



Frederic Folz* 1994
Überherrn

Schule:
Max-Planck-Gymnasium Saarlouis
Saarlouis

Eingang der Arbeit:
Oktober 2008

Zur Veröffentlichung angenommen:
Dezember 2008

Gebäude im Tsunamistrudel

Modellversuche zu Tsunami-tauglichen Hausformen

In einem selbstgebauten Wellenbecken habe ich Modell-Tsunamis ausgelöst und untersucht, welche Auswirkungen die anrollende Welle auf verschiedene Häuser am Ufer hat. Kraftmessungen zeigten klare Unterschiede für verschiedene Gebäudemodelle.

1. Einleitung

1.1 Der Tsunami von 2004

Am 26.12.2004 um 7:58 Uhr Ortszeit erschütterte ein Seebeben der Stärke 9,3 im Indischen Ozean (zweitstärkstes je gemessenes Beben) die Küste von Sumatra. Ausgelöst durch dieses Seebeben raste ein Tsunami (japanisch für „Hafenwelle“) mit über 800 km/h unbemerkt auf die Küsten von Indonesien/Sumatra, Sri Lanka, Indien, Thailand, Myanmar, Malediven, Malaysia und Bangladesch (die Länder, die am meisten betroffen waren) zu. Auf dem offenen Meer besaß die Welle lediglich eine Höhe von 30 Zentimeter, verdrängte jedoch 100 Milliarden Tonnen Wasser. Am Ufer erreichte sie schließlich ihre volle Höhe, nämlich 7 Meter.

Vor Sumatra hob sich der Meeresboden abrupt auf einer Länge von 500

Kilometern um ca. 20 Meter. Der Tsunami setzte die unglaubliche Energie von 32 Gigatonnen TNT frei. Mindestens 231.000 Menschen fanden auf tragische Weise den Tod. Vor diesem großen Ereignis kannte kaum jemand die Gefahr, die von einem Tsunami ausgeht. Erst durch den Presserummel um den „Tsunami von Sumatra“ wurde die Gefährlichkeit der Tsunami der Weltöffentlichkeit publik. Gerade ein Jahr zuvor hatten die Regierungen der betroffenen Regionen ein Tsunami-Frühwarnsystem abgelehnt! Tausende Menschen hätten gerettet werden können. Aufgrund eines fehlenden Frühwarnsystems (FWS) hat die deutsche Regierung 2005 ein FWS in Auftrag gegeben. Dieses ist bereits fertig gestellt und in Betrieb.

1.2 Meine Projektidee

Die Idee für mein Projekt bekam ich bei einer Recherche im Internet auf der Sei-

te www.schulphysik.de. Hier ging es um Tsunami. Ich stellte mir die Aufgabe, diese unglaubliche Naturgewalt in einem Modell nachzuvollziehen.

Dafür baute ich ein Plexiglas-Becken und untersuchte, welche Kräfte bei einem Tsunami auftreten und in welcher Form und Bauweise Gebäude errichtet werden müssen, um möglichst widerstandsfähig zu sein.

1.3 Ein Tsunami - Was ist das überhaupt?

Grob gesagt ist ein Tsunami eine sich schnell ausbreitende „Wasserbewegung“, vergleichbar mit einer Woge, die auf offener See kaum bemerkt wird, an Küsten jedoch arge Verwüstung hervorruft. Bei einem Tsunami bewegt sich im Gegensatz zur Windwelle das „komplette Meer“. Selbst kurz über dem tiefen Meeresboden sind die Wassermassen noch

in Bewegung. Bei einer Windwelle wird durch Winddruck nur das Oberflächenwasser bewegt.

