

Evakuierung mal ganz anders

Ein Rettungsschlauch für
Hochhäuser

Jolanda Krönke, Maike Haupt,
Emma Spiecker

Arbeitswelt



Kurzfassung

Bei unserem Projekt „Evakuierung mal ganz anders – Ein Rettungsschlauch für Hochhäuser“ geht es um die Frage, wie man Menschen aus einem brennenden Gebäude/Hochhaus, auch im Falle eines blockierten Treppenhauses oder Fahrstuhls, evakuieren kann.

Dazu haben wir einen **Rettungsschlauch** aus Stretch-Stoff entwickelt, der eine Evakuierung über die Gebäudefassade ermöglicht.

Der Rettungsschlauch kann innerhalb eines Gebäudes in einer Kiste platzsparend verstaut werden und dann im Ernstfall durch Entfalten außerhalb des Gebäudes den Personen zur Evakuierung dienen. Durch eine geeignete Passform wird dabei gewährleistet, dass die Personen ohne eigenes Zutun mit einer Geschwindigkeit von maximal 3 Metern pro Sekunde auf eine Weichbodenmatte fallen, die sich am Ende des Schlauchs auf dem Boden befindet.

Um zu untersuchen, ob unsere Idee realisierbar ist, haben wir verschiedene Modelle gebaut. Zum einen haben wir uns verschiedene Stoffe angeschaut und daraus Rettungsschläuche in unterschiedlichen Formen (gerade und trichterförmig) genäht.

Als „Testperson“ haben wir eine maßstabsgetreue Gliederpuppe aus Holz verwendet, bei der wir sowohl das Gewicht als auch die Schulterbreite variiert haben. Nachdem wir die optimale Passform gefunden hatten, haben wir einen Rettungsschlauchprototyp von über acht Metern Länge genäht und den Fall der Gliederpuppe mithilfe eines Videoanalyseprogramms ausgewertet, um zu schauen, ob auch bei höheren Fallhöhen die Geschwindigkeit der Puppe konstant bleibt und sie nicht mit einer Geschwindigkeit von über 3 Metern pro Sekunde auf den Boden auftrifft.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Vorgehensweise	5
3. Theoretische Überlegungen	6
4. Versuche/Messungen	8
5. Abschlussdiskussion	16
6. Fazit	17
7. Anhang	18
7.1 Grafiken zu weiteren Messungen	18

1. Einleitung

Problemstellung:

Wie können Personen aus mehrstöckigen Gebäuden bzw. Hochhäusern in Gefahrensituationen wie z. B. Bränden möglichst effektiv evakuiert werden?

Bei unserer Suche nach einem Jugend forscht Projekt hatten wir anfangs viele komplizierte und verrückte Ideen, bis wir auf ein simples aber gravierendes Problem stießen. Was passiert, wenn in einem Hochhaus Feuer ausbricht oder ein Hochhaus aus anderen Gründen schnell evakuiert werden muss? Trotz der vielen vorgeschriebenen Sicherheitsvorkehrungen und Vorsichtsmaßnahmen stellt sich die Flucht aus einem Hochhaus als schwieriges Thema dar. Gründe dafür gibt es viele: die Feuerwehrlleiter reicht nicht bis an höhere Geschosse, Treppen würden z. B. durch Feuer blockiert, der Fahrstuhl funktioniert nicht. Und welche verheerenden Folgen das haben kann, sieht man zum Beispiel an den Anschlägen vom 11. September 2001 auf das World Trade Center.

Natürlich stießen wir bei unserer Recherche anschließend auf verschiedene Ansätze das Problem zu lösen. Ein deutsches Unternehmen hat z. B. einen Personenrettungsschlauch entwickelt, der durch eine Linksrotation und die daraus folgende erhöhte Reibung Personen aus dem Gefahrenbereich bringt¹. Doch diese Rettungsmöglichkeit scheint sich nicht wirklich durchgesetzt zu haben, man vertraut anscheinend lieber den herkömmlichen Maßnahmen zur Vermeidung und Eindämmung eines Brandes.

Unsere Idee ist es nun, einen **Rettungsschlauch** aus einem **Stretch-Stoff** mit folgenden Eigenschaften zu konzipieren:

- betroffene Personen sollen sich selbstständig retten können
- er ist einsetzbar in den höchsten Stockwerken eines Hochhauses
- er ist handlich und schnell zu benutzen
- er ist reiß- und feuerfest
- er bringt so viele Menschen wie möglich schnell in Sicherheit

Durch den Stretch-Stoff sollen die zu evakuierenden Personen „automatisch gebremst“ werden, wobei diese die Möglichkeit haben, die Geschwindigkeit durch Anwinkeln der Ellbogen zu beeinflussen.

¹ Über Mailverkehr mit der Firma haben wir erfahren, dass ein „Rettungsschlauch“ ohne Spirale im Markt vorwiegend aus asiatischer Fertigung verfügbar ist und dass sie ihr Prinzip der Spiralschlange für besser halten. Allerdings haben wir dazu trotz intensiver Recherche nichts finden können.

2. Vorgehensweise

Um zu schauen, ob unsere Idee realisierbar ist, haben wir einige Versuchsmodelle gebaut, um die Evakuierung nachzustellen und Messungen durchführen zu können. Zum einen brauchten wir dazu Schläuche und maßstabgetreue Puppen.

Der Schlauch:

Für den Schlauch haben wir einen elastischen und reißfesten Stoff benutzt. Um den effektivsten Rettungsschlauch zu finden, haben wir drei verschiedene Schlauchformen benutzt:

- Schlauchtyp A (gerade)
- Schlauchtyp B (Trichter)
- Schlauchtyp C (Kombination aus A und B)

Die Puppen:

Die Puppen sind einfache Schneiderpuppen mit einer Körpergröße von etwa 30 cm. Damit auch das Gewicht der Puppe im Verhältnis zur Körpergröße realistisch ist, haben wir sie zusätzlich mit Bleikugeln der Masse m beschwert. Dabei sind wir zunächst von einer mittleren Körpergröße von 170 cm bei einer Masse von 70 kg ausgegangen.

