

Neuzeitliche Flusslaufverlagerungen des Lechs und der Donau im Lechmündungsgebiet – qualitative und quantitative Analysen historischer Karten

Patrick Schielein¹

Abstract

Avulsion and migration of the rivers Lech and Danube can be reconstructed due to the analysis of historical maps from the Lech – Danube confluence. Both rivers exhibit distinct differences concerning their fluvial dynamics. While the Danube upstream of the confluence clearly appears as a meandering river on historical maps, the Lech consists of numerous anabranches. The Danube downstream of the confluence shows a transitional pattern. The channel patterns in the three reaches have been analyzed by using visual interpretation of maps since the 16th century and fluvial parameters of the river channels shown on maps from the 19th century. Furthermore, the maps from the 19th century allow to quantify the amount of reworked floodplain areas for several time intervals. The results of the qualitative and quantitative analysis demonstrate that even in a small study area the channel pattern of different rivers might vary significantly. It is assumed that predominantly internal factors such as valley gradient, sediment load and distribution of discharge determined the fluvial activity of Danube and Lech. The meandering Danube river upstream of the confluence experienced little variability of the internal factors during the modern era, whereas the anabranching channel pattern of the lower Lech river was primarily caused by the higher sediment entry, which also induced the moderate anabranching of the Danube downstream of the confluence.

1. Einleitung

Die ehemaligen Flussläufe der Donau im Bereich der Lechmündung und des unteren Lechs werden in zahlreichen historischen Karten dargestellt. Beide Flüsse wurden ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch Korrekturen und Staustufenbauten ihrer natürlichen Dynamik beraubt. Die Karten vor diesen anthropogenen Eingriffen reichen bis ins 16. Jahrhundert zurück und erlauben eine Rekonstruktion der natürli-

¹ Lehrstuhl für Physische Geographie, Universität Bamberg, D-96045 Bamberg, patrick.schielein@uni-bamberg.de

chen Flusslaufverlagerungen. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen dem Lech, der Donau oberhalb und der Donau unterhalb der Mündung. Mit Hilfe visuell - qualitativer Analysen aller Karten sowie der Georeferenzierung der geodätisch aufgenommenen Karten nach 1800, der Berechnung von umgestalteten Flächen und der Bestimmung von flussmorphologischen Parametern werden die unterschiedlichen Flussbettgrundrisse an den einzelnen Flussabschnitten charakterisiert, um abschließend der Frage nachzugehen, welche Einflussfaktoren auf die fluviale Dynamik und somit auf die Gestaltung der Flussläufe wirkten.

2. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsgebiete liegen im Norden des Bayerischen Alpenvorlandes und umfassen das Mündungsgebiet des Lechs in die Donau (Abb. 1). Die Donau entspringt im Schwarzwald und nimmt während ihres Verlaufes nach Nordosten zur Lechmündung mehrere Nebenflüsse aus der Schwäbisch – Fränkischen Alb, aus dem Alpenvorland und mit der Iller auch einen abflussreichen alpinen Fluss auf. Der Lech entspringt in den Nördlichen Kalkalpen und fließt nach Norden durch das Alpenvorland, wo er ca. 40 km nördlich von Augsburg auf einer Höhe von 393 m ü. NN in die Donau mündet. Das Talgefälle im Unterlauf des Lechtals beträgt ca. 1,4‰, im Donautal ca.

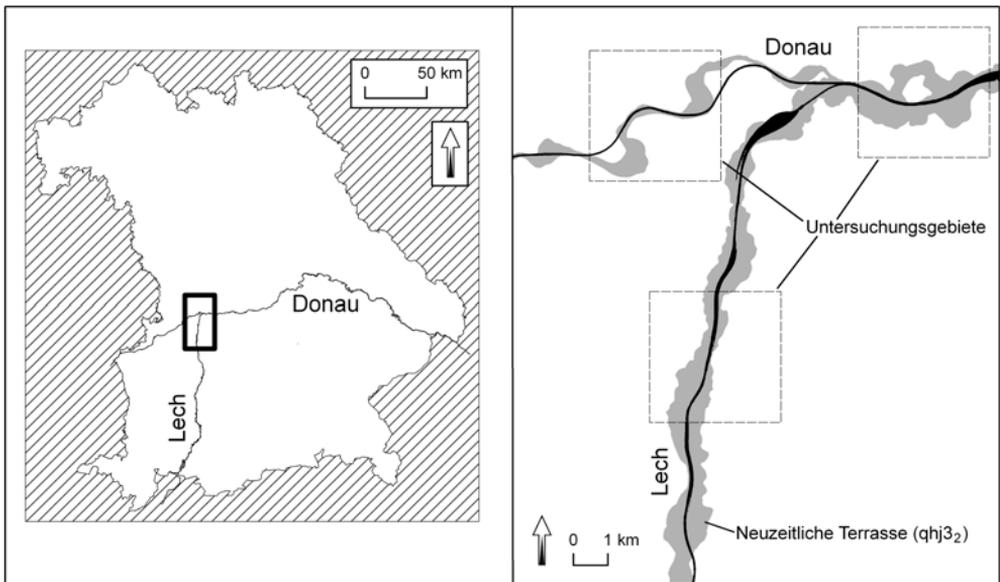


Abb. 1: Lage des Lechmündungsgebietes und der einzelnen Untersuchungsgebiete.

0,7%. In den Tälern von Lech und Donau sind zahlreiche pleistozäne und holozäne Flussterrassen erhalten. Zur Terrassenverbreitung an der Lechmündung siehe Schiel-ein et al. (in Vorb.). Im Untersuchungsgebiet lassen sich teilweise zwei junge Terrassen ($qhj3_1$, $qhj3_2$) auskartieren, die wahrscheinlich seit dem Spätmittelalter entstanden sind. Die zeitliche Einordnung der zweitjüngsten Terrasse ($qhj3_1$) ist durch die Analyse historischer Karten nicht eindeutig möglich. Die Ausbildung der jüngsten, neuzeitlichen Terrasse ($qhj3_2$) kann durch Kartendarstellungen an der Donau oberhalb der Lechmündung seit dem 17. Jahrhundert, am Lech seit dem 18. Jahrhundert belegt werden. Im Fokus dieser Arbeit stehen die, durch historische Karten gut dokumentierten Flussverlagerungen innerhalb dieser Terrasse.

3. Datengrundlagen und Methodik

Zur Rekonstruktion der frühneuzeitlichen und neuzeitlichen Flusslaufverlagerungen dienten historische Karten, welche die Flussgrundrisse vor der ab Ende des 19. Jahrhunderts durchgeführten Korrektur von Lech und Donau zeigen (Tab. 1). Die ältesten Karten reichen bis ins 16. Jahrhundert zurück, weisen jedoch aufgrund Generalisierung und schemenhafter Darstellung sowie teilweise starken Lageverzerrungen hohe Ungenauigkeiten auf. Ein quantitativer Vergleich von Flussgrundrissen ist für historische Karten vor Beginn des 19. Jahrhunderts daher nicht möglich. Die Auswertung dieser Karten und teilweise beiliegenden Textbeschreibungen beschränkt sich auf qualitative Aussagen zu Verlagerungen der Flussläufe. Die Verortung der Flussläufe konnten nur über die ungefähre Lage von Siedlungen vorgenommen werden.

Ab Beginn des 19. Jahrhunderts wurde das Kartenmaterial mit Hilfe von Vermessungstechniken erstellt. Dazu zählt der *Stromatlas*, der im Jahr 1806 von Adrian Riedl veröffentlicht wurde (BAYR. STAATSBIBLIOTHEK 2008). Der *Stromatlas* besteht aus drei Hydrologischen Karten im Maßstab 1:230.800, welche große Teile des südbayerischen Gewässernetzes abbilden, und 12 Karten einzelner Flüsse im Maßstab 1:28.800. Da der relativ kleine Maßstab der Hydrologischen Karten keine genauen Aussagen über die Flussläufe zulässt, wurde für diese Arbeit nur die großmaßstäbliche Flusskarte der Donau im Bereich der Lechmündung herangezogen. Sie beinhaltet den kompletten Donaulauf und einen Teil des einmündenden Lechs. Der *Stromatlas* basiert zwar auf geodätischen Grundlagen (FINSTERWALDER 1995), beim Georeferenzieren dieser Karte mittels der Lage von Kirchtürmen in aktuellen Topographischen Karten ergaben sich Lageverzerrungen von nur wenigen Metern. Jedoch sind die Signaturen

Tab. 1: Historische Karten vom Lechmündungsgebiet.