Tsunami sind Schwerewellen, d. h. Transversalwellen. Es findet somit kein effektiver Materietransport in Ausbreitungsrichtung statt. Wie alle Schwerewellen zeigen sie jedoch lokale, horizontale Ausgleichsströmungen, insbesondere in Ufernähe, wo die Wellenamplitude in der Größenordnung der Wassertiefe liegt. Man kann zwei verschiedene „Wellentypen“ von Tsunami unterscheiden. Bei dem ersten Typ, der sogenannten „Bergwelle“ erreicht zuerst der Wellenberg die Küste. Das heißt, dass keine Vorwarnung in Form eines Zurückweichens des Meeres sichtbar ist. Der zweite Typ ist die „Talwelle“. Im Gegensatz zur „Bergwelle“ trifft zuerst das Wellental auf die Küste. Nähert sich nun das Wellental dem Land, fließt Wasser vom Strand in das Wellental. Dadurch wird der Strand oft großflächig trockengelegt. Deshalb ist diese Wellenart dementsprechend „günstiger“ für die Betroffenen, da sich bei ihr der Tsunami durch das Zurückweichen des Wassers ankündigt und man sich so rechtzeitig in Sicherheit bringen kann. Ein Tsunami entsteht bei einer abrupten und starken Verdrängung einer großen Masse Wasser (siehe Abb. 1). Sie kann verschiedene Ursachen haben:

- Seebeben (86 % aller Tsunami)
- Vulkanausbruch sowohl auf dem Meeresboden als auch auf dem Land. Hierbei werden große Gesteinsmassen in Bewegung gesetzt und rutschen oder stürzen ins Meer.
- Meteoriten, diese sind jedoch sehr selten, da die Wahrscheinlichkeit eines Einschlages entsprechender Größe äußerst gering ist.

Nachdem also der Grundstein für den Tsunami gelegt wurde, nämlich die enorme Wasserverdrängung, breitet sich die „Welle“ kreisförmig mit etwa 700 bis 800 km/h nach allen Seiten aus, entweder mit dem Wellenberg oder Wellental voraus (siehe Abb. 1).

Beim Auftreffen auf die Küste baut sich der Tsunami schnell von weniger als einem Meter bis zu über 6-10 Meter (im Normalfall) auf. Der höchste je gemessene Tsunami trat 1958 an der Südküste Alaskas auf und erreichte eine Höhe von 526 Metern.

Bei einem Meteoriteneinschlag kann die Amplitude ebenfalls mehr als 500 Meter betragen.

1.4 Geschwindigkeit eines Tsunami

Bei der Geschwindigkeitsberechnung von Tsunamis unterscheidet man drei verschiedene Bereiche:

- den Tiefwasserbereich

$$\frac{h}{\lambda} > 0,5$$

- den Flachwasserbereich

$$\frac{h}{\lambda} < 0,05$$

- den Übergangsbereich

$$0,05 < \frac{h}{\lambda} < 0,5$$

wobei h die Wassertiefe und λ die Wellenlänge des Tsunami ist. Die Geschwindigkeit berechnet man für jeden Bereich mit einer anderen Formel. Für den Tiefwasserbereich gilt:

$$v = \frac{gT}{2\pi} \quad (1)$$

Für den Flachwasserbereich gilt:

$$v = \sqrt{gh} \quad (2)$$

Auf offenem Meer erreicht ein Tsunami oft eine Geschwindigkeit von mehr als 700 km/h. Im Flachwasser wird ein Tsunami enorm abgebremst.

Die Menge des im Bebenzentrum verdrängten und in der Welle hin und her, hinauf und hinunter bewegten Wassers bleibt, abgesehen von Reibungsverlusten, so lange erhalten, bis alles an den Küsten in Zerstörung umgesetzt ist. Wenn die Welle bei Annäherung an die Küste langsamer wird, werden benachbarte

Wellenberge enger zusammen gedrängt, und die Welle wird höher, damit die anfangs verdrängte Wassermenge in der Bewegung erhalten bleibt. Wenn die Welle langsamer wird, wird ihre Wellenlänge kürzer. Die Frequenz erhöht sich. Für eine Wellenlänge von 100.000 m und einer Periodendauer von 450 s ergibt sich:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\text{Wellenlänge}}{\text{Periodendauer}} = \frac{100\text{km}}{450\text{s}} = 0,22 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Man beobachtet, dass λ konstant bleibt, also vermindert sich wenn v kleiner wird. Damit die gleiche Menge potentielle Energie im Wellenberg enthalten ist wie in einer Welle mit langer Wellenlänge, muss der Wellenberg höher sein. Wegen der Massenerhaltung wird kinetische Energie in potentielle Energie umgewandelt.