Rechnung:

Körpergröße Puppe	$x_P = 30 \text{ cm}$	Körpergröße Mensch	$x_M = 170 \text{ cm}$
Masse Mensch	$m_M = 70 \text{ kg}$	Masse Puppe	$m_P = 385 \text{ g}$

Der Maßstab der Puppe zum Menschen ist durch die Variable k beschrieben.

$$X_M = k * X_P \rightarrow k = \frac{X_M}{X_P} = \frac{17}{3} \qquad m_M = k^3 * m_P \rightarrow m_P = \frac{m_M}{k^3} = 385g$$

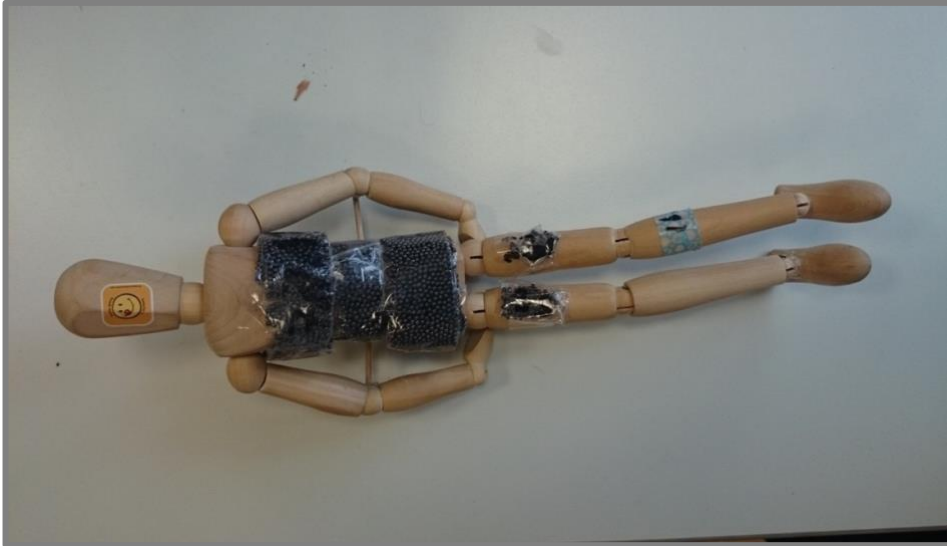


Abbildung 1: Die eingesetzte Holzpuppe

3. Theoretische Überlegungen

Wie viel der potenziellen Energie muss in Bremsenergie umgewandelt werden, sodass die Endgeschwindigkeit v_e der Puppe nicht größer als $v_e = 3,0 \text{ m/s}$ wird, damit sich die Personen beim Aufprall auf eine Weichbodenmatte am Ende des Rettungsschlauchs nicht verletzen?

$$W_{\text{pot}} = W_{\text{kin}} + W_{\text{brems}} \Rightarrow W_{\text{brems}} = m \cdot g \cdot h - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_e^2$$

m = Masse der Puppe

h = Höhe (vom Boden bis Schlauchanfang)

g = Ortsfaktor

v_e = Endgeschwindigkeit Puppe

Beispiel:

geg: $m = 0,378 \text{ kg}$

$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$h = 2,4 \text{ m}$

ges: W_{brems}

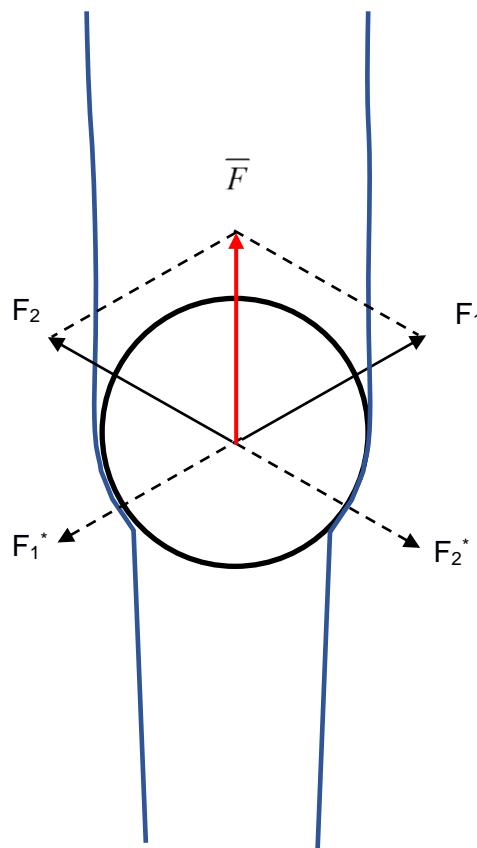
$$\begin{aligned} W_{\text{brems}} &= 0,378 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2,4 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 0,378 \text{ kg} \cdot \left(3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \\ &\approx 7,2 \text{ J} \end{aligned}$$

Es müssen also etwa 7,2 Joule (rund 81%) der potenziellen Energie in Bremsenergie (Wärme, Dehnungsenergie, ...) umgewandelt werden, damit die Puppe mit der gewünschten Geschwindigkeit den Rettungsschlauch verlässt.

