

Großbaustelle Karlsgraben

Eine Chaîne opératoire für den Umgang mit der Ressource Holz in der Karolingerzeit

Lukas Werther

In den Jahrzehnten um 800 wurden im Fränkischen Reich – insbesondere östlich des Rheins – enorme Ressourcen für eine Vielzahl großer Bauprojekte mobilisiert.¹ Besonders für die Ressource Holz zeigt die dendroarchäologisch erfasste Intensität des Einschlags in dieser Phase regionsübergreifend eine ausgeprägte Bedarfsspitze.² Karolingerzeitliche Pfalz- und Kirchenbauten sowie Befestigungen stehen seit langem im Fokus der archäologischen Forschung, Infrastrukturprojekte fanden dagegen wenig Beachtung.³ Im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1630 der DFG bearbeitet unser interdisziplinäres Team seit 2012 das wohl ambitionierteste Verkehrsprojekt im Fränkischen Reich, den sogenannten Karlsgraben.⁴ Ziel dieses Kanalbaus war die Überwindung der europäischen Hauptwasserscheide, um einen durchgehenden Schifffahrtsweg zwischen Donau und Rhein zu schaffen (Abb. 1). Die Kanaltrasse zwischen Altmühl und Schwäbischer Rezat nahe der heutigen Orte Graben, Dettenheim und Weißenburg (Bayern, Mittelfranken) wurde an einer optimalen Stelle lokalisiert: die Distanz zwischen den Anschlussgewässern und der zu überwindende Höhenunterschied sind im Vergleich mit anderen potentiellen Standorten entlang der europäischen Hauptwasserscheide minimal.⁵ Am gewählten Bauplatz war damit der geringste Einsatz an Humanressourcen und Baumaterial zu erwarten.

Verschiedene Schriftquellen des ausgehenden 8. und 9. Jahrhunderts schildern den Bau im Herbst 793 und beschreiben Erdarbeiten durch eine Vielzahl von Arbeitern.⁶ Keine Erwähnung finden dagegen die umfangreichen Holzarbeiten auf der Baustelle. Aushubtiefen bis zu 12 m in wenig standfesten fluvialen Sanden lassen Erdarbeiten ohne stabilisierende Einbauten unmöglich erscheinen und so verwunderte es nicht, dass Grabungsbefunde und Bohrungen seit 2013 zeigten, dass in die Baugrube umfangreiche hölzerne Einbauten eingebracht worden waren.⁷

Bei einer bislang nachgewiesenen Kanallänge von mindestens 3000 m ergibt sich daraus ein beträchtlicher Holzbedarf auf der Kanalbaustelle. Der Zugriff auf umfangreiche Holzressourcen war durch die königliche Initiative des Bauvorhabens gewährleistet.⁸ Im Umfeld des Königshofs Weißenburg sind im 9. Jahrhundert ausgedehnte Forste beziehungsweise Forstnutzungsrechte überliefert, die sich vermutlich bereits

1 Untermann 2006, 79, 93–120 und 133–152.

2 Büntgen u.a. 2011, Fig. 2.

3 Zu erstgenannten exemplarisch Ettl 2014; Fenske 2001; Heckner/Beckmann 2012; Lobbedey 1999; Riek/Goll/Descœudres 2013. Zur Infrastruktur Haase/Werther/Wunschel 2015; Ettl 2008; Koch 2008; Liebert 2015; Siemers 2011; Steidl 2013.

4 Ettl u.a. 2014; Werther u.a. 2015.

5 Zielhofer/Kirchner 2014; Werther u.a. 2015, 154.

6 Hack 2014; Werther u.a. 2015, 153 f.

7 Leitholdt u.a. 2012, 96–100; Zielhofer u.a. 2014; Werther/Herzig 2014; Werther u.a. 2015, 157–160 und 162–176.

8 Dasler 2001; Kudorfer 1970, 512–521; Wickham 1989; Zotz 1997.



Abb. 1: Lage des Karlsgrabens im mitteleuropäischen Gewässersystem.



Abb. 2: Übersichtsplan des Karlsgrabens mit Grabungsschnitt, rezenten Ortsbereichen, Gewässern sowie Wald- und Gehölzflächen. Basisdaten Digitales Geländemodell aus Laserscan.

im 8. Jahrhundert in der Verfügungsgewalt des Königs befanden.⁹ Auch für verschiedene Vertreter der karolingischen Elite ist umfangreicher Besitz und die Verfügungsgewalt über Forste im unmittelbaren Karlsgrabenumfeld nachgewiesen.¹⁰ Wie bei anderen hydrotechnischen Bauprojekten des 8./9. Jahrhunderts dürften zumindest der für das Gebiet zuständige Graf und Bischof sowie weitere Lehensträger im Rahmen ihrer Baupflichten in das Projekt eingebunden gewesen sein.¹¹ Es ist daher zu erwarten, dass diese Gruppe auch für die Beschaffung des benötigten Bauholzes eine gewisse Rolle gespielt hat. Treffen die Schilderungen des Vorhabens in den zeitgenössischen Schriftquellen zu und vollzog sich der Bauprozess tatsächlich im Wesentlichen in der zweiten Hälfte des Jahres 793, so müsste die Ressource Holz in einem kurzen Zeitraum mobilisiert worden sein. Alternativ wäre es denkbar, dass bereits längere Zeit vor Beginn der Erdarbeiten das benötigte Bauholz bereitgestellt wurde.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die beiden Modelle anhand des neu gewonnenen archäologischen Quellenmaterials zu prüfen und Details des Umgangs mit der Ressource Bauholz auf der Großbaustelle Karlsgraben herauszuarbeiten. Ausgangspunkt der Studie sind die Holzbefunde, die 2013 in einem 2 m breiten Grabungsschnitt rechtwinklig zur Fahrrinne im Nordteil des Karlsgrabens dokumentiert wurden (Abb. 2). Die dendroarchäologische Bearbeitung erfolgt durch Franz Herzig (Baye-

⁹ Werther 2014, 48; Eigler 1976.

¹⁰ Werther 2014, 48–50.

¹¹ Werther u.a. 2015, 151–153; Szabó 1984, 131f.

