



Pädagogische  
**Hochschule**  
Steiermark



## **Begleitheft zum Schulkoffer “The Virtual Sandbox”**

Herausgegeben im Rahmen des FWF Wissenschaftskommunikationsprojektes

„WKP 67 - The Virtual Sandbox“

Graz, Juli 2017

*Projektpartner*

Technische Universität Graz (TUG) und Pädagogische Hochschule Steiermark  
(PHS)

*Aufbereitung und Durchführung der Experimente durch*

HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel (PHS)

Dipl.-Ing. Jakob D. Redlinger-Pohn, BSc. (TUG)

Benjamin Bahar (PHS)

Ing. Lukas Wachtler (PHS)

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Radl (TUG)

*Projektsponsor*

Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF)

Haus der Forschung

Sensengasse 1

1090 Wien

**FWF**

Der Wissenschaftsfonds.

### *Autoren*

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stefan Radl  
HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel  
Dipl.-Ing. BSc. Jakob Dominik Redlinger-Pohn  
Benjamin Bahar  
Ing. Lukas Wachtler

### *Projektwebseite*

[ippt.tugraz.at/vsb](http://ippt.tugraz.at/vsb)



### *Externe Projektpartner*

Büro für Gleichstellung und Frauenförderung der TU Graz  
DCS Computing GmbH  
Landesschulrat für Steiermark  
Research Center Pharmaceutical Engineering GmbH

*Copyright ©2017 Technische Universität Graz und Pädagogische Hochschule Steiermark*

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Materials das durch diesen Urheberrechtsvermerk geschützt ist, darf ohne schriftliche Genehmigung der Autoren in irgendeiner Form, oder auf irgendeine Weise elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopie, Aufzeichnung oder durch ein Informationsspeicher- und Abrufsystem, vervielfältigt oder genutzt werden. Ausgenommen davon ist die nichtkommerzielle Nutzung im Rahmen des Schulunterrichts.

# Vorwort

Dieses Begleitheft entstand am Ende des Projektes „The Virtual Sandbox“, und soll die Umsetzung der Projektergebnisse in den Schulen unterstützen. Es besteht im Wesentlichen aus den Abschlussarbeiten von Benjamin Bahar (Fokus auf die Sekundarstufe) und Ing. Lukas Wachtler (Fokus auf die Primarstufe), sowie einer kurzen Beschreibung der im Schulkoffer enthaltenen Materialien.

Das Material für die Umsetzung in den Schulen – ein Sammelsurium aus Hilfsmitteln für den Unterricht – ist kompakt in einem robusten Koffer verpackt. Damit soll ein möglichst einfacher Transport, sowie eine unkomplizierte Weitergabe innerhalb des Lehrkörpers ermöglicht werden. Es wurde darauf geachtet den Koffer möglichst vollständig zu bestücken: In der „offline“-Version (d.h., ohne dem USB-Mikroskop) benötigen SchülerInnen lediglich einfache Dinge des Schulalltags (Papier, Bleistift, eine leere PET-Flasche, etc.) um die Experimente durchführen bzw. auswerten zu können. Ist ein Computer oder Laptop, bzw. ein modernes Kommunikationsmittel (d.h., Handy oder Tablett mit USB-Anschluss) vorhanden, können auch weiterführende Experimente mit dem beigelegten Mikroskop durchgeführt werden.

Zuletzt soll nicht unterwähnt bleiben dass der „Virtuelle Sandkasten“, d.h., eine interaktive Sandoberfläche zur Simulation von Wasserströmungen in Echtzeit, praktisch jederzeit an der TU Graz besucht bzw. benutzt werden kann. Arbeiten sind im Gange auch diese Ressource über die Projektwebseite, bzw. über die Möglichkeit einer Ferninteraktion, permanent zugänglich zu machen.

Das „The Virtual Sandbox“ Projekt hat die Ambition auch nach dem Abschluss weiter zu leben. Dafür wurde ein „Virtual Sandbox Laboratory“ an der TU Graz (Campus Inffeldgasse) eingerichtet. Dieses Labor, sowie ein angrenzender Seminarraum, stehen für die Nutzung der Projektergebnisse nach Voranmeldung zur Verfügung. Weiters sind Detailinformationen und Anleitungen auch auf der Projektwebseite ([ippt.tugraz.at/vsb](http://ippt.tugraz.at/vsb)) zu finden.

Das Projektteam bittet um eine aktive Nutzung der Materialien im Rahmen des Schulunterrichtes, sowie die Übersendung von Anregungen und Verbesserungsvorschlägen. Damit soll das Projekt möglichst reibungslos in den Unterrichtsstoff verankert werden, bzw. weiterführende Projekte an Schulen stimuliert werden.

*Stefan Radl*

Graz, 26. Juli 2017





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Materialliste Schulkoffer.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Kurzbeschreibung der Experimente.....</b>	<b>3</b>
2.1	Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand .....	3
2.2	Die optimale Sandburg und ihre Belastbarkeit .....	5
2.3	Modell des feuchten Sands mit Tischtennisbällen .....	7
2.4	Veranschaulichung der Wasserbrücken.....	8
2.5	Kapillarität in einem Glaskeil.....	9
2.6	Reynoldsche Dilatanz .....	10
2.7	Modellexperiment zur Reynoldsen Dilatanz – ein „Keksperiment“ .....	12
<b>3</b>	<b>Bakkalaureatsarbeit Lukas Wachtler (Primarstufe).....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Bakkalaureatsarbeit Benjamin Bahar (Sekundarstufe).....</b>	<b>17</b>



# 1 Materialliste Schulkoffer

<i>Nummer</i>	<i>Stückzahl</i>	<i>Bezeichnung</i>	<i>Bemerkung</i>
1	1	Koffer (Kunststoff)	
2	1	USB Mikroskop	max. 500-fach
3	1	Taschenwaage	max. 1 kg
4	20	Kleine Pipette	2 ml
5	4	Große Pipette (Rohr)	10 ml (f. PET Flasche)
6	2	Löffel	
7	2	Gabel	
8	2	Trichter	
9	4 + 1	Sieb (Satz)	3 mm/2 mm/1 mm/0.5 mm
10	20	Becher 120 ml	
11	3	Becher 625 ml	
12	1	Messzylinder 100 ml	
13	20	Petrischale	100/20 mm
14	1	Untersetzer	250 x 250 mm
15	4	Objektträger (Glas)	
16	6	Tischtennisball	orange
17	1	Tinte	
18	2	CD	
19	2 x 1 kg	Glaskugeln	0,75...1,00/ 2,00 - 2,30mm
20	1 kg	Aquariumsand	0,1 - 0,3 mm
21	1	Begleitheft	
22	4 x 20	Bierdeckel	
23	1	Stift	



## 2 Kurzbeschreibung der Experimente

Die folgenden Experimente sind für alle Schulstufen geeignet, müssen aber im Abstraktheitsgrad an die Schulstufe entsprechend adaptiert werden.

### 2.1 Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand

#### 2.1.1 Materialliste

Becher ca. 100ml, Becher ca. 400ml, Sand, Löffel, Wasser, Messzylinder, Untersetzer



Abbildung 1  
Materialien

#### 2.1.2 Fragestellung

Was ist bei gleichbleibenden Volumen leichter? Eine Schüttung von feuchtem Sand oder eine Schüttung von trockenem Sand?

#### 2.1.3 Versuchsanleitung

Die Schülerinnen und Schüler bekommen eine Wanne mit den Materialien. Der kleine Becher (ca. 100ml) wird bereits vor der Unterrichtseinheit vollständig mit Sand befüllt. Dies sind ca. 200g (abhängig von der Sandart). Die tatsächliche Masse

Tabelle 1  
Messtabelle für die Dichte feuchten Sandes

Gruppe	Sand Masse trocken (g)	Wasservolumen (ml)	Gesamtmasse feucht (g)
1	200	5	
2	200	10	
3	200	15	
4	200	20	
5	200	30	
6	200	40	
7	200	50	

wird von den Schülerinnen und Schülern selbst abgewogen. Die Masse des Bechers wird abgezogen. Hinweis auf die Addition der Massen!

Je nach Öffnung des Unterrichts bekommt jede Gruppe ein bestimmtes Mischverhältnis zwischen Wasser und Sand vorgegeben (siehe Tabelle 1). Hierbei ist es wichtig, dass verschiedene Mischverhältnisse vorgegeben werden.

Beim nächsten Schritt füllen die Schülerinnen und Schüler den Sand in den großen Becher (ca. 400ml) und fügen die entsprechende Wassermenge, die sie mit dem Messzylinder bestimmt haben, hinzu. Dabei ist sehr wichtig, dass das Wasser möglichst gleichmäßig mit dem Sand vermischt wird (die Mischung soll überall die gleiche Farbe haben). Danach wird der feuchte Sand aus dem großen Becher in den kleinen Becher mit Hilfe eines Löffels zurück gefüllt. Hier muss man darauf hinweisen, dass 3 Punkte unbedingt zu beachten sind:

- Die Füllmenge muss gleich sein, wie bei der Messung mit dem trockenen Sand (gleiches Volumen)
- Der Sand darf nicht „gepresst“ werden
- Es ist erlaubt, den Becher leicht auf den Tisch zu stoßen, um den Sand etwas zu verdichten

Im letzten Schritt wird der Becher mit feuchtem Sand abgewogen und das Ergebnis in die Tabelle einzutragen. Die Lehrperson soll die Tabelle auch an die Tafel zeichnen oder per Beamer projizieren, damit die Schülerinnen und Schüler immer einen Überblick über die gesamten Messdaten haben. Nachdem alle Messdaten gesammelt wurden, können diese (je nach Schulstufe) mit einem Diagramm dargestellt werden. Hier können die Schülerinnen und Schüler sehen, wie sich die Dichte der Wasser-Sand Mischungen verändert. Die Masse des feuchten Sandes im Becher kann zur Masse des trockenen und/oder zur Masse and Wasser im Becher verglichen werden.

*Tipp: Eine Variation dieses Versuches ist den Einfluss der Partikelgröße zu untersuchen (d.h., einzelne Gruppen verwenden Sand oder Glaskugeln unterschiedlicher Größe)! Weiters kann durch das Mischen verschieden großer Partikel (z.B. Sand mit Glaskugeln unterschiedlicher Größe) der Einfluss der Partikelmischung auf die Dichte von feuchtem und trockenem Sand untersucht werden. Mit dem Sieb kann diese Mischung am Ende wieder getrennt werden!*

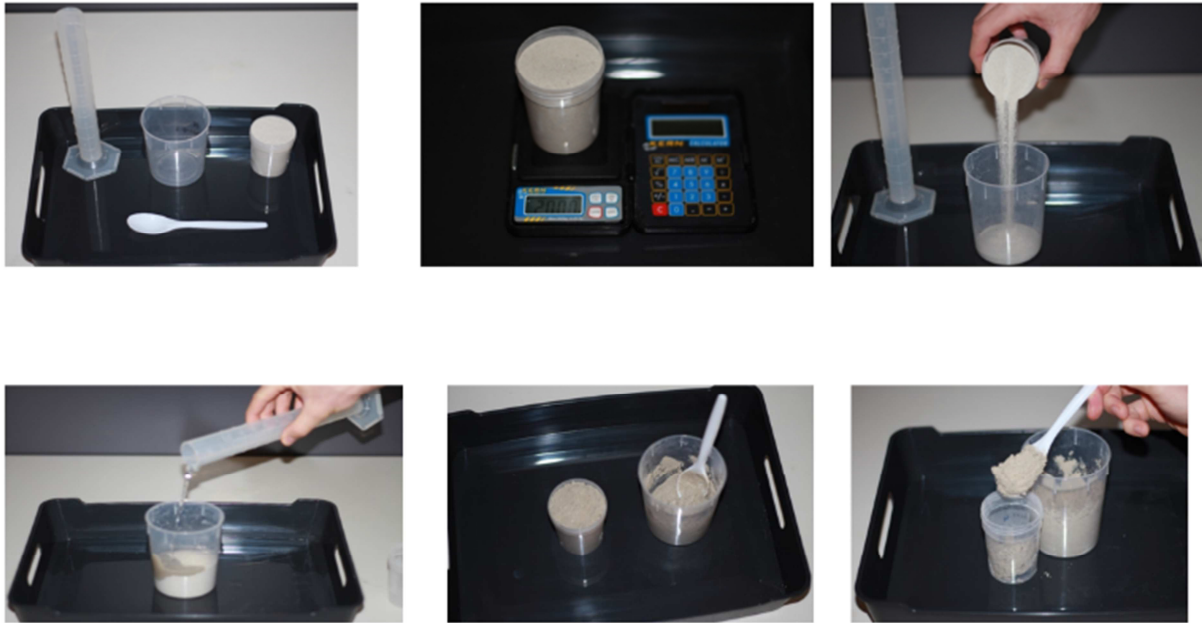


Abbildung 2  
Durchführung des Experiments

## 2.2 Die optimale Sandburg und ihre Belastbarkeit

### 2.2.1 Materialliste

Becher ca. 100ml, Becher ca. 400ml, Papierteller (oder Karton), Sand, Löffel, Wasser, Messbecher, Untersetzer, Gewichte (z.B. mit unterschiedlich viel Wasser gefüllte PET-Flaschen, die abgewogen werden).

### 2.2.2 Fragestellungen

Wie viel Gewicht hält meine „Sandburg“ aus?

### 2.2.3 Versuchsanleitung

a) Der Versuch kann als Folgeexperiment des Experimentes „Bestimmung der Dichte von feuchtem Sand“ (Kapitel 2.1) durchgeführt werden. Die Türme aus unterschiedlich feuchtem Sand werden in ihrer Festigkeit/Stabilität verglichen.

b) Die Schülerinnen und Schüler werden in Gruppen eingeteilt. Die verschiedenen Gruppen stellen verschiedene Mischverhältnisse her, die von der Lehrperson vorgegeben werden.

Die Becher werden auf die Kartonunterlagen gestülpt und einen Sandturm wie in Abbildung 3 herzustellen.

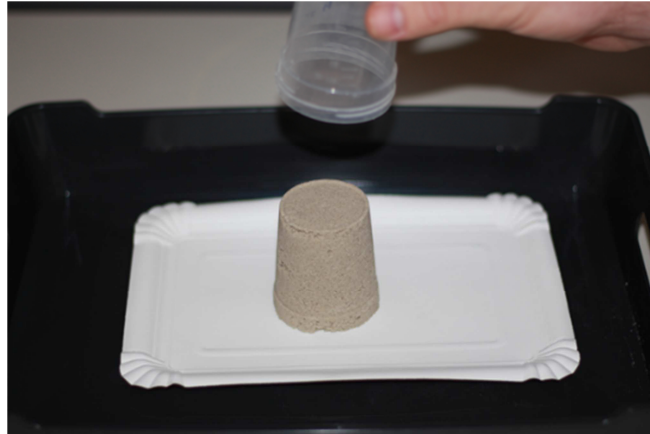


Abbildung 3  
Sandturm

Für die Gruppen mit extrem nassen Sand werden Becher mit einem Loch am Becherboden zur Verfügung gestellt, da sonst der Sand beim umstülpen nicht aus dem Becher läuft (Unterdruck). Das Loch wird während des Befüllens mit einem Klebestreifen zugeklebt. Wenn der Becher umgestülpt wird, muss der Klebestreifen entfernt werden, damit der Sand aus dem Becher läuft.

Danach wird eine Petrischale (für die gleichmäßige Belastung) auf den Sandturm gelegt. Die Türme werden dann steigend mit immer schwereren Gewichten belastet. Dies wird so lange durchgeführt bis der Turm einbricht. Das Gewicht, das den Turm zum Einsturz bringt wird dann von der Gruppe notiert.



Abbildung 4  
Belasteter Sandturm

Als Belastungsgewichte kann man PET-Flaschen mit unterschiedlichen Mengen an Wasser befüllen, oder fixe Gewichte (125g, 250g, 500g, usw.) verwenden. Die Masse der Gewichte wird in ihre Gewichtskraft umgerechnet ( $Belastbarkeit = Gewicht * Gravitation$ , mit Gravitation von  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).

Die Schülerinnen und Schüler sollen daraus schließen können, dass es ein optimales/bestimmtes Mischverhältnis für die maximale Belastung gibt.



*Tipp: Eine Variation dieses Versuches gelingt durch Änderung der Partikelgröße, bzw. durch Verwendung einer Partikelmischung analog zu Kapitel 2.1.*

*Tabelle 2 – Belastbarkeit der Sandtürme*

<b>Gruppe</b>	<b>Sand Gewicht trocken (g)</b>	<b>Wassermenge (ml)</b>	<b>Gesamtgewicht feucht (g)</b>	<b>Belastbarkeit (N)</b>
1	210	5		
2	210	10		
3	210	15		
4	210	20		
5	210	30		
6	210	40		
7	210	50		



*Abbildung 5  
Belastung mit PET-Flaschen*

## **2.3 Modell des feuchten Sands mit Tischtennisbällen**

### **2.3.1 Materialliste**

4 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser, Untersetzer

### **2.3.2 Fragestellungen**

Wie kann man mit den Tischtennisbällen eine stabile Pyramide (Tetraeder) bauen?

### 2.3.3 Versuchsanleitung

Zuerst sollen die Schülerinnen und Schüler versuchen eine Pyramide aus den Bällen zu bauen. Die Bälle werden bei diesem Versuch immer auseinanderrollen und nicht zusammenhalten.

Danach sollen die Schülerinnen und Schüler auf die Idee kommen, dass die Bälle mit Hilfe von Wasser zusammenhalten. Aus den Experimenten **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und 2.2 sollen die Schülerinnen und Schüler auf die Benützung von Wasserbrücken stoßen. Wenn sie die Bälle an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzen, entstehen Wasserbrücken zwischen den Tischtennisbällen, die diese dann zusammenhalten. Nun werden die Bälle nicht mehr auseinanderrollen und die Pyramide bleibt stabil.



Abbildung 6  
*Eine Tischtennisballpyramide stabilisiert durch Wasserbrücken*

## 2.4 Veranschaulichung der Wasserbrücken

### 2.4.1 Materialliste

2 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser

### 2.4.2 Fragestellungen

Modell einer Wasserbrücke: Wie kann man sich eine Wasserbrücke und ihre Eigenschaften vorstellen?

### 2.4.3 Versuchsanleitung

Die Bälle werden an der Kontaktstelle mit Wasser benetzt und eine Wasserbrücke entsteht. Wenn man die Bälle ein kleines Stück auseinanderzieht, wird diese besser sichtbar. Wenn man die Bälle dann auslässt, werden sie durch die Wasserbrücke wieder zusammengezogen.



Abbildung 7  
Wasserbrücke zwischen Tischtennisbällen

*Tipp: Mit Glaskugeln (ca. 1 mm Durchmesser) und etwas Tinte können die Wasserbrücken unter dem Mikroskop veranschaulicht werden. Dieses Experiment erfordert aber etwas Geschick und mitunter Geduld!*

## 2.5 Kapillarität in einem Glaskeil

### 2.5.1 Materialliste

2 Objektträger, Wasser (gefärbt mit Tinte), Holzstäbchen (z.B. Grillspieße halbiert), Gummiring, Petrischale

### 2.5.2 Fragestellung

Was geschieht, wenn man den Keil in die mit etwas Wasser gefüllte Petrischale stellt?

### 2.5.3 Versuchsanleitung

In die Petrischale wird zuerst etwas Wasser eingefüllt, sodass nur der Boden bedeckt ist. Danach nimmt man 2 Objektträger und gibt auf einer Seite zwischen die beiden Plättchen ein Holzstäbchen oder ein Zündholz, sodass ein Keil entsteht. Mit einem Gummiring wird dieser Keil fixiert. Stellt man diesen Keil nun ins Wasser, so kann man beobachten, dass das Wasser aufgrund des Kapillareffekts an der engen Seite höher steigt als auf der breiten.

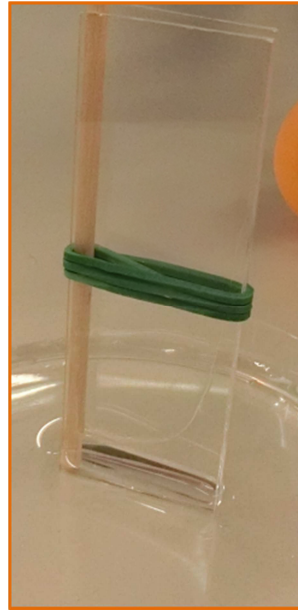


Abbildung 8  
*Kapillarität in einem Keilgefäß aus Objektträgern*

## 2.6 Reynoldsche Dilatanz

### 2.6.1 Materialliste

2 PET- Flaschen:

- Eine Flasche ist mit Wasser gefüllt
- Eine Flasche ist mit Sand oder Glaskugeln und Wasser gefüllt

Bei beiden Flaschen wird in den Verschluss ein Loch im Durchmesser eines durchsichtigen Rohres (große Pipette) gebohrt. Dieses Rohr wird durch die Bohrung bis ca. 2 cm unter den Verschluss der Flasche gesteckt. Wichtig ist, dass (i) der Sand oder die Glaskugeln bis oben hin die Flasche befüllen, und (ii) das Rohr dicht im Verschluss sitzt. Dazu am besten die Bohrung ein wenig kleiner als den Durchmesser des Rohres machen und das Rohr anschließend unter drehender Bewegung durch die Bohrung drehen. Andernfalls muss das Loch anschließend abgedichtet werden (z.B. mit einem Klebeband oder einer Heißklebepistole) um den Austritt von Wasser aus der Flasche zu vermeiden.

### 2.6.2 Fragestellung

Wie verändert sich der Wasserstand, wenn die Flasche zusammengedrückt wird?

### 2.6.3 Versuchsanleitung

Zuerst wird die Flasche mit dem Wasser (ca. in der Mitte der Flasche) zusammengedrückt. Nicht zu fest drücken, damit das Wasser nicht aus dem Rohr

spritzt. Die Schülerinnen und Schüler beobachten, dass sich das Wasser nach oben bewegt.

Danach wird die Flasche mit der Wasser-Sand-Mischung in der Mitte der Flasche zusammengedrückt. Hier geht aufgrund der *Reynoldsen Dilatanz* der Wasserpegel nach unten. Bei der Bewegung des Sandes entsteht Hohlraum in welches das Wasser einsickert. Dadurch sinkt der Wasserspiegel. Natürlich wird die Plastikflasche an anderen Stellen weiter um das Volumen aufzunehmen. Die Änderung ist minimal und nicht mit dem freien Auge erkennbar. Der Effekt der zu einer Volumenänderung führt wird im nachfolgendem Experiment (siehe Kapitel 0) erklärt!

In der Natur ist dieser Effekt beim Spaziergang am feuchten Sandstrand erkennbar. Die Fußabdrücke, hier wurde der Sand bewegt, erscheinen kurz trocken.

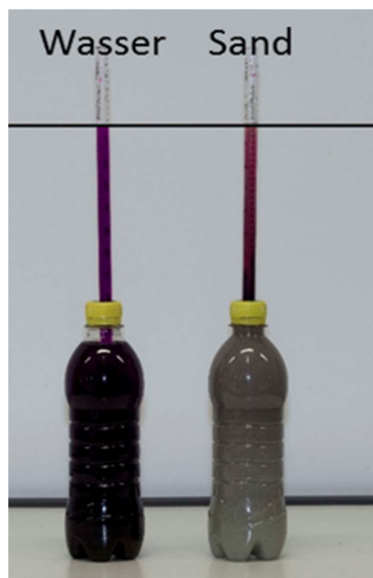


Abbildung 9  
Ungedrückte Flaschen

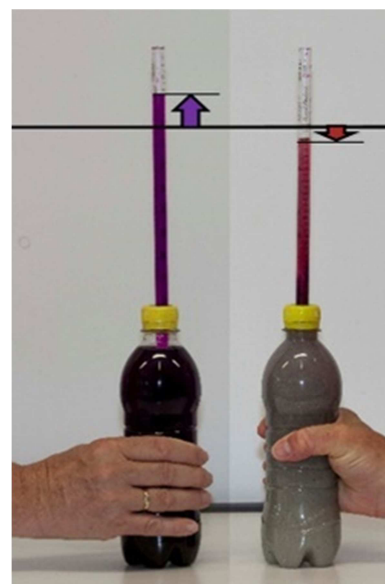


Abbildung 10  
Gedrückte Flaschen

## 2.7 Modellexperiment zur Reynoldschen Dilatanz – ein „Keksperiment“

### 2.7.1 Materialliste

Mindestens 4 scheibenförmige „Kekse“ (Kekse, Magnete, Münzen, Bierdeckel, oder ähnliches)

### 2.7.2 Fragestellung

Wie kann man die Reynoldsche Dilatanz veranschaulichen?

### 2.7.3 Versuchsanleitung

Bei diesem Experiment kann noch einmal auf die Struktur des feuchten Sandes eingegangen werden. Feuchter Sand ist eine Mischung aus Sandkörnern und Wasser (die umgebende Luft vernachlässigen wir in dem was folgt, wir sprechen hier also von vollständig mit Wasser gesättigtem Sand). Die Hohlräume, die sich in der Mischung ergeben spielen eine große Rolle auf die Verteilung des Wassers in der Mischung.

Die Sandkörner werden durch Kekse oder andere scheibenförmige Objekte simuliert. Die Hohlräume dazwischen bilden den Wasseranteil. Den Wasseranteil denkt man sich zwischen den Kontaktstellen der Kekse (blaue Bereiche in Abbildung 11). Die Kekse werden zuerst in der Anordnung von Abbildung 11 aufgelegt, sodass der Wasseranteil (entspricht den blauen Bereichen) ein Minimum erreicht.

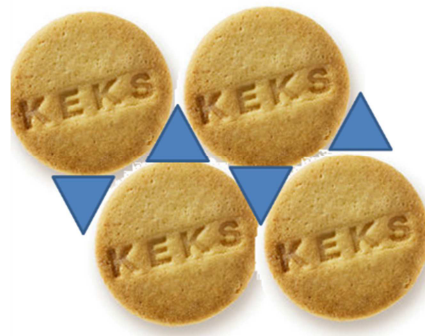


Abbildung 11  
*Lage der Kekse in dichter Packung (Normalzustand)*

Man kann bereits mit freiem Auge erkennen, dass die Hohlräume zwischen den Keksen sehr klein sind (die Schätzung der SchülerInnen sind meist sehr gut!). Die Anordnung der Sandkörner unter Druck kann man in Abbildung 12 sehen.



Abbildung 12  
Anordnung der Sandkörner unter Druck

Durch das Zusammendrücken der Sandkörner (Kekse) entstehen größere Hohlräume in denen nun mehr Wasser Platz hat.

*Tipp: Der relative Wasseranteil (d.h., die Fläche die nicht durch die Scheiben bedeckt wird) kann exakt durch eine geometrische Analyse der Hohlräume berechnet werden. Dazu betrachtet man ein gleichseitiges Dreieck in der Anordnung von Abbildung 11, bzw. ein Quadrat in der Anordnung von Abbildung 12. Alternativ kann eine einfache numerische Integration verwendet werden, wie diese in den „Keksperimenten“ auf der Projektwebseite dokumentiert ist! Letztere Methode ist zwar approximativ, ist aber bei der Verwendung einer Mischung aus verschieden großen Keksen wesentlich einfach anzuwenden.*





### **3 Bakkalaureatsarbeit Lukas Wachtler (Primarstufe)**





*Vom realen zum virtuellen Sandkasten -  
Einsatz von Sandexperimenten  
in der Grundschule*

**Ing. Lukas Wachtler**

Eingereicht an der Pädagogischen Hochschule Steiermark  
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Education (BEd)

*Studienjahrgang:* 2014

*Matrikelnummer:* 1414818

*Studienfachbereiche:*

Fachwissenschaften

Schulpraktische Studien

*Betreuerin:*

HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel

Graz, im April 2017

**Pädagogische Hochschule Steiermark**

8010 Graz, Hasnerplatz 12, Tel.: +43 316 8067 0, Fax: +43 316 8067 3199, E-Mail: [office@phst.at](mailto:office@phst.at), [www.phst.at](http://www.phst.at)

## **ABSTRACT**

Die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel "Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule" beleuchtet den Umgang mit physikalischen Themen mit Hilfe von Sand und ist ein staatlich gefördertes Projekt durch den FWF (Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Projektnummer: WKP67) in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Graz.

Der theoretische Teil beschäftigt sich mit wissenschaftlichen Positionen als Grundlage für die Beantwortung der Forschungsfrage bzw. zur Prüfung der Hypothesen. Ein Überblick über das Projekt, Definitionen, Theorien und methodische Maßnahmen werden unter Bezugnahme auf fach einschlägige Literaturquellen dargelegt.

Im methodischen Teil der Arbeit wird erforscht, durch welche Methoden das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt gefördert werden kann bzw. ob Sandexperimente für Kinder in der Grundschule hilfreich sind, um physikalische Phänomene zu verstehen. Um diese Frage zu beantworten, wurden Schülerinnen und Schüler aus vier Volksschulklassen mittels Fragebögen befragt, eine Zielscheibenabfrage und ein Experteninterview durchgeführt.

Ziel dieser Forschung ist es, Kindern den Weg vom realen zum virtuellen Experiment zu zeigen und mit Hilfe von Sandexperimenten relativ komplexe physikalische Phänomene so zu erklären, dass Kinder aus der Primarstufe sie verstehen. Zusätzlich soll das forschende Lernen dabei helfen, das Interesse der Kinder an naturwissenschaftlichen Themen bzw. die Begeisterung für den Unterricht zu steigern.

## VORWORT

Jedes Mal, wenn mich jemand nach dem Thema meiner Bachelorarbeit fragte, sah ich entsetzte und fragende Blicke, sobald ich es nannte. Da sich meine Arbeit mit Inhalten der Physik beschäftigt, kam meist die Frage: Warum Physik? Immer wieder bekam ich verschiedene Geschichten über den Physikunterricht erzählt und wie entsetzlich er war.

Ich hatte das Glück, im Zuge meiner Bachelorarbeit zu einem Projekt zu gelangen und dabei mit der Technischen Universität Graz zusammenzuarbeiten. Das Projekt, das nachstehend noch ausführlich beschrieben wird, begann bereits ein Jahr vor der Erstellung meiner Arbeit. In dieser Zeit beschäftigte ich mich intensiv mit Kindern der Grundschule, um ihnen mehr über die Physik und deren Phänomene zu lehren. Ziel dieses Projektes ist es, dass Kinder den Stellenwert der Physik und der dazugehörigen Simulation erkennen.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Professor Mag. Dr. Erich Reichel, der mir dieses Projekt in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Graz ermöglicht und mich während dieses Projektzeitraums hervorragend betreut hat. Weiters möchte ich mich bei Frau Sabrina Hartl, BEd. bedanken, die mich im Rahmen meiner Arbeit tatkräftig unterstützt hat.

Graz, im April 2017

Lukas Wachtler

## INHALTSVERZEICHNIS

1	DER VIRTUELLE SANDKASTEN.....	6
1.1	Thematischer Überblick.....	6
1.2	Fokussierung.....	8
1.3	Visionen und Ziele.....	10
1.3.1	Lernetappe 1: Neugier und Selbsteinschätzung.....	10
1.3.2	Lernetappe 2: Wahrnehmung und Interaktion.....	10
1.4	Zielgruppen.....	11
1.5	Methodik und Maßnahmen.....	12
1.5.1	Realer Sandkasten.....	12
1.5.2	Anwendungsbeispiele aus der Industrie.....	12
1.5.3	Virtueller Sandkasten.....	13
1.5.4	Forschungsfragen und Ziele der Arbeit.....	15
2	SAND.....	16
2.1	Entstehung.....	16
2.2	Zusammensetzung.....	17
2.3	Einteilung und Bezeichnungen.....	17
2.4	Verbreitung.....	18
2.5	Abtragung durch Sand.....	19
2.6	Bodenbildung auf Sand.....	19
2.7	Verwendung.....	19
2.8	Alltagsphänomene mit Sand.....	20
2.8.1	Warum ist der Fußabdruck im nassen Sand kurzzeitig trocken?.....	20
2.8.2	Warum bilden sich Wellenmuster im Sand?.....	21
2.8.3	Das Geheimnis der Sandburgen.....	23
3	FORSCHENDES LERNEN.....	26
3.1	Begriffsklärung Forschendes Lernen.....	26
3.2	Zwei Merkmale des forschenden Lernens.....	26
3.2.1	Intrinsische Motivation.....	26
3.2.2	Selbstgesteuertes Lernen.....	27
3.3	Die Rolle der Lehrperson.....	27
3.4	Forschungszyklus.....	28
3.5	Lehrplan der Volksschule.....	30
3.5.1	Erfahrungs- und Lernbereich Natur.....	30
3.5.2	Erfahrungs- und Lernbereich Technik.....	31
4	EXPERIMENTE MIT SAND IM UNTERRICHT.....	32
4.1	Begriffserklärung Experiment.....	32
4.2	Grundlagen des Experiments.....	32
4.3	Ausgangspunkt Experimentieren.....	34

Vom realen zum virtuellen Sandkasten -  
Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

4.4	Verschiedene Unterrichtssequenzen im Projekt Sand .....	35
4.5	Experiment 1: Dichte .....	36
4.5.1	Ablauf der Einheit .....	36
4.5.2	Unterrichtsverlauf .....	39
4.6	Experiment 2: Sandburg optimieren .....	40
4.6.1	Ablauf der Einheit .....	40
4.6.2	Unterrichtsverlauf .....	42
4.7	Experiment 3: Zauberflasche (Reynold'sche Dilatanz).....	43
4.7.1	Ablauf der Einheit .....	43
4.7.2	Unterrichtsverlauf .....	45
5	EVALUIERUNG.....	46
5.1	Forschungsfragen.....	46
5.2	Methode .....	47
5.2.1	Untersuchungsdesign .....	47
5.2.2	Stichprobe .....	48
5.2.3	Vorgehen und Datenerhebung.....	48
5.2.4	Erhebungsinstrumente.....	51
5.2.5	Auswertungsverfahren .....	52
5.3	Ergebnisse .....	53
5.3.1	Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt .....	53
5.3.2	Einsatz von Sandexperimenten für Kinder in der Grundschule.....	54
6	ZUSAMMENFASSUNG .....	58
7	LITERATURVERZEICHNIS .....	60
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	62
9	ERKLÄRUNG.....	63
10	ANHANG .....	64
10.1	Schülerinnen und Schülerfragebogen .....	64
10.2	Transkript Experteninterview .....	65
10.3	Zielscheibenabfrage .....	72
10.4	Experimente .....	73
10.4.1	Wasserbrückendarstellung mittels Tischtennisbällen .....	73
10.4.2	Wasserbrücken veranschaulichen .....	74
10.4.3	Kohäsion/Adhäsion (CD-Experiment).....	75
10.4.4	Keksmodell .....	76
10.5	Rückmeldungen der Kinder der Volksschule Viktor Kaplan.....	77

# 1 DER VIRTUELLE SANDKASTEN

## 1.1 Thematischer Überblick

Die Technische Universität Graz startete gemeinsam mit der Pädagogischen Hochschule Steiermark ein Forschungsprojekt, bei dem Kindern der Ablauf einer Forschung näher gebracht werden sollte, wobei dieses Projekt vom Österreichischen Fond zur wissenschaftlichen Forschung (FWF) unterstützt wurde (Projektnummer WKP67). Dabei soll erkannt werden, dass jede Simulation zuerst mit einem Experiment beginnt bzw. dass auch in der Wissenschaft jede Forschung schrittweise erfolgt. Beispielhaft dafür ist, dass auch Computerspiele Simulationen sind, bei denen die gleichen Berechnungen ablaufen, wie bei der Partikelsimulation.