Bezeichnung	Einzelblätter	Erstellungsdatum	Quelle	Maßstab	Abb. Nr.
Wassereinbrüche und Schlachtbauten an der Lechmündung		1580	BayHStA 2008 PLS: 2736	o.A.	Abb. 2
Donau bei Bertoldsheim		1598 (1772 nachgezeichnet)	StAA 2009 (Findbuch: A 11)	o.A.	Abb. 11
Die Donau zwischen Donauwörth und der Lechmündung		1607	BayHStA 2008 PLS: 3775	o.A.	Abb. 8
Die Wörte der Donau bei Marxheim		1610	BayHStA 2008 PLS:3744	o.A.	Abb. 12
Das Mündungsgebiet des Lechs		ca. 1620	BayHstA 2008 PLS:3746	o.A.	Abb. 3
Die Donau zwischen Neffsend und Altisheim		6. Juni 1620	BayHStA 2008 Neuburg Nr. 26	o.A.	Abb. 9
Der Lech von Schongau bis zur Mündung in die Donau		1648	BayHStA 2008 PLS: 1272	1Stunde Weg = 13 cm	Abb. 4
Rain und die Lechbrücke		Mitte 17 Jh	StAA 2009 (Findbuch: C 18)	o.A.	Abb. 5
Die Donau von Donauwörth bis Neuburg	Ausschnitt	1692	BayHStA 2008 PLS: 4052	o.A.	
Der Lech bei Rain		1789	BayHStA 2008 PLS: 2236	2000 Schuh = 29,4cm	Abb. 6
Stromatlas von Adrian Riedl	Plan des Donaustroms, Blatt 2, Sectio 4	veröffentlicht 1806	Bayr. Staatsbibliothek 2008	1:28000	Abb. 13
Topographischer Atlas des Königreichs Bayern	Blatt Wittelsbach	veröffentlicht 1817, erstellt um 1809	Landesamt für Vermessung und Geoinformation 2008	1:50000	
Uraufnahmen		1813-14	Landesamt für Vermessung und Geoinformation 2008	1:5000	
Finanzamtlicher Extraditionsplan		1831-34	Vermessungsamt Donauwörth 2008	1:5000	
Sonstige Flurkarten	NW 29-19	1847	Vermessungsamt Donauwörth 2008	1:5000	Abb. 15

für die Vegetation zum Teil nicht eindeutig zu differenzieren. Die Berechnung von Flächenumgestaltungen und der flussmorphologischen Parameter sind für dieses Kartenwerk zwar möglich, können aber durchaus Fehler aufweisen.

Ab 1801 wurden Vermessungsarbeiten für den *Topographischen Atlas vom Königreich Bayern* durchgeführt (HABERMAYER 1993). Bereits 1809 waren einige Kartenblätter im Maßstab 1:50.000 fertiggestellt, von denen jedoch viele in den folgenden Jahren überarbeitet wurden. Dazu gehört das Kartenblatt „Wittelsbach“, welches den südlichen Teil des Untersuchungsgebiets abbildet und im Jahre 1817 erschien. Jedoch waren die Geländeaufnahmen 1809 weitgehend abgeschlossen und wurden zwischen 1811 und 1817 nur noch geringfügig nachgebessert (HABERMAYER 1993). Der auf dem Blatt „Wittelsbach“ dargestellte Flusslauf des Lechs entspricht demnach vermutlich einem Stand um 1809. Ab 1817 wurden mittlerweile erstellte Flurkarten (*Uraufnahmen*) in die noch ausstehenden Blätter des *Topographischen Atlases* übernommen (APPELT 1988), wie auch die benachbarten Blätter „Neuburg“ (1823), „Dillingen“ (1831) und „Nördlingen“ (1822) zeigen. Der *Topographischen Atlas vom Königreich Bayern* wurde wiederum mittels Kirchtürmen georeferenziert. Hier traten bei Geländestrukturen und persistenten Gebäuden zum Teil Abweichungen zur aktuellen Topographischen Karte im Zehnermeterbereich auf. Da zudem die Uferlinien der Lecharme auffällig unregelmäßig dargestellt sind, ist der quantitative Vergleich dieser verhältnismäßig kleinmaßstäblichen Karte mit den jüngeren, großmaßstäblichen Kartenwerken nur unter Vorbehalt zu betrachten.

Die *Uraufnahmen* entstanden im Lechmündungsgebiet in den Jahren 1813 bis 1814. Sie wurden geodätisch exakt aufgenommen, so dass bei der Georeferenzierung mittels Blatteckwerten vernachlässigbare Abweichungen zu aktuellen Topographischen Karten auftreten. Die Flurkarten erfuhren in verschiedenen Gebieten Bayerns zum Teil mehrere Überarbeitung. Eine vollständige Neuvermessung (*Renovationsmessung*) fand jedoch nur in Oberbayern zwischen 1851 bis 1863 statt und liegt nicht für das Lechmündungsgebiet vor (ZIEGLER 1976). Eine zusammenhängenden Darstellung der Flussläufe von Donau und Lech im Untersuchungsgebiet ist weiterhin im *Finanzamtlichen Extraditionsplan* zu finden (VERMESSUNGSAMT DONAUWÖRTH 2008). Dieser Plan besteht aus Flurkarten, welche in den Jahren 1831 bis 1834 auf Basis der *Uraufnahmen* erstellt wurden. Jüngere Karten erlauben auf Grund der fortschreitenden Korrektur und teilweisen Aufstauung von Lech und Donau kaum Aussagen über die natürliche Dynamik der beiden Flüsse. Eine Ausnahme bildet das Kartenblatt NW 2919 aus dem Jahr 1847, wo ein Teil der noch nicht korrigierten Donau

unterhalb der Lechmündung dargestellt ist (Abb. 15). Einzelne Flurkarten aus den Jahren 1891 bis 1911 zeigen nur noch die korrigierten Flussläufe mit abgetrennten Altarmen.

Die geodätisch aufgenommenen Karten ab 1806 konnten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) georeferenziert und die darauf dargestellten Flussläufe digitalisiert werden. Für diese Daten war der quantitative Vergleich von Flächenumgestaltungen (Flächengewinn / -verlust) für verschiedene Zeitschnitte aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts möglich, um die jeweilige Umlagerungstätigkeit in einem definierten Zeitraum zu bestimmen. Daneben wurden für diese Karten flussmorphologische Parameter berechnet. Der Mäandrierungsfaktor (Sinuosität) nach LEOPOLD & WOLMAN (1957) ergibt sich aus der Division der Flusslauflänge durch die Tallänge. Je stärker ein Fluss mäandriert, desto größer ist der Mäandrierungsfaktor. Ein Wert ab 1,5 bezeichnet in verschiedenen Veröffentlichungen zur Flussmorphologie (LEOPOLD & WOLMAN 1957, MANGELSDORF & SCHEURMANN 1980, BRICE 1983) eindeutig einen Mäanderfluss. In der vorliegenden Arbeit wurde die Flusslauflänge für den jeweiligen Hauptstrom und wenn nötig für mehrere Hauptströme gemessen. Dem Mäanderfluss wird der *braided river* gegenübergestellt, welcher idealerweise kaum mäandriert aber zahlreiche Verzweigungen aufweist (LEOPOLD & WOLMAN 1957). Für die Messung des Verzweigungsgrades gibt es verschiedene Ansätze, die von EGOZI & ASHMORE (2008) diskutiert werden. In dieser Arbeit wurden die Indizes von BRICE (1964) und FRIEND & SINHA (1993) angewendet, welche auf die Größe von Inseln und Bänken bzw. der Länge umgebender Rinnen in einem Flussabschnitt basieren (Tab. 2). BRICE (1964) gibt für den *total braiding index* einen Wert von mindestens 1,5 für einen *braided river* an. Dieser Index bezieht sich auf alle Inseln und Bänke im Flussbett, während beim *stabilized braiding index* nur bewachsene Inseln und beim *transient braiding index* nur unbewachsene Bänke berücksichtigt werden. Der auf dem Index von BRICE (1964) basierende *braiding index* von GERMANOSKI & SCHUMM (1993) berücksichtigt zusätzlich die Anzahl der Bänke im betrachteten Flussabschnitt, um zu verhindern, dass eine einzelne große Flussbank oder Insel einen Index produziert, der auf starke Verzweigungen hinweisen würde. Diese von GERMANOSKI & SCHUMM (1993) vorgeschlagene Addition erbrachte jedoch in dieser Studie keinen zusätzlichen Nutzen und wurde daher vernachlässigt. Der *braiding channel ratio* nach FRIEND & SINHA (1993) ist eine Variante des Index von HONG & DAVIES (1979), der von ROBERTSON-RINTOUL & RICHARDS (1993) als *total sinuosity* bezeichnet wird. FRIEND & SINHA (1993) ersetzen dabei

Tab. 2: Berechnung flussmorphologischer Parameter zur Messung des Verzweigungsgrades.

BRICE (1964): <i>total braiding index</i> =	$\frac{2 \times \text{Summe der Längen von Inseln und Bänken}}{\text{Flusslauflänge}}$
RUST (1978): <i>braiding parameter</i> =	$\frac{\text{Anzahl der braids (Mittellinien aller Rinnen zwischen Inseln und Bänken)}}{\text{Durchschnittliche Wellenlänge eines Mäanders}}$
GERMANOSKI & SCHUMM (1993) <i>braiding index</i> =	$\text{total braiding index (BRICE 1964)} + \frac{\text{Anzahl der Inseln und Bänke}}{\text{Flusslauflänge}}$
Friend & Sinha (1993): <i>braid channel ratio</i> =	$\frac{\text{Summe der Lauflängen aller primären Rinnen}}{\text{Lauflänge des Hauptstroms}}$

Tab. 3: Ergebnisse flussmorphologischer Parameter für die Flussabschnitte (vgl. Abb. 1).