Daraus ergibt sich eine mittlere Bremskraft von:

$$W_{\text{brems}} = \bar{F} \cdot h \Rightarrow \bar{F} = \frac{W_{\text{brems}}}{h} = \frac{7,2J}{2,4m} = 3N$$

Die mittlere Bremskraft kann mit Hilfe von Kraftvektoren wie folgt veranschaulicht werden (der Einfachheit halber ist hier die Puppe durch eine Kugel dargestellt):



$$\bar{F} = \frac{7,2J}{2,4m}$$

Abbildung 2: Kraftvektoren beim Fall der Person im Rettungsschlauch, schematisch

Die Kugel übt auf den Stoff die Actio-Kräfte F_1^* und F_2^* aus, wodurch nach Newton der Stoff auf die Kugel die Reactio-Kräfte F_1 und F_2 ausübt. Durch das Kräfteparallelogramm ergibt sich die resultierende Bremskraft \bar{F} . Diese sollte im Idealfall genau der Gewichtskraft F_G der Puppe (der zu rettenden Person) entsprechen, sodass sich eine gleichförmige Bewegung einstellt.

4. Versuche/Messungen

Versuch 1: Haltung der Puppe in dem Rettungsschlauch A

Versuchsaufbau

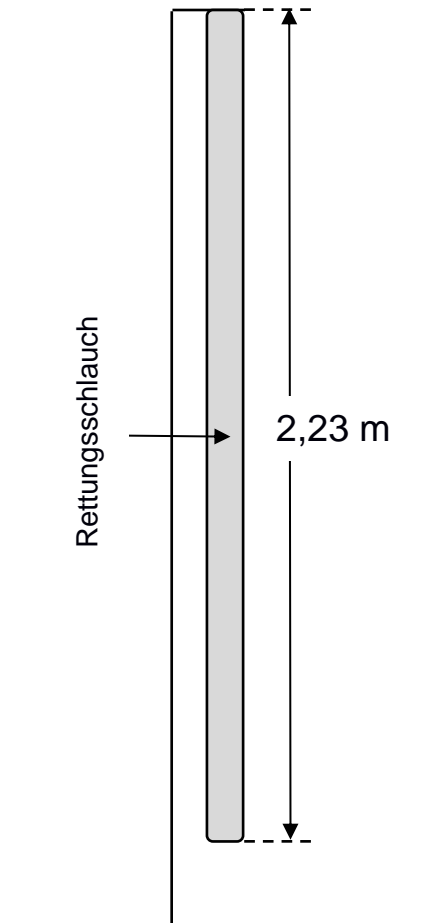


Abbildung 3: Versuchsapparatur, rechts schematisch

Zielsetzung

Dieser Versuch dient dazu, einen optimalen Abstand d der Ellenbogen zum Bauchnabel der Puppe zu finden, bei dem die Puppe langsam genug, aber trotzdem so schnell wie möglich, durch den Schlauch nach unten gelangt.

Materialien

Schneiderpuppe, Schlauchtyp A, Kamera, *Measure Dynamics*, Kartenhalter, Metermaß

Durchführung

Der 2,23 m lange Rettungsschlauch des Schlauchtyps A wird an den Kartenhalter angebracht, sodass er senkrecht nach unten hängt. Die Schneiderpuppe wird nun mit verschiedenen Abständen d von oben in den Schlauch geworfen. Der Vorgang des Rutschens nach unten wird gefilmt und anschließend mit dem Videoanalyseprogramm *Measure Dynamics* ausgewertet. Das wichtigste dabei ist die Beschleunigung der Schneiderpuppe, die im besten Fall 0 sein sollte.

Messungen

Es wird mit $d = 4$ cm, 5 cm, 5,5 cm und 6 cm gemessen. Dabei hat der Abstand $d = 5,5$ cm am besten abgeschnitten, da dort die Beschleunigung am geringsten ausfiel.



Abbildung 4: Versuchspuppe; die gezeigte Strecke d wird variiert

Auswertung

Der Durchmesser des Schlauchtyps A beträgt 6,18 cm.

$d = 4$ cm

Mit einem Armabstand von $d = 4$ cm kommt die Puppe durchschnittlich mit einer Geschwindigkeit von $v_E \approx 4,4$ m/s auf dem Boden auf, was viel zu schnell ist. Die mittlere Beschleunigung betrug etwa $a = 5,0$ m/s². Die Puppe wurde also nur wenig abgebremst. Somit ist der Abstand $d = 4$ cm in dem Rettungsschlauch A nicht geeignet.

$d = 5$ cm

Der Abstand $d = 5$ cm ergab einen besseren Wert von $v_e \approx 3,31$ m/s, der aber immer noch zu groß ist. Die Beschleunigung betrug $a \approx 3$ m/s². Damit ist dieser Abstand auch nicht geeignet.

$d = 5,5$ cm

Da der Armabstand von 4 cm und 5 cm nicht geeignet war, haben wir erneut mit $d = 5,5$ cm gemessen. Dieser Armabstand hat sich als effektiv erwiesen. Anhand des Graphen kann man erkennen, dass die Geschwindigkeit am Anfang nur minimal zunimmt ($a \approx 1$ m/s²) und die Puppe mit $v_e \approx 2,5$ m/s auf den Boden trifft, was unterhalb der geforderten 3 m/s liegt.

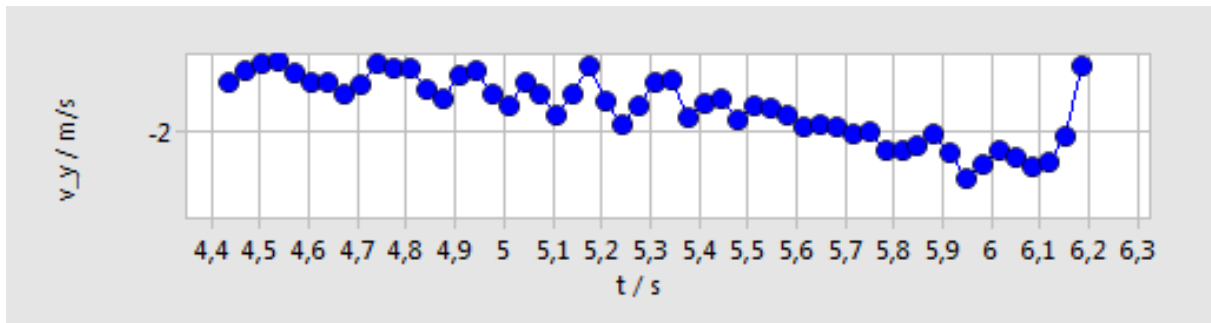


Abbildung 5: Messreihe mit zylindrischem Schlauch: Fallgeschwindigkeit im Verlauf des Experiments
(Die Ausschläge entstehen durch Analysefehler bei der manuellen Analyse.)