Jeder kennt den Sandspielkasten als Ort zum Experimentieren, Spielen oder einfach nur, um Spaß mit Freunden zu haben. Jeder hat bestimmt schon eine Sandburg am Strand im Urlaub gebaut und erprobt, wie sie am besten hält. Warum sich aber eine Sandburg aus feuchtem Sand besser bauen lässt bzw. stabiler ist, ist kaum jemandem bewusst. Im Forschungsprojekt wurde untersucht, wie sich feuchter bzw. trockener Sand verhalten und was es mit den winzigen Flüssigkeitsbrücken zwischen den Sandkörnern auf sich hat.

Kohäsives („klebriges“) Pulver oder feuchter Sand ist ein wichtiger Bestandteil in mehreren verschiedenen Branchen und wird für verschiedenste Prozesse verwendet, wie z. B. in der Pharma- und Lebensmittelindustrie oder in der Bergbautechnik. Auch in der Astrophysik ist dieser kohäsive Effekt von wichtiger Bedeutung. Er trägt zur Bildung von Planeten bei und lässt den Zusammenhalt von Asteroiden und Kometen erklären (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).



## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

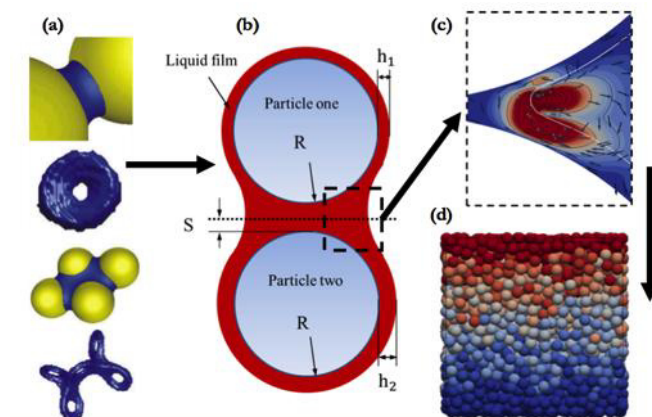


Abbildung 1: Überblick über Modelle für Flüssigkeitsbrücken (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Durch verschiedene Modelle, wie z. B. die Formierung von Flüssigkeitsbrücken oder der Transport von statisch oder bewegten Partikelschüttungen, können genauere Vorhersagen für die Flüssigkeitsverteilung in einem Partikelbett getroffen werden. Als zweiter Punkt wird die sogenannte „Virtualisierung“ von Produkten und Prozessen näher beschrieben. Für partikuläre Systeme ist es wichtig, Modelle bzw. Abbildungen am Computer zu erstellen, da diese undurchsichtig sind. Die virtuellen Abbildungen realer Prozesse rücken immer mehr ins Interesse der Wissenschaft, da bei experimentellen Techniken (mit Ausnahme von teuren Methoden auf Basis von Gamma- oder Röntgenstrahlen) der Einblick in diese Systeme fehlt.

Durch die Vernetzung und Digitalisierung wird eine starke Steigerung der Wertschöpfung angekündigt, dies wird „Industrie 4.0“ genannt. Hierbei ist wichtig, das Vertrauen in die Virtualisierung zu stärken und bereits vorhandene Leistungen besser auszuschöpfen. Bei der Industrie 4.0 müssen sich die Menschen stärker vernetzen, da die Forschung ohnehin zunehmend am Computer stattfindet. Anders als früher, sind Simulationsmodelle das wesentliche Produkt unserer wissenschaftlichen Erkenntnis und Software die Zukunft der Industrie. Um die Herausforderung der Forschung erkenntlich zu machen, wird nachstehend erklärt, wie die Forschung geschieht und wie das Produkt daraus aussieht.



Abbildung 2: Interaktion eines Kindes mit einer virtuellen Partikelwolke (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Bereits in der Grundschule sollen Kinder mit den Begriffen „Partikel“ und „Virtualisierung“ konfrontiert werden (siehe Abbildung 2: Interaktion eines Kindes mit einer virtuellen Partikelwolke). Der virtuelle Sandkasten ist ein hervorragendes Mittel zur direkten Interaktion mit dem Ergebnis der Forschung (Software) und zugleich eine Projektionsfläche. „Der virtuelle Sandkasten kann als dreidimensionales Tablet beschrieben werden.“ (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

## 1.2 Fokussierung

Das Projekt ist für Zielgruppen in mehreren verschiedenen Themenbereichen hilfreich, es wird jedoch in erster Linie in der Physik und für neuartige Kommunikationsmedien verwendet:

- Physik und Strömungsmechanik
- Partikel- bzw. Verfahrenstechnik
- Geologie bzw. Hydrologie
- Softwareentwicklung und elektronische Datenverarbeitung
- Navigation und 3D-Oberflächenmesstechnik

## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

Die verschiedenen Zielgruppen werden auf mehreren Vermittlungsebenen zum Thema hingeführt. „Ein Überblick über die vorgeschlagenen Maßnahmen (gelbe Kästen), den angesprochenen Vermittlungsebenen, sowie den Zielgruppen wird dargestellt in Abbildung 3: Überblick über die Maßnahmen zur Wissensvermittlung im Kontext der Zielgruppen und der drei Vermittlungsebenen. Die Vermittlung soll in drei Lernetappen (je nach Zielgruppe) erfolgen, in denen konkrete Ziele definiert sind (siehe Tabelle 3 - Pfeile unten). Sinnvollerweise werden die Lernetappen sequenziell durchlaufen - die Darstellung in Tabelle 3 soll verdeutlichen, für welche Zielgruppen die einzelnen Etappen als geeignet erscheinen. Die Maßnahmen sind zurzeit auf drei Zielgruppen fokussiert, um die komplexen Sachverhalte optimal auf diese Gruppen abzustimmen.“ (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Konkret wird mit Kindern aus der Primarstufe gearbeitet. Diese sollen herausfinden, wie die Hintergründe der Physik mit Hilfe von Sand zu verstehen sind und sollen vom realen zum virtuellen Sandkasten hingeführt werden bzw. verstehen, wofür das Simulieren in gewissen Branchen wichtig ist.

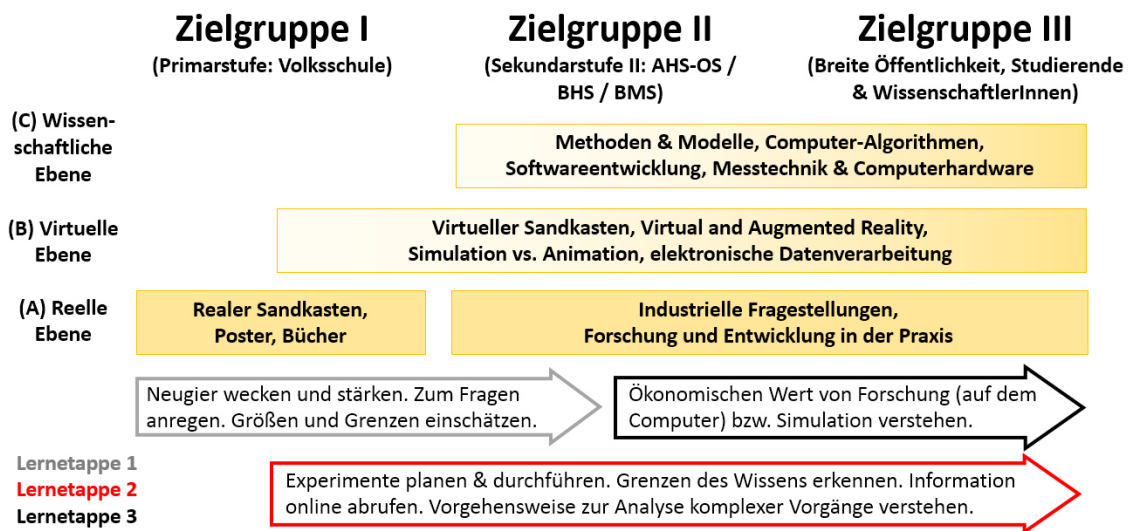


Abbildung 3: Überblick über die Maßnahmen zur Wissensvermittlung im Kontext der Zielgruppen und der drei Vermittlungsebenen (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **1.3 Visionen und Ziele**

Das Wichtigste an diesem Projekt ist, dass Forschung im Bereich Virtualisierung und partikulärer Systeme von möglichst vielen Personen wahrgenommen und auch verstanden wird. In dieser Situation sollen die Lernziele in mehreren Etappen erreicht werden (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).

#### **1.3.1 Lernetappe 1: Neugier und Selbsteinschätzung**

In der ersten Lernetappe werden mehrere verschiedene Ziele gesetzt, die nicht voneinander abhängig sind. Die wesentlichste Lernetappe ist, dass die Neugier der Kinder der Primarstufe an technischen- bzw. naturwissenschaftlichen Fragestellungen geweckt und auch gestärkt wird. Die Lehrperson soll dabei in den Hintergrund rücken, damit die Kinder selbstständig neue Themen erforschen können.

Weitere Ziele dieser Lernetappe sind, zu lernen, eigene Gedanken ernst zu nehmen, wobei es auch wertvoll ist, selbstständig Fragen zu artikulieren, sowie den sorgfältigen Umgang mit Geräten und Materialien beim Experimentieren (z. B. Waage, Pipette, Sand, Wasser, etc.) zu erlernen (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).

#### **1.3.2 Lernetappe 2: Wahrnehmung und Interaktion**

Die zweite Lernetappe macht es sich zum Ziel, einfache Experimente selbstständig zu planen und durchzuführen. Hierbei sollen die Kinder lernen, was Sand ist und wie er sich verhält, wenn er feucht ist. Wichtig sind Experimente, bei denen Kinder einfache physikalische Versuche simpel verstehen und bei denen die Physik und andere Naturwissenschaften spielerisch schmackhaft gemacht werden.

Mithilfe der virtuellen Sandbox kann anschließend erklärt werden, warum Simulationen wichtig sind und wofür man sie verwendet. Kinder in der Grundschule denken bei Simulationen sofort an Computerspiele oder ähnliches, hier wird aber Wissenschaft betrieben (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).

## 1.4 Zielgruppen

In diesem Fall sind die Kinder der Grundschule die Zielgruppe. In Österreich gibt es ca. 325.000 Schülerinnen und Schüler, die die Grundschule besuchen, bzw. ca. 80.000 Kinder pro Schulstufe. Kinder der Primarstufe sind üblicherweise an der Natur interessiert und sind bereits mit spielerischem bzw. forschendem Lernen vertraut.

Kinder im Volksschulalter haben oft schon den Wunsch nach einer erfolgreichen Karriere, wie z. B. Mama und Papa oder andere Vorbilder. Sie wissen aber nicht, welchen Weg sie nach der Schule einschlagen werden. Wichtig ist, die Wünsche der Schülerinnen und Schüler zu fördern und den Fokus auf bestimmte Lernziele zu schärfen. Da Schulen zu einem immer wichtigeren Lebensumfeld werden, ist es von großer Bedeutung, dieses Projekt bereits in der Grundschule durchzuführen, denn die Meinungsbildung und das Setzen von Trends beginnt bereits dort (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).

In der Primarschule werden Experimente in Geschichten eingebettet, wobei folgende Anforderungen eingehalten werden sollen:

- Das Experiment muss mit preiswerten Materialien gefahrlos durchführbar sein.
- Das Thema muss leicht verständlich bzw. vermittelbar sein.
- Das Experiment muss jederzeit funktionieren und mit den nötigen Materialien wiederholbar sein.
- Das Experiment soll möglichst einfach sein und einen Alltagsbezug haben (TU Graz & PH Steiermark, o. J.).

In erster Linie werden mit den Kindern in diesem Projekt einfache Experimente durchgeführt. Physikalische Hintergründe werden mit Hilfe von Versuchen klar und deutlich erklärt. Am Ende der Unterrichtseinheiten machen die Kinder mit der virtuellen Sandbox ihre Erfahrung. Hierbei steht im Vordergrund, dass Kindern der Begriff "Simulation" bzw. die Verwendung von Simulationen erklärt wird.

## **1.5 Methodik und Maßnahmen**

### **1.5.1 Realer Sandkasten**

Es werden verschiedene Versuche mit den Schülern durchgeführt, wobei die Kinder mittels forschenden Lernens auf die Ergebnisse kommen. Vor den Experimenten bekommen die Kinder die Aufgabenstellung erklärt, die Durchführung des Experiments bzw. die Erkenntnis des Ergebnisses soll jedoch ausschließlich von den Kindern gemacht werden.

Im Vorhinein wurden folgende sieben Experimente für die Kinder vorbereitet, um das Interesse an der Physik bzw. Naturwissenschaften zu steigern:

- Welches Rezept braucht man, um die perfekte Sandburg zu bauen? (siehe Kapitel 4.6, Experiment 2: Sandburg optimieren)
- Was ist bei gleichbleibendem Volumen leichter? Feuchter oder trockener Sand? (siehe Kapitel 4.5, Experiment 1: Dichte)
- Reynold'sche Dilatanz: Wie verändert sich der Wasserpegel bei PET-Flaschen, wenn eine Flasche mit Wasser und die andere mit Sand und Wasser gefüllt ist? (siehe Kapitel 4.7, Experiment 3: Zauberflasche (Reynold'sche Dilatanz))
- Das Keksmode- Wie funktioniert die Reynold'sche Dilatanz? (siehe Kapitel 10.4.4, Keksmode)
- Wie baut man eine Pyramide aus Tischtennisbällen? (siehe Kapitel 10.4.1, Wasserbrückendarstellung mittels Tischtennisbällen)
- Wie kann man am einfachsten ein Modell einer Wasserbrücke bilden? (siehe Kapitel 10.4.2, Wasserbrücken veranschaulichen)

### **1.5.2 Anwendungsbeispiele aus der Industrie**

„Diese Maßnahme fokussiert sich auf eine gut aufbereitete Vorstellung von industriellen Forschungsprojekten bzw. industriell-relevanten Effekten in einer Broschüre, sowie auf eine neu zu erstellenden Webseite. Beispielsweise soll die Wichtigkeit des präzisen Dosierens von kohäsiven Pulvern oder die Anwendung von Feuchtgranulationsprozessen in der pharmazeutischen Industrie vorgestellt werden.

Führungen für Schulklassen (mindestens 4 Führungen während der Projektlaufzeit) durch die Labors des Institutes und der RCPE GmbH sind geplant, um industrielle Anwendungsbeispiele direkt vor Ort vorzustellen." (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### 1.5.3 Virtueller Sandkasten

„Diese Aktivität bildet das Herzstück des vorgeschlagenen Projektes und besteht aus einer transportablen Version der „Augmented Reality Sandbox“ (ARS) von Oliver Kreylos. Die Installation und der Betrieb einer ARS sind bereits mehrfach erprobt, es sind lediglich der Kauf eines leistungsfähigen Simulationsrechners, einer Hochleistungs-Grafikkarte, einer 3D-Kamera, sowie die mechanische Konstruktion des Sandkastens notwendig. Die Technologie einer ARS basiert auf sogenannter „Erweiterter Realität“ (englisch „Augmented Reality“), d. h. der Projektion von Computerdaten (z .B. der Strömung einer Flüssigkeit auf dem Sand) in ein reales Objekt (d. h. der Sandkasten).“ (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Im Rahmen dieses Projektes soll die ARS um die Simulation von Partikelströmungen, bzw. das Eindringen von Flüssigkeit in die Porenstruktur der Sandmischung erweitert werden.



Abbildung 4: Bestehender virtueller Sandkasten im Einsatz (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

In weiterer Folge können auch die folgenden Aspekte aktueller Forschung transparent dargestellt werden:

- Ablauf und Geschwindigkeit moderner elektronischer Datenverarbeitung,
- Einsatz von Grafikkarten zur Hochleistungssimulation auf kostengünstiger Hardware (Kopplung Grafikkarte & CPU),
- Technik zur Vermessung von Objekten in Echtzeit, 3D-Oberflächenrekonstruktion, sowie die Verwendung der Oberfläche zur Echtzeitsimulation illustriert die Anwendung eines Programmpaketes, welches auch im vorgeschlagenen Projekt eingesetzt werden soll.

Die Installation des virtuellen Sandkastens erfolgt primär in einem vorhandenen Labor in der Inffeldgasse in Graz. Es ist jedoch geplant, den virtuellen Sandkasten zu ausgewählten Veranstaltungen an Schulen und Messen zu transportieren, um den Effekt dieser Maßnahme zu maximieren.

### **Aufbau des virtuellen Sandkastens**

Mit einigen wenigen Komponenten kann eine virtuelle Sandbox relativ einfach gebaut werden, das einzige Problem ist die Kalibrierung der Kamera, da dies Erfahrung benötigt. Als Komponenten werden ein HD-Beamer, eine Kinect-Kamera (X-Box), ein Computer (inklusive Maus, Tastatur und Bildschirm), ein Tisch mit seitlichen Wangen und Sand benötigt.

Die Kinect-Kamera misst den Abstand der Sandberge und sendet diese Daten an den Computer weiter. Der Computer „wandelt“ diese Daten in ein Bild mit Höhenlinien um und sendet dies danach an den HD-Beamer, welcher ein Bild auf die Sandoberfläche projiziert. Ein gewisser Abstand zur Kinect-Kamera wird als Nullpunkt festgelegt. Alles unter diesem Nullpunkt wird als fließendes Wasser abgebildet, alles andere wird (je nach Höhe) in verschiedenen Höhenlinien und Farben dargestellt.

Ein besonderes Feature ist, dass man einen Niederschlag darstellen kann. Hält man die Hand zwischen die Kinect-Kamera und die projizierte Fläche, so wird eine Wolke simuliert und man kann es "regnen lassen". Mittels eines Knopfdrucks kann das simulierte Wasser wieder aus der Sandbox entfernt werden.



## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

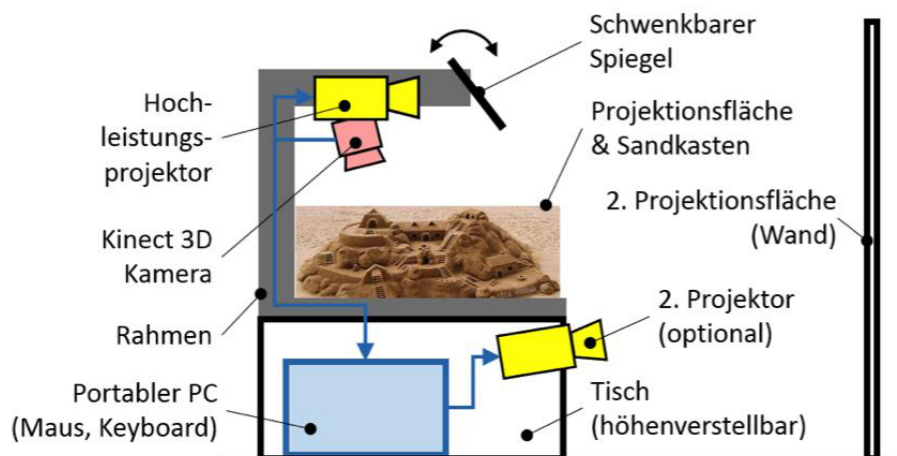


Abbildung 5: Virtueller Sandkasten - Frontansicht (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### 1.5.4 Forschungsfragen und Ziele der Arbeit

Zu Beginn des Projektes machten wir uns Gedanken, wie wir die Kinder am besten zum virtuellen Sandkasten hinführen und erklären können, wozu Simulationen notwendig sind. Der rote Faden zieht sich vom einfachen Sandexperiment bis hin zur virtuellen Sandbox. Da die Kinder möglichst frei und selbstständig an den Experimenten arbeiten sollen, wurde das forschende Lernen herangezogen.

Die beschriebene Ausgangssituation führt zu den nachstehenden zentralen Forschungsfragen im Projekt „Vom realen zum virtuellen Sandkasten“, welche im Laufe der Arbeit beantwortet werden sollen:

1. Durch welche Methoden kann das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt gefördert werden?
2. Sind Sandexperimente für Kinder in der Grundschule hilfreich, um physikalische Phänomene zu verstehen?

## 2 SAND

"Sand ist die lockere Substanz aus vielen kleinen Körnern, die meist von gelb-brauner Farbe ist und einen Teil des Bodens ausmacht." (Duden, Sand., 2017)

### 2.1 Entstehung

Durch die physikalische und chemische Verwitterung anderer Gesteine entsteht Sand. Das Ausgangsmaterial von Sand sind magmatische und metamorphe Gesteine (z.B. Granit), aus denen die Kristalle der mineralischen Bestandteile herausgelöst werden.

Die Form der Körner und die Mineralzusammensetzung des Sandes werden durch den Transport relativ rasch und stark verändert. Durch die Schwerkraft, durch Wasser und durch Wind werden die Körner transportiert und sowohl durchmischt als auch sortiert.

Durch das Zusammenprallen der Körner oder durch das Spalten entlang der Kristallgrenzflächen entstehen aus den größeren Körnern kleinere. Unter Einfluss der Witterung werden einige Mineralien schnell chemisch umgewandelt und abgebaut, wodurch die Menge des Sandes deutlich reduziert wird. Die Form der Einzelkörner wird durch mechanische Einflüsse während des Transports verändert. Laut Untersuchungen benötigt ein Sandkorn einen Transportweg von mehreren Tausend Kilometern, um mäßig rund zu werden. Je runder und kleiner ein Sandkorn ist, desto weniger verändern sie sich in ihrer Form (Lippold, 2017).

Der am häufigsten vorkommende Sand auf der Erde stammt aus Sandsteinen, der schon mehrere Erosionszyklen durchlaufen hat: "Sand wird abgelagert (sedimentiert), überdeckt durch andere Sedimente, verfestigt sich, und die Körner werden durch Bindemittel miteinander verkittet (Diagenese). Wenn die Gesteine nach einer tektonischen Hebung wieder der Erosion ausgesetzt sind, werden die Einzelkörner freipräpariert und beim folgenden Transport wieder ein wenig weiter abgerundet. Danach schließt sich ein weiterer Zyklus an. Selbst wenn man eine Zyklusdauer von 200 Millionen Jahren annimmt, so kann ein heutiges, gut gerundetes Quarz-Sandkorn durchaus zehn Erosionszyklen und damit fast die halbe Erdgeschichte durchlaufen haben." (Lippold, 2017)

Außerdem gibt es auch noch Sand, der aus Überresten ausgestorbener Lebewesen, wie zum Beispiel Muscheln oder Korallen entstanden ist. Dieser Sand ist kurzlebig, da die Sandkörner ihre ursprüngliche Form nach der Diagenese nicht mehr in Erscheinung treten können. (Lippold, 2017)

## 2.2 Zusammensetzung

Je nach Ort kann die mineralische Zusammensetzung sehr stark variieren. Aufgrund seiner Härte und der chemischen Widerstandsfähigkeit ist der Großteil des Sandvorkommens der Erde aus Quarz. Auf der 10-stufigen Mohs'schen Härteskala beträgt die Härte von Quarz 7.

Es gibt aber viele verschiedene Sandtypen. Durch das vulkanogene Olivin erhält der Strand auf Hawaii seine grüne Farbe, der feine weiße Strand von Koralleninseln besteht überwiegend aus Korallenskeletten und damit aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Schwarzer Sand besteht aus feinkörnigen verwitterten Basalt und mafischen Mineralen.

Es wird nach der Zusammensetzung des Sandes unterschieden:

- Muschelsand besteht aus Partikeln von Molluskenschalen.
- Korallensand besteht aus kalkigen Resten der Korallen.
- Vulkanischer Sand entsteht entweder aus Vulkanasche oder Lava, die durch die Kraft von fließendem Wasser oder Wellenschlag erodiert wurde. (Lippold, 2017)

## 2.3 Einteilung und Bezeichnungen

Die Kornklasseneinteilung wird in folgende Bereiche unterschieden und nach DIN 4022 eingeteilt:

Sand (S)	Korngröße
Feinsand (fS)	0,063 – 0,20 mm
Mittelsand (mS)	0,20 – 0,63 mm
Grobsand (gS)	0,63 – 2,0 mm

Tabelle 1: Kornklasseneinteilung Sand (Lippold, 2017)

Der Sandboden ist der grobkörnigste der vier Hauptbodenarten. Es werden allerdings geringfügig auch andere Klassengrenzen angegeben:

- „gut sortiert“: Sand, der hauptsächlich aus Körnern gleicher Korngrößen besteht
- „schlecht sortiert“: Sand mit einem großen Korngrößenspektrum
- Flugsand: Sand mit besonderer Reinheit und guter Sortierung, leicht beweglich durch den Wind
- Treibsand: geringbindiger Sand, der bei geringer Wasserzugabe verflüssigt
- Quetschsand: künstlich hergestellter Sand mit gebrochenen, scharfkantigen Körnern (Lippold, 2017)

## 2.4 Verbreitung

Sand kommt überall auf der Erdoberfläche in mehr oder weniger großen Mengen vor. Je nach Gebirgsart hängt die Verbreitung des Sandes von verschiedenen Faktoren, wie Ausgangsgestein, Klima, Erdgeschichte und Transportmedium, ab:

- Hochgebirge: Abgesehen von Moränen von Talgletschern und Ablagerungen der Fließgewässer ist Sand nur vereinzelt zu finden.
- Mittelgebirge und Flachland: Sand wird von Flüssen transportiert und sedimentiert, größere Sandablagerungen befinden sich meist am Grund von Seen.

Generell wird Sand über weite Strecken von Sandbänken und Überschwemmungsflächen ausgeblasen (Wind) und transportiert (Wasser). Sandwüsten, wie Sahara und Namib, werden durch vom Wind verursachte Dünen geprägt. Auch an Stellen, an denen Flüsse unter Bildung eines Deltas ins Meer münden, gibt es große Sandablagerungen, wodurch Sand durch küstenparallele Strömungen als Strand bzw. Sandbank in Erscheinung tritt.

Grundsätzlich tritt eine große Menge an Sand auf, wo Sandstein an der Oberfläche als Ausgangsmaterial dient. In Gebieten, die großflächig mit Kalkstein bedeckt sind, ist das Sandvorkommen eher gering, da der Kalksand aufgrund der großen Oberfläche der Sandkörner und der chemischen Verwitterung nur eine geringe Lebensdauer hat.

So lässt sich erklären, dass in den meisten Regionen Kroatiens Sandstrände vergebens gesucht werden, da dort große Gebiete durch Kalkstein geprägt sind. In den kontinentalen, immer feuchten Tropen sind aufgrund der chemischen Verwitterungen größere Sandvorkommnisse eher selten. (Lippold, 2017)

## **2.5 Abtragung durch Sand**

Sand und andere feinkörnige Sedimente können durch Wind nach dem Prinzip des Sandstrahlgebläses verschiedene Gesteinsformationen auslösen. So können beispielsweise durch Windschliff bzw. Winderosion verschiedene charakteristische Formen, wie Windkanter, Yardangs oder Pilzfelsen entstehen (Lippold, 2017).

## **2.6 Bodenbildung auf Sand**

In Mitteleuropa besteht reiner Sandboden großteils aus Quarz und gehört dadurch zu den am wenigsten fruchtbaren Bodenarten, da kaum Minerale vorhanden sind, die Nährstoffe freisetzen und speichern können. So setzen sich als Boden meist Podsole (Ascheboden) an, die meist forstwirtschaftlich für Kiefernwälder oder Heidekraut genutzt werden. Ursprünglich waren jedoch Buchen- oder Eichen-Birken-Mischwälder verbreitet (Lippold, 2017).

## **2.7 Verwendung**

Sand und Kies sind nach Wasser die meist genutzten Rohstoffe. Der Ressourcenverbrauch dieser beiden Rohstoffe liegt bereits höher als der des Wassers, wobei sich die weltweite Abbaumenge aufgrund fehlender globaler Daten nicht genau beziffern lässt. Sand findet in unzähligen Gütern Verwendung. Er wird hauptsächlich in der Bauindustrie gebraucht, aber auch in der Glas- und Keramikindustrie, sowie in der Metall- und Elektroindustrie (Silizium) verwendet. Sand wird inzwischen auch für die Öl- und Gasgewinnung durch eine spezielle Methode, Fracking (hydraulic fracturing), eingesetzt. Um Gesteinsschichten aufzubrechen, wird eine Mischung aus Wasser, Sand und

Chemikalien in Bohrlöcher gedrückt, wodurch Öl und Gas entweicht, da sich Sandkörner in entstandene Risse pressen.

Die ständig wachsende Weltbevölkerung bringt ein deutliches Städtewachstum mit sich. Beton wird deshalb zum wichtigsten Baustoff für Wohnräume und die dazugehörige Infrastruktur. Die Bauindustrie verwendet hauptsächlich Fluss- bzw. Meeressand.

Eine große Menge Sand wird auch für die Landgewinnung und Küstenentwicklung verbraucht. Der Klimawandel bringt einen steigenden Meeresspiegel mit sich, weshalb viele Küsten künstlich aufgeschüttet werden müssen. Diese künstlichen Strände sind um ein Vielfaches leichter zerstörbar als natürliche. Sand wird außerdem verwendet, um neubebaubare Flächen zu erzeugen, beispielsweise in Dubai. Dort sind die Sandressourcen durch Mega-Projekte wie „The Palm“ und „The World“ inzwischen ausgeschöpft (Quarz, 2017).

## **2.8 Alltagsphänomene mit Sand**

### **2.8.1 Warum ist der Fußabdruck im nassen Sand kurzzeitig trocken?**

Man geht am Meer entlang des Strandes spazieren. Wenn man genauer hinsieht, kann man beim eigenen Fußabdruck etwas Beachtliches feststellen. Rund um den Fußabdruck ist der Sand etwas heller und reflektiert das Licht nicht so gut, da er an dieser Stelle etwas trockener ist als an anderen Stellen. Diese besondere Eigenschaft heißt „Dilatanz“. Bei feuchtem Sand sind die Hohlräume zwischen den Sandkörnern mit Wasser gefüllt, wobei das Wasser den Effekt eines Schmiermittels hat, sodass die einzelnen Körner zu einer dichten Packung angeordnet sind.

Feuchter Sand am Ufer hat die maximal mögliche Packungsdichte, daher sind die Poren zwischen den Sandkörnern sehr klein. Da man mit dem eigenen Körpergewicht auf die Sandfläche tritt, werden Körner in tieferen Schichten auf die Seite bewegt. Durch die brückenförmige Anordnung der Körnchen wird die Kraft auf die Seite abgeleitet und die dichte Packung zerstört, wodurch sich die Poren vergrößern. Deshalb kann in diesem Moment das Wasser von oben in die Poren fließen, der Sand in den oberen Schichten verliert dadurch Wasser und trocknet innerhalb kürzester Zeit aus. Sobald man den

nächsten Schritt macht, können die Sandkörner langsam wieder in ihre Ausgangsform zurückgehen und die Poren füllen sich wieder mit Wasser, wodurch die Oberfläche wieder feucht wird. Wenn sich die Hohlräume mit Wasser füllen, wird der Sand fester und griffiger. Grund dafür ist die Kohäsion, die dafür zuständig ist, dass die Sandkörnchen fest aneinanderhaften. Eine Sandburg zu bauen, wäre ohne diesen Effekt nicht möglich. (Kampa, Warum ist der Fußabdruck im nassen Sand kurzzeitig trocken?, 2010)

### **2.8.2 Warum bilden sich Wellenmuster im Sand?**

Während die Fußspuren im Sand relativ rasch wieder verschwinden, bleiben Sandwellen im Wasser längere Zeit sichtbar. Diese Wellenmuster werden Rippelmarken bzw. Rippel genannt (englisch „ripple“, bedeutet "kleine Welle" oder "Kräuselung"). Durch Wasser- oder Windströmungen können diese Rippel entstehen und sind nicht nur am Meeresboden, sondern auch in Flussbetten oder Wüsten zu sehen.

