

Gerät zur Simulation der Zugkraft einer leeren bzw. beladenen Lore



Wettbewerb „Jugend forscht / Schüler experimentieren“ 2002

Adrian Kolander (15)

Carsten Ebmeyer (14)

*Arbeitsgemeinschaft „Jugend forscht“
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg*

Betreuung: StD Thomas Biedermann

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1	Der Kieselgur-Tagebau in der Lüneburger Heide	3
1.1.1	Wer hat den Kieselgur entdeckt?	3
1.1.2	Wie kam es zu dem Begriff „Kieselgur“?	3
1.1.3	Wie war die Arbeit im Tagebau?	3
1.1.4	Verwendung der Kieselgur	4
1.1.5	Kieselgur in alltäglichen Produkten:	4
1.2	Was soll gebaut werden?	5
2.	Die Zugvorrichtung	5
2.1	Grundgedanken	5
2.2	Prinzipieller Aufbau der Zugvorrichtung	6
2.3	Aufbau des Rahmens und der Windentrommel	6
2.4	Lagerung der Trommel	7
2.5	Seilführung	7
2.6	Hebelwerk zur Krafteinstellung	7
2.7	Maßnahmen zur Betriebssicherheit	8
3.	Physik der Kräfte	8
4.	Notwendige Änderungen für den Dauerbetrieb	11

1. Einleitung

1.1 Der Kieselgur-Tagebau in der Lüneburger Heide

In der Nähe von Hermannsburg wurde in der Zeit von 1863 bis 1994 Kieselgur im Tagebau abgebaut. Der Kieselgur, der vor über 300.000 Jahren in der Holstein-Wärmezeit durch mikroskopisch kleine Kieselalgenschalen entstanden ist, war einer der Hauptindustriestrukturen in dieser Region. Bis zum 1. Weltkrieg deckte die Produktion der niedersächsischen Kieselgur fast den gesamten Weltbedarf an diesem Rohstoff. Bei der Herstellung von Produkten wurde Kieselgur zum Ausgangsstoff mit fast unbegrenzten Möglichkeiten verwendet.

Aus wirtschaftlichen Gründen jedoch wurde der Kieselgurabbau 1994 eingestellt.



Abb. 1: Vom Pferd gezogene beladene Lore

1.1.1 Wer hat die Kieselgur entdeckt?

In einer der ehemaligen Kieselgruben, welche heute mit Wasser gefüllt sind, sollen früher, bevor der Kieselgur abgebaut wurde, Gärten gewesen sein. Es heißt, der Frachtfuhrmann Peter Kasten soll im Jahre 1836 beim Graben eines Brunnens die Kieselgur entdeckt haben.

1.1.2 Wie kam es zu dem Begriff „Kieselgur“?

Der Begriff „Guhr“ oder „Gur“ soll von dem Wort „Gären“ abstammen. Im Bergbau wird damit bezeichnet: „Aus dem Gestein quellende Flüssigkeit“, womit der hohe Wassergehalt im Kieselgur gemeint ist.

1.1.3 Wie war die Arbeit im Tagebau?

Anhand der Abb. 1 und 2 kann man erkennen, dass die Loren durch Muskelkraft bewegt wurden. Dazu setzte man in der Regel Pferde, später Lokomotiven ein, aber die beigefügten Bilddokumente zeigen, dass sie manchmal auch von Arbeitern geschoben wurden. Wahrscheinlich nur unbeladene Loren, deren Masse etwa 300 Kilogramm beträgt, wurden dabei von zwei Personen geschoben, wobei nach unseren Überlegungen wohl eine Kraft von etwa 300 N aufgebracht



Abb. 2: Zwei Arbeiter schieben eine leere Lore

werden musste. Im Gegensatz zu einer unbeladenen Lore musste man bei einer beladenen und damit ca. 1400 Kilogramm schweren Lore, die von Pferden gezogen wurden, eine Kraft von 1400 N aufbringen. Diese Arbeit, das Schieben und Ziehen der Loren, wurde außerdem durch die primitiven Gleisanlagen erschwert, die man anhand Abb. 3 erkennen kann. Da die Räder der Loren aus dem gleichem Material wie die Schienen waren, meistens aus rostigem Eisen, erschwerte auch dies das Fortbewegen der Loren.



