



Vom Bohren zum Wagen

Jakob Hirzel

1	ÜBERBLICK	2
2	PUMPENBOHRER.....	2
2.1	Bestandteile	2
2.2	Druck- und Antriebsphase	2
2.3	Druckend- und Tiefstpunkt.....	2
2.4	Schwung- und Entspannungsphase	2
2.5	Sprung- und Wendepunkt.....	3
2.6	Druck- und Antriebsphase	3
3	PUMPENBOHRAPPARAT FÜR HOHLBOHRUNG	3
3.1	Erste Erfahrungen	3
3.2	Auswechselbare Bohrendstücke.....	3
4	WECHSELWIRKUNGEN UND OPTIMUM	5
4.1	Die Suche nach dem Optimum.....	5
4.2	Langer Bohrstab und lange Schnüre versus kurzer Bohrstab und kurze Schnüre .	5
4.3	Schwere Schwungplatte versus leichte Schwungplatte	6
4.4	Dicker Bohrer versus dünner Bohrer	6
4.5	Tiefes Bohrloch, grösserer Widerstand	7
4.6	Annäherung ans Optimum	7
5	NEOLITHISCHE PLATTEN MIT LOCH ALS SCHWUNGPLATTEN.....	7
6	VOM RECHTECK ZUM RAD	10
7	VOM BOHRSET ZUM WAGEN.....	11
8	IST DAS RAD OHNE VORBILD?	12
9	SÄGEBOHRER VERSUS PUMPENBOHRER.....	13
10	KONKLUSION.....	14
11	DANKE!	15
12	LITERATUR.....	15
13	ANHANG: JACOBUS NEOLITHICUS	16

1 Überblick

Unsere Vorfahren bohrten Löcher in Stein, Horn, Knochen und Holz. Bohren kann man unter anderem mit Pumpenbohrern.

In diesem Beitrag werde ich auf Funktionsweise und Eigenarten von Pumpenbohrern eingehen und den möglichen Zusammenhang von neolithischen Platten mit Loch und Pumpenbohrern erläutern, um zum Schluss der Frage nachzugehen, ob die Schwungplatten von Pumpenbohrern die Urformen von Rädern sein könnten und Pumpenbohr-Sets die Urformen von Wagen.

2 Pumpenbohrer

2.1 Bestandteile

Ein Pumpenbohrer besteht aus folgenden Bestandteilen:

- Bohrstab
- Pumpenbrettchen
- Schnüre
- Schwungplatte: Schwung-Brettchen oder Schwung-Rad oder irgendeine Zwischenform
- Keile für die Befestigung der Schwungplatte am Bohrstab
- evtl. Konstruktionen, die am Bohrerende die Verwendung auswechselbarer Bohr-End-Stücke ermöglichen
- evtl. auswechselbare Bohrendstücke

Ein Pumpenbohrer funktioniert folgendermassen:

2.2 Druck- und Antriebsphase

Zu Beginn sind die Schnüre um den Bohrstab gewickelt und das Pumpenbrettchen ist ganz oben. Darauf wird das Pumpenbrettchen hinunter gedrückt, so dass die Schnüre am Bohrstab zu ziehen anfangen und den Bohrer in eine Drehbewegung versetzen.

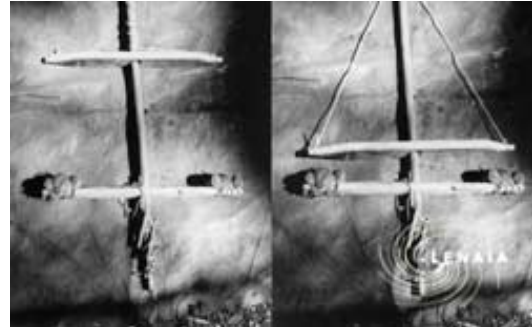


Abb.: Pumpenbohrer mit aufgewickelten und mit entwickelten Schnüren (Versuch 1996).



Abb.: Pumpenbohrer im Einsatz: Das Pumpenbrettchen wird hinuntergedrückt und der Bohrer fängt an zu drehen (Versuche 1996).

2.3 Druckend- und Tiefstpunkt

Das Pumpenbrettchen kann man solange hinunterdrücken, bis die Schnüre ganz gestreckt sind. Drückte man weiter hinunter, nachdem man die Schnur ganz gestreckt hat, bremste man den Bohrer. Das heisst, dass man mit dem Druck nach unten kurz vor dem Erreichen des tiefsten Punktes nachlassen muss, damit man die Drehbewegung nicht behindert.

2.4 Schwung- und Entspannungsphase

Mit dem Pumpenbrettchen zuunterst angekommen müsste der Bohrer zum Stehen kommen, hätte der Pumpenbohrer nicht eine Schwungplatte, die ob ihres Gewichtes den Bohrer weiter im Kreise herum bewegte.

In der Schwung- und Entspannungsphase wird der Bohrer also einzig und alleine von der in der Schwungplatte gespeicherten Drehenergie bewegt.



Während der Bohrer dreht, wird die Schnur wieder aufgewickelt und das Pumpenbrettchen wandert nach oben. Die Arme des den Pumpenbohrer betreibenden Menschen können in diesem Moment entspannen. Deshalb der Name Entspannungsphase.

Da die Arme nicht mehr hinunterdrücken, ist das einzige Gewicht, das auf den Bohrer nach unten drückt, sein Eigengewicht und das Gewicht der Schwungplatte. Der Druck von oben ist also während der Schwung- und Entspannungsphase geringer als der Druck während der Druck- und Antriebsphase, wenn auch noch die Arme hinunterdrücken.

2.5 Sprung- und Wendepunkt

Irgendwann kann die Schnur nicht mehr weiter aufgewickelt werden, da das Pumpenbrettchen wieder den höchsten Punkt erreicht hat. Nun kommt der Bohrer kurz zum Stillstand, bevor er in entgegengesetzter Richtung wieder in Bewegung gesetzt wird. Hat der Bohrer sich während der Schwung- und Entspannungsphase schnell bewegt, kommt es ganz oben zu einem recht abrupten Stillstand, weshalb die Schwungplatte am ehesten genau in diesem Moment zu lottern anfängt.