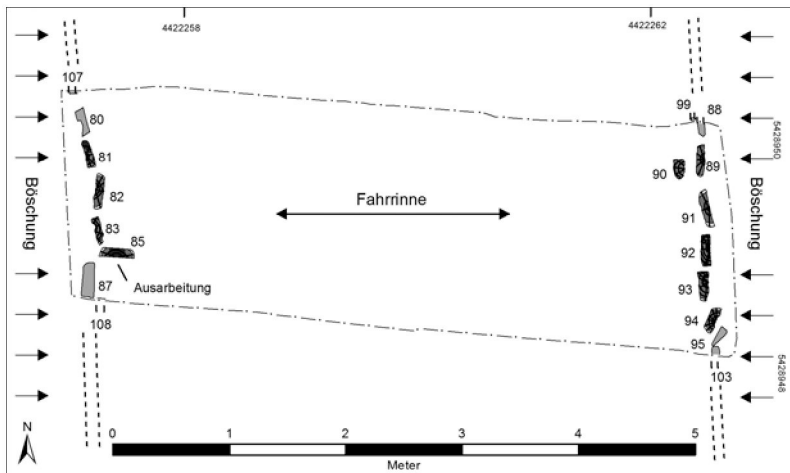


Abb. 3: Hölzerne Böschungssicherung beiderseits der karolingerzeitlichen Fahrrinne des Karlsgrabens. Ergraben in Planum 8 des Grabungsschnitts 2013, Fortsetzung nach Norden und Süden mit Strichlinien angedeutet. Im Bereich der Pfahlköpfe Kartierung dendroarchäologischer Detailbefunde und Angabe der Befundnummern der Hölzer. Koordinatenangaben Gauß-Krüger Zone 4.

risches Landesamt für Denkmalpflege). Ihm und allen anderen Mitgliedern des Projektteams gilt der Dank des Verfassers für die geleisteten Arbeiten.

Innerhalb der etwa 15 m breiten karolingerzeitlichen Baugrube fand sich an beiden Rändern der etwas über 5 m breiten Fahrrinne eine hölzerne Böschungssicherung aus eingerammten Eichenpfählen (Abb. 3).¹² Die stehenden Bauteile dieser Holzkonstruktion wurden, obgleich teilweise leicht zur Fahrrinne hin verdrückt, in situ angetroffen und waren bis auf die Pfahlköpfe sehr gut erhalten (Abb. 4). Verschiedene kleinere Fragmente von liegenden Bauteilen wurden dagegen verlagert in der ehemaligen Fahrrinne geborgen. Der ergrabene Befundkomplex lässt mindestens drei konstruktive Elemente erkennen; ob weitere Elemente aufgrund der geringen Schnittbreite nicht erfasst wurden, muss allerdings offen bleiben.¹³ Kernstück der Böschungssicherung sind zwei uferparallele Reihen von eingerammten, sauber angespitzten Pfählen mit flachrechteckigen Querschnitten am östlichen und westlichen Böschungsfuß. Die zweite konstruktive Einheit bilden einzelne, besonders tief gegründete Pfähle mit massiverem balkenartigem Querschnitt, die im Abstand von wenigen Zentimetern vor die Innenseite der Pfahlreihe gesetzt wurden. Im Wasserbau werden derartige vorgesetzte Pfähle als Kopfpfähle bezeichnet und dienen dem Schutz des Uferverbau vor dem Aufstoßen der Wasserfahrzeuge und der dadurch ausgelösten Lockerung des Erdreichs der Böschung.¹⁴ Das dritte konstruktive Element wird nur durch einen flach

Konstruktion und Datierung der Böschungssicherung

¹² Dazu ausführlich Werther u.a. 2015, 162–173.

¹³ Ebenda, 171–173.

¹⁴ Hagen 1844, 118 und 127; Werther u.a. 2015, 171 f.



Abb. 4: Böschungssicherung am östlichen Böschungsfuß des Kanals, Blick von Westen. Von rechts nach links die Pfähle Befund 93, 92, 91, 89 und vorgesetzt unter den Sandsäcken die Südseite des Kopfpfahls Befund 90. Deutlich erkennbar sind die abgewitterten Pfahlköpfe und die nachrutschenden Sande.

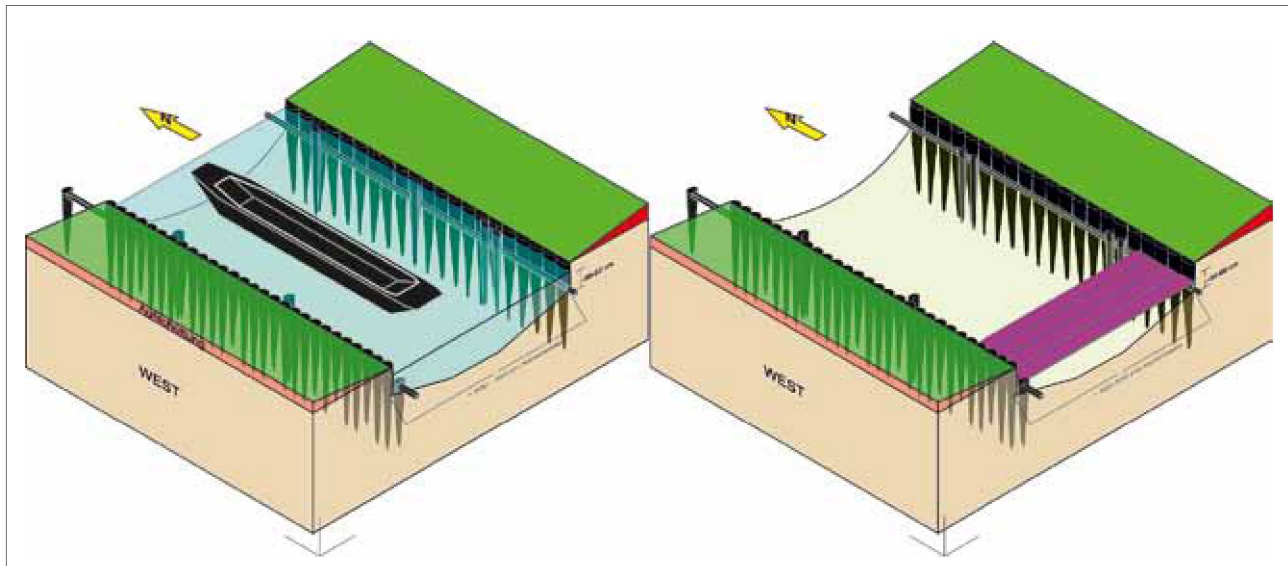


Abb. 5: Modellentwurf der Kanalkonstruktion im Bereich des Grabungsschnitts, rechts mit möglicher Arbeitsplattform oder Steg.