Abb. 3: Auf solchen Gleisen wurden die Loren bewegt

1.1.4 Verwendung der Kieselgur

Die Schalen der Kieselalgen enthalten viele Hohlräume und besitzen somit eine poröse Struktur. Diese besonderen Strukturmerkmale verleihen der Kieselgur vielseitige Eigenschaften wie hohes Aufsaugvermögen, geringes [spezifisches] Gewicht, Feuer- und Säurebeständigkeit, außerdem ist es ein schlechter Schall- und Wärmeleiter. Durch diese Aspekte konnte Kieselgur vielseitig eingesetzt werden.

Unter anderen hat z.B. Alfred Nobel das starke Aufsaugvermögen von Kieselgur genutzt, um das hochexplosive Nitroglycerin zu binden. Diese Idee verhalf ihm zur Erfindung des Dynamits im Jahre 1867.

Heutzutage wird Kieselgur zur Filtration von Wein, Bier und Fruchtsäften verwendet und auch als Filtrationsmittel für Filteranlagen in Schwimmbädern, zur Herstellung von Arzneimitteln und Pharmaprodukten sowohl als auch in der Zuckerindustrie eingesetzt.

1.1.5 Kieselgur in alltäglichen Produkten:

- Gummi: Durch die Zugabe von Kieselgur werden die Autoreifen abriebfester und temperaturbeständiger.
- Asphalt: Durch die Zugabe von Kieselgur wird die Beständigkeit und Wetterfestigkeit des Asphalts erhöht.
- Düngemittel: Durch die Zugabe von Kieselgur wird das Verklumpen und Zusammenkleben der Düngekörner verhindert.

1.2 Was soll gebaut werden?

Auf einem 3,5 km langen Rundwanderweg um ein ehemaliges Kieselgurtagbauegebiet in Neuohre wurden Informationen für Besucher über die Arbeit im Tagebau ausgestellt. Damit man einen Eindruck davon erhält, welcher Kraftaufwand notwendig war, eine beladene oder unbeladene Lore zu bewegen, müsste es möglich sein, eine solche frei auf den Gleisen zu bewegen. Dazu hat der Heimatverein Müden bei der Arbeitsgemeinschaft Jugend Forst angefragt, ob Schüler eventuell eine Apparatur bauen könnten, die diese Kraft simuliert. Da es wegen der hohen Verletzungsgefahr nicht möglich ist, von den Besuchern eine Lore über die Schienen schieben zu lassen, schied diese sicherlich einfachste Möglichkeit leider aus. Statt dessen nahmen wir uns vor, eine Apparatur in Form einer Zugvorrichtung zu entwickeln, welche später in eine feststehende Lore (Abb. 4) eingebaut werden kann. Mit dieser Zugvorrichtung soll es möglich sein, die auftretenden Kräfte einer unbeladenen oder beladenen Lore durch Ziehen an einem Seil zu simulieren.



Abb. 4: In eine solche Lore soll die Apparatur eingebaut werden

2. Die Zugvorrichtung

2.1 Grundgedanken

Auf dem Kieselgurlehrpfad steht kein elektrischer Stromanschluss zur Verfügung. Deshalb muss die Apparatur rein mechanisch funktionieren. Das Gerät sollte außerdem einfach zu bedienen und möglichst vandalismussicher aufgebaut sein. Da die Lore selbst nicht bewegt werden kann, sollen die Besucher an einem Seil ausreichender Länge ziehen, das durch eine entsprechende Kraft gebremst wird. Dies ist sicherlich auch deswegen sinnvoll, wenn z.B. Schulklassen den Lehrpfad besuchen und dann gemeinsam an dem Seil ziehen können. Um Unfälle zu vermeiden, sollte es nicht möglich sein, die auf dem Seil wirkende Kraft abzuschalten, während an dem Seil gezogen wird. Das Seil wird anschließend wieder aufgewickelt, wobei die steckbare Kurbel nur bei vollständig abgewickeltem Seil aufgesetzt und bei eingesteckter Kurbel das Seil nicht von der Trommel abgewickelt werden kann.