Zudem macht der abrupt gebremste Bohrer in diesem Moment oft von selbst einen kleinen Sprung in die Luft. Deshalb der Name Sprungpunkt.

Man kann diesen Sprung verhindern, indem man kurz vor Erreichen des höchsten Punktes bereits anfängt, etwas Druck auf das Pumpenbrettchen auszuüben, was die Aufwickelbewegung abbremst, den Bohrer verlangsamt und zu einem sanften Ankommen am höchsten Punkt führt.

Man kann den Sprung aber auch unterstützen, indem man bewusst gegen Ende des Aufwicklungsprozesses nicht abbremst, sondern im Gegenteil mit den

sich nach oben bewegenden Händen den Bohrer am Sprung- und Wendepunkt noch etwas in die Höhe hebt. Das kann für den Bohrprozess nötig sein, wenn man z. B. Schleifsand einsetzt und mit dem Sprung bewirken will, dass zwischen Bohrstab und Werkstück etwas frischer Sand nachrutschen kann.

2.6 Druck- und Antriebsphase

Nun folgt wieder eine Druck- und Antriebsphase, wobei der Bohrer sich jetzt in entgegengesetzter Richtung zu bewegen beginnt.

3 Pumpenbohrapparat für Hohlbohrung

3.1 Erste Erfahrungen

In ersten Versuchen bohrte ich mittels Holzbohrer und Sand auf Stein und mittels Holzbohrer ohne Sand auf Holz.

Das Bohren von Holz auf Holz (ohne Einsatz von Sand) erwies sich wegen der grösseren Reibungswiderstände als die grössere Herausforderung, weshalb ich mich zuerst ihr zuwandte.

Insbesondere interessierte mich die Hohlbohrung. (Bei der Hohlbohrung wird ein Kreis gebohrt und am Schluss der Bohrkern herausgebrochen. Die Hohlbohrung wurde im 20. Jahrhundert im Rahmen von Erdölbohrungen wiederentdeckt.)

Da Holunder innen hohl ist, entschloss ich mich, zuerst damit zu experimentieren. Bevor ich allerdings einen Bohrstab aus Holunder einsetzen konnte, musste ich den Holunder-Rohling gräden. Das war aufwändig und gelang nicht zu 100%. Als ich dann die Keile zwischen Schwungplatte und Holunder-Bohrstab trieb, gab der hohle Holunder-Bohrstab nach innen nach. Die Keile trafen deshalb auf zu wenig Widerstand, weshalb sie die Schwung-Platte zu wenig stark nach aussen drücken konnten, so dass sie beim Bohren bald zu lottern anfang.

3.2 Auswechselbare Bohrendstücke

Um die Probleme mit dem Durchbrechen der Keile ins Innere des Holunder-



Bohrstabes zu lösen, schnitzte ich aus normalem Holz einen Pumpenbohrer, dem ich auswechselbare Holunder-Bohrendstücke aufsetzte.

Die erste Verbindung zwischen Pumpenbohrapparat und Bohrendstück war ein simpler Dorn, der in das Holunderstück führte. Dieser Konstruktionsansatz funktionierte jedoch nicht, da das Holunderstück nur auf einer recht kleinen Fläche direkten Kontakt mit dem konisch geschnitzten Dorn im Innern hatte, weshalb das Holunderstück schnell zu lottern anfang. Besser hätte ein gerade geschnittener Dorn funktioniert anstelle eines konisch geschnitzten. Doch dann hätte ich nur Holunder-Bohrendstücke von genau gleicher Dicke verwenden können.



Abb.: Verbindung 1: Dorn, der ins Innere von Holunder-Bohrendstücken getrieben wird (Versuche 1996.1).



Abb.: Verbindung 1 mit Holunderstück auf dem Dorn (Versuche 1996.1).

Beim zweiten Ansatz schnitzte ich ins Pumpenbohrende und ins auswechselbare

Bohrendstück eine Kerbe, in das ein Brettchen führte (Abb.: Verbindung 2). Das hielt an sich gut.

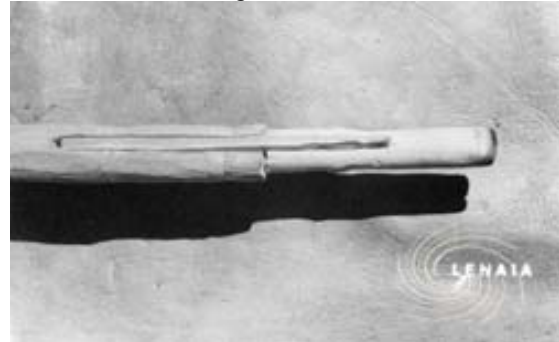


Abb.: Verbindung 2 (Versuch 1996.2).



Abb.: Verbindung 2 (Versuch 1996.2).

Doch das Bohrendstück hatte bei steigender Lochtiefe und damit grösserem Reibungswiderstand die Tendenz, der Länge nach zu zerreißen. War das Loch frisch, funktionierte der Bohrprozess gut. Doch sobald eine Tiefe von wenigen Millimetern erreicht war, nahmen die Reibungswiderstände stark zu, weshalb ich während der Druck- und Antriebsphase stärker hinunterdrücken musste, um dem Bohrer genügend Schwung zu verleihen, wobei dann die Kombination von erhöhtem Druck von oben und von Reibungswiderstand im Bohrloch das Bohrendstück zum Zerreißen brachte.

