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48, 1984, 625-639.

Springer 2005: A. Springer, Die Archäologie macht Kleinhüninger Dorfgeschichte. Eine interdisziplinäre Auswertung der Grabung Kleinhüningen-Fischerhaus (1999/47). Jahresbericht der archäologischen Bodenforschung des Kantons Basel-Stadt 2003 (Basel 2005), 111-265.

Straumann 2010: S. Straumann, 2008/3, Münsterplatz 19, Museum der Kulturen: Ausgrabungen und Funde im Jahr 2009: Münsterhügel. Jahresbericht der Archäologischen Bodenforschung Basel-Stadt 2009 (Basel 2010), 32-34.

Stewart u.a. 2013: J.R.M. Stewart / R. B. Allen / A. K. G. Jones / K.E.H. Penkman / M. Collins, ZooMS: making eggshell visible in the archaeological record. *Journal of archaeological science* 40 (4), 2013, 1797-1804.

Strohalm u. a. 2008: M. Strohalm / M. Hassman / B. Kosata / M. Kodicek, mMass data miner: an open source alternative for mass spectrometric dataanalysis. *Rapid Commun Mass Spectrom* 22(6), 2008, 905-908.

Thüry 2006 a: G. E. Thüry, Die Rolle von Süßwasserfisch in der römischen Küche. Das Zeugnis der antiken Literatur. In: H. Hüster-Plogmann (Hrsg.), *The Role of Fish in Ancient Time. Proceedings of the 13th Meeting of the ICAZ Fish Remains Working Group in Basel 2005.* 113 - 117.

Thüry 2006 b: G. E. Thüry, Vom Verhältnis der Römer zu Bächen, Flüssen und Seen. In: H. Hüster Plogmann (Hrsg.), *Fisch und Fischer aus zwei Jahrtausenden. Eine fischereiwirtschaftliche Zeitreise durch die Nordwestschweiz.* *Forschungen in Augst* 39 (Augst 2006), 11-19.

Von Liebenau 1897: T. von Liebenau, *Geschichte der Fischerei in der Schweiz.* Bern 1897.

Van Neer / Ervynck 2010: W. Van Neer / A. Ervynck, Defining "Natural" Fish Communities for Fishery Management Purposes: Biological, Historical, and Archaeological Approaches. In: S. G. Bruce (Hrsg.), *Ecologies and Economies in Medieval and Early Modern Europe. Studies in Environmental History for Richard C. Hoffmann,* 2010, 193-223.

Van Neer u.a. 2005: W. Van Neer / A. Ervynck / A. Lentacker, Archaeozoological analyses. In: Ph. Crombé (Hrsg.), *The last hunter-gatherer-fishermen in sandy Flanders (NW Belgium).* *Archaeological Reports Ghent University* 3, 2005, 279-294.

Weber / Peter 2005: C. Weber / A. Peter, Steckbrief 10: Fische: ökologische Gilden. In: S. Woolsey u.a., *Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Anhang I: Steckbriefindex.* [www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/erfos.php](http://www.rivermanagement.ch/erfolgskontr/erfos.php) (09. 01. 2015).

Wouters 2009: W. Wouters, Osteological differences within the family of Cyprinidae. In: Mackowiecki, D., Hamilton-Dyer, S., Riddler, I., Trzaska-Nartowski, N. & Makohonienko, M. (eds.): *Fishes – Culture – Environment. Through Archaeoichthyology, Ethnography & History. The 15<sup>th</sup> meeting of the ICAZ Fish Remains Working Group, 2009,* 197-198.

Vika / Theodoropoulou 2012: E. Vika; T. Theodoropoulou, Re-investigating fish consumption in Greek antiquity: results from d13C and d15N analysis from fish bone collagen. *Journal of Archaeological Science* 39 (5), 2012, 1618-1627.

Zohar / Belmaker 2005: I. Zohar / M. Belmaker, Size does matter: methodological comments on sieve size and species richness in fishbone assemblages. *Journal of Archaeological Science* 32 (4), 2005, 635-641.



## 8. Anhang

**Tabelle 1:** Absolute Häufigkeit der bestimmten Arten innerhalb der Cypriniformes in den einzelnen Fundstellen anhand klassischer archäozoologischer Analyse (klass. Best.) und anhand verfeinerter morphologischer Bestimmungskriterien nach Wouters (2009). Fundstellen geordnet nach: a) Rheinabschnitt 1, b) Rheinabschnitt 2, c) See. Grau hinterlegt: Fundstellen ohne hinzugekommene Artbestimmungen, eingekreiste Ziffern: zusätzlich bestimmte Arten pro Fundstelle.

**Tabelle 2:** Zooarchaeology by Mass spectrometry (ZooMS): Informationen zu den Proben und Resultate der Auswertung von Oliver Hounslow (Masterthesis), Resultate der Überprüfung mit Mmass und Kommentare Simone Häberle.

Anhang Tabelle 1: Absolute Häufigkeit der bestimmten Arten innerhalb der Cypriniformes in den einzelnen Fundstellen anhand klassischer archäozoologischer Analyse (klass. Best.) und anhand verfeinerter morphologischer Bestimmungskriterien (verf. Best.) nach Wouters (2009; unpubliziert). Fundstellen geordnet nach: a) Rheinabschnitt 1, b) Rheinabschnitt 2, c) See. Grau hinterlegt: Fundstellen ohne hinzugekommene Artbestimmungen, eingekreiste Ziffern: zusätzlich bestimmte Arten pro Fundstelle.