2.2 Prinzipieller Aufbau der Zugvorrichtung

Die Abbildung 5 zeigt den ersten Entwurf unserer Apparatur, an dem wir im Laufe ihres Baues allerdings noch einige Änderungen vorgenommen haben. Die Zugvorrichtung besteht aus einer Trommel, die in einem Metallgestell drehbar gelagert ist. Auf die Trommel wird ein Seil gewickelt. Zieht man an dem Seil, so wickelt sich dieses ab, wobei die Kraft eingestellt werden kann, die zum Bewegen einer unbeladenen (300 N) oder einer beladenen (1400 N) Lore benötigt wird.

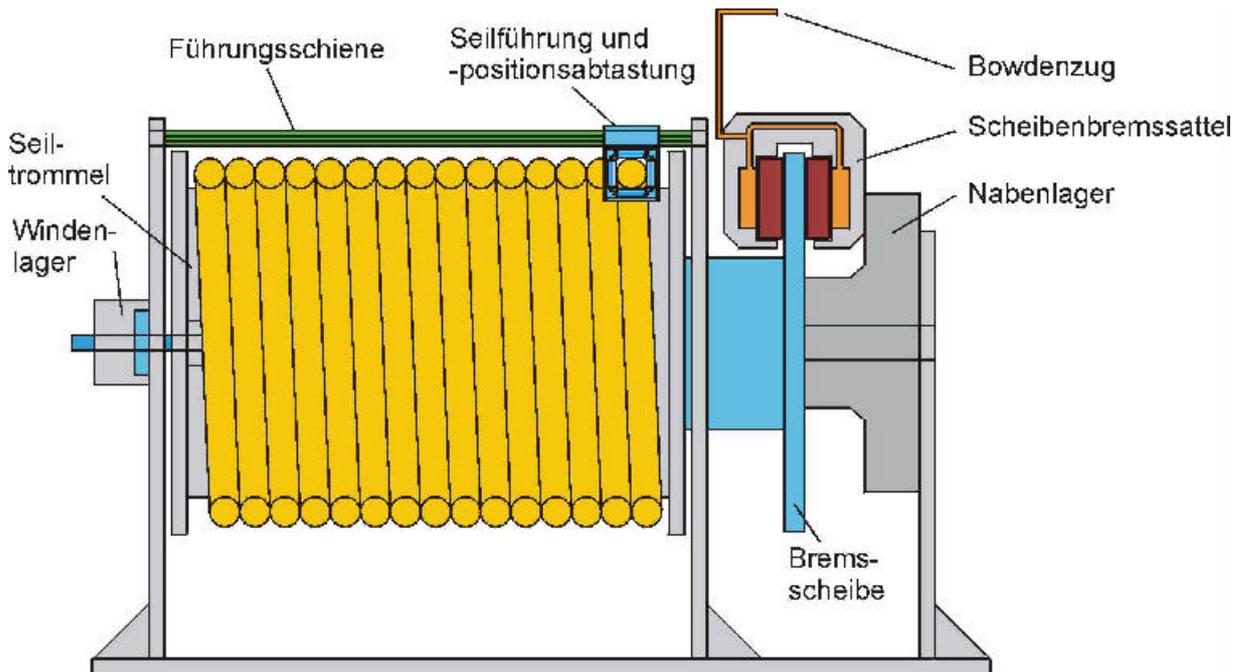


Abb. 5: Die wesentlichen Bestandteile unserer Zugvorrichtung

2.3 Aufbau des Rahmens und der Windentrommel

Der Rahmen, in dem die Trommel gelagert ist, besteht aus einer 2 mm starken Bodenplatte aus Eisenblech und zwei darauf stehenden senkrechten Platten, zwischen denen die Trommel gelagert ist. Diese senkrechten Platten sind mit robusten 4 mm dicken Stahlwinkeln verschraubt. Als Trommel wird ein 30 cm langes PE-Abwasserrohr mit einem Durchmesser von 20 cm und einer Wandstärke von 8 mm verwendet. In die beiden Stirnseiten ist je eine runde 2 mm starke Stahlplatte eingepasst. Zur Verbindung dieser Stirnplatten mit der Trommel sind auf jeder Seite drei Winkel eingeschraubt. Diese Winkel haben auf der einen Winkelseite eine kurze aufgeschweißte Gewindestange und auf der anderen Seite zwei Bohrungen. Sie sind mit zwei Senkkopfschrauben am PE-Rohr befestigt und auf die Gewindestangen sind die Stahlplatten geschraubt. Bei zwei Winkeln auf jeder Seite wurden die Löcher aufgeweitet, um später, falls die Trommel nicht ordentlich läuft, diese eventuell nachjustieren zu können.

2.4 Lagerung der Trommel