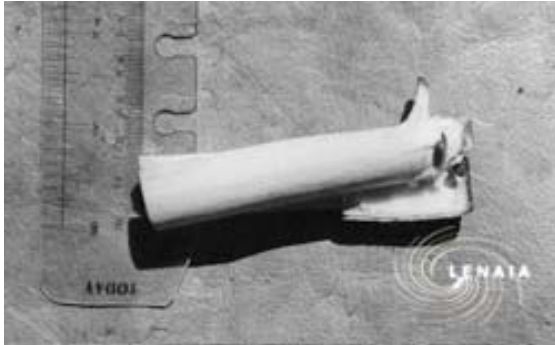


Abb.: Zerrissenes Bohrendstück (Versuch 1996.2).

Ich machte total etwa 20 Versuche mit auswechselbaren Bohrendstücken. Dann legte ich eine Pause ein.

Wie eingangs erwähnt, bohrte ich hier mit Holz auf Holz und kämpfte damit mit recht grossen Reibungswiderständen. Wie es wäre, wenn man mit Holunderbohrendstücken unter Einsatz von Sand bohren würde, habe ich nicht getestet.

Beim Betrachten der Artefakte von Zürich-Mozartstrasse sprang mir statt dessen etwas anderes in die Augen, das mich fortan im Zusammenhang mit Pumpenbohrern stärker faszinierte.

Bevor ich auf diese Artefakte eingehen werde, möchte ich jedoch festhalten, was ich bei meinen Versuchen über die verschiedenen Wechselwirkungen der Bestandteile eines Pumpenbohrers gelernt habe.

4 Wechselwirkungen und Optimum

4.1 Die Suche nach dem Optimum

Eine moderne Bohrmaschine verfügt über einen sehr starken Antrieb, weshalb er beim Bohren nicht beachtet werden muss. Bei einem Pumpenbohrer hingegen, stehen Antriebsbereich und Bohrbereich in zahlreichen Wechselwirkungen zueinander, weshalb beim Suchen eines Optimums zahlreiche Parameter berücksichtigt werden müssen.

Hier möchte ich nun auf die Wirkungen und Wechselwirkungen der verschiedenen

Bestandteile von Pumpenbohrapparaten eingehen, indem ich jeweils nach dem Optimum frage.

4.2 Langer Bohrstab und lange Schnüre versus kurzer Bohrstab und kurze Schnüre

Sind Bohrstab und Schnüre lang, dauern alle Phasen des Bohrprozesses lange. Damit der Bohrer während der lange dauernden Schwung- und Entspannungphase genügend Energie hat, um bis zum Sprung- und Wendepunkt weiterzudrehen, und nicht plötzlich stillsteht, muss die Schwungplatte bei langen Schnüren relativ schwer sein.

Das macht den Bohrprozess generell schwerfälliger: Es braucht überproportional mehr Energie, um den Bohrer in Schwung zu bringen. Denn einerseits braucht es mehr Druck von oben, damit die schwerere Schwungplatte in Bewegung kommt. Andererseits nimmt infolge des grösseren Drucks von oben der Reibungswiderstand zwischen Bohrstab und Werkstück zu, was zu einem Abbremsen des Beschleunigungsprozesses führt.

Bei sehr langen Schnüren ist irgendwann der Punkt erreicht, da es ob des Gewichtes der Schwungplatte und damit des grossen Reibungswiderstandes nicht mehr möglich ist, den Bohrer überhaupt noch in eine genügend schnelle Bewegung zu versetzen. Das alles spricht an sich für die Verwendung kurzer Schnüre.

Doch der grössere Druck der Arme von oben hat auch gute Auswirkungen, da wir viel Druck aufs Werkstück ja vielleicht genau wollen, da das zu einem grösseren Abrieb an Material des Werkstückes führen könnte, weshalb das Loch, das wir zu erreichen anstreben, schneller gebohrt werden könnte. Das spricht für die Verwendung langer Schnüre.

Je länger Bohrstab und Schnur sind, desto weniger Richtungswechsel gibt es, d.h. desto weniger Momente, da der Bohrer ganz still steht und nicht arbeitet. Das



spricht für die Verwendung langer Schnüre.

Doch nur beim Sprung- und Wendepunkt scheint die Möglichkeit gegeben, dass neuer Sand ins Bohrloch fallen kann, weshalb viele Sprungpunkte durchaus erwünscht sein könnten. Das spricht für kurze Schnüre.

Je nach Werkmaterial, Lochdurchmesser und Lochtiefe dürfte sich somit eine andere optimale Länge des Bohrers und der Schnüre ergeben.

4.3 Schwere Schwungplatte versus leichte Schwungplatte

Eine schwere Schwungplatte hat mehr Eigenenergie. Sie treibt den Bohrer deshalb während der Schwung- und Entspannungsphase länger an. Der Bohrer bleibt somit nicht stehen, bevor die Schnüre wieder ganz aufgewickelt sind. Das spricht für eine schwere Schwungplatte.

Doch der Einsatz einer schwereren Schwungplatte bewirkt, dass beim Sprung- und Wendepunkt stärkere Kräfte zwischen Schwungplatte und Bohrstab wirken, was leicht zu einem Lottern der Schwungplatte führen kann. Das spricht für eine leichte Schwungplatte.

Eine schwere Schwungplatte bewirkt grösseren Druck auf das Werkstück, sowohl während der Druck- und Antriebsphase, als auch während der Schwung- und Entspannungsphase, was den Bohrprozess beschleunigen dürfte. Das spricht für eine schwere Schwungplatte.

Wird die Bremswirkung der schweren Schwungplatte während der Druck- und Antriebsphase jedoch zu gross, sollten wir eine leichtere Platte einsetzen.

Zuviel Druck von oben infolge einer schweren Schwungplatte bewirkt auch, dass der Sand zwischen Bohrstab und Werkstück leichter verdrängt wird, was das Eindringen ins Werkstück verlangsamt,

was wiederum für eine leichte Schwungplatte spricht.

Auch hier galt es, je nach Werkmaterial, Lochdurchmesser und Lochtiefe das Optimum zu finden.

