

Inhaltsverzeichnis

- 1 Problemstellung**
- 2 Steingräber im südlichen Emsland. Was weiß man darüber?**
- 3 Notwendige Voraussetzungen für den Transport schwerer und unbearbeiteter Steine**
- 4 Aufbau der Versuchsanlage am Saller See**
- 5 Veränderungen und Ergänzungen am Aufbau der Versuchsanlage**
- 6 Durchgeführte Versuche**
- 7 Herstellung einfacher Lederseile**
- 8 Aufbau einer Testanlage zur Untersuchung der Zugfestigkeit der Seile**
- 9 Gewonnene Erkenntnisse**
- 10 Literatur**
- 11 Danksagung**

1 Problemstellung

Unser Klassenlehrer machte uns auf die Demonstrationsanlage „Hünensteinrollbahn“ am Saller See aufmerksam und so kamen wir zu unserem „Jufo-Projekt“: Wie bringt man Steine ins Rollen? Bei diesem Projekt geht es um die Frage, wie Menschen früher die Steine, die sie zum Bau der Steingräber benötigten, an die gewünschte Stelle beförderten, mit welchen Hilfsmitteln gearbeitet wurde und wie viele Menschen zum Bewegen der Steine gebraucht wurden.

Ob es den Forschern einmal gelingen wird, diese Fragen zu beantworten, wissen wir nicht. Wir wollten aber eine Möglichkeit aufzeigen, wie man mit einfachen Mitteln große und unbearbeitete Steine über längere Entfernungen bewegen kann. Deshalb führten wir am Saller See mehrere Experimente durch. Eines dieser Experimente fand am 16.8.2002 am Saller See statt. Dort bewegten wir einen 10 Tonnen schweren Stein auf einer waagerechten Ebene und zwei schiefen Ebenen mit 4 Prozent bzw. Prozent Steigung.



Abbildung Nr. 1: Steingrab im Thuiner Wald bei Lingen (Ems)

2 Steingräber im südlichen Emsland. Was weiß man darüber?

Die Großsteingräber dienten als Bestattungsstätte. Sie werden zeitlich in die Jungsteinzeit (4000v. Chr. bis ca. 1700 v. Chr.) eingeordnet und gehören zu den sogenannten Megalithbauten. Das Wort Megalith kommt aus dem Griechischen (mega = groß und lithos = Stein). Die besonderen Merkmale der Megalithbauten und somit auch der Großsteingräber sind die großen, unbearbeiteten und aufrecht gestellten Steine. Großsteingräber gab es in allen Kulturen. In Europa findet man sie im Gebiet vom Mittelmeerraum bis nach Skandinavien, wobei sie hauptsächlich in Küstenregionen vorkommen. Viele der Steingräber sind in der Vergangenheit zerstört worden, deshalb kann ihre Zahl nur ungefähr geschätzt werden.

Es gibt verschiedene Arten von Steingräbern. In Nordwestdeutschland sind hauptsächlich die Ganggräber zu finden. Sie haben in der Regel mehr als zwei Decksteine. Die Länge der Kammer ist variabel, die Breite hingegen fast immer gleich. Sie schwankt zwischen zwei und drei Metern. Der Eingang ist überwiegend kurz und liegt meist auf der Südseite.

Kammern mit vier Decksteinen sind sowohl im südlichen Oldenburg und im Osnabrücker Raum als auch im Emsland auf dem Hümling zu finden. Sie liegen unter einem Erdhügel oder in einer rechteckigen oder ovalen Umwallungsanlage. Diese Umwallungsanlagen sind manchmal um ein Vielfaches größer als die Kammer selbst. Beispiele hierfür sind die Visbecker Braut und der Bräutigam bei Engelmansbäke. Die Anlage des Visbecker Bräutigams hat eine Länge von 104 Metern, die Kammer jedoch nimmt nur 7 Meter davon ein.

Im Laufe der Zeit kamen mehr und mehr Theorien über die Art des Bauens von Steingräbern auf, die immer wieder widerlegt wurden. Zum Beispiel glaubte der dänische Geschichtsschreiber Saxo Grammaticus ernsthaft, dass Riesen diese mächtigen Gräber erschaffen hätten. Deshalb nannte er sie auch Hünengräber (Hünen \triangleq Riesen).

Eine andere Erklärung scheint uns eher plausibel: Sie geht davon aus, dass dem Bau der Steingräber eine technische und soziale Umwälzung vorausging. Sie erlaubte den damaligen Menschen, in ausreichendem Maße Nahrung zu beschaffen bzw. zu produzieren und zu lagern, so dass ihnen Zeit blieb, Aufgaben nachzugehen, die nicht mit der Nahrungsbeschaffung zu tun hatten. Dies ermöglichte wiederum die Bildung einer gut organisierten und effizient arbeitenden sozialen Struktur.

Wie und warum man zum Bau der Gräber kam, lässt sich allerdings noch nicht sicher beantworten. Genauso lässt sich aus heutiger Sicht noch nicht beantworten, mit welcher Technik, in welcher Zeit und mit wie vielen Menschen der Bau eines Steingrabs bewältigt wurde. Wir wollen uns nicht an derartigen Spekulationen beteiligen, sondern nur eine Möglichkeit aufzeigen, wie man schwere Steine mit relativ einfachen Mitteln über den emsländischen Boden bewegen kann.

3 Notwendige Voraussetzungen für den Transport schwerer und unbearbeiteter Steine

Um den Bau eines Steingrabes zu bewältigen, mussten zunächst genügend viele, z.T. bis zu 30 Tonnen schwere Findlinge zur Baustelle transportiert werden. Bevor man dazu kam, musste ein geeigneter Standort für den Bau des Grabs gewählt werden. Erst dann konnte man damit beginnen, den Transport der Steine vorzubereiten. Es ist anzunehmen, dass sich bereits einige Steine zufällig in der Nähe der Baustelle befanden. Für die anderen benötigte man geeignete Transportwege und Transportmittel. Die Technik des Steintransports ist wie bereits erwähnt noch nicht geklärt.

Gibt es dennoch Hinweise auf mögliche Transportwege und deren Beschaffenheit? Aus Ausgrabungen im Emsland und Umgebung sind sogenannte Bohlenwege bekannt. Die ältesten von ihnen im

Campemoor bei Lohne, Ldkr. Vechta, sind aus 4600 v. bzw. 4000 v. Chr. datiert (vgl. [3], S.52). Zunächst gab es schmale, etwa 1 Meter breite Holzwege. Gegen 3000 v. Chr. kam es erst mal zum Bau von Bohlenwegen, die bis zu 4 Meter breit waren. Die Bohlenwege geben aber wichtige Hinweise auf den Wegebau im Emsland. Einer der größten Bohlenwege liegt bei Ockenhausen /Oltmannsfehn. Seine Länge beträgt ca. 650 Meter und seine Breite zwischen 3,2 und 3,3 Metern. Zur Herstellung dieses Weges benötigte man ca. 1500 Eichen, was einem ca. 45 ha großem Eichenwald entspricht (Holzfällungsdatum: 717 v. Chr.- 714 v. Chr.). An einigen Endstücken von verwendeten Erlenrundbohlen sind gut erhaltene Hiebsspuren von Bronzebeilen zu erkennen. Man findet auch Bohlenwege aus der Jungsteinzeit, die mit Steinbeilen hergestellt wurden. Die Bohlenwege bestanden aus Lagehölzern, meistens aus Erle oder Eibe, die geschickt mit Keilen verbunden wurden und auf die man quer bearbeitete Eichenbohlen legte, die wiederum von oben an beiden Enden von Längshölzern festgehalten wurden. Unter den Lagehölzern sind auch intakte Brückenpfeiler zu finden. Daher stellen diese Wege eine architektonische und handwerkliche Meisterleistung dar. Ein weiteres Indiz für ihre hervorragende Qualität ist die lange Nutzungszeit. Sie betrug beim Bohlenweg bei Ockenhausen /Oltmannsfehn ca. 60 bis 80 Jahre (maximal 120 –150 Jahre). Die Bohlenwege geben wichtige Hinweise auf die gute Beherrschung der Holzbearbeitung und deren Verwendung zum Bau der Transportwege. In der Abbildung 2 ist der Bohlenweg bei Ockenhausen /Oltmannsfehn zu sehen (vgl. [1] S.23ff.).