Flussmorphologische Parameter (vgl. Tab. 1)	Lech	Donau oberhalb der Lechmündung	Donau unterhalb der Lechmündung
BRICE (1964): <i>total braiding index</i> =	1813/14: 1,26 1831/34: 0,98	1813/14: 0,21 1831/34: 0,25	1813/14: 0,84 (Gesamt) 0,56 (nördl. Flussarm) 1,13 (südl. Flussarm) 1831/34: 1,46
Friend & Sinha (1996): <i>braid channel ratio</i> =	1813/14: 2,18 1831/34: 1,86	1813/14: 1,17 1831/34: 1,17	1813/14: 1,63 (Gesamt) 1,45 (nördl. Flussarm) 1,82 (südl. Flussarm) 1831/34: 2,25

die Tallänge des Flussabschnitts durch die Lauflänge des Hauptstroms. Für einen mäandrierenden Fluss ergibt dieser Index einen Wert von 1 und steigende Werte bei zunehmenden Verzweigungen. Der Parameter von RUST (1978) erwies sich bei der Anwendung als wenig praktikabel, da die durchschnittlich Mäanderlänge nur an der Donau oberhalb der Lechmündung bestimmbar war und hier jedoch kaum Verzweigungen auftraten. Am Lech und an der Donau unterhalb der Mündung war zudem der kleinräumige Wechsel von mäandrierenden und verzweigten Streckenabschnitten problematisch.

Die aktiven Flussbettareale auf den historischen Karten wurden anhand der Vegetationssignaturen auf den Inselgebieten ausgewiesen. Flussarme, die von Inseln mit Wald oder Buschwerk abgetrennt werden, wurden als inaktiv eingestuft, während in einem Flussabschnitt unbewachsene Inseln und Bänke die aktiven Flussarme unterteilen. Letztere wurden zur Berechnung der verschiedenen *braiding* – Parameter genutzt. Die flussmorphologischen Parameter (Mäandrierungsfaktor / Verzweigungsgrad) wurden für die drei Untersuchungsgebiete am Lech, an der Donau oberhalb der Mündung und an der Donau unterhalb der Mündung berechnet und jeweils für mehrere Zeitschnitte miteinander verglichen (Tab. 4).

Tab. 4: Ergebnisse der Flächenberechnungen für die Flussabschnitte (vgl. Abb. 1).

Fläche des gesamten Flusslaufes	Lech		Donau oberhalb der Lechmündung		Donau unterhalb der Lechmündung	
	in ha	in %	in ha	in %	in ha	in %
1831/34	78,8	29,3	100,5	41,4	131,8	28,7
1813/14	88,2	32,8	99,5	41,0	129,1	28,1
1809	117,4	43,7	-	-	-	-
1806	-	-	93,7	38,6	88,9	19,3
Fläche der neuzeitl. Terrasse (qhj3 ₂)	268,61	100	242,8	100	460,1	100

4. Neuzeitliche Flussdynamik

4.1 Lech

Der historische Flusslauf des Lechs unterscheidet sich in allen Karten deutlich von dem der Donau oberhalb der Lechmündung. So ist schon auf der ältesten Kartendarstellung von 1580 (Abb. 2) ein breiter Strom mit zahlreichen Inseln zu erkennen, der zwar teilweise einen leicht gekrümmten Lauf, aber kaum eindeutige Mäandrierungstendenzen aufweist. Die Inseln, vor allem an der Lechbrücke in der Nähe der Stadt Rain, sind größtenteils mit Wald- bzw. Buschsignaturen versehen, was für ein Bestehen über längere Zeiträumen von mindestens einigen Jahrzehnten spricht. Die jungen, unbewachsenen Anlandungen am westlichen Ufer sind durch die Uferschutzbauten entstanden. Dadurch wurde der Stromstrich nach Osten abgelenkt und erodierte dort das Ufer. Durch die Verbauung des westlichen Ufers sollte das Flurstück „Im Bogen“ geschützt werden, welches noch wenige Jahrzehnte vor Erstellung der Karte zu Oberpeiching gehörte, da der Lech ehemals dieses Flurstück im



Abb. 2: Wassereinbrüche u. Schlachtbauten a. d. Lechmündung - 1580 (oben = Westen) (BayHStA 2008).



Abb. 3: Das Mündungsgebiet des Lechs - ca. 1620 (oben = Westen) (BayHStA 2008).

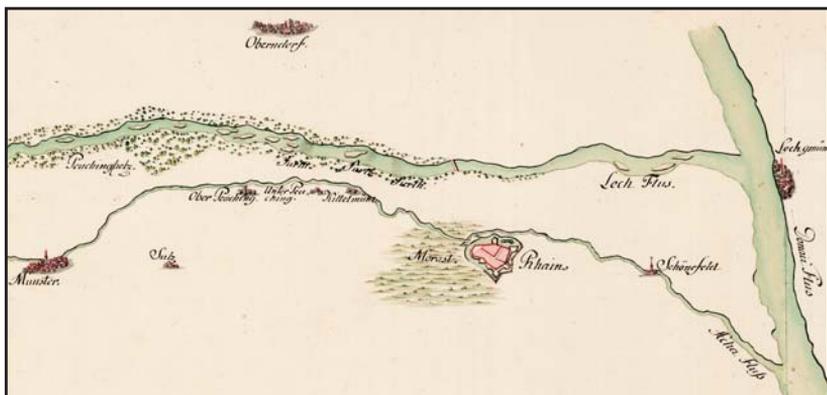


Abb. 4: Der Lech von Schongau bis zur Mündung in die Donau (Ausschnitt) - 1648 (oben = Westen) (BayHStA 2008).

Westen umfloss (LEIDEL & RUTH-FRANZ 1998). Der alte Flusslauf wird noch von einer wassergefüllten Rinne markiert. Sie wird auf der westlichen Seite von einem hölzernen Schutzwall eingefasst. Nach LEIDEL & RUTH-FRANZ (1998) verlagerte sich der Lech einige Jahre später so, dass das Gebiet wieder vom östlichen Ufer zugänglich war. In einer Karte von 1620 (Abb. 3) ist ein weit ausgreifender Mäanderbogen südlich von Oberndorf dargestellt, der möglicherweise wieder die oben genannte, wassergefüllte Rinne nutzt. Im übrigen Teil der Karte treten weder weitere Mäander noch Flussverzweigungen auf. Eine Ausnahme findet sich im Bereich der Lechbrücke bei Rain, welche wiederum über mehrere Flussarme führt. In einer weiteren Karte aus dem Jahr 1648 (Abb. 4) ist der Lech weitestgehend als gestreckter Flusslauf mit allenfalls leichten Bögen und einigen Inseln dargestellt. Vermutlich werden diese sowie weitere Details des damaligen Flusslaufes aufgrund der Generalisierung dieser sehr kleinmaßstäblichen Karte des Lechs von Schongau bis zur Mündung nicht dargestellt. Bemerkenswert ist die Lage der Lechmündung gegenüber der alten Burganlage „Lechsgemünd“, im heutigen Ort Lechsend. Auch auf einer Darstellung aus dem Jahr 1607 (Abb. 8) ist der Lech als ein relativ schmaler, einfadiger Flusslauf abgebildet, der nahe des Ortes Lechsend in die Donau mündet. In einer Karte von 1692 ist die Mündung gegenüber einer alten Burganlage bei Marxheim und somit über einen Kilometer flussabwärts von Lechsend lokalisiert. Sind diese Lageangaben in den historischen Karten korrekt, lag die Lechmündung im 17. Jahrhundert deutlich oberhalb der heutigen Mündung und verlagerte sich seitdem flussabwärts. Ein Abschnitt des mehrfadigen Lechs bei Rain ist auf einer Karte aus der Mitte des 17. Jahrhunderts dargestellt (Abb. 5).

Abbildung 6 aus dem Jahr 1789 zeigt den unteren Lech, nachdem die Lechbrücke bei Rain durch einen Eisstoß im Januar des Jahres 1789 und mehrere Hochwasser im folgenden Sommer stark beschädigt worden war (LEIDEL & RUTH-FRANZ 1998). Dies ist die älteste Darstellung des unteren Lechs, die über eine längere Strecke einen Flussgrundriss aus einer Vielzahl von verzweigten Armen und Altwässern beinhaltet. Dazwischen befinden sich bewachsene Inseln und als „Letten“ bezeichnete junge Anlandungen aus feinkörnigen Sedimenten. Der Hauptstrom, in der Karte mit kleinen Floßsignaturen markiert, weist zwar einen mäandrierenden Verlauf auf, jedoch spalten sich mehrfach einzelne Arme ab und verbinden sich wieder mit ihm. In der Anlage zur Karte wird ausdrücklich auf die Gefahr hingewiesen, dass sich der Lech bei Hochwasser in einen Nebenarm oder in ein Altwasser ergießen könnte (LEIDEL & RUTH-FRANZ 1998). Die auf der Karte vorgeschlagenen Korrekturen zur Kontrolle des

Lechs wurden nicht durchgeführt. Eine ähnliche Intention lag einem Plan von 1806 zugrunde. Mit einem Durchstich sollte der Lech „...eine gerade Richtung erhalten (...), um ihn von der Stadt Rain, auf die er bis auf etwa hundert Meter direkt zuströmte, um dann im fast rechten Winkel wieder nach Norden abzuschwenken, wegzu-leiten.“ (aus: LEIDEL & RUTH-FRANZ 1998). Diese Schutzmaßnahme sollte die Uferverbauungen, die bei Rain zerstört worden waren, ersetzen, wurde aber wiederum nicht durchgeführt.



Abb. 5: Rain und die Lechbrücke - Mitte 17. Jh. (oben = Norden) (StAA 2009).