gegründeten Pfahl repräsentiert, der im 90°-Winkel innen vor die Pfahlreihe gesetzt war und ein Zapfenloch beziehungsweise eine Schlitzung aufwies. Diese Ausparung dürfte ursprünglich einen Querriegel fixiert haben, der vermutlich als Auflager für eine unbekannte Auflast diente. Ein gut vergleichbarer, zeitgleicher Befund aus Haithabu zeigt, dass dieses Konstruktionselement im frühmittelalterlichen Wasserbau überregional verbreitet war und unter anderem als Auflager für Stege dienen konnte.¹⁵ Aus verschiedenen Gründen dürfte dieses Bauteil auch am Karlsgraben dafür gedient haben, eine vertikale Last abzutragen, die auf Querriegeln in der Ausarbeitung auflag – beispielsweise einen Steg oder eine mobile Arbeitsplattform, wie in Abb. 5 rechts dargestellt.¹⁶

Tabelle 1: Übersicht der Bauhölzer mit dendroarchäologischen Details (F. Herzig/L. Werther)

Holzfund-Nr.	Befund	Fundzettel	Lage	Holzbauteil	Holzart	erhaltene Länge in cm	erhaltene Breite in cm	Dm. Stamm (rek.) in cm	Stärke in cm	Waldkante	Jahre	Endjahr	Fälljahr/Abschätzung nach Splintstatistik mit 16 ± 6 Splintholzringen
TREU002_101	81	101	Westufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	174	25	29	9	WKX	65	793	793
TREU002_100	82	100	Westufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	160	26	31	7	WKX?	85	793	793
TREU002_086	83	86	Westufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	158	23	31	7,5	—	53	788	791-3/+6
TREU002_085	85	85	Westufer	Pfahl 90° vor Wand	Quercus sp.	149	28	32	10	WKX	49	793	793
TREU002_094	89	94	Ostufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	190	25	30	7	WKX	62	793	793
TREU002_096	90	96	Ostufer	Pfahl vor Wand	Quercus sp.	176	18	25	11	—	81	789	794-5/+6
TREU002_088	91	88	Ostufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	180	26	34	9	—	59	784	795±6
TREU002_089	92	89	Ostufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	180	26	32	9	WKX	107	793	793
TREU002_097	93	97	Ostufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	160	26	35	9	WKX	78	793	793
TREU002_098	94	98	Ostufer	Pfahl Wand	Quercus sp.	162	23	25	8	WKX	61	793	793

Aus den drei Konstruktionselementen wurden nach der Dokumentation insgesamt zehn Einzelbauteile (Tabelle 1) vollständig entnommen und dendroarchäologisch bearbeitet.¹⁷ Sie bilden die Stichprobe, auf der die folgenden Überlegungen zur Holznutzung auf der Baustelle aufbauen. Trotz der guten Datenqualität schränkt die Stichprobengröße die Möglichkeiten zur Verallgemeinerung der Ergebnisse erheblich ein. Es muss zukünftigen Forschungen vorbehalten bleiben, die Stichprobe zu erweitern und die Repräsentativität der Ergebnisse für das Gesamtbauwerk zu prüfen.

Für den ergrabenen Ausschnitt des Kanals ist festzuhalten, dass die gesamte Holzkonstruktion in einem sehr engen Zeitfenster errichtet wurde. An sieben der zehn Pfähle konnte eine Waldkante dokumentiert werden. Die Spätholzbildung war bei sechs Baumindividuen nahezu abgeschlossen, sodass sich der Fällzeitpunkt auf den Spätsommer bis Herbst eingrenzen lässt.¹⁸ Die Datierung der Einzelkurven und einer daraus gebildeten 107-jährigen Mittelkurve in das Jahr 793 ist über verschiedene süddeutsche Eichenchronologien sehr gut abgesichert. Die größte Übereinstimmung zeigt sich mit der aus archäologischen Hölzern aufgebauten Eichenchronologie der forstlichen Wuchsbezirke Frankenalb und Oberpfälzer Jura, die für das Frühmittelalter sehr dicht belegt ist.¹⁹ Frühere oder spätere Schlagphasen sind in der untersuchten Stichprobe nicht nachweisbar. Die jeweils jüngsten datierten Jahrringe der drei Hölzer ohne Waldkante liegen wenige Jahre vor 793 und lassen über die Splintstatistik ebenfalls auf einen Einschlag um 793 schließen. Dies wird auch durch die Datierungen der Hölzer in sekundärer Fundlage unterstützt.

Auf Basis zahlreicher Detailbeobachtungen an den Hölzern und an ihrem Befundkontext war es möglich, ein erstes Modell der *Chaîne opératoire* für Herstellung und Verbau der Wandpfähle im archäologisch untersuchten Abschnitt der Großbaustelle zu erarbeiten und so zentrale Handlungen und Arbeitsschritte der beteiligten Akteure zu rekonstruieren (Farbtafel 2,1).²⁰ Zu Beginn stand die Prospektion eines geeigneten Waldbestands und die Auswahl der zum Fällen vorgesehenen Bäume. Hohe Gleichläufigkeiten und T-Testwerte in der Kreuzkorrelation (Tabelle 2) sowie der fast durchwegs sehr ähnliche Wachstumsverlauf der Bäume (Abb. 6) legen nahe, dass neun der zehn Pfähle für die Böschungssicherung aus einem einzigen Baumbestand stammen.

Lediglich der im 90°-Winkel innen vor die Pfahlreihe gesetzte Pfahl mit Zapfenloch/Schlitzung zeigt geringere Übereinstimmungen und stammt vermutlich aus einem anderen Baumbestand. Die genutzten Bestände sind im näheren Umfeld des Karlsgrabens zu suchen. Darauf deuten unter anderem einige charakteristische Weiserjahre in allen zehn Jahrringkurven hin, die in allen umliegenden Wuchsgebieten fehlen und auf lokale Extremereignisse im Umfeld des Karlsgrabens zurückzuführen sein dürften. Innerhalb der ausgewählten Bestände wurden ausschließlich Eichen mit rekonstruierbaren Stammdurchmessern zwischen 25 und 35 cm (\varnothing 30,4 cm) ausgewählt, die fast durchwegs der höchsten Ertragsklasse angehören.²¹

Im nächsten Arbeitsschritt erfolgte das Fällen der Bäume, wovon sich allerdings keine direkten Spuren erhalten haben. Da die verbauten Hölzer teilweise verhältnismäßig ästig sind, war eine Entastung der Stämme vor der Weiterverarbeitung und dem Transport unumgänglich. Die Entastung dürfte genauso wie die Abtrennung der Kronenbereiche direkt am Fällort stattgefunden haben, sodass dort in erheblichen Mengen Abfallholz anfiel. Für die darauffolgenden Abläufe bieten sich alternative Abfolgen an, die nicht sicher rekonstruiert werden können: entweder die entasteten Stämme wurden in ganzer Länge zu einem Abbundplatz zwischen Fällort und Baugrube gebracht, oder sie wurden noch am Fällort in Segmente von 1,6–2 m Länge zerteilt. Unklar ist weiterhin, zu welchem Zeitpunkt

Modellentwurf der Chaîne opératoire

15 Schietzel 2014, 107f. und 113f.

16 Werther u.a. 2015, 172f.

17 Weitere Fragmente von Bauhölzern der karolingereitlichen Bauphase stammen aus sekundären Fundlagen. Sie wurden in die vorliegende Studie nicht einbezogen.