Abbildung Nr. 2: Bohlenweg bei Ockenhausen /Oltmannsfehn: Das Bild links zeigt einen Ausschnitt des Bohlenweges nach der Ausgrabung. Im Bild rechts sieht man den Aufbau der Längshölzer, die aus Erle bestehen.

4 Aufbau der Versuchsanlage am Saller See

Die Anlage des Architekten Hermann Büscher aus Lingen erinnert in seiner Konstruktion stark an einen Bohlenweg. Sie besteht aus einem etwa 50 Meter langen Schienensystem. Die Schienen sind

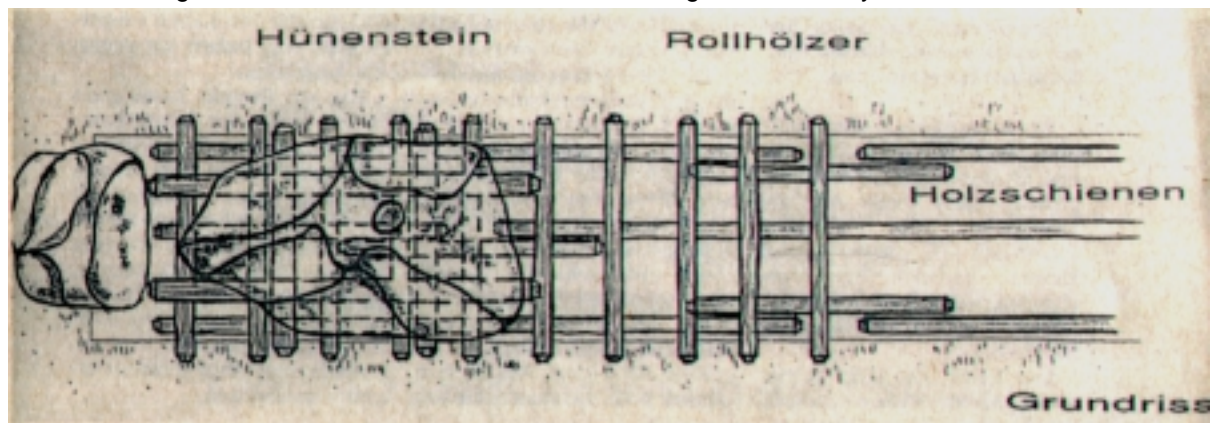


Abbildung Nr. 3: Versuchsanlage am Saller See: „Hünensteinrollbahn“, Ansicht von oben.

aus Fichterrundholz gebaut, das auf einer Seite abgeflacht wurde. Die Balken sind im Boden verankert und so angelegt, dass immer mindestens drei parallel zueinander liegen, bei den Übergängen sind es aus Stabilitätsgründen entsprechend mehrere.

Der 10 Tonnen schwere Stein befindet sich auf einem Schlitten aus maschinell abgerundeten Eichenbalken mit einem Durchmesser von 16 cm. Darunter befinden sich die Rollhölzer, die den selben Durchmesser haben. Wenn der Stein bewegt wird, müssen fortwährend die Rollhölzer von dem hinteren Ende des Schlittens an das vordere gelegt werden, sodass mindestens 3 Rollhölzer unter dem Schlitten liegen.

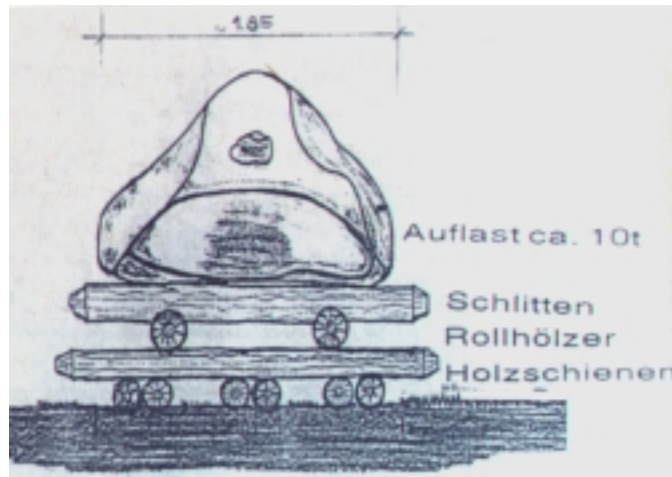


Abbildung Nr. 4: Versuchsanlage am Saller See: Ansicht von Vorne.

5 Veränderungen und Ergänzungen am Aufbau der Versuchsanlage

Für unsere Versuche haben wir noch einige Dinge an dem Aufbau der Demonstrationsanlage verändert. Zum Einen wollten wir testen, wie viele Menschen bzw. welche Kraft nötig ist, um einen 10 Tonnen schweren Stein auf einer waagerechten Ebene zu ziehen. Zum Anderen wollten wir untersuchen, ob es möglich ist, den Stein auf einem Weg mit 4 Prozent bzw. 8 Prozent Steigung aufwärts zu bewegen. Zu diesem Zweck haben wir auf dem eigentlichen Schienensystem zusätzlich noch 3 Meter lange Keile aus Eichenholz befestigt, sodass eine entsprechende Steigung jeweils zustande kam. Von diesen zusätzlichen Versuchen wollten wir Hinweise darüber erhalten, welche Zugkräfte, also auch wie viele ziehende Menschen benötigt werden, um den Stein hinaufzubewegen. War und ist so etwas mit einfachen Mitteln überhaupt möglich? Beim Bau der Steingraber mussten während des Transports auch einige Steigungen überwunden werden. Als Vergleich dient hier der hochmoderne Transrapid, der eine Steigung von maximal 10 Prozent überwindet. Konventionelle Eisenbahnen bewältigen lediglich eine Steigung von maximal 4 Prozent.

6 Durchgeführte Versuche

Nach langen Vorbereitungen führten wir unseren ersten Großversuch am Saller See am 16.8.2002 (mit unserer Klasse 10c und einer neunten Klasse des Gymnasiums Johanneum) durch. Zunächst untersuchten wir, welche Zugkraft ein Mensch durchschnittlich aufbringt. Dazu befestigten wir einen gewerblichen Kraftmesser der Firma Krämer mit einem Ende an einem Baustamm, an dem anderen Ende wurde ein Seil angebracht, an dem man mit Händen ziehen konnte. Der Untergrund war nicht besonders vorbereitet, es handelte sich um eine Rasenfläche. Die Versuchspersonen waren im

Wesentlichen 15- bis 16-jährige Schüler/innen unserer Klasse, die ungeübt am Versuch teilgenommen haben. Die Tabelle Nr. 1 stellt das Ergebnis des Versuchs dar.