Die ab Beginn des 19. Jahrhunderts geodätisch vermessenen Karten lassen einen exakten Vergleich verschieden alter Flussläufe des Lechs zu. Für das Blatt „Wittelsbach“ aus dem Topographischen Atlas vom Königreich Bayern ist zu beachten, dass es südlich von Rain endet und das Aufnahmedatum nicht eindeutig festgelegt werden kann (s.o.). In Abbildung 7 sind verschiedene Zeitschnitte für ein definiertes Untersuchungsgebiet gegenübergestellt, um die Flussdynamik des unteren Lech im frühen 19. Jahrhundert zu verdeutlichen. In allen Karten kann ein Hauptstrom nur streckenweise ausgewiesen werden. Ein deutlich mäandrierender Hauptstrom ist bei Rain in Abbildung 7b zu erkennen. Südlich davon hat der Hauptstrom in den Uraufnahmen das vormals bewaldete Gebiet (Abb. 7a) durchbrochen und folgt dem Mäanderbogen bei Rain. Knapp 20 Jahre später fließt im ehemaligen Mäanderbogen nur noch ein kleiner Nebenarm, während der Hauptstrom wiederum eine bewachsene Insel durchbrochen hat (7c). Im ganzen Untersuchungsgebiet kommt es sowohl an Mäanderbögen – wie oben beschrieben – als auch an nahezu gestreckten Laufstrecken zu Durchbrüchen des Lechs durch bewachsenes Gelände, ohne dass dort ein Altwasser oder ein Nebenarm in den Karten als vorgeformte Abflussrinne erkennbar wäre. Daneben sind

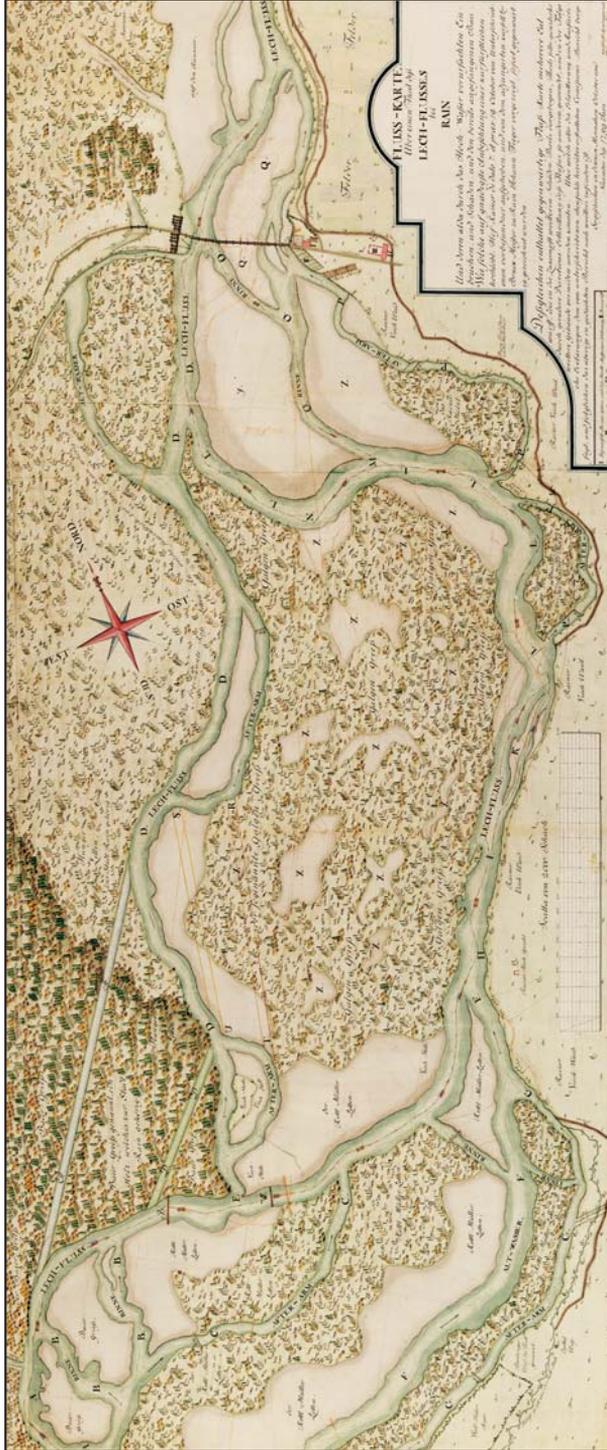


Abb. 6: Der Lech bei Rain - 1789 (BayHStA 2008).

auch Verlagerungen einzelner Arme und das Wechseln des Hauptstromes in Nebenarme oder ehemalige Hauptarme festzustellen. Dies lässt sich beim Vergleich der Flussläufe von 1809 (Abb. 7a), 1813-14 (Abb. 7b) und 1831-34 (Abb. 7c) im Gebiet westlich von Unterpeiching beobachten, wo der Lech Abflussrinnen über Jahrzehnte beibehält und teilweise als Neben- oder Hauptarme nutzt. Der untere Lech erscheint im Kartenbild streckenweise stark verzweigt.

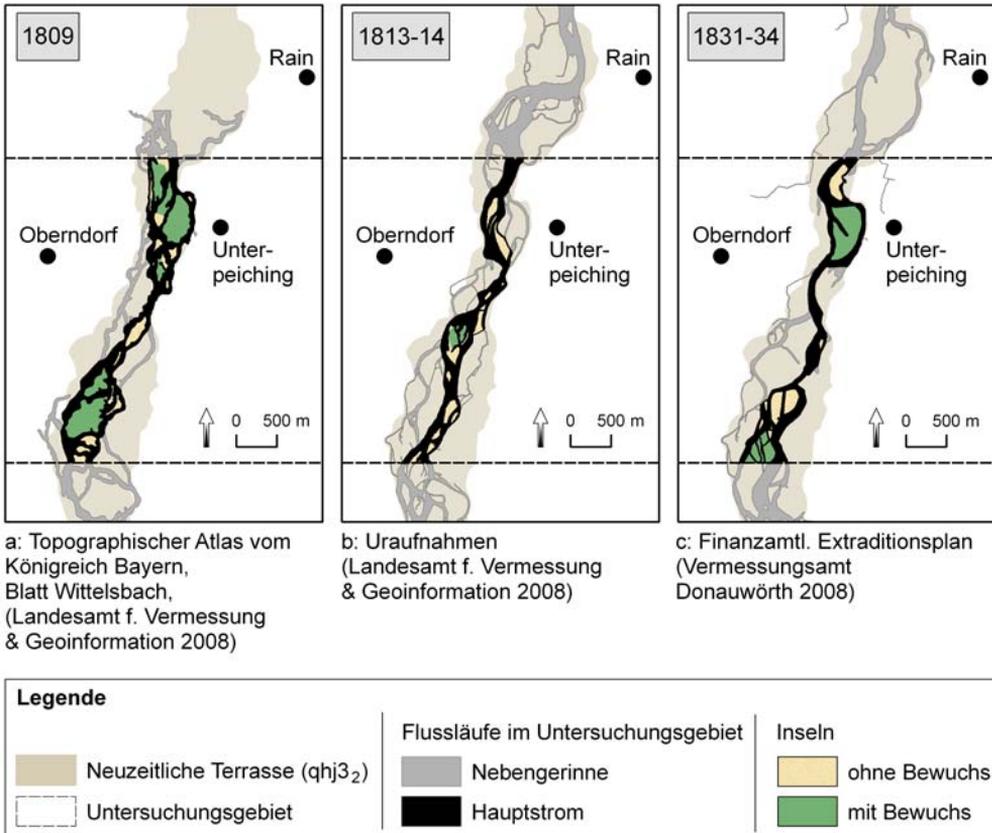


Abb. 7: Vergleich historischer Flussläufe im Untersuchungsgebiet am unteren Lech.

Die Parameter für den Verzweigungsgrad sowohl von BRICE (1964) als auch von FRIEND & SINHA (1993) verweisen auf einen Fluss mit Verzweigungen, aber nicht auf einen *braided river*. Bei beiden Zeitschnitten bleiben die Werte für den *total braiding index* deutlich unter dem von BRICE (1964) genannten Schwellenwert von 1,5. Die Werte für den *braided channel ratio* liegen nach FRIEND & SINHA (1993) im Bereich eines relativ schwach ausgeprägten *braided rivers* (Tab. 3). Es sind aber

auch Streckenabschnitte mit einer eindeutigen Tendenz zur Mäanderbildung erkennbar. Der Mäandrierungsfaktor liegt hier für alle Zeitschnitte bei ca. 1,1 bis 1,2. Somit muss von einer Übergangsform zwischen einem Mäanderfluss und einem *braided river* ausgegangen werden. Die treffendste flussmorphologische Einteilung für den unteren Lech ist die des *anabranching river* nach BRICE (1983). Dieser Typus weist neben den nur kurz bestehenden Sand- und Kiesinseln auch bewachsene Inseln auf, die über längere Zeiträume bestehen. Ein statistischer Vergleich zwischen 1813/14 und 1831/34 (Tab. 4) präsentiert eine geringe Abnahme der von den Flussläufen eingenommenen Fläche. Dass der Flusslauf um 1809 mit fast 40% Flächenanteil an der neuzeitlichen Terrasse weit größer ist als in den weiteren Zeitschnitten, ist wahrscheinlich eine Folge der Generalisierung auf der Karte im Maßstab 1:50.000.