Da wir den effektivsten Rettungsschlauch finden wollten, mussten wir zusätzlich mit anderen Schlauchformen messen, um zu überprüfen, ob diese nicht eine bessere Evakuierung bieten könnten. Aus diesem Grund haben wir eine Messreihe mit einem kegelförmigen Schlauch durchgeführt (Schlauchtyp B).

Versuch 2: Haltung der Puppe im Rettungsschlauch B

Zielsetzung, Durchführung und Materialien

Siehe Versuch 1

Beschreibung des Schlauches

Der Schlauch wurde aus einem vereinfachten Kegelformnetz genäht.

$$h = 221 \text{ cm}$$

$$r_1 = 2,48 \text{ cm}$$

$$r_2 = 3,31 \text{ cm}$$

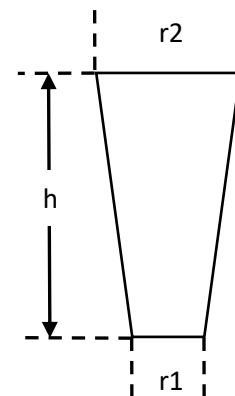


Abbildung 6: Form des zweiten Schlauches, schematisch

Messungen

Beim Rettungsschlauch B hat lediglich eine Messung mit dem Abstand $d = 4 \text{ cm}$ genügt, um Idealwerte zu erreichen.

Auswertung

Anhand des Diagramms kann man erkennen, dass die Geschwindigkeit der Puppe nach 2,4 s ihr Maximum erreicht. Sie beträgt dort $v = 3,58 \text{ m/s}$. Anschließend nimmt die Reibung durch die Verjüngung des Schlauches immer weiter zu und die Geschwindigkeit der Puppe nimmt so weit ab, dass sie am Ende bei einer Geschwindigkeit von nahezu $v_e = 0 \text{ m/s}$ ankommt. Die mittlere Beschleunigung beträgt etwa $a = 0,52 \text{ m/s}^2$. Kurz bevor die Puppe den

Schlauch verlässt, wird sie durch die Verjüngung am Ende des Schlauches so stark abgebremst und durch die Stretch-Fähigkeit des Schlauches für einige Sekunden nach oben bewegt, was den Ausschlag des Graphen über der Nullachse erklärt.

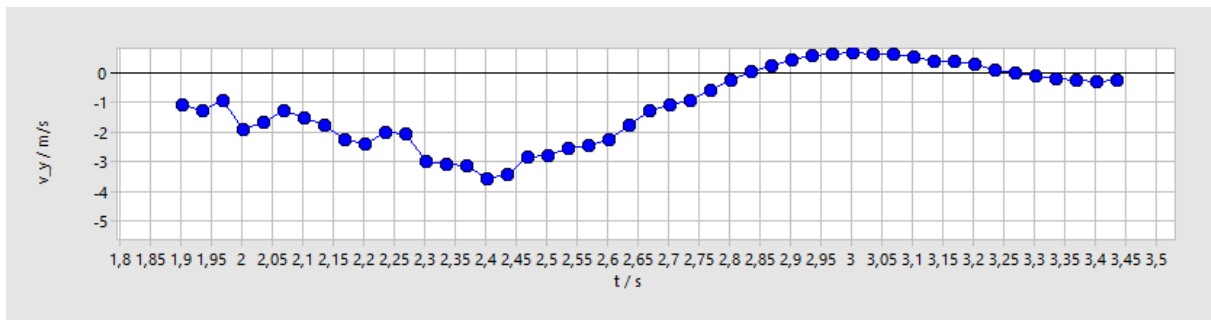


Abbildung 7: Messreihe mit Schlauch in Form eines Kegelstumpfs: Fallgeschwindigkeit im Verlauf des Experiments

Schlauchtyp B erwies sich als sehr effektiv, da die Puppe eine geringe mittlere Beschleunigung hat und mit einer ungefährlichen Geschwindigkeit auf dem Boden auftrifft. Da der Schlauchtyp allerdings aufgrund der vorgegebenen Verjüngung nur schlecht auf größere Fallhöhen angepasst werden kann, haben wir uns dazu entschlossen, eine Kombination von Schlauchtyp A und B zu verwenden und eventuell so den perfekten Rettungsschlauchtyp zu erhalten.

Versuch 3: Messungen mit Schlauchtyp A und B aneinandergenäh (Schlauchtyp C)

Beschreibung des Schlauches

$h = 4,5$ m, davon 2,21 m Schlauchtyp A und 2,31 m Schlauchtyp B

Zielsetzung

Dieser Versuch dient dazu, zu messen, ob die Geschwindigkeit der Puppe auch bei längeren Fallstrecken konstant bleibt und die Puppe aufgrund der Verjüngung von Schlauch B mit einer effektiven Aufprallgeschwindigkeit unten ankommt. Zudem soll herausgefunden werden, ob eine Kombination der Schläuche die Effektivität des Rettungsschlauches steigert.