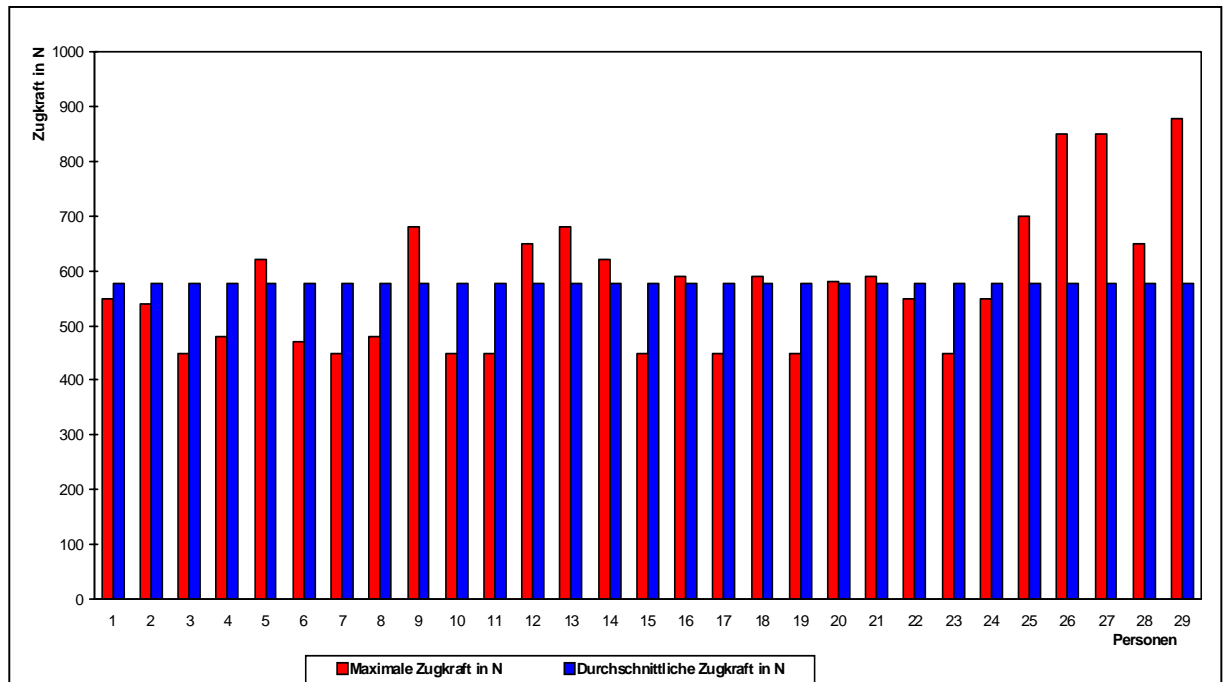


Diagramm Nr. 1: Ein Jugendlicher bringt im Durchschnitt maximal etwa 578 N an Zugkraft auf. Bei den Personen Nr. 26, 27 und 29 handelt es sich um erwachsenen Männer. Der Mittelwert der Zugkraft ist bei einem Dauereinsatz erheblich geringer als 578 N.

Danach versuchten wir den Stein auf den Schienen zu bewegen. Hier stellte sich die Frage, wie viele Menschen zum Ziehen des Steins notwendig sind. Die Ergebnisse der Experimente sind in der nachfolgenden Tabelle enthalten. Der Schlitten, auf dem der Stein aufgebockt ist, besitzt 32 Seile. Der erste Versuch, den Stein mit 26 Personen und der Unterstützung eines am Schlitten angesetzten Hebels zu ziehen, gelang nicht. Der Stein ließ sich nur schwer bzw. gar nicht in Bewegung setzen. Also mussten auch die restlichen 6 Seile mit Schülern besetzt werden.

Versuch Nr.	Anzahl der ziehenden Personen	Ziehen auf der waagerechten Ebene	Ziehen auf der schiefen Ebene mit 4% Steigung aufwärts	Ziehen auf der schiefen Ebene mit 8% Steigung aufwärts	Erfolgreich: Ja/Nein
1	26	durchgeführt			Nein
2	32	durchgeführt			Ja
3	32		durchgeführt		Ja
4	43			durchgeführt	Ja

Tabelle Nr. 1: Anzahl der benötigten Menschen bei den verschiedenen Versuchen

Durch diese Erhöhung der Zugkraft konnte der Stein relativ leicht über die Versuchsfläche bewegt werden. Es war deutlich zu merken, dass die Zugkraft, die jeder Teilnehmer aufwenden muss, geringer wurde, wenn der Schlitten einmal in Bewegung kam. Beim Ziehen des Schlittens ist also der Kraftaufwand im Moment des Starts am Größten. Wir haben diese Kraft als Haftkraft bezeichnet. Sie ist deshalb so groß, weil der Stein die Schienen und das Rollholz während der Ruhephase stärker verformt als in der Rollphase. Aus der Ruhephase zu starten, bedeutet in der Regel, den Stein aus einer tieferen Mulde herausziehen.



Abbildung Nr. 5: Während des Versuchs am Saller See: Wie viele Menschen sind zum Ziehen des Steins notwendig?

Der zweite Versuch, den Stein auf einer schiefen Ebene mit der Steigung 4 Prozent hinaufzubewegen, gelang ebenfalls mit 32 Personen.

Wegen der wesentlich höheren Hangabtriebskraft haben wir schon vorher damit gerechnet, dass wir den Stein spätestens bei der Steigung von 8 Prozent nicht mehr mit 32 Personen hinaufziehen können. Deshalb besetzten wir einige Seile doppelt. Unser erster Versuch mit 43 Personen, den 10 Tonnen schweren Stein über eine Steigung von 8 Prozent aufwärts zu bewegen, verlief erfolgreich. Beim anschließenden Hinunterziehen des Steins ist uns ein Rollholz wegen ungleichmäßiger Lastverteilung gebrochen.

Die Auswertung der Filmaufnahmen von unserem ersten Versuch am 10.08.2002 hat ergeben, dass die Geschwindigkeit des Schlittens beim Rollen zwischen 0 m/s und maximal 1 m/s variierte. Der Wert 1 m/s stellt eine kritische Obergrenze dar, weil man bei dieser Geschwindigkeit die nicht belasteten Rollen nicht präzise genug vor den Schlitten legen konnte. Dadurch kann der Stein schnell von der Bahn geraten. Das macht deutlich, dass bei einer noch höheren Geschwindigkeit der Schlitten schwer zu beherrschen ist.

Da Menschen nicht gleichzeitig und gleichmäßig ziehen, ist es schwer zu ermitteln, wie groß die beim Versuch tatsächlich auftretende Haft- bzw. Rollkraft ist. Um diese Zugkräfte genau zu ermitteln, führten wir am 10.10.2002, am 12.02.2003 und am 07.03.2003 weitere Experimente am Saller See durch. Die erforderlichen Zugkräfte wurden mit Hilfe eines gewerblichen Kraftmessers (vgl. Abb. Nr.6a) und 6b)) ermittelt. Der Kraftmesser wurde zwischen zwei Seile eingespannt. Das Ende des ersten Seils war am Stein befestigt, das Ende des anderen Seils an einem Bagger. Bei gespannten Seilen war die gesamte Zugvorrichtung waagrecht angeordnet. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den nachfolgenden Diagrammen festgehalten worden.



Abbildung Nr. 6 a): Zur Ermittlung der Zugkräfte wurde ein gewerblicher Kraftmesser benutzt, der die Bestimmung der Kräfte bis zu 50000 N erlaubt.



Abbildung Nr. 6 b): Der Kraftmesser im Einsatz. Im ersten Experiment wurde ein Bagger, im zweiten ein Unimok, im dritten zunächst ein Abschleppwagen und dann ein Autokran eingesetzt.

Zuerst haben wir die Kraft gemessen, die man benötigt, um einen 10 Tonnen schweren Stein in Bewegung zu setzen und dann die Kraft, die man benötigt, um ihn in Bewegung zu halten. Um die Haftkraft zu überwinden, benötigt man durchschnittlich 7850N, um den Stein in Bewegung zu halten durchschnittlich 5550N. Die großen Schwankungen der Messwerte sind vor allem auf die Unebenheiten, verschiedenen Holzhärten und unterschiedlichen Breiten der Schienen zurückzuführen.