Zur Lagerung der Trommel in dem Gestell wurde an der rechten Seite eine Vorderrad-Nabe mit anmontierter Bremsscheibe befestigt. Ihre Achse bildet die eine Seite des Trommellagers. Der zugehörige Bremssattel ist an der entsprechenden Seitenplatte des Rahmens festgeschraubt. Auf der linken Seite haben wir Teile einer Hinterrad-Nabe mit einem Zahnkranz verwendet. Ihre Achse bildet das linke Trommellager. Der Zahnkranz dient dazu, das Seil wieder auf die Trommel aufwickeln zu können. Das freie Ende der Achse ist in ein Kugellager eingepasst, was auf der Seitenplatte des Rahmens befestigt ist (siehe Abb. 6).

Das Kugellager befindet sich in einer 5 mm starken Acrylglasplatte mit den Seitenlängen von 5 cm, die aufgebohrt und mit einer Feile so weit nachgearbeitet wurde, dass das Kugellager mit Druck in das Loch passte. Es wurde außerdem eine 2 mm starke Eisenplatte mit den gleichen Seitenlängen wie die Acrylglasplatte gesägt und passgenau aufgesetzt. Die Acrylglasplatte mit dem Kugellager

wurde mit der Eisenplatte an der auf der Grundplatte stehenden senkrechten Gestellplatte festgeschraubt. Die Achse wurde nun durch den Lagerbock mit dem Kugellager geführt und somit an der senkrechten Gestellplatte drehbar gelagert.

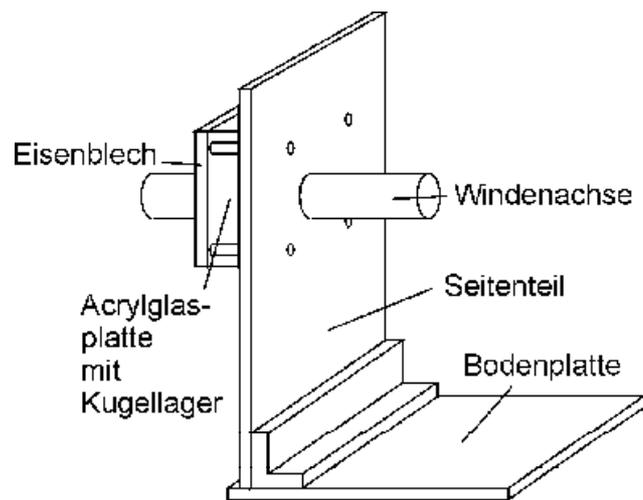


Abb. 6: Linksseitiges Trommellager

2.5 Seilführung

Über der Trommel ist eine Präzisionsschiene befestigt, auf der ein leicht laufender Schlitten läuft. Dieser Schlitten treibt direkt ein Zugseil, das über Umlenkrollen geführt wird. Am Schlitten sind außerdem zwei Aluminiumblechstreifen so gebogen und befestigt, dass das Seil beim Auf- und Abwickeln auf der Trommel den Schlitten präzise nachführt. Durch diese Führung kann man die Position des Schlittens und somit auch des Zugseils erfahren. Diese Abtastung des Seiles braucht man, um die wesentlichen Sicherheitsvorkehrungen zum richtigen Zeitpunkt auszulösen.