4.1 Donau oberhalb der Lechmündung

Für einzelne Talabschnitte der Donau oberhalb der Lechmündung liegen historische Abbildungen vor, die Aussagen über Veränderungen des Donaulaufes zurück bis in das Jahr 1607 gestatten. Abbildung 8 zeigt eine Zeichnung der Donau zwischen Donauwörth und der Lechmündung. Deutlich sind das großbogige Mäandrieren der Donau sowie mehrere durchschnittene Mäanderbögen erkennbar. Letztere sind zum Teil verlandet, zum Teil noch als Altwasser vorhanden, wie der abgetrennte Mäander südlich von Altisheim – in der Karte als „Alte Donaw“ bezeichnet, dessen Prallhang wiederum einen älteren Mäander anschneidet. Die Überprüfung im Gelände ergab an dieser Stelle eine neuzeitliche Terrassenfläche, in der sich der damalige Donaulauf verlagerte sowie eine ältere Terrasse, welche vom zweiten abgetrennten Mäandern umfasst wird. Weitere Altwässer und einmündende Nebengerinne der Donau sind im übrigen Teil der Darstellung zu erkennen.

Ein ähnliches Bild vermittelt die nächstjüngere Karte aus dem Jahre 1620 (Abb. 9). Der mäandrierende Verlauf der Donau hat sich kaum verlagert. Der nach Nordwesten ausgreifende Mäanderbogen südlich von Altisheim wird schon als teilweise verlandet dargestellt. Die Stützpfeiler einer ehemaligen Brücke sind hier noch zu erkennen. Südlich der Donau sind zusätzliche Altwasser und verlandete Mäander dargestellt. Zwischen den Schwaighöfen „Crazers Lehen“ und „Braitwang“ ist eine Bogenstruktur mit der Bezeichnung „in der alten thonaw“ zu sehen. Diese ist heute noch morphologisch als Paläomäander erkennbar. Auf einer Karte der Lechmündung (Abb. 3), die wiederum aus dem Jahr 1620 stammt, ist der mäandrierende Verlauf der Donau

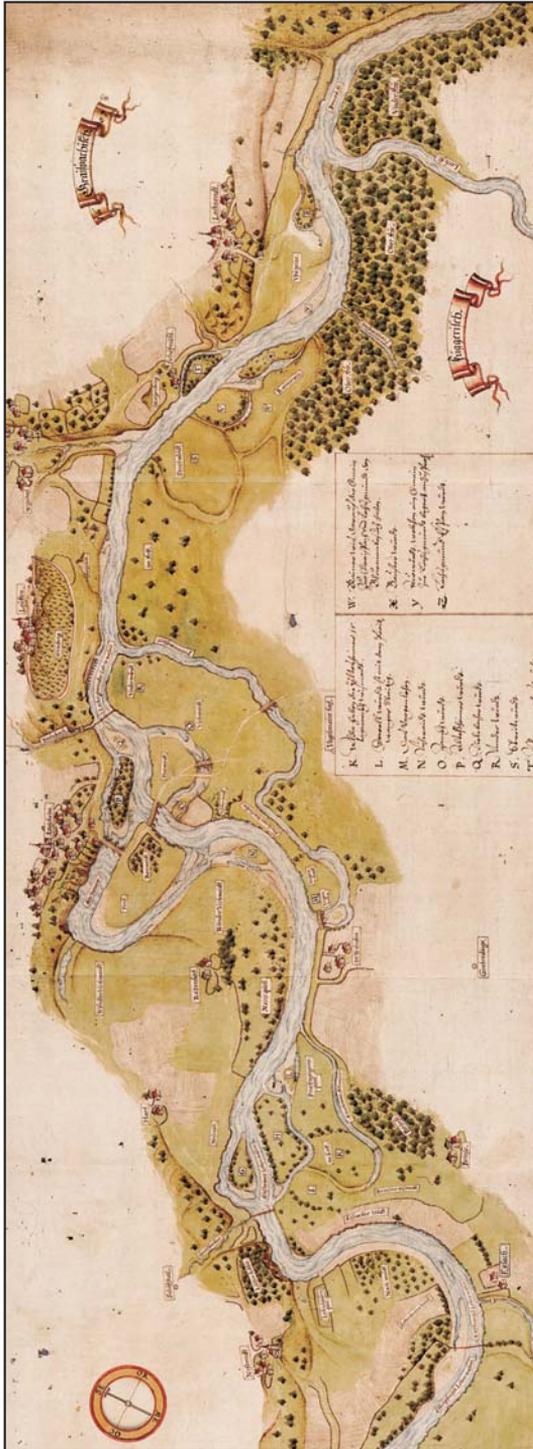


Abb. 8: Die Donau zwischen Donauwörth und der Lechmündung (Ausschnitt) - 1607 (BayHStA 2008).

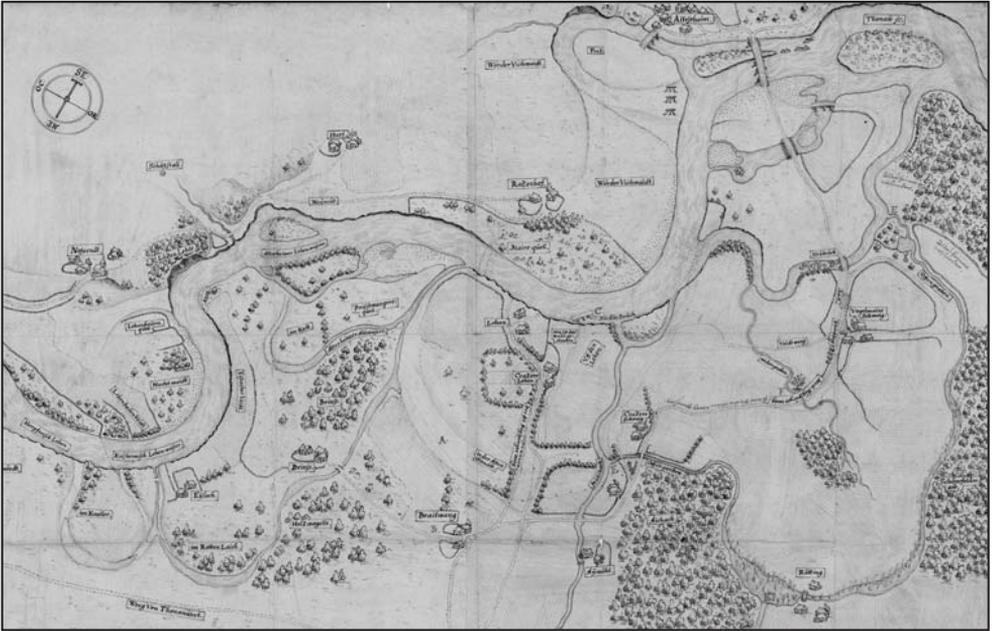


Abb. 9: Die Donau zwischen Neffsend und Altisheim - 1620 (BayHStA 2008).

zwischen Neffsend und Altisheim nur leicht angedeutet. Hingegen sind mehrere Mäanderbögen südlich der Donau klar zu erkennen. Diese stimmen mit den Mäandern in ihren Lagebeziehungen zu den Schwaighöfen und den Flurbezeichnungen aus den oben beschriebenen Karten weitgehend überein. Einige dieser Mäander ließen sich bei der Geländeaufnahme nachweisen. So beschreiben die beiden Mäanderbögen, welche die Flurstücke „im Kneller“ und „im rotten Laich“ am südlichen Donauufer bei Neffsend umrahmen (Abb. 3 & 9) eine morphologisch abgrenzbare Terrassenfläche älteren Datums.

In einer weiteren, aber weit weniger detaillierten Zeichnung aus dem Jahr 1692 (LEIDL & RUTH-FRANZ 1998) wird die Donau stark überdimensioniert dargestellt. Die alten Mäander bei Altisheim sind nicht mehr erkennbar. Jedoch ist ein verlandeter Mäanderbogen südlich der Donau bei der „Vogelmairs Schwaig“ vorhanden. Er ist mit der Bezeichnung „Alte Rinnsal der Thonaw“ versehen. In älteren Karten wird dieser damalige Nebenarm der Donau als „Pronnwasser“ (Abb. 8) bzw. „Giessen“ (Abb. 9) bezeichnet. Trotz der abweichenden Darstellungsweise der jüngsten Zeichnung, verdeutlicht ein Vergleich der Flussgrundrisse im Abschnitt zwischen Neffsend und Altisheim, dass sich die Donau hier in einem Zeitraum von über 80 Jahren kaum verlagerte. Innerhalb dieses definierten Flussabschnitts lassen sich in allen vorliegen-