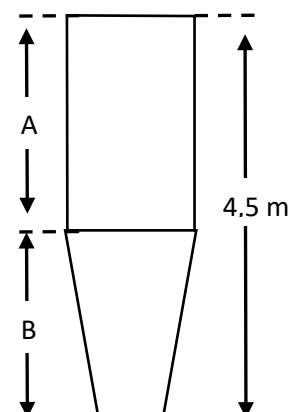


Abbildung 8: Kombination von zwei Schlauchtypen, schematisch

Messung

Es wird mit einem Armabstand von $d = 4 \text{ cm}$ gemessen, da der Armabstand sich bei den Messungen von Schlauchtyp B als am besten erwiesen hat.

Auswertung

Anhand der Grafik kann man erkennen, dass die Geschwindigkeit erst leicht zunimmt, da die Bremskraft des Schlauchtyp A nicht groß genug ist, um die Puppe abzubremesen. Durch die Verjüngung von Schlauchtyp B nimmt die Reibung und somit auch die Bremskraft später aber zu und die Puppe wird so gebremst, dass sie mit nahezu 0 m/s den Schlauch verlässt. Aus dieser Messreihe kann man jetzt erschließen, dass der Schlauchtyp C am effektivsten für längere Fallstrecken ist, da die Puppe durch die Kombination aus Schlauchtyp A und B nur eine Geschwindigkeit erreicht, die später auch tatsächlich noch abgebremst werden kann.

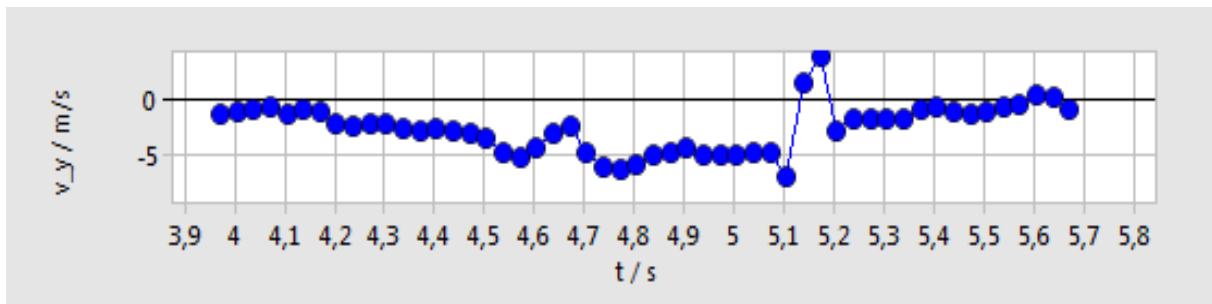


Abbildung 9: Messreihe mit Kombinationsschlauch: Fallgeschwindigkeit im Verlauf des Experiments

Nachdem wir eine nahezu perfekte Form des Rettungsschlauches gefunden haben, wollten wir unsere Messungen nun noch weiter ausdehnen. Da wir der Höhe eines Hochhauses näherkommen wollten, mussten wir die Fallhöhe der Puppe also weiter steigern. Dazu wurde ein neuer Rettungsschlauch mit der Kombination von Schlauchtyp A und B genäht, der uns als Abschlussversuch dienen sollte. Entschieden haben wir uns für eine Länge von insgesamt $8,5 \text{ m}$, da dies der höchstgelegene Platz an unserer Schule war, an dem wir auch messen konnten. Dieses Modell von $8,5 \text{ m}$ entspricht in der Realität einer Höhe von etwa 48 m .

Versuch 4: Abschlussversuch mit einer Schlauchlänge von $8,5 \text{ m}$ vom Schlauchtyp C

Zielsetzung

Dieser Versuch dient als finaler Test. Durch die Kombination von Schlauchtyp A und Schlauchtyp B und der erhöhten Fallhöhe soll dieser Versuch die Erkenntnisse liefern, ob die Idee des Rettungsschlauches realisierbar ist.

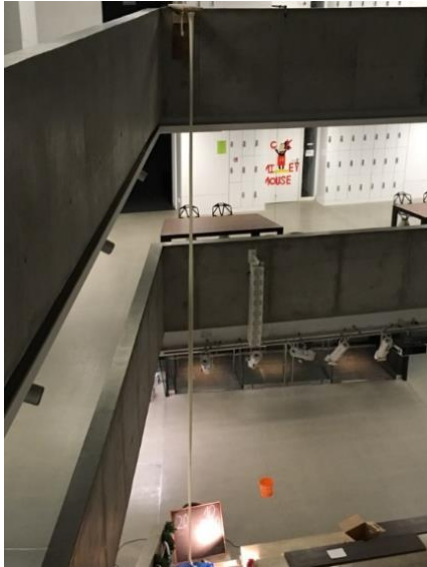


Foto 1: Versuchsschlauch im Schulgebäude



Foto 2: Befestigung des Versuchsschlauchs

Materialien

Rettungsschlauch der Länge 8,5 m (davon 2,2 m Schlauchtyp B und 6,3 m Schlauchtyp A), Videokamera, Einstiegsgerüst, *Measure Dynamics*, Puppe mit verschiedenen Gewichten und LED-Lampe (siehe Foto 3).

Durchführung

Zuallererst mussten wir einen geeigneten Platz in unserer Schule finden, an dem wir die Messungen durchführen konnten. Der Platz musste hoch genug sein (9,5 m, da sich der Schlauch ausdehnt), um den Schlauch dort senkrecht aufhängen zu können und genug Freiraum für den Schlauch bieten, damit er nicht gegen mögliche Wände oder Hindernisse schlägt (siehe Foto 1). Um genügend Abstand zwischen dem Schlauch und der Wand zu gewährleisten, haben wir einen Ausleger entworfen. Dieser wurde in der Kooperation mit einer Realschulklasse im WPU-Unterricht in der Holzwerkstatt gebaut (siehe Foto 2).