		Rheinabschnitt 1 (Basel und Umgebung)																			
		Altenberg 11. Jh.	Schnabel- gasse Phase 1 12. Jh.	Bäumlein- gasse 13. Jh.	Schnabel- gasse Phase 2 14. Jh.	Klein- hüningen Fischereihaus Phase 1 12.-14. Jh.	Wilden- steinerhof 14. Jh.	Museum der Kulturen Latrine 1 15./16. Jh.	Museum der Kulturen, Latrine 2 15./16. Jh.	Reischacher- hof 17. Jh.	Klein- hüningen Fischereihaus Phase 2 18./19. Jh.										
Art		klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.										
Cypriniden indet.		557	492	4683	4531	332	329	31	31	70	67	641	622	129	127	1864	1852	46	46	94	87
<i>Tinca tinca</i>	Schleie		1	4	4									1	1	8	8				
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaugen			17	18	2	2			5	6					9	9	1	1		
<i>Abramis brama</i>	Brachme			8	8									1	1						
<i>Leuciscus spec.</i>	Döbel/Aland/Hasel			19	19	26	26														
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube			29	29	4	4			2	3			1	1	13	13				
<i>Barbus barbus</i>	Barbe	124	185	421	431	1	3			1	3					16	18			8	9
<i>Gobio gobio</i>	Gründling			32	40	4	4				⑤			3	3	40	41				②
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder	1	1	29	29	1	1							1	1	1	1				
<i>Cyprinus carpio</i>	Karpfen													1	1	①		22	22		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze	7	8	210	275	5	5				②			6	8	29	32				
<i>Leuciscus cephalus</i>	Döbel	4	6	10	21					76	80					1	2				3
<i>Chondrostoma nasus</i>	Nase									13	13					7	7				5
<i>Noemacheilus barbatulus</i> *	Schmerle*			35	92	①					②					④					②
Total		693	693	5497	5497	375	375	31	31	71	71	738	738	143	143	1988	1988	78	78	110	110

		Rheinabschnitt 2 (Stein am Rhein bis Tössmündung)																	
		Allerheiligen Phase 1 11. Jh.	Allerheiligen Phase 2 12. Jh.	Obere Kirchgasse 12. Jh.	Obergasse 13. Jh.	Stein am Rhein Phase 1 13./14. Jh.	Stein am Rhein Phase 2 14./15. Jh.	Allerheiligen Phase 3 15./16. Jh.	Stein am Rhein Phase 3 15./16. Jh.										
Art		klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.										
Cypriniden indet.		35	35	40	40	67	66	69	66	39	36	18	18	49	49	30	29		
<i>Tinca tinca</i>	Schleie	1	1	2	2														
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaugen	1	1	1	1	6	6	4	4	1	1			2	2	6	6		
<i>Abramis bjoerkna</i>	Blicke	1	1	1	1														
<i>Leuciscus spec.</i>	Döbel/Aland/Hasel			12	12														
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube	2	2	11	11			4	4										
<i>Barbus barbus</i>	Barbe	1	1	5	5	2	2				①								
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder					2	2									1	1		
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Elritze									6	6					3	3		
<i>Leuciscus cephalus</i>	Döbel																		①
<i>Noemacheilus barbatulus</i> *	Schmerle*					①				②									
Total		41	41	72	72	77	81	77	77	40	40	24	24	51	51	40	40		

		See (Bodensee, Walensee, Zürichsee)							
		Multergasse Phase 1 12. Jh.	Multergasse Phase 2 13. Jh.	Schofflgasse 13. Jh.	Weesen 14. Jh.				
Art		klass. Best.	verf. Best.	klass. Best.	verf. Best.				
Cypriniden indet.		9	9	71	71	28	24	422	418
<i>Tinca tinca</i>	Schleie					①			
<i>Rutilus rutilus</i>	Rotaugen			1	1	17	19		
<i>Alburnus alburnus</i>	Laube						①		
<i>Barbus barbus</i>	Barbe					2	1	1	
<i>Gobio gobio</i>	Gründling			1	1				
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Rotfeder						1	1	
<i>Leuciscus cephalus</i>	Döbel			①		1	2		
Total		9	9	73	73	29	29	442	442

Anhang Tab. 2: Zooarchaeology by Mass spectrometry (ZooMS): Informationen zu den Proben und Resultate der Auswertung aus der Masterarbeit) von Oliver Hounslow, Resultate der Überprüfung mit Mmass und Kommentare Simone Häberle.