Damit man später im Außenbetrieb ein dickeres Seil benutzen kann, sind sowohl die Schiene als auch die Abstände der Aluminiumblechstreifen verstellbar vorgesehen.

2.6 Hebelwerk zur Krafteinstellung

Zur Bremsscheibe führt ein Bowdenzug, dessen Schutzmantel an der Grundplatte befestigt ist. Am einseitigen Hebelarm 2 (für die Bezeichnung der Hebelarme siehe Abb. 8), der genau so wie Hebelarm 1 aus einem Winkeleisen besteht und mit einer selbstsichernden Mutter montiert ist, ist das andere Ende des Bowdenzug befestigt. Zwischen dem Ende des Hebelarms 2 und dem einen Ende des höher montierten zweiseitigen Hebelarm 1 ist eine Feder montiert. Am anderen Ende

von Hebelarm 1 liegt ein Flacheisen auf, welches an einem Scharnier nach oben bewegt werden kann. In dem Flacheisen ist ein Langloch ausgeschnitten, in dem drei M10 Muttern mit dem Kopf nach unten einstellbar festgeschraubt sind. In diese Schraubenköpfe wurden zuvor Schlitz gesägt und so ausgefeilt, dass sie genau auf die Winkelkante des Hebelarmes 1 passen. Um diese Muttern genau an den Positionen zu befestigen, an denen sich die Kräfte von 0 N, 300 N und 1400 N ergeben, mussten wir entsprechende Versuche durchführen.

Dazu wurde an einem Rohr als Hilfswinde das Zugseil befestigt. Die Rohroberkante wurde auf gleiche Höhe wie die Trommeloberkante gebracht. Danach wurde ein Metallstab am Ende des Rohres durch zwei Löcher gesteckt. An diesem Metallstab wurde eine Federwaage eingehängt und daran gezogen (vgl. Abb.7). Da man mit der Federwaage 300 N am Seil aufbringen kann, war schon vorher die Position der M10 Schraube auf 300 N justiert. Die Kraft am Seil wurde nun auf 300 N eingestellt und mit der Federwaage am Metallstab gezogen, bis die Trommel sich bewegt und die dazu notwendige Kraft an der Federwaage abgelesen. Danach wurde mit Hilfe des Dreisatzes ausgerechnet, wie viel die Federwaage anzeigen muss, damit sie auf das Seile eine Kraft von 1400 N ausübt. Anschließend wurde der Bremshebel stark angezogen und bei der zuvor bestimmten Kraft an der Stange der Bremshebel so weit gelockert, bis die Trommel anfängt, sich zu bewegen. In dieser Position wurde die entsprechende Mutter dann festgeschraubt. Die dritte Mutter haben wir auf 0 N justiert, was dem Endanschlag von Hebelarm 2 entspricht.



Abb. 7: Einstellung der Bremsmechanik auf 1400 N

2.7 Maßnahmen zur Betriebssicherheit

Damit die Apparatur betriebsicher ist, müssen mehrere vor Gefahren schützende Elemente eingebaut werden. Damit während der Zeit, in der die Winde abgewickelt wird, nicht die auf das Seil wirkende Kraft verstellt werden kann, baut man eine Scheibe ein, von der ein bestimmtes Segment herausgeschnitten ist. Die Position der Scheibe wird von dem auf der Schiene fahrenden Schlitten bestimmt. Erst wenn der Schlitten am Ende der Schiene angelangt ist und gegen den Anschlag schlägt, wird die Sperre freigegeben und man kann die auf das Seil wirkende Kraft verändern. Auch die Kurbel zum Aufwickeln braucht eine Sicherung, damit der Mensch an der Kurbel nicht verletzt wird, wenn während des Abwickelns jemand an dem Seil zieht. Beim Aufwickeln wird eine Sperrklinke aktiviert, die mit über die Windentrommel läuft, sodass man die Trommel nicht allzuweit in die falschen Richtung drehen kann. Außerdem kann man die Kurbel

erst dann aufstecken, wenn der Schlitten gegen den Anschlag gefahren ist, da bis dahin die Öffnung durch einen Sperrschieber verschlossen wird.