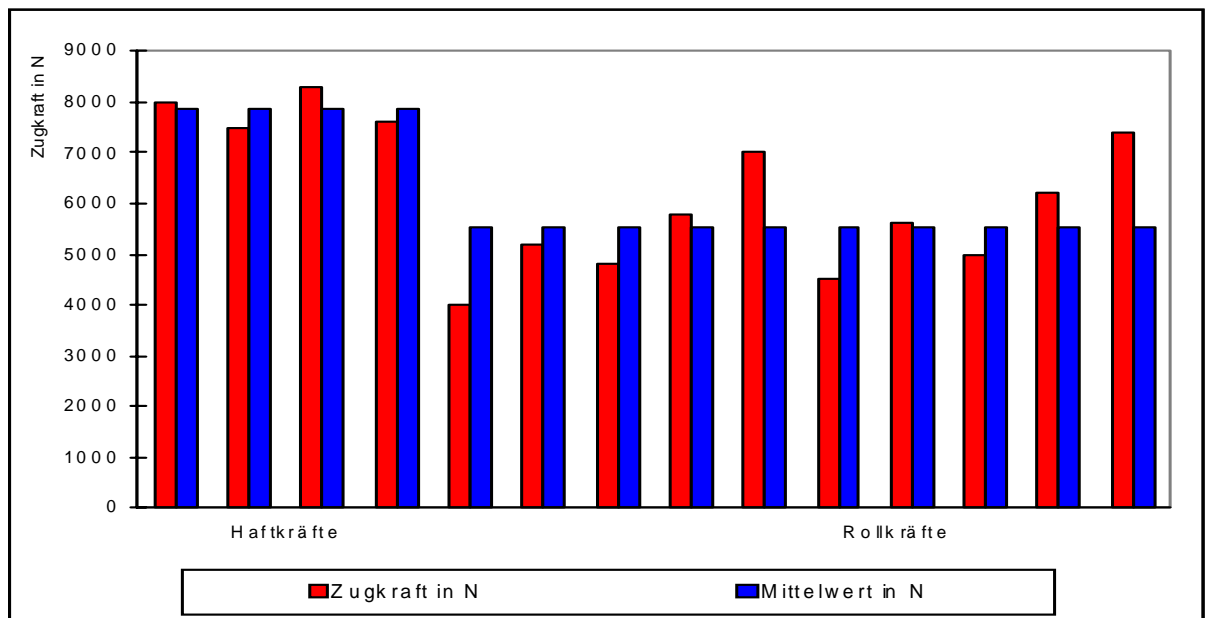


Diagramm Nr. 2: Beim Ziehen des Stein waagrecht auf den Schienen ist die Haftkraft durchschnittlich etwa 40 Prozent größer als die Rollkraft.

Das verwendete Fichtenholz weist besonders große Härteschwankungen auf. Dadurch entstehen an besonders weichen Stellen einige Millimeter tiefe Mulden, aus denen man die Rollhölzer erst herausziehen muss. Andererseits stellen Äste Erhebungen dar, die sich nur schwer zusammendrücken lassen. Über diese Erhebungen muss der Stein beim Rollen, ähnlich wie auf einer

schiefen Ebene, kurzzeitig aufwärts gezogen werden. Außerdem nutzt sich während des Transports das Fichtenholz stark ab. Dies haben wir mit einer Kamera festgehalten. Fichtenholz eignet sich demnach nur bedingt zur Herstellung einer Rollbahn.

Ein weiterer Grund für die großen Schwankungen der Zugkraft liegt in der Form und der Anordnung der Rollhölzer. Sie bestehen zwar aus getrocknetem und maschinell abgerundeten Eichenholz, doch nach kurzem Gebrauch bekamen auch sie kleinere Dellen. Außerdem ist eine Parallelanordnung dieser Hölzer während der Bewegung nur bedingt möglich.

Mit Hilfe der Abbildung Nr. 5 lässt sich die mittlere Zugkraft einer Person abschätzen. Mit einer DIN A3 Vergrößerung des Bildes haben wir die Winkel zwischen der jeweiligen Seilrichtung und der Bewegungsrichtung des Schlittens, die etwa dem Verlauf des Schienennetzes entspricht, bestimmt. Multipliziert man die durchschnittliche Zugkraft mit dem Kosinus des jeweils ermittelten Winkels, so erhält man die in die Bewegungsrichtung wirkende Kraft. Addiert man alle diese Kräfte, so muss als Summe eine etwa 8000 N große Gesamtkraft herauskommen. Nimmt man an, dass jede Person mit der mittleren Maximalkraft 578 N zieht, so würde man eine Gesamtkraft von ca. 17800 N erhalten.

Nummer des Seils	Winkel zwischen dem Seil und der Bewegungsrichtung	Resultierende Kräfte, wenn jede Person mit einer Kraft von 578 N ziehen würde	Resultierende Kräfte, wenn jede Person mit einer Kraft von 400 N ziehen würde	Resultierende Kräfte, wenn jede Person mit einer Kraft von 300 N ziehen würde
1	23	532	368	276
2	22	536	371	278
3	19	547	378	284
4	18	550	380	285
5	18	550	380	285
6	17	553	383	287
7	17	553	383	287
8	15	558	386	290
9	14	561	388	291
10	9,5	570	395	296
11	9	571	395	296
12	9	571	395	296
13	4,5	576	399	299
14	4,5	576	399	299
15	5	576	398	299
16	1,5	578	400	300
17	11	567	393	294
18	4	577	399	299
19	2	578	400	300
20	2,5	577	400	300
21	3	577	399	300
22	4	577	399	299
23	6	575	398	298
24	9	571	395	296
25	13	563	390	292
26	16,5	554	384	288
27	18	550	380	285
28	19,5	545	377	283
29	21	540	373	280
30	21,5	538	372	279
31	29,5	503	348	261
32	32	490	339	254
Resultierende Zugkraft:		17838	12344	9258

Tabelle Nr. 2: Abschätzung der mittleren Zugkraft einer Person mit Hilfe der Abbildung Nr. 5 und des Diagramms Nr. 2. Um den Stein zu bewegen, muss jede ziehende Person durchschnittlich eine Zugkraft von 300 N aufbringen. Unser erster gescheiterter Versuch zeigt, dass diese Kraft auch nicht wesentlich gesteigert werden kann.

Damit könnte man den Stein auch leicht mit 26 Personen ziehen. Das widerspricht unseren experimentellen Erfahrungen vom 16.08.2002. Geht man dem gegenüber von einer mittleren Zugkraft von 300 N aus, so erhält man, wie in der Tabelle Nr. 2 dargestellt, eine Gesamtzugkraft von etwa 8300 N. Mit dieser Kraft lässt sich der Stein bewegen. Deshalb können wir annehmen, dass beim Ziehen des Steins jede Person eine durchschnittliche Kraft von mindestens 300 N aufbringen muss, um die Haftreibung zu überwinden.

Anschließend haben wir die Kräfte gemessen, die beim Ziehen des Steins auf einer auf Schienen gebauten schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung auftreten. Insbesondere interessierte uns der Übergang von einer waagerechten auf eine schiefe Ebene. Die schiefe Ebene besteht im Gegensatz zum Schienennetz nur aus zwei parallel angeordneten, 12 cm breiten und glatten Eichekeilen. Die gemessenen Werte der Haft- und Rollkraft schwanken stark (vgl. Diagramm Nr. 3). Sie entsprechen aber den unebenen Bedingungen im Gelände. Beim Ziehen des Steins auf einer schiefen Ebene mit der Steigung 4 Prozent war bei unserem Versuch die Haftkraft nur etwa 25 Prozent größer als die Rollkraft. Dies ist vor allem auf die höhere Härte des Untergrundes zurückzuführen. Die Quetschungen im harten Schienenholz sind geringer und damit auch die auftretenden Reibungskräfte. Dagegen lassen sich die Rollhölzer schwieriger als auf der waagerechten Strecke parallel anordnen. Einer Steigung von 4 Prozent entspricht dem Neigungswinkel $\alpha \approx 2,3^\circ$ und damit einer Hangabtriebskraft von ca. 4000 N, die beim Ziehen zusätzlich überwunden werden muss.