Außerdem wollten wir untersuchen, ob der Rettungsschlauch auch für verschieden schwere Personen mit verschiedenen Schulterbreiten einsetzbar ist. Dazu haben wir die Puppe maßstabsgetreu für die Personengewichte von 50 bis 120 kg mit Bleikügelchen beschwert (siehe Rechnung unter Vorgehensweise und folgende Tabelle). Der Fall der Puppe wird wie gehabt gefilmt und mit Hilfe von *Measure Dynamics* analysiert. Allerdings wurde der Puppe eine LED-Lampe auf die Brust gesetzt, damit man den Fall der Puppe innerhalb des Schlauches besser erkennt (siehe Foto 3: Puppe mit einem Gewicht von 0,648 kg und LED-Lampe).



Foto 3: Versuchspuppe mit Zusatzgewicht

Messungen

Es wird mit den Schulterbreiten (Schulterende bis Bauchnabel/entspricht Armabstand) $d = 4 \text{ cm}$, 5 cm und 6 cm gemessen. Jeder der Schulterbreiten wird mit jedem der in der Tabelle genannten Gewichte gemessen. Insgesamt wurden also 24 Messungen benötigt.

Gewicht Person	Gewicht Puppe
50 kg	270 g
60 kg	324 g
70 kg	378 g
80 kg	432 g
90 kg	486 g
100 kg	540 g
110 kg	594 g
120 kg	0,648 kg

Auswertung

Die **Schulterbreite $d = 6 \text{ cm}$** erwies sich bei allen Gewichten als zu groß, da die Puppe im Schlauch stecken blieb.

Die **Schulterbreite $d = 5 \text{ cm}$** konnte erst ab einem Gewicht von 432 g ($\hat{=} 80 \text{ kg}$) eingesetzt werden, da die Puppe bei geringeren Gewichten ebenfalls stecken blieb. Die Geschwindigkeit der Puppe erreichte allerdings schon bei dem Gewicht von 432 g einen Wert von $v_e \approx 5 \text{ m/s}$, blieb dann bei dem Gewicht von 486 g relativ konstant. Mit einem Gewicht von 594 g , was 110 kg entspricht, betrug die Geschwindigkeit schon $v_e \approx 7 \text{ m/s}$. Daraus kann man schließen, dass der Armabstand $d = 5 \text{ cm}$ nur für Gewichte zwischen 378 g und 432 g geeignet ist (70 kg bis 80 kg). Wir haben allerdings vor diese Messreihe aufgrund einiger Messfehler bis zum nächsten Wettbewerb zu wiederholen.

Die **Schulterbreite von $d = 4 \text{ cm}$** konnte nur bis zu einem Gewicht von 378 g ($\hat{=} 70 \text{ kg}$) verwendet werden, da die Puppe schon ab dem Gewicht von 432 g eine Geschwindigkeit beim Aufprall von ca. 7 m/s hatte. Bei den Gewichten von 270 g bis 378 g erwies sich der Armabstand allerdings als sehr effektiv, da die Puppe mit weniger als 3 m/s auftraf.

Bei einigen Werten kommt es zu starken Unterschieden und Differenzen, was an kleinen Mess- und Auswertungsfehlern liegen könnte. Auch spielt die exakte Haltung der Puppe innerhalb des Schlauches eine große Rolle, da schon kleine Änderungen die Bremskraft erhöhen oder vermindern können (Beispiel: Puppe rutscht etwas schräg durch den Schlauch).

Anhand des folgenden Graphen kann man die Fallgeschwindigkeit der Puppen abhängig von den Gewichten und Armabständen erkennen. Die grüne Linie stellt den Maximalwert dar, mit der die Puppe auftreffen darf. Erkennbar werden dadurch die Bereiche, in denen die Armabstände mit den jeweiligen Gewichten verwendet werden können.