3. Physik der Kräfte

Die in unserer Apparatur wirkenden Kräfte und Hebelarme sind in der schematischen Skizze nach Abb. 8 zusammengestellt. Mit Hebelarm 1 ist der zweiseitige Hebel bezeichnet, mit dem der Benutzer eine bestimmte Zugkraft einstellt. Dieser wirkt über eine Feder auf den einseitigen Hebelarm 2, der diese Kraft für den Bowdenzug verstärkt. Der Bremsattel enthält seinerseits ein Hebelwerk, mit dem die beiden Bremsbacken gegen die Bremsscheibe gepresst werden. In der Skizze ist statt dessen nur ein einfacher zweiseitiger Hebel eingezeichnet, da es hier nur um die wirkenden Kräfte geht. Die Bremsscheibe ist mechanisch starr mit der Winde gekoppelt, das heißt, das durch das Ziehen am Seil aufgewendete Drehmoment auf der gemeinsamen Achse muss von der Bremsscheibe kompensiert werden.

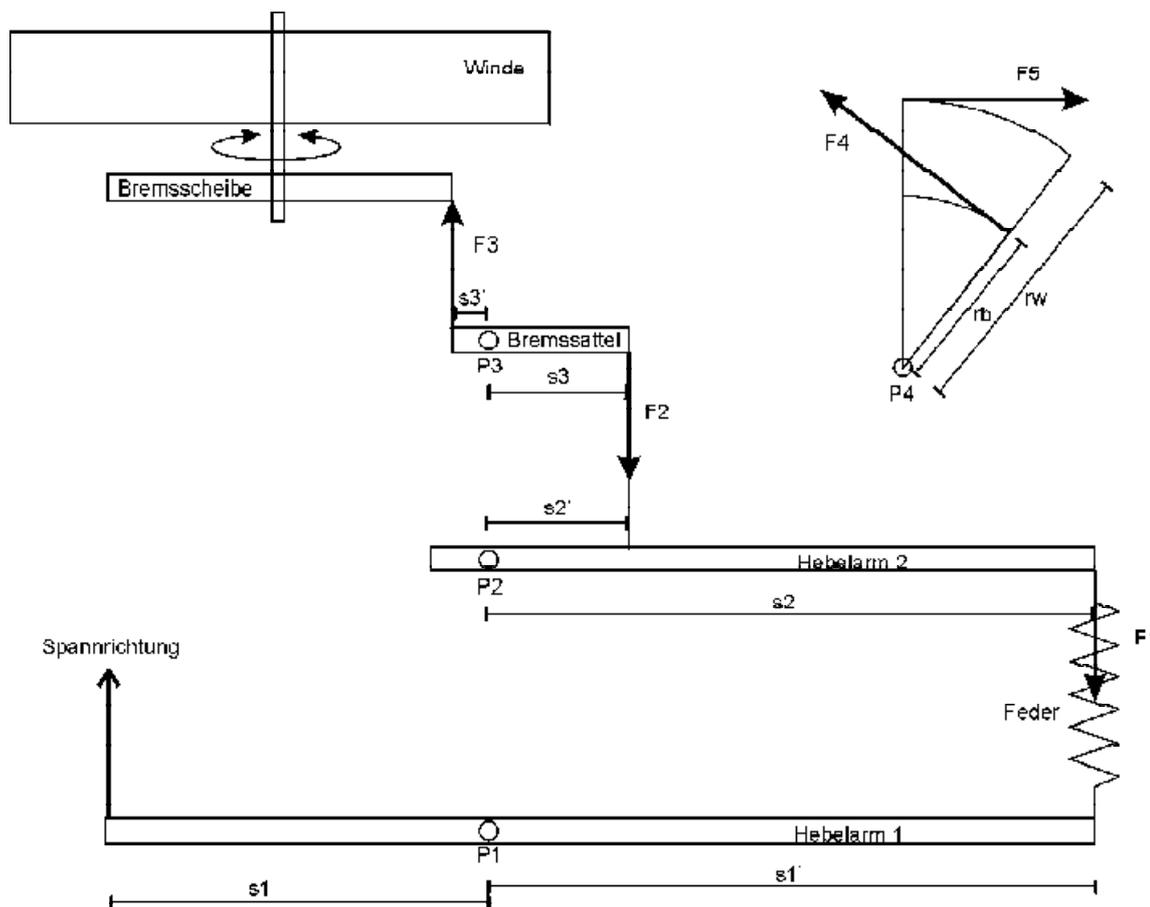


Abb. 8: Schematische Darstellung der Hebelarme und der an ihnen angreifenden Kräfte

An der Winde soll die Kraft F_5 aufgewendet werden. Sie bewirkt ein Drehmoment M_5 , für das gilt:

$$M_5 = F_5 \cdot r_w \quad (1)$$

Dem wirkt entgegen das Drehmoment der Brems Scheibe, das entgegengesetzt gleich groß ist:

$$M_4 = F_4 \cdot r_b \quad (2)$$

daraus ergibt sich für F_5 :

$$F_5 = F_4 \cdot \frac{r_b}{r_w} \quad (3)$$

Die Kraft F_4 entsteht durch die Reibung der Bremsbacken auf der Brems Scheibe. Für die Reibkraft F_r gilt allgemein

$$F_r = k \cdot F \quad (4)$$

dabei ist F die auf der Reibfläche wirkende Kraft und k der sogenannte Reibungskoeffizient, der dimensionslos ist und einen Zahlenwert zwischen 0 und 1 hat. Bei einer optimalen Bremswirkung sollte k möglichst nahe bei 1 liegen.

Damit ergibt sich für F_4

$$F_4 = k \cdot F_3 \quad (5)$$