An der Küste werden aus den sehr flachen Wellenbergen der Tiefsee recht hohe Wellenberge. Die Zeit zwischen zwei anlaufenden Wellenbergen unterscheidet sich kaum zwischen Tiefsee und Küste. Um die Endgeschwindigkeit des Tsunami zu berechnen, hilft die Formel für den Flachwasserbereich. Bei einer angenommenen Wassertiefe von 10 m ergibt dies eine Geschwindigkeit von 9,9 m/s also 36 km/h.

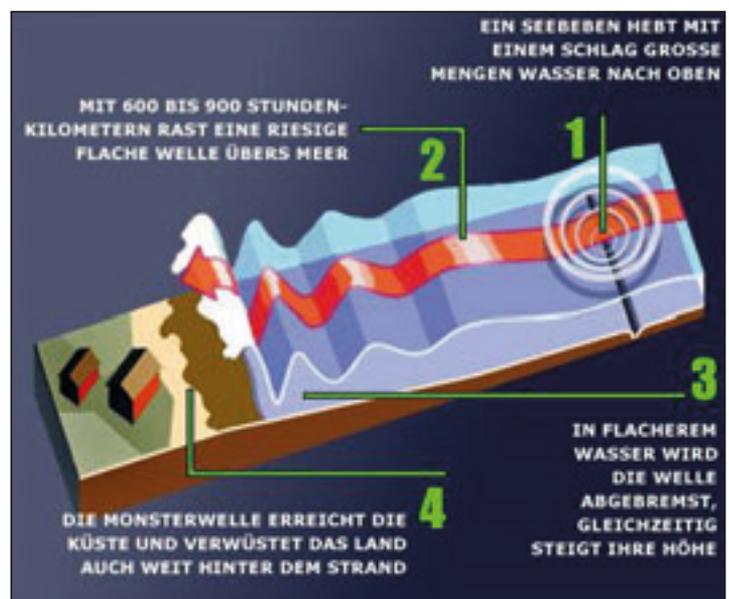


Abb. 1: Die Entwicklung eines Tsunami - beginnend mit dem Auslöser und endend mit katastrophalen Schäden (Quelle: Spiegel online)



Abb. 2: Eine erste Version des Wellenerzeugers: Eine Exzenterwelle - von einem Elektromotor in Drehung versetzt - hebt und senkt eine Plexiglasplatte



Abb. 3: Montage des Elektromotors auf der blauen Plexiglasplatte und Verbindung der Antriebswelle mit dem Exzenter



Abb. 4: Ursprünglich wurde ein Lufteinzugsrohr zum Ausgleich des Druckes unter dem sich auf und ab bewegenden Kolben installiert

2. Versuchsaufbau und Methodik

2.1 Das Testbecken

Das Testbecken besteht aus Plexiglas und hat die Maße 160 cm x 30 cm x 25 cm. Für mein Vorhaben konnte ich die Firma „Plexiglas Müller“ aus Hüttersdorf gewinnen, die mir das „Tsunami-Becken“ zu einem stark ermäßigten Preis anfertigte. Die Welle wird durch eine Platte am Boden des Beckens, die von einem „Motor-Exzenter-System“ ruckartig auf und ab bewegt wird, angetrieben.