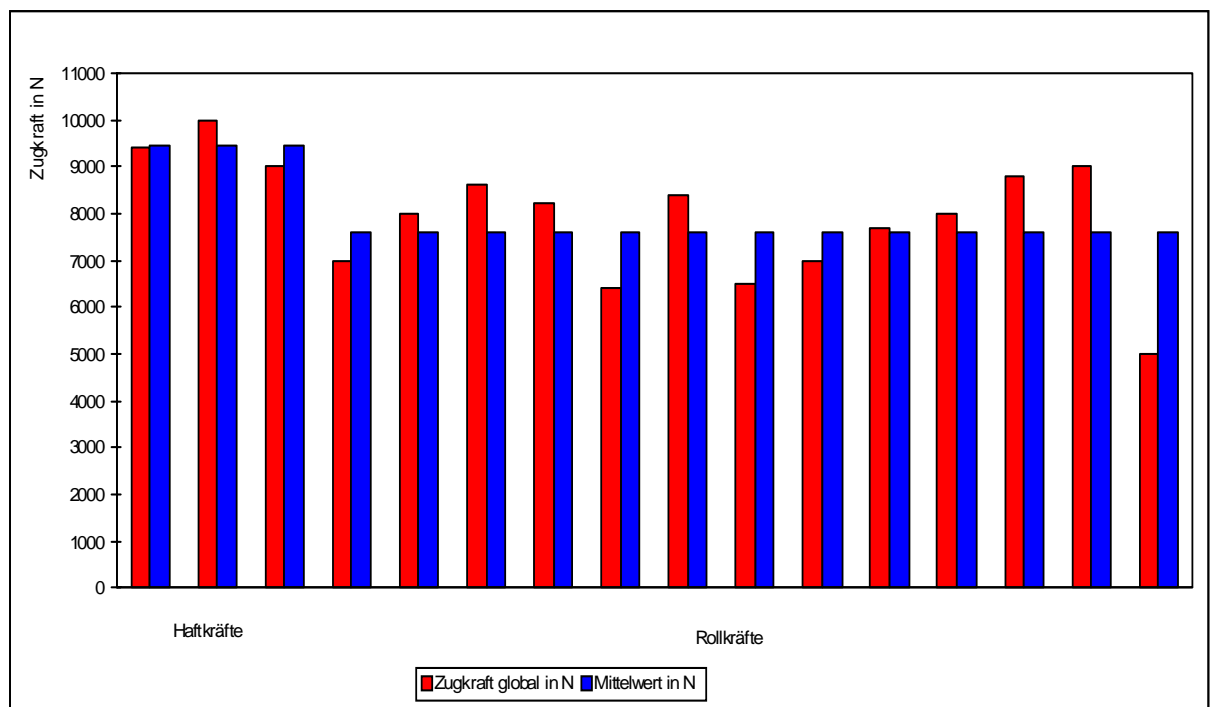


Diagramm Nr. 3: Haftkraft und Rollkraft auf einer schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung bei verschiedenen Messungen während der Aufwärtsbewegung. Beim Ziehen des Steins auf einer schiefen Ebene mit der Steigung 4 Prozent ist bei unserem Versuch die Haftkraft nur etwa 25 Prozent größer als die Rollkraft. Da die Haftkräfte maximal 10000 N betragen, ist das Hinaufziehen des Steins mit 32 Personen noch möglich.

Bereinigt man die Werte des Diagramms Nr. 3 um die Hangabtriebskraft, so erhält man eine Auskunft über die Werte für Haftkraft bzw. Rollreibung auf der schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung (vgl. Diagramm Nr. 4, Seite 10).

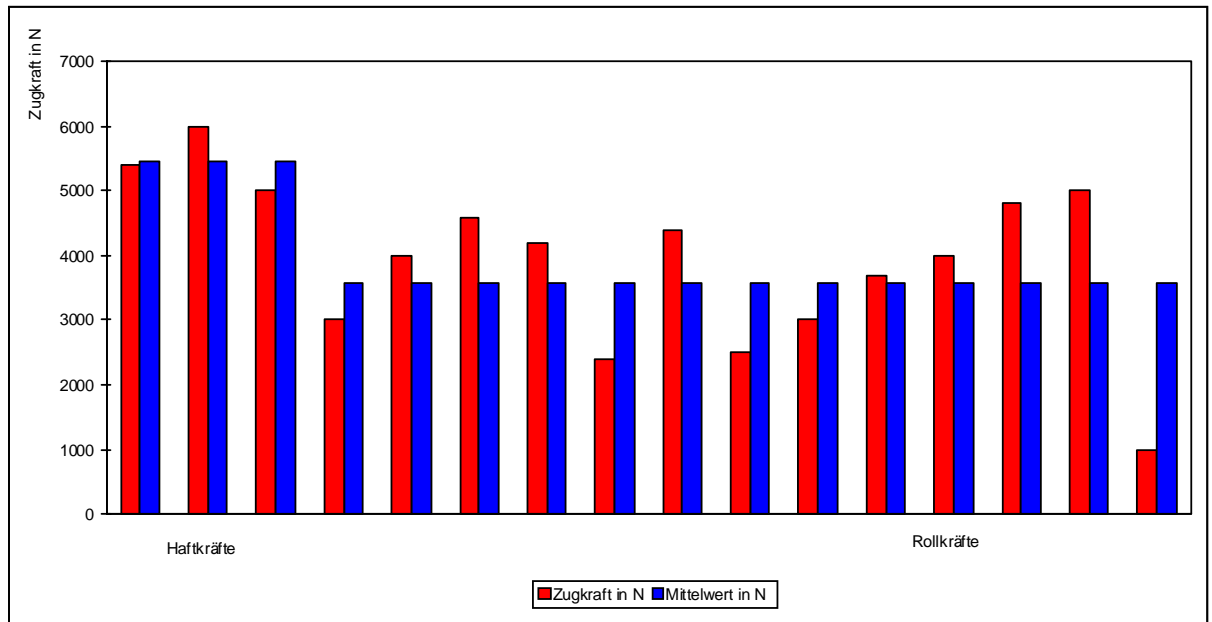


Diagramm Nr. 4: Haftkraft und Rollkraft bereinigt um die Hangabtriebskraft auf einer schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung bei verschiedenen Messungen während der Aufwärtsbewegung (vgl. dazu das Diagramm Nr. 1). Die Zugkräfte im Vergleich zur waagerechten Ebene sind geringer, da die Unterlage aus glattem Eichenholz besteht.

Ähnliche Verhältnisse herrschten beim Versuch, den Stein auf einer schiefen Ebene mit der Steigung 8 Prozent hinaufzuziehen. Die erzielten Ergebnisse sind im Diagramm Nr. 5 dargestellt. Bei diesem Versuch spielt aber die Hangabtriebskraft eine größere Rolle. Sie beträgt ungefähr 8000 N und diese muss neben den Reibungskräften überwunden werden. Für das selbstständige Hinunterrollen des Schlittens reichte die Hangabtriebskraft aber noch nicht aus.