Die britische Physikerin Hertha Ayrton untersuchte diese Rippelmarken zum ersten Mal wissenschaftlich Anfang des 20. Jahrhunderts. Sie nahm ein mit Wasser gefülltes Gefäß und bedeckte den Boden mit einer dünnen Schicht Sand. Danach brachte sie den Behälter zum Schwingen und konnte schon bald die erste Rippelbildung beobachten. Kurz darauf war der ganze Boden mit den Rippeln bedeckt. Mithilfe von gemahlenem Pfeffer, der aufgrund der geringeren Dichte der Wasserbewegung besser folgen kann, entdeckte sie auch die Verwirbelungen im Wasser und konnte so das Grundprinzip der Rippel erklären (Kampa, 2010).

Damit Rippel entstehen können, muss eine minimale Wassertiefe vorhanden sein und die Strömung muss eine gewisse Geschwindigkeit übersteigen, um die Sandkörner mitzureißen. Hier ist wichtig, dass an der Grenzfläche eine Strömung vorhanden ist, wobei es keine Begrenzung der Maximaltiefe gibt.

Die Entstehung einer Rippelmarke beginnt entweder durch einen Stein, eine Muschel oder andere Hindernisse. An diesen Gegenständen bleiben zu Beginn Sandkörner hängen, wodurch sich der Hügel stetig vergrößert. Zusätzlich ist auf der strömungsabgewandten Seite, der Leeseite, ein niedrigerer Druck, wodurch ein kleiner Wirbel entsteht,

der eine Vertiefung im Sand herbeiführt. Der Wirbel dreht sich entgegen der Strömung und treibt so weitere Körner auf die Leeseite.

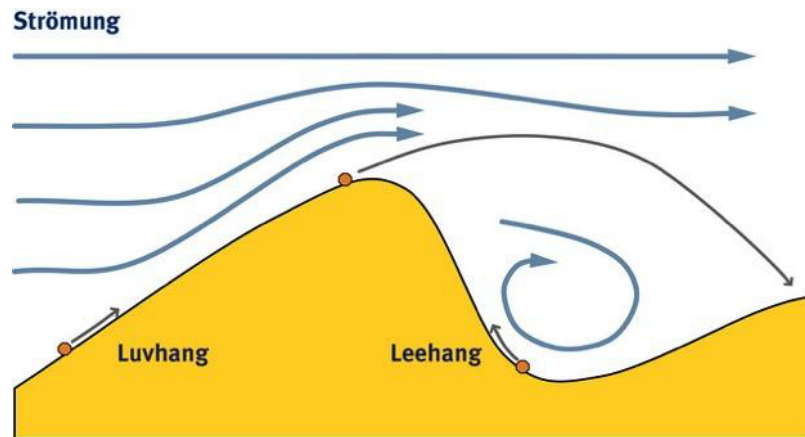


Abbildung 6: Rippelbildung (Kampa, 2010)

Wenn eine gewisse Rippelhöhe erreicht wird, wird die Strömung so stark, dass der Hügel nicht mehr wächst, sondern die Sandkörner gleich weiterbewegt werden und sich senkrecht der Strömungsrichtung fortbilden. Durch die Strömung werden einzelne Sandkörner von der Kuppe mitgerissen, die sich kurz darauf ablagern - die Rippelbildung beginnt wieder von vorne. Wenn sich die Strömungsgeschwindigkeit nicht allzu sehr ändert, bleibt der Rippelabstand relativ gleich. So entsteht ein symmetrisches Muster.

Rippeln sind auch durch Windströmungen möglich, gewaltige Dünenlandschaften ziehen sich durch die Wüste. Sie sehen den kleinen Rippeln am Strand, aus dem Flugzeug betrachtet, verblüffend ähnlich. Die Höhe der Sandrippeln im Wasser liegt etwa bei drei bis fünf Zentimetern, wobei die Wellenlänge bei etwa vier bis 60 Zentimetern liegt. Die Sanddünen in der Wüste können im Gegensatz mehrere hundert Meter hoch werden und sind ebenfalls mit kleinen Rippeln überzogen (Kampa, 2010).



### **2.8.3 Das Geheimnis der Sandburgen**

Wasser und trockener Sand weisen in ihrer Beschaffenheit eine große Ähnlichkeit auf. Trockener Sand rinnt uns ähnlich durch die Finger wie Wasser, so verhalten sich Sanddünen in der Wüste gewissermaßen wie Wellen im Wasser. Sobald Sand mit Wasser in Berührung kommt, ändert sich das Verhalten schlagartig. Feuchter Sand kann in beliebig feste Gestalten geformt werden.

Wenn sich Sand mit Wasser verbindet, wird dadurch verhältnismäßig viel Grenzflächenenergie an die Umgebung abgegeben. Möchte man diese Form danach wieder verändern, muss man diese Energie neu zuführen. Während man, z. B. beim Backen eines Kuchens, genau auf das Mengenverhältnis achten muss, damit er die richtige Konsistenz hat, ist es einfach, aus Sand und Wasser eine Burg zu bauen. Das Mischverhältnis von Sand und Wasser muss nur einigermaßen zusammenstimmen (Schlichting, 2014, S. 44).

Der genaue Wassergehalt des Sandes ist für die Steifigkeit der Sandburg nicht von großer Bedeutung, außer er übersteigt ein kritisches Maß. Dann fließt der Sand wieder, als wäre er trocken. Erforscht wurde das mit Hilfe von winzigen Glaskügelchen, da die Forscher so die verschiedenen Formen der Sandkörner nicht berücksichtigen mussten. Der Unterschied zwischen den Glaskügelchen und den Sandkörnern ist, dass Sandkörner eine viel größere Rauigkeit besitzen und daher zu einem steiferen Endprodukt führen, weil sie sich ineinander verhaken können und mehr Kontaktstellen haben als die Glaskugeln (Schlichting, 2014, S. 44).

#### **Konkurrenz der Grenzflächen**

Durch ein einfaches Grundprinzip verbinden sich Wasser und Sand miteinander. Zwischen den Grenzflächen der beiden Substanzen ist die Grenzflächenenergie notwendig. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist die Natur bestrebt, möglichst wenig Energie zu investieren und viel davon an die Umgebung abzugeben. Dies führt in der Realität zu einer gewissen Konkurrenz: Zwischen Sand und Wasser benötigen die Grenzflächen weniger Energie als die zwischen Luft und Wasser. Dadurch wachsen die Grenzflächen zwischen Sand und Wasser. In unmittelbarer Nähe der Kontaktstellen ist der Konkurrenzvorteil sehr groß. In dieser Grenzfläche zwischen Wasser und Sand wird

## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

nur wenig Wasser benötigt und damit auch wenig Grenzflächenenergie, wodurch entsprechend viel Energie in die Umgebung abfließen kann.

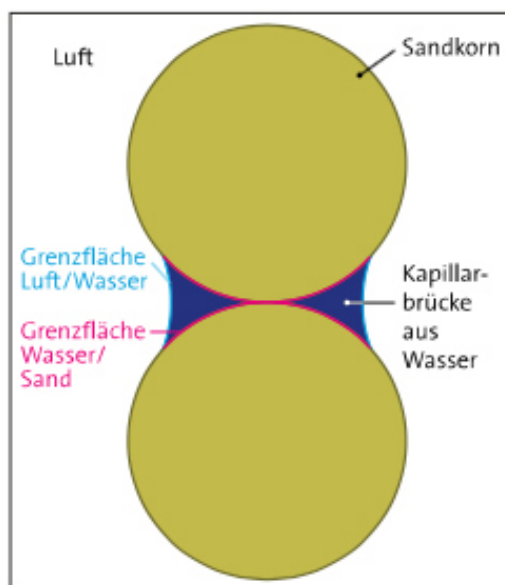


Abbildung 7: Grenzflächen zwischen Sand, Wasser und Luft bzw. Kapillarbrücke aus Wasser (Schlichting, 2014, S. 44)

Bei der Kapillarwirkung spricht man vom selben Prinzip. Das Wasser steigt in einem dünnen Glasrohr wie von alleine an, weshalb man hier auch von Kapillarbrücken spricht. Diese Kapillarbrücken fixieren den Sand gegeneinander und sind dafür verantwortlich, dass der Sand fest wird (Schlichting, 2014, S. 44).

Möchte man die Körner voneinander trennen, muss die verlorengegangene Energie in das System zurückgeholt werden, um die energiereicheren Grenzflächen zwischen Sand und Luft wiederherzustellen. Mit Hilfe eines Röntgentomografen kann genau beobachtet werden, was in einem Sandklumpen passiert. Bei ungefähr 2,5 Prozent Flüssigkeitsvolumen pro Granulatvolumen wird die maximale Stabilität des Sands erreicht. Führt man weiter Wasser zu, so dehnen sich die Grenzflächen zwischen den Teilchen und der Flüssigkeit aus. Es bilden sich größere Verbände, die mit benachbarte Kapillarbrücken zusammenfließen. Dadurch bilden sich neue komplexere Benetzungsstrukturen (Schlichting, 2014, S. 44).

## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

Zunächst bilden sich drei Kapillarbrücken zu einem Dreierverband (siehe Abbildung 8; Struktur feuchten Sandes ), wobei es hier energetisch günstiger ist, wenn auch die luftgefüllten Zwischenräume mit Wasser gefüllt sind (siehe Abbildung 8; Struktur feuchten Sandes ). Grund dafür ist, dass das System mehr Energie in die Umgebung abgeben kann, als wenn ein Lufteinschluss zwischen den Körnern wäre. Mit zunehmender Wassermenge wird aus dem Dreiersystem ein noch komplexerer Verband, wobei das Wasser einfach in den Zwischenräumen deponiert wird. Die mechanische Stabilität und die Steifigkeit hängt nicht vom Wassergehalt ab, sondern von der Oberflächenspannung und der Größe der Teilchen (Schlichting, 2014, S. 45).

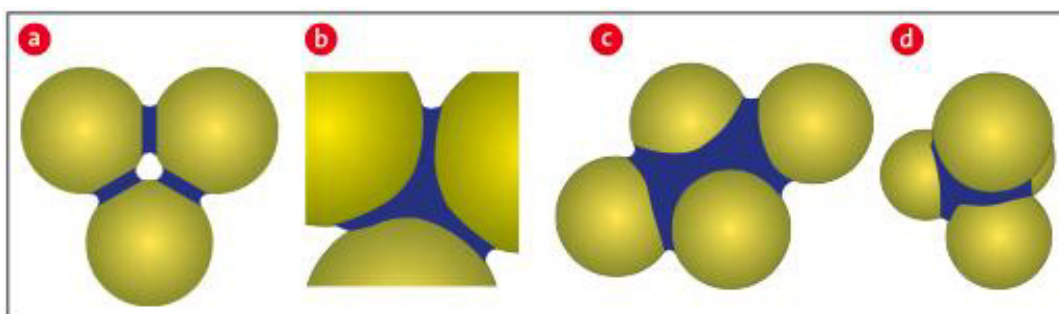


Abbildung 8: Struktur feuchten Sandes (Schlichting, 2014, S. 45)



Abbildung 9: Sandburg aus feuchtem Sand (Schlichting, 2014, S. 45)

### **3 FORSCHENDES LERNEN**

#### **3.1 Begriffsklärung Forschendes Lernen**

Der Begriff „forschen“ stammt vom mittelhochdeutschen „vorschen“ bzw. vom althochdeutschen „forscōn“ ab und bedeutet „fragen“. In der Wissenschaft meint man, dass man um eine Erkenntnis bemüht ist (Duden, forschen, 2017).

Dewey beschreibt handlungsorientiertes Lernen als einen Zugang, bei dem Lernende selbstgesteuert und praxisorientiert mit Forschung in Berührung kommen. „Wir drücken uns oft so aus, als ob eigenes Forschen ein besonderes Vorrecht der Forscher oder wenigstens der fortgeschrittenen Studierenden wäre. Alles Denken ist jedoch Forschung, alle Forschung ist eigene Leistung dessen, der sie durchführt, selbst wenn das, wonach er sucht, bereits der ganzen übrigen Welt restlos und zweifelsfrei bekannt ist.“ (Dewey, 1993, S. 198)

Huber sieht im forschenden Lernen, dass die Lernenden selbst forschen bzw. das Lernen und Forschen auch der Tätigkeit nach zusammenfallen. Forschungsorientiertes Lernen gibt dem Lernen eine Richtung vor, die auf die Forschung hin ausgerichtet ist und möglichst rasch an sie heranführen soll (Huber, 2013, S. 23).

#### **3.2 Zwei Merkmale des forschenden Lernens**

Damit ein Kind forschend lernen kann, müssen zwei Faktoren zusammenspielen: die intrinsische Motivation und das selbstgesteuerte Lernen.

##### **3.2.1 Intrinsische Motivation**

Intrinsische Motivation ist ein wesentlicher Bestandteil des Interesses und zeichnet sich dadurch aus, dass jemand eine Handlung aus eigenem Willen heraus durchführt. Der Punkt des Interesses wird demnach mit positiven Gefühlen in Verbindung gebracht, ist für das lernende Kind von hoher Sinnhaftigkeit und frei von äußeren Einflüssen. Das Handlungsziel wird mit dauerhafter Motivation und Selbstintentionalität verfolgt.

Der intrinsischen Motivation kommt eine zentrale Bedeutung zu, da das Lernen als Teil des eigenen Bildungsprozesses erlebt wird. Sie führt zu einem positiven Lernerleben und dem Anwenden von Lernstrategien, die der Lernaufgabe angepasst sind. (Spinath, 2011, S. 47)

### **3.2.2 Selbstgesteuertes Lernen**

Beim selbstgesteuerten Lernen sieht, definiert und empfindet sich das lernende Kind als selbstständig. Aus didaktischer Sicht geht es darum, eine "strukturierte Offenheit" zu entwickeln, in der sich das selbstgesteuerte Lernen in einem geleiteten Rahmen entfalten kann. Das lernende Kind erkennt die für sich besten Lernstrategien und lernt diese gezielt einzusetzen, was wiederum die intrinsische Motivation weckt. (Kergel & Heidkamp, 2015, S. 36)

"Zusammenfassend lässt sich forschendes Lernen als ein bildungstheoretisch fundiertes, konstruktivistisches und damit auch als ein intrinsisch motiviertes, selbstgesteuertes Lernen verstehen. Eine Besonderheit des forschenden Lernens besteht darin, dass es ein Lernen darstellt, das forschungsmethodisch basiert ist und wissenschaftliche Reflexionsstrategien gezielt für den Erkenntnisprozess einsetzt." (Reich, 1996, S. 70)

### **3.3 Die Rolle der Lehrperson**

Die pädagogische Begleitung ist für das forschende Lernen wichtig und nimmt in dieser Unterrichtsart eine bedeutende Rolle ein. Es ist wichtig, den Kindern Vertrauen zu schenken und die Neugier bzw. den Erkenntnisdrang zu stärken. Die Lehrperson soll Impulse geben, aber keine Antworten. Falls Kinder nicht mehr weiter wissen oder einen Motivationsschub benötigen, soll die Lehrperson die richtigen Sätze finden, sie soll jedoch die Rolle des Lernbegleiters einnehmen. Ideen oder Hilfestellungen werden nur dann gegeben, wenn sie dringend benötigt werden. Das forschende Lernen ist für jede Lehrperson eine Herausforderung, denn nur selten ist das Ergebnis des Forschungsprozesses vorhersehbar. Ergebnisse müssen akzeptiert werden, denn diese Unsicherheit gehört zum forschenden Lernen.

Der Lernbegleiter muss vorab einige Fragen klären:

- Regeln: Welche Regeln müssen aufgestellt werden, um den Kindern die notwendige Form zu geben? Wie viel Zeit habe ich zur Verfügung und wo wird geforscht?
- Bewertung (insbesondere in der Schule relevant): Wie wird der Forschungsprozess bewertet? Wird er überhaupt bewertet? Ein individuelles Feedback-Gespräch muss stattfinden.
- Teams: Soll in Teams oder in Einzelarbeit geforscht werden?
- Dokumentation: Wie soll die Dokumentation aussehen? Alle Erkenntnisse müssen festgehalten werden, um den Lernfortschritt erkennen zu können - nicht nur für die Kinder sondern auch für die Lehrperson (Kahl, 2016).

### 3.4 Forschungszyklus

Der Forschungsprozess besteht aus mehreren Teilen, die aber nicht schrittweise abgearbeitet werden müssen, sondern eher als dynamisches Gerüst gesehen werden sollen, in dem alle Punkte miteinander verknüpft sind und immer Einfluss aufeinander nehmen. Egal, ob Kinder in der Grundschule oder Jugendliche, die folgenden Phasen sind für alle Forschungsprozesse relevant (Marquardt-Mau, o. A., S. 32).

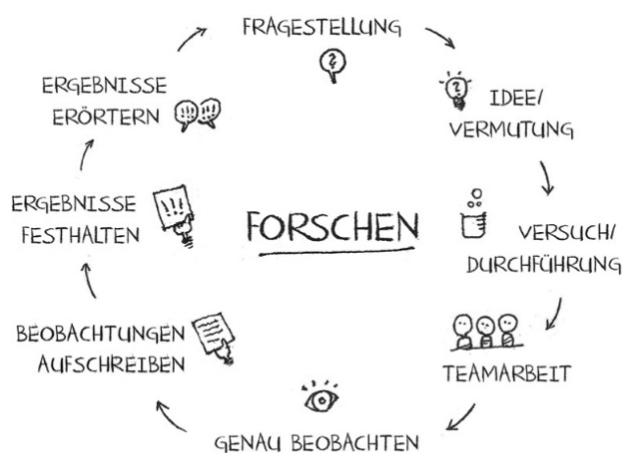


Abbildung 10: Schaubild zur Veranschaulichung des Forschungsprozesses (Marquardt-Mau, o. A., S. 32).

- Fragestellung: Die Fragestellung wird entweder von einem Kind oder von der Lehrperson vorgegeben. Danach wird nach der richtigen Antwort gesucht. (Marquardt-Mau, o. A., S. 32).
- Idee/Vermutung: Jedes Kind hat vor der Durchführung des Experiments die Möglichkeit, sich Gedanken zu dem Versuch zu machen und die Vermutung zu notieren. Danach stellt sich heraus, ob die Vermutung sich bestätigt oder widerlegt.
- Versuch/Durchführung: Versuche können in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit durchgeführt werden. Die Durchführung unterscheidet sich in angeleitetes und freies Experimentieren. Beim freien Experimentieren erledigen die Kinder - von der Versuchsdurchführung bis zu den Messergebnissen - alles selbstständig. Die Lehrkraft ist im Hintergrund und steht zu Beratung zur Verfügung (Marquardt-Mau, o. A., S. 33).
- Teamarbeit: Es sind Gruppen von bis zu fünf Personen möglich. Die Einteilung ist in alters- oder geschlechtshomogene oder aber in heterogene Gruppen möglich.
- Genau beobachten: Das geduldige Hinsehen bzw. das lange Beobachten muss von den Kindern zuerst akzeptiert und gelernt werden. Ihnen muss klargemacht werden, dass beim Forschen Geduld gefragt ist (Marquardt-Mau, o. A., S. 34).
- Beobachtungen aufschreiben/Ergebnisse festhalten: Bei Kindern, bei denen die Les- und Schreibkompetenz noch nicht ausgeprägt ist, muss die Dokumentation mit Symbolen oder Abbildungen reichen. Bei etwas älteren Kindern kann die Dokumentation bereits mit detailreichen Forschungsprotokollen festgehalten werden (Marquardt-Mau, o. A., S. 34-35).
- Ergebnisse erörtern: Beim forschenden Lernen ist nicht die Versuchsdurchführung das Ende, sondern der Austausch der Kinder über Neuerlerntes bzw. Neuentdecktes und welche Schlüsse sie daraus ziehen (Marquardt-Mau, o. A., S. 35-36).

### **3.5 Lehrplan der Volksschule**

Der Österreichische Lehrplan der Volksschule umfasst innerhalb des Sachunterrichts, welcher als Pflichtgegenstand in allen vier Schulstufen mit jeweils drei Wochenstunden ausgewiesen ist (BMBF, 2012, S. 31), die Erfahrungs- und Lernbereiche Gemeinschaft, Natur, Raum, Zeit, Wirtschaft und Technik. Im Sachunterricht werden die Kinder dazu herangeführt, ihre unmittelbare bzw. mittelbare Lebenswirklichkeit zu verstehen und zu verantwortlichem und eigenständigem Handeln befähigt (BMBF, 2012, S. 84). Die Lerninhalte werden den Kindern so vermittelt, dass sie auf deren Erfahrungs- und Erlebniswelt abgestimmt werden bzw. dass die Kinder Zusammenhänge durch situationsorientierte Unterrichtsansätze bzw. durch handlungsorientierte Lernformen (z. B. entdeckendes Lernen, projektorientiertes Lernen) verstehen (BMBF, 2012, S. 84).

#### **3.5.1 Erfahrungs- und Lernbereich Natur**

Hierbei geht es darum, ein Verständnis für die Natur als Lebensgrundlage zu entwickeln, bzw. um Erfahrungen und Begegnungen der Kinder mit der Natur bzw. dem eigenen Körper. Es wird angestrebt, dass die Kinder Grundkenntnisse erwerben, fachspezifische Arbeitsweisen erlernen und verantwortungsbewusst mit der Natur umgehen (BMBF, 2012, S. 85).

Für die Unterrichtseinheiten, in denen die Forschung erhoben wurde, ist aus dem Erfahrungs- und Lernbereich Natur folgender Lehrstoff relevant:

- Durch Begegnungen mit der Natur werden spezifische Arbeitsweisen und Fertigkeiten erlernt. Hierbei werden Naturobjekte untersucht, Naturvorgänge betrachtet bzw. beobachtet und erste Experimente geplant, durchgeführt und ausgewertet.
- Durch ein Verständnis über ökologische Auswirkungen menschlichen Handelns wird erkannt, dass der Mensch die Natur behutsam nutzen, umweltbewusst handeln und verantwortungsbewusst mit der Natur umgehen soll.
- Durch das Vergleichen von Bild und Objekt wird den Kindern die Formenvielfalt in der Natur nähergebracht (BMBF, 2012, S. 87-95).



Aus didaktischer Sicht ist es notwendig, nicht unmittelbare Abläufe und Gegebenheiten, durch geeignete Medien anschaulich näherzubringen, wodurch der Wunsch der Kinder zum Erforschen und Entdecken der Natur verstärkt werden soll (BMBF, 2012, S. 103).

### **3.5.2 Erfahrungs- und Lernbereich Technik**

In diesem Bereich geht es darum, Grundkenntnisse zu technischen Gegebenheiten bzw. zu Kräften und deren Wirkungen und Stoffe und deren Veränderungen, zu erlangen. Es wird angestrebt, dass die Kinder ein technisches Wissen und Können erhalten und sie Verantwortung für die Auswirkungen derer Eingriffe in die Umwelt übernehmen. Dabei sollen Kinder zu sachgerechtem und verantwortungsbewusstem Umgang mit Stoffen und technischen Geräten angeleitet werden (BMBF, 2012, S. 86).

Für die Unterrichtseinheiten, in denen die Forschung erhoben wurde, ist aus dem Erfahrungs- und Lernbereich Technik folgender Lehrstoff relevant:

- Durch das Kennenlernen von Geräten (betrachten, messen, experimentieren) und deren Verwendung und Funktionen erlangen Kinder Kenntnisse über technische Gegebenheiten in ihrer Umwelt, es wird ein sachgemäßer und vorsichtiger Umgang und verantwortungsbewusstes Handeln beim Gebrauch technischer Geräte entwickelt. Kinder werden zusätzlich darauf aufmerksam gemacht, dass durch den Gebrauch von technischen Geräten zum Umweltschutz beigetragen werden kann.
- Durch das Beobachten der Wirkungsweise von Kräften und das Durchführen von Experimenten lernen Kinder die Auswirkungen von "Naturkräften" kennen, z. B. Gewicht als Kraft.
- Durch Experimentieren wird die stoffliche Beschaffenheit von Gegenständen untersucht bzw. bekommen Kinder Einblick in technische Gegebenheiten durch fachspezifische Arbeitsweisen (Beobachten, Beschreiben, Ordnen). Außerdem erkennen sie die Zweckmäßigkeit der Verwendung bestimmter Stoffe und lernen Veränderungen (flüssig, fest) einiger Stoffe kennen (BMBF, 2012, S. 90-101).

Aus didaktischen Überlegungen soll den Kindern durch die Begegnung mit der Wirklichkeit handlungsorientiertes und entdeckendes Lernen ermöglicht werden, wobei Experimentieren (frei und angeleitet) eine zentrale Rolle spielt (BMBF, 2012, S. 104).

## **4 EXPERIMENTE MIT SAND IM UNTERRICHT**

### **4.1 Begriffserklärung Experiment**

Der Begriff „Experiment“ stammt vom lateinischen Wort „experimentum“ ab und bedeutet so viel wie Versuch, Probe oder Erfahrung. Man spricht von einem wissenschaftlichen Versuch, durch den etwas entdeckt, bestätigt oder gezeigt werden soll (Duden, Experiment, 2017).

Hauptsächlich werden Experimente in Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften angewendet und sind Verfahren zur Datenerhebung (Cress, 2017).

### **4.2 Grundlagen des Experiments**

Das Experiment wird in verschiedene Faktoren eingeteilt:

1. das untersuchte Objekt bzw. Subjekt
2. der Beobachter
3. die Arbeitsweisen der Untersuchung bzw. der Versuchsaufbau
4. der Ablauf des Versuchs

Um die Aussagekräftigkeit eines Experiments sicherzustellen, müssen bestimmte Bedingungen eingehalten werden:

- Eine Versuchsperson kann bei einem psychologischen Experiment "Schwankungen bezüglich bestimmter psychologischer Faktoren unterliegen" (Cress, 2017), d. h. aufgrund der Experiment-Situation könnte sie außerordentlich motiviert sein. Auch der Versuchsleiter und der Beobachter könnten durch ihre gewissen Erwartungen das Ergebnis beeinflussen.
- Um die Ergebnisse eines Experimentes überprüfen zu können, muss jedes Experiment so konzipiert sein, dass es jederzeit wiederholt werden kann.
- Durch die Ergebnis- und Datenauswertung muss die Untersuchung nach dem Experiment analysiert werden (Cress, 2017).

Beim Experimenten wird unter verschiedenen Variablen unterschieden: Unabhängige Variablen werden aktiv und bewusst beeinflusst, um Veränderungen zu messen. Die Auswirkungen dieser Veränderungen betreffen die abhängigen Variablen, "deren Beeinflussung durch ein Experiment überprüft werden soll" (Cress, 2017). Auch die Störvariablen beeinflussen die abhängigen Variablen und verfälschen so das Ergebnis (Cress, 2017).

### **Gütekriterien**

Einige wichtige Gütekriterien müssen bei einem aussagekräftigen Experiment unbedingt erfüllt werden, da ohne diese keine Wirksamkeit erreicht werden kann. Die Hauptkriterien müssen unbedingt erfüllt werden, die Nebenkriterien sollten erfüllt werden, um von einem bedeutenden Experiment sprechen zu können.

#### Hauptkriterien

- **Objektivität:** Die Ergebnisse müssen unabhängig vom Versuchsleiter zustande kommen, ansonsten ist die Messmethode nicht aussagekräftig.
- **Reliabilität:** Die Zuverlässigkeit der Messmethode ist ausschlaggebend. Die Messwerte müssen bei wiederholten Messungen erfasst werden können.
- **Validität:** Sagt aus, ob und wie exakt gemessen wurde.

#### Nebenkriterien

- **Ökonomie:** Man spricht von Ökonomie, wenn es sich wirtschaftlich lohnt bzw. es mehr nutzt als es kostet.
- **Nützlichkeit:** Gibt an, ob die Daten nützlich sind oder nicht.
- **Vergleichbarkeit:** Die Daten sollen der Norm entsprechen, damit sie vergleichbar sind (Cress, 2017).

### **4.3 Ausgangspunkt Experimentieren**

In der Erprobungsphase wurden unsere Unterrichtseinheiten von der Grundschule bis zum Oberstufengymnasium getestet. In diesem konkreten Fall fanden die Einheiten in der Volksschule Viktor Kaplan in Andritz und am Netzwerktag-Tag an der Technischen Universität Graz statt. Die vier Klassen wurden für den Volksschulbereich als Pilot-schulen verwendet, um zu testen, ob diese Einheiten für den alltäglichen Unterricht verwendet und genutzt werden können.

Wichtig war, dass die jeweilige Lehrperson den Unterricht selber durchführt. Dazu wurde das Material, die verschiedenen Beschreibungen für die Experimente und die Powerpoint-Präsentationen zur Verfügung gestellt. Aus diesem „Baukasten“ konnte die Lehrperson den Unterricht nach eigenem Interesse gestalten wie sie es für richtig hielt. Unsere Arbeit in den Pilot-schulen war, die Kinder und Lehrpersonen, den Unterrichts-verlauf und die Arbeit an den Experimenten zu beobachten. Notwendige Verbesserun-gen wurden notiert und gegebenenfalls geändert.

Da die Zeit in jeder Klasse begrenzt war und uns die Kinder nicht bekannt waren, konn-te die Lehrperson selber entscheiden, wie der Unterricht gestaltet wird. Ziel war es, mit einem Produkt (in diesem Fall der Sand) so viele Bereiche wie möglich abzudecken.

Zu Beginn der Stunde wurden Vermutungen aufgestellt bzw. Fragen gestellt, welche die Kinder mittels Handzeichen beantworteten. Die Lehrperson sollte nur kurze Anweisun-gen für die Experimente geben und die Kinder danach selbstständig arbeiten lassen. Je nach Schüleranzahl wurden die Kinder entweder zu einer Partner- oder Gruppearbeit zu je drei Personen eingeteilt.

#### 4.4 Verschiedene Unterrichtssequenzen im Projekt Sand

In den einzelnen Unterrichtssequenzen werden verschiedene Experimente mit Sand durchgeführt. Die Lehrperson kann entscheiden, wie viele bzw. welche Experimente durchgeführt werden. Zu betonen ist, dass den Kindern zu Beginn der ersten Einheit erklärt wird, warum das Projekt Sand durchgenommen wird und was in den jeweiligen Stunden erarbeitet werden soll.

Welche Art von Sand verwendet wird, ist vollkommen gleichgültig, jedoch haben wir im Laufe des Projektes gemerkt, dass die Ergebnisse der Experimente klarer sind, wenn der Sand fein ist. Verwendet wurde Aquariumsand aus der Tierhandlung, wobei das Experiment auch mit handelsüblichem Sand aus dem Baumarkt funktioniert.

Jede Lehrperson konnte in den Einheiten aus dem Experimentetopf auswählen, selber bestimmen welche Versuche in der Klasse durchgeführt werden und in welcher Unterrichtsform die Versuche stattfinden sollen.

Folgende Experimente bzw. Themengebiete wurden erarbeitet:

- Dichte
- Sandburg optimieren
- Tischtennispyramide
- Wasserbrücken
- Reynold´sche Dilatanz mit zwei Wasserflaschen
- KeksmodeLL mittels Keksen oder Bierdeckel (Reynold´sche Dilatanz)
- Adhäsion/ Kohäsion
- Kapillarität

In den unten beschriebenen Versuchen sind Materiallisten und Planungen der Unterrichtseinheiten angeführt. Die Experimente werden meist von Folgeexperimenten abgerundet, um einen roten Faden durch die Einheit zu ziehen. Weitere Experimente befinden sich im Kapitel 10.4: Experimente.

## 4.5 Experiment 1: Dichte

Der Begriff Dichte ist für Kinder in der Grundschule schwer zu begreifen. In der Physik ist die Dichte als das Verhältnis von Masse zu Volumen definiert, wobei diese Definition für Kinder dieses Alters unverständlich ist.

Zuerst wurde den Kindern der Begriff Dichte erklärt. Durch einfache Fragestellungen können Kinder relativ einfach zum richtigen Ergebnis gebracht werden. Die erste Frage lautete: „Ist ein Glas voller Kieselsteine oder ein Glas voller Watte schwerer?“ Um die richtige Antwort zu beweisen, kann man das Ergebnis mittels Balkenwaage ermitteln. Bezüglich des Volumens des Glases sind Steine deutlich schwerer als Watte (Schwefer, 2017).

### 4.5.1 Ablauf der Einheit

#### **Fragestellungen:**

Was ist bei gleichbleibendem Volumen leichter? Feuchter oder trockener Sand?

#### **Materialliste:**

Becher 100ml, Becher 400ml, Sand, Löffel (wenn möglich aus Metall), Wasser, Messbecher, Auffangschale

#### **Versuchsanleitung:**

Die Schülerinnen und Schüler bekommen eine Wanne mit ihren Materialien.

Der kleine Becher (100ml) wird bereits vor der Unterrichtseinheit vollständig mit Sand befüllt. Dies sind ca. 200g (abhängig von der Sandart).

Vom realen zum virtuellen Sandkasten -  
Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule



Abbildung 11: Materialien

Jede Gruppe bekommt ein bestimmtes Mischverhältnis zwischen Wasser und Sand vorgegeben (siehe Tabelle 2: Tabelle für das Experiment Dichte). Das ist wichtig, damit die Kinder unterschiedliche Ergebnisse erlangen. Zu beachten ist, dass die Wassermenge von 40ml nicht überschritten wird, da ansonsten eine übersättigte Wasser-Sand-Mischung entsteht. Das wäre kein feuchter Sand, sondern nasser Sand. Bei mehr als sieben Gruppen (14 Kinder) pro Klasse beginnt man bei der Wassermenge wieder bei 5ml und steigert diesen Wert, wie in Tabelle 2 beschrieben.