Mein Ziel war es nicht, das Modell maßstabgetreu darzustellen, da die Versuche durch einen angenommenen Maßstab 1:30.000 nicht mehr veranschaulicht werden können. Dieser Maßstab leitet sich von der Wassertiefe meines Beckens bezogen auf die echte Meerestiefe ab. Bei diesem Maßstab dürften meine Wellen höchstens 0,3 mm Höhe erreichen. Dies wäre nicht sinnvoll messbar und würde keine Effekte am Ufer erzeugen.

2.2 Erzeugung des „Miniatur-Tsunami“

Eines der größten Probleme meines Projektes war die maschinelle Erzeugung

einer Welle. Wie kann man den Tsunami möglichst realitätsnah simulieren?

Zur Auslösung einer Tsunami-Welle baute ich einen Exzenter, der von einem Elektromotor mit Untersetzungsgetriebe (Drehmoment: 5,39 Nm) angetrieben wird und eine Platte auf dem Boden anhebt bzw. absenkt. Diese Bewegung der Platte erzeugt die benötigte Wasserverdrängung.

Um den Exzenter mit dem Elektromotor zu verbinden, wurde in die Stirnseite der Exzenterwelle ein Loch mit 6 mm Durchmesser gebohrt. Dies entspricht dem Durchmesser der Antriebswelle des Motors.

Um ein Nachfließen des Wassers zu verhindern, wurde eine Plexiglasscheibe mit der Breite der Platte eingesetzt.

Nach dem ersten Test des Exzenters stellte ich folgendes fest: Da er durch die Trennwand wie ein Kolben wirkt, erzeugt er unter sich ein Vakuum, und das Wasser kann an den Seiten nicht schnell genug nachlaufen.

Ich verwendete ein gewinkeltes Rohr als „Lufteinzug“ zum Druckausgleich (siehe Abb. 4). Als nächstes bohrte ich ein

passendes Loch in die Vorderseite des Plexiglasbeckens und klebte das Rohr mit Silikon wasserdicht ab. Beim nächsten Test stellte ich fest, dass das Rohr nicht den gewünschten Effekt zeigte. Das im Rohr angesammelte Wasser und die darüber liegende Luft konnten nicht schnell genug angesaugt werden. Auch ein ovales Loch in der Trennwand brachte nicht das gewünschte Ergebnis. Bei weiteren Testreihen fiel mir eine weitere Schwäche der Trennwand auf. Der Antriebskolben des Exzenters verkantete leicht. Aufgrund dieser Erkenntnis entschied ich mich dafür, die Trennwand zu entfernen. Dies löste die Probleme. Es wurde kein Vakuum mehr erzeugt und der Kolben hatte genug Freiraum, so dass er sich nicht mehr verkantete. Um mehr Wasser zu verdrängen, wurde der Kolben vergrößert.

2.3 Kraftmessung

Die Kraft der Welle wirkt horizontal auf die Modell-Gebäude. Zunächst verwendete ich eine digitale Küchenwaage. Dazu bohrte ich ein Loch in die Plexiglaswand, durch das ein dünner Bolzen, welcher mit den Häusern verbunden ist, in Richtung Waage geführt wird. Dazu steht die Waage schräg dahinter. Wenn nun eine Welle das Modell-Haus nach hinten drückt, schiebt sie automatisch auch den Bolzen gegen die Waage. Die digitale Waage zeigt in Schrägstellung nichts an, deshalb musste sie waagrecht positioniert werden.