18 Eine Waldkante (Fundzettel 100) konnte nicht sicher jahreszeitlich eingeordnet werden.

19 Werther u.a. 2015, 173–176.

20 Schlanger 2005 und Martín-Torrse 2002 mit weiterführender Literatur.

21 Schober 1975, 12–25.

T-Test Holstein													
Eichenserie	FZ85	FZ86	FZ88	FZ89	FZ94	FZ96	FZ97	FZ98	FZ100	FZ101	∅ T-Test	Jahrringe	Jahringbreite in μ
FZ85		6,9	6,1	3,7	4,4	6,6	6,4	7,7	5,2	7,1	5,4	49	1575
FZ86	6,9		9,3	6,7	8,5	7	10,2	10,8	7,7	9,6	7,7	53	1760
FZ88	6,1	9,3		6,5	7,1	8,7	9,6	8	7,3	8,1	7,1	59	2228
FZ89	3,7	6,7	6,5		6,6	7,9	7,7	6,1	5,3	6,5	5,7	107	1413
FZ94	4,4	8,5	7,1	6,6		5,8	6,9	7,1	6,4	6,8	6,0	62	1630
FZ96	6,6	7	8,7	7,9	5,8		7	6,9	8,6	7	6,6	81	1414
FZ97	6,4	10,2	9,6	7,7	6,9	7		8	6	9,4	7,1	78	2047
FZ98	7,7	10,8	8	6,1	7,1	6,9	8,2		5,8	8,2	6,9	61	1738
FZ100	5,2	7,7	7,3	5,3	6,4	8,6	6	5,8		6,8	5,9	85	1398
FZ101	7,1	9,6	8,1	6,5	6,8	7	9,4	8,2	6,8		7,0	65	2002
∅	5,4	7,7	7,1	5,7	6,0	6,6	7,1	6,9	5,9	7,0	5,9	64	1564,1
Gleichläufigkeit													
Eichenserie	FZ85	FZ86	FZ88	FZ89	FZ94	FZ96	FZ97	FZ98	FZ100	FZ101	∅ Gleichläufigkeit	Jahrringe	Jahringbreite in μ
FZ85		75	63,8	61,2	64,3	70	68,4	71,4	70,4	77,6	62,2	49	1575
FZ86	75		83,7	71,7	79,2	81,1	79,2	80,2	81,1	84	71,5	53	1760
FZ88	63,8	83,7		70,3	70,8	75,4	76,3	76,9	76,3	75,9	66,9	59	2228
FZ89	61,2	71,7	70,3		80,6	72,8	73,1	69,7	75,3	66,9	64,2	107	1413
FZ94	64,3	79,2	70,8	80,6		68,1	76,6	78,7	73,4	77,4	66,9	62	1630
FZ96	70	81,1	75,4	72,8	68,1		75	73,7	69,8	73,8	66,0	81	1414
FZ97	68,4	79,2	76,3	73,1	76,6	75		77	73,7	76,9	67,6	78	2047
FZ98	71,4	80,2	76,9	69,7	78,7	73,7	77		81,1	80,3	68,9	61	1738
FZ100	70,4	81,1	76,3	75,3	73,4	69,8	73,7	81,1		80	68,1	85	1398
FZ101	77,6	84	75,9	66,9	77,4	73,8	76,9	80,3	80		69,3	65	2002
∅	62,2	71,5	66,9	64,2	66,9	66,0	67,6	68,9	68,1	69,3	61,1	64	1564,1

Tabelle 2: Kreuzkorrelation der Jahrringserien der Stichprobe (F. Herzig/L. Werther).

und an welchem Ort die Stämme zu Halbhölzern gespalten wurden. Alle Pfähle der Böschungssicherung sind aus mittig gespaltenen Halbhölzern hergestellt und die Spaltflächenreste haben sich trotz späterer Überarbeitung großflächig erhalten (Farbtafel 2,2). Denkbar wäre, dass die Stämme direkt nach dem Entasten und dem Abtrennen der Kronen in ganzer Länge gespalten wurden, bevor die Ablängung erfolgte. Es ist allerdings auch möglich, dass erst nach dem Ablängen die kurzen und leicht handhabbaren Segmente gespalten wurden.

Nach dem Ablängen und Spalten folgte das Zubeilen der vorbereiteten Halbhölzer an den Schmalseiten zu einer sauberen Spitze. Die Breitseite mit der erhaltenen Waldkante und dem Splint wurde im Spitzenbereich flach zugerichtet und auch die Spaltseiten wurden mit dem Beil flächig überarbeitet. Die Pfähle bekamen dadurch Rechteckquerschnitte mit einer einheitlichen Stärke von 7–9 cm. Anhand der unterhalb der ehemaligen Kanalsohle und damit der Erosionslinie kantenscharf erhaltenen Schlagfacetten lässt sich nachweisen, dass ausschließlich schmale Äxte mit 5–9 cm breiten Schneiden verwendet wurden. Mehrfach finden sich zwei verschiedene Schneidenbreiten an einem Pfahl; das Beschlagen dürfte daher arbeitsteilig von zwei Personen vollzogen worden sein. Weniger plausibel erscheint es, dass ein einzelner Bearbeiter innerhalb eines zusammenhängenden Arbeitsschritts wie dem Glätten der Oberflächen das Werkzeug gewechselt hat. Im Zuge des Zuspitzens und Glättens der Halbhölzer müssen erhebliche Mengen Holzabfall angefallen sein. Da im Grabungsbereich allerdings praktisch keine Abfälle der Pfahlherstellung

