

Kalkkrusten in den Abflussschwellen des Bodensees

Martin Mainberger

Die beiden Abflussschwellen des Bodensees sind seit Jahrhunderten menschlichen Eingriffen ausgesetzt gewesen. In der Konstanzer Schwelle – dem Ausfluss des Obersees in den Seerhein und den Untersee – waren es vor allem das stetige Vorrücken der Stadt in die Flachwasserzone sowie Brücken- und Mühlkonstruktionen (RÖBER 2011, 86f), die die Querschnittsprofile veränderten und zu massiven Veränderungen der Hydrologie führten. Ausgeglichen wurden diese Maßnahmen teilweise zunächst noch durch die Schanzgräben der mittelalterlichen Stadt, die zusätzliche Abflüsse in Richtung Untersee schufen. Als diese außer Gebrauch kamen und zugeschüttet wurden, musste die Zahl der Schadhochwasser steigen. Der Brand der Konstanzer Rheinbrücke 1856 wurde vor diesem Hintergrund zu einem Politikum, das in eine internationale Vereinbarung mündete. Die Herstellung von Stauwehren bei Konstanz war danach nicht mehr gestattet (SOMMER 1922, 3f).



Abb. 1: Fundamente der Rheinmühlen am „Alentrain“ unmittelbar vor der Alten Rheinbrücke in Konstanz.
Foto: M. Dienst

Seither fließt der Obersee weitgehend ungehindert in die künstlich verengte Trichteröffnung bei der Alten Rheinbrücke ab (Abb. 1). Ob eine 1986 beantragte Ausbaggerung der Fahrrinne zwischen Konstanz-Hafen und der Rheinbrücke durchgeführt wurde, bleibt auf Grundlage der Akten (Ortsakten des Landesamtes f. Denkmalpflege, Hemmenhofen) unklar. Auch die wasserbaulichen Veränderungen im westlichen Ausgang des Untersees waren vor allem von der Eindämmung der Hochwassergefahr motiviert. Im Ausgangspunkt des Hochrheins, der Stiegener Enge, wurden aber nicht Einbauten, sondern Abgrabungen durchgeführt – insgesamt vier, die letzte erst 1945. Die Eingriffe reduzierten das ursprünglich weit in Richtung des Nordufers vorspringende Eschenzer Horn auf einen Bruchteil seiner ursprünglichen Fläche (WEGELIN 1915, 72f; BIRCHMEIER 2008). Als aufgrund zunehmender Erosion der wertvolle Äschenlaichplatz bei Stiegen in Gefahr geriet, versuchte man – offenbar von der Fischereiverwaltung des Kantons Thurgau ausgehend – in den 1970er Jahren, Kies auszubringen. Die Aktion missglückte, die Ladung musste mehr oder weniger unkontrolliert abgeladen werden (mündl. Mitteilung Hans Dietrich, Stiegen). Eine gewisse Rolle in der Diskussion um die Hochwasser des Bodensees spielten natürliche Formationen, die den Grundschwellen in Konstanz und bei Stiegen aufgelagert sind und als „Barren“ den Abfluss zu hemmen schienen. Der wohl prominenteste Fachmann in Sachen Hochwasserschutz und Abflussschwellen, Max Honsell, ein in Konstanz gebürtiger späterer Abgeordneter des badischen Landtags, beschrieb sie als „Tuffbänke“ – ausgedehnte, bei Niedrig-

wasser trockenfallende, aus krustigen Kalkkongregationen aufgebaute Seichtstellen. Im ersten Viertel des 20. Jh. waren diese Kalkbänke noch wohl bekannt und für die Landschaft und Hydrologie der beiden Seeausflüsse offenbar geradezu landschaftsprägend. Sie erstreckten sich vom „Alentrain“ im Konstanzer Trichter rheinabwärts bis nach Gottlieben und vom „Orkopf“ in der Stiegener Enge (Abb. 2) bis unterhalb Stein am Rhein (WEGELIN 1915, 76f; BAUMANN 1915, 175f).