<b>Gruppe</b>	<b>Masse Sand trocken (g)</b>	<b>Wassermenge (ml)</b>	<b>Gesamtmasse feucht (g)</b>
1	200	5	
2	200	10	
3	200	15	
4	200	20	
5	200	25	
6	200	30	
7	200	35	

Tabelle 2: Tabelle für das Experiment Dichte

Beim nächsten Schritt füllen die Schülerinnen und Schüler den Sand in den großen Becher (400ml) um und fügen die entsprechende Wassermenge hinzu. Das Wasser wird möglichst gleichmäßig mit dem Sand vermischt (der Sand soll überall die gleiche Farbe haben). Danach wird der feuchte Sand mit Hilfe eines Löffels vom großen Becher in den kleinen Becher zurückgefüllt.

Dabei sind 3 Punkte unbedingt zu beachten:

- Die Füllmenge muss gleich sein wie bei der trockenen Messung (gleiches Volumen).
- Der Sand darf nicht „gepresst“ werden.
- Es ist erlaubt, den Becher leicht auf den Tisch zu stoßen, um den Sand etwas zu verdichten.

Beim letzten Schritt wird der Becher abgewogen und das Ergebnis in die Tabelle eingetragen. Die Lehrperson sollte die Tabelle auch an die Tafel zeichnen oder mittels Beamer projizieren, damit die Schülerinnen und Schüler immer einen Überblick über die gesamten Messdaten haben.

Nachdem alle Messdaten gesammelt wurden, können diese (je nach Schulstufe) ebenfalls mittels Beamer oder Tafel in einem Diagramm dargestellt werden.

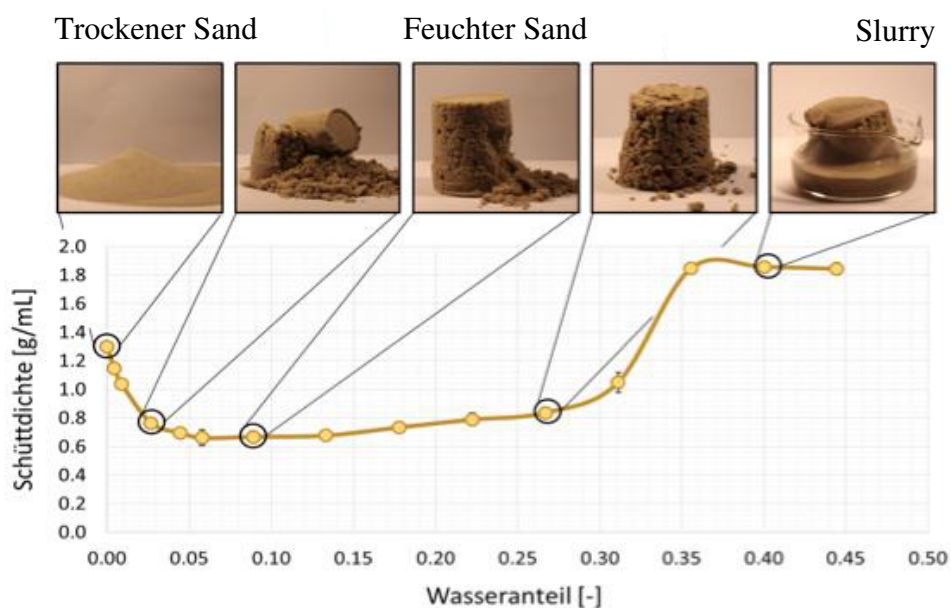


Abbildung 12: Gewichtsveränderungen der Wasser-Sandmischungen



Nach diesem Versuch würde sich als Folgeexperiment „Sandburg optimieren“ anbieten (siehe Kapitel 4.6, „Experiment 2: Sandburg optimieren“)

#### 4.5.2 Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 1</b>	Erklärung/Einführung	Zeit 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Was wird in den nächsten Einheiten passieren?</li> <li>• Wie sehen die zeitliche Organisation und die Rahmenbedingungen aus?</li> </ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 2</b>	Einstieg in das Projekt	Zeit: 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lehrperson teilt die Kinder je nach Klassengröße zu einer Partnerarbeit ein.</li> <li>• Lehrperson stellt den Kindern die Frage, ob feuchter oder trockener Sand schwerer ist (Kinder darauf aufmerksam machen, dass der Sand lediglich feucht ist und nicht nass bzw. übersättigt).</li> <li>• Lehrperson diskutiert mit Kindern die Vermutungen.</li> </ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 3</b>	Versuch: Die Dichte	Zeit: 10min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsmaterialien werden ausgeteilt</li> <li>• Erklärung: Was wollen wir herausfinden?</li> <li>• Durchführung (eigenständiges Arbeiten der Kinder)</li> <li>• Messdaten sammeln</li> <li>• Messdaten besprechen und vergleichen</li> <li>• Was kann erkannt werden?</li> </ul>	Materialien: Tafel, Sand, Becher, Löffel, Wasser, Messbecher, Ge- wichte, Un- terlage
<b>Schritt 4</b>	Fortsetzung im nächsten Kapitel	Zeit

Tabelle 3: Unterrichtsverlauf – Experiment Dichte

## 4.6 Experiment 2: Sandburg optimieren

Dieses Experiment wird als Fortsetzung zur Dichte herangezogen.

Die zuvor hergestellte Wasser-Sand-Mischung wird auf ihre Belastbarkeit geprüft. Die Einheiten Gramm bzw. Kilogramm sind den Kindern der Grundschule bereits bekannt. (selbstständiges Abwiegen auf der Waage etc.).

### 4.6.1 Ablauf der Einheit

#### **Fragestellungen:**

Wie viel Belastung hält mein Sandturm aus?

#### **Materialliste:**

Becher 100ml, Becher 400ml, Sand, Löffel, Wasser, Messbecher, Auffangschale, Gewichte, Kartonunterlage

#### **Versuchsanleitung:**

Die Becher werden auf den Kartonunterlagen umgestülpt und ein Sandturm wird hergestellt. Dabei ist die Struktur des feuchten Sandes gut ersichtlich.

Danach wird eine Petrischale (für gleichmäßige Gewichtsverteilung) auf den Sandturm gestellt. Die Türme werden so lange mit immer schwereren Gewichten belastet, bis der Turm einbricht. Das Gewicht, das den Turm zum Einbrechen bringt, wird dann von der Gruppe notiert.

Als Gewichte können PET-Flaschen befüllt oder standardisierte Gewichte (125g, 250g, 500g, usw.) verwendet werden.

Vom realen zum virtuellen Sandkasten -  
Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

<b>Gruppe</b>	<b>Masse Sand trocken (g)</b>	<b>Wassermenge (ml)</b>	<b>Gesamtmasse feucht (g)</b>	<b>Belastbarkeit (g)</b>
1	210	5		
2	210	10		
3	210	15		
4	210	20		
5	210	25		
6	210	30		
7	210	35		

Tabelle 4: Gewichtstabelle für feuchten und trockenen Sand

Die Schülerinnen und Schüler sollen daraus schließen können, dass es ein perfektes Mischverhältnis für die optimale Belastbarkeit gibt.



Abbildung 13: Umstülpen des Sandbechers



Abbildung 14: Belastbarkeit des Sandturmes

#### 4.6.2 Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 4</b>	Versuch 2: Belastbarkeit	Zeit: 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lehrperson fragt die Kinder, welche Mischung am stabilsten sein wird.</li> <li>Lehrperson erklärt den nächsten Versuch.</li> </ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 5</b>	Durchführung	Zeit 10min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kinder testen, welcher Belastung der Sandturm standhält.</li> <li>Kinder testen den Turm mit verschiedenen Gewichten und notieren ihre Ergebnisse.</li> <li>Falls ein Sandturm zusammenbricht, kann er - je nach Zeitressourcen - erneut „gebaut“ werden.</li> <li>Lehrperson notiert die maximale Belastung der einzelnen Gruppen an der Tafel in der Tabelle.</li> </ul>	Materialien: Unterlage, Becher gefüllt mit Sand (von Versuch 1), Petrischale, Gewichte
<b>Schritt 6</b>	Zusammenfassung der Versuche	Zeit 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lehrperson projiziert ein fertiges Diagramm mit den soeben ge-</li> </ul>	Materialien:

messenen Werten an die Wand (Excel).		Beamer, Computer, Heft
• Kinder stellen Zusammenhänge zu dem zuvor Gelernten her.		
<b>Schritt 7</b>	Fortsetzung im nächsten Kapitel	

Tabelle 5: Unterrichtsverlauf - Experiment Sandburg bauen

## 4.7 Experiment 3: Zauberflasche (Reynold'sche Dilatanz)

Dieser Versuch zeigt das in Kapitel 2.8.1 beschriebene Phänomen des Fußabdruckes im Sand. Anhand dieses Beispiels kann die Reynold'sche Dilatanz sehr kindgerecht erklärt werden.

### 4.7.1 Ablauf der Einheit

#### **Fragestellung:**

Wie verändert sich der Wasserpegel, wenn die Flasche zusammengedrückt wird?

#### **Materialliste:**

2 PET- Flaschen:

- eine Flasche ist mit Wasser gefüllt
- eine Flasche ist mit Sand und Wasser gefüllt

In den Verschluss beider Flaschen wird ein Loch im Durchmesser eines Glasrohrs gebohrt. Dieses Glasrohr wird durch die Bohrung ca. 2 cm über den Boden gesteckt (siehe Tabelle 4).

#### **Versuchsanleitung:**

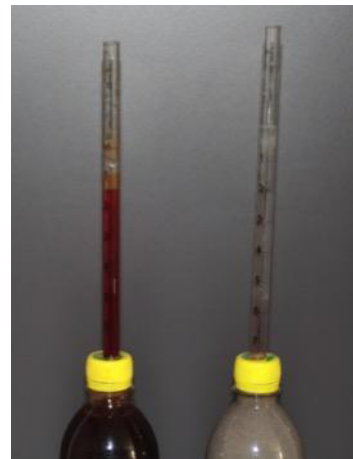
Am Anfang des Versuches bittet man die Schülerinnen und Schüler zum Lehrertisch, damit alle Schülerinnen und Schüler die Flaschen genau sehen können. Zuerst stellen die Kinder Vermutungen auf, wie sich der Wasserpegel bei beiden Flaschen verändert. Bevor die Flasche mit dem Wasser (ca. in der Mitte der Flasche) zusammengedrückt wird, wird den Schülerinnen und Schüler mitgeteilt, dass der Druck in der Flasche nicht besonders hoch ist. Das Wasser kann aus der Öffnung spritzen. Bei diesem Versuch können die Kinder sehen, dass sich der Wasserpegel erhöht.

Vom realen zum virtuellen Sandkasten -  
Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

Danach wird die Flasche mit der Wasser-Sand-Mischung in der Mitte der Flasche zusammengedrückt. Hier sinkt der Wasserpegel aufgrund der *Reynold'schen Dilatanz*. Durch „Risse“ im Sand sickert das Wasser nach unten und der Wasserstand sinkt.



Wasserpegel ohne Druckzufuhr



Wasserpegel ohne Druckzufuhr



Wasserpegel sinkt



Wasserpegel steigt

Tabelle 6: Veränderung des Wasserpegels durch Zusammenpressen der Flaschen

#### 4.7.2 Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 7</b>	Versuch 3: Die zwei Zauberflaschen (Reynold`sche Dilatanz)	Zeit: 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lehrperson zeigt 2 PET(Polyethylenterephthalat)-Flaschen und beschreibt deren Inhalt.</li> <li>Lehrperson fragt die Schülerinnen und Schüler, was mit dem Wasserpegel passiert, wenn die Flasche zusammengepresst wird.</li> </ul>	Materialien: 2 verschiedene PET- Flaschen
<b>Schritt 8</b>	Überlegungen zum Versuch und Erstellung von Notizen und Skizzen	Zeit 10min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schülerinnen und Schüler machen sich im Heft Notizen bzw. Skizzen zu den zwei Flaschen (Füllung; was wird benötigt...) → Einzelarbeit</li> <li>Schülerinnen und Schüler machen sich Gedanken, was mit dem Wasserpegel passiert, wenn die Flaschen zusammengedrückt werden - Vermutungen im Heft notieren und begründen</li> </ul>	Materialien: Heft
<b>Schritt 9</b>	Auflösung des Versuches	Zeit 5min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lehrperson bittet alle Schülerinnen und Schüler zum Lehrertisch.</li> <li>Nacheinander dürfen Schülerinnen und Schüler beide Flaschen zusammendrücken.</li> <li>Hinweis: Die Flasche, die mit Wasser gefüllt ist, darf nicht zu fest gedrückt werden, ansonsten fließt das Wasser aus dem Glasstab.</li> <li>Schülerinnen und Schüler sollen neue Vermutungen aufstellen.</li> <li>Erklärung durch die Lehrperson</li> </ul>	Materialien: Beamer, Computer, Heft
<b>Schritt 10</b>	Fortsetzung im nächsten Kapitel	

Tabelle 7: Unterrichtsverlauf - Experiment Zauberflaschen

## **5 EVALUIERUNG**

Im Methodenteil der vorliegenden Arbeit wird unter Bezugnahme der theoretischen Auseinandersetzungen der vorherigen Abschnitte die durchgeführte Untersuchung näher beschrieben. Hierbei soll festgestellt werden, welche didaktischen Maßnahmen hilfreich sind, um das Interesse an naturwissenschaftlichen Inhalten zu steigern und das Verständnis zu erweitern. Diese Forschung ist anwendungsbezogen und fällt damit in die Kategorie der Untersuchung zur Praxisentwicklung (Brunner, Knitel & Resinger, 2011, S. 59).

### **5.1 Forschungsfragen**

Die Problemstellung der Arbeit gliedert sich in zwei detaillierte Forschungsfragen:

1. Durch welche Methoden kann das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt gefördert werden?
2. Sind Sandexperimente für Kinder in der Grundschule hilfreich, um physikalische Phänomene zu verstehen?

Aufgrund der genannten Fragestellungen werden die Hypothesen wie folgt formuliert:

1. Das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt kann durch forschendes Lernen im Sinne von Experimenten gefördert werden.
2. Experimente mit Sand sind für Kinder in der Grundschule hilfreich, um physikalische Phänomene zu verstehen.

Die folgenden Abschnitte legen die Methode der Forschung dar und dienen der detaillierten Beschreibung des Vorgehens und der Datenerhebung, der eingesetzten Erhebungsinstrumente und des Verfahrens zur Datenauswertung.



## 5.2 Methode

### 5.2.1 Untersuchungsdesign

Um die Forschungsfragen zu klären bzw. die Hypothesen zu prüfen, wurden die Meinungen der Schülerinnen und Schüler mittels schriftlicher Befragung erhoben und die Meinung einer Lehrperson mittels eines Experteninterviews eingeholt.

<b>2. Klasse</b> <b>VS Puntigam</b>	Ermittlung der Schülerinnen und Schülereinschätzung bezüglich der Unterrichtseinheiten „Vom realen zum virtuellen Sandkasten“ am 03.03.2017
<b>4. Klasse</b> <b>VS Grazer Schulschwestern</b>	Ermittlung der Schülerinnen und Schülereinschätzung bezüglich der Unterrichtseinheiten „Vom realen zum virtuellen Sandkasten“ am 03.03.2017
<b>4. Klasse</b> <b>VS Berliner Ring/ Expositur</b> <b>Elisabethstraße</b>	Ermittlung der Schülerinnen und Schülereinschätzung bezüglich der Unterrichtseinheiten „Vom realen zum virtuellen Sandkasten“ am 03.03.2017
<b>4. Klasse</b> <b>VS Viktor Kaplan Graz-</b> <b>Andritz</b>	Ermittlung der Schülerinnen und Schülereinschätzung bezüglich der Unterrichtseinheiten „Vom realen zum virtuellen Sandkasten“ am 02.03.2017

Tabelle 8: Untersuchungsdesign - schriftliche Befragung der Kinder

Das Experteninterview wurde mit Herrn Martin Neumeister, dem Klassenlehrer der 4. Klasse der Volksschule Viktor Kaplan in Graz-Andritz, am 13. März 2017 in einem Seminarraum der Pädagogischen Hochschule Graz durch den Verfasser der Arbeit, Lukas Wachtler, mittels Sprachmemo eines Mobiltelefons aufgenommen. Die Aufnahmedauer dieser Sprachdatei beträgt 17 Minuten. Der steirische Dialekt wurde für die Reinschrift auf hochdeutsche Sprache geglättet.

### **5.2.2 Stichprobe**

Für die schriftliche Untersuchung mittels Fragebogen wurden insgesamt 79 Personen befragt, davon 23 Kinder der zweiten Schulstufe der Volksschule Puntigam (14 weiblich, 9 männlich, ca. 7 Jahre alt), 24 Kinder der vierten Schulstufe der Volksschule Grazer Schulschwestern (14 weiblich, 10 männlich, ca. 10 Jahre alt), 12 Kinder der vierten Schulstufe der VS Berliner Ring/ Expositur Elisabethstraße (6 weiblich, 6 männlich, ca. 10 Jahre alt) und 20 Kinder der vierten Schulstufe der Volksschule Viktor Kaplan Graz-Andritz (9 weiblich, 11 männlich, ca. 10 Jahre alt). Alle Fragebögen wurden vollständig ausgefüllt retourniert und konnten somit bewertet werden.

Für die Erhebung mittels Experteninterviews wurde der Klassenvorstand der vierten Schulstufe der Volksschule Viktor Kaplan Graz-Andritz ausgewählt.

### **5.2.3 Vorgehen und Datenerhebung**

Vor Beginn der Datenerhebung wurden mit der 4. Klasse der Volksschule Viktor Kaplan in deren Klassenzimmer zwei Unterrichtseinheiten zum Thema Sand durchgeführt. Am 2. März 2017 wurde der Übergang vom realen zum virtuellen Sandkasten genauer erklärt. Dabei konnten die Schülerinnen und Schüler den virtuellen Sandkasten „kennen lernen“ und damit spielen. Ziel war es, den Schülerinnen und Schüler die Verbindung zwischen der realen Welt und den Simulationen näherzubringen. Nach den Einheiten wurde die Datenerhebung durchgeführt.

Die anderen Klassen (Volksschule Puntigam, Volksschule Grazer Schulschwestern und Volksschule Berliner Ring/Expositur Elisabethstraße) wurden im Zuge des Netzwerktag in die Technische Universität Graz eingeladen. Auch dort wurde den Schülerinnen und Schüler die Verbindung zwischen der realen Welt und den Simulationen nähergebracht und danach die Datenerhebung durchgeführt.

Da es sich für die Datenerhebung mittels eines Fragebogens empfiehlt, wurde jedem retournierten Fragebogen eine fortlaufende Nummer zugewiesen (Brunner et al., 2011, S. 134) und systematisch beschriftet.

- VSP\_K2S1 (VS Puntigam, zweite Schulstufe, SchülerIn Nr. 1)
- VSS\_K4S1 (VS Grazer Schulsschwestern, vierte Schulstufe, SchülerIn Nr. 1)
- VSB\_K4S1 (VS Berliner Ring/ Expositur Elisabethstraße, vierte Schulstufe, SchülerIn Nr. 1)
- VSV\_K4S1 (VS Viktor Kaplan Graz- Andritz, vierte Schulstufe, SchülerIn Nr. 1)

### **Das Experteninterview**

Beim leitfadengestützten Experteninterview fragt man jemanden etwas in seiner natürlichen Umgebung, von dem man sich eine passende Antwort erhofft, weil man in ihm einen Experten sieht. Die Fragen sind sowohl zielgerichtet, als auch offen formuliert, wobei keine Begründungen benötigt werden (Kühl, Strodtholz & Taffertshofer, 2009, S. 33).

Es wird also von einer "geschlossenen Offenheit" gesprochen, die durch einen ausführlich und flexibel handhabbaren Interviewleitfaden, als Gedächtnisstütze, erzielt wird. Es sollte keine geschlossenen Fragen geben, d. h. es dürfen keine Antwortkategorien angegeben werden (Kühl et al., 2009, S. 38).

"In der Erhebungssituation zeichnet sich das Experteninterview trotz seiner konzeptionellen Vorüberlegungen durch eine offene Gesprächstechnik aus, bei der die Interviewer zwischen einer thematisch-kompetenten Gesprächsinitiierung und -leitung sowie einer zurückhaltend-interessierten Haltung im Interviewverlauf changieren müssen." (Kühl et al., 2009, S. 38)

Damit ein Experteninterview gelingen kann, ist es nötig, dass sich die Gesprächsatmosphäre entspannt, um eine Gesprächsverteilung im Stil einer Frage-Antwort-Struktur zu erlangen. Außerdem muss die Sprache und der soziale Kontext dem Interviewpartner entsprechen. Wichtig ist auch, dass dem Experten Respekt entgegen gebracht wird und im besten Fall sein Interesse gewonnen wird (Kühl et al., 2009, S. 38-39).

Experten sind jene Personen, die über besondere Wissensbestände auf das jeweilige Forschungsinteresse mitbringen. Es zielt also auf einen gezielten Personenkreis.

Es gibt zwei Möglichkeiten, den Expertenstatus eines Interviewpartners zu bestimmen:

- Als Experte wird ausgewählt, wer Relevantes zum Forschungsthema beiträgt und wer über besonderes Wissen ("Wissensvorsprung") verfügt, im Gegensatz zu anderen Forschungsteilnehmern (Kühl et al., 2009, S. 34).
- Als Experte wird ausgewählt, wer einen privilegierten Zugang bzw. eine spezielle Problemsicht zu seinem individuellen Handeln hat (Kühl et al., 2009, S. 35).

Bei der Datengewinnung wird mit dem Experten kommuniziert. Dabei ist es wichtig, dass beim Experten eine gewisse Offenheit erreicht wird und er seine Meinung preisgibt. Die Fragen sollten offen formuliert sein und die Erzählsequenzen der Experten dürfen nicht gestört werden. (Kühl et al., 2009, S. 36)

"Für das Experteninterview ist - soweit dem nicht das explizite Interesse des Interviewpartners entgegensteht - eine Tonbandaufzeichnung zwingend. Bekanntlich ist der Prozess der Aufbereitung und Auswertung von empirischem Material ein Prozess der systematischen und kontrollierten Datenvernichtung; allerdings sollte der Prozess eben "kontrolliert" und "systematisch" erfolgen und nicht der jeweiligen Erinnerungsleistung des Interviewers bzw. Protokollanten geschuldet sein. Daher ist die Praxis in zahlreichen "großen" Sozialforschungsinstituten, die aus forschungsökonomischen Gründen von vornherein auf die Aufzeichnung des Interviews verzichten, unter methodischen Gesichtspunkten als hochgradig problematisch einzuschätzen. Der beliebte Spruch, man sei selbst überrascht, dass man sich wortwörtlich an ganze Interviewpassagen erinnern könne und mit Sicherheit alle wichtigen Informationen im Protokoll festhalten könne, kann angesichts der wahrnehmungspsychologischen Einsicht in die durch das eigene Vorwissen und eigene inhaltliche Positionen geprägte selektive Informationsaufnahme kaum Bestand haben. Protokolle sind nur im Fall verweigerter Aufzeichnung angezeigt, sollten unmittelbar nach dem Interview angefertigt werden, und die Forscher sollten sich deren Status als Material von lediglich sekundärer Qualität bewusst sein." (Kühl et al., 2009, S. 40-41)

Das Interview muss ganzheitlich auf einem Tonband aufgenommen werden, damit später eigene Interpretationen bzw. Einschätzungen vermieden werden können. Bei der Transkription muss der Inhalt nicht detailliert niedergeschrieben werden, es müssen lediglich die Informationen beinhaltet sein, die für die Interpretation genützt werden (Kühl et al., 2009, S. 41).

#### 5.2.4 Erhebungsinstrumente

Nachdem die schriftliche Befragung mittels eines einheitlichen Fragebogens als geeignetes Erhebungsinstrument für die Studie ausgewählt wurde, wurden die Vorteile des Fragebogens genützt und den Nachteilen ausgewichen. Ein Vorteil ist, dass in relativ kurzer Zeit viele Personen einer bzw. mehrerer Zielgruppen anonym befragt werden können, wodurch man eine breite Einschätzung zu einer Problemstellung erhält. Der Nachteil ist, dass die Datenerhebung durch verschiedene Störfaktoren verzerrt werden könnte. Die Situation, in der der Fragebogen von den TeilnehmerInnen ausgefüllt wird und auch, ob die Fragen von den TeilnehmerInnen richtig verstanden werden, ist meist nicht nachvollziehbar (Brunner et al., 2011, S. 83-84).

Der Fragebogen bestand ausschließlich aus Fragen, die mit drei möglichen Antwortkategorien in Form einer Ratingskala beantwortet werden konnten. Es wurden zwei konträre Ausprägungen, "Ja" und "Nein", angeboten. Zwischen diesen beiden Werten lagen eine weitere Ausprägung, sodass sich die befragten Schülerinnen und Schüler innerhalb der Ratingskala positionieren und in ihrer Meinung differenzieren konnten (Brunner et al., 2011, S. 92). Da es für Kinder eine große Herausforderung ist, ihre Beurteilung in eine Ratingskala einzutragen, bot sich als hervorragende Alternative der Einsatz von Symbolen an (Brunner et al., 2011, S. 97).




			
Der Workshop mit Sand war für mich interessant.			

Tabelle 9: Ratingskala mit Symbolen

### 5.2.5 Auswertungsverfahren

Für die Auswertung der Daten wurde Excel herangezogen, da dies sehr gut für statistische Arbeiten von kleineren bis mittleren Datenmengen genutzt werden kann und adäquate Ergebnisse liefert. Die Bedienung ist noch dazu relativ unkompliziert. In diesem Programm ist es möglich, simple Berechnungsfunktionen bis hin zu interaktiven Tabellenanalysen, welche in das Textverarbeitungsprogramm Word einfach einzufügen sind, zu erstellen und bearbeiten. Die erhobenen Daten wurden in eine Datenmatrix eingegeben. In die Spalten wurden für das entsprechende Merkmal aufgezeichnete Werte eingetragen, in die Zeilen alle gemessenen Werte der Beobachtungseinheit (Brunner et al., 2011, S. 134).

In den Spalten wurden die einzelnen Items eingegeben, z. B. Der Workshop war für mich interessant. In den Zeilen wurde die Bezeichnung der Schülerinnen und Schüler, z. B. VSP\_K2S1, VSS\_K4S1, BSB\_K4S1, VSV\_K4S1. Um die Ergebnisse auszuwerten, wurden der Ratingskala bzw. den Smileys zusätzlich numerische Werte zugeteilt (lächelnder Mund = "Ja" = 3, gerader Mund = "Naja" = 2, tauriger Mund = "Nein" = 1).

Nachstehend ein Beispiel der Datenmatrix basierend auf den ausgefüllten Fragebogen des achten Kindes der zweiten Schulstufe der Volksschule Schulschwestern:




			
Der Workshop mit Sand war für mich interessant.	x		
Der Workshop war für mich lustig.		x	
Ich durfte viel selbst forschen.			x
Ich habe mich bei den Experimenten ausgekannt.		x	
Ich habe immer gewusst, was ich machen muss.	x		

Tabelle 10: Beispiel zum ausgefüllten Fragebogen

	Der Workshop mit Sand war für mich interessant.	Der Workshop war für mich lustig.	Ich durfte viel selbst forschen.	Ich habe mich bei den Experimenten aus-gekannt.	Ich habe immer gewusst, was ich machen muss.
<b>VSP_K2S8</b>	3	2	1	2	3

Tabelle 11: Beispiel zur Dateneingabe in Excel

Zur Erstellung der Diagramme wurde der Mittelwert der verschiedenen Datenmengen berechnet. Alle Daten der Fragebögen wurden in einer Excelliste verwaltet, damit alle Ergebnisse auf einem Blick sichtbar sind. Leere Zeilen oder Spalten wurden aufgrund der Übersichtlichkeit vermieden (Brunner et al., 2011, S. 134).

### 5.3 Ergebnisse

Das folgende Kapitel bietet eine Übersicht über die Ergebnisse der Forschung. Diese wird - unter Berücksichtigung der schriftlichen Fragebögen, des Experteninterviews bzw. der Zielscheibenabfrage im Anhang - in die beiden Forschungsfragen eingeteilt, bei denen jeweils die Hypothesen geprüft und die Testergebnisse beschrieben werden.

#### 5.3.1 Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt

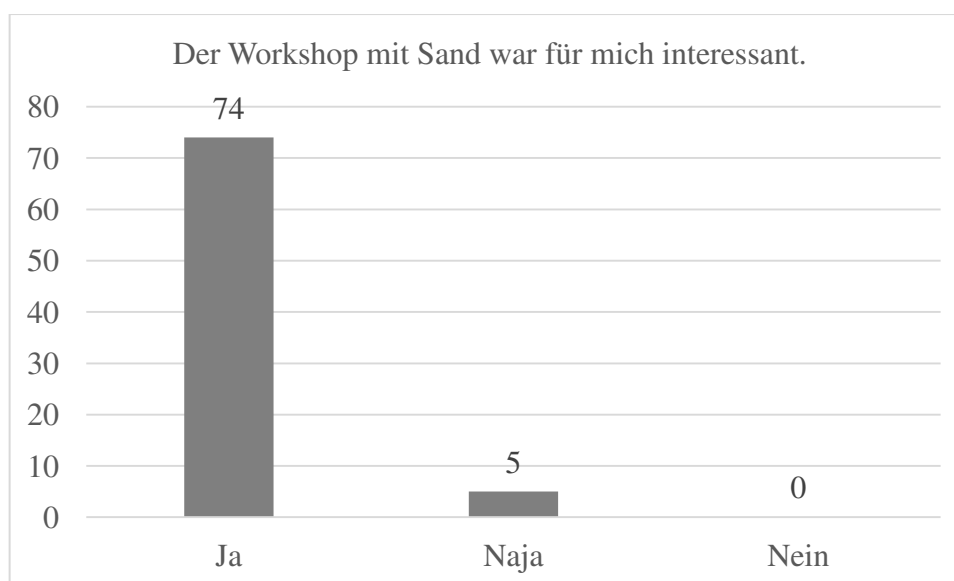


Abbildung 15: Diagramm - Der Workshop mit Sand war für mich interessant.

Von 79 Schülerinnen und Schülern, die bei der Fragebogenuntersuchung teilnahmen, war der Workshop für 74 Kinder interessant und für fünf Kinder mäßig interessant. Wie aus Abbildung 15 ersichtlich, gibt es - durch die gewählte Unterrichtsmethode "Forschendes Lernen" - eine klare Tendenz zu einer großen Interesse am naturwissenschaftlichen Inhalt Sand.

Der Experte gab beim Interview an, dass die Methode des forschenden Lernens sehr gut funktioniert hat. Im Frühling und Sommer ist es förderlich, wenn Kinder im schuleigenen Sandkasten frei arbeiten können. In der Klasse ist es schwieriger, da man darauf achten muss, dass nicht zu viel Schmutz entsteht. Diese Art des Unterrichts öffnet den Kindern in gewisser Weise die Augen für Details. Laut seiner Beurteilung hat es den Schülerinnen und Schüler interessensmäßig sehr gut gefallen.

Bei der Auswertung der Zielscheibenabfrage, die nach der Unterrichtseinheit in der Volksschule Viktor Kaplan mit 20 Kindern durchgeführt wurde, sind bei der Aussage: „Diese Schulstunde war sehr interessant“ folgende Rückmeldungen angegeben worden: 18 Kinder haben mit „Ja“ geantwortet, zwei Kinder mit „Naja“, wobei auch diese beiden Kinder ihren Punkt eher in der Mitte gesetzt haben, das heißt zu „Eher ja“ tendieren (siehe Abbildung 20: Zielscheibenabfrage - Volksschule Viktor Kaplan).

### 5.3.2 Einsatz von Sandexperimenten für Kinder in der Grundschule

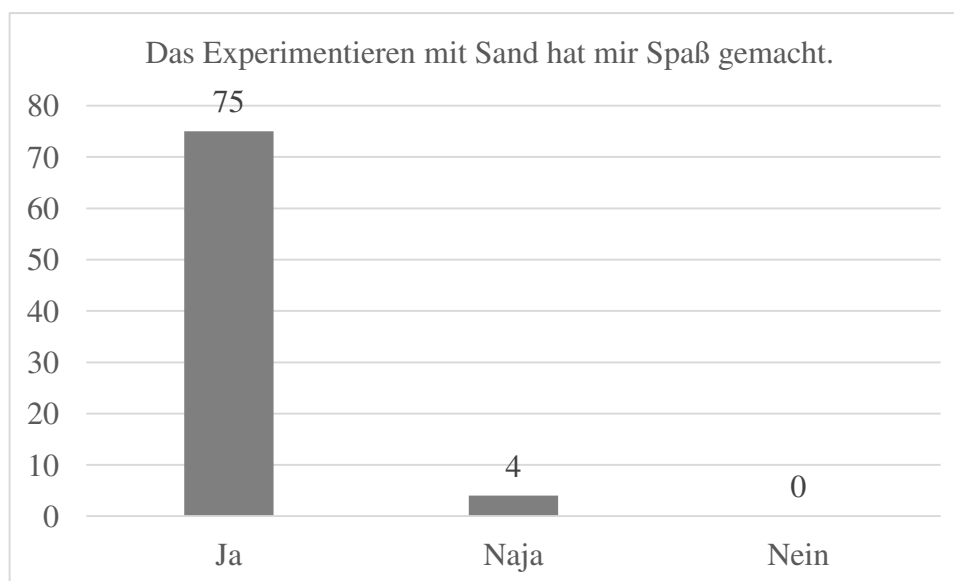


Abbildung 16: Diagramm - Das Experimentieren mit Sand hat mir Spaß gemacht.