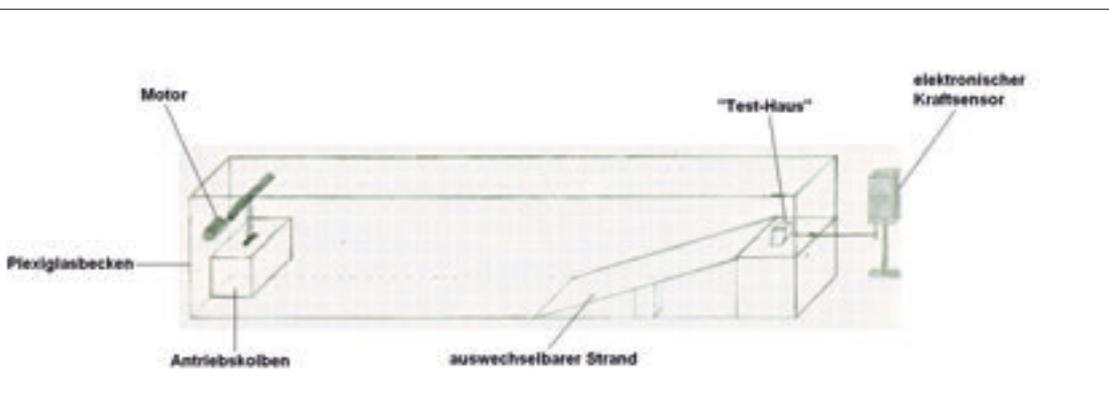


Abb. 5: Skizze der gesamten Versuchseinrichtung



Abb. 6: Bei den ersten Versuchen benutzte ich eine digitale Küchenwaage zur Messung der auftretenden Kräfte. Zu sehen ist der Ablauf der Messung

Daraus ergab sich nun folgendes Problem: Wie wandle ich die horizontale in eine vertikale und damit messbare Kraft um?

Die Lösung war eine Welle aus Stahl mit zwei gleich langen Auslegern, die in einem Stahlgerüst gelagert ist. Der bewegte Bolzen drückt jetzt auf den oberen Ausleger. So wird die Welle in eine Drehbewegung versetzt und der untere Ausleger drückt schließlich auf die Waage. Die Waage zeigt nun in festen Zeitabständen die einwirkende Kraft an.

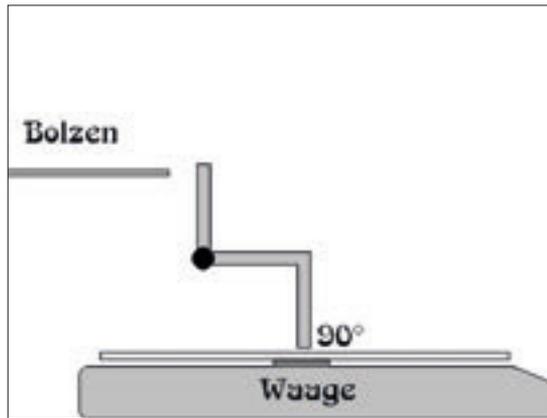


Abb. 7: Abgebildet ist eine Skizze der verbesserten Messapparatur. Die Winkel des Kraftübertragungsbolzens betragen 90°

Nachteil: Bei der Anwendung einer mechanischen Vorrichtung treten Reibungsverluste auf. Das Messergebnis wird auch dadurch verfälscht, dass der Winkel des unteren Auslegers auf die Waage nicht 90° beträgt.

Lösungsvorschlag: Die Reibung muss durch Schmierung auf ein Minimum reduziert werden. Um die Unzulänglichkeit der Winkel zu beseitigen, müsste man den Winkel des Auslegers so verändern, dass er 90° beträgt. Nach einer kurzen Bedenkzeit entwickelte ich die in Abb. 7 dargestellte Konstruktion.

Nun gab es folgendes Problem: Die Waage zeigte den gemessenen Wert nur einen kurzen Moment an und misst nur alle zwei Sekunden. Um diese Hürde zu meistern, müsste man sich eine digitale

Waage mit Speicherfunktion anschaffen, die mehrmals pro Sekunde misst.

Doch auf Anregung meines Betreuungslehrers entschloss ich mich, ein elektronisches Messwerterfassungssystem zu verwenden, welches mir meine Schule zur Verfügung stellte. An Stelle des Umlenkhebels und der Waage kam ein Kraftsensor zum Einsatz, der auf ihn einwirkende Kräfte in elektrische Spannungen umwandelt.