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	Mmass suggested fish species ( <i>italics</i> ) Remarks Simone Häberle ( <b>bold</b> )
4352	KhFh1	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0107			Cyprinidae	no result	
4354	KhFh3	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.006			Cyprinidae	no result	
4356	KhFh5	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0035	yes		Cyprinidae	no result	
4358	KhFh7	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0022	yes		Cyprinidae	no result	
4360	KhFh9	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0011			Cyprinidae	no result	
4362	KhFh11	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0014			Cyprinidae	no result	
4364	KhFh13	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0016			Cyprinidae	no result	
4366	KhFh15	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0016			Cyprinidae	no result	
4368	KhFh17	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0033	yes		Cyprinidae	no result	
4370	KhFh19	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0019			Cyprinidae	no result	
4372	KhFh21	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0013			Cyprinidae	no result	
4374	KhFh23	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0059			Cyprinidae	no result	
4376	KhFh25	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0015			Cyprinidae	no result	
4378	KhFh27	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0017			Cyprinidae	no result	
4380	KhFh29	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0021			yes Cyprinidae	no result	
4382	KhFh31	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0088			yes Cyprinidae	no result	
4384	KhFh33	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0039			Cyprinidae	no result	
4386	KhFh35	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.004			Cyprinidae	no result	
4388	KhFh37	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0008			Cyprinidae	no result	
4390	KhFh39	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0031			Cyprinidae	no result	
4392	KhFh41	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0015			Cyprinidae	no result	
4394	KhFh43	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0012			Cyprinidae	no result	
4396	KhFh45	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0009			Cyprinidae	no result	
4398	KhFh47	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0009			yes Cyprinidae	no result	
4400	KhFh49	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.002	yes		Cyprinidae	no result	
4402	KhFh51	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0005			Cyprinidae	no result	
4404	KhFh53	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0012			Cyprinidae	no result	
4406	KhFh55	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0019			Cyprinidae	no result	
4408	KhFh57	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.006			Cyprinidae	no result	
4410	KhFh59	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0082			Cyprinidae	no result	
4412	KhFh61	Kleinhünigen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0018			yes Cyprinidae	no result	
4414	LSNB2	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0004	yes		Cyprinidae	no result	
4416	LSNB4	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0002	yes		Cyprinidae	no result	
4418	LSNB6	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.003			Cyprinidae	no result	
4420	LSNB8	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0001			Cyprinidae	no result	
4422	LSNB10	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0002			Cyprinidae	no result	
4424	LSNB12	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0005			Cyprinidae	no result	
4426	LSNB14	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4428	LSNB16	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4430	SG2	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0053			Cyprinidae	no result	
4432	SG4	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0007			Cyprinidae	no result	
4434	SG6	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0014			Cyprinidae	no result	
4436	SG8	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0038			Cyprinidae	no result	
4438	SG10	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0177			Cyprinidae	no result	
4440	SG12	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.014			Cyprinidae	no result	
4442	SG14	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0002			Cyprinidae	no result	
4444	SG16	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0002			Cyprinidae	no result	
4446	SG18	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4448	SG20	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0004			Cyprinidae	no result	
4450	SG22	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0005			Cyprinidae	no result	
4452	SG24	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	no result	
4454	SG26	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0009			Cyprinidae	no result	
4456	SG28	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	no result	
4458	SG30	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	?Carp/Bream	
4460	SG32	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0004			Cyprinidae	no result	
4462	SG34	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0014	yes		Cyprinidae	no result	
4464	SG36	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
4466	SG38	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0012	yes		Cyprinidae	no result	
4468	SG40	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0007	yes		Cyprinidae	no result	