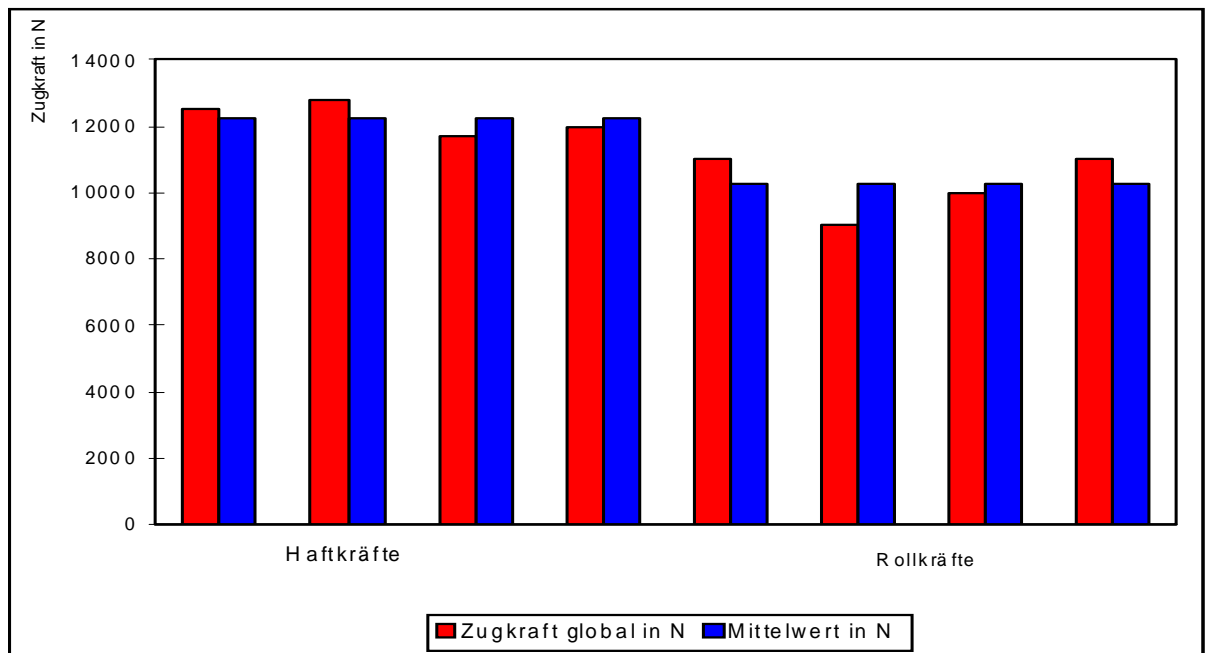


Diagramm Nr. 5: Beim Ziehen des Steins auf einer schiefen Ebene mit der Steigung 8 Prozent war in unseren Versuchen die Haftkraft nur etwa 20 Prozent größer als die Rollkraft. Das Messen der Rollkraft ist in diesem Versuch besonders schwierig. Die gemessenen Werte sind vermutlich zu niedrig.

In einem weiteren Versuch haben wir die Kräfte gemessen, die beim Hinunterrollen von einer schiefen Ebene mit der Steigung 4 Prozent entstanden sind. Anschließend wurden die Rollkräfte auf der bereits

stark abgenutzten Fahrbahn in umgekehrter Richtung gemessen. Die Ergebnisse sind im Diagramm Nr. 5 dargestellt.

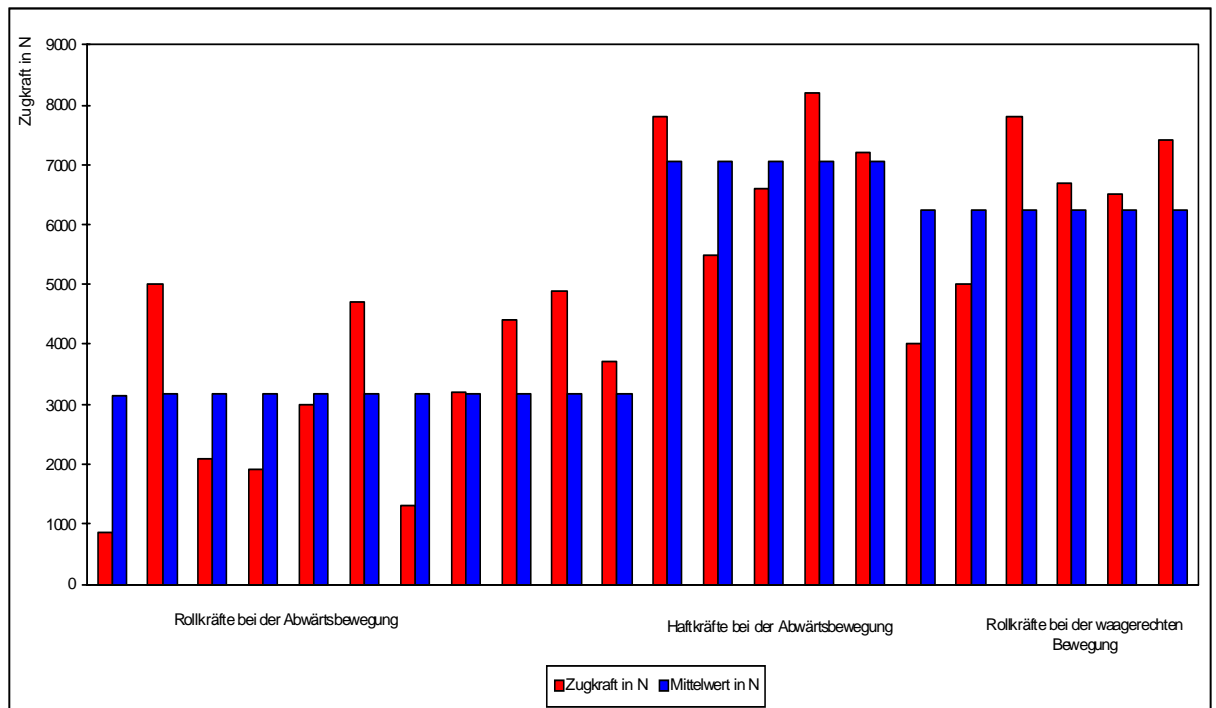


Diagramm Nr. 6: Dieses Diagramm zeigt uns die Haftkraft und Rollkraft auf einer schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung bei verschiedenen Messungen während der Abwärtsbewegung. Die Rollkraft beträgt durchschnittlich ca. 3200 N. Die Abweichungen vom Mittelwert sind sehr groß. Bei manchen Messungen beträgt die aufzubringende Rollkraft ca. 1000 N, bei anderen ca. 5000 N. Die Haftkräfte sind wesentlich höher (ca. 7000 N). Auf der waagerechten Ebene beträgt die durchschnittliche Zugkraft ca. 6200 N. Hier sind die Abweichungen vom Mittelwert nicht so groß.