4.4 Dicker Bohrer versus dünner Bohrer

Bei einem dicken Bohrstab wird mehr Schnur pro Umdrehung ab- und aufgewickelt. Beim Abwickeln hat das zur Folge, dass der Druck aufs Pumpenbrettchen zu einer direkteren Kraftübertragung auf den Bohrer führt. D.h. mit einem dicken Bohrstab erreichen wir mehr Kraft, erzeugen jedoch weniger Umdrehungen. Doch ein dicker Bohrer reibt beim Bohrloch auf einer grösseren Fläche, weshalb der Reibungswiderstand eines dicken Bohrers auch grösser ist.

Es gilt also: Je dicker der Bohrer, desto grösser die Kraftübertragung von Schnur auf Bohrer. Aber auch: Je dicker der Bohrer, desto grösser die Reibungsfläche. Gleichen sich diese Kräfte immer aus? Neutralisiert die grössere Reibungsfläche immer die grössere Antriebskraft? Hat die Dicke des Bohrers also keinen Einfluss auf den Bohrprozess? Nein. Denn wenn ich den Kreisradius vergrössere, nimmt der Kreisumfang und damit die Kraftübertragung nur linear zu, die Reibungsfläche und damit die Bremswirkung jedoch quadratisch.

Umfang: $r \pi 2$
Fläche: $r^2 \pi$

Bei immer dickeren Bohrern wird die Kraft also irgendwann nicht mehr ausreichen, um den Bohrstab überhaupt noch in Bewegung versetzen zu können ob der grossen Reibungsfläche.

Mit andern Worten: Auch da muss ein Optimum gefunden werden zwischen Dicke und Dünne, bzw. zwischen Kraftübertragung bei den Schnüren und Reibungsfläche.



Wir sind in der Wahl der Dicke des Bohrstabes jedoch nicht völlig frei. Denn für ein dickes Loch braucht man einen dicken Bohrer und für ein dünnes Loch einen dünnen. Der Durchmesser des Bohrloches wiederum hängt vom späteren Verwendungszweck des entstehenden Werkstückes ab. Somit können wir die Dicke des Bohrers ganz unten beim Kontakt mit dem Werkstück grundsätzlich nicht völlig frei wählen.

Setzen wir allerdings auswechselbare Bohrendstücke ein, können wir Bohrstäbe einsetzen, die optimal sind für die angestrebte Kraftübertragung.

4.5 Tiefes Bohrloch, grösserer Widerstand

Je tiefer wir bohren, desto grösser wird der Reibungswiderstand, da der Bohrer auch mit den Wänden des Bohrloches Kontakt hat. Dieser Reibungsverlust an den Wänden führt leicht dazu, dass der Bohrer stehen bleibt, wenn die Kraft, die ihn im Kreise dreht, nicht genügend gross ist.

Unsere Vorfahren waren also während dem Bohren ein und desselben Loches mit steigenden Widerständen konfrontiert, denen sie sich mittels leicht auswechselbaren Teilen anpassen mussten.

Konkret gibt es folgende Optionen, um mit den steigenden Widerständen fertig zu werden.

Erstens kann man die Schnüre kürzer spannen. Dadurch wird die Schwung- und Entspannungsphase kürzer, während der der Bohrer nur durch die Schwungplatte angetrieben wird und am ehesten stehen bleibt.

Zweitens kann man eine schwerere Schwungplatte einsetzen, so dass der Bohrer während der Schwung- und Entspannungsphase von grösserer Drehenergie angetrieben wird.

Drittens kann man mit einer Uebersetzung arbeiten, indem man auswechselbare Bohrendstücke einsetzt.

Doch alle diese Anpassungen haben auch wieder zahlreiche Wechselwirkungen.

4.6 Annäherung ans Optimum

Wo nun liegt das Optimum, wenn man all diese Wirkungen und Wechselwirkungen betrachtet? Dem mussten sich unsere Vorfahren durch Versuch und Irrtum annähern. Am besten konnten sie das, wenn sie Bohrsets mit auswechselbaren Teilen verwendeten. Darauf werde ich später nochmals zu sprechen kommen. Nun aber zuerst zu den Artefakten.

5 Neolithische Platten mit Loch als Schwungplatten

1997 stiess ich beim Durchblättern des Bildbandes von Zürich-Mozartstrasse auf die sogenannten Platten mit Loch. Für mich war sofort klar: Diese Platten mit Loch könnte man als Schwungplatten von Pumpenbohrern verwenden.

Aus folgenden Gründen:

1. Die Grösse der verschiedenen Platten lag zwischen den kleinsten und den grössten Schwungplatten, die ich bis zu diesem Zeitpunkt eingesetzt hatte.

2. Die Platten mit Loch sind in der Mitte, da wo sie Kontakt zum Bohrstab haben und verklemmt werden müssen, am dicksten. Das ist gut, da eine grosse Fläche in diesem Bereich ein sattes Verkeilen erleichtert, so dass die Platte beim Sprung- und Wendepunkt nicht zu lottern anfängt.

Gäbe es einen anderen Verwendungszweck für die Platten mit Loch, der den Aufwand rechtfertigen würde, nach aussen hin dünner werdende Platten zu schnitzen? Mir fällt keiner ein.

3. Die Löcher in der Mitte der Schwungplatten sind quadratisch. Auch das erleichtert das Verkeilen, da die Schwungplatte so nicht um die Keile rutschen kann. (Dass der Bohrstab auf der



Höhe der Schwungplatte quadratisch ist, ist demgegenüber nicht so wichtig, da die Keile auf dieser Seite auf einer grösseren Fläche aufliegen, da sie länger sind als das Loch durch die Schwungplatte.)