Anhang Tab. 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
4470	SG42	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0011	yes		Cyprinidae	no result	
4472	SG44	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0011	yes		Cyprinidae	no result	
4474	SG46	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0011			Cyprinidae	no result	
4476	SG48	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0013	yes		Cyprinidae	no result	
4478	SG50	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0014	yes		Cyprinidae	no result	
4480	SG52	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0002			Cyprinidae	no result	
4482	SG54	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0009	yes		Cyprinidae	no result	
4484	SG56	Schnabelgasse	BS	Skull Element	12th	0.0026	yes		Cyprinidae	?Chub/Rudd	
4486	SG58	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0008	yes		Cyprinidae	no result	
4488	SG60	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0019	yes		Cyprinidae	no result	
4490	SG62	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0007			Cyprinidae	no result	
4492	SG64	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.00016	yes		Cyprinidae	no result	
4494	MUL1	Multergasse	SG	Skull Element	12th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4496	MUL3	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0009	yes	yes	Cyprinidae	no result	
4498	MUL5	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0006	yes		Cyprinidae	no result	
4500	MUL7	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
4502	MUL9	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0004			Cyprinidae	?Bream	
4504	MUL11	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0002			Cyprinidae	no result	
4506	MUL13	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0011			Cyprinidae	no result	
4508	MUL15	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
4510	MUL17	Multergasse	SG	Vertebra	12th	0.0001			Cyprinidae	no result	
4512	MUL19	Multergasse	SG	Vertebra	12th	0.0005			Cyprinidae	no result	
4514	WEE1	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0072	yes		Cyprinidae	?rudd	
4516	WEE3	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0024			Cyprinidae	?Tench/Godgesson	
4518	WEE5	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0013	yes		Cyprinidae	no result	
4520	WEE7	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0017			Cyprinidae	no result	
4522	WEE9	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0012			Cyprinidae	no result	
4524	WEE11	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	no result	
4526	WEE13	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	no result	
4528	WEE15	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0007			Cyprinidae	no result	
4530	WEE17	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0058	yes		Cyprinidae	Chub	
4532	WEE19	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	no result	
4534	WEE21	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0305	yes		Cyprinidae	Chub	
4536	WEE23	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	Inconclusive	
4538	WEE25	Weesen	SG	Neck	14th	0.0026			Cyprinidae	rudd	
4540	WEE27	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0254	yes		Cyprinidae	inconclusive	
4542	WEE29	Weesen	SG	Rib	14th	0.0468			Cyprinidae	no result	
4353	KhFh2	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.01			Cyprinidae	no result	
4355	KhFh4	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0055			Cyprinidae	?Tench	
4357	KhFh6	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0031	yes		Cyprinidae	no result	
4359	KhFh8	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0052	yes		Cyprinidae	no result	
4361	KhFh10	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0014			Cyprinidae	?Tench	
4363	KhFh12	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0016			Cyprinidae	?Tench	
4365	KhFh14	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0033			Cyprinidae	no result	
4367	KhFh16	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0018			Cyprinidae	?Tench	
4369	KhFh18	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.002	yes		Cyprinidae	no result	
4371	KhFh20	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0017			Cyprinidae	?Tench	
4373	KhFh22	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0013			Cyprinidae	?Tench	
4375	KhFh24	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0026			Cyprinidae	Tench	
4377	KhFh26	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0022			Cyprinidae	Tench	
4379	KhFh28	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0015			Cyprinidae	Rudd-Tench	
4381	KhFh30	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0029			Cyprinidae	no result	
4383	KhFh32	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0033			Cyprinidae	?Tench	
4385	KhFh34	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0023			Cyprinidae	?Tench	
4387	KhFh36	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0009			Cyprinidae	?Tench	
4389	KhFh38	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.001			Cyprinidae	?Tench	
4391	KhFh40	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	14 th/15th	0.0125			Cyprinidae	no result	
4393	KhFh42	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	14 th/15th	0.0012			Cyprinidae	no result	
4395	KhFh44	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	14 th/15th	0.0014			Cyprinidae	?Tench	
4397	KhFh46	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	14 th/15th	0.0016			Cyprinidae	Rudd-Chub-Bream	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
4399	KhFh48	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0051			Cyprinidae	?Tench	
4401	KhFh50	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0012			Cyprinidae	no result	
4403	KhFh52	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0012			Cyprinidae	?Tench	
4405	KhFh54	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0006			Cyprinidae	Bream	
4407	KhFh56	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0015			Cyprinidae	?Tench	
4409	KhFh58	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0035	yes		Cyprinidae	no result	
4411	KhFh60	Kleinhüningen Fischereihaus	BS	Vertebra	18th/19th	0.0037			Cyprinidae	?Tench	
4413	LSNB1	Lausen Bettenach	BL	Skull	6th - 9th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4415	LSNB3	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0005	yes		Cyprinidae	no result	
4417	LSNB5	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0003	yes		Cyprinidae	no result	
4419	LSNB7	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	?			Cyprinidae	no result	
4421	LSNB9	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0003			Cyprinidae	?Tench	
4423	LSNB11	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0004			Cyprinidae	?Tench	
4425	LSNB13	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0003			Cyprinidae	?Tench	
4427	LSNB15	Lausen Bettenach	BL	Vertebra	6th - 9th	0.0002			Cyprinidae	?Tench	
4429	SG1	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0014			Cyprinidae	?Tench	
4431	SG3	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0015			Cyprinidae	no result	
4433	SG5	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.002			Cyprinidae	no result	
4435	SG7	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.005			Cyprinidae	Bream	
4437	SG9	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0093	yes		Cyprinidae	Chub	
4439	SG11	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0057			Cyprinidae	Tench-Perch	
4441	SG13	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0002			Cyprinidae	Perch-Tench	
4443	SG15	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0008			Cyprinidae	?Tench	
4445	SG17	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0002			Cyprinidae	?Tench	
4447	SG19	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0003			Cyprinidae	?Tench	
4449	SG21	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0005			Cyprinidae	?Tench	
4451	SG23	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	no result	
4453	SG25	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0004			Cyprinidae	?Tench	
4455	SG27	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0008			Cyprinidae	?Tench	