Innerhalb des Bremskopfes befindet sich ein Hebelwerk mit den beiden Hebelarmen s_3 und s_3' die wir aus oben genannten Gründen ebenfalls nicht bestimmen können. Die vom Bowdenzug ausgeübte Kraft F_2 wirkt auf den Hebelarm s_3 , die andere Seite des Hebels s_3' erzeugt die Anpresskraft F_3 für die Bremsbacken:

$$F_3 \cdot s_3' = F_2 \cdot s_3 \Leftrightarrow F_3 = F_2 \cdot \frac{s_3}{s_3'} \quad (6)$$

Damit gilt für F_4 :

$$F_4 = k \cdot \frac{s_3}{s_3'} \cdot F_2 \quad (7)$$

Da wir weder den Reibungskoeffizienten k kennen noch die Hebelarme s_3 und s_3' bestimmen können ohne den Bremskopf auseinander zu nehmen, fassen wir den Faktor vor F_2 zusammen zur Konstante k_b , die angibt um welchen Faktor die auf den Bowdenzug wirkende Kraft durch den Bremskopf verstärkt wird.

Aus den Abschnitten auf dem Hebelarm 2 ergibt sich für F_2

$$F_2 \cdot s_2' = F_1 \cdot s_2 \Leftrightarrow F_2 = F_1 \cdot \frac{s_2}{s_2'} \quad (8)$$

Die Kraft F_1 entsteht dadurch, dass die Feder zwischen Hebelarm 1 und 2 gespannt wird. Die Federkonstante der Feder haben wir experimentell bestimmt:

$$D = \frac{F}{s} = \frac{95\text{N}}{1,1\text{cm}} = 8600 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (9)$$

Für eine Bremskraft $F_5 = 1400 \text{ N}$ müssen wir eine Kraft $F_1 = 95 \text{ N}$ aufwenden, dazu muss der

Hebelarm 1 soweit ausgelenkt werden, dass die Feder um 1,1 cm gedehnt wird. Die für das Spannen der Feder notwendige Kraft am anderen Schenkel des Hebelarms 1 ergibt sich zu

$$F_{\text{Spann}} = F_1 \cdot \frac{s_1'}{s_1} \quad (10)$$

Aus F_1 , F_5 und den in unserer Apparatur messbaren Strecken s_1 , s_1' , s_2 und s_2' können wir nun den Faktor k_b bestimmen. Durch Einsetzen von Glg. (3) und (8) in (7) erhält man

$$k_b = \frac{F_5}{F_1} \cdot \frac{r_w}{r_b} \cdot \frac{s_2'}{s_2} \quad (11)$$