4. Die Platten mit Loch sind sehr regelmässig symmetrisch geschnitzt, was vor allem von Bedeutung ist, wenn diese Platten im Rahmen einer schnellen Drehbewegung eingesetzt werden. Denn eine nicht-symmetrische Platte würde ausschlagen und zu einer unregelmässigen Drehbewegung führen. Gäbe es einen anderen Verwendungszweck für die Platten mit Loch, der den Aufwand rechtfertigen würde, der mit dem Schnitzen einer symmetrischen Form verbunden ist? Wo sonst ist Symmetrie so wichtig wie bei einem Prozess, bei dem ein Gegenstand ganz schnell dreht?

Wäre es allenfalls denkbar, dass die Platten mit Loch als Spindeln eingesetzt wurden? Das wäre an sich denkbar. Doch sind die Platten mit Loch dafür nicht etwas gar gross? Ist als Spindel ein einfaches Gewicht aus Ton nicht nur besser geeignet, sondern auch viel schneller gefertigt?

Bei was für Verwendungszwecken lohnt sich denn der Aufwand, eine symmetrische Platte mit Loch aus Holz zu schnitzen? Nur da, wo das Material relativ grossen Kräften ausgesetzt ist und deshalb recht robust sein muss. Mir fiel nur die Verwendung als Schwungplatte eines Pumpenbohrers ein, die den Herstellungsaufwand rechtfertigt.

So betrachtete ich die Platten mit Loch also als Schwungplatten, rekonstruierte 4 von ihnen originalgetreu und setzte sie ein.



Abb.: Platte mit Loch, Horgener Kultur, 3126-3098 v.Chr., Zürich-Mozartstrasse (Ausgrabungsstätte in Zürich/Schweiz) (Foto 1997).



Abb.: Platte mit Loch, Schnurkeramik, 2625-2499 v.Chr., Zürich-Mozartstrasse (Ausgrabungsstätte in Zürich/Schweiz) (Foto 1997).



Abb.: Rekonstruktion einer Platte mit Loch, Horgener Kultur, 3126-3098 v.Chr. (Versuche 1997).

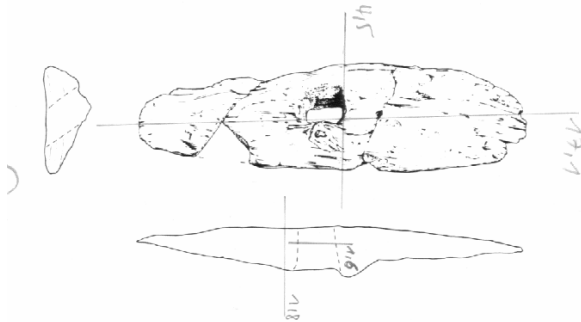


Abb.: Zeichnung einer Platte mit Loch, Horgener Kultur, 3126-3098 v.Chr.; Gross, Eduard 2002.



Abb.: Rekonstruktion einer Platte mit Loch, Schnurkeramik-Kultur, 2625-2499 v.Chr. Das Original ist noch etwas runder (Versuche 1997).

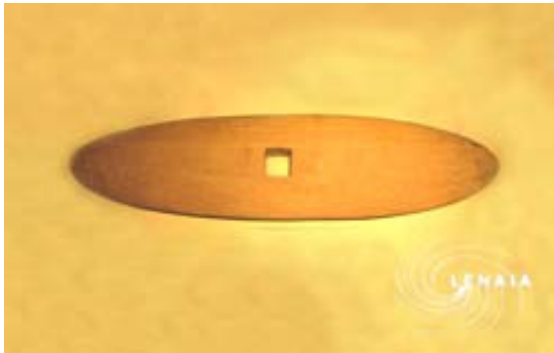


Abb.: Rekonstruktion einer Platte mit Loch, Horgener Kultur, 3126-3098 v.Chr. (Versuche 1997).



Abb.: Aufgewickelter Pumpenbohrer mit rekonstruierter Platte mit Loch (Versuch 1997.1).



Abb.: Rekonstruktion einer Platte mit Loch, Horgener Kultur, 3126-3098 v.Chr. (Versuche 1997).



Abb.: Entwickelter Pumpenbohrer mit rekonstruierter Platte mit Loch (Versuch 1997.1).

Ich bohrte wieder mit Holz auf Holz, allerdings ohne Hohlbohr-Endstücke. Die rekonstruierten Platten bewährten sich allerdings nur teilweise. Ich hatte keinerlei Probleme mit Lottern. Doch es blieb das Problem, dass der Bohrstab



während der Schwung- und Entspannungsphase ab einer gewissen Lochtiefe stehen blieb. So machte ich schliesslich Experimentier-Pause mit meinen Platten mit Loch.

Acht Jahre später nahm ich meine Kiste mit den Pumpenbohrern und den rekonstruierten Platten mit Loch wieder hervor und experimentierte weiter. Die vier rekonstruierten Platten lagen um mich herum auf dem Boden. Ich wechselte sie aus und beobachtete, welche Wirkung welche Platte hatte. Irgendwann dachte ich, man könnte ja auch zwei Platten gleichzeitig am Pumpenbohrer befestigen. Das war eine gute Idee. Ich probierte den Bohrer mit zwei Platten aus und - er blieb nicht mehr stehen. Er drehte während der Schwung- und Entspannungsphase wunderbar weiter bis zum Sprung- und Wendepunkt. Das war ein schöner Moment. Seit diesem Moment sind die Platten mit Loch für mich wieder ganz Schwungplatten.

Somit Kernaussage 1: Die neolithischen Platten mit Loch könnten als Schwungplatten von Pumpenbohrern eingesetzt worden sein.

Es scheint mir, dass die Kombination von Schwungplatten unterschiedlicher Dicke und Länge ideal geeignet ist, um den je nach Material, Lochdurchmesser und Lochtiefe wechselnden Anforderungen eines Pumpenbohrprozesses gerecht zu werden.

Dabei haben relativ dünne Schwungplatten den Vorteil, dass man daraus mehrere Kombinationen zusammenstellen kann, die unterschiedliche Wirkungen haben. Nur schon mit den 4 rekonstruierten Platten mit Loch kann ich in kurzer Zeit 15 verschiedene Schwungmassen bilden.