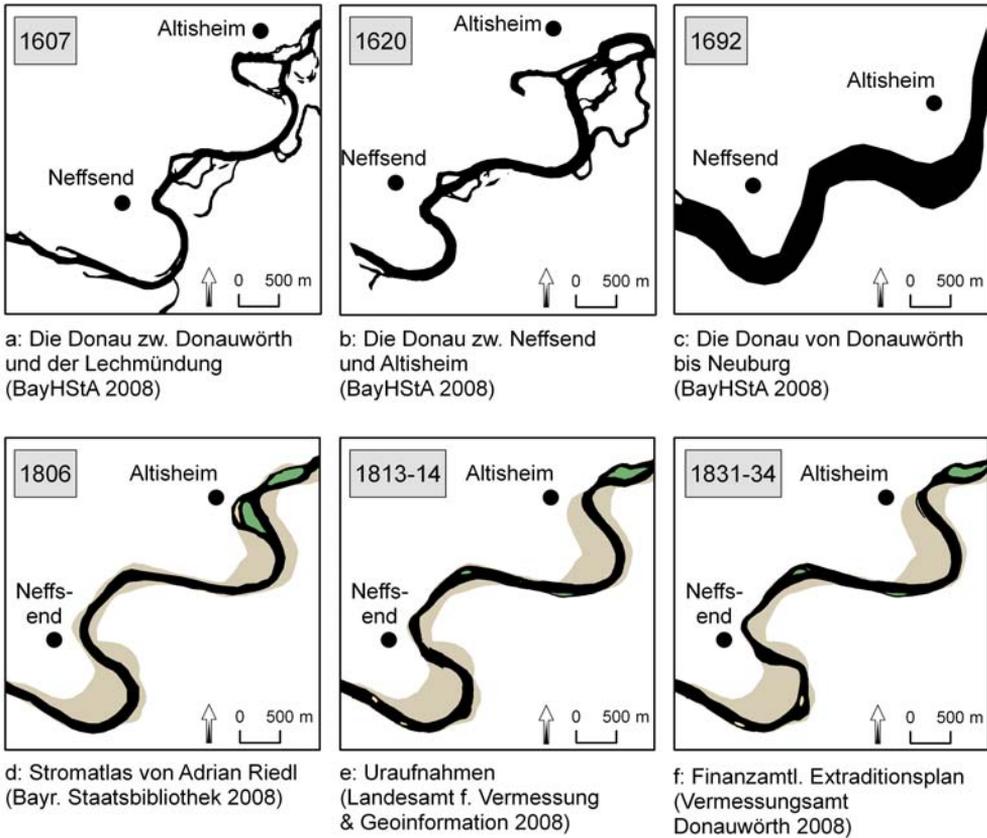


Abb. 10: Vergleich historischer Flussläufe im Untersuchungsgebiet an der Donau oberhalb der Lechmündung (Legende siehe Abb. 7).

den Karten aus dem 17. Jahrhundert (Abb. 10a-c) drei große Mäanderbögen mit einer ähnlichen Ausdehnung erkennen, während ein Viertel am östlichen Rand des Rahmens angeschnitten wird. Gleiches gilt auch für die geodätisch aufgenommen Kartenwerke nach 1800. Bei Abbildung 10d handelt es sich um einen Ausschnitt aus dem Stromatlas von Adrian Riedl, welcher 1806 veröffentlicht wurde. Die vier Mäanderbögen sind wiederum zu sehen und unterliegen in den weiteren Zeitschnitten – Uraufnahmen (1813/14) und Finanzamtlicher Extraditionsplan (1831/34) – nur minimalen Veränderungen.

Dies wird auch durch räumliche Kennwerte für dieses Gebiet verdeutlicht (Tab. 4). Die absoluten Flächeninhalte für den jeweiligen Flusslauf, sowie deren flächenmäßiger Anteil an der neuzeitlichen Terrasse ändern sich über knapp 30 Jahre kaum. Insbesondere der Vergleich der Abbildungen 10e und 10f zeigt die geringe Flussdynamik, die in diesem Bereich wirkte. Die hier vorgestellten historischen Flussläufe seit

1607 bewegen sich alle innerhalb der neuzeitlichen Terrasse. Der Mäandrierungsfaktor für alle Zeitschnitte nach 1800 beträgt bei einer Tallänge von ca. 4,7 km und einer Flusslauflänge von jeweils ca. 8 km etwa 1,7. Der Flussbettgrundriss lässt sich in diesem Abschnitt der Donau oberhalb der Lechmündung eindeutig dem Typus des Mäanderflusses zuordnen. Die verschiedenen Parameter für den Verzeigungsgrad bestätigen dies (Tab. 3). Die Dynamik der Donau oberhalb der Lechmündung ist geprägt vom Pendeln des Stromstriches. Dadurch ergeben sich Mäanderschlingen, welche durch Erosion am Prallhang und Akkumulation am Gleithang kontinuierlich talabwärts wandern (LEOPOLD & WOLMAN 1957). Durch die Korrektur der Donau, welche zuerst auf einem Flurkartenblatt aus dem Jahr 1891 (Vermessungsamt Donauwörth 2008) dokumentiert ist, wird die Mäanderbewegung der Donau weitgehend beendet.

4.3 Donau unterhalb der Lechmündung

Die neuzeitliche Terrasse der Donau dehnt sich unterhalb der Lechmündung auf eine Breite von teilweise über 1,5 km aus. Abgesehen von einem zentral gelegenen älteren Terrassenrest nutzen die historischen Flussläufe der Donau die gesamte neuzeitliche Terrassenfläche.

Leider liegt kaum historisches Kartenmaterial vor 1800 für diesen Bereich vor. In der Abbildung 8 wird die Donau unterhalb der Lechmündung nur am Kartenrand als ein gerader Strom ohne Verzweigungen dargestellt, der nach Süden abknickt. In der stark generalisierten Abbildung 4 sind für die gesamte Donau, oberhalb wie unterhalb der Lechmündung, keine Grundrissformen erkennbar, die Rückschlüsse auf die Flussdynamik zulassen würden. Eine Karte von 1598 (Abb. 11) zeigt deutlich zahlreiche Verzweigungen der Donau zwischen Marxheim und dem Juradurchbruch bei Stepperg aber auch Mäandrierungstendenzen und einzelne abgeschnittene Paläomäander. Eine Detailaufnahme der Donau bei Marxheim ist in Abbildung 12 zu finden. Diese Zeichnung aus dem Jahr 1610 ist stark verzerrt. Ein deutlicher Mäanderbogen reicht weit nach Süden, während nördlich der Donau mehrere Altarme erkennbar sind. Aufgrund der Verzerrung und anderslautenden Flurbezeichnungen sind Entsprechungen in anderen Karten nicht zu finden. In einer Karte von 1692 (LEIDL & RUTH-FRANZ 1998) reicht ein Donaumäander wiederum weit nach Süden. Der Flussgrundriss des einzelnen Hauptstroms ist hier wie im weiteren Verlauf durch einige Inseln aufgeteilt. Doch auch diese Darstellung ist kritisch zu betrachten, da starke Lageverzerrungen

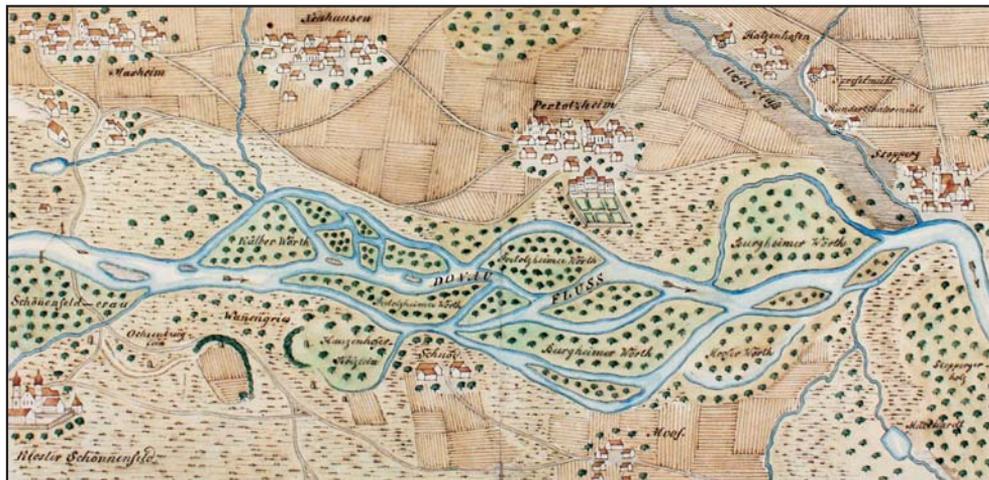


Abb. 11: Donau bei Bertoldsheim - 1589 (oben = Norden) (StAA 2009).

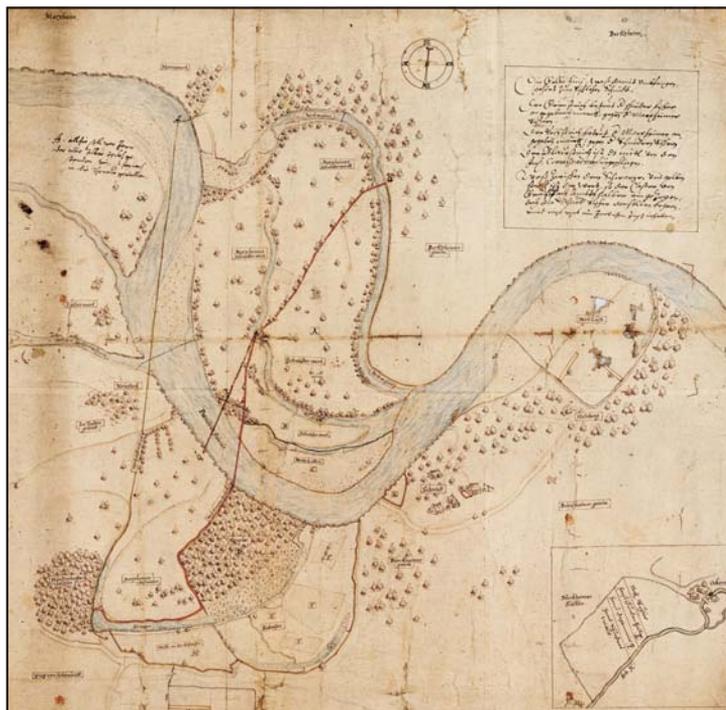


Abb. 12: Die Wörthe der Donau bei Marxheim - 1610 (BayHStA 2008).