Durch Einsetzen der folgenden Zahlenwerte in Gleichung (11) ergibt sich

$$s_2 = 18 \text{ cm}$$

$$s_2' = 3,5 \text{ cm}$$

$$r_b = 8,1 \text{ cm}$$

$$r_w = 10 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm (Winde plus Seil)}$$

$$F_1 = 95 \text{ N}$$

$$F_5 = 1400 \text{ N}$$

$$k_b = \frac{1400 \text{ N}}{95 \text{ N}} \cdot \frac{10,5 \text{ cm}}{8,1 \text{ cm}} \cdot \frac{3,5 \text{ cm}}{18 \text{ cm}} = 3,715$$

Das heißt, die auf den Bowdenzug wirkende Bremskraft wird allein durch den Bremskopf auf das ca. 3,75-fach verstärkt. Der Hebelarm 2 erzeugt bei diesem Beispiel auf dem Bowdenzug eine Kraft von ca. 490 N.

Um den Hebelarm 1 bis in diese Position zu spannen, muss der Benutzer die Kraft F_{Spann} aufwenden, für die man nach Glg. (10) erhält:

$$s_1 = 6,3 \text{ cm}$$

$$s_1' = 13,3 \text{ cm}$$

$$F_{\text{Spann}} = 95 \text{ N} \cdot \frac{13,3 \text{ cm}}{6,3 \text{ cm}} = 201 \text{ N}$$

Man muss sich also schon ein wenig anstrengen, um den Hebel in die gewünschte Position zu bringen.

4. Notwendige Änderungen für den Dauerbetrieb

Damit die Apparatur für den Dauerbetrieb geeignet ist, müssen mehrere Dinge an ihr verändert werden. Die Trommel muss durch eine Stahltrommel ersetzt werden, weil die jetzige Kunststofftrommel den ständigen Belastungen vermutlich nicht standhalten und sich immer mehr verformen wird. Auch die Grundplatte muss durch eine deutlich dickere (4 - 6 mm) Stahlplatte ausgetauscht werden, weil die derzeitige 2-mm Platte sich bei den auftretenden Kräften zu stark verformt, das Gleiche gilt für die anderen tragenden Teile, die außerdem mit der Grundplatte dauerhaft verschweißt werden müssen. Das Seil, welches zur Zeit in der Apparatur ist, muss ebenfalls ersetzt

werden, weil es nicht reißfest genug ist. Das neue Seil muss dicker sein, damit man an diesem besser ziehen kann und einer größeren Zugkraft standhalten. Um die Apparatur vor Witterungseinflüssen zu schützen, muss sie vollständig geschlossen untergebracht werden und alle beweglichen Teile gut gefettet oder geölt sein. Wenn dies nicht der Fall ist, können wichtige Komponenten einen Schaden erleiden und die Apparatur wird betriebsunsicher oder sogar völlig betriebsunfähig.

5. Quellen

[1] Gemeinde Fassberg: Begleitbroschüre zum Kieselgur-Rundwanderweg in Neuohre
Die Abbildung auf dem Titelblatt sowie die Abb. 1 - 4 wurden dieser Broschüre entnommen.

Danksagung

Wir wollen unseren Betreuungslehrern StD Thomas Biedermann und StudRef Dirk Schuldt für die Unterstützung, die wir zum Bau unserer Apparatur brauchten, danken.

Außerdem wollen wir Stefan Knoop danken, der uns kostenlos eine Bremsscheibe und anderes Zubehör zu Verfügung stellte.

Wir möchten uns auch bei dem Förderverein Jugend Forscht Hermannsburg für die finanzielle Unterstützung und beim Fremdenverkehrsverein Fassberg für die Führung über das Kieselgurgelände bedanken.

Ein Dankeschön geht auch an die Familie Biedermann, die uns immer gut gepflegt hat.