4457	SG29	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0005			Cyprinidae	?Tench	
4459	SG31	Schnabelgasse	BS	Vertebra	14th	0.0004			Cyprinidae	?Tench	
4461	SG33	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0059			Cyprinidae	no result	
4463	SG35	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0016	yes		Cyprinidae	?Tench	
4465	SG37	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.002	yes		Cyprinidae	?Tench	
4467	SG39	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0015	yes		Cyprinidae	?Tench	
4469	SG41	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0007			Cyprinidae	Bream	
4471	SG43	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.001	yes		Cyprinidae	?Tench	
4473	SG45	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0012	yes		Cyprinidae	?Tench	
4475	SG47	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0019			Cyprinidae	?Tench	
4477	SG49	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0018	yes		Cyprinidae	Bream-Chub	
4479	SG51	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0008			Cyprinidae	?Tench	
4481	SG53	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0007	yes		Cyprinidae	?Tench	
4483	SG55	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.001	yes		Cyprinidae	?Tench	
4485	SG57	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0019			Cyprinidae	?Tench	
4487	SG59	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.002	yes		Cyprinidae	?Tench	
4489	SG61	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0017	yes		Cyprinidae	?Tench	
4491	SG63	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0013	yes		Cyprinidae	no result	
4493	SG65	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0003	yes		Cyprinidae	no result	
4495	MUL2	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0023	yes	yes	Cyprinidae	Bream	
4497	MUL4	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0003	yes		Cyprinidae	Tench	
4499	MUL6	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0004	yes		Cyprinidae	Roach	
4501	MUL8	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0008	yes		Cyprinidae	Rudd-Bream	
4503	MUL10	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4505	MUL12	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0003			Cyprinidae	no result	
4507	MUL14	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0006			Cyprinidae	Rudd-Roach	
4509	MUL16	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0001	yes		Cyprinidae	no result	
4511	MUL18	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0002			Cyprinidae	Barbel	
4513	MUL20	Multergasse	SG	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	Bream	
4515	WEE2	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0112	yes		Cyprinidae	Bream	
4517	WEE4	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0025	yes		Cyprinidae	Roach	
4519	WEE6	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0024			Cyprinidae	Bream-Rudd	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
4521	WEE8	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.001			Cyprinidae	Rudd	
4523	WEE10	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0006			Cyprinidae	?Tench	
4525	WEE12	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0013			Cyprinidae	Tench-Bream	
4527	WEE14	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0004			Cyprinidae	no result	
4529	WEE16	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.005	yes		Cyprinidae	Rudd	
4531	WEE18	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0081			Cyprinidae	Bream	
4533	WEE20	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0025			Cyprinidae	Bream	
4535	WEE22	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.00101	yes		Cyprinidae	Bream	
4537	WEE24	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0012	yes		Cyprinidae	no result	
4539	WEE26	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0358	yes		Cyprinidae	no result	
4541	WEE28	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.063			Cyprinidae	Bream-Tench	
4543	WEE30	Weesen	SG	Scale	14th	0.0047			Cyprinidae	Roach	
5181	AB6	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0268			Cyprinidae		
5182	AB7	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0013			Cyprinidae	Perch	
5183	AB8	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0224	yes		Cyprinidae	Bream	
5184	AB9	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.005	yes		Cyprinidae	Chub?	
5185	AB10	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0085			Cyprinidae		
5186	AB11	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0296			Cyprinidae		
5187	AB12	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0036			Cyprinidae		
5188	AB13	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.001			Cyprinidae		
5189	AB14	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0381			Cyprinidae		
5190	AB15	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0136			Cyprinidae	Bream	
5191	AB16	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0074	yes		Cyprinidae		
5192	AB17	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0108			Cyprinidae	Bream	
5193	AB18	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0092			Cyprinidae		
5194	AB19	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0027			Cyprinidae		
5195	AB20	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0029			Cyprinidae		
5196	AB21	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0017			Cyprinidae		
5197	AB22	Altenberg	BL	Vertebra	11th	0.0012			Cyprinidae	Tench	
5198	AB23	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.0377			Cyprinidae	Chub	
5199	AB24	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.0014			Cyprinidae	Barbel	
5200	AB25	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.0085			Cyprinidae		
5201	AB26	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.036			Cyprinidae		
5202	AB27	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.0585			Cyprinidae		
5203	AB28	Altenberg	BL	Os pharyng.	11th	0.0209			Cyprinidae		
5204	Wee 31	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0079			Cyprinidae	Rudd/Chub	
5205	Wee 32	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	Carp	<i>No significant matches - top hit: chub</i>
5206	Wee 33	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0052			Cyprinidae	Roach	
5207	Wee 34	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0039			Cyprinidae	Bream	
5208	Wee 35	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0017			Cyprinidae	Rudd/Chub	
5209	Wee 36	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0031			Cyprinidae		
5210	Wee 37	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0016			Cyprinidae	Chub?	
5211	Wee 38	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0019			Cyprinidae	Chub/Perch	
5212	Wee 39	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.002	yes		Cyprinidae	Roach	
5213	Wee 40	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0012			Cyprinidae	Bream?	
5214	Wee 41	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0011			Cyprinidae	Perch	
5215	Wee 42	Weesen	SG	Vertebra	14th	0.0011			Cyprinidae	Tench	
5216	Stein 1	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0214			Cyprinidae		
5217	Stein 2	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.001			Cyprinidae	Perch	
5218	Stein 3	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0009			Cyprinidae	Carp	<i>too poor spectrum - no result</i>
5219	Stein 4	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0015	yes		Cyprinidae	Chub	
5220	Stein 5	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0014	yes		Cyprinidae	Rudd	
5221	Stein 6	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0013	yes		Cyprinidae		
5222	Stein 7	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0015			Cyprinidae	Bream/Rudd	
5223	Stein 8	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0015			Cyprinidae		
5224	Stein 9	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0007			Cyprinidae	Bream	
5225	Stein 10	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0007			Cyprinidae	Rudd/Chub/Bream	
5226	Stein 11	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0005			Cyprinidae	Bream	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