Diese werden durch ein angeschlossenes Gerät aufbereitet und an einen Computer geschickt. Somit konnte ich nun nicht nur sehr präzise die auf die Häuser wirkenden Kräfte messen, sondern sogar noch deren zeitlichen Verlauf beim Einlaufen und beim Zurücklaufen der Welle ermitteln und graphisch darstellen (siehe auch Abb. 8). Ein Ausschlag nach oben auf dem Diagramm ist der Zugkraft zugeordnet und ein Ausschlag nach unten ist der Druckkraft zugeordnet. Der Kraftsensor hat einen Messbereich von 0 ... +10N, eine Auflösung von 0,01 N und eine Abtastrate von 100 ms. Er ist von der Firma Windaus Labortechnik.

3 Berechnungen verschiedener Faktoren der Welle

3.1 Wasserverdrängung

Bei der Entstehung eines Tsunami wird eine gigantische Wassermenge verdrängt. Dargestellt an dem Tsunami vor Sumatra 2004 ergab sich eine verdrängte Wassermenge von ca. 100 km³. Bei einem Meteoriten zum Beispiel entspricht das Volumen der verdrängten Wassermenge dem Volumen des Körpers, der den Tsunami ausgelöst hat, also dem Meteoriten.

Daraus ergibt sich bei einem Quader oder einer Rechtecksäule, die in das Wasser hineingedrückt werden oder herausgezogen werden, die Formel: $V=L \cdot B \cdot H$

Diese Formel wende ich nun an meinem Versuchsaufbau an. Der Holzklotz, der meinen Miniatur-Tsunami ins Leben ruft, besitzt ein Volumen von 2610 cm³ (Länge 29 cm, Breite 15 cm, Höhe



Abb. 8: Kraftmessung bei Haus Nr.1

6 cm) und verdrängt damit die entsprechende Wassermenge.

3.2 Periodendauer

In dem in Kap. 1.4 berechneten Beispiel beträgt die Periodendauer 450 s bzw. 7,5 min.

Bei meinem Modell erfolgte die Messung der Geschwindigkeit mit Hilfe einer Video-Kamera. Mit ihr wurde eine Tsunami-Welle aufgenommen. Nun konnte ich am PC beobachten, wie lange die Welle benötigt, um eine vorher markierte Strecke zu durchlaufen. So wurde eine Geschwindigkeit von 0,6 m/s und eine Wellenlänge von 0,4 m beobachtet. Daraus ergibt sich eine Periodendauer von

$$T = \frac{\lambda}{v} = 0,66s$$

3.3 Krafteinwirkung der Welle auf ein Haus in der Realität

Die folgenden Berechnungen vermitteln ein Bild der Kräfte, die bei einem Tsunami auftreten. Diese berechnet man mit Hilfe der Daten aus der Tabelle 1 (siehe Kapitel 4) für das Haus Nr. 1. Dies weist eine Angriffsfläche von $A_{Modell} = 12 \text{ cm}^2$ auf. Für das hypothetische Gebäude in der Realität wird eine Angriffsfläche von $A_{Real} = 10 \text{ m} \times 10 \text{ m} (=100 \text{ m}^2)$ angenommen. Für die Kraft F_{Real} gilt dann:

$$F_{Real} = F_{Modell} \cdot \frac{A_{Real}}{A_{Modell}}$$

Nach Einsetzen der Werte ergibt sich:

$$F_{Real} = 20kN$$

3.4 Die Widerstandskraft

Für einen von Gasen oder Flüssigkeiten umströmten Körper gilt folgende Beziehung:

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

F_w ist die Widerstandskraft, c_w ist der Strömungswiderstandsbeiwert des umströmten Körpers (abhängig von der Körperform), A ist die Querschnittsfläche des Körpers, ρ ist die Dichte des strömenden Mediums (hier Wasser) und v die Geschwindigkeit der Anströmung. Die Querschnittsfläche der Häuser beträgt 12 cm^2 und die Geschwindigkeit des