75 Schülerinnen und Schüler gaben an, dass ihnen das Experimentieren mit Sand Spaß gemacht hat, lediglich vier der 79 Schülerinnen und Schüler tendierten bei ihrer Rückmeldung zur Mitte. Aus diesem Ergebnis lässt sich schließen, dass die Kinder Freude am Unterricht hatten, was das Verständnis an Inhalten voraussetzt.

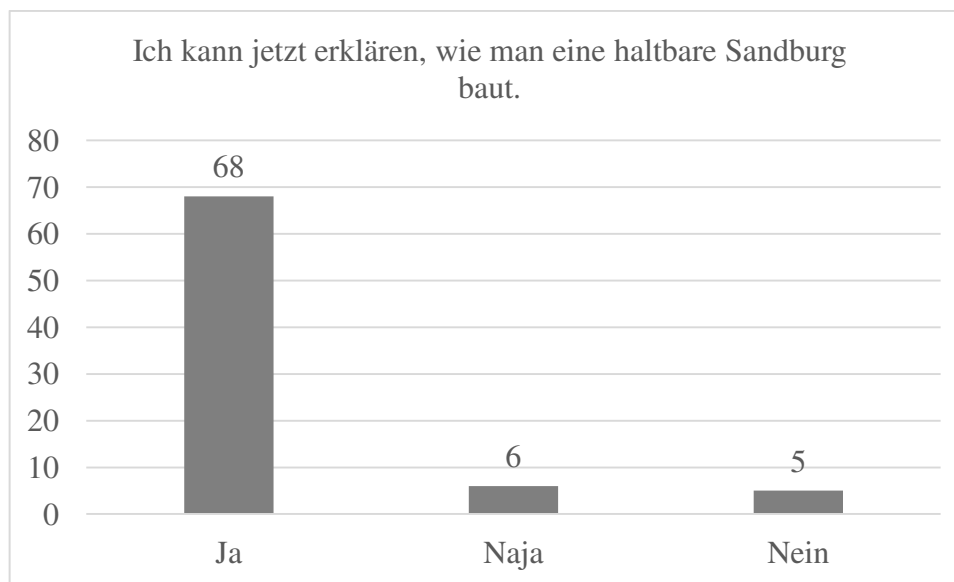


Abbildung 17: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, wie man eine haltbare Sandburg baut.

Von 79 teilnehmenden Schülerinnen und Schülern können nach der Unterrichtseinheit 68 Kinder (86 Prozent) erklären, wie eine haltbare bzw. stabile Sandburg gebaut wird. Sechs Kinder (8 Prozent) sind sich über diesen Inhalt nicht ganz sicher, und fünf Kinder (6 Prozent) geben an, diesen Vorgang nicht erklären zu können. Wie in Abbildung 17 ersichtlich, gibt es hinsichtlich des Verständnisses eine überwiegend positive Rückmeldung.

## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

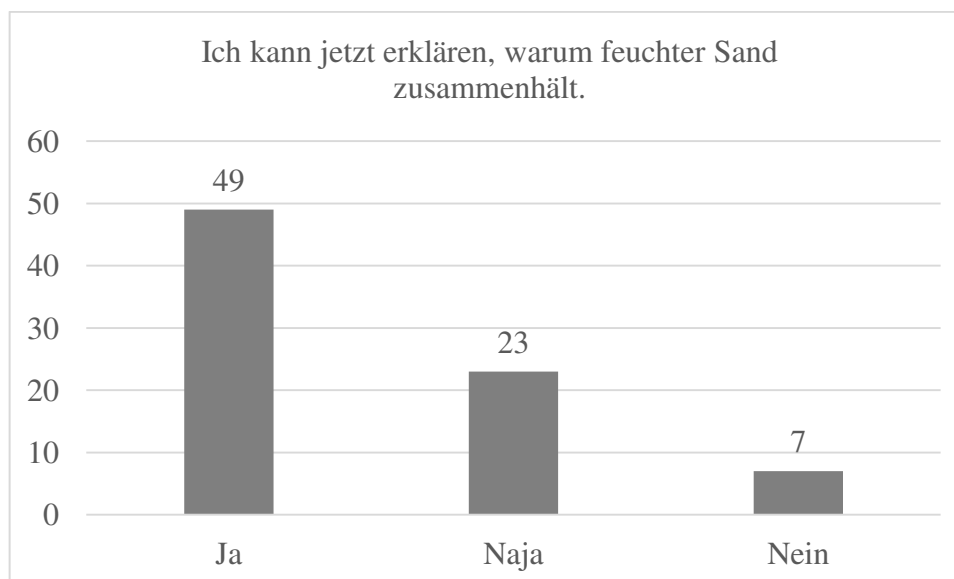


Abbildung 18: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, warum feuchter Sand zusammenhält.

49 von 79 teilnehmenden Schülerinnen und Schülern können nach der Unterrichtseinheit definieren, warum feuchter Sand zusammenhält. 23 Kinder sind sich bei diesem Inhalt nicht ganz sicher, und sieben Kinder geben an, dieses Phänomen nicht erklären zu können. Der Durchschnittswert der Auswertung liegt bei 2,53, das heißt, er liegt ziemlich genau zwischen "Ja" und "Naja".

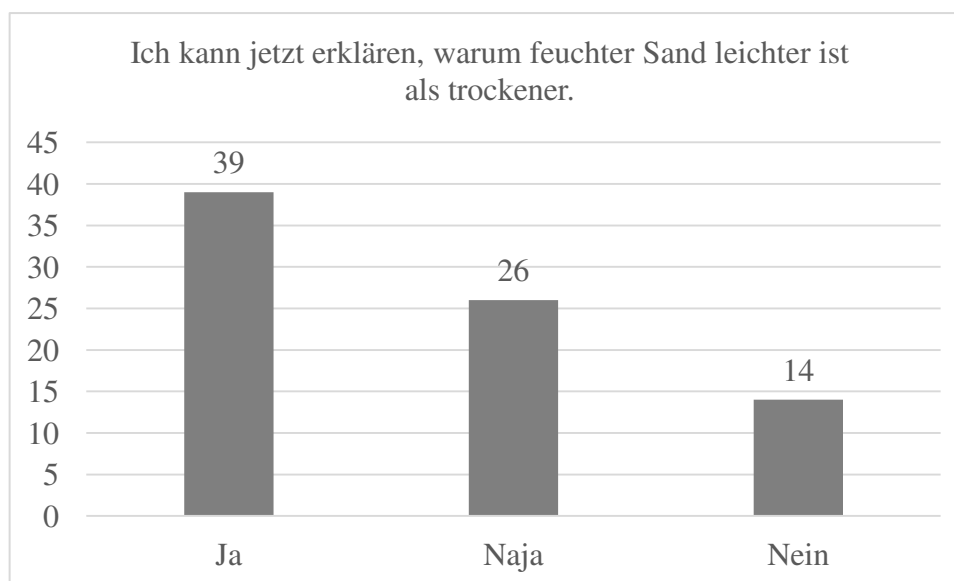


Abbildung 19: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, warum feuchter Sand leichter ist als trockener.

Warum feuchter Sand leichter ist als trockener haben 39 Schülerinnen und Schüler - ungefähr die Hälfte der TeilnehmerInnen - verstanden, 26 Kinder haben es teilweise verstanden und 14 Kinder gaben an, es nicht verstanden zu haben.

Der Experte gab beim Interview an, dass die Einheit mit Sand perfekt in die Lebenswelt und in das Umfeld der Kinder hineinspielt bzw. dass die Inhalte sehr anschaulich gelehrt wurden und sehr gut für den Unterricht geeignet sind. Kinder spielen gerne mit Sand, daher ist es für sie auch interessant. Sie möchten probieren, was ein kleiner Tropfen Wasser ausmacht und warum die Stabilität der Sandburg dadurch besser wird. Experimente öffnen Kindern die Augen für Details. Der Experte hat Sand zwar noch nicht im Unterricht eingesetzt, findet aber, dass er sehr gut geeignet ist, um Kindern physikalische Inhalte näherzubringen. Bei einer Reflexionsrunde mit den Kindern wurden die Einheiten wiederholt und besprochen. Sie wussten über viele Inhalte sehr gut Bescheid und konnten einige Phänomene wiedergeben. Laut Experten hängt das Verständnis der Kinder für technische Inhalte von deren Interesse ab, wobei manche Inhalte für Volksschulkinder nicht leicht zu verstehen sind.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit wird auf die Problemstellung, die sich in die beiden Forschungsfragen "Durch welche Methoden kann das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt gefördert werden?" und "Sind Sandexperimente für Kinder in der Grundschule hilfreich, um physikalische Phänomene zu verstehen?" gliedert, aufgebaut und mittels Datenerhebung aus Experteninterview, Fragebogenuntersuchung bzw. Zielscheibenabfrage beantwortet.

Der erste Teil der Arbeit dient als Grundlage zur Prüfung dieser Problemstellung und theoretischen Auseinandersetzung mit facheinschlägigen Literaturquellen. Es wird ein Überblick über das Projekt, Definitionen, Theorien und methodische Maßnahmen dargestellt.

Im methodischen Teil der Arbeit werden die Untersuchungsmethoden und die Auswertungsverfahren beschrieben und die Ergebnisse der Forschungsfragen formuliert. Hierbei ist anzumerken, dass diese Ergebnisse durchaus kritisch zu betrachten sind, da es sich nur um eine stichprobenartige Untersuchung handelt. Um empirische Vergleichswerte zu erhalten, müsste die Gruppe der befragten Personen deutlich größer sein. Die Aussagekraft der Ergebnisse könnte zusätzlich verzerrt sein, da die Situation, in der der Fragebogen von den Schülerinnen und Schüler ausgefüllt wurde und auch, ob die Fragen von den TeilnehmerInnen richtig verstanden wurde, nicht nachvollziehbar ist. Aus den Forschungsergebnissen lässt sich trotzdem eine Tendenz ablesen, wovon die Schüler über ihre Interessen und das Verständnis über Sand als physikalischen Inhalt berichten.

Bezugnehmend auf die erste Hypothese "Das Interesse von Kindern an Sand als naturwissenschaftlichen Inhalt kann durch forschendes Lernen im Sinne von Experimenten gefördert werden" stellt sich heraus, dass dies seine Richtigkeit hat, denn es wurde durch die Rückmeldung des Experten, die Zielscheibenabfrage und auch durch die Antworten des Fragebogens bestätigt. Die Art des Unterrichts öffnete den Kindern in gewisser Art und Weise die Augen für Details, was auch das forschende Lernen befördert. Da nicht bei allen Klassen gleich viel Zeit für die Durchführung der Einheiten

vorhanden war, konnte das forschende Lernen im Unterricht nicht mit allen Kindern durchgeführt werden, lediglich in der Volksschule Viktor Kaplan, wo auch das Experteninterview durchgeführt wurde, fand diese Unterrichtseinheit statt.

Die zweite Hypothese "Experimente mit Sand sind für Kinder in der Grundschule hilfreich, um physikalische Phänomene zu verstehen" kann grundsätzlich bestätigt werden. Die Experimente, die relativ einfach zu verstehen sind, wurden von den Schülerinnen und Schülern begriffen und konnten auch wiedergegeben werden. Schwierigere Experimente, z. B. der Versuch zur Dichte, der aufbauend auf vorherige war, wurde zumindest vom Großteil der Kinder begriffen. Grund für diese Tendenz könnte sein, dass die Kinder großen Spaß am Unterricht hatten (siehe Schülerrückmeldungen in Kapitel 10: Anhang) und die Inhalte so leichter und schneller gelernt haben. Es könnte aber auch die Arbeit mit Sand sein, da die Kinder gerne damit spielen und dadurch daran interessiert sind.

Aufbauend auf diese Erkenntnis sollen Lehrpersonen dazu ermutigt werden, Kindern ein "Forschendes Lernen" zu ermöglichen, mit ihnen Experimente durchzuführen und ihnen so auch schwierigere Lerninhalte begreiflich zu machen.

## 7 LITERATURVERZEICHNIS

BMBF. Bundesministerium für Bildung und Frauen. (2012). *Lehrplan der Volksschule*. Verfügbar unter:

[https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp\\_vs\\_gesamt\\_14055.pdf?4dzgm2](https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_vs_gesamt_14055.pdf?4dzgm2)  
[20.03.2017]

Brunner, H., Knitel, D. & Resinger, J. P. (2011). *Leitfaden zur Bachelorarbeit. Einführung in wissenschaftliches Arbeiten und berufsfeldbezogenes Forschen an (Pädagogischen) Hochschulen*. Marburg: Tectum Verlag.

Carstens, O. (kein Datum). *Sand*.

Cress, U. (2017). *Was ist ein Experiment?* Verfügbar unter: <https://www.e-teaching.org/didaktik/qualitaet/experiment> [10.02.2017]

Dewey, J. (1993). *Demokratie und Erziehung*. Weinheim: Beltz Verlag.

Duden. (2017). *Experiment*. Verfügbar unter:  
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Experiment> [12.03.2017]

Duden. (2017). *forschen*. Verfügbar unter:  
<http://www.duden.de/rechtschreibung/forschen> [12.03.2017]

Duden. (2017). *Sand*. Verfügbar unter: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Sand>  
[12.03.2017]

Herminghaus, S. (2005). *Dynamics of wet granular matter*. o. A.: Advances in Physics.

Huber, L. (2013). Die weitere Entwicklung des Forschenden Lernens. Interessante Versuche – dringliche Aufgaben. In L. Huber, M. Kröger & H. Schelhowe (Hrsg.), *Forschendes Lernen als Profilvermerkmal einer Universität. Beispiele aus der Universität Bremen* (S. 21-36). Bielefeld: Webler.

Kahl, H. (2016). *Was ist forschendes Lernen?* Verfügbar unter:  
<http://www.forschendes-lernen.net/index.php/was-ist-forschendes-lernen.html>  
[26.03.2017]

Kampa, I. (2010). *Warum bilden sich Wellenmuster im Sand?* Verfügbar unter:  
<http://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/strand/wellenmuster/>  
[15.02.2017]

Kampa, I. (2010). *Warum ist der Fußabdruck im nassen Sand kurzzeitig trocken?* Verfügbar unter: <http://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/strand/trockener-fussabdruck/> [15.02.2017]

Kergel, D., & Heidkamp, B. (2015). *Forschendes lernen mit digitalen Medien. Ein Lehrbuch*. Münster: Waxmann Verlag GmbH.

Liebold, R. & Trinczek, R. (2009). Experteninterview. In S. Kühl, P. Strodtholz & A. Taffertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung. Quantitative und Qualitative Methoden. 1. Auflage*. (S. 32-56). Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.

Lippold, B. (2017). *Sand*. Verfügbar unter: <http://www.chemie.de/lexikon/Sand.html>  
[07.02.2017]

- Marquardt-Mau, B. (o. A.). *Der Forschungskreislauf: Was bedeutet forschen im Sachunterricht?* Verfügbar unter: [http://www.forschendes-lernen.net/files/eightytwenty/materialien/weiterlesen/Forschungskreislauf\\_Marquardt-Mau.pdf](http://www.forschendes-lernen.net/files/eightytwenty/materialien/weiterlesen/Forschungskreislauf_Marquardt-Mau.pdf) [26.03.2017]
- Quarz, L. (2017). *Sand*. Verfügbar unter: <http://quarzpunktsand.com/sand.html> [07.02.2017]
- Reich, K. (1996). Systemisch-konstruktivistische Didaktik. Eine allgemeine Zielbestimmung. In R. Voss (Hrsg.), *Die Schule neu erfinden*. (S. 70). Neuwied: Luchterhand.
- Scheel, M., Seemann, R., Brinkmann, M., Di Michiel, M., Sheppard, A., & Breidenbach, B. (2008). *Morphological Clues to Wet Granular Pile Stability*. Nature Materials.
- Schlichting, H. J. (2014). Das Geheimnis der Sandburgen. *Spektrum der Wissenschaft*., S. 44-45.
- Schwefer, D. (2017). *Was ist Dichte?* Verfügbar unter: <https://www.nela-forscht.de/2011/05/18/was-ist-dichte/> [01.03.2017]
- Siever, R. (1989). *Sand. Ein Archiv der Erdgeschichte*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH.
- Spinath, B. (2011). Lernmotivation. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Hrsg.), *Empirische Bildungsforschung. Strukturen & Methoden* (S. 45-55). Wiesbaden: VS Springer.
- TU Graz & PH Steiermark. (o. J.). *Der Virtuelle Sandkasten. Unveröffentlichter Antrag im Rahmen des Wissenschaftskommunikationsprogramms*. Graz.

## 8 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Überblick über Modelle für Flüssigkeitsbrücken .....	7
Abbildung 2: Interaktion eines Kindes mit einer virtuellen Partikelwolke .....	8
Abbildung 3: Überblick über die Maßnahmen zur Wissensvermittlung im Kontext der Zielgruppen und der drei Vermittlungsebenen .....	9
Abbildung 4: Bestehender virtueller Sandkasten im Einsatz.....	13
Abbildung 5: Virtueller Sandkasten - Frontansicht .....	15
Abbildung 6: Rippelbildung .....	22
Abbildung 7: Grenzflächen zwischen Sand, Wasser und Luft bzw. Kapillarbrücke aus Wasser.....	24
Abbildung 8: Struktur feuchten Sandes .....	25
Abbildung 9: Sandburg aus feuchtem Sand.....	25
Abbildung 10: Schaubild zur Veranschaulichung des Forschungsprozesses .....	28
Abbildung 11: Materialien.....	37
Abbildung 12: Gewichtsveränderungen der Wasser-Sandmischungen.....	38
Abbildung 13: Umstülpen des Sandbechers .....	41
Abbildung 14: Belastbarkeit des Sandturmes .....	42
Abbildung 15: Diagramm - Der Workshop mit Sand war für mich interessant. ....	53
Abbildung 16: Diagramm - Das Experimentieren mit Sand hat mir Spaß gemacht.....	54
Abbildung 17: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, wie man eine haltbare Sandburg baut.....	55
Abbildung 18: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, warum feuchter Sand zusammenhält. ....	56
Abbildung 19: Diagramm - Ich kann jetzt erklären, warum feuchter Sand leichter ist als trockener. ....	56
Abbildung 20: Zielscheibenabfrage - Volksschule Viktor Kaplan.....	72
Tabelle 1: Kornklasseneinteilung Sand .....	17
Tabelle 2: Tabelle für das Experiment Dichte .....	37
Tabelle 3: Unterrichtsverlauf – Experiment Dichte.....	39
Tabelle 4: Gewichtstabelle für feuchten und trockenen Sand .....	41
Tabelle 5: Unterrichtsverlauf - Experiment Sandburg bauen .....	43
Tabelle 6: Veränderung des Wasserpegels durch Zusammenpressen der Flaschen .....	44
Tabelle 7: Unterrichtsverlauf - Experiment Zauberflaschen .....	45
Tabelle 8: Untersuchungsdesign - schriftliche Befragung der Kinder .....	47
Tabelle 9: Ratingskala mit Symbolen.....	51
Tabelle 10: Beispiel zum ausgefüllten Fragebogen .....	52
Tabelle 11: Beispiel zur Dateneingabe in Excel .....	53



## 9 ERKLÄRUNG



Pädagogische  
**Hochschule**  
Steiermark

### Erklärung – Bachelorarbeit

Name	Matrikelnummer
<b>Lukas Wachtler</b>	<b>1414818</b>

„Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst ist und dass ich dazu keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet habe. Außerdem habe ich die Reinschrift der Bachelorarbeit einer Korrektur unterzogen und ein Belegexemplar verwahrt.“

Graz, am .....

.....




Unterschrift des Verfassers

## 10 ANHANG




### 10.1 Schülerinnen und Schülerfragebogen

Ich bin ein Mädchen / ein Junge.

Schülerfragen:

			
Der Workshop mit Sand war für mich interessant.			
Der Workshop war für mich lustig.			
Ich durfte viel selbst forschen.			
Ich habe mich bei den Experimenten ausgekannt.			
Ich habe immer gewusst was ich machen muss.			

Workshop:

			
Ich möchte gerne mehr über Sand erfahren.			
Die Erklärungen habe ich gut verstanden.			
Das Experimentieren mit Sand hat mir Spaß gemacht.			
Ich wusste schon vorher über Sand Bescheid.			
Ich kann jetzt erklären, wie man eine haltbare Sandburg baut.			
Ich kann erklären, warum feuchter Sand zusammenhält.			
Ich kann jetzt erklären, warum feuchter Sand leichter ist als trockener.			
Ich möchte mehr Workshops wie diesen.			
Meine Fragen zum Thema wurden alle beantwortet.			
Der virtuelle Sandkasten hat mir gut gefallen.			
Ich weiß was eine Simulation ist.			
Ich weiß wofür man Simulationen benötigt.			

## 10.2 Transkript Experteninterview

- Herkunft: Deutschlandsberg
- Aufnahmezeitpunkt und -ort: 13.03.2017, Graz
- Aufnahmemedium: Handy, Sprachmemo
- Aufnahmedauer: 17 Minuten
- Name des Aufnehmenden: Lukas Wachtler
- Name des Transkribierenden: Lukas Wachtler
- Beschreibung der Situation: Aufnahme in einem Seminarraum der Pädagogischen Hochschule Graz
- Kurze Beschreibung der sprechenden Personen:  
Verheiratet, Klassenlehrer der 4c-Klasse der Volksschule Viktor Kaplan in Graz- Andritz,  
Dialekt: steirisch – auf Hochdeutsch geglättet
- W = Lukas Wachtler, N = Martin Neumayer

**W: Sind das Naturprodukt Sand und entsprechende Experimente geeignet zur Vermittlung von physikalischen Inhalten?**

N: Das würde ich auf jeden Fall bejahen. Gerade die Einheit, die wir da gemacht haben eben mit dem Sandburg bauen, was ja wirklich perfekt in die Lebenswelt und in das Umfeld der Kinder hinein spielt. Ich glaube, es hat zum Einen einen großen Aufforderungscharakter zum Ausprobieren und eben auch diese Vermittlung was Kleinigkeiten ausmachen können, wie z. B. wenn ein bisschen Wasser dabei ist, dass das die Stabilität erhöht. Was da wirklich im Kleinen passiert, was man gar nicht sieht.

Ich glaube etwas, das in gewisser Weise die Augen öffnen kann für die Details. Es muss nicht immer alles nur groß sein und verschraubt, oder sonst etwas, sondern kleine Sachen wie ein Minitropfen Wasser kann schon Sachen aneinander halten. Also Sand ist zwar, soweit ich weiß, nie verwendet worden in Unterrichtssequenzen, aber ich glaube Sand ist sicher toll geeignet, um die Physik darzubringen.

**W: Sind die Inhalte der Einheiten für „Forschendes Lernen“ geeignet?**

N: Ich glaube, wir haben in der Einheit gesehen, dass das sehr gut funktioniert. Wenn man als Schule den Vorteil hat, was ja viele Schulen haben, dass man wirklich einen Sandkasten besitzt ist das natürlich auch für den Frühling und Sommer eine super Geschichte, wo man die Kinder noch freier arbeiten lässt. In der Klasse hat es natürlich

immer ein bisschen die Schwierigkeit, dass man "Tablett-mäßig" immer viel vorbereiten muss und dass die Kinder aufpassen müssen, dass sie nicht den Sand auf den Boden oder auf die Tische bringen. Aber auch dadurch, dass das Material so günstig zu bekommen ist und auch nicht gefährlich ist. Es kann nichts explodieren, man kann auch nicht sterben daran oder sonst etwas. Also es ist sicherlich perfekt dafür geeignet.

**W: Was konnte in den 2 Einheiten vermittelt werden?**

N: Ich würde sagen, auf jeden Fall, was ich jetzt auch so beim Durchfragen mitbekommen habe. Ich habe noch einmal mit den Kinder geredet und ein paar Rückmeldungen eingeholt. Die Tatsache, dass wirklich eben zum Einen feuchter Sand stabiler ist, ist bei so gut wie allen Kindern hängen geblieben. Also, dass sie jetzt wissen, okay, wenn das jetzt nur trocken ist, zerbröselst es, wenn es komplett nass ist, rinnt es auch relativ auseinander und wenn grad die richtige Menge ist, dann bleibt es stabil. Das ist auf jeden Fall hängen geblieben. Die Tatsache mit der relativen Dichte, mit dem Gewicht, was das Volumen jetzt dann hat, ist auch vielen Kindern im Kopf geblieben, aber es ist, glaube ich, etwas, was mit der Zeit bei Kindern, die sich danach nicht mehr so damit beschäftigen oder technisch vielleicht nicht so versiert sind, vergessen werden würde. Weil es für Kinder in der Volksschule einfach etwas ist, das an der Grenze ist. Es ist noch nicht zu kompliziert, aber er ist auch trotzdem nicht leicht zu verstehen. Und vor allem auch diese Brückenbildung, die da durch das Wasser entstanden ist, ist durch dieses anschauliche Experiment mit den Tischtennisbällen wirklich sehr, sehr eindeutig gewesen für die Kinder. Sie haben gesehen, Wasser kann im Prinzip fast wie Klebstoff wirken in der richtigen Menge.

**W: Ist für Sie der Zusammenhang zwischen Realexperiment und Virtualisierung (Modellbildung) nachvollziehbar dargestellt worden? Konnte bei den Schülerinnen und Schüler ein Verständnis für den Zusammenhang zwischen Realität und Virtualität hergestellt werden?**

N: Ja, das ist natürlich schon eine schwierigere Geschichte. Dadurch dass (überlegt), ich kann jetzt nicht für die NMS sprechen, aber für die Volksschulkinder, sei es jetzt dritte oder vierte Klasse, es ist schon vom Gedankengang her schwierig. Diese Brücke, von dem was wir da ausprobiert haben, wirklich über eine Berechnung, eine programmierte Simulation, sich dieses ganze zu denken, weil natürlich auch für unsereins, also wenn

ich mir diese Formeln und so anschau, ich weiß ungefähr, wie das funktioniert, weil ich in der HTL war, aber für die Kinder ist das natürlich jetzt nicht sehr viel sagend, aber man kann natürlich schon - gerade in den Bereichen, wie ihr gesagt habt - Simulation, wo braucht man das, dass man zum Beispiel gerade bei Crash-Tests für Autos oder sonst irgendwas, Sachen simulieren kann und sich dadurch eben Geld erspart, usw. Das ist etwas, was die Kinder schon verstehen, und dass man das dem Computer wirklich so darbringen kann.

**W: Zwischenfrage: Der Übergang direkt, vom realen Experiment bis zu einem virtuellen Experiment, ist der einem Kind, ist der Gedanke beim Kind da, dass man sagt, ich brauche zuerst das Experiment, ich führe es aus in Gedanken, dann mache ich das Experiment, führe es aus, schreibe es nieder und kann danach die Simulation hernehmen, um es in Zukunft zu verwenden.**

Ich glaube, also, grundsätzlich schon, dass sie sagen, sie verstehen, dass man zuerst einmal probiert und dann das ganze wirklich genau ergründet, usw. Was, glaube ich, das einzige ist von diesen Schritten, eben vom Experiment bis zur Simulation hin, ist das einzige wo man den Kindern schwer begreiflich machen kann, wie beginne ich dann alles was Berechnungen betrifft etc. (überlegt) Wo starte ich dann? Natürlich habe ich ein Experiment und sehe dann was passiert ist. Aber wie starte ich dann wirklich, wie bringe ich das sozusagen ins Digitale oder in Formeln hinein? Das ist das, was (überlegt) zu schwierig, zu hoch ist. Aber die Tatsache, dass man zuerst einmal etwas probiert und anhand dessen, was passiert ist, dann schaut, kann ich eine Simulation aufbauen, funktioniert die auch und dann immer wieder überprüfen, also der Anfang und der Schluss sozusagen ist da, das verstehen sie, aber eben der Übergang dazwischen ist das, was wirklich schwer ist.

**W: Was würden sie an den Einheiten ändern? Gibt es Verbesserungsvorschläge?**

N: Also bezüglich der Einheit, die wir in den Klassen gehabt haben, (überlegt) würde ich sagen, also grundsätzlich der Aufbau mit, wo braucht man Sand, woher kennt man Sand, was kann man damit machen, Sandburgen bauen, Bilder herzeigen, also, ich glaub, das war ein sehr guter Einstieg, der die Kinder schon sehr gut gefangen hat, interessensmäßig. Danach eben das Experimentieren, was ist leichter, was ist schwerer, ist natürlich, wie gesagt, vom Gedankengang her schwierig und das einzige, was da jetzt

ein bisschen schwieriger ist, muss natürlich als Lehrer genauer erklären, die Tatsache, dass mit z. B. nur drei Mal mit dem Becher dann so aufstampfen, drei Mal schütteln, dass das ungefähr gleich ist, es ist noch irgendwie schwieriger, dass die Kinder das relativ einheitlich zusammenbringen, würde ich sagen. Auch das Vermischen, wobei übrigens beim Vermischen auf jeden Fall, wenn ihr das irgendwie weiter macht, schauen, dass das Metalllöffel sind, oder so, da sind ja bei uns zwei, drei gebrochen, weil es doch recht schwer geht. Ich weiß nicht, ob man da eventuell, wenn man ein großes Anleitungsplakat hat, wo vielleicht diese Arbeitsschritte einmal so schemenhaft, wo man sieht, die Hand und dann irgendwie drei Mal auf den Tisch klopfen, dass die Kinder das einmal an der Tafel hätten, vielleicht, um das was der Lehrer gesagt hat, weil es hören nie alle zu, dass man das zumindest zeigen kann, dass die Kinder das ganz eindeutig oben sehen. Das wäre das, was mir am ehesten noch da in den Sinn gekommen wäre. Ansonsten, ja, das Arbeiten mit den Waagen, das Gewicht ablesen, etc. hat eigentlich recht gut funktioniert, man muss halt nur sicherstellen, dass die Klassen, in denen man das macht, vorher schon einmal mit so etwas gearbeitet haben. Bei mir war das so, deshalb war es, glaube ich, problemlos (überlegt). Ja, dann das Experiment, eben, dieses Keksexperiment ist auch sehr anschaulich, aber eben, es ist natürlich mit Keksen lustig, aber wie ihr selber gesagt habt, es ist wahrscheinlich schon zu ablenkend. Sobald man die Kekse da vorne liegen sieht, würden die Kinder wahrscheinlich am ehesten, ja, gerne fragen: "Darf ich jetzt den Keks haben?" usw., anstatt sie überhaupt zuzuhören, was da passiert. Als Abschluss der Stunde wäre es natürlich nett, wenn man sagt, man kann das nicht nur mit Holzscheiben machen, sondern man kann es natürlich auch mit etwas anderem machen, und dann probiert man es aus und vielleicht die Kinder, die sich jetzt noch irgendetwas gemerkt haben, bekommen dann einen Keks oder so etwas, so als Abschluss wäre es, glaube ich, sehr gut geeignet. Und wie vorher schon erwähnt, die Tischtennisbälle mit dem Wasser zusammen, das ist perfekt, das haut wirklich perfekt hin und die beiden Flaschen mit dem, ich habe jetzt vergessen, wie das genau heißt.

**W: Reynold.**

N: Genau, das war natürlich auch sehr interessant. Und dass das auch mit dem Keksexperiment zusammenhängt, beim Zusammendrücken, das ist (überlegt), da würde ich dann vielleicht auch nur schauen, dass die Flüssigkeit, die eventuell herauskommen kann, also, in dem Fall haben wir sie ja so rot gefärbt gehabt, ich meine, das ist jetzt natürlich schwer zu sagen, aber (überlegt) zumindest so, dass wenn es übergeht, dass es

nicht irgendetwas zu hartnäckiges ist, sondern, ich glaube es würde auch ganz gut gehen, wenn es für die Kinder, wenn in beidem Wasser drinnen ist, weil sie sehen eh, einmal Wasser und einmal mit Sand. Weil dann ist es auch nicht schlimm, wenn etwas übergeht, sag ich jetzt einmal. Aber das, würde ich jetzt sagen, auf die Geschichte in der Schule, also das war wirklich eine extrem gelungene Einheit, wirklich toll gewesen und an der TU natürlich die Sandbox selber war faszinierend, das weiß eh jeder, der schon einmal etwas damit zu tun gehabt hat und alles andere ist natürlich an der TU, es ist logischerweise alles relativ kompliziert, und diese Sachverhalte, die dort bearbeitet werden, einer Volksschulklasse kindgerecht zu vermitteln, ist nicht einfach. Da würde ich mich natürlich schon eher darauf spezialisieren, und zwar die Büros oder die Labors herzuzeigen, ein bisschen die Maschinen, aber eher kurz zu beschreiben, und das wirklich relativ einfach zu halten. Der Kollege hat das dann sehr nett dargebracht mit der einen (überlegt) die Tablette, immer wiederdurchdreht und dass sie eine gewisse Anzahl, wie oft auch immer sie hinunterfallen müssen, ohne zu zerbröseln. Wo er gesagt hat, wie, ich glaub, dass beim Lotto, oder so, wo dann die Kugeln herumfliegen, das ist etwas, was die Kinder sehr gut verstehen, sie kennen Tabletten von zu Hause und dass die, wenn sie auf den Boden fallen, nicht komplett zerbröseln dürfen. Andere Sachen wieder, dass man logischerweise die Profis von Partikeln sprechen, und aber die Kinder selbst, wenn sie diesen Begriff Partikel hören, ich sag einmal, nicht wirklich wissen, was damit gemeint ist. Dass man sagt, was ist ein Partikel? Partikel sind, so wie beim Sand die Sandkörner, sind bei dem die kleinsten Teilchen, die man noch erfassen kann oder die man noch anschauen kann. Also dass man sich nur überlegt, von den Erklärungen wirklich nur das Grundlegendste ungefähr zu beschreiben, was passiert, aber nicht zu sehr in technische Details zu gehen (überlegt), weil das einfach für die Volksschulklasse ein bisschen zu kompliziert ist.