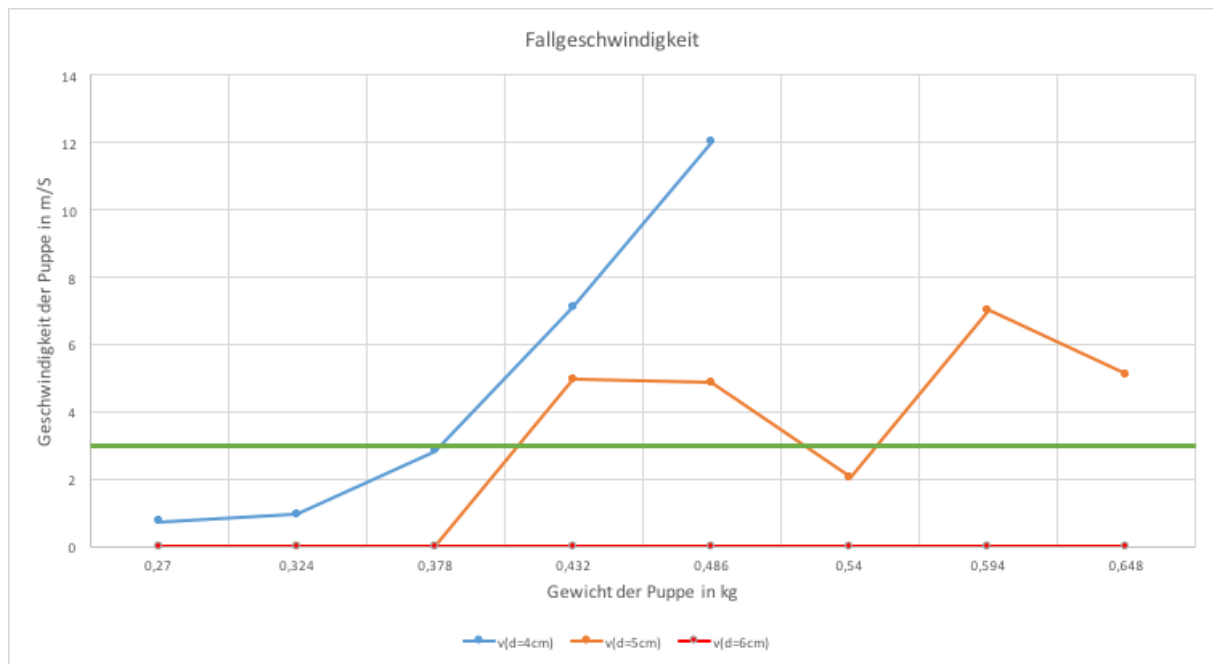


Abbildung 10: Fallgeschwindigkeit der Puppe in Abhängigkeit von Gewicht und Armabstand. Die grüne Linie zeigt den angestrebten Wert

Zusammenfassend kann man also sagen, dass Personen mit einem größeren Körpergewicht auch eine größere Bremskraft benötigen, um die Gewichtskraft auszugleichen und mit einer ungefährlichen Geschwindigkeit auf den Boden aufzukommen. Ändern die Personen also ihrem Gewicht entsprechend ihren Armabstand, kann unser Rettungsschlauch verwendet werden. Möglich wäre es auch, einen weiteren Rettungsschlauch für besonders schwere Personen zu konzipieren, der neben dem normalen Schlauchmodell verwendet werden kann und diese stärker abbremst.

Nachbetrachtungen zum Versuchsaufbau

Es hat sich gezeigt, dass die Versuchsdurchführung doch sehr komplex war und wir es mit vielen Nebeneffekten zu tun hatten, die wir so vorher nicht erwartet hatten:

1. Die Puppe wurde manchmal zusätzlich durch die Naht im Übergang von Typ A zu Typ B gebremst, mit der die beiden Schlauchtypen aneinandergenäht wurden, da diese nicht dehnbar ist (oder ein Fuß verhakte sich dort).
2. Teilweise hat sich die Hüfte der Puppe etwas durchgebogen, sodass die Puppe schräg durchgerutscht ist.
3. Die Videos waren teilweise schwer auszuwerten, da man die Puppe aufgrund von Drehungen innerhalb des Schlauches nicht immer richtig erkennen konnte.
4. Die Puppe ist teilweise so schnell aufgeschlagen, dass sie trotz Styroporkiste beschädigt wurde (zersplittertes Bein, verllorener Fuß).

Teile der Probleme konnten wir in den Griff bekommen (bessere Auffangkiste ...), andere auch in Anbetracht der fehlenden Zeit aber dagegen nicht (Übergänge zwischen Typ A und B ...).

5. Abschlussdiskussion

Beständigkeit des Stoffes und Form des Rettungsschlauchs

Da der Stoff vermutlich hauptsächlich in Fällen eines Brandes eingesetzt werden würde, müssten noch weitere Messreihen durchgeführt werden, um die Hitzebeständigkeit des Stoffes zu testen. Es müsste ein Stoff verwendet werden der schwer entzündbar ist, gleichzeitig aber auch anderen Witterungen, wie Regen oder Frost standhalten kann, ohne seine Qualität zu verlieren. Auch sind wir fest davon überzeugt, dass man durch weitere Experimente eine noch bessere Form für den Rettungsschlauch finden kann, eventuell eine Mehrfachkombination aus Zylinder- und Kegelstumpfformen.

Hitzeentstehung durch Reibung

Um den Rettungsschlauch einsetzen zu können, wäre es zusätzlich notwendig ein Mittel gegen Verbrennungen, die beim Rutschen entstehen können, zu finden. Die kinetische Energie wird größtenteils in Wärmeenergie umgewandelt, was auf der menschlichen Haut zu Verbrennungen führt. Theoretische Überlegungen führten zu einer Art Gel, das man an der Innenseite des Schlauches verteilen würde. Um genaueres in Erfahrung zu bringen, würden wir gerne einige Messungen mit einer Wärmebildkamera durchführen.

Selbststeuerung der Personen

Da in unserem Rettungsschlauch die Bremskraft stark von den Armabständen abhängt, kommt es dazu, dass die Personen innerhalb des Schlauches ihren Fall teilweise selber steuern müssen. Sie müssen, je nach ihrem Gewicht und ihrer Körpergröße, selber einen gewissen Druck gegen den Stoff der Rettungsrutsche erzeugen (Armabstand erhöhen), um nicht zu schnell auf dem Boden aufzutreffen. Das Verhalten von Menschen in Panik hat auf unsere Rettungsrutsche also einen gewissen Einfluss, da die Personen sich eventuell in der Röhre nicht kontrollieren können und so zwei Personen, die sich gleichzeitig im Schlauch befinden, aufeinandertreffen könnten. Schwierig könnte die Selbststeuerung innerhalb des Schlauches auch für Personen mit Mobilitätseinschränkung sein, da diese möglicherweise nicht über die Fähigkeit verfügen ihren Armabstand anzupassen.

Ausstiegs- und Einstiegsmöglichkeiten

Damit so viele Menschen so schnell wie möglich evakuiert werden können, benötigt der Rettungsschlauch eine Ausstiegsmöglichkeit, die die Personen so auffängt und weiterleitet, dass sie den Ausgang des Schlauches nicht blockieren und schnellstmöglich aus dem Aus-

gangsbereich gelangen. Am effektivsten wäre es, wenn die Ausstiegsmöglichkeit gleichzeitig Personen auffangen könnte, falls diese mit einer erhöhten Geschwindigkeit aus dem Rettungsschlauch austreten sollten. Konstruiert werden müsste ebenfalls eine Einstiegsmöglichkeit, die so platzsparend wie möglich ist. Zudem sollte sie so aufgebaut sein, dass die Personen eigenständig den Rettungsschlauch verwenden können. Beispielsweise könnte eine Art Balkon mit Bodenklappe als Einstiegsmöglichkeit verwendet werden.