Abb. 13: Der Stromatlas von Adrian Riedl (Ausschnitt) - 1806 (oben = Norden) (Bayr. Staatsbibliothek 2008).

vorliegen.

Die erste räumlich auswertbare Karte ist der Stromatlas aus dem Jahr 1806 (Abb. 13). Hier liegt die Lechmündung an gleicher Stelle wie heute. Mehrere hundert Meter unterhalb spaltet sich die Donau in zwei Hauptarme. Der Nördliche fließt in einem weiten Mäanderbogen um den älteren Terrassenrest und trifft ca. 1 km flussabwärts wieder auf den südlichen Hauptstrom. Letzterer ist breiter dargestellt, beschreibt mehrere Mäander und schneidet zahlreiche Altwasser an (Abb. 14a). Auffällig ist ein weit nach Süden ausgreifender Bogen mit einigen Verzweigungen, der im Stromatlas (Abb. 14) als „alte verlassene Donau“ bezeichnet wird. Wie die Geländeaufnahme ergab, liegt diese Struktur bereits auf einer älteren Terrassenfläche.

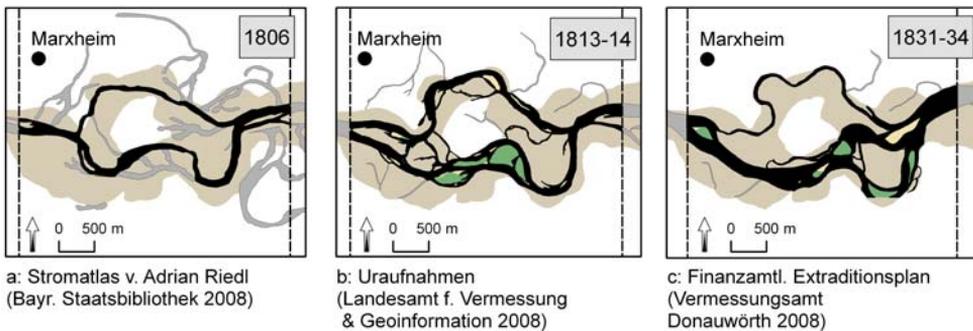


Abb. 14: Vergleich historischer Flussläufe im Untersuchungsgebiet an der Donau unterhalb der Lechmündung (Legende siehe Abb. 7).

Im weiteren Verlauf der Donau sind bis zum Juradurchbruch am Steppberg einige kleinräumliche Verzweigungen, aber auch mehrere Mäander zu erkennen (Abb. 13). Der aus den Uraufnahmen von 1813-14 entnommene Flusslauf in Abbildung 14b zeigt zwei gleich breite Arme der Donau, welche sich im Bereich einer ehemaligen Sandinsel (Abb. 14a) teilen. Südlich verläuft die Donau streckenweise nochmals in mehrere Arme aufgegliedert zwischen bewachsenen Inseln. Der Flusslauf in historischen Karten aus dem 19. Jahrhundert (Abb. 14a-d) zeigt aber auch eine andere Dynamik, indem sich Mäanderbögen erweitern und verlagern. Der nördliche Arm (Abb. 14b) nutzt die ältere Rinne von 1806 (Abb. 14a), baut mehrere Mäander aus und erreicht teilweise die kartierte Grenze der neuzeitlichen Terrasse. In der etwa 20 Jahre jüngeren Darstellung (Abb. 14c) sind diese kleinen Mäanderbögen maximal ausgebildet. Der nördliche Arm ist allerdings zu einem Nebenarm degradiert. Die Wasserführung konzentriert sich auf einen südlichen Hauptstrom, welcher sich wiederum in zwei Arme aufteilt. Der südlichere der beiden stellt einen Mäanderbogen dar, dessen Prall-

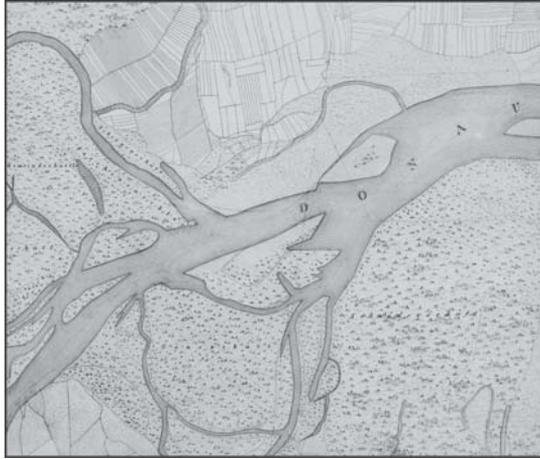


Abb. 15: Flurkarte NW XXIX 19 - 1847 (oben = Norden) (Vermessungsamt Donauwörth 2008).

hang sich in den verschiedenen alten Darstellungen (Abb. 14a-d) immer weiter talabwärts verlagert und die Terrassengrenze bildet. Der nördlichere Arm nutzt eine alte Rinne, die schon um 1806 als ehemaliger Donaulauf dargestellt wurde (Abb. 14a). Hier wird der Mäanderbogen durchbrochen. Dementsprechend verläuft im Jahr 1847 (Abb. 15) der Hauptstrom der Donau, durch einzelne bewaldete Inseln aufgeteilt, entlang dieses Durchbruchs. Der Mäanderbogen im Süden ist nur noch als ein Altwasser vorhanden. Die Flächenberechnungen für diesen Flussabschnitt (Tab. 4) zeigen einen deutlichen Anstieg der Wasserfläche der Donau innerhalb von ca. 30 Jahren.

Der Mäandrierungsfaktor liegt im dargestellten Untersuchungsgebiet bei ca. 1,3 (Abb. 15a). In den folgenden Zeitschnitten (Abb. 15b-c) schwankt er bei verschiedenen Hauptströmen zwischen 1,2 und 1,4, bleibt aber immer deutlich unter dem Wert von 1,7 an der Donau oberhalb der Lechmündung. Die Berechnungen für die verschiedenen *braided indices* ergeben für die verschiedenen Zeitschnitte unterschiedliche Werte. Auf den Uraufnahmen aus den Jahren 1813/14 ist die Donau durch Auenflächen der neuzeitlichen Terrasse und einen älteren Terrassenrest in zwei Arme aufgeteilt, zwischen denen mehrere schmale Verbindungen bestehen. Der südliche Arm ist stärker verzweigt, beide erreichen jedoch nicht den Verzweigungsgrad des untersuchten Flussabschnitts am Lech (Tab. 3). 1831/34 liegen die Werte für den nun dominierenden südlichen Arm bei beiden Parametern zwar höher, der visuelle Eindruck einer mäandrierenden Dynamik ist im Kartenbild dennoch eindeutig.

5. Fazit

Die Rekonstruktion der historischen Flussläufe und die Geländeaufnahmen verweisen auf stark unterschiedliche Flussdynamiken am unteren Lech und an der Donau im Bereich der Lechmündung. Der Lech zeigt vor allem in den Karten ab Ende des 18. Jahrhunderts den Grundriss eines *anabranching river* mit zahlreichen Verzweigungen, aber teilweise auch Mäandertendenzen des Hauptstroms und der Nebenarme innerhalb einer breiten neuzeitlichen Terrasse. Der Vergleich eines Flussabschnitts in drei Karten aus einem Zeitraum von ca. 25 Jahren zu Beginn des 19. Jahrhunderts gibt Hinweise darauf, dass sich einzelne Arme stark verlagerten, der Hauptstrom in Nebenarme oder alte Rinnen wechselte und auch langfristig persistente Inseln und Ufergebiete durchbrochen hat. In den Karten aus dem 16. und 17. Jahrhundert konnte dies nicht eindeutig beobachtet werden. Hier sind nur Inseln und in einigen Fällen Määnder erkennbar. Rückschlüsse auf eine differente Flussdynamik sind aufgrund der größtenteils stark vereinfachten Darstellungsweise der alten Karten (vor 1800) nicht möglich. Die statistischen Berechnungen in Tabelle 4 weisen für den Lech auf eine starke Umlagerungstätigkeit hin, ausgedrückt durch hohe Landverluste und -gewinne. Es ist eine leichte Tendenz zur Verringerung der Wasserfläche des Lechs erkennbar, wobei die hohen Werte aus dem kleinmaßstäblichen Topographischen Atlas auf die Generalisierung zurückgeführt werden können. Durch die Berechnung von Parametern für Sinuosität und Verzweigungsgrad konnten die Flussgrundrisse auch quantitativ als Übergangsform zwischen einem mäandrierenden und einem verzweigten Fluss charakterisiert werden.