Und dann ist irgendwann ein Punkt, wo die Kinder dann einmal abschalten, würde ich sagen, auch. Wenn sie nicht mehr mitkommen, aber, ja. Und natürlich die Vorstellung, der Leute, die an der TU sind, usw. diese Präsentation war natürlich nicht schlecht, ich würde es aber kürzer halten bzw. ja, ich meine die englischen Begriffe, machen es zusätzlich schwer, die auf der Folie oben sind, weil das ist für die Kinder, das geht dann natürlich gar nicht mehr, weil sie können zwar schon englisch sprechen, ja, aber lesen ist natürlich schwieriger und wenn technische Begriffe auf Englisch oben sind, da geht

dann gar nichts mehr. Also da, ja, einfach wirklich vereinfachen und es ist eh faszinierend genug, wenn man das alles einmal sieht, diesen Campus und diese ganzen Sachen und bei der Präsentation, würde ich sagen, auf jeden Fall noch ein paar Bilder oder Videos hinein, wirklich, wo man sieht, z. B. einen normalen Crash-Test wieder bezogen auf die Simulation, wo man dann schaut, okay, wie viel hat das jetzt gekostet, ein Auto kostet so und so viel Geld und daneben einen computersimulierten, wo man dann sagt, das hat jetzt im Prinzip nur die Stromkosten, die der Computer braucht, oder so etwas in die Richtung, gekostet. Und wenn die Kinder das sehen oder hören, dann verstehen sie sofort warum sind Simulationen wichtig, warum kann man nicht alles ausprobieren.

**Werden sie die gleichen Einheiten selbst im Unterricht einsetzen?**

Also, da ich selbst natürlich (überlegt), im Bereich Technik, und Sachunterricht mein Spezialgebiet habe, in der Volksschule, werde ich sicher mit den nächsten Klassen dann immer wieder solche Sachen ausprobieren. Was dabei noch interessant sein wird, eben, ist die Frage, ob eventuell im Rahmen der Fortbildungen an der PH, etc. (überlegt) ob da auch etwas entwickelt wird, im Sinne von einem wirklichen Experimentierkasten, der dann auch für die Schulen entweder zur Verfügung gestellt werden kann oder vorlagenmäßig ist, weil das natürlich Vieles erleichtert. Aber ich werde zumindest diese Sachen, die wir in der Schule gemacht haben, sicher wieder einsetzen, weil, ja, war einfach eine tolle Stunde.

**W: Werden sie ähnliche Einheiten mit Sand weiterhin für den Unterricht/für das Forschende Lernen heranziehen?**

N: Auf die Schnelle, ich, natürlich, ob man jetzt nur den normalen Sandkuchen baut, so wie wir den gemacht haben und mit einem Becher, oder eben von mir aus andere Formen, oder dann wirklich versucht, in einer nächsten Einheit dann sagt, jetzt bauen wir wirklich etwas Größeres.

**W: Das ist eher so gemeint, dass man auch den Sand hernimmt, aber vielleicht andere Experimente dazu, wenn es solche gibt, oder wenn man darauf kommt, verwendet.**

Also, da würde mir jetzt, auf die Schnelle jetzt nicht so wahnsinnig viel einfallen, halt für, was für die Klasse wirklich lehrplanmäßig jetzt so hinein passen würde. Eben, na-



## Vom realen zum virtuellen Sandkasten - Einsatz von Sandexperimenten in der Grundschule

türlich, mit dem ein bisschen weiter zu arbeiten, wenn man die perfekte Mischung haben, was können wir bauen oder was ist vielleicht der maximal höchste Turm, den wir machen könnten, ist in der Klasse oft wieder schwierig, weil wenn er dann umfällt, oder so, wie stelle ich sicher, dass es nicht auf den Boden geht. Da muss man halt wieder schauen, dass man das draußen macht, aber natürlich ein bisschen weiterarbeiten in die Richtung wäre schon, (überlegt) wäre schon gut, aber für den Volksschulbereich würde mir jetzt nicht so viel mehr einfallen, was ich jetzt damit machen könnte.

**W: Ja super, vielen Dank. Dankeschön.**

N: Bitte gern.

### 10.3 Zielscheibenabfrage

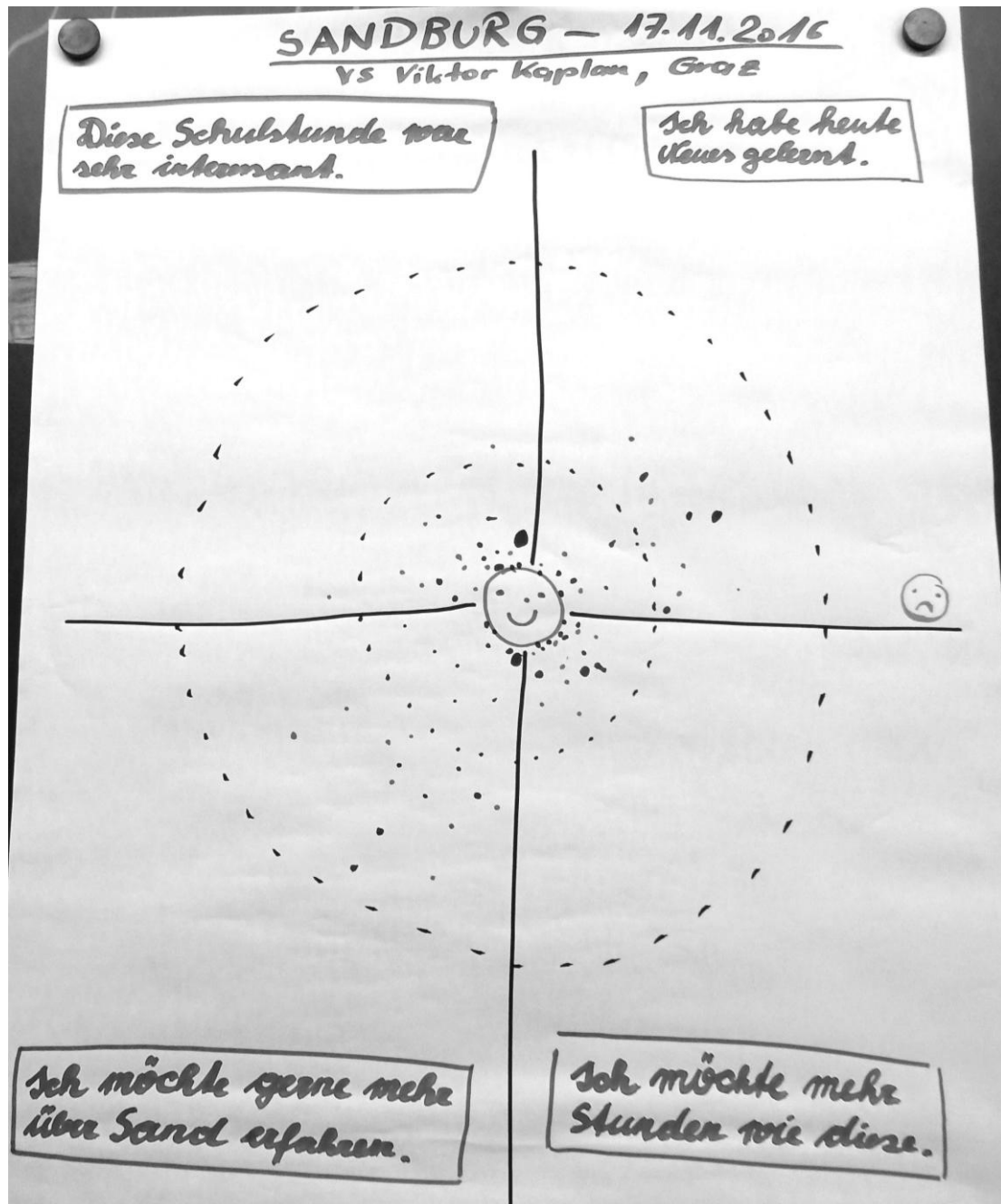


Abbildung 20: Zielscheibenabfrage - Volksschule Viktor Kaplan

## 10.4 Experimente

### 10.4.1 Wasserbrückendarstellung mittels Tischtennisbällen

#### Materialliste:

4 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser, Unterlage

#### Fragestellungen:

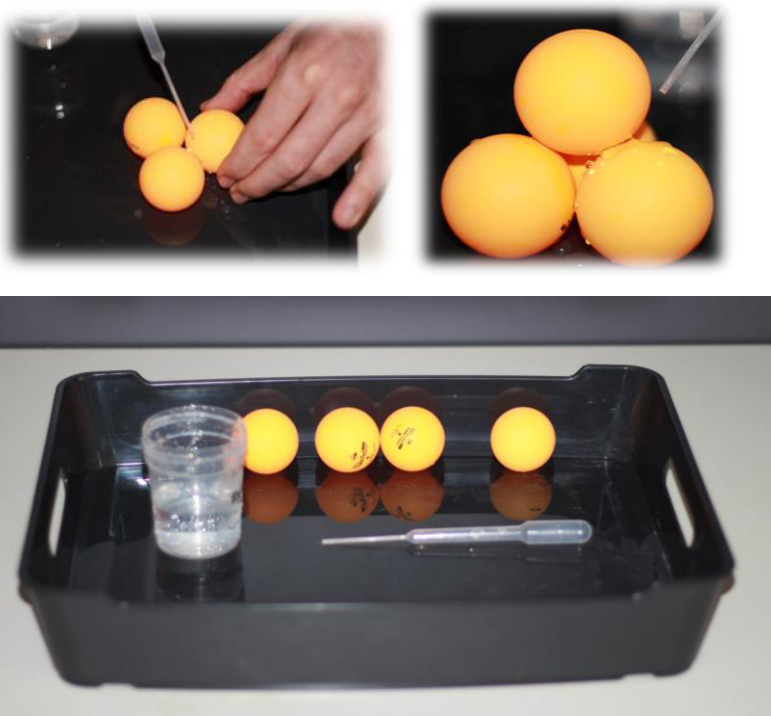
Wie kann man mit den gegebenen Materialien eine Pyramide bauen,so dass sie nicht zerfällt?

#### Versuchsanleitung:

Zuerst versuchen die Kinder eine Pyramide aus Bällen zu bauen – ohne Wasser. Die Bälle rollen bei diesem Versuch auseinanderrollen und halten nicht zusammen.

Wenn sie die Bälle an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzen, entstehen Wasserbrücken zwischen den Tischtennisbällen, die diese dann zusammenhalten. Nun rollen die Bälle nicht mehr auseinanderrollen und die Pyramide bleibt stehen.

#### Bilder:



#### 10.4.2 Wasserbrücken veranschaulichen

**Materialliste:**

2 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser

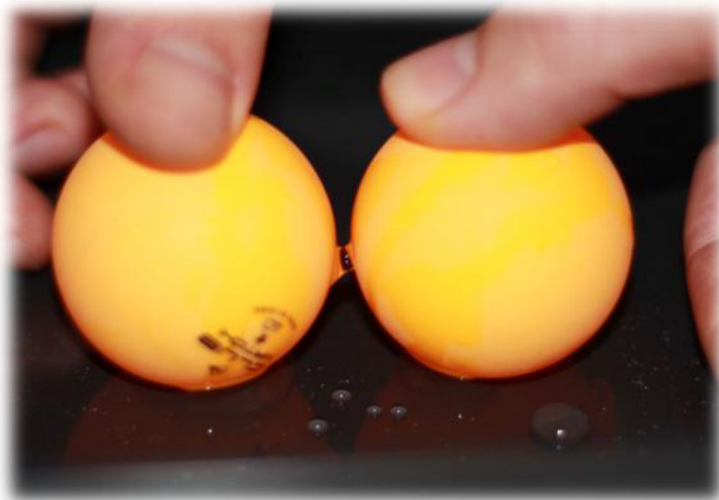
**Fragestellungen:**

Modellbildung einer Wasserbrücke

**Versuchsanleitung:**

Die Lehrperson holt die Kinder an den Lehrertisch, um ihnen den Versuch zu zeigen. Die Bälle werden an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzt damit eine Wasserbrücke entsteht. Wenn man die Bälle ein kleines Stück auseinanderzieht wird diese besser sichtbar. Wenn man die Bälle auslässt, ziehen sie sich wieder an.

Mit Hilfe dieses Experimentes kann gezeigt werden, wie sich zwei oder mehrere feuchte Sandkörner zusammen halten.



### 10.4.3 Kohäsion/Adhäsion (CD-Experiment)

#### Materialliste:

- 1 alte CD
- Wasser
- Glatte Unterlage

#### Fragestellungen:

Was passiert, wenn man eine mit Wasser benetzte CD auf eine glatte Oberfläche legt?

#### Versuchsanleitung:

Die Unterseite der CD wird mit Wasser benetzt. Das Wasser soll auf der ganzen Rückseite verteilt werden. Danach wird die CD mit der nassen Seite auf die glatte Oberfläche gelegt und hin und her bewegt, damit sich das Wasser gut verteilt.

Wenn die Kinder versuchen, die CD hochzuheben, hat sie sich richtig fest gesaugt und lässt sich kaum vom Tisch heben.

#### Warum ist das so?

Wenn man schwitzt oder nass geworden ist, klebt die feuchte Kleidung auf der Haut. Es wirken Adhäsionskräfte zwischen Wasser und CD bzw. zwischen Wasser und Tisch. Adhäsion ist das Aneinanderhaften von verschiedenen Stoffen, zum Beispiel Wassertropfen auf der Fensterscheibe. Kohäsionskräfte (= das, was einen Stoff in sich zusammenhält) im Wasser sorgen dafür, dass der dünne Wasserfilm zwischen Tisch und CD nicht so schnell reißt. Bei Wasser ist die Adhäsion größer, als die Kohäsion. Deswegen bleibt etwas Wasser am Finger, wenn man ihn in Wasser taucht. Ein dünner Wasserfilm kann wegen der Adhäsion wie Klebstoff wirken. Dieser Effekt lässt auch den Duschvorhang beim Duschen am Körper kleben.

Wer Kontaktlinsen trägt, macht sich diese Kräfte zunutze: Wenn man die feuchte Linse auf der Fingerkuppe zum Auge führt, hält sie durch die Flüssigkeit am Finger. Auf dem Auge haftet die Linse durch einen dünnen Tränenfilm zwischen Kontaktlinse und Hornhaut. Deswegen hießen Kontaktlinsen früher auch Haftschaalen.

#### 10.4.4 Keksmodell

**Materialliste:**

Kekse, Magnete, Münzen, o.ä.

**Fragestellung:**

Veranschaulichung des Flaschenversuchs (Reynolds'sche Dilatanz).

**Versuchsanleitung:**

Die Magnete werden wie im unten stehenden Bild auf den Tisch gelegt.



Man kann erkennen, dass die Hohlräume zwischen den Keksen sehr gering sind. Jeder Magnet symbolisiert ein trockenes Sandkorn.

Die Darstellung soll zeigen, wie eng Sandkörner übereinander/ nebeneinander liegen können.

Wenn man aber, wie z. B. bei unseren Reynold'schen-Versuch, die mit Wasser und Sand gefüllte Flasche zusammen drückt, werden Hohlräume frei und das Wasser kann zwischen den Sandkörnern durchsickern.



## 10.5 Rückmeldungen der Kinder der Volksschule Viktor Kaplan

Eva  
Wir haben gelernt das Trichtermodell ohne Wasser nicht ausbauen haben  
aber wenn man Wasser mit einer Pipette hinein tut dann stehen sie wie  
eine Pyramide. Und so haben wir uns das vorgebildet mit den Sandkörnern.  
Wir haben auch auf jeden zweiseitigen Sand und ein Becherglas, Messbecher und  
ein Tablett geschrieben und jedes Team hat eine Wassermenge bekommen dann hat man  
das zum Sand gemischt umgestülpt. Wir haben dann Wasserhaken gebriegt  
und den Sandhügel getestet wie viele Wassermengen er aushält.

SABRIJE

Wir haben mit Sand gearbeitet.

Mir wir haben mit Tennisbällen  
gearbeitet.

Und mit der Wagne. Wir haben  
Sandkuchen gemacht und haben getestet  
welcher Sandkuchen besser hält.

Mit Wasserflaschen haben wir auch  
gearbeitet. Mit

Niko Fels

Wir haben mit den Sond  
gefallen. Das mit die Tischtennisball  
hat mir am meisten gefallen <sup>und ich</sup>  
auch mir am meisten gefallen <sup>und ich</sup>

Das der Sand am Anfang schwerer  
ist als wenn <sup>er mit</sup> Wasser in Berührung  
kommt. Das mit der Wasserforschung  
war auch lustig und.

Das war durch die Beste Stunde  
die ich hatte

Falco

Also mit dem Tischtennisballen wir  
mit der Pipette das Wasser raus getan haben dann  
das man mit Sand Glas herstellt. Auch noch  
das man nur mit Wasser eine Sand Burg bauen  
kann. Und wir haben den Sand abgewogen. Man  
kann einen sand getrocknet nur mit Wasser machen

Linda

Ich fand den Sandkuchen cool, und  
es war komisch, dass er eine drei-  
viertel volle Flasche aushalt. Auch die  
kleine Waage war sehr praktisch. Das  
Wasser die Tischtennisball zusammen  
halten wusste ich nicht. Das Team  
war sehr sehr nett. Mir hat die  
Zielscheibe auf gefallen, wo man ange-  
zeichnet hat wie es einem gefallen hat.

Vielen Dank! 

Katja Hallo Professor und un  
Wir haben mit trockenen sand  
gelebt aber es ging nicht  
dann haben wir wasser dazu  
getan und haben das wasser  
gemest und das sand mit einem  
wiege durch abgemest. Dann  
hat der sand sich in ~~er~~ gatsch  
verwandelt und dann stand es.  
dann haben wir eine wasserflasche  
drauf getan und dann imonen  
mer wasser dann haben wir  
geschaut welcher gatsch mer  
helt dann war eine zielscheibe  
auf der tafel geschrieben wie es  
uns gefallen hat.



David

Ich erinnere mich an die Tennisbälle gefallen. Ich erinnere mich auch an die Wasserbälle mit dem Sand draußigsteil fallen. Ich erinnere mich was wir dann angucken müssen was uns gefallen hat. Ich erinnere mich auch an die Wasserbälle mit dem Sand draußigsteil fallen.

Drei solche mit dem gram und so haben mir sehr gut gefallen genau so wie die Kugel war echt cool.  
Besonders gut haben mir die Becher mit sand und wasser gemischt waren gefallen wo wir suchen konnten. Mir hat es auch gefallen. Es Ende gelernt. habe ich viel über sand gelernt.  
Robert-Jan

Mehmet

Mir haben das Sand gewiegt mit der Waage. Mir haben das gewicht vom Sand auf die Tafel geschrieben. Mir haben die Fichtenisbülle ein lischchen mit Wasser angesprüht. Dann könnten damit eine Piramide gemacht.

Nico M

Hallo T.H - Graz dieser Tag mit ihnen war sehr lustig. Am meisten hat mir gefallen wie wir Wasser und Sand gemischt haben und wie wir auf der Tafel geschrieben haben. Und das wo wir die Wasserflaschen auf unsere Santhäufen gestellt haben. Er war ein toller Tag mit ihnen.

Alice Michelle Albrin  
TU-Grav

Wir haben Tischtennisbälle  
mit Wasser zusammen  
gepickelt. Und ein Experiment  
mit sand haben wir  
gemacht. Das Experiment  
geht so man macht  
eine Sandburg dann  
füllt man ein bisschen Wasser  
in eine Flasche und stellt sie

Nur haben mit dem Sand einen Sand Kugel gemacht

und mit Tischtennisbällen gefüllt dann haben sie

die Lücken zum an machen. Ich finde es sehr toll

Leonie

Wir haben ein Tischtennisbällen  
balle gearbeitet. Und mit der Waage  
haben wir gearbeitet. Wir haben  
mit mit dem sand gearbeitet. Ich  
hab sehr will über sand gelernt.  
Wir haben mit sand ein Berg  
gebaut. Dann haben wir mit Waage  
gemacht. Wir haben Wasserbecken  
gearbeitet. Und auch haben wir  
mit balckonyram gearbeitet.

LEONA

TU - GRAZ

ich erweine mich noch dass ~~ich~~ ich mit sand gearbeitet  
und mit Tennisball. Ich habe noch gemerkt dass ich mit  
Flaschen gearbeitet habe.

Jan

Wir haben Hügel aus Sand gebaut indem  
wir Sand mit Wasser gemischt haben\* und  
dann eine Flasche immer mehr mit Wasser  
gefüllt um zu testen wie stabil die Hügel  
waren. Dann haben wir mit Tischtennisbällen  
einen Turm gebaut und Wasser in ein paar  
Schlitz geschpitzt und der Turm hat gehalten  
\* und eine Plastikform das darauf  
gelegt.

Maxi Meili

Also ich fand es cool, außerdem wurde ich nicht  
dass Sand mit Wasser ab den auslaich, von 10 gram  
leichtbrist. Aber ab 45 gram wird der Sand schwer  
Wir bauen auch Sandkuchen, wo wir immer  
mitschrieben wie viel gram Wasser der Sandkuchen  
aushaltet. Übrigens hielten 2 Sandkuchen  
mit 30 und 40 gramm es aus.

Name: Lila

Wir haben in der Stunde Kruppe 1, 2, 3, ...

ausgemischt und jede 2er Kruppe hat gleich viel Sand bekommen. Aber jede 3er Kruppe hat weniger oder mehr Masse bekommen. Zuerst haben wir Sand in eine Bechere gegeben. Danach haben wir den Sand wie eine Sandburg aufgestellt. Dann haben wir den Sand wieder in den Bechere geben. Dann haben wir Wasser dazu gegeben und aufgestellt. Danach haben wir es geschaut.

Muhamad

Ich bin mir nicht noch an die Tischstühle wo wir Wasser dazu gegeben haben und sie gehalten haben. Wir können noch die Plastikflasche zusammen drücken. In der Flasche war Sand und ein Strohhalm war oben drauf. Am Anfang schauten wir das Sand oder wenn Sand schwerer ist, wir haben dann alles abgesehen und gesehen das Sand ohne Wasser schwerer ist. Wir haben auch Bilder gemacht wo flucht der Kruppe mit Sand gemacht worden ist. Am Schluss haben wir noch bei der Fall Punkte machen können wo wir abstimmen konnten.

Delal

Wir haben mit dem Sand gearbeitet  
und wir haben zu viel Wasser  
~~geben~~ geben unsere ist nicht  
geworden aber mir hat es Spaß  
gemacht mit dem Alex. Ich will  
es noch mal machen.  
♡ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣ ♣



## **4 Bakkalaureatsarbeit Benjamin Bahar (Sekundarstufe)**







***„Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der  
Sekundarstufe“***

**Bahar, Benjamin**

Eingereicht an der Pädagogischen Hochschule Steiermark  
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Education (BEd)

***Studienjahrgang:*** 2014

***Matrikelnummer:*** 1414446

***Studienfachbereiche:***

Fachwissenschaft

Schulpraktische Studie

***Betreuer:***

HS-Prof. Mag. Dr. Erich Reichel

Graz, im April, 2017

***Pädagogische Hochschule Steiermark***

8010 Graz, Hasnerplatz 12, Tel.: +43 316 8067 0, Fax: +43 316 8067 3199, E-Mail: [office@phst.at](mailto:office@phst.at), [www.phst.at](http://www.phst.at)

## **ABSTRACT**

This thesis has to find out the aim, to what extent itself by the application of sand the lasting physical knowledge about natural phenomena allows to promote.

At the beginning the readers receive a theoretical input of the open learning and the searching learning. Moreover, the readers get interesting facts about the natural product sand how it can be included in the lessons and to the realisation by experiments.

In the first part of the theoretical input it is explained what an open learning is and how it can be used in contrast to other learning methods in school. The readers receive an equivalent insight in the next chapter of the searching learning.

To attain an answer, on the question which is relevant for the work, teaching sequences were provided and these were tested in pilot's schools. By means of target query and the method of the guide-supported expert's interview, the results were evaluated.

By these research methods, it was academically disproved that sand builds a supporting basis for succeeding physics lessons. In the end practical examples of the lessons are given.

## **Zusammenfassung**

Diese Arbeit hat das Ziel, herauszufinden inwiefern sich durch den Einsatz von Experimenten zum Thema Sand das nachhaltige physikalische Wissen über Naturphänomene fördern lässt.

Zu Beginn erhalten die Leserinnen und Leser dieser Arbeit einen theoretischen Input zu den Begriffen des offenen Lernens und des forschendes Lernens. Außerdem erfahren die Leserinnen und Leser Wissenswertes über das Naturprodukt Sand, wie es im Unterricht eingesetzt und zum Durchführen von Experimenten behandelt werden kann.

Im ersten Teil der theoretischen Arbeit wird erklärt, was offenes Lernen ist und wie es im Gegensatz zu anderen Lernmethoden im Unterricht eingesetzt werden kann. Einen gleichwertigen Einblick erhalten die Leserinnen und Leser im darauffolgenden Kapitel 4.5 des forschenden Lernens.

Um eine Antwort auf die, für die Arbeit relevante Forschungsfrage zu erlangen, wurden Unterrichtssequenzen erstellt und diese in Pilotschulen getestet. Mittels Zielscheibenabfrage und der Methode des leitfadengestützten Experteninterviews wurden die Ergebnisse evaluiert.

Durch diese Forschungsmethoden wird die, aus dem Theorieteil gewonnene Erkenntnis, dass Sand eine fördernde Grundlage für einen gelingenden Physikunterricht bildet, wissenschaftlich belegt. Im Anschluss daran werden praktische Beispiele für den Unterricht angeführt.

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	7
2	Der virtuelle Sandkasten .....	7
2.1	Inhaltlicher Überblick .....	8
2.2	Was ist eine virtuelle Sandbox .....	9
2.3	Fokussierung .....	10
2.3.1	Lernetappe 1: Neugier und Selbsteinschätzung .....	11
2.3.2	Lernetappe 2: Wahrnehmung und Interaktion .....	11
2.3.3	Lernetappe 3: Wertschätzung und Projektion .....	11
2.4	Zielgruppe .....	12
2.4.1	Realer Sandkasten .....	12
2.4.2	Aufbau des virtuellen Sandkastens .....	13
2.5	Visionen und Ziele .....	14
3	Naturprodukt Sand im Unterricht .....	14
3.1	Bildungsstandards .....	14
3.2	Lehrplan NMS und AHS .....	16
3.3	Didaktische Überlegung .....	18
3.4	Einbettung im Unterricht .....	18
4	Umsetzung im Unterricht .....	19
4.1	Definition Offenes Lernen .....	20
4.2	Offenes Lernen im Unterricht .....	21
4.3	Die Rolle der Lehrperson .....	21
4.4	Die Rolle der Lernenden .....	23
4.5	Forschendes Lernen .....	23
4.6	Forschendes Lernen im Physikunterricht .....	24
4.7	Abgrenzung zu anderen Unterrichtsformen .....	25
4.8	Forschungskreislauf .....	28
4.8.1	Fragen stellen und Hypothesen formulieren .....	28
4.8.2	Durchführung der Experimente .....	29
4.8.3	Interpretation und Präsentation der Ergebnisse .....	30
5	Physikalische Grundlagen .....	30
5.1	Definition Sand .....	30
5.2	Alltagsphänomene mit Sand .....	31

***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

5.2.1	Sanduhr .....	31
5.2.2	Dilatanz im Alltag.....	32
5.2.3	Das Geheimnis der Sandburg.....	32
6	Die Experimente im Unterricht .....	35
6.1	Was sind Experimente?.....	35
6.2	Ausgangspunkt Experiment .....	37
6.3	Material .....	37
6.4	Erste Einheit – feuchter Sand.....	38
6.5	Zweite Einheit – Belastbarkeit.....	41
6.6	Dritte Einheit – Wasserbrücken zwischen Tischtennisbällen .....	44
6.7	Vierte Einheit – Adhäsion.....	46
6.8	Fünfte Einheit – Die virtuelle Sandbox.....	48
7	Empirische Untersuchung .....	48
7.1	Auswahl der Personen.....	50
7.2	Zielscheibenabfrage .....	50
7.3	Vorbereitung und Durchführung.....	50
7.4	Auswertung .....	51
7.5	Fragebogen mit offenen Fragestellungen.....	56
7.6	Inhalte der Fragen .....	57
7.7	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	58
7.7.1	Verständnis.....	58
7.7.2	Lernerfolg.....	58
8	Interpretation der Ergebnisse.....	59
9	Resümee und Ausblick.....	60
10	Literaturverzeichnis.....	62
11	Abbildungsverzeichnis .....	65
12	Tabellenverzeichnis.....	65
13	Erklärung.....	66
14	Anhang .....	67
14.1	Fragebögen Schülerinnen und Schüler NMS.....	67
14.2	Fragebögen Schülerinnen und Schüler AHS .....	87
14.3	Experimente .....	92
14.3.1	Wasserbrückendarstellung mittels Tischtennisbällen .....	92
14.3.2	Wasserbrücken veranschaulichen .....	93

***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

14.3.3	Kohäsion/Adhäsion (CD-Experiment) .....	94
14.3.4	Keksmodell .....	95

## **1 Einleitung**

In dieser Arbeit geht es um ein Simulationsmedium, das von der Technischen Universität Graz hergestellt wurde. In Zusammenarbeit mit der Pädagogischen Hochschule wurde versucht, einen Übergang von der Realität zur Virtualität zu schaffen. Dieses Projekt wurde vom Österreichischen Fond zur wissenschaftlichen Forschung (FWF) unterstützt (Projektnummer WKP67). Ziel war es, für die Schülerinnen und Schüler Unterrichtseinheiten zu konzipieren, in denen die Wichtigkeit der Simulation vermittelt werden kann. Im ersten Teil der Arbeit wird die virtuelle Sandbox beschrieben und wo Simulationen zum Einsatz kommen. Der zweite Teil handelt vom forschenden Lernen. Diese Unterrichtsmethode sollte angewendet werden, um dieses Wissen bestmöglich zu vermitteln. Die Forschungsfrage in dieser Arbeit war, ob sich die virtuelle Sandbox und die erstellten Experimente mit Sand dazu eignen, die Wichtigkeit der Simulation zu aufzuzeigen. Diese Beantwortung wird im letzten Teil der Arbeit beschrieben, der sich mit der Empirischen Forschung auseinandersetzt.

## **2 Der virtuelle Sandkasten**

Prozesse, Partikel und Pulver in der chemischen Industrie sind schwer zu beschreiben und stellen häufig ein Risiko für die Prozessstabilität und Sicherheit dar. Zur Gewährleistung von Prozess und Produktsicherheit wurden in den letzten Jahrzehnten die Prozesssimulation sowie die Simulation von Partikelströmen zum Haupttrend. Dementsprechend gibt es stärkere Notwendigkeit, die Simulation von Partikeln in Grund- und Aufbaukursen der Partikeltechnologie und mehrphasigen Reaktoren zu decken.

Zum wichtigsten Ziel dieses Projektes wurde die Veranschaulichung der Notwendigkeit, komplexe Prozesse, wie Partikelsysteme, zu simulieren, da viele Details nicht direkt dem Experiment zugänglich sind, z.B. durch die Opazität des Sandes. Dadurch können auch komplexe Phänomene – wie Flüssigkeitsbrücken zwischen den einzelnen Körnern – durch eine Reihe an Modellen verständlich gemacht werden. Schlussendlich sollen 3D-Darstellungen Vorstellungsmöglichkeiten komplexer Vorgänge im Detail unterstützen. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

## **2.1 Inhaltlicher Überblick**

Jeder kennt den Sandkasten als einen Ort zum Spielen für Kinder. Bestimmt hat fast jedes Kind schon einmal eine Sandburg in so einer Sandkiste gebaut. Aber nicht nur die Sandkiste ist ein Ort zum Sandspielen, sondern auch am Strand kommen Kinder mit dem Naturprodukt Sand in Berührung. Die wenigsten wissen jedoch, welche physikalischen Gesetze dahinter stecken, damit so eine Sandburg zusammenhält. Im Projekt setzen wir uns genau mit diesen physikalischen Phänomenen auseinander und nehmen den Sand genau unter die Lupe um zu verstehen, warum sie zusammenhält.

Feuchter Sand bzw. „kohäsive Pulver“ sind ein weites Feld für verschiedene Berufsgruppen, die sich mit diesen Eigenschaften auseinandersetzen. Die Hauptbranchen sind die Bergbautechnik, Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Auch die Astrophysik beschäftigt sich mit den kohäsiven Kräften. Es lässt sich damit erklären, warum Asteroiden und Kometen zusammenhalten. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Gleichermaßen wird die Virtualisierung von Prozessen und Produkten genauer beschrieben. Für Partikelsysteme ist es von Vorteil, Modelle und Abbildungen am Computer zu erstellen. Die Abbildung realer Prozesse rückt in der Wissenschaft immer mehr in den Vordergrund, da oftmals der Einblick bei experimentellen Techniken fehlt. Die Wertschätzung wird durch diese Digitalisierung gesteigert. Diese Form der Digitalisierung wird „Industrie 4.0“ genannt. Aufgrund der steigenden Bedeutung von Computersimulationen ist eine digitale Vernetzung der Forscher unumgänglich. In der Zukunft wird die Simulation einen immer höheren Stellenwert erlangen, da diese eine kostengünstigere Variante der Weiterentwicklung mit sich bringt. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

Schon in der Sekundarstufe sollen Schülerinnen und Schüler mit dem Thema „Virtualisierung“ in Berührung gebracht werden. Ein perfektes Mittel dafür ist der virtuelle Sandkasten, welcher Realität und Virtualität gut miteinander vereint und anschaulich gegenüberstellt. Der virtuelle Sandkasten dient als Interaktionsmedium, der den wesentlichen Wert des Projektes zeigt: Es ist auf einfachem Wege möglich, mit simplen Mitteln Komplexes zu formen.