Sample Nr.+A25 0:L25A2 50:L290	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
5227	Stein 12	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0004			Cyprinidae		
5228	Stein 13	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.001	yes		Cyprinidae	Tench?	
5229	Stein 14	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.001	yes		Perch	Perch	
5230	Stein 15	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0007	yes		Cyprinidae	Tench?	
5231	Stein 16	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0012			Cyprinidae	Bream/Tench?	
5232	Stein 17	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0029			Cyprinidae	Bream	
5233	Stein 18	Stein am Rhein	SH	Vertebra	13th - 16th	0.0013			Cyprinidae	Tench	
5234	Stein 19	Stein am Rhein	SH	Os pharyng.	13th - 16th	0.0072			Cyprinidae	Chub	
5241	Rei 7	Reischacherhof	BS	Skull Element	16th/17th	0.0084			Cyprinidae	Tench	
5242	Rei 8	Reischacherhof	BS	Os pharyng.	16th/17th	0.0112			Cyprinidae	Carp	
5243	Rei 9	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0021	yes		Cyprinidae	Tench	
5244	Rei 10	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0007			Cyprinidae		
5245	Rei 11	Reischacherhof	BS	Os pharyng.	16th/17th	0.0025			Cyprinidae		
5246	Rei 12	Reischacherhof	BS	Os pharyng.	16th/17th	0.002			Cyprinidae	Perch	<b>Combination Perch and os pharyngeus not possible</b>
5247	Rei 13	Reischacherhof	BS	Urostyl	16th/17th	0.0013			Cyprinidae	Tench	
5248	Rei 14	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0007			Cyprinidae		
5249	Rei 15	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.001			Cyprinidae		
5250	Rei 16	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0029	yes		Cyprinidae		
5251	Rei 17	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0013	yes		Cyprinidae		
5252	Rei 18	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0007			Cyprinidae	Tench?	
5253	Rei 19	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0012	yes		Cyprinidae		
5254	Rei 20	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.001	yes		Cyprinidae	Bream	
5255	Rei 21	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.001			Cyprinidae		
5256	Rei 22	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.001			Cyprinidae	Tench	
5257	Rei 23	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.0009			Cyprinidae	Bream	
5258	Rei 24	Reischacherhof	BS	Vertebra	16th/17th	0.001			Cyprinidae	Tench	
5259	All 1	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.006	yes		Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5260	All 2	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0057	yes		Cyprinidae	Tench	
5261	All 3	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0035	yes		Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5262	All 4	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.008			Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5263	All 5	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0053	yes		Cyprinidae	Bream	
5264	All 6	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.003			Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5265	All 7	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0034			Cyprinidae	Tench?	
5266	All 8	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.01			Cyprinidae		
5267	All 9	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0063	yes		Cyprinidae		
5268	All 10	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0059			Cyprinidae		
5269	All 11	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0013			Cyprinidae	Tench?	
5270	All 12	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	11th	0.0007			Cyprinidae	Bream	
5271	All 13	Kloster Allerheiligen	SH	Skull Element	11th	0.0005			Cyprinidae	Tench	
5272	All 14	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	11th	0.0011	yes		Cyprinidae	Tench?	
5273	All 15	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	11th	0.0003			Cyprinidae	Chub/Rudd/Bream	
5274	All 16	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	11th	0.0007			Cyprinidae	Bream	
5275	All 17	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	11th	0.0005	yes		Cyprinidae	Tench?	
5276	All 18	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	12th	0.0048	yes		Cyprinidae	Perch	
5277	All 19	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0003			Cyprinidae	Tench	
5278	All 20	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0012	yes		Cyprinidae	Tench	
5279	All 21	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0008			Cyprinidae	Bream	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
5280	All 22	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.001	yes		Cyprinidae		
5281	All 23	Kloster Allerheiligen	SH	Vertebra	15th/16th	0.0018	yes		Cyprinidae	Bream	
5283	Wi 2	Wildensteinerhof	BS	Os pharyng.	14th	0.0131			Cyprinidae	no result	
5284	Wi 3	Wildensteinerhof	BS	Skull Element	14th	0.0368			Cyprinidae	no result	
5285	Wi 4	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.001			Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5286	Wi 5	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0015			Cyprinidae	?Perch-Tench	
5287	Wi 6	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0013			Cyprinidae	Tench	
5288	Wi 7	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0013			Cyprinidae	Bream	
5289	Wi 8	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0066	yes		Cyprinidae	?Bream	
5290	Wi 9	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0091			Cyprinidae	?Chub	
5291	Wi 10	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.008	yes		Cyprinidae	?Roach	
5292	Wi 11	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0017			Cyprinidae	?Bream	
5293	Wi 12	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0034	yes		Cyprinidae	no result	
5294	Wi 13	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	?Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5295	Wi 14	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0022			Cyprinidae	Unknown	
5296	Wi 15	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0009	yes		Cyprinidae	Tench	
5297	Wi 16	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0007			Cyprinidae	Roach	
5298	Wi 17	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	Tench-Chub	
5299	Wi 18	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0011	yes		Cyprinidae	?Perch-Bream	
5300	Wi 19	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	Unknown	
5301	Wi 20	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0022			Cyprinidae	no result	
5302	Wi 21	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0027			Cyprinidae	no result	
5303	Wi 22	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0023	yes		Cyprinidae	?Bream	
5304	Wi 23	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0081			Cyprinidae	no result	
5305	Wi 24	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.009	yes		Cyprinidae	no result	
5306	Wi 25	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
5307	Wi 26	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
5308	Wi 27	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0015	yes		Cyprinidae	no result	
5309	Wi 28	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0009			Cyprinidae	Carp	<i>No significant matches</i>
5310	Wi 29	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.001	yes		Cyprinidae	Bream	
5311	Wi 30	Wildensteinerhof	BS	Urostyl	14th	0.001	yes		Cyprinidae	?Bream	
5312	Wi 31	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0027			Cyprinidae	no result	
5313	Wi 32	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0015			Cyprinidae	no result	
5314	Wi 33	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0009	yes		Cyprinidae	no result	
5315	Wi 34	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0007			Cyprinidae	no result	
5316	Wi 35	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0028			Cyprinidae	Bream-Chub	
5317	Wi 36	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0023	yes		Cyprinidae	Bream	
5318	Wi 37	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.002	yes		Cyprinidae	Bream	
5319	Wi 38	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0012			Cyprinidae	Roach-Bream-Chub	
5320	Wi 39	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.001	yes		Cyprinidae	Chub	
5321	Wi 40	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0011			Cyprinidae	no result	
5322	Wi 41	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0014			Cyprinidae	?Goldfish-Chub-Tench	
5323	Wi 42	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0007			Cyprinidae	Chub	
5324	Wi 43	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0009			Cyprinidae	no result	
5325	Wi 44	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0053			Cyprinidae	no result	
5326	Wi 45	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0026			Cyprinidae	Bream	
5327	Wi 46	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0015			Cyprinidae	?Roach	
5328	Wi 47	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0013			Cyprinidae	?Tench-Gudgeon	
5329	Wi 48	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0013			Cyprinidae	no result	
5330	Wi 49	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0016	yes		Cyprinidae	?Chub-Rudd-Bream	
5331	Wi 50	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0016	yes		Cyprinidae	no result	
5332	Wi 51	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0014			Cyprinidae	?Tench-Goldfish	
5333	Wi 52	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0018			Cyprinidae	?Tench-Bream	
5334	Wi 53	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0019			Cyprinidae	Gudgeon	
5335	Wi 54	Wildensteinerhof	BS	Vertebra	14th	0.0018			Cyprinidae	Tench	

## Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. Species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
5337	MKB 2	Museum der Kulturen	BS	Weberian app	15th/16th	0.0093			Cyprinidae	Tench	
5338	MKB 3	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0151			Cyprinidae	Bream	
5339	MKB 4	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0058			Cyprinidae	no result	
5340	MKB 5	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0057			Cyprinidae	?Bream	
5341	MKB 6	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.01	yes		Cyprinidae	Bream	
5342	MKB 7	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0105	yes		Cyprinidae	no result	
5343	MKB 8	Museum der Kulturen	BS	Os pharyng.	15th/16th	0.015			Cyprinidae	Bream-Roach	
5344	MKB 9	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0031			Cyprinidae	?Bream	
5345	MKB 10	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0027			Cyprinidae	no result	
5346	MKB 11	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.001			Cyprinidae	no result	
5347	MKB 12	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0005			Cyprinidae	no result	
5348	MKB 13	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.001			Cyprinidae	no result	
5349	MKB 14	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0008			Cyprinidae	no result	
5350	MKB 15	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0054	yes		Cyprinidae	no result	
5351	MKB 16	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0024	yes		Cyprinidae	Tench	
5352	MKB 17	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0006	yes		Cyprinidae	no result	
5353	MKB 18	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0006	yes		Cyprinidae	?Bream	
5354	MKB 19	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0011	yes		Cyprinidae	no result	
5355	MKB 20	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0006	yes		Cyprinidae	?Bream	
5356	MKB 21	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0064			Cyprinidae	?Bream	
5357	MKB 22	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0006			Cyprinidae	?Roach-Chub	
5358	MKB 23	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0014			Cyprinidae	Chub	
5359	MKB 24	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.046			Cyprinidae	?Bream	
5360	MKB 25	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0095	yes		Cyprinidae	?Bream-Chub	
5361	MKB 26	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0033			Cyprinidae	no result	
5362	MKB 27	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5363	MKB 28	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.001			Cyprinidae	no result	
5364	MKB 29	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0011			Cyprinidae	no result	
5365	MKB 30	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0035	yes		Cyprinidae	no result	
5366	MKB 31	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5367	MKB 32	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0015			Cyprinidae	?Bream	
5368	MKB 33	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0022			Cyprinidae	?Bream	
5369	MKB 34	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0026	yes		Cyprinidae	?Bream	
5370	MKB 35	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.001	yes		Cyprinidae	no result	
5371	MKB 36	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0012	yes		Cyprinidae	no result	
5372	MKB 37	Museum der Kulturen	BS	Vertebra	15th/16th	0.0011	yes		Cyprinidae	no result	
5373	WKG 1	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0009			Cyprinidae	no result	
5374	WKG 2	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0012			Cyprinidae	no result	
5375	WKG 3	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0053			Cyprinidae	no result	
5376	WKG 4	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0019			Cyprinidae	no result	
5377	WKG 5	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.001			Cyprinidae	no result	
5378	WKG 6	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0011			Cyprinidae	no result	
5379	WKG 7	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0019	yes		Cyprinidae	no result	
5380	WKG 8	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0022			Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5381	WKG 9	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0016			Cyprinidae	Roach	
5382	WKG 10	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5383	WKG 11	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.002			Cyprinidae	no result	
5384	WKG 12	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0014			Cyprinidae	no result	
5385	WKG 13	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0019			Cyprinidae	?Barbel	
5386	WKG 14	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0033			Cyprinidae	?Perch-Tench	
5387	WKG 15	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0015			Cyprinidae	Perch	<b>not possible (morpholog. identification was cyprinid)</b>
5388	WKG 16	Winterthur Obere Kirchgasse	ZH	Vertebra	12th	0.0018			Cyprinidae	?Bream	
5389	WOG 1	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0023	yes		Cyprinidae	no result	
5390	WOG 2	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0005	yes		Cyprinidae	no result	
5391	WOG 3	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeal	13th	0.0012	yes		Cyprinidae	no result	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
5392	WOG 4	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0009	yes		Cyprinidae	Bream	
5393	WOG 5	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0147			Cyprinidae	no result	
5394	WOG 6	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0037			Cyprinidae	no result	
5395	WOG 7	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0027			Cyprinidae	no result	
5396	WOG 8	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0012			Cyprinidae	Roach-Bream-Chub-Rudd	
5397	WOG 9	Winterthur Obergasse	ZH	Os pharyngeu	13th	0.0011			Cyprinidae	Tench-Perch	<b>Combination Perch and os pharyngeus not possible</b>
5398	WOG 10	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	Bream	
5399	WOG 11	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5400	WOG 12	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	no result	
5401	WOG 13	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0005			Cyprinidae	?Perch-Tench-Bream	
5402	WOG 14	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0005			Cyprinidae	Carp	<i>No significant matches - top hit: goldfish/chub</i>
5403	WOG 15	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0008			Cyprinidae	Roach-Bream	
5404	WOG 16	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0008			Cyprinidae	Bream	
5405	WOG 17	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0005			Cyprinidae	Perch	<b>lost</b>
5406	WOG 18	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	Bream	
5407	WOG 19	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0013			Cyprinidae	Bream-Chub	
5408	WOG 20	Winterthur Obergasse	ZH	Vertebra	13th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5409	ZHS 1	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0041	yes		Cyprinidae	Tench	
5410	ZHS 2	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0023	yes		Cyprinidae	Tench	
5411	ZHS 3	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0012	yes		Cyprinidae	Bream	
5412	ZHS 4	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0023	yes		Cyprinidae	Barbel-Tench	
5413	ZHS 5	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0032	yes		Cyprinidae	Tench	
5414	ZHS 6	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0057			Cyprinidae	Barbel	
5415	ZHS 7	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0174			Cyprinidae	Tench	
5416	ZHS 8	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0074			Cyprinidae	Barbel	
5417	ZHS 9	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0071			Cyprinidae	Tench-Bream	
5418	ZHS 10	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0082			Cyprinidae	Tench	
5419	ZHS 11	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0065			Cyprinidae	Tench	
5420	ZHS 12	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0045			Cyprinidae	Perch	
5421	ZHS 13	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0003			Cyprinidae	Perch-Bream	
5422	ZHS 14	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0027			Cyprinidae	no result	
5423	ZHS 15	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0028			Cyprinidae	no result	
5424	ZHS 16	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0021			Cyprinidae	Tench	
5425	ZHS 17	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.002			Cyprinidae	Barbel-Perch	
5426	ZHS 18	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0029			Cyprinidae	Tench-Perch	
5427	ZHS 19	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0009			Cyprinidae	Tench-Perch	
5428	ZHS 20	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0013			Cyprinidae	Tench	
5429	ZHS 21	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0006			Cyprinidae	Tench-Perch	
5430	BBG 1	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0024			Cyprinidae	no result	
5431	BBG 2	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0012			Cyprinidae	no result	
5432	BBG 3	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.009			Cyprinidae	Tench-Perch	<b>lost</b>
5433	BBG 4	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0008			Cyprinidae	Tench-Perch	<b>lost</b>
5434	BBG 5	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0008			Cyprinidae	Perch-Bream	<b>lost</b>
5435	BBG 6	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0006			Cyprinidae	no result	<b>lost</b>
5436	BBG 7	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0006			Cyprinidae	Tench-Perch	
5437	BBG 8	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0006			Cyprinidae	Tench-Perch	
5438	BBG 9	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	Tench-Perch	
5439	BBG 10	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	Tench	
5440	BBG 11	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	Tench	
5441	BBG 12	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0009			Cyprinidae	Tench-Perch	<b>lost</b>
5442	BBG 13	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	Tench-Perch	<b>lost</b>
5443	BBG 14	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0009			Cyprinidae	Perch-Bream	
5444	BBG 15	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	no result	
5445	BBG 16	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0007			Cyprinidae	no result	
5446	BBG 17	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	?Tench-Perch	
5447	BBG 18	Bäumleingasse	BS	Vertebra	13th	0.0012			Cyprinidae	no result	
5448	ZHS 22	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0081			Cyprinidae	Bream-Chub	
5449	ZHS 23	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0044			Cyprinidae	no result	