Abb.: Aufgewickelter Pumpenbohrapparat mit zwei Schwungplatten (Versuche 2005).

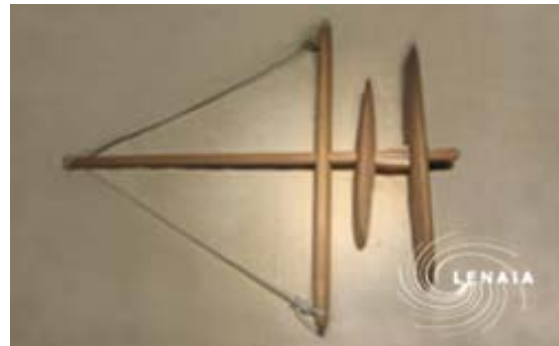


Abb.: Entwickelter Pumpenbohrapparat mit zwei Schwungplatten (Versuche 2005).

In einem nächsten Schritt wird es nun darum gehen, die Platten mit Loch als Schwungplatten von Pumpenbohrern bei Bohrversuchen auf Knochen, Horn und Stein einzusetzen und zu überprüfen, ob das allenfalls Spuren hinterlässt wie bei den neolithischen Original-Werkstücken.

6 Vom Rechteck zum Rad

Eine runde Schwungplatte hat bei gleichem Gewicht wie eine rechteckige Schwungplatte mehr Masse im Zentrum. Dafür wirken geringere Kräfte weit aussen. Meine Erfahrungen haben gezeigt, dass viel Gewicht weit aussen deshalb ungünstig ist, da es beim Sprung- und Wendepunkt zu relativ grossen Kräften kommt, wenn der Bohrer plötzlich still steht, weshalb er zu lottern anfängt. So scheinen rechteckige Schwungbrettchen nicht ideal zu sein.

Ein rechteckiges Schwungbrettchen saust auch wie ein Propeller durch die Luft und nimmt so relativ viel Platz in Anspruch.



Runde Schwungplatten brauchen demgegenüber weniger Platz bei gleicher Masse.

So scheint mir, dass runde Schwungplatten generell geeigneter sind als rechteckige. Wenn dem so sein sollte und unsere Vorfahren die Platten mit Loch tatsächlich als Schwungplatten einsetzten: Warum machten unsere Vorfahren ihre Schwungplatten nicht einfach generell ganz rund?

Eine mögliche Erklärung ist, dass es mit steinzeitlichen Werkzeugen relativ aufwändig ist, eine ganz runde Platte zu schnitzen. Hölzer zu spalten längs den Holzfasern ist relativ einfach. Aufwändiger, jedoch nicht unmöglich ist es, Holz quer zu den Holzfasern zu bearbeiten. Will man eine runde Form erreichen, kommt man nicht darum herum, Holz quer zu den Fasern zu bearbeiten.

Der Steinzeitmensch stand also bei der Herstellung von Schwungplatten allenfalls vor der Herausforderung, das Optimum zwischen maximaler Rundung und minimalem Herstellungsaufwand zu finden. Sein Optimum könnte er zu Beginn in einer rechteckigen Form, später in einer ovalen Form und schliesslich in einer runden Form gefunden haben. Eine komplett runde Schwungplatte ist aber nichts anderes als ein Rad.

Wäre es also nicht denkbar, dass der Weg zum ersten Rad vom Bohren ohne Pumpenbohrer über den Einsatz von Pumpenbohrern mit rechteckigen Schwungplatten zum Einsatz von Pumpenbohrern mit runden Schwungplatten und damit zu den ersten Rädern geführt hat?

Drei der von mir rekonstruierten Schwungplatten mit unterschiedlich stark geprägten Rundungen können zur Horgener Kultur gezählt werden. Ebenfalls zur Horgener Kultur gezählt werden kann eines der drei ältesten

Räder Europas, nämlich das Rad von Zürich Akad (Ruoss/Jacomet 2002).

Das Auftreten von unterschiedlich stark gerundeten Platten mit Loch und das Auftreten des ersten Rades ist also ungefähr zeitgleich. Sowohl die Platten mit Loch als auch frühe Räder haben ein charakteristisches quadratisches Loch in der Mitte. Auch Räder waren zu Beginn nichts anderes als grosse Holzplatten mit einem quadratischen Loch.

Ist es da nicht naheliegend, dass ein technologischer Zusammenhang zwischen diesen verschiedenen Platten unterschiedlicher Grösse mit quadratischem Loch, eben den Platten mit Loch und ersten Wagenrädern, besteht?

Somit Kernaussage 2: Das Experimentieren mit unterschiedlich stark geprägten Rundungen von Schwungplatten von Pumpenbohrern könnte zur Entdeckung der ersten Achse mit Rad geführt haben.

7 Vom Bohrset zum Wagen

Wie bereits erwähnt, könnten unsere Vorfahren des öfters zwei oder mehrere Schwungplatten für bestimmte Bohrprozesse miteinander kombiniert haben. So könnten sie eigentliche Bohrsets verwendet haben. Zwischen verschiedenen Bohrprozessen mussten sie die Bohrsets verräumen und zwischenlagern. Denkbar ist, dass sie für die Zeit der Zwischenlagerung durch alle Schwungplatten einen Bohrstab führten und an beiden Enden eine Platte mit Keilen befestigten, so dass die Bohrplatten nicht herunterrutschen konnten. Ein Bohrset mit zwei Schwungplatten an beiden Enden ist aber nichts anderes als eine Achse mit zwei ovalen bis runden Rädern.



Lenaia Urzeiterlebnisse GmbH, Gosswil, CH-8492 Wila
Email: jakob.hirzel@lenaia.ch Website: www.lenaia.ch
Telefon: +41 52 385 11 11



Abb.: So könnten Bohrsets mit auswechselbaren Teilen während der Zwischenlagerung ausgesehen haben (Versuche 2005).