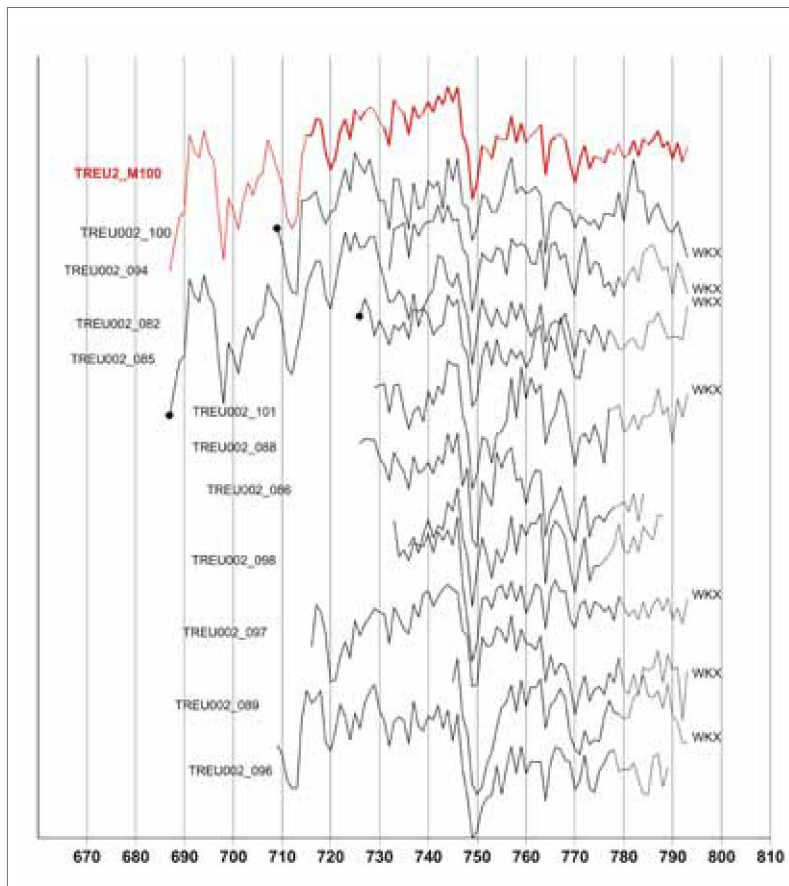


Abb. 6: Kurvenschar der Jahrringkurven der datierten Bauhölzer der Grabung (Stand 2014) in Synchronlage. Oben: Mittelkurve TREU2_M100. WKK: Waldkante Spätsommer/Herbst.

angetroffen wurden, dürfte der Abbund der Pfähle auf einem Abbundplatz zwischen Fällort und Baugrube oder direkt am Fällort durchgeführt worden sein.

Verschiedene Befunde zeigen, dass zwischen Fällort und Baugrube im Zuge der verschiedenen Arbeitsschritte eine beträchtliche Separierung der Pfähle stattgefunden hat. Die Kreuzkorrelation der Messwerte der zehn im Grabungsschnitt geborgenen Pfähle lässt keine Stammgleichheiten erkennen, insbesondere die T-Testwerte erreichen nicht die benötigten Grenzwerte für die Identifizierung stammgleicher Hölzer.²² Die zehn Pfähle im Grabungsschnitt repräsentieren damit aller Wahrscheinlichkeit nach zehn verschiedene Baumindividuen, die gefällt und weiterverarbeitet wurden. Die Intensität der Separierung lässt sich zumindest in Ansätzen abschätzen: In rezenten Beständen sind bezüglich Stammdurchmesser, Alter und Ertragsklasse vergleichbare Eichen im Mittel 20 m hoch und haben einen Schaftanteil von mindestens einem Drittel, also gut 6 m.²³ Aus jedem Schaft ließen sich unter Berücksichtigung gewisser Verluste durch das Ablängen mindestens sechs aus gespaltenen Halbhölzern hergestellte Pfähle mit etwa 2 m Länge gewinnen. Aus den zehn verschiedenen im Grabungsschnitt erfassten Baumindividuen könnten demnach mindestens 60 Pfähle hergestellt worden sein, von denen auf einer Baugrubenlänge von 2 m keine stammgleiche Stücke verbaut wurden. Dieser Befund unterstreicht die erhebliche Separierung des Baumaterials im Arbeitsverlauf.

In diesem Zusammenhang ist darauf zu verweisen, dass an verschiedenen Stellen innerhalb der Chaîne opératoire ein Separierungsprozess wirksam geworden sein kann. Eine erste Separierung vollzog sich möglicherweise schon durch das Ablängen und Spalten der Stämme sowie den möglichen Transport der Stammsegmente zwischen Fällort und Abbundplatz. Eine zweite und entscheidende Separierung dürfte durch die Errichtung größerer Stapel von Pfählen am Ort der Weiterverarbeitung der Stammsegmente/dem Abbundplatz erfolgt sein. Die Lagerzeit der

²² Domínguez-Delmás u.a. 2014, 644.

²³ Schober 1975, 12–25. Diese Werte hängen jedoch maßgeblich von der Bewirtschaftungsform ab und können erheblich variieren, vergleiche Werther u.a. 2015, 175 f.



Abb. 7: Eichenpfahl Befund 90 (Fzl. 85) am westlichen Böschungsfuß.

Pfähle dürfte allerdings aufgrund verschiedener Indizien kurz gewesen sein, so weist etwa kein Pfahl der Schlagphase Spätsommer/Herbst 793 oberflächlichen Pilzbefall auf, der in der Regel schon nach kurzer Bodenerlagerung eintritt. Wir gehen daher momentan von einer „just in time production“ aus, bei der Erdarbeiten und Holzarbeiten parallel erfolgten. Eine letzte Möglichkeit für die beobachtete Separierung stammgleicher Pfähle war ihr Transport vom Abbundplatz zum Baugrubenabschnitt, in dem sie eingebracht werden sollten.

Bevor die angelieferten Pfähle in den Boden gelangten, musste die geplante Pfahlreihe in der Baugrube gefluchtet und in irgendeiner Form markiert worden sein. Die Pfähle stehen zwar nicht alle exakt in Reihe, folgen aber zwei klaren Bezugslinien am Ost- und Westrand der Baugrube. Das sorgfältige und verbindliche Vorgehen während des Einbauprozesses belegt auch ein weiteres bautechnisches Detail, da alle böschungsparellen Wandpfähle mit der Waldkante zur Fahrinne und mit dem Mark zum Erdreich ausgerichtet waren.

Nach dem Ausrichten wurden die Wandpfähle in den Baugrund eingerammt. Da die Pfahlköpfe durchweg verwittert sind, haben sich keine direkten Spuren der Ramme erhalten. Hinweise auf eine Baugrube konnten nicht beobachtet werden und die sorgfältige Zuspitzung der Pfähle lässt ebenfalls auf eine intendierte Reduzierung des Widerstands für das Einrammen schließen. Die Einrammtiefe variiert je nach Länge der Pfähle, meist wurden etwa drei Viertel der Pfahllänge im Boden versenkt, sodass die Pfahlköpfe – soweit aufgrund der Substanzverluste im Kopfbereich rekonstruierbar – etwa auf einer Höhe zu liegen kamen. Nicht alle Pfähle wurden präzise eingerammt, teilweise haben sie sich gedreht und geneigt. Obwohl die Pfähle auf Stoß gesetzt wurden, entstand keine wirklich geschlossene Uferbefestigung. An einzelnen Wandpfählen finden sich im Kopfbereich Spuren eines letzten Bearbeitungsschritts: Diese Pfähle wurden nach dem Rammen noch einmal ab- oder überarbeitet, möglicherweise aufgrund von Beschädigungen oder zu großer Länge.