Anhang Tabelle 2 (Fortsetzung)

BioArch Sample Nr.	IPNA Sample Nr.	Site name	Canton	Skeletal Element	Date Century AD	Weight (g)	Traces of digestion	Traces of burning	Morpholog. species of identification	ZooMS suggested Fish Species	<i>Mmass suggested fish species (italics)</i> Remarks Simone Häberle (bold)
5450	ZHS 24	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0091			Cyprinidae	no result	
5451	ZHS 25	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0028			Cyprinidae	Perch-Tench	
5452	ZHS 26	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	Tench	
5453	ZHS 27	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.0012			Cyprinidae	no result	
5454	ZHS 28	Schöffelgasse	ZH	Vertebra	13th	0.001			Cyprinidae	no result	
5455	SG 66	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0017	yes		Cyprinidae	no result	
5456	SG 67	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0015	yes		Cyprinidae	no result	
5457	SG 68	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.002	yes		Cyprinidae	no result	
5458	SG 69	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0038	yes		Cyprinidae	no result	
5459	SG 70	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0055	yes		Cyprinidae	no result	
5460	SG 71	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0033	yes		Cyprinidae	no result	
5461	SG 72	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0023			Cyprinidae	Bream-Perch	
5462	SG 73	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0016			Cyprinidae	no result	
5463	SG 74	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0023			Cyprinidae	Tench-Barbel	
5464	SG 75	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0009			Cyprinidae	no result	
5465	SG 76	Schnabelgasse	BS	Skull Element	12th	0.0024	yes		Cyprinidae	no result	
5466	SG 77	Schnabelgasse	BS	Skull Element	12th	0.0013	yes		Cyprinidae	no result	
5467	SG 78	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0024	yes		Cyprinidae	Roach	
5468	SG 79	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0012	yes		Cyprinidae	no result	
5469	SG 80	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.003	yes		Cyprinidae	no result	
5470	SG 81	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0028	yes		Cyprinidae	no result	
5471	SG 82	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0013			Cyprinidae	no result	
5472	SG 83	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.0018			Cyprinidae	no result	
5473	SG 84	Schnabelgasse	BS	Vertebra	12th	0.002			Cyprinidae	no result	
? AB1	Altenberg		BL	Vertebra	11th	?			Cyprinidae	no results	
? AB2	Altenberg		BL	Urostyl	11th	?			Cyprinidae	no results	
? AB3	Altenberg		BL	Urostyl	11th	?			Cyprinidae	no results	
? AB4	Altenberg		BL	Os pharyng.	11th	?			Cyprinidae	no results	
? AB5	Altenberg		BL	Os pharyng.	11th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 1	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 2	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 3	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 4	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 5	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Rei 6	Reischacherhof		BS	Vertebra	16th/17th	?			Cyprinidae	no results	
? Wi 1	Wildensteinerhof		BS	Vertebra	14th	?			Cyprinidae	no results	
? MKB 1	Museum der Kulturen		BS	Vertebra	15th/16th	?			Cyprinidae	?Chub/Barbel/Bream	