Abb.: Bohrset mit zwei Schwungplatten während der Zwischenlagerung (Versuche 2005).

Setzten unsere Vorfahren also solche Pumpenbohrapparate ein, wie ich vermute, könnten in neolithischen Siedlungen immer wieder solche Achsen mit zwei Rädern herumgelegen haben.

Nun enthält ein solches Set alle technisch wesentlichen Komponenten eines einfachen Wagens: zwei Räder, eine Achse und ein „ruhendes“ Element (Pumpenbrettchen), durch das die Achse führt. Einzig eine Wagenfläche auf dem Pumpenbrettchen fehlt noch, um das Set als Wagen einsetzen zu können.

Lässt man eine solche Kombination mit zwei ganz runden Schwungplatten einen kleinen Abhang hinunterrollen, erlebt man alles, was einen Wagen ausmacht.



Abb.: Jacobus neolithicus bei der ersten Vorführung seines „gehenden Lochmachers“, 3108 v.Chr. (vergrössert im Anhang).

**Somit Kernaussage 3:
Bohrsets mit zwei runden Schwungplatten könnten zur Entdeckung des ersten Wagens geführt haben.**

8 Ist das Rad ohne Vorbild?

Wenn der Weg vom Bohren zum Rad geführt haben sollte, steht am Anfang des Rades ein Bohrer, d.h. eine Drehung um eine Achse. Diese Drehung wurde darauf durch ein Schwungbrettchen unterstützt, das mit der Zeit immer runder wurde. Das Rad wäre also aus einer Drehbewegung hervorgegangen.

Nun: Gibt es einen Bohrprozess in der Natur, bei dem ein Bohrer sich durch Drehung um die eigene Achse in einen Gegenstand frisst und dabei durch einen Schwungkörper unterstützt wird?

Ich kenne den Prozess nicht. Wenn es ihn nicht geben sollte, wäre die Erfindung des Einsatzes eines Schwungkörpers beim Bohren einer der grössten gedanklichen Schritte gewesen auf dem Weg zur Entdeckung des Rades.

Doch ist dieser Schritt so überwältigend? Wenn Sie einmal aufstehen, sich um die eigene Achse drehen und dabei die Arme strecken, sind Sie ein Moment lang ein Pumpenbohrer mit einem Schwungbrettchen. Während Sie sich



drehen, zeichnen sie ein Rad in die Luft. Wenn sie plötzlich stehen bleiben, spüren sie die Wirkung ihrer Schwung-Arme, die versuchen, ihren Körper weiter in Schwung zu halten.

Können Tiere solche Schwungarme einsetzen? Vielleicht Affen. Doch andere? Mir fallen keine ein. Liegt die Grundlage für die Entdeckung von Schwungskörpern allenfalls in der einmaligen Konstruktion des menschlichen Körpers, der zwei Arme frei schwingen lassen und so den Effekt eines Schwungskörpers erleben kann?

Wenn dieses Erlebnis von Schwungarmen unseren Vorfahren die Grundlage für die Entdeckung von Schwungskörpern und damit von Rädern geliefert haben sollte, könnte der menschliche Körper als eine Art senkrecht gehende Urform einer Achse mit Rad betrachtet werden. Damit wäre eine Achse mit Rad nicht ohne Vorbild in der Natur sondern eine etwas weiterentwickelte Nachahmung des menschlichen Körpers.



Abb.: Der menschliche Körper als Urform einer Achse mit Rad: menschlicher Körper und ovale neolithische Platte mit Loch.

Somit Kernaussage 4: Das Erlebnis der Drehung des menschlichen Körpers um die eigene Achse mit ausgestreckten Armen könnte der Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Achse mit Rad gewesen sein.

9 Sägebohrer versus Pumpenbohrer

Es scheint grundsätzlich vor allem zwei Möglichkeiten zu geben, unter neolithischen Umständen effizient Löcher zu bohren:

Pumpenbohrer und Sägebohrer. Als Sägebohrer bezeichne ich einen Bohrapparat, bei dem ein eingespannter Bohrer mittels eines Bogens, dessen Sehne um den Bohrstab führt, angetrieben wird.

Beide Varianten sind interessant. Ich möchte hier auf die Vor- und Nachteile von beiden Varianten eingehen.

1. Ein Sägebohrer benötigt Druck von oben und zwar auf den Bohrstab. Zwischen dem Element, das den Bohrer hinunterdrückt und dem Bohrstab entsteht immer eine Reibungsfläche, die den Bohrprozess abbremst. Je stärker der Druck von oben ist, desto grösser ist der Energieverlust bei dieser zweiten Reibungsfläche.

Beim Pumpenbohrer gibt es hingegen nur eine Reibungsfläche und die ist genau da, wo man Reibung erzeugen will, nämlich unten beim Bohrloch. Die Verwendung eines Pumpenbohrers könnte also Energie sparen.

2. Bewegt man beim Sägebohrer einen Bogen hin- und her, kämpft man dabei ununterbrochen gegen die Schwerkraft des eigenen Armes an. Denn den eigenen Arm muss man waagrecht hin und her bewegen. Das ist anstrengend. Die Schwerkraft wird dabei nicht genutzt für den Bohrprozess.

Beim Pumpenbohrer unterstützt die Erdanziehungskraft den Bohrprozess mehr.



Während der anstrengenden Druck- und Antriebsphase kann man mit den Armen hinterdrücken. Dabei unterstützt das Eigengewicht der Arme den Bohrprozess. Während der Schwung- und Entspannungsphase dann, wickelt sich die Schnur von selbst wieder auf, so dass man später nur wieder in Richtung der Erdanziehungskraft Kraft aufzuwenden braucht.

So erlebt der Bohrende einen durchaus belebenden Rythmus von verhältnismässig einfach zu bewerkstellenden Druck- und Antriebsphasen und entspannenden Schwung- und Entspannungsphasen.