Unklar ist bislang, ob die innen vor die Pfahlreihen gesetzten konstruktiven Zusatzelemente, also die wandparallelen Kopfpfähle sowie der rechtwinklig dazu eingerammte Pfahl mit Ausarbeitung, in einem Zuge mit den Pfahlreihen oder erst sekundär eingebracht wurden. Zumindest für den rechtwinklig zur Pfahlreihe eingerammten Pfahl (Fzl. 85) weisen verschiedene Indizien auf einen sekundären Einbau kurz nach Einbringung der Pfahlreihen hin (Abb. 7). Von allen untersuchten Pfählen liegen nur für dieses Individuum Indizien vor, dass er aus einem abweichenden Baumbestand stammt. Auch die Höhenlage der Ausarbeitung des Pfahlkopfs nahe der Kanalsohle sowie die gegenüber den anderen Pfählen auffällig gute Erhaltung der Holzoberflächen im Bereich der Verwitterungszone sprechen für einen Einbau in einem nachgelagerten Arbeitsschritt. Nur ein größerer Grabungsausschnitt, in dem die konstruktiven Zusammenhänge klarer erkennbar sind, könnte jedoch eine eindeutige Klärung dieses Befunds erbringen.

Quantifizierung der benötigten Ressourcen

Abschließend sollen auf Basis der bisherigen Befunde einige Überlegungen zum Holz- und Rodungsflächenbedarf für den Kanalbau vorgestellt werden.²⁴ Auf den zwei ergrabenen Kanalmetern wurden etwa 15 Pfähle verbaut.²⁵ Unter der Annahme einer vergleichbaren Uferbefestigung in anderen Bauabschnitten wären für die bislang nachgewiesene Kanallänge von etwa 3000 m rund 22 500 Pfähle notwendig gewesen.

In einem rezenten Eichenmischwaldforst, der altersmäßig ähnlich aufgebaut ist wie der im Grabungsschnitt verbauten Bestand, stehen etwa 400 Eichenstämmen nutzbarer Größe pro Hektar. Die mittlere Höhe einer 70-jährigen Eiche mit einem Stammdurchmesser von 30 cm (entsprechend den Mittelwerten der für die Böschungssicherung verbauten Hölzer) beträgt in einem derartigen Bestand 20 m.²⁶ Bei einem sehr niedrig ange-

24 Werther u.a. 2015, 176.

25 Zusätzlich zu den zehn Pfählen der Stichprobe konnten einige weitere Pfähle aus statischen Gründen nicht geborgen werden.

26 Schober 1975, 12–25.



Abb. 8: Relikt eines Eichen-Hainbuchen-Mischwalds nördlich von Grönhart im Nahbereich des Karlsgrabens im Jahr 2014.

setzten Schaftanteil von einem Drittel oder etwa 6 m hätten aus einer Eiche sechs bis acht Pfähle gewonnen werden können.²⁷ Für die Herstellung von rund 22.500 Pfählen wären nach dieser Rechnung etwa 3000–4000 Eichenstämme als Rohmaterial benötigt worden. Ein Waldbestand von etwa 10 ha könnte also bei einem Bestand von 400 Eichen pro Hektar (siehe oben) ausgereicht haben, um die nötigen Ressourcen für die Kernkonstruktion der Uferbefestigung zu gewinnen.

Wie ausgeführt legen es die Befunde nahe, dass das Holz baubegleitend gefällt und fälltfrisch verbaut wurde. Nimmt man die Zeitangaben der zeitgenössischen Schriftquellen und die bisher dendrochronologisch belegten Schlagphasen ernst, dann wurde vielleicht wirklich nur im dritten Quartal während Spätsommer und Herbst 793 am Kanal gebaut. Legt man demnach eine Bauzeit von 90 Arbeitstagen zugrunde, so hätten täglich etwa 40 Eichen gefällt, zu etwa 250 Pfählen weiterverarbeitet, zur Baugrube transportiert und dort eingerammt worden sein müssen. In Zukunft gilt es, diese ersten Annäherungswerte mit weiteren Befunden zu untermauern und für andere bautechnisch teilweise erheblich schwierigere Abschnitte des Kanals weiterzuentwickeln.

²⁷ Zum Schaftanteil Schuler 2011, 24–27, 77–89, 180–189 und 222–241.

Dr. Lukas Werther
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Bereich für Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie
Löbdergraben 24a, D-07743 Jena
lukas.werther@uni-jena.de

Büntgen, Ulf u.a.: 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility; in: *Science of the Total Environment* 331, 2011, 578–582.

Dasler, Clemens: *Forst und Wildbann im frühen deutschen Reich. Die königlichen Privilegien für die Reichskirche vom 9. bis zum 12. Jahrhundert* (Dissertationen zur mittelalterlichen Geschichte 10). Köln 2001.

Domínguez-Delmás, Marta u.a.: Long-distance oak supply in mid-2nd century AD revealed. The case of a Roman harbour (Voorburg-Arentsburg) in the Netherlands; in: *Journal of Archaeological Science* 41, 2014, 642–654.

Eigler, Friedrich: *Weißburger Reichsforst und Pappenheimer Mark*; in: *Zeitschrift für bayerische Landesgeschichte* 39, 1976, 353–377.

Ettel, Peter: *Der Verkehrs- und Handelsweg Main mit Fossa Carolina, Burgen und Königshöfen in merowingisch-karolingischer Zeit*; in: Eggenstein, Georg u.a. (Hrsg.): *Eine Welt in Bewegung. Unterwegs zu Zentren des frühen Mittelalters*. München 2008, 83–90.

Ettel, Peter: *Burgen der Karolinger. Typen, Konstruktionsweise, Funktion*; in: Weiss, Rainer-Maria/Klammt, Anne (Hrsg.): *Mythos Hammaburg. Archäologische Entdeckungen zu den Anfängen Hamburgs* (Veröffentlichung des Helms-Museums, Archäologisches Museum Hamburg, Stadtmuseum Harburg 107). Hamburg 2014, 324–345.

Ettel, Peter u.a. (Hrsg.): *Großbaustelle 793. Das Kanalprojekt Karls des Großen zwischen Rhein und Donau* (Mosaiksteine. Forschungen am Römisch-Germanischen Zentralmuseum 11). Mainz 2014.