## **2.2 Was ist eine virtuelle Sandbox**

Diese Aktivität bildet das Herzstück des Projektes und besteht aus einer transportablen Version, der „Augmented Reality Sandbox“ (ARS) von Oliver Kreylos (2015).

Die Installation und der Betrieb der ASR sind bereits mehrfach erprobt. Es sind lediglich der Kauf eines leistungsfähigen Simulationsrechners, einer Hochleistungsgrafikkarte, einer 3D-Kamera, sowie die mechanische Konstruktion des Sandkastens notwendig.

Die Technologie einer ARS basiert auf einer sogenannten „erweiterten Realität“, das heißt, der Projektion von Computerdaten (z.B. der Strömung einer Flüssigkeit auf dem Sand) in ein reales Objekt. Im Rahmen dieses Projektes soll die ARS um die Simulation von Partikelströmungen bzw. Eindringung von Flüssigkeiten in die Porenstruktur der Sandmischung erweitert werden. Konkret kann der Benutzer der ARS durch das Aufrufen eines Simulationsprogrammes die Forschungsergebnisse direkt nutzen. Er kann die Feuchtigkeitsverteilung auf den Sandkasten projizieren. Parallel zu diesem Projekt werden die Versuche mit Sand im „realen Sandkasten“ durchgeführt, um wiederum eine Verbindung zwischen Realität und Virtualität herzustellen.

In weiterer Folge können auch die folgenden Aspekte aktueller Forschung transparent dargestellt werden. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

- Ablauf und Geschwindigkeit moderner elektronischer Datenverarbeitung
- Einsatz von Grafikkarten zur Hochleistungssimulation auf kostengünstiger Hardware (Kopplung Grafikkarte & CPU)
- Technik zur Vermessung von Objekten in Echtzeit, 3D-Oberflächenrekonstruktion sowie die Verwendung der Oberfläche zur Echtzeitsimulation

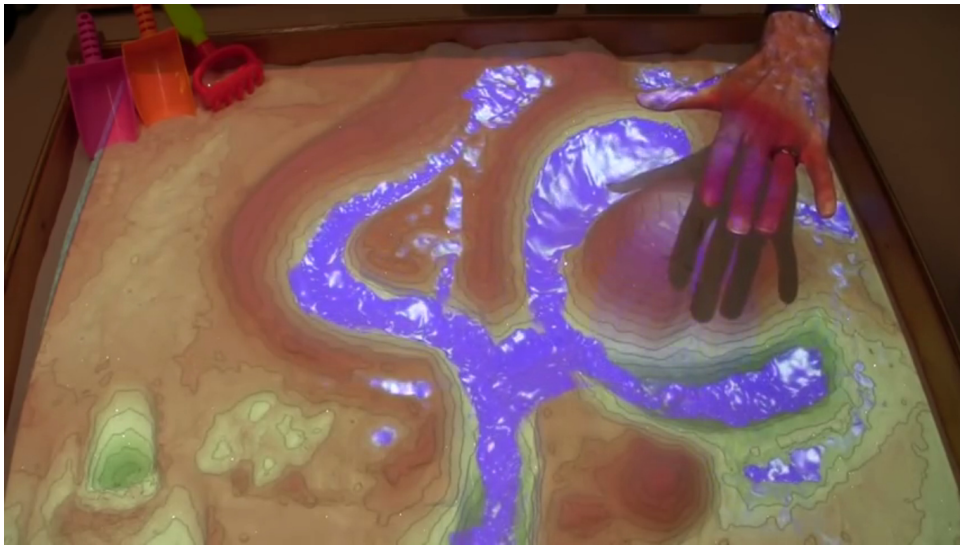


Abbildung 1: bestehender virtueller Sandkasten im Einsatz (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **2.3 Fokussierung**

Die virtuelle Sandbox ist für eine Vielzahl von Anwendungen von Bedeutung. Das Objekt ist geeignet, mehrere Zielgruppen anzusprechen. Dazu gehören die Teilbereiche Physik und Strömungsmechanik, Partikel- und Verfahrenstechnik, Geologie und Hydrologie, Softwareentwicklung und elektronische Datenverarbeitung, Navigation und 3D-Oberflächenmesstechnik sowie die neuartigen Kommunikationsmedien. Die Vermittlung des Wissens soll in mehreren Ebenen stattfinden, zum einen in der wissenschaftlichen Ebene und zum anderen die virtuelle Ebene. Die reelle Ebene soll gleichermaßen mit einfließen. Diese werden wiederum in drei Lernetappen unterteilt: Die erste Lernetappe beschäftigt sich damit, die Neugier und die Selbsteinschätzung zu wecken. Die zweite Etappe dient der Wahrnehmung und Interaktion. Hier werden die Experimente durchgeführt. Die dritte Lernetappe dient der Reflexion des Gelernten. Die Schülerinnen und Schüler sollen nachhaltiges Wissen von den Lehrpersonen vermittelt bekommen. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **2.3.1 Lernetappe 1: Neugier und Selbsteinschätzung**

Das Hauptziel ist es, die Neugier an naturwissenschaftlichen bzw. technischen Fragestellungen bei Jugendlichen zu wecken. Ebenso ist die Förderung intuitiven Lernens ein Ziel dieses Projektes. Die Lehrperson soll in den Hintergrund rücken, dafür das selbständige Lernen bzw. Forschen in den Vordergrund. Diese Art von Unterricht ist sehr effektiv und unter dem Begriff des forschenden Lernens bekannt. Die detaillierte Ausführung dieser Methode wird in Kapitel 4.5 noch genau erklärt. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **2.3.2 Lernetappe 2: Wahrnehmung und Interaktion**

Für dieses Projekt wurden Experimente zusammengestellt, die im Anhang zu finden sind. Die Schüler und Schülerinnen sollen an diesem Beispiel erlernen und persönlich erfahren, wie ein Problem in effizienten Schritten gelöst werden kann. Im Vordergrund steht zuerst das zu lösende Problem. Danach wird eine Hypothese aufgestellt und im Anschluss daran ein Experiment durchgeführt, um diese Hypothesen zu widerlegen oder zu bestätigen. Man nennt diese Herangehensweise auch Forschungskreislauf. Dieser wird im Kapitel 4.8 beschrieben. Den Jugendlichen wird vermittelt, dass vor jeder Simulation die Eigenschaften eines Stoffes erforscht werden müssen, um eine Simulation überhaupt erstellen zu können. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **2.3.3 Lernetappe 3: Wertschätzung und Projektion**

Am Ende der erstellten Lernetappen können die Schüler den ökonomischen Wert einer Forschung erkennen, quantifizieren und einen Zusammenhang zwischen Realität und Virtualität herstellen. Zum besseren Verständnis für die Schüler sind praxisbezogene Vorgänge und Methoden aus der Industrie aufzuzählen, da dort hauptsächlich nur noch mit Simulationen gearbeitet wird. Die Pharmaindustrie (das Pressen von Tabletten) bietet ein gutes Beispiel, da diese ebenso mit Partikeln arbeitet, wodurch eine anschauliche und gut verständliche Querverbindung zu den Einheiten der Lernetappen gegeben ist. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

## **2.4 Zielgruppe**

Dieses Projekt ist in mehrere Zielgruppen aufgeteilt. In dieser Arbeit wird speziell auf zwei Gruppen eingegangen, die Oberstufe der AHS (Sekundarstufe II) und die berufsbildenden Schulen. BMS und BHS.

Die Oberstufe der AHS umfasst in Österreich ca. 92.000 Schülerinnen und Schüler. Sie ist bereits in einer vertieften Allgemeinbildungsphase, mit dem Ziel, die nötigen Voraussetzungen für ein Universitätsstudium zu erlangen.

Die Gruppe der berufsbildenden Schulen, BMS und BHS, besteht aus ca. 113.000 Schülerinnen und Schülern. Hier sind die Bildungsstandards klar definiert, wie man später im Kapitel 3.1 sehen kann, und sie befindet sich in einer vergleichsweise fokussierten Bildungsphase. Relevant für die hier dargestellten Einheiten sind die Fachrichtungen Physik/Chemie, Bau- und Verfahrenstechnik.

Beide Zielgruppen haben im Vergleich zu anderen schon ein gutes Vorwissen und können relativ früh mit dem wissenschaftlichen Hintergrundwissen des Projektes konfrontiert werden.

Eine weitere Zielgruppe bildet die Sekundarstufe I. Bei diesen Schülerinnen und Schülern steht das Wecken der Neugier im Vordergrund. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

### **2.4.1 Realer Sandkasten**

Den Lehrpersonen werden verschiedene Versuche mit Sand zur Verfügung gestellt, welche im Anhang zu finden sind. Die Versuche können offen oder geführt durchgeführt werden. Je nachdem, wie die Schülerinnen und Schüler mit dem offenen Unterricht vertraut sind, werden die Einheiten im Ablauf individuell gestaltet. Für den Lernerfolg maßgeblich und entscheidend ist – unabhängig von der Schülerzahl – eine möglichst offene Gestaltung der Unterrichtseinheiten.

Im Projekt wurden sieben verschiedene Experimente zusammengestellt, die mit dem Naturprodukt Sand durchgeführt werden können. Die Versuche wurden für die Schülerinnen und Schüler interessant und interaktiv gestaltet und verlangten eigenes Hantieren, mit dem Ziel, auch das Interesse an der Naturwissenschaft zu wecken. Folgende Themen werden mit den Experimenten erreicht:

- Von welcher Beschaffenheit ist die ideale Mischung für die perfekte Sandburg?
- Ist feuchter oder trockener Sand bei gleichbleibendem Volumen leichter?

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

- Welche äußerlichen Einwirkungen halten Sandtürme mit unterschiedlichen Wasser-Sand-Mischungen aus?
- Reynold'sche Dilatanz (Warum wird feuchter Sand trocken, wenn er belastet wird?)
- Theorie zur Reynold'schen Dilatanz (Keksmodell)
- Wie baut man eine Pyramide aus Tischtennisbällen? (Wasserbrücken)
- adhäsive Kräfte einfach veranschaulichen

### 2.4.2 Aufbau des virtuellen Sandkastens

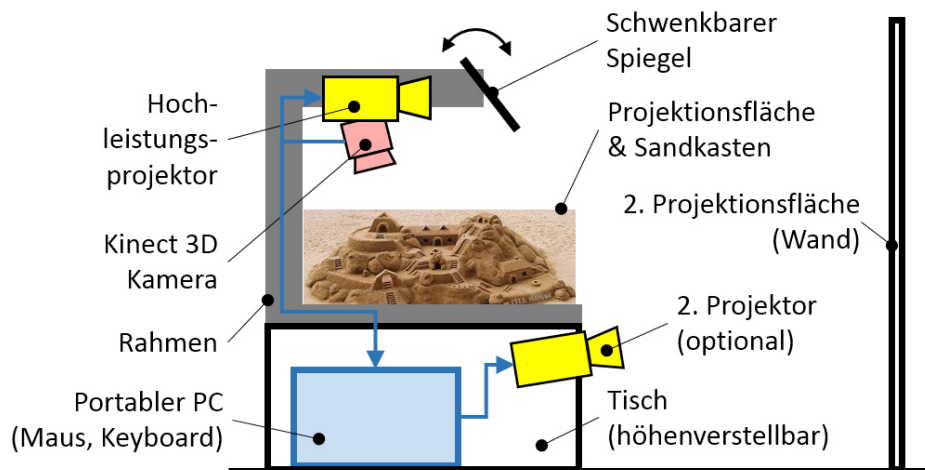


Abbildung 2: Aufbau des virtuellen Sandkastens (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

In Abbildung 2 wird der Aufbau der virtuellen Sandbox dargestellt. Primär besteht der „virtuelle Sandkasten“ aus einer 3D-Kinect Kamera, die diese Veränderungen im Sandkasten filmt und die Informationen an den Computer weiterleitet. Dieser verarbeitet die Informationen und überträgt sie wiederum an den Hochleistungsprojektor, der dann in Echtzeit das neue Bild auf der Projektionsfläche (Sandkasten) darstellt. Optional kann ein zweiter Projektor hinzugefügt werden, um dieselben Bilder auf einer Leinwand zu zeigen. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

## **2.5 Visionen und Ziele**

Ein wesentliches Ziel ist es, die Neugier der Jugendlichen an der Simulation zu wecken. Das vorgestellte Projekt stellt der breiten Öffentlichkeit einen Sandkasten am Computer und parallel dazu in der Realität zur Verfügung. Konkret sollen die Schüler und Schülerinnen der Sekundarstufe angesprochen werden.

Ein technisches Problem wird heutzutage so gelöst, dass durch experimentelle Ergebnisse relevante Computercodes erstellt werden, welche Vorgänge möglichst realitätsnah simulieren. Dadurch besteht die Möglichkeit, Realsituationen mit Simulationen zu verbinden, zur sogenannten „Augmented Reality“ (Kreylos, 2015). Diese Aspekte dienen der naturwissenschaftlichen und technischen Herangehensweise zur Lösung von Herausforderungen für die Konzeption von Lehr- und Lerneinheiten. (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)

## **3 Naturprodukt Sand im Unterricht**

Im aufgezeigten Projekt hat der Sand in der Simulation eine sehr wichtige Rolle. Zum wichtigsten Ziel wurde daher die Veranschaulichung der Notwendigkeit, komplexe Prozesse, wie Partikelsysteme, zu simulieren.

Es soll aufgezeigt werden, dass Sand nicht nur zum Spielen, sondern auch in der Simulation eine wichtige Rolle spielt.

### **3.1 Bildungsstandards**

Die Idee vom österreichischen Bildungskonzept ist es, dass Schülerinnen und Schüler fachliche Kompetenzen sowie den Zugang zu nachhaltigem Lernen erlangen und eine Steigerung in ihrer Selbständigkeit erfahren. Die Fähigkeiten werden im Kompetenzmodell folgendermaßen beschrieben: Die Schülerinnen und Schüler sollen die kognitiven Fähigkeiten erlangen, Probleme selbständig zu lösen. Zielsetzung des Projektes ist es, in Folge weitere Probleme und Fragestellungen anhand des Praxismodells lösen zu können. (Weinert, 2001, S. 27-28)

Demnach sind Kompetenzen das Ergebnis von Lernprozessen. Diese sollen erworben werden, indem sich die Schülerinnen und Schüler mit Umwelt- und Lebenssituationen auseinandersetzen. Die Sachverhalte sollen verstanden und mit Alltagsphänomenen

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

verknüpft werden. Das Konzept unterscheidet zwei Arten von Kompetenzen, zum einen die allgemeinen und zum anderen die fachbezogenen Kompetenzen. Die fachbezogenen Kompetenzen sollen wesentliche Bereiche eines Gegenstandes abdecken und sind für den Kompetenzaufbau entscheidend. (BIFIE, 2011)

In diesem Kompetenzmodell hat das forschende Lernen, um das es auch in den, in der Arbeit angeführten Einheiten geht, einen sehr hohen Stellenwert. Wenn die Handlungskompetenzen speziell mit dem Erkenntnisbereich verglichen werden, so ist gleich ersichtlich, dass diese den Forschungskreislauf (Abbildung 4) widerspiegeln. Das in Österreich entworfene Modell besteht aus einem dreiachsigen System, bestehend aus der Handlungsdimension, der Inhaltsdimension und des Anforderungsniveaus. Dieses Modell sieht wie folgt aus (Abbildung 3):

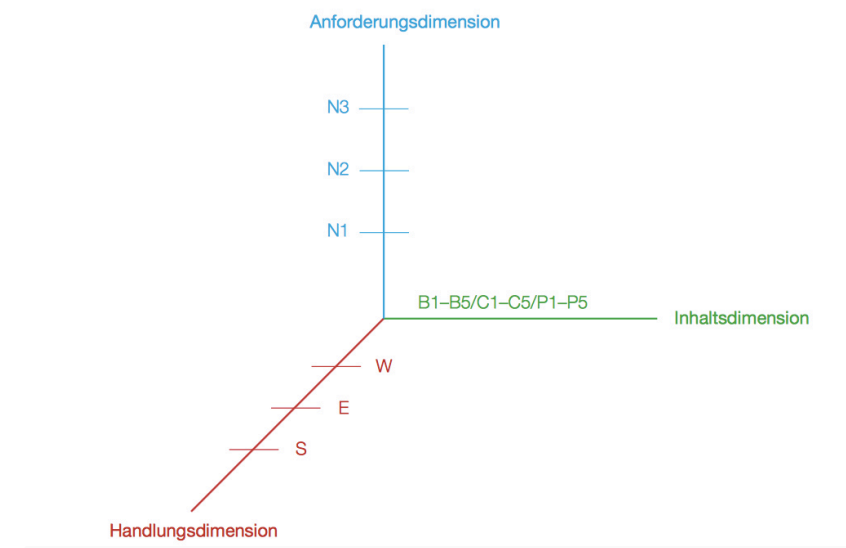


Abbildung 3: Kompetenzmodell (BIFIE, 2011)

Die Handlungsdimension ist in drei Unterpunkte eingeteilt

- Wissen organisieren (W): anzeigen, kommunizieren, darstellen, Erkenntnisse gewinnen
- Erkenntnisse gewinnen (E): fragen, untersuchen, interpretieren
- Schlüsse ziehen (S): bewerten, entscheiden, handeln

Der Lehrpersonen wird geraten, diesen Raster zu Hilfe nehmen, um kompetenzorientierte Aufgaben zu stellen. Außerdem können sie die Leistungen der einzelnen Schülerinnen und Schüler darin eintragen und dadurch ein differenziertes Leistungsprofil erstellen. Diese Profile dienen als Grundlage für die Erstellung individueller Förderpläne. (Müller, 2009, S. 39)

Auch im Lehrplan sind diese Bildungsstandards zu finden und bestimmen, welche Fertigkeiten die Schülerinnen und Schüler am Ende der 8. Schulstufe erlangen müssen, um gut für die weitere berufliche Laufbahn und das weitere Leben vorbereitet zu sein.

Zur objektiven Feststellung der bereits erworbenen Fähigkeiten ist es wichtig, in regelmäßigen Abständen Überprüfungen durchzuführen. Wenn diese zwischen 4. und 8. Schulstufe durchgeführt werden, ist es möglich, Vergleiche zwischen dem Ist- und dem Soll-Zustand gegenüberzustellen. Diese Überprüfungen sind nicht nur für die Schülerinnen und Schüler gute Rückmeldung, sondern auch für die Lehrperson, welche so die Qualität des Unterrichts und dessen Erfolg einordnen kann.

### **3.2 Lehrplan NMS und AHS**

Die Neue Mittelschule und die Allgemeinbildende Höhere Schule haben die Aufgabe, Schülerinnen und Schüler – je nach Interesse, Neigung, Begabung und Fähigkeit – auf den Übertritt in das Berufsleben oder in höhere Schulen vorzubereiten. Sie sind auch beauftragt, beim Erwerb von Wissen, bei der Entwicklung von Kompetenzen und der Vermittlung von Werten mitzuwirken. Das selbstständige Denken und eine kritische Reflexion sind dabei besonders im Vordergrund. Das Zusammenspiel von Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Haltungen, welche in Handlungssituationen durch die Disposition der einzelnen zur Geltung kommen, fällt unter den Begriff Kompetenzen. Das heißt, dass sich die Schüler und Schülerinnen nicht nur in der Schule, sondern auch im Alltag mit Problemstellungen auseinandersetzen können und dann auch Lösungswege finden können. (BMBF, 2016)

Die Ziele, die eine Lehrperson erreichen muss, sind im Lehrplan verankert. Die Lehrperson hat daher den Unterricht so zu gestalten, dass jeder/jede einzelne diese Ziele erreichen kann. Im Sinne ihrer eigenständigen und verantwortlichen Unterrichts- und Erziehungsarbeit haben die Lehrerinnen und Lehrer folgende Verpflichtungen:



## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

- die Auswahl der Inhalte und Unterrichtsverfahren so zu wählen, dass die Ziele erreicht werden
- Lernsituationen zu gestalten und Lernprozesse einzuleiten
- eine ansprechende und passende Lernumgebung aufzubereiten
- vielfältige Zugänge zu den zu behandelnden Themen anzubieten
- Gelegenheiten zu schaffen, fachbezogene sowie fächerübergreifende Kompetenzen zu entwickeln

Speziell im Physikunterricht ist es wichtig, eine Verflechtung zu anderen Naturwissenschaften zu schaffen. Der Unterrichtsgegenstand trägt zu allen Bildungsbereichen bei und soll nicht nur auf physikalische Inhalte beschränkt werden.

Im Physikunterricht geschieht das durch:

- genaues Beobachten der physikalischen Vorgänge
- Verstehen und Anwenden von typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik
- Erkennen physikalischer Grundgesetze in alltagsbezogenen Situationen
- handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Problemen ausgehend von Schülerexperimenten
- Entwicklung von Erklärungsversuchen bzw. Modellvorstellungen und deren Anwendung bei physikalischen Vorgängen in der Natur

Der Aufbau des Lehrplans ist in einzelne Module eingeteilt. Diese Module sollten je nach Gewichtung beliebig kombiniert bzw. variiert werden. Konkrete Beobachtungen und Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler sind je nach lokaler Gegebenheit im Unterrichtsfach Physik zu erarbeiten. Schülerversuche unterstützen dabei und steigern das Interesse durch intensiveren, spannenderen Unterricht. Die Schülerinnen und Schüler stellen Hypothesen eigenständig auf, welche sie mittels Experimenten bestätigen oder widerlegen. Dies ist ein Teil der Kreativität und Gestaltung, vor allem im Lösen von weiteren Problemstellungen. Zusätzlich wird im Lehrplan der Neuen Mittelschule erhöhtes Augenmerk auf einen fachlichen Sprachgebrauch bei Beobachtungen, Beschreibungen und bei der Protokollierung physikalischer Vorgänge gelegt. (BMBF, 2016)

Allgemein kann gesagt werden, dass die Arbeitsweise des forschenden Lernens den Anforderungen der Bildungsstandards und auch den Anforderungen des Lehrplans der Neuen Mittelschule entspricht.

### **3.3 Didaktische Überlegung**

Zu Beginn werden die Schülerinnen und Schüler von der Lehrperson anhand der Methode des Lehrervortrags oder der direkten Instruktion auf das Thema „Sand“ und die Experimente aufmerksam gemacht.

Danach werden die Schülerinnen und Schüler in Gruppen eingeteilt. Die Gruppen sollten am besten so klein wie möglich sein. Durch die Gruppenarbeit bzw. Partnerarbeit werden zugleich die sozialen Kompetenzen gefördert.

Für die restliche Einheit sollte das forschende Lernen bzw. offene Lernen als Unterrichtsmethode eingesetzt werden. Wie diese Unterrichtsformen aussehen, wird in Kapitel 4.5 genau erklärt.

### **3.4 Einbettung im Unterricht**

Lehrplanbezug:

2. Klasse: Die Physik bestimmt unser Leben:

„für die Physik typische Denkweisen kennen lernen“ (BMBF, 2016)

Das Kompetenzmodell Naturwissenschaften des BIFIE beinhaltet folgende Handlungskompetenzen im Erkenntnisbereich (E1-E4)

*Handlungskompetenzen:*

Schüler und Schülerinnen sollen

- das Phänomen beobachten und sich mit der Problemstellung auseinandersetzen
- Fragen zum Experiment stellen
- eine Hypothese aufstellen
- eigenständig ein Experiment planen und durchführen können
- die Ergebnisse analysieren und interpretieren und
- abschließend der Klasse präsentieren

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

*Selbst- und Sozialkompetenzen:*

Schüler und Schülerinnen sollen

- geschult werden, ihre erworbenen Kompetenzen so einzusetzen, um selbstständig Lösungsstrategien für ihre Probleme und Aufgaben zu entwickeln
- ihre Kommunikationsfähigkeit fördern, um in Gruppen miteinander zu kommunizieren, unter Einhaltung der Gesprächsregeln
- ihre Kooperationsfähigkeit steigern, um das Arbeiten in Gruppen zu erlernen und in schwierigen Situationen miteinander Lösungsvorschläge entwickeln

Alle geplanten Experimente können in der Klasse durchgeführt werden. Dadurch kann an Zeit eingespart werden, die beispielsweise beim Wechseln in den Physiksaal vergeht. Die Materialien werden zuvor von der Lehrperson schon in kleinen „Auffangschalen“ (wie in Abbildung 4 ersichtlich) zusammengestellt. Jede Gruppe kann sich sogleich ihr Experimentierpaket abholen und mit ihrer Arbeit beginnen.

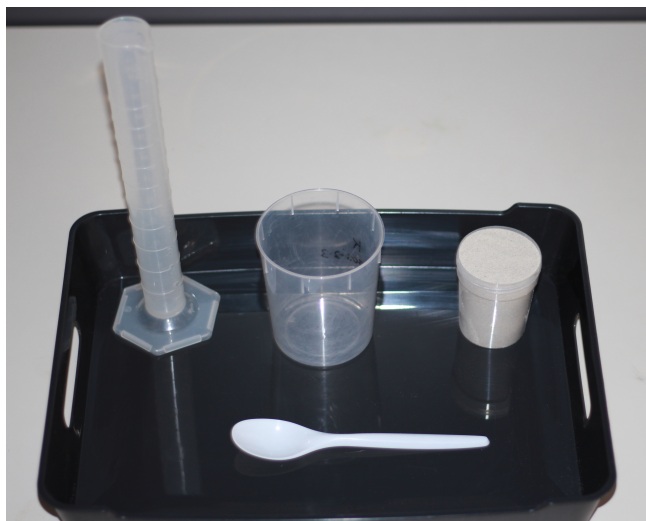


Abbildung 4: Experimentierset

## **4 Umsetzung im Unterricht**

Die Schülerinnen und Schüler sollen mehr Selbstständigkeit erlangen, daher ist es sinnvoll, den frontalen Unterricht zu reduzieren. Durch das starre Anhören der Informa-

tionübergabe der Lehrperson gerät die Phase der Eigeninitiative durch Schülerinnen und Schüler immer mehr in den Hintergrund. Seit einiger Zeit tritt hier das forschende und entdeckende Lernen mehr in den Vordergrund und regt dabei die Schülerinnen und Schüler mehr an, Phänomene des Physikunterrichts selbstständig zu erforschen und eigenständige Entdeckungen zu erlangen. Durch diese positive Entwicklung wird das forschende Lernen im Unterricht zu einer Methode, die im heutigen Physikunterricht nicht mehr wegzudenken ist.

Das forschende Lernen anhand von Experimenten mit Sand regt Schülerinnen und Schüler an, selbstständig einem Naturphänomen auf den Grund zu gehen und eigene Forschungsergebnisse zu gewinnen. Dieses experimentelle Lernen bringt physikalische Aspekte und die Zusammensetzung des Sandes auf spielerisch spannende Art und Weise näher. Ergänzend kann diese These durch die Verwendung der virtuellen Sandbox noch ausgebaut werden. Die Jugendlichen sollen einen Einblick in die Simulation gewinnen, welche für das Alltagswissen wichtig ist. Ziel der Durchführung dieser Experimente ist, dass Schülerinnen und Schüler wieder mehr in den Unterricht eingebaut werden und deren selbstständiges Arbeiten im Unterricht aktiviert wird. Außerdem soll dadurch das Verständnis zwischen Realität und Virtualität aufgebaut und geschult werden. Dies ist Grundvoraussetzung für das weitere Berufs- und Bildungsleben jeder/jedes einzelnen.

#### **4.1 Definition Offenes Lernen**

Den Unterricht offen gestalten – weg von den geführten Lernprozessen. Diese Form wurde in den letzten Jahrzehnten immer beliebter. Pädagoginnen und Pädagogen sind bemüht, wegzukommen vom traditionellen Unterricht und eine Alternative dazu zu finden. Die neue Lernform, die sich daraus entwickelt hat, ist unter dem Begriff „offenes Lernen“ bekannt geworden.

In keiner Literatur ist eine eindeutige Definition über diese Lernform zu finden. Die Autorinnen und Autoren zahlreicher Bücher können sich auf keine einstimmige Begriffsdefinition einigen. Grund dafür ist die durchaus schwierige Abgrenzung. Ab wann endet geführter Unterricht, und wann beginnt das offene Lernen. (Bohl & Kucherz, 2010, S.11)

## 4.2 Offenes Lernen im Unterricht

Forschendes lernen kann eine offene Unterrichtsform darstellen. Doch das Forschen muss zuvor erst gelernt/gelehrt werden. Die Schülerinnen und Schüler müssen langsam auf solch eine Art von Unterricht hingeführt werden. Klassen, die nur gelenkten Unterricht kennen, können zu Beginn nur sehr schwer mit dieser Unterrichtsform umgehen. Eine gute Herangehensweise an offenen Unterricht ist es, wenn er Schritt für Schritt offener gestaltet wird. Am Anfang wird noch sehr viel vorgegeben. Im Laufe der Zeit arbeiten die Schülerinnen und Schüler jedoch immer selbstständiger. (Höttecke, 2010, S. 10)

Bei den gestalteten Unterrichtseinheiten kann die Lehrperson selbst entscheiden, wie offen sie diese Einheit gestaltet. Es hängt immer von der Schulstufe und der Klasse ab. Grundsätzlich sind die Versuche so aufgebaut, dass keine Gefahr für Schüler und Schülerinnen besteht und jedes Experiment beliebig offen gestaltet werden kann.

Die Öffnung des Unterrichts kann in fünf verschiedenen Ebenen eingeteilt werden:

<b>Ebene</b>	<b>Problem/Phänomen</b>	<b>Untersuchung planen</b>	<b>Untersuchung durchführen</b>	<b>Lösung/Erklärung</b>
1	vorgegeben	vorgegeben	vorgegeben	vorgegeben
2	vorgegeben	vorgegeben	vorgegeben	offen
3	vorgegeben	vorgegeben	offen	Offen
4	vorgegeben	offen	offen	offen
5	offen	offen	offen	offen

Tabelle 1: Ebenen der Öffnung (Höttecke, 2010, S. 10)

## 4.3 Die Rolle der Lehrperson

Diese neue Form von Unterricht bedeutet für die Lehrpersonen eine komplett neue Herangehensweise an die zu behandelnden Themen. Offenes Lernen bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler selbstständig werden und aktiv am Unterricht teilnehmen und nicht nur den passiven Part des Zuhörers übernehmen. Dies muss auch die Lehrperson erlernen. (Gudjons, 2006, S. 159)

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Die Rolle der Lehrperson im offenen Unterricht weicht sehr stark von der herkömmlichen Unterrichtsweise ab. Die Lehrperson hatte bisher die Aufgabe, den Schülerinnen und Schülern den Stoff in einer bestimmten Zeit zu vermitteln. In dieser Unterrichtsform wird die Lehrperson zum Coach bzw. zum Berater, an den mindestens drei Faktoren geknüpft sind:

- Informationen über den gegenwärtigen Lernstand bzw. Erläuterungen zu aktuellen Lernschwierigkeiten oder besondere Fehlerquellen
- Unterstützung für den weiteren Lernprozess
- Steuerung des weiteren Lernprozesses

(Bohl & Kucherz, 2010, S. 123)

Die Lehrperson hat nicht die Aufgabe, die Schüler und Schülerinnen an ihrem aktuellen Wissensstand abzuholen und die ganze Klasse auf ein gemeinsames, gleiches Niveau zu bringen. Vielmehr geht es darum, den Schülerinnen und Schülern genügend Material in verschiedenen Schwierigkeitsstufen anzubieten, damit sie den Freiraum bekommen, selbst zu entscheiden, wie sie ihren Lernprozess gestalten. Genau um diese Faktoren geht es, wenn über offenen Unterricht gesprochen wird. Die Lehrperson agiert als Coach und Berater, und die Lernenden arbeiten selbstständig. (Peschel, 2011, S. 173)

Um sich noch genauer etwas darunter vorstellen zu können, welche Rolle der Lehrende in dieser Unterrichtsform einnimmt, hat Gudjons in seinem Buch „Neue Unterrichtskulturen“ die wichtigsten Aspekte niedergeschrieben:

- anbieten, auch wenn die Schülerinnen und Schüler diese Kompetenz erst lernen müssen
- individuelle Lerngelegenheiten bereitstellen
- Diagnose und Beratung verbinden
- Begleiten der individuellen und kooperativen Lernprozesse
- Rückmeldung von Wahrnehmungen
- besprechen und ermutigen

(Gudjons, 2006, S. 168)

Dabei ist es für die Lehrperson auch noch wichtig, eine Mischung aus den vier unten genannten Typen zu verkörpern. Dies ist ein Balanceakt, der den Lehrenden einiges abverlangt:

1. Lehrer als Dompteur, (der den Unterricht straff führt und die Schülerinnen und Schüler zum Lernen antreibt)
2. Lehrer als Entertainer, (der Lernende eher lockt, anzieht und durch seine geschickte Methodik verzaubert)
3. Lehrer als Neo-Romantiker, (der von der natürlichen Neugier und dem unverdorbenen Wissen der Kinder ausgeht und ihnen so viel Freiheit wie möglich gibt)
4. Lehrer als cooler Fachmann, (der sein Wissen sachorientiert an Interessenten weitergibt)

(Gudjons, 2006, S. 168)

#### **4.4 Die Rolle der Lernenden**

Um die Ziele zu erreichen, wird von den Schülerinnen und Schülern ein hohes Maß an Selbstständigkeit und Selbsttätigkeit gefordert. Sie müssen eigene Lösungsstrategien und Lösungswege finden. Dies geschieht innerhalb der Rahmenbedingungen. Die Schülerinnen und Schüler organisieren sich selbst. Zum Erreichen dieser Ziele ist es notwendig, sich gegenseitig zu helfen und die auftretenden Probleme zu lösen. Dabei bedarf es hoher Kooperations- und Kommunikationsfähigkeit. Gesprächsregeln, die vor Beginn der Einheit geklärt werden müssen, sind in diesem Fall sehr wichtig. Die Rolle der Lernenden ist daher sehr aktiv. (Peschel, 2011, S.168)

#### **4.5 Forschendes Lernen**

In der Pädagogik wird das Forschen als eine wichtige Grundfähigkeit bezeichnet. Typische Faktoren für das Forschen sind, die Neugier wecken, Fragen stellen und durch Überprüfen und Experimentieren Lösungen finden. (Messner, 2009, S. 22).