Anwendungen

Der Rettungsschlauch könnte in vielen Bereichen eine Anwendung finden. Natürlich bietet er sich besonders für Hochhäuser und höhere Gebäude an, könnte aber auch in der Schifffahrt verwendet werden, wenn zum Beispiel Personen aus Kreuzfahrtschiffen evakuiert werden müssen.

Übertragbarkeit

Gerne hätten wir auch einen Rettungsschlauch im Maßstab 1:1 gebaut, um zu untersuchen, ob unsere Ergebnisse in Modellgröße auch tatsächlich übertragbar sind. Dies ist allerdings an der Zeit, dem Budget und auch an unserem Projektbetreuer gescheitert, der uns niemals in einen Rettungsschlauch hätte springen lassen.

Vergleich unseres Rettungsschlauches mit anderen Rettungsschlauchsystemen

Nach einiger Recherche sind wir, wie in der Einleitung bereits erwähnt, auf ein Rettungsschlauchsystem gestoßen, das Personen über Drehung evakuiert, ähnlich einer Rutsche. In der Nachbetrachtung können wir nun sagen, dass, wenn unser Schlauch in der Praxis umgesetzt werden kann, er schneller evakuieren könnte und auch platz- und materialsparender ist als der Rettungsschlauch des deutschen Unternehmens. Allerdings konnten sie das Problem der unterschiedlichen menschlichen Staturen bereits lösen, da die Personen sich in ihrem System nicht selber steuern müssen.

6. Fazit

Zusammenfassend kann man zu unserem Rettungsschlauch sagen, dass er theoretisch für die Evakuierung von Hochhäusern geeignet ist. Wir konnten in jeder der Messreihen Werte der Aufprallgeschwindigkeit messen, die für einen Menschen ungefährlich wären und wir sind sicher, dass das auch noch auf größere Fallhöhen übertragbar wäre. Zudem konnten wir durch das Variieren der Schulterbreiten den Rettungsschlauch auch für verschiedene Personengewichte nutzbar machen. Um den Schlauch allerdings wirklich in der Praxis einsetzen zu können, wären natürlich noch einige weitere Messreihen und Überlegungen nötig.

7. Anhang

7.1 Grafiken zu weiteren Messungen

Grafik zu Versuch 1 Schlauchtyp A $d = 4\text{cm}$

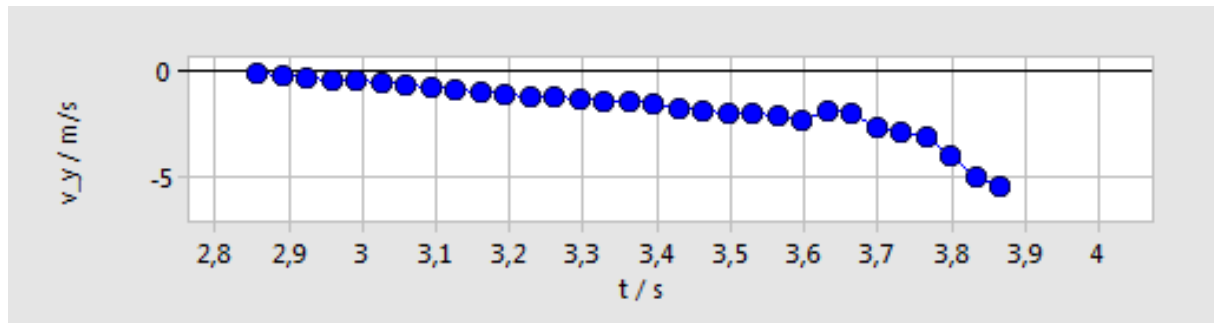


Abbildung 11: Messreihe mit zylindrischem Schlauch und Armabstand von 4 cm:
Fallgeschwindigkeit im Verlauf des Experiments

Grafik zu Versuch 1 Schlauchtyp A $d = 5\text{cm}$

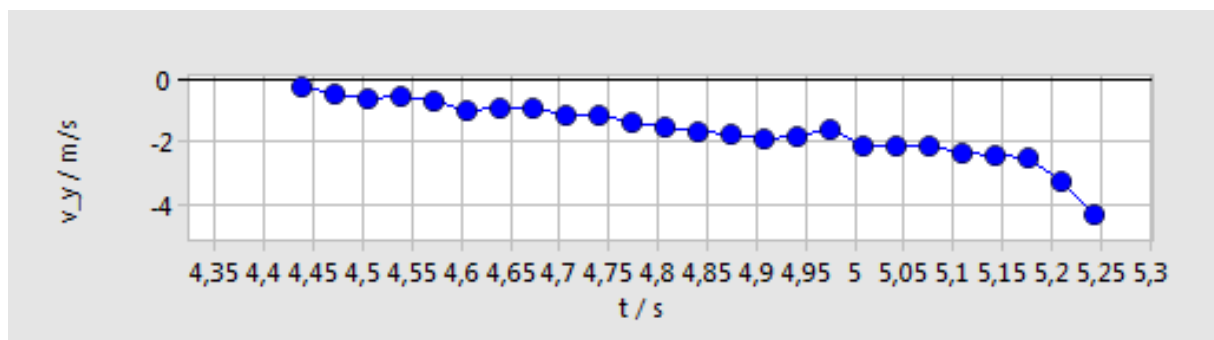


Abbildung 12: Messreihe mit zylindrischem Schlauch und Armabstand von r cm:
Fallgeschwindigkeit im Verlauf des Experiments

Persönliche Unterstützung:

Matthias Haxel, Jugend forscht Betreuer