Abb. 2: Luftbild Stiegener Enge. Der Orkopf befindet sich in der Bildmitte. Foto: O. Braasch / LAD

PFAHLFELDER AUS STEIN- UND BRONZEZEIT

Sowohl im „Trichter“ vor Konstanz als auch am „Orkopf“ bei Eschenz-Stiegen befinden sich ausgedehnte stein- und bronzezeitliche Pfahlfelder und somit Relikte prähistorischer Siedlungsanlagen. Es handelt sich in mancherlei Hinsicht um archäologische Ausnahmeerscheinungen. Beide Seeausflüsse stellen in verkehrsgeographischer Hinsicht Schlüsselpositionen dar. Sie markieren Zwangspassagen sowohl für den Wasserverkehr in Ost-West-Richtung wie für die den See kreuzenden Landrouten (MAINBERGER & SCHLICHOTHERLE 2003; MAINBERGER & SCHNYDER 2009, 20; MAINBERGER & SCHLICHOTHERLE 2014). In beiden Fällen befinden sich Pfahlfelder auf Untiefen, die im Unterschied zu allen übrigen Seeufersiedlungen des Bodensees ein gutes Stück vom Ufer entfernt liegen und heute trockenen Fußes nicht zu erreichen sind. Und leider gibt es wohl auch in wenigen prähistorischen Pfahlbaufundstellen des Bodensees so dramatische Erosionserscheinungen wie am „Frauenpfahl“ vor Konstanz und am „Orkopf“ in der Stiegener Enge. In der 1882 entdeckten Station am Frauenpfahl wurden 1985 Pfähle beo-

bachtet, die bis zu 2,5 m aus dem Seeboden ragten (SCHÖBEL 1996, 153). Am Orkopf kamen erst in den frühen 1970er Jahren, offenbar im Zusammenhang mit umfangreichen Sedimentverlagerungen und der Versetzung des Orkopfs um Dutzende von Metern nach Westen (MAINBERGER & SCHNYDER 2013, 237) die ersten Pfähle zum Vorschein. Heute sind sie bis zu einem Meter hoch vom Seeboden exponiert, vielfach nur noch mit ihren Spitzen im Seeboden verankert oder bereits von der Strömung fortgetragen. Wir haben es demnach mit Sedimentabträgen im Meterbereich zu tun. Die zuständigen Denkmalpflegebehörden des Kantons Thurgau und des Landes Baden-Württemberg haben, angesichts der mit dramatischem Tempo fortschreitenden Zerstörungen in beiden Stationen, Rettungsgrabungen und archäologische Bestandsaufnahmen durchgeführt (MAINBERGER et al. 2009; MAINBERGER & SCHNYDER 2013). Am Orkopf in der Stiegener Enge sind die Rettungsgrabungen 2015 vorläufig abgeschlossen worden, im Konstanzer Trichter ist die denkmalpflegerische Bestandsaufnahme noch im Gange.

DIE KALKKRUSTEN

Von den beschriebenen Kalktuffkrusten fehlte sowohl am Orkopf wie in Konstanz allerdings zunächst jede Spur. Im Zuge der ersten Tauchprospektion im Areal östlich der Konstanzer Rheinbrücke, der bronzezeitlichen Fundstelle Konstanz/Frauenpfahl, wurde 1985 nur eine „Kiesbank“ (SCHÖBEL 1996, 153) festgestellt. Eine 2013 quer über die Fundstelle angelegte Bohrachse erbrachte im Liegenden der Decksedimente dann mehrere Meter mächtige Seekreiden sowie Beckentone (MAINBERGER/SCHLICHOTHERLE 2014, 34). Bei den Fundamenten der Rheinmühlen wurden „Krümelkalkbänke“ (OSTENDORP 2012, 66) beobachtet. Ähnliches wurde für die Stiegener Enge ermittelt. Stratigraphische Beobachtungen schienen anzuzeigen, dass die Seichtstelle des Orkopf im Wesentlichen aus Seekreiden und Schillbänken aufgebaut ist (MAINBERGER & SCHNYDER 2009, 17). Allerdings stießen wir in der Fahrrinne, die den Orkopf vom deutschen Ufer trennt, auf tuffartige Kalkgerölle (Abb. 3). Wir hielten die an Blumenkohlköpfe erinnernden, verrundeten Bildungen zunächst für verlagerte Relikte von Quelltuffen, wie sie für den unmittelbar ans Seeufer ansto-

ßenden Schienerberg beschrieben worden sind (GÖTLICH & KLÖTZLI 1975, 44f). 2013 aber trafen wir dann am nördlichen Rand des neolithischen Pfahlfeldes auf mit der Kelle kaum zu durchdringende, zusammenhängende, harte Krusten.



Abb. 3: Kalktuffbrocken vom Orkopf, Stiegen / Eschenz. Im Innern befand sich offenbar einmal eine Muschel. Foto: Amt f. Archäologie des Kt. Thurgau, Daniel Steiner.