Abb. 9: Eine auf das flache Ufer anrollende „Talwelle“

Tsunami beträgt ca. 0,6 m/s. Mit den Kraftmessungen aus Kapitel 4 sind dann alle Werte bekannt, um den c_w -Wert der Häuser zu berechnen:

$$c_w = \frac{2F_w}{\rho \cdot A \cdot v^2}$$

4 Ergebnisse

Im Folgenden liste ich meine ermittelten Werte der Krafteinwirkung auf diverse Gebäude auf und vergleiche die Kräfte einer Berg- und einer Talwelle. Bei meiner Testreihe stellte ich fest, dass nicht jede Welle unbedingt die gleiche Kraft entfaltet. Dies erklärt sich durch geringfügige Unterschiede bei der wiederholten elektrischen Auslösung der Welle. Deshalb wurden für jede Gebäudeform jeweils drei Messwerte aufgenommen und gemittelt. Außerdem testete ich alle Gebäudeformen an zwei verschiedenen Ufer-Varianten: An einem flach anfallenden Ufer (siehe Abb. 9) und an einem steil anfallenden Ufer. Abb. 10 zeigt die verwendeten Häuserformen.

Meine ersten experimentellen Untersuchungen mit den Haustypen 1, 3, 4, 5 und 6 ergaben, dass die einwirkenden Kräfte des Tsunami bei der Hausform Nr. 4 (rund) am geringsten waren. Sie schien damit eine sehr geeignete Bauweise in gefährdeten Küstenabschnitten zu sein. Die Abfolge der Hausformen ist bei beiden Wellentypen (fast) gleich.

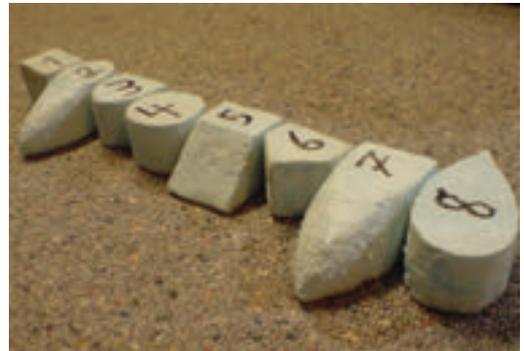


Abb. 10: Die verwendeten Häuserformen

Allerdings waren mir die auftretenden Kräfte noch nicht gering genug. Mein nächstes Ziel war es daher, die Kraftwirkung auf Haus Nr. 4 noch zu unterbieten. Dazu informierte ich mich über die Theorie der Strömung: Wenn Wasser gegen einen Körper prallt, in diesem Fall eines meiner Häuser, entstehen seitlich und insbesondere im hinteren Bereich des Gebäudes in der Flüssigkeit Verwirbelungen. Je weniger Wirbel sich um einen Körper bilden, umso geringer ist sein Strömungswiderstand.

Es blieb zu überlegen, wie ein Gebäude aussehen muss, das nur sehr wenige Wirbel beim Umströmen erzeugt. Den entscheidenden Einfall bekam ich, als ich herab fallenden Regen beobachtete. Der Luftwiderstand formt den Wassertropfen optimal, nämlich tropfenähnlich.

So erprobte ich eine weitere Form: Das Gebäude läuft nach vorne spitz, abgeflacht zu und ist an den Seiten

Haus Nr.	Bergwelle		Talwelle	
	Druckkraft in N	Rückflutung in N	Druckkraft in N	Rückflutung in N
1	0,24	0,14	0,11	0,02
2	0,08	0,13	0,03	0,03
3	0,16	0,07	0,06	0,02
4	0,21	0,08	0,06	0,02
5	0,14	0,11	0,07	0,03
6	0,22	0,08	0,08	0,01
7	0,14	0,01	0,06	0,03
8	0,09	0,08	0,03	0,03

Tabelle 1: Gemessene Kräfte bei Bergwellen und Talwellen am flachen Ufer

abgerundet. Auf der rückwärtigen Seite ist das Haus gerundet. Tab. 1 zeigt, dass dieses Haus Nr. 2 tatsächlich bei der Bergwelle die niedrigste Druckkraft erfährt.