Um die Zugkraft zu senken, erhöhten wir in einem weiteren Messversuch am 12.02.2003 den Durchmesser der Rollhölzer von 16cm auf 20cm. Dabei stellten wir erwartungsgemäß eine Absenkung der Rollkraft auf der waagerechten Ebene von durchschnittlich 5550 N auf ca. 4200 N fest. Ähnlich verhielt es sich während der Aufwärtsbewegung auf der schiefen Ebene mit 4 Prozent Steigung. Die Abwärtsbewegung mit vom Durchmesser größeren Rollhölzern ist gefährlich. Bei einem Versuch mit 4 Prozent Neigung bewegte sich der Schlitten nach der Überwindung der Haftkraft unkontrolliert hinunter. Das heißt, bei Rollhölzern mit einem Durchmesser von 20 cm oder mehr reicht die Hangabtriebskraft aus, auf einem glatten Untergrund bei 4 Prozent Steigung den Schlitten hinunter zu ziehen. Deshalb muss bei größeren Rollhölzern eine Bremsvorrichtung vorhanden sein. In einem weiteren Versuch am 07. März 2003 überprüften wir einige Messergebnisse. Außerdem wollten wir quantitative Aussagen über das Verhalten des Holzes beim Transport gewinnen. Im Versuch am 07. März 2003 überprüften wir die Messungen auf der waagerechten und auf der schiefen Ebene mit 4 % Steigung. Dazu hatten wir zunächst einen PKW Abschleppwagen (vgl. Abbildung 6b)) eingesetzt. Der Vorteil dieses Wagens liegt darin, dass er einen elektrisch angetriebenen Seilzug besitzt. Die Ergebnisse des Diagramms Nr. 2 konnten im Wesentlichen bestätigt werden. Da er aber mit einer kleinen Geschwindigkeit zieht, waren die Rollkräfte im Durchschnitt ein wenig größer. Der Versuch, den Stein auf der schiefen Ebene mit 4% Steigung zu bewegen, scheiterte, da der Abschleppwagen nur eine Maximalkraft von ca. 8300 N ausüben kann. Deshalb setzten wir dazu einen hydraulisch angetriebenen Ladekran eines kleinen LKWs ein. Der Kran zieht besonders langsam (wenige Zentimeter pro Sekunde). Es konnten wieder im Wesentlichen die Ergebnisse des Diagramms Nr. 2 bestätigt werden. Der Mittelwert der Rollkräfte war wiederum wegen

der kleinen Geschwindigkeit ein wenig größer als im ersten Versuch am 10.10.2002.

Um das Verhalten des Schienenholzes während der Bewegung des Steins zu untersuchen, haben wir in etwa 50 cm lange Holzleisten im Abstand von 5 cm Löcher mit einem Durchmesser von 4,5 mm gebohrt. In diese Löcher steckten wir Nägel mit einem Durchmesser von 4,6 mm hinein. Diese Holzleisten befestigten wir seitlich an den Balken des Schienensystems (vgl. Bild 7a)). Mit einem Rundholz passten wir dann die Höhe der Nägel dem Niveau der Schienen an. Danach haben wir die Unterseite der Nägel mit roter Farbe angesprüht (vgl. Bild 7b)), um so nachher messen zu können, um



Abbildung Nr. 7 a) Aufbau einer Leiste zur Messung der Quetschungen im Schienenholz



Abbildung Nr. 7 b) Markieren der Lage der Nägel mit einem Sprühlack.



Abbildung Nr. 7 c) Die Rollhölzer drücken die Nägel um die Quetschstrecke ein.



Abbildung Nr. 7 d) Die Verschiebung der Nägel ist ein Maß für die Quetschungen der Schienen.

wie viele Millimeter die Nägel von dem darüber rollenden Stein eingedrückt wurden (vgl. Bild 7c) und d)). Die Messungen ergaben, dass das Fichtenholz der Schienen (8 bis 10 cm breit) und das Rollholz insgesamt Quetschungen zwischen 5 mm und 10 mm erfuhren. Ein abgelagertes Kantholz aus Eiche (11cm breit) und das Rollholz erfuhren insgesamt Quetschungen zwischen 1,5 mm und 2,5 mm. Bei diesen Messergebnissen muss man berücksichtigen, dass über diese Hölzer bereits mehrfach der Stein bewegt wurde.

7 Herstellung einfacher Lederseile

Bei unseren Versuchen verwendeten wir industriell angefertigte Seile. Es stellt sich die Frage, ob man haltbare Seile auch mit „Steinzeitwerkzeug“ herstellen kann. Unsere Nachforschungen ergaben, dass es dazu durchaus mehrere Möglichkeiten gibt. Unter anderen lassen sich aus Brennesselfasern, Tierhaaren, Leder usw. Seile binden. Aus dem täglichen Leben ist uns Leder als zähes Material sehr gut bekannt. Außerdem lässt sich das Leder auch für Ungeübte relativ einfach verarbeiten. Uns ist nicht bekannt, ob man in der Steinzeit Tierfelle gerben konnte. Deshalb versuchten wir eigene Seile aus einer ungegerbten Rinderhaut herzustellen. Wir besorgten uns eine Kuhhaut aus dem Schlachthof Nordhorn, die wir in verschiedenen breite Streifen zerlegten (vgl. Abbildung Nr.6). Anschließend entfernten wir von diesen Streifen die Fleischreste. Die gesäuberten Streifen drehten wir zu Kordeln, welche wir anschließend zwischen Balken zum Trocknen spannten. Die Festigkeit dieser Seile werden wir mit einer selbstgebauten Testanlage untersuchen.



Abbildung Nr. 8: Herstellung eines Seils aus Kuhhaut.

8 Aufbau einer Testanlage zur Untersuchung der Zugfestigkeit der Seile

Die Zugfestigkeit von Seilen lässt sich einfach testen. Man kann z. B. ein Seil an einem größeren Baum befestigen und es dann mit verschiedenen Gewichten belasten und feststellen, bei welcher Zugkraft eine Seilart reißt. Daraus lässt sich eine Grenze für die zulässige Belastbarkeit des jeweiligen Seils angeben. Unsere Messvorrichtung besteht aus einem stabilen Metallrahmen 0,50 m x 1,21 m (vgl. Abb. Nr. 9), der aus Vierkantrohren zusammengeschweißt ist. Am oberen waagerechten Teil ist eine Zugvorrichtung befestigt. Diese Zugvorrichtung besteht aus Metallplatten und langen Schrauben, die so miteinander verbunden sind, dass man sie mit Hilfe einer Kurbel auf und ab bewegen kann. Am unteren waagerechten Teil ist ein elektronischer Kraftmesser befestigt. Er kann Kräfte bis 2500 N messen.