Ein Aufschluss konnte zeigen, dass es sich um bis 20 cm mächtige, lose miteinander verbundene Kalkkongregationen handelt (vgl. Abb. 4). Einen ähnlichen Verlauf nahmen seit 2010 andauernde denkmalpflegerische Aufnahmen im Konstanzer Trichter. 2014 stießen wir unter Sand und Schill auf Bildungen, die mit den Stieger Ablagerungen sehr gut vergleichbar sind (Foto Abb. 5). Ähnlich wie am Orkopf handelt es sich um ein relativ kleines, hochgelegenes Areal mit relativ schnell fließendem Wasser. Damit steht außer Zweifel, dass sich sowohl in der Stieger Enge wie im Konstanzer Trichter noch Relikte der im 19. und frühen 20. Jh. beschriebenen Kalktuffablagerungen befinden.

GENESE

Die Forschung des ausgehenden 19. und frühen 20. Jahrhunderts war sich prinzipiell über den Mechanismus der Entstehung der Krusten einig. Im Prinzip stehen physikalische und chemische und vor allem auch biogene Vorgänge im Hintergrund. Der Grundmechanismus wurde erstmals von Honsell beschrieben, der die Genese der Kalkbänke vor allem mit der Assimilation von Algen in Verbindung brachte; diese entzie-

hen dem im Wasser gelösten doppelkohlen-saurigen Hydrogenkarbonat $Ca(HCO_3)_2$ ein Molekül Kohlendioxid für die Photosynthese, und einfach kohlen-saurer Kalk $CaCO_3$ fällt aus. Der Kalk ummantelt die absterbende Alge, die zur Unterlage für immer größer werdende Algenkolonien wird und auf diese Weise immer dicker werdende Krusten bildet. Da die Algen sich bevorzugt auf Hartsubstraten ansiedeln, befinden sich im Kern der Kalkknollen häufig Gerölle, Muscheln oder andere feste Körper. Honsell konnte diese Kalkkongregationen nur im Umfeld der Seeausflüsse beobachten, woraus er schloss, dieser Mechanismus benötige schnell fließendes, kohlen-säurereiches Wasser (zit. n. BAUMANN 1911, 27). Der Konstanzer Apotheker und Naturwissenschaftler Ludwig Leiner präzisierte den Vorgang, indem er die Rolle des fallenden hydrostatischen Drucks im aus der Tiefe aufsteigenden Wasser betonte. Dieser befördere die Verfügbarkeit von Kohlendioxid für Wasserpflanzen, trage zu vermehrter Calcit ausfällung bei und resultiere so in der Verkrustung einzelner Ufergerölle und der Bildung ganzer Bänke.