Fenske, Lutz (Hrsg.): *Splendor palatii. Neue Forschungen zu Paderborn und anderen Pfalzen der Karolingerzeit* (Deutsche Königspfalzen 5). Göttingen 2001.

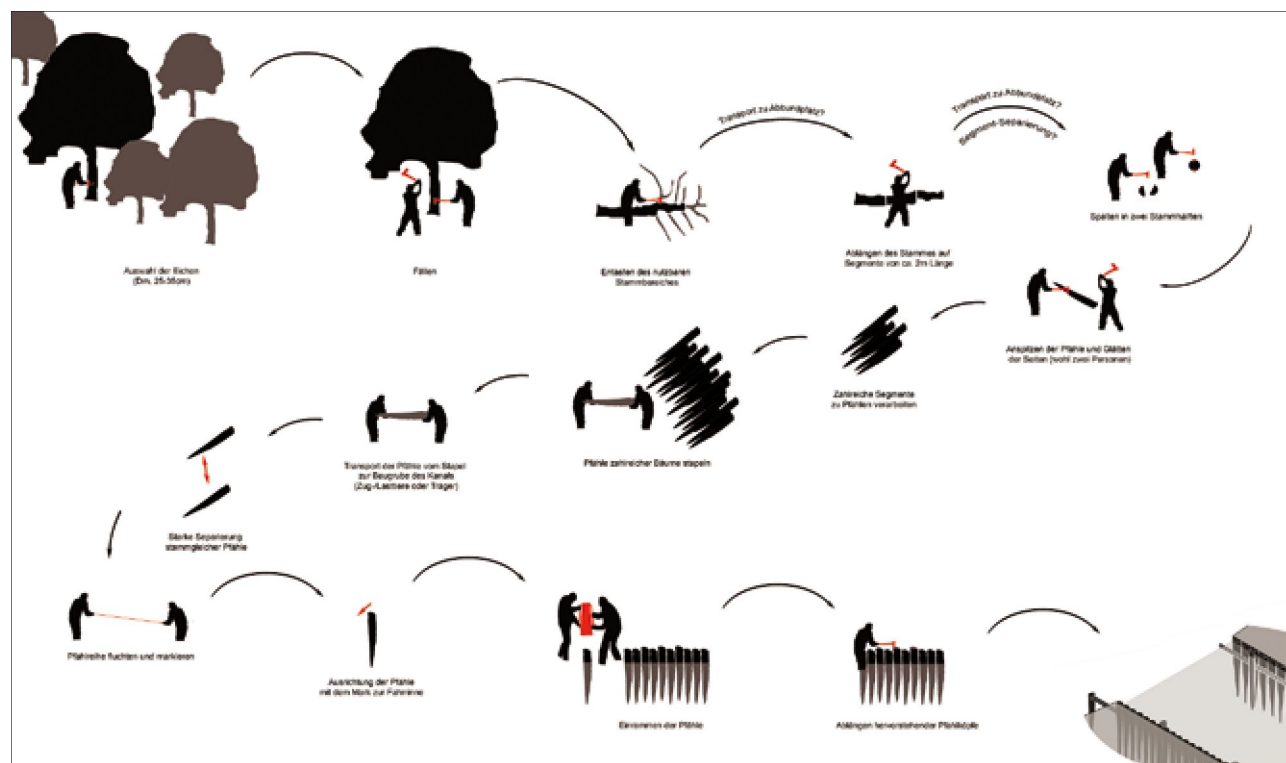
Literatur

- Haase, Carolin/Werther, Lukas/Wunschel, Andreas: Güterdistribution und Verkehrsinfrastruktur klösterlicher Grundherrschaft im Frühmittelalter im Spannungsfeld ausgewählter historischer und archäologischer Quellen; in: Later, Christian/Helmbrecht, Michaela/Jecklin-Tischhauser, Ursina (Hrsg.): Infrastruktur und Distribution zwischen Antike und Mittelalter (Tagungsbeiträge des Arbeitskreises Spätantike und Frühmittelalter 8). Hamburg 2015, 151–189.
- Hack, Achim Thomas: Der Bau des Karlsgrabens nach den Schriftquellen; in: Ettl 2014, 53–62.
- Hagen, Gotthilf: Die Ströme (Handbuch der Wasserbaukunst 2). Königsberg 1844.
- Heckner, Ulrike/Beckmann, Eva-Maria (Hrsg.): Die karolingische Pfalzkapelle in Aachen. Material, Bautechnik, Restaurierung (Arbeitsheft der rheinischen Denkmalpflege 78). Worms 2012.
- Koch, Robert: Probleme um den Karlsgraben; in: Haberstroh, Jochen/Riedel, Gerd/ Schönwald, Beatrix (Hrsg.): Bayern und Ingolstadt in der Karolingerzeit (Beiträge zur Geschichte Ingolstadts 5). Ingolstadt 2008, 266–281.
- Kudorfer, Dieter: Das Ries zur Karolingerzeit; in: Zeitschrift für bayerische Landesgeschichte 33, 1970, 470–541.
- Leitholdt, Eva u.a.: Fossa Carolina: The First Attempt to Bridge the Central European Watershed. A Review, New Findings, and Geoarchaeological Challenges; in: Geoarchaeology 27, 2012, 88–104.
- Liebert, Thomas: Frühmittelalterliche Wassermühlen und Wasserbauwerke im Schwarzwald bei Großhöbing (Materialhefte zur bayerischen Archäologie 101). Kallmünz 2015.
- Lobbedey, Uwe: Der Kirchenbau im sächsischen Missionsgebiet; in: Stiegemann, Christoph/Wemhoff, Matthias (Hrsg.): 799. Kunst und Kultur der Karolingerzeit. Karl der Große und Papst Leo III. in Paderborn, 3: Beiträge. Mainz 1999, 498–511.
- Martinón-Torres, Marcos: Chaîne opératoire. The Concept and its applications within the study of technology; in: Gallaecia 21, 2002, 29–44.
- Riek, Markus/Goll, Jürg/Descoëdres, Georges (Hrsg.): Die Zeit Karls des Grossen in der Schweiz. Sulgen 2013.
- Schietzel, Kurt: Spurensuche Haithabu. Dokumentation und Chronik 1963–2013. Neumünster/Hamburg 2014.
- Schlanger, Nathan: The Chaîne opératoire; in: Renfrew, Colin/Bahn, Paul G. (Hrsg.): Archaeology. The Key Concepts. New York 2005, 25–31.
- Schober, Reinhard: Ertragstabellen wichtiger Baumarten. Frankfurt 1975.
- Schuler, Johanna Katharina: Astentwicklung und Astreinigung in Abhängigkeit vom Dickenwachstum bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Eiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.; *Quercus robur* L.). Diss. Freiburg 2011 (<https://www.iww.uni-freiburg.de/publik/dissertation-storch.pdf>, letzter Abruf 1.10.2014).
- Siemers, Sven-Hinrich: Das Tor zur Welt. Lorsch's Rheinhafen Zullestein; in: Zeeb, Annette/Pinsker, Bernhard (Hrsg.): Kloster Lorsch: Vom Reichskloster Karls des Großen zum Weltkulturerbe der Menschheit. Petersberg 2011, 66–75.
- Steidl, Bernd: Die römische Fernstraße Augsburg – Isartal mit frühmittelalterlicher Neubauphase im Freisinger Moos bei Fürholzen; in: Bayerische Vorgeschichtsblätter 78, 2013, 163–194.
- Szabó, Thomas: Antikes Erbe und karolingisch-ottonische Verkehrspolitik; in: Fenske, Lutz (Hrsg.): Institutionen, Kultur und Gesellschaft im Mittelalter. Festschrift für Josef Fleckenstein zu seinem 65. Geburtstag. Sigmaringen 1984, 125–145.
- Untermann, Matthias: Architektur im frühen Mittelalter. Darmstadt 2006.
- Werther, Lukas: Siedlungsentwicklung und Kulturlandschaft im Umfeld des Karlsgrabens; in: Ettl 2014, 45–52.
- Werther, Lukas u.a.: Häfen verbinden. Neue Befunde zu Verlauf, wasserbaulichem Konzept und Verlandung des Karlsgrabens; in: Schmidts, Thomas/Vučetić, Martin (Hrsg.): Häfen im 1. Millennium AD. Bauliche Konzepte, herrschaftliche und religiöse Einflüsse (RGZM Tagungen 22). Mainz 2015, 151–185.
- Werther, Lukas/Herzig, Franz: Der Karlsgraben im Fokus der Dendroarchäologie; in: Ettl 2014, 41–44.
- Wickham, Chris: European Forests in the Early Middle Ages. Landscape and Land Clearance; in: L'Ambiente vegetale nell'alto medioevo (Settimane di studio del Centro Italiano di Studi sull'Alto Medioevo 37). Spoleto 1989, 479–548.
- Zielhofer, Christoph u.a.: Charlemagne's summit canal. An Early Medieval hydro-engineering project for passing the Central European Watershed; in: PLoS ONE 9/9, 2014, 20 Seiten (<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0108194>, letzter Abruf 28.10.2015).
- Zielhofer, Christoph/Kirchner, André: Naturräumliche Gunstlage der Fossa Carolina; in: Ettl 2014, 5–8.
- Zotz, Thomas: Beobachtungen zu Königtum und Forst im frühen Mittelalter; in: Rösener, Werner (Hrsg.): Jagd und höfische Kultur im Mittelalter (Veröffentlichungen des Max-Planck-Instituts für Geschichte 135). Göttingen 1997, 95–122.