3. Mit dem Pumpenbohrer erreicht man grössere Geschwindigkeiten. Denn der Bohrer fängt selbst an zu drehen, die Schwungplatte nimmt die Energie auf und kommt während der Druck- und Antriebsphase immer mehr in Schwung.

4. Am Sprung- und Wendepunkt besteht beim Pumpenbohrer die Möglichkeit, dass frischer Schleifsand zwischen Bohrstab und Werkstück gelangen kann, wenn der Bohrer ein bisschen in die Luft springt.

5. Die Schnur am Sägebohrer kann relativ leicht zu rutschen anfangen, wenn sie etwas lose wird. Wenn sich hingegen die Schnur am Pumpenbohrer etwas dehnt, führt das zu keinen Unterbrüchen, da die Schnur fix mit dem Bohrstab verbunden ist, weshalb eine leichte Dehnung keine Ursache für ein Rutschen der Schnur und eine Unterbrechung des Bohrprozesses ergeben kann. Die Verwendung eines Pumpenbohrers führt also zu weniger Unterbrüchen.

6. Beim Pumpenbohrer wirkt auf beiden Seiten des Bohrers eine Schnur. Das führt zu einer besseren Kraftübertragung. Beim Sägebohrer kommen sich mehrere Schnüre hingegen tendenziell in die Quere.

7. Beim Pumpenbohrer geht die Schnur mehrmals um den Bohrer rum, was für eine gute Kraftübertragung sorgt.

Umwickelt man den Bohrstab beim Sägebohrer hingegen mehrmals mit einer Schnur, kommen sich die verschiedenen Umschnürungen gegenseitig in die Quere. Zudem ist das Spannen der Schnur bei mehreren Umwicklungen beim Sägebohrer nicht ganz einfach zu bewerkstelligen. Beim Pumpenbohrer hingegen, spannen sich die Schnüre von selbst, wenn man beginnt hinunterzudrücken. Es gibt kein Nachgeben in irgendeine Richtung.

8. Der Pumpenbohrer ermöglicht es, auch leicht schräg zu bohren, ohne dass dafür an einem Gerüst etwas umgebaut werden müsste. So können leicht konische Löcher gebohrt werden, die dem Bohrer in der Tiefe viel Freiraum lassen. Beim Sägebohrer sind solche Variationen nur durch einen leichten Umbau der ganzen Konstruktion möglich.

9. Der Pumpenbohrer hat aber den Nachteil, dass man in der Wahl des Druckes von oben nicht frei ist, wenn man den Bohrer in Bewegung bringen will. Ist der Widerstand im Bohrloch schon recht gross, kann es sein, dass bei massivem Druck nach unten der Bohrer gar nicht mehr zu drehen anfängt, da durch den Druck nach unten auch die Bremswirkung bei der Reibungsfläche zunimmt. Der Sägebohrer scheint also weniger Limiten zu kennen als der Pumpenbohrer. Das ist der grosse und nicht zu unterschätzende Vorteil des Sägebohrers.

10. Der Pumpenbohrer entspricht dem menschlichen Rythmus-Gefühl. Beim Pumpenbohren könnte der Mensch zum ersten Mal einen Viertakt erlebt haben: rechtsrunter, rauf, linksrunter, rauf, rechtsrunter, rauf, linksrunter, rauf.

10 Konklusion

1. Der Einsatz von Pumpenbohrern ist ein komplexer Prozess mit zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilen eines Pumpenbohrers.

2. Pumpenbohrer haben gegenüber Sägebohrern zahlreiche Vorteile. Doch



Lenaia Urzeiterlebnisse GmbH, Gosswil, CH-8492 Wila
Email: jakob.hirzel@lenaia.ch Website: www.lenaia.ch
Telefon: +41 52 385 11 11

der Sägebohrer scheint weniger Beschränkungen zu kennen.

+41 52 385 11 11

jakob.hirzel@lenaia.ch

www.lenaia.ch

3. Experimente haben ergeben, dass sich die sogenannten Platten mit Loch als Schwungplatten eignen.

4. Die Auseinandersetzung mit Pumpenbohrplatten unterschiedlicher Rundung könnte die ersten Räder mit Achse hervorgebracht haben.

5. Bei der Suche nach Optima könnten unsere Vorfahren aus einem Set von Platten und Bohrern immer wieder neue Kombinationen zusammengestellt haben.

6. Pumpenbohrsets mit zwei Rädern und einem Pumpenbrettchen könnten die Urformen von Wagen sein.

11 Danke!

Ich möchte der Zürcher Kantonsarchäologie dafür danken, dass ich die Artefakte im Original betrachten und fotografieren durfte!

12 Literatur

Gross, Eduard (2002): In: Berichte der Zürcher Denkmalpflege, Monografien 17, Zürich Mozartstrasse, Neolithische und bronzezeitliche Ufersiedlungen, Band 2, Tafeln; Tafel 216, Abb. 2 und 3; Tafel 217, Abb. 2; Tafel 226, Abb. 2.

Ruoff, Ulrich; Jacomet, Stefanie (2002): Die Datierung des Rades von Zürich-Akad und die stratigraphische Beziehung zu den Rädern von Zürich-Presshaus. In: Köninger, J., Mainberger, M., Schlichtherle, H. et Vosteen, M. (éd.): Schleife, Schlitten, Rad und Wagen. Zur Frage früher Transportmittel nördlich der Alpen. Hemmenhofener Skripte 3, Landesdenkmalamt Baden-Württemberg Gaienhofen-Hemmenhofen, 35-37.

Anschrift des Verfassers:

Jakob Hirzel, lic.iur., lic.oec.HSG
Gosswil
CH-8492 Wila

13 Anhang: Jacobus neolithicus



Abb.: Jacobus neolithicus bei der ersten Vorführung seines „gehenden Lochmachers“, 3108 v.Chr.