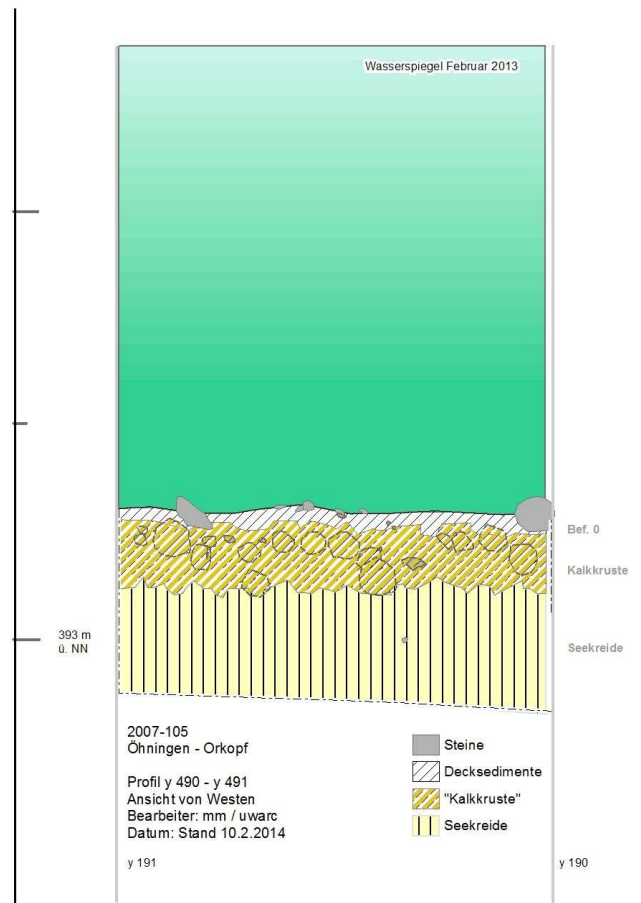


Abb. 4: Die Kalkkruste am Orkopf im Profil

Er beobachtete an den bei Niedrigwasser freiliegenden Seichtstellen unmittelbar vor dem Ausfluss des Obersees in den Seerhein nicht nur Algen, sondern auch Wassermoose und weitere Wasserpflanzen. Die Wassermoose *Fissidens grandifrons*, *Hymenostylium recurvirostrum* und *Jungermannia atrovirens* entdeckte er am Bodensee erstmals. Die beschriebene kalkliebende Pflanzengesellschaft auf den harten Kalksubstraten fand er auch von Muscheln und Insektenlarven besiedelt (LEINER 1882, 87). Der Botaniker Eugen Baumann identifizierte dann die auf den betreffenden Standorten – „Seegebilden eigentümlichster Art“ – vorkommenden Einzeller als Kolonien verschiedener Cyanobakterien (BAUMANN 1911, 26f). Er fand weitere Pflanzen- und Tierarten und beschrieb die Rolle von Frost, die das Aufwachsen der Kalkkrusten über das Niveau von Winterniedrigwasser durch Frostsprengung verhinderte. Baumann dokumentierte im Übrigen auch Fundstellen im tieferen Wasser bis 4 m und tiefer; es bleibt bei den erwähnten, bis 0,8 m mächtigen Ablagerungen „abgerundeter Kalktuffsteine“ allerdings offen, ob es sich um durch Abtragung sekundär verlagerte oder um autochthone Bildungen handelte. WEGELIN (1915, 76f) schließlich brachte mit den am Bodensee vorherrschenden Windverhältnissen eine weitere Komponente ins Spiel: Westwind versetzte die warmen Oberflächenschichten des Wassers gegen Osten und beförderte damit den Aufstieg kalten, kohlenstoffreichen Wassers über die Grundschwellen.

DATIERUNG

Sowohl in der Stiegerer Enge als auch in Konstanz/Frauenpfahl ist erkenntlich, dass Pfähle von den Krusten ummantelt und – zumindest in Einzelfällen – überdeckt sind (Abb. 5). Am Orkopf sind auch Kleinfunde vereinzelt in die Krusten eingebunden. Die dendrochronologische Datierung der jeweiligen Pfahlfelder ist noch im Gange, sodass verlässliche, präzise Zeitmarken noch nicht vorliegen. Auf Grundlage unserer stratigraphisch-archäologischen Beobachtungen deutet sich aber an, dass die Krusten jünger sind als die prähistorischen Belegungen. WEGELIN (1915, 77) hielt sie auf Grundlage seiner Quellen für bereits Jahrhunderte alt. Als gesichert kann das Alter der Seekreiden im Liegenden der Kalkkruste gelten. Eine pollen-

analytische Analyse erbrachte klare Hinweise auf eine Entstehung dieser Ablagerung im Präboreal, also um etwa 8000 v. Chr. (frdl. Mitteilung M. Rösch, Archäobotanisches Labor d. Arbeitsstelle Hemmenhofen des Landesamtes f. Denkmalpflege). Die Krusten selbst waren wegen ihrer porös-inhomogenen Konsistenz nicht sicher zu datieren; aus pollenanalytischer Sicht lässt sich nur festhalten, dass sie, in Übereinstimmung mit dem stratigraphischen Befund, sicherlich jünger als die Seekreideablagerungen des Orkopf sind.



Abb. 5: Pfahl Konstanz/Frauenpfahl (Foto: M. Mainberger / LAD)

DIE ABFLUSSSCHWELLEN HEUTE

In der Rückschau auf die bekannten Abläufe liegt es sehr nahe, die vor allem in den letzten Jahrzehnten sichtbar gewordenen, umfangreichen Erosionserscheinungen als Folge der wasserbaulichen Eingriffe in die Abflussschwellen zu begreifen. Dabei kam es offenbar an beiden Schwellen zu einer Umkehr der Dynamik aus Erosion und Auflandung: während Anfang des Jahrhunderts noch befürchtet wurde, die Kalkbarren würden zu Inselbildung führen und den Abfluss noch stärker verengen, findet heute eine progressive Abtragung statt. Die Kalktuffbänke, die vielleicht über Jahrtausende als Schutzschilde gegen die erosive Wirkung der Oberflächenströmungen wirkten, sind heute bis auf kleine Relikte abgetragen.

Um weitere Schlüsse zu ziehen, sind präzisere quantitative Daten zu hydrologischen Parametern wie Unterwasserrelief oder Strömungsverhältnissen abzuwarten. An beiden Abflussschwellen dürfte auch der Personenschiffsver-

kehr mit seinem verstärkten Welleneintrag eine Rolle spielen (vgl. HOFMANN et al. 2008). Mit den Resultaten aus der bathymetrischen Neuvermessung des Bodensees 2013/2014 (WESSELS et al. 2015) und aus aktuell (2015) vom LUBW, Institut f. Seenforschung Langenargen durchgeführten Strömungsmessungen werden solche präzisere Informationen vorliegen. Sollten sich die bislang weitgehend qualitativen Beobachtungen mit diesen Daten und über längere Beobachtungszeiträume hinweg quantitativ bestätigen, wird dies nicht nur die Denkmalpflege angehen. Hydrologische Veränderungen an den Abflussschwellen betreffen potenziell die Ökologie des ganzen Bodensees.