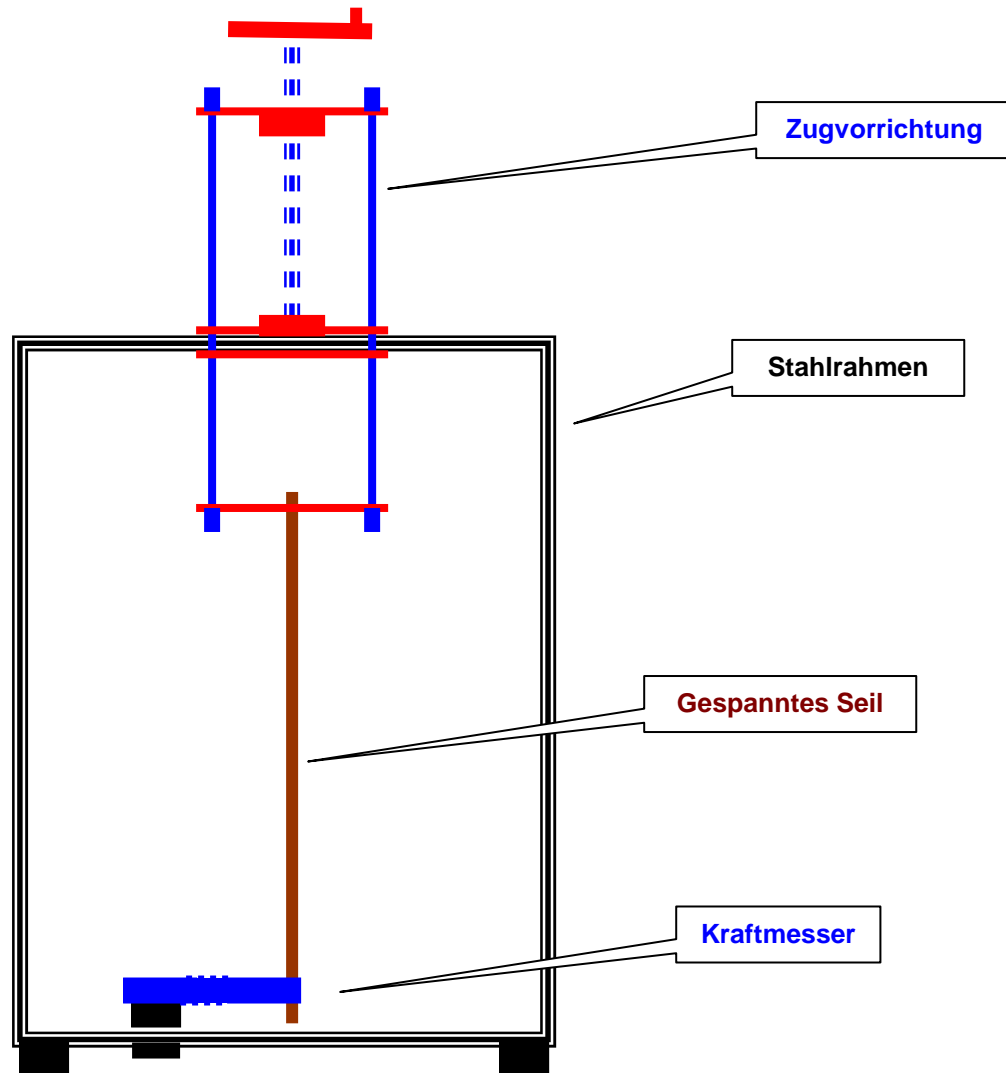


Abbildung Nr. 9: Aufbau einer Vorrichtung zur Untersuchung der Zugfestigkeit von Seilen.

Für die Stromversorgung des Kraftmessers haben wir ein Netzgerät gebaut. Zwischen dem Kraftmesser und der Zugvorrichtung kann ein Seil gespannt werden. Mit Hilfe einer Schraube wird die Zugkraft erhöht und damit die Festigkeit des Seils getestet.

Bei Testversuchen stellte sich heraus, dass unsere Seile ungewöhnlich hohe Zugfestigkeit aufweisen. Sie halten ohne Probleme 2500 N aus. Bei einem Versuch am Saller See zeigte sich, dass ein aus einem etwa 8 cm breiten Kuhhautstreifen angefertigtes Seil erst bei einer Zugkraft von ca. 6000 N reißt. Deshalb haben wir uns an die in unserer Nähe befindliche Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition WTD 91 in Meppen gewendet.

Mit Hilfe einer Universalprüfmaschine wurden sechs unserer Seile einer Zugbelastung ausgesetzt, bis der Bruch eintrat. Die etwa ein Meter langen Probestücke sind jeweils oben und unten in der Maschine auf einer Stahlwelle von 80 mm Durchmesser festgeklemmt. Zwecks Vermeidung des Bruchs an der Einspannstelle wurden die Seile mit dem ablaufenden Ende zusätzlich einmal um die Welle gewickelt. Die Ergebnisse der Zugbelastung ist in der Tabelle Nr. 3 enthalten.

Beschaffenheit bzw. Eigenschaften des Seils	Aus zwei etwa 3cm breiten Streifen zu einer Kordel gedreht Durchmesser von 1,1cm bis 1,3cm.	Aus einem etwa 6 cm breiten Streifen zu einer Kordel gedreht Durchmesser von 1,3cm bis 1,6cm	Aus einem etwa 6 cm breiten Streifen zu einer Kordel gedreht Durchmesser von 1,5cm bis 2,6cm	Aus einem etwa 8 cm breiten Streifen angefertigt, nicht gedreht Durchmesser von 2cm bis 3cm	Aus einem etwa 8 cm breiten Streifen zu einer Kordel gedreht Durchmesser von 2cm bis 2,5cm	Aus einem etwa 6 cm breiten Streifen zu einer Kordel gedreht Durchmesser von 0,8cm bis 1,3cm
Bruch bei einer Zugkraft F in N	5703	4297	4248	6235	11036	2189

Tabelle Nr. 3: In der Tabelle sind die Reißkräfte unserer Seile dargestellt. Die hohe Reißfestigkeit dieser Seile erlaubt ihren unbedenklichen Einsatz beim Ziehen von 10 Tonnen schweren Steinen. Die Zugkraft, die ein Mensch aufbringt, ist wesentlich kleiner (vgl. Diagramm Nr. 1). Bei dem Wert in der letzten Spalte handelt es sich um einen Bruch an der Klemmstelle.

9 Gewonnene Erkenntnisse

Unsere Versuche haben gezeigt, dass man in der Lage ist, mit etwa 30 ungeübten Personen einen 10 Tonnen schweren Stein zu bewegen, wenn man dazu geeignete Seile, z.B. aus Leder, geeignetes Rollholz sowie einen vorbereiten Weg aus einseitig abgeflachten Holzstämmen einsetzt. Man kann auch problemlos Steigungen mit 8 % Gefälle überwinden. Das Heben von unbearbeiteten Steinen ist äußerst schwierig. Unsere Versuche haben gezeigt, dass man Höhen mit einer schiefen Ebene überwinden kann. Diese Aufgabe lässt sich noch einfacher bewältigen, wenn man das Schienennetz aus einem Hartholz gestaltet. Außerdem sollte man den Durchmesser der Rollen größer wählen, damit die Haft- und Rollreibung geringer wird. Die Unebenheiten im Weg spielen dann auch eine geringere Rolle.

Ist der Versuch auf größere Steine übertragbar? Vermutlich ja, man benötigt dazu nur eine dementsprechend höhere Anzahl an Menschen und ein belastungsfähigeres Schienensystem, da das bei unserem Versuch verwendete Weichholz keiner größeren Belastung standhält. Das Schienennetz muss aus parallel angeordnetem und aus breitem abgeflachtem Hartholz bestehen. Der Boden muss an der Oberfläche gegebenenfalls verdichtet werden. Dies kann auch von Hand geschehen. Bei welcher Steingröße die Grenze unserer Methode liegt, wissen wir nicht. Dies bliebe noch zu untersuchen.

Könnten der Transport so in der Steinzeit abgelaufen sein? Die steinzeitlichen Menschen konnten Holz und Rindleder bearbeiten. Deshalb wäre eine ähnliche Vorgehensweise möglich gewesen.

10 Literatur:

- [1] Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland, Isensee Verlag Oldenburg 1993
- [2] Moorarchäologie in Nordwest-Europa, Isensee Verlag Oldenburg 1992
- [3] Archäologische Denkmäler zwischen Weser und Ems, Oldenburger Forschungen, Neue Folge Band 13, Isensee Verlag Oldenburg 2000
- [4] Versuchsprotokoll der Wehrtechnischen Dienststelle für Waffen und Munition WTD 91 in Meppen

11 Danksagung

Unser Dank gebührt allen, die unsere Arbeit ermöglicht haben:

- Herrn Hermann Büscher,
- dem Architektenbüro Hermann Büscher, Lingen
- der Firma Krämer Bau, Lohne
- Herrn Michael Haberland
- dem Restaurant Saller See und den Mitarbeiter/innen des Restaurants
- Herrn Albert Jackisch
- Herrn Grote
- der Feuerwehr Lingen
- der Metallwerkstatt des Christopheruswerkes, Lingen
- Schmidt TOYOTA Kfz-Werkstatt, Lengerich
- Herrn G. Schulz und seiner Klasse 9c des Gymnasiums Johanneum
- Herrn Reimund Timmer
- Wehrtechnische Dienststelle für Waffen und Munition WTD 91 in Meppen, insbesondere Herrn Schnieders und Herrn Imhoff
- der Firma Weyl, Nordhorn
- der Klasse 10c unserer Schule, dem Franziskusgymnasium, ihrem Förderverein

insbesondere möchten wir unserem Lehrer Herr Christof Tondera danken, der dieses Projekt betreut hat und uns mit Rat und Tat zur Seite stand.