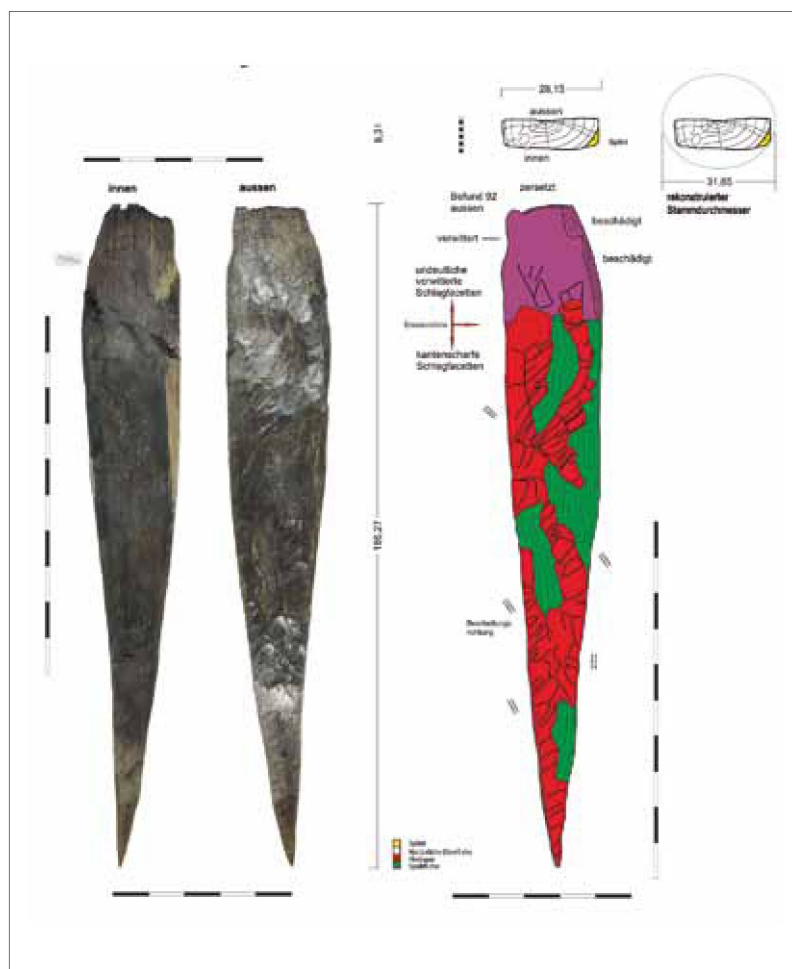
Abbildungsnachweis

- Abbildung 1: L. Werther, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Basisdaten Geländemodell SRTM-GDEM © NASA 2009, CCM River and Catchment Database © European Commission 2007
- Abbildung 2: L. Werther, Basisdaten Digitales Geländemodell aus Laserscan. Geobasisdaten © Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation 2012
- Abbildung 3: L. Werther unter Verwendung einer Kartierung von F. Herzig, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege
- Abbildung 4 und Farbtafel 2,1: L. Werther
- Abbildung 5: F. Herzig, L. Werther
- Abbildung 6–8 und Farbtafel 2,2: F. Herzig

Lukas Werther: Großbaustelle Karlsgraben. Eine Chaîne opératoire für den Umgang mit der Ressource Holz in der Karolingerzeit



1: Chaîne opératoire für Ressourcengewinnung, Holzbearbeitung und Einbau der karolingerzeitlichen Böschungssicherung im archäologisch untersuchten Abschnitt des Karlsgrabens.



2: Eichenpfahl Befund 92 (Fzl. 89) am östlichen Böschungsfuß. Holzoberflächen sowie Kartierung der Bearbeitungsmerkmale und Verwitterungsspuren.