LITERATUR

- BAUMANN, E. (1915): Die Vegetation des Untersees (Bodensee). – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 21, 171–200.
- BIRCHMEIER, C. (2008): Die Abgrabung des Eschenzer Horns 1918 und Aspekte zur Bodenseeregulierung. – Hegau Zeitschrift für Geschichte, Volkskunde und Naturkunde des Gebietes zwischen Rhein, Donau und Bodensee Jahrbuch 65, 191–210.
- GÖTTLICH, K. & KLÖTZLI, F. (HRSG) (1975): Moorkarte von Baden-Württemberg. Erläuterungen zu Blatt Singen (Hohentwiel).
- HOFMANN, H., LORKE, H. & PEETERS, F. (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. – *Limnol. Oceanogr.* 53 (1), 368–380.
- LEINER, L. (1882): Die Entwicklung von Konstanz. – Schriften des Vereins für die Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung 11, 73–92.
- MAINBERGER, M., DIECKMANN, B., SCHNYDER, M. & BREM, H. (2009): Unterwasserarchäologie im Ausfluss des Bodensees – ein deutsch-schweizerisches Kooperationsprojekt in der "Stiegenger Enge" zwischen Öhningen, Kreis Konstanz, und Eschenz, Kanton Thurgau. – Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2008, 49–52.
- MAINBERGER, M. & SCHLICHOTHERLE, H. (2003): Als Konstanz noch ein Pfahlbaudorf war – Untersuchung eines prähistorischen Pfahlfeldes in der Baugrube des "Seeuferhauses" in Konstanz am Bodensee. – Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2002, 44–48.
- MAINBERGER, M. & SCHLICHOTHERLE, H. (2014): Erste Schritte zu einer unterwasserarchäologischen Bestandsaufnahme im Konstanzer Trichter. Archäologische Ausgrabungen in Baden-Württemberg 2013, 31–36.
- MAINBERGER, M. & SCHNYDER, M. (2009): Neue urgeschichtliche Dörfer im Ausfluss des Bodensees. – *Archäologie der Schweiz* 32, (1) 14–21.
- MAINBERGER, M. & SCHNYDER, M. (2013): Monitoring im Grenzbereich: Fallbeispiel Orkopf (Eschenz TG / Öhningen-Stiegen BW). – In H. Brem, B. Eberschweiler, A. Rudigier, H. Schlichtherle, H. & Schröder, G. (Hrsg.) (2013): Erosion und Denkmalschutz am Bodensee und Zürichsee. Ein internationales Projekt im Rahmen des Interreg IV-Programms "Alpenrhein-Bodensee-Hochrhein" zur Entwicklung von Handlungsoptionen zum Schutz des Kulturgutes unter Wasser (Bregenz 2013) 233–240.
- OSTENDORP, W. (2012): Umwelt- und Nutzungswandel am Unterseeufer: Seregulierung, Wasserspiegeltrends und Abwasserbelastung. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 66, 63–109.
- RÖBER, R. (2011): Im Himmel verankert. – In Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg (Hrsg.), *Archäologie in Konstanz (Friedberg 2011)*.
- SCHÖBEL, G. (1996): Die Spätbronzezeit am nord-westlichen Bodensee. Taucharchäologische Untersuchungen in Hagnau und Unteruhldingen 1982-1989. – Siedlungsarchäologie im Alpenvorland IV. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg (Stuttgart 1996).
- SOMMER, H. (1922): Denkschrift über die Bodenseeregulierung. – Nordostschweizerischer Verband für Schifffahrt Rhein-Bodensee 36, 1–147.
- WEGELIN, H. (1915): Veränderung der Erdoberfläche innerhalb des Kantons Thurgau in den letzten 200 Jahren. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 21, 3–170.
- WESSELS, M., ANSELMETTI, F., ARTUSO, R., BARAN, R., DAUT, G., GEIGER, A., GESSLER, S., HILBE, M., MÖST, K., KLAUSER, B., NIEMANN, S., ROSCHLAUB, R., STEINBACHER, F., WINTERSTELLER, P. & ZAHN, E. (2015): Bathymetry of Lake Constance – State of the Art in Surveying a Large Lake. – *Hydrographische Nachrichten* 100, 6–1.