An der Donau oberhalb der Lechmündung ist ein typisch mäandrierendes Verhalten in der relativ schmalen neuzeitlichen Terrasse zu beobachten. Dies belegen die Flächenberechnungen für die verschiedenen Flussläufe aus allen Kartenwerken zu Beginn des 19. Jahrhunderts (Tab. 4), die Kennwerte für Sinuosität und Verzweigungsgrad (Tab. 3), und die Geländeaufnahmen. In Karten, die bis 1607 zurückgehen, ist eine einheitliche Dynamik mit talwärtigem Wandern der Prallhänge und einzelnen Määnderdurchbrüchen dokumentiert.

Unterhalb der Lechmündung gestaltet die Donau in allen Zeitschnitten ab 1800 einen großen Flächenanteil der neuzeitlichen Terrasse. Zwischen 1806 und 1834 nimmt die Wasserfläche durch Landverluste stark zu (Tab. 4). Zudem ist in der Gegenüberstellung der Flussläufe aus den verschiedenen Zeitschnitten eine zunehmende Tendenz zur Verzweigung erkennbar (Abb. 7). Neben den Merkmalen eines verzweigten

Flusses (Verzweigungen, Wechsel der Hauptströme zwischen den Armen, geringer Mäandrierungsfaktor), wie sie auch am Lech beschrieben wurden, sind mäandrierende Tendenzen wie oberhalb der Mündung erkennbar. Diese Beobachtungen sind nur in den Karten des frühen 19. Jahrhunderts möglich, während frühere Darstellungen aufgrund starker Lageverzerrungen wenig aussagekräftig sind.

Die unterschiedlichen Flussgrundrisse an Lech und Donau lassen sich durch die internen Faktoren des jeweiligen fluvialen Systems erklären. Als allgemeine Bedingungen für ein mäandrierendes Verhalten werden von MANGELSDORF & SCHEURMANN (1980) eine ausreichend große Wassertiefe (größer als 0,1m), eine geringe Fließgeschwindigkeit und geringe Turbulenzen angegeben. LEOPOLD & WOLMAN (1957) geben als mögliche ausschlaggebende Variablen vor allem ein relativ geringes Gefälle sowie einen ausgeglichenen Abfluss mit nur selten auftretenden Spitzenwerten an. Dies trifft auf die Donau oberhalb der Lechmündung zu. Der Lech hingegen führt aufgrund des höheren Talgefälles mehr Grobfracht mit sich und neigt wegen unregelmäßigen, aber häufig auftretenden Abflussspitzen während Hochwasserereignissen zu kurzfristigen Umgestaltungen seines Flussgrundrisses. Durch den hohen Sedimenteintrag des Lechs kommt es zumindest im Zeitraum nach 1800 unterhalb der Lechmündung zu einer Verflachung des Donaustromes und einer Aufspaltung der Flussläufe. Außerdem verweisen verschiedene historische Karten auf ein Abwandern der Lechmündung nach Osten, was sich auch auf die vergleichsweise höhere Sedimentfracht des Lechs und deren Ablagerung im Mündungsgebiet zurückführen ließe.

Neben den internen Faktoren beeinflussen externe Größen wie der Raum, das Klima und der Mensch die fluviale Dynamik (vgl. z. B. SCHELLMANN 1994). Der Einfluss der letzten Hochphase der „Kleinen Eiszeit“ (vgl. z. B. LAMB 1977) auf den Lech und somit auch auf die Donau unterhalb der Lechmündung ist für den Zeitraum zwischen etwa 1800 und ca. 1850 denkbar, da sich hier das flussmorphologische Erscheinungsbild innerhalb kurzer Zeit mehrfach veränderte. Die relativ ungenauen Kartendarstellungen aus dem 16. bis 18. Jahrhundert geben keine gutes Vergleichsmaterial, so dass hierzu keine eindeutigen Aussagen möglich sind (s.o.).

Anthropogene Einflussfaktoren, wie Brücken-, Mühl- und Wehrbauten, Flößerei, Rodungen und die Ausweitung landwirtschaftlicher Nutzflächen, bestanden sicherlich im Untersuchungszeitraum an Lech und Donau und können demnach nicht die differente Dynamik in den verschiedenen Flussabschnitten der Donau oberhalb und unter-

halb der Lechmündung, bzw. am Lech ausgelöst haben. Ein eindeutiger Beleg für einen menschlichen Eingriff vor den Flusskorrekturen im 19. Jahrhundert liegt nur für den Lech vor, wo schon Ende des 16. Jahrhunderts Uferschutzbauten für eine verstärkte Erosion am gegenüberliegenden Ufer sorgten. Insgesamt ist davon auszugehen, dass vor allem die internen Faktoren in Abhängigkeit vom jeweiligen Einzugsgebiet ausschlaggebend für die Ausgestaltung der historischen Flussgrundrisse waren.

Danksagung

Die vorliegende Studie wurde durch die Ständige Kommission für Forschung und wissenschaftlichen Nachwuchs (FNK) der Universität Bamberg gefördert. Auch dem Landesamt für Umwelt (München) gebührt ein besonderer Dank für die Unterstützung der Kartierarbeiten im Untersuchungsgebiet. Für die Bereitstellung des historischen Kartenmaterials und für die Genehmigung zur Veröffentlichung ergeht ein herzlicher Dank an das Bayerische Hauptstaatsarchiv (München), an das Landesamt für Vermessung und Geoinformation (München), an die Bayerische Staatsbibliothek (München), an das Staatsarchiv Augsburg und an das Vermessungsamt Donauwörth.

Literatur

- APPELT, G. (1988): Amtliche Kartographie in Bayern seit 1800. In: WOLFF, H. (ed.): *Cartographia Bavariae*: 223-246; Weißhorn in Bayern (Konrad).
- BRICE, J. (1964): Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. Geolog. Survey Prof. Paper 422-D.
- BRICE, J. (1983): Planform properties of meandering rivers. In: ELLIOT, C. (ed.): *River meandering. Proceedings of the October 24-26 Rivers 83'Conference*, ASCE, New Orleans: 1-29.
- FINSTERWALDER, R. (1995): Adrian von Riedl und der erste bayerische Straßen- und Gewässeratlas. In: WOLFF, H. (ed.): *Vierhundert Jahre Mercator, Vierhundert Jahre Atlas*: 105-116; Weißhorn in Bayern (Konrad).
- FRIEND, P.F. & SINHA, R. (1993): Braiding and meandering parameters. In BEST, J. L. & BRISTOW, C. S. (eds.): *Braided Rivers*. The Geological Society, Special Publications 75: 105-112; London.
- GERMANOSKI, D. & SCHUMM, S.A. (1993): Changes in braided river morphology resulting from aggradation and degradation. – *Journal of Geology*, 101: 451-

466.

- EGOZI, R. & ASHMORE, P. (2008): Defining and measuring braiding intensity. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 33: 2121-2138.
- HABERMAYER, A. (1993): Die topographische Landesaufnahme von Bayern im Wandel der Zeit. – Stuttgart (Wittwer).
- HONG, L.B. & DAVIES, T.R.H. (1979): A study of stream braiding. – *Geological Society of America Bulletin*, 90: 1839-1859.
- KRAUSEN, E. (1973): Die handgezeichneten Karten im Bayerischen Hauptstaatsarchiv sowie in den Staatsarchiven Amberg und Neuburg a. d. Donau bis 1650. – Neustadt a.d.Aisch (Degener).
- LAMB, H.H. (1977): *Climate, Present, Past and Future. Volume 2: Climatic History and the future.* – London (Methuen).
- LEIDL, G. & RUTH-FRANZ, M. (1998): Altbayerische Flußlandschaften an Donau, Lech, Isar und Inn: handgezeichnete Karten des 16. bis 18. Jahrhunderts aus dem Bayerischen Hauptstaatsarchiv. – Weißenhorn in Bayern (Konrad).
- LEOPOLD, L.B. & WOLMAN, M.G. (1957): River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight. *Geolog. Survey Prof. Paper 282-B.*
- MANGELSDORF, J. & SCHEURMANN, K. (1980): *Flußmorphologie – Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure.* – München, Wien (Oldenbourg Verlag).
- SCHIELEIN, P., SCHELLMANN, G. & JUNG, D. (in Vorb.): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7231 Genderkingen. – München (Bayerisches Landesamt für Umwelt).
- SCHELLMANN, G. (1994): Wesentliche Steuerungsmechanismen jungquartärer Flußdynamik im deutschen Alpenvorland und Mittelgebirgsraum. – *Düsseldorfer Geogr. Schr.*, 34: 123-146; Düsseldorf.
- ROBERTSON-RINTOUL, M.S.E. & RICHARDS, K.S. (1993): Braided channel pattern and paleohydrology using an index of total sinuosity. – In: BEST, J. L. & BRISTOW, C. S. (eds.): *Braided Rivers. The Geological Society, Special Publications*, 75: 113-118; London.
- RUST, B.R. (1978): A classification of alluvial channel systems. In MIALD A.D. (ed.): *Fluvial Sedimentology, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 5: 187-198; Calgary.
- ZIEGLER, T. (1976): Die Entstehung des bayerischen Katasterwerks. – München (Deutscher Verein für Vermessungswesen).

Kartenquellen

BayHStA (2008) – Bayerisches Hauptstaatsarchiv, München.

Bayr. Staatsbibliothek (2008), München.

Landesamt f. Vermessung & Geoinformation (2008), München.

StAA (2009) – Staatsarchiv Augsburg.

Vermessungsamt Donauwörth (2008).