Abb. 11: Häusertypen 2 und 7

Um zu gewährleisten, dass ein Haus, das von einem Tsunami umströmt wird, möglichst geringe Kräfte erfährt, empfiehlt sich eine runde oder noch besser eine tropfenartige Form. Die geringste „Schubkraft“ erfährt nach meiner Messung ein Haus, das die Form eines

Haus	c_w -Wert
N° 1	1,10
N° 2	0,35
N° 3	0,74
N° 4	0,95
N° 5	0,64
N° 6	1,00
N° 7	0,66
N° 8	0,40

Tabelle 2: c_w -Wert bei anflutender Bergwelle am Ufer

ICE besitzt, nämlich abgerundet, vorne spitz zulaufend.

Die geringen Kräfte, die bei diesem Gebäude (Nr. 2) mit meiner Apparatur gemessen werden, könnten auf den „Spoiler-Effekt“ zurückzuführen sein.

Durch das darüber strömende Wasser wird das Haus auf den Boden gedrückt und so seine Reibung erhöht. Aus diesem Grund wird der Kraftmesser nicht so stark belastet. Es könnte aber durchaus sein, dass die Gebäudestruktur größeren Kräften ausgesetzt ist als z. B. bei dem tropfenförmigen Haus. Diese Frage lässt sich mit meinem Versuchsaufbau nicht abschließend beantworten.

Damit ein „tsunamiresistentes“ Haus neben geringem Strömungswiderstand zusätzlich einen festen Stand besitzt, sollte die Gebäudestruktur massiv und sehr schwer, gleichzeitig aber auch flexibel sein. Dies fand ich mithilfe eines Modell-Hauses aus Holz heraus. Im Gegensatz zu den Styrodur-Bauwerken ist es relativ schwer. Bei einem Test mit diesem Gebäude bewegte es sich kaum.

Die Gesamtauswertung meiner Ergebnisse ergab, dass eine „Talwelle“ weniger Kraft aufweist (siehe Tabelle 1) und, dass das flachere Ufer höhere Druckkräfte erzeugt.

Abschließend berechnete ich die c_w -Werte meiner Häuser mit der in Kap. 3.4 angegebenen Formel. Die Werte sind in Tabelle 2 aufgelistet und liegen in der typischen Größenordnung für die jeweiligen Körper.

5 Zusammenfassung

Ich habe in einem selbstgebauten Wellenbecken einen Tsunami realitätsnah simuliert und die Kräfte auf verschiedene Hausformen gemessen. Dabei hat sich gezeigt, dass das Haus mit der Tropfenform der anrollenden Welle den geringsten Widerstand entgegensetzt.

Danksagung

Ganz herzlich danken möchte ich an dieser Stelle:

Meinem Vater, der mir bei der Bewältigung der technisch-maschinellen Arbeiten behilflich war.

Tobias Biegel (Max-Planck-Gymnasium Saarlouis), meinem Projektbetreuer, für die kritische Durchsicht meiner schriftlichen Arbeit.

Der Fa. Plexiglas Müller aus Hüttersdorf für die Anfertigung des Beckens.

Der Fa. Bernhard & Reiner GmbH aus Karlsbrunn für die exakte Bohrung am Exzenter.

Dr. Christian Hoffmann, Universität Saarbrücken, der mir abschließend noch einige Tipps und Hinweise mit auf den Weg gegeben hat.

Quelle:

- [1] www.wikipedia.de
- [2] www.schulphysik.de
- [3] www.google.de
- [4] www.spiegel.de