Der Pädagoge, Johannes Reitinge, schreibt, dass diese Unterrichtsmethode als Bildung zur Unabhängigkeit und Selbständigkeit jedes einzelnen vorausgeht. (Roth & Weigand, 2014, S. 4)

#### **4.6 Forschendes Lernen im Physikunterricht**

Da das Forschen und Experimentieren zum Berufsbild eines Physikers oder einer Physikerin gehören, bietet sich die Form des forschenden Lernens gerade im Physikunterricht an. Diese Unterrichtsmethode wurde von der Lehrperson der AHS noch nicht oft im Unterricht durchgeführt, daher war es am Anfang nicht einfach, die Einheiten zu halten. Diese Methode birgt nämlich sehr viele Risiken. Schülerinnen und Schüler, die mit dieser Form noch nicht vertraut sind, stoßen mit Sicherheit auf Schwierigkeiten. Trotzdem sollte diese Form des Unterrichts unbedingt in die Einheiten eingebunden werden. Es muss der Mut aufgebracht werden, den Unterricht zu öffnen und den Schülerinnen und Schülern ein großes Maß an Selbstbestimmung zuzutrauen.

Statt den Ablauf der Stunde auf die Minute genau zu planen und vorzubereiten, geht es beim forschenden Lernen darum, die Rahmenbedingungen zu bestimmen und die Schülerinnen und Schüler als Berater und Coach zu unterstützen. (Höttecke, 2010, S. 7)

Da die Einheiten nicht verallgemeinert werden können, weil Klassen auf einem unterschiedlichen Niveau sind, werden die Experimente Schritt für Schritt geöffnet. Natürlich kann die Lehrperson selbst entscheiden, wie sie den Unterricht aufbauen möchte. Schülerinnen und Schüler, die mit dieser Form von Unterricht bereits vertraut sind, können natürlich gleich selbstständig beginnen. Ein weiteres Ziel dieses Projektes ist es, mit dem Naturprodukt Sand so viele Themen wie möglich zu erreichen. Als Themen in den Einheiten wurden „Dichte“, „Adhäsion“ sowie die „Optimierung einer Sandburg“ gewählt. Natürlich ist die Optimierung einer Sandburg nicht im Lehrplan verankert, doch jeder Schüler oder jede Schülerin hat schon einmal eine Sandburg im Urlaub oder im Sandkasten gebaut. Es empfiehlt sich, solches unbedarfte Vorwissen so oft wie möglich zu nutzen, um spielerische Praxis mit Naturwissenschaften zu bereichern und ein wissenschaftliches Verständnis aufzubauen. Die wenigsten wissen natürlich den physikalischen Hintergrund, warum die Burg überhaupt zusammenhält. Die Begriffe „Dichte“ und „Adhäsion/Kohäsion“ werden hingegen sehr wohl im Lehrplan berücksichtigt. Diese Begriffe können aufbauend in die Einheiten eingebaut werden.

Im Gegensatz zu klassischen Einheiten, bei denen Dichte und Adhäsion/Kohäsion zu- meist recht isoliert den Kindern demonstriert werden, wirken bei einer Sandburg mehre-



re Prinzipien gleichzeitig. Dieses komplexe Phänomen erzeugt natürlich eine erklärungsbedürftige Situation. (Backhaus & Braun, 2009, S. 114)

Der forschende Prozess soll in diesen Unterrichtsverläufen im Vordergrund stehen. Die Schulbücher sollen nur der Ergänzung und weiterer Informationsquelle dienen. Den Großteil sollten die Schülerinnen und Schüler selbstständig erarbeiten. (Höttecke, 2010, S. 5)

Schüler und Schülerinnen beobachten Phänomene und formulieren dazu Fragen und Hypothesen. Ihr Ziel ist es, diese Vermutungen durch das Durchführen von Experimenten zu überprüfen und zu bestätigen. Dazu bekommen Schülerinnen und Schüler von den Lehrenden eine Aufgabenstellung. Beim Durchführen der Experimente werden Daten gesammelt und Notizen zu dem jeweiligen Experiment gemacht. Danach analysieren sie die gesammelten Daten und interpretieren diese. Im Anschluss werden die Erkenntnisse verglichen und in der Gruppe diskutiert. (Höttecke, 2010, S. 5)

#### **4.7 Abgrenzung zu anderen Unterrichtsformen**

In der pädagogischen Psychologie werden die Methoden des förderlichen Lernens in drei Gruppen eingeteilt. Die zu unterscheidenden Methoden sind: die darstellende Methode, die problemorientierte Methode sowie die forschende Methode. Es gibt nicht die perfekte Methode, die für alle Bereiche eingesetzt werden kann. Jeder Themenbereich ist unterschiedlich aufgebaut. Nach Beurteilung der verschiedenen Kriterien muss die passende Lehrmethode ausgewählt werden. Die Auswahl hängt immer vom Thema und den vorhandenen Materialien ab. Zum Erfolg kann entweder Frontalunterricht mit Selbststudium führen oder auch geleitetes Entdecken lassen. Dies ist, wie oben schon erwähnt, immer situationsabhängig. (Hasselhorn & Gold, 2013, S. 22)

Typische Merkmale für darstellenden Unterricht sind das geleitete Unterrichtsgespräch, der Lehrvortrag und der Frontalunterricht. Es wird ein Input von der Lehrperson gegeben und das Geschehen im Unterricht von dieser geleitet. Bei dieser Lernmethode gelten folgende Kriterien: über Lernziele informieren, darbietende Stoffvermittlung, Rückblick und Prüfung von Lernvoraussetzungen sowie angeleitetes selbstständiges Üben und Hausaufgaben. (Hasselhorn & Gold, 2013, S. 264-268)

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Dem darstellenden Unterricht wird der forschende und problemorientierte Unterricht gegenübergestellt. Dieser wird im Kapitel 4.6 als offener Unterricht beschrieben. Typische Merkmale für diese Form von Unterricht sind: Freiarbeiten, Arbeiten an Projekten, Stationenbetrieb und Wochenpläne. Dabei ist es für jede Schülerin oder jeden Schüler möglich, ihr/sein eigenes Tempo zu wählen, um die vorgegebenen Ziele zu erreichen. Die Punkte Differenzierung, Individualisierung und Selbsttätigkeit sind hier von großer Bedeutung. (Hasselhorn & Gold, 2013, S. 291)

Beim entdeckenden Lernen werden folgende drei Formen charakterisiert:

1. Erlernen durch Problemlösen
2. Erlernen durch Beispiele
3. Erlernen durch Explorieren und Ausprobieren

Beim Lernen durch Problemlösen handelt es sich um das klassische kognitionspsychologische Phasenmodell, das den Erwerb von Wissen und Fertigkeiten beschreibt. Es gewährt Raum für lehrergesteuerte und forschende Lehrtätigkeiten. Konkret befördern lässt sich das problemlösende Entdeckungslernen vor allem über das Induzieren kognitiver oder widersprüchlicher Sachverhalte, wie sie etwa durch die Präsentation unerwarteter, kontraintuitiver oder widersprüchlicher Ergebnisse im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Experimentes ausgelöst werden können. (Hasselhorn & Gold, 2013, S. 293)

Zwei Beispielkategorien sind beim Lernen durch Beispiele exemplarisch. Zum einen können Beispiele herangezogen werden, die sich verallgemeinern lassen, zum anderen können den Schülerinnen und Schülern vollständige oder nicht vollständige Lösungsbeispiele zur Bearbeitung vorgegeben werden.

Beim Lernen durch Explorieren und Experimentieren haben White und Frederiksen (1998) für die Inhaltsdomäne einen sogenannten Fragenzirkel vorgestellt, der geeignet sein soll, explorierendes Lernen zu fördern:

- eine Frage formulieren
- Hypothesen aufstellen (ein Ergebnis prognostizieren)
- ein Experiment durchführen (häufig über eine Computersimulation)

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

- anhand der Ergebnisse eine Gesetzmäßigkeit erkennen
- die entdeckende Gesetzmäßigkeit auf andere Situationen anwenden

Lernen durch Explorieren oder Experimentieren wird oft auch als Inquired-Based Learning bezeichnet. Durch solche fragend-erkundende Aktivität wird neues Wissen aktiv generiert. Innerhalb dieser Methode kann der oder die Lehrende das Ausmaß der Lenkung beliebig variieren. Der größte Unterschied zwischen strukturiertem Explorieren und gelenktem Explorieren ist die Fragestellung. Beim strukturierten wird eine konkrete Fragestellung vorgegeben, die Arbeitsschritte werden skizziert. Gelenktes Explorieren heißt, dass einzig die Frage vorgestellt wird. Die Antworten bzw. die Lösungen müssen selbstständig herausgefunden werden.

Beim offenen Explorieren müssen die Schülerinnen und Schüler auch die Frage und die dazugehörigen Lösungsstrategien finden, die zur Beantwortung der Fragen führen.

Diese vorgestellte Methode weist sehr positive Aspekte auf. Zum einen werden die Neugier und die Lernmotivation gefördert und zum anderen die Fähigkeit zur Findung der Lösungsstrategien ausgebildet. Diese ist ein wesentlicher Grundstein, das Gelernte zu verstehen und auf andere naturwissenschaftliche Sachverhalte anwenden zu können. (Hasselhorn & Gold, 2013, S. 294-296)

Bei dieser Unterrichtsmethode ist es wichtig, dass die Lehrperson nur wenig Hilfestellungen gibt. Die Lehrperson soll das Denken der Schülerinnen und Schüler nicht stören und genügend Zeit zur Problembehandlung geben. Wenn Schüler und Schülerinnen Fragen zum Thema haben, werden diese nicht vollständig beantwortet, sondern nur minimale Hinweise angeboten. Es sollten auf keinen Fall wichtige Informationen vorweggenommen werden. (Aebli, 2011, S. 300-301)

Dabei ist zu erwähnen, dass diese Unterrichtsmethode nicht nur in naturwissenschaftlichen Fächern eingesetzt werden soll, sondern auch in allen anderen Fächer eingesetzt werden kann. Dinge, die selbst erkundet oder erforscht worden sind, bleiben meistens länger im Gedächtnis verankert.

#### 4.8 Forschungskreislauf

Wenn die Lehrenden die Schülerinnen und Schüler für den offenen Unterricht bzw. für das forschende Lernen vorbereitet haben, kann diese Methode nun sehr erfolgreich eingesetzt werden. Der Forschungskreislauf in Abbildung 4 kann für die Schülerinnen und Schüler ein sehr nützliches Werkzeug sein. Er dient zur Orientierung und Hilfestellung. Sie lernen, wie Fragen zu physikalischen Phänomenen gestellt werden können, eine passende Hypothese formuliert wird, Experimente geplant bzw. durchzuführen sind und abschließend die Ergebnisse interpretiert und präsentiert werden können.

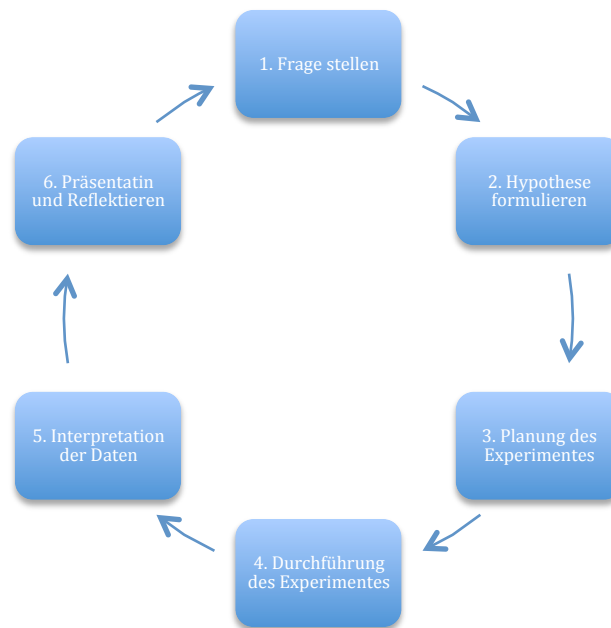


Abbildung 4: Forschungskreislauf (Marquardt-Mau, o. A., S. 32).

In den nächsten Unterpunkten werden die einzelnen Schritte detailliert erklärt.

##### 4.8.1 Fragen stellen und Hypothesen formulieren

Vor den Versuchen sollen die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit bekommen, eine Vermutung aufzustellen und zu notieren, welches Ergebnis sie bei den einzelnen Versuchen erwarten. Hierbei geht es darum, dass sie diesen Vermutungen in den Experimenten nachgehen. Die Beteiligten führen diese Versuche durch, um ihre Ideen bzw. Vermutungen zu bestätigen oder auch überraschend zu widerlegen. Dabei ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler ein Grundverständnis zur Hypothesenüberprüfung erlangen, denn das ist die Grundlage für den naturwissenschaftlichen Forschungsprozess. (Reitinger, 2012, S. 73)

Im Zuge des forschenden Lernens treten folgende Fragetypen sehr häufig auf (Lutz-Westphal, 2014, S. 19):

Erkundungsfrage: „Was geschieht, wenn ...?“

Kernfrage: „Warum ...?“

Quantifizierungsfragen: „Wie viel ...?“

Strukturfragen: „Welche Muster/Regelmäßigkeiten ...?“

Methodenfragen: „Wie ...?“ „Mit welcher ...?“

Anwendungsfragen: „Wo ...?“ „Wozu ...?“

Kontextfragen: „In welchem Zusammenhang ...?“

Nachdem sich die Beteiligten mit dem Thema auseinandergesetzt und Fragen bzw. Vermutungen aufgestellt haben, kann ihnen die „Think-Pair-Share“ Methode dabei helfen, Hypothesen aufzustellen. Durch den Austausch mit anderen Schülerinnen und Schülern werden oft andere Ansichten zum Thema erreicht. Mit dem Wissen mehrerer Beteiligten kann dann eine Hypothese aufgestellt werden. (Höttecke, 2010, S. 9)

#### **4.8.2 Durchführung der Experimente**

In der Sekundarstufe lassen sich viele Experimente mit Alltagsmaterialien von Schülerinnen und Schülern in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit durchführen. Im vorliegenden Projekt werden hauptsächlich Experimente mit Sand durchgeführt. Dieser ist leicht zu besorgen, und jeder hat bzw. hatte im Alltag schon damit zu tun. Im offenen Unterricht übernehmen die Beteiligten die Einteilung und den Ablauf des Experimentes. Jeder versucht, seine Hypothese durch das Experiment zu bestätigen oder zu widerlegen. Für Messergebnisse, Beobachtungen und Vermutungen sind die Jugendlichen selbst verantwortlich.

Im geführten Unterricht bekommen die Beteiligten ein Versuchsprotokoll von der Lehrperson ausgeteilt. Dies ist eine sehr geführte Unterrichtsform, in der die Beteiligten zur richtigen Lösung hingeführt werden.

Beim Durchführen der Experimente ist es bedeutsam, den Schülerinnen und Schülern mitzuteilen, dass diese mehrfach wiederholt werden müssen und dass es keine Abweichungen bei den Ergebnissen geben darf, um eine Hypothese zu bestätigen oder zu widerlegen. (Backhaus & Braun, 2009, S. 106-107)

### **4.8.3 Interpretation und Präsentation der Ergebnisse**

Forschen endet nicht mit der Durchführung eines Experimentes, sondern erfordert im Anschluss einen Austausch der Jugendlichen und der Lehrperson über die bisherige Vorgehensweise: ihre Beobachtungen, die unterschiedlichen Herangehensweisen und letztendlich deren Ergebnisse. Es ist unwichtig, über ein richtiges Ergebnis abzustimmen. Besser ist es, die Unterschiede und Herangehensweisen zum Erlangen der Erkenntnisse zu diskutieren. Vielleicht wird durch die Diskussionen wiederum ein neues Experiment erschaffen, um die besprochenen Ergebnisse zu bestätigen oder zu widerlegen. Durch diesen Austausch lassen sich die sozialen Kompetenzen sehr positiv fördern. Die Schülerinnen und Schüler wollen zu einem gemeinsamen Ergebnis kommen. Das heißt: Hier kann der Kreislauf des forschenden Lernens erneut beginnen. (Roth & Weigand, 2014, S. 6)

## **5 Physikalische Grundlagen**

In diesem Kapitel werden die physikalischen Grundlagen zum Thema Sand behandelt. Sand ist ein Granulat, das sich nur sehr schwer beschreiben lässt. In den nächsten Punkten wird versucht, die bekannten Eigenschaften und Alltagsphänomene, welche hinter diesem Medium stecken, zu erklären. Im Fokus steht, dass man die Welt auch durch das physikalische Auge betrachtet und diese Phänomene auch hinterfragt. Ob es nun im Urlaub ist, wo eine Sandburg gebaut wird oder beim Spieleabend, wenn die Sanduhr abläuft. Die physikalischen Eigenschaften hinter diesen Phänomenen werden in den nächsten Punkten erklärt.

### **5.1 Definition Sand**

Quarzsand ist ein Sand, welcher nahezu nur aus Quarzkörnern besteht. Diese Art von Sand wird vorwiegend in der Glasindustrie eingesetzt. Dazu wird meistens Sand mit einer Korngröße von 0,1 bis 0,4 mm verwendet. Nicht nur in der Keramik, sondern auch in der Schleif- und Putzmittelindustrie oder auch als Bremsand wird Quarzsand benutzt. Es wird davon ausgegangen, dass die weltweiten Reserven von Quarzsand unbegrenzt sind. Die Länder mit der größten Quarzsandförderung sind: in Europa Slowenien, Deutschland, Österreich sowie die USA. (Lippold, 2017)

Die Körnungen sind in folgende Größen eingeteilt:

<b>Sand (S)</b>	<b>Korngröße</b>
Feinsand (fS)	0,063 – 0,20 mm
Mittelsand (mS)	0,20 – 0,63 mm
Grobsand (gS)	0,63 – 2,0 mm

Tabelle 2: Korngrößen (Lippold, 2017)

## **5.2 Alltagsphänomene mit Sand**

Die Körnung von Sand hat am Strand keine Bedeutung. Bei Experimenten oder Simulationen sollte jedoch einheitlich feiner Sand verwendet werden. Aber wo kann feiner Sand und wo kann grober Sand gefunden werden?

Die Wellen tragen das Gestein vom Meeresboden hoch an den Strand. Dabei ist es entscheidend, wie flach oder wie steil der Meeresboden kurz vor der Küste ist.

Ist ein flacher Meeresboden gegeben, können die Wellen weit voranstoßen, so kann der Sand langsam abgelagert werden. Ist der Meeresboden aber sehr steil, schlagen die Wellen mit einer sehr hohen Gewalt gegen die Küste, und größeres Gestein wird an Land geschleudert. Je flacher der Meeresboden vor der Küste ist, desto feiner ist der Sand. Dieser feine Sand wird bei den Experimenten oder bei Simulationen benötigt.

### **5.2.1 Sanduhr**

Egal, wie viel Sand noch in der Uhr ist oder wie hoch der Druck von oben ist, der Sand fließt immer gleich schnell durch den dünnen Hals der Sanduhr. Warum ist das so? Da die Form eines jeden Sandkorns unterschiedlich ist, passt keines genau auf das andere. Es entstehen Poren. Um diese Poren bildet der Sand ein bogenförmiges Netzwerk. Wirkt nun eine Kraft auf den Sand, so wird diese Kraft auf die Seite abgeleitet und vom Glaskolben der Sanduhr abgefangen. Somit wirkt auf den Sand an der schmalen Stelle nie die gesamte darüber liegende Gewichtskraft. Das ist der Grund, warum der Sand immer mit der gleichen Geschwindigkeit rieselt, unabhängig von der Sandsäulenhöhe. (Kampa, 2010)

### **5.2.2 Dilatanz im Alltag**

Das Phänomen der Dilatanz ist im Urlaub gut zu beobachten. Wird ein Spaziergang am Strand unternommen, sollte einmal darauf geachtet werden, was mit dem Fußabdruck geschieht, während der Sand mit dem Körpergewicht belastet wird. Interessant zu beobachten ist, dass der Sand rund um den Fuß heller wird. Das ist ein Zeichen dafür, dass der Sand an dieser Stelle trockener wird. Wird der Fuß wieder gehoben, kehrt die dunkle Färbung und somit die Nässe wieder zurück.

Zuständig für dieses Phänomen ist die Volumsvergrößerung. Zwischen den einzelnen Sandkörnern befinden sich kleine Hohlräume, welche bei feuchtem Sand mit Wasser gefüllt sind. Das Wasser wirkt dabei als Schmiermittel für die Sandkörner zur Anordnung in einer dichten Packung. Diese hat die Auswirkung, dass die Poren sehr klein sind. Belastet man nun die Sandkörner, werden die Sandkörner in den tieferen Lagen auf die Seite bewegt. Grund dafür ist, dass die Kraft über die brückenförmige Anordnung der Körner zur Seite abgeleitet wird. Diese Kräfte wirken auch bei der Sanduhr, wie in Kapitel 5.2.1 zu lesen ist. Die dichte Packung wird durch die Belastung aufgerissen, und die Poren zwischen den einzelnen Sandkörnern vergrößern sich. Das hat die Folge, dass das Wasser von oben in die Hohlräume nachfließen kann. Die oberste Schicht des belasteten Sandes verliert nun Wasser und trocknet somit. Wird der Fuß wieder gehoben, ordnen sich die Sandkörner wieder langsam neu in der dichten Packung an, sodass die Oberfläche wieder feucht wird. (Kampa, 2010)

### **5.2.3 Das Geheimnis der Sandburg**

Schon kleine Kinder können Sandburgen im Sandkasten bauen, denn eine spezielle Mischung aus Wasser und Sand ist dafür nicht notwendig. Es ist nur darauf zu achten, dass nicht zu viel oder zu wenig Wasser hinzugefügt wird. Warum das so ist, wurde erst vor einigen Jahren von Forschern herausgefunden.

Das Verhalten von Wasser und trockenem Sand ist ziemlich ähnlich. Beide rinnen in einer Hand fast gleich durch die Finger. Fügt man aber Wasser zum trockenen Sand dazu, ändert sich dessen Verhalten schlagartig. Der Sand rinnt nun nicht mehr durch die Finger, sondern wird formbar. So können Figuren, wie Burgen oder andere Skulpturen, gebildet und modelliert werden.



## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Verbindet sich Wasser mit Sand, wird der Umgebung eine verhältnismäßig große Grenzflächenenergie abgegeben. Nur durch Zufügen von Energie kann die Form wieder geändert werden. Anders wie beim Kuchen backen, wo es auf die genaue Rezeptur ankommt, um die passende Konsistenz zu erhalten, ist es einfacher, aus Wasser und Sand eine Burg zu bauen. Es ist nur darauf zu achten, dass nicht zu viel oder zu wenig Wasser im Spiel ist. (Schlichting, 2014, S.44)

Für die Festigkeit (Haltbarkeit) einer Sandburg ist der genaue Wassergehalt nicht wichtig, es sei denn, es wird zu viel Wasser verwendet, dann beginnt die Wasser-Sand-Mischung wieder zu fließen. Durch einen Versuch mit winzigen Glaskugeln konnte man dieses Phänomen erst begründen. Die Formen der einzelnen Sandkörner mussten dabei nicht berücksichtigt werden, so konnte der Fokus allein auf die physikalischen Eigenschaften der Sandkörner gerichtet werden. Der größte Unterschied zwischen Sandkörnern und Glaskügelchen liegt darin, dass Sandkörner um einiges rauer sind und dadurch für eine bessere Steifigkeit sorgen. Im Gegensatz zu Glaskügelchen können sich die Sandkörner durch ihre raue Oberfläche untereinander verhaken. (Schlichting, 2014, S.44)

### **5.2.3.1 Konkurrenz der Grenzflächen**

Wasser und Sand verbinden sich durch ein einfaches Grundprinzip miteinander. Dafür ist die Grenzflächenenergie der Grenzflächen beider Substanzen notwendig. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass die Natur bestrebt ist, so wenig Energie wie möglich zu investieren, jedoch viel davon an die Umgebung abzugeben. Dabei kommt es zu einer Konkurrenz der beiden Stoffe. Die Grenzflächen zwischen Wasser und Sand benötigen weniger Energie als zwischen Wasser und Luft. Die Grenzen zwischen Wasser und Sand wachsen daher. Der Konkurrenzvorteil ist bei den Kontaktstellen sehr groß. In den Grenzflächen zwischen Sand und Wasser wird wenig Wasser benötigt, somit auch wenig Grenzflächenenergie. Dadurch kann viel Energie an die Umgebung abgegeben werden.

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

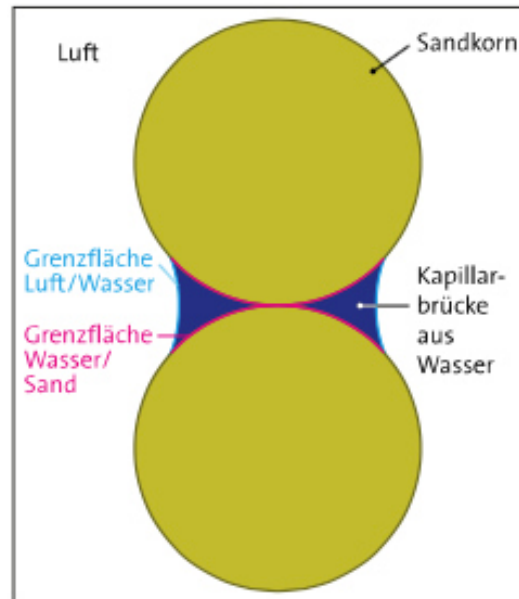


Abbildung 5: Grenzflächen zwischen Sand, Wasser und Luft bzw. Kapillarbrücke aus Wasser (Schlichting, 2014, S. 44)

Die gleiche Wirkung gibt es bei der Kapillarität. In einem dünnen Glasrohr steigt das Wasser von alleine auf. Man spricht hier von Kapillarbrücken. Diese Kapillarbrücken sorgen dafür, dass sich die Sandkörner gegeneinander fixieren und so ihre Steifigkeit erlangen. (Schlichting, 2014, S. 44)

Sollen die Körner nun voneinander getrennt werden, muss die abgegebene Energie wieder ins System zurückgegeben werden. Die zwischen Luft und Sand entstandene energiereiche Grenzfläche wird wieder hergestellt. Mittels Röntgentomografie kann beobachtet werden, was in den Sandklumpen geschieht. Die ungefähre maximale Stabilität des Sandes wird bei ca. 2,5 Prozent Flüssigkeitsvolumen pro Granulatvolumen (Schlichting, 2014, S. 44) erreicht. Dort dehnen sich die Grenzflächen zwischen Sandkorn und Wasser aus, was eine Vergrößerung der Verbände zur Folge hat. Dabei entstehen größere und komplexere Benetzungsstrukturen.

Zuerst werden Dreierverbände bei drei Kapillarbrücken gebildet, wie in **Abbildung 6 a** zu sehen ist. Energetisch ist es dabei von Vorteil, wenn die Lufträume zwischen den Sandkörnern mit Wasser gefüllt sind. Dadurch kann mehr Energie an die Umgebung abgegeben werden, als wenn sich Lufträume dazwischen befinden. Der Verband wird noch komplexer, sobald Wasser hinzugeführt wird. Das zugeführte Wasser wird in diesem Fall in den Zwischenräumen gelagert (zu sehen in **Abbildung 6 b**). Steifigkeit und

Stabilität sind also nicht vom Wassergehalt abhängig, sondern von der Oberflächenspannung und der Größe der Teilchen. (Schlichting, 2014, S. 44)

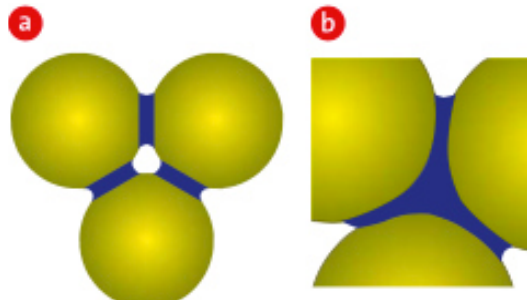


Abbildung 6: Struktur des feuchten Sandes (Schlichting, 2014, S. 45)

## **6 Die Experimente im Unterricht**

In diesem Projekt geht es darum, eine Verknüpfung zwischen realem und virtuellem Sandkasten herzustellen. Dazu wurden Einheiten entwickelt, die Schülerinnen und Schüler langsam auf diesen Übergang hinführen. Zu Beginn wird mit einfachen Versuchen zum Thema Sand gestartet. Dies geschieht auch in der Wissenschaft, bevor man eine Simulation überhaupt programmieren kann. Zunächst müssen die physikalischen Eigenschaften um das Verhalten des Sandes beobachtet und erfahren werden. Dazu wurde eine Reihe von Experimenten zusammengestellt, die im Anhang zu finden ist. Die Lehrpersonen finden dazu eine Beschreibung und den Hintergrund zu den Experimenten. Wie der Unterricht dann gestaltet und wie tief in das Thema eingetaucht wird, entscheidet die Lehrperson letztendlich selbst. Die Informationen stehen jedem zur Verfügung. Je nach Leistungsstärke der Schülerinnen und Schüler bzw. in welcher Schule unterrichtet wird, kann das Thema oberflächlich oder vertieft durchgenommen werden. Am Ende dieser Etappen steht die virtuelle Sandbox. Diese kann auf der technischen Universität Graz besichtigt oder selbst nachgebaut werden.

### **6.1 Was sind Experimente?**

Bei einem Experiment geht es darum, Annahmen oder Vermutungen durch Versuche und/oder Proben zu bestätigen oder zu widerlegen. Ein Experiment dient der Datenerhebung. Experimente finden nicht nur in der Naturwissenschaft statt, sondern auch in der Sozialwissenschaft, Psychologie und der Soziologie.

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Die zuvor formulierten Hypothesen sollen durch eine systematische Überprüfung bestätigt oder widerlegt werden. Dazu werden einzelne Parameter bewusst und aktiv verändert. Experimentieren unterscheidet sich daher von passiv orientierten Verfahren, wie zum Beispiel der reinen Beobachtung. (Was ist ein Experiment? In:E-teaching.org, 2016)

Die Grundlagen des Experimentierens sind in wichtige Faktoren eingeteilt, dazu zählen:

- das zu untersuchende Objekt oder Subjekt
- der Beobachter
- der Ablauf der Untersuchung bzw. des Versuchsaufbaus
- der Vorgang der Untersuchung selbst

Die Variablen sind in einem Experiment am wertvollsten. Unterschieden wird hier zwischen den abhängigen Variablen, unabhängigen Variablen und den Störvariablen. Unabhängige sind jene, die aktiv und bewusst beeinflusst werden. Die abhängigen Variablen betreffen die Auswirkungen und Veränderungen, die beim Experiment überprüft werden sollen. Jene Variablen, die Ergebnisse verfälschen oder beeinflussen, werden Störvariablen genannt. (Was ist ein Experiment? In:E-teaching.org, 2016)

Um aussagekräftige Werte zu bekommen, müssen einige Gütekriterien erfüllt werden. Es wird zwischen Hauptkriterien und Nebenkriterien unterschieden.

Zu den Hauptkriterien zählen: Objektivität, Reliabilität und die Validität

Die Nebenkriterien sind: Ökonomie, Nützlichkeit und die Normierung

Begriffserklärung:

- Objektivität: Die Ergebnisse müssen unabhängig vom Versuchsleiter zustande kommen.
- Reliabilität: gibt an, wie hoch die Zuverlässigkeit der Messmethode ist
- Validität: gibt an, wie genau die gemessenen Werte sind
- Ökonomie: Das Experiment soll mehr nutzen als es kostet.
- Nützlichkeit: gibt an, welchen Nutzen die gemessenen Daten haben
- Normierung: Die Daten sollen von objektiven Versuchspersonen vergleichbar und nachvollziehbar sein.

(Was ist ein Experiment? In:E-teaching.org, 2016)

## **6.2 Ausgangspunkt Experiment**

Die Experimente wurden in zwei Schulen durchgeführt, der Praxis NMS und dem Pestalozzi Gymnasium Graz. Die zuständigen Lehrpersonen haben die Versuchsbeschreibungen, die sich im Anhang befinden, erhalten und diese in den vorgesehenen Einheiten durchgeführt. Es wurden verschiedene Experimente zu verschiedenen Gebieten zusammengestellt. Die Lehrpersonen konnten sich mit diesem „Baukasten“ zu den jeweiligen Teilbereichen eine Unterrichtseinheit zusammenstellen. Die Aufgabe dieser Arbeit war es, die Einheit zu beobachten und mögliche Verbesserungsvorschläge zu notieren.

Die Themenbereiche waren Dichte, Kapillarität und die perfekte Sandburg. Die Lehrpersonen konnten jeweils selbst entscheiden, wie offen sie diesen Unterricht gestalten möchten. Dies hing davon ab, wie sehr die Schülerinnen und Schüler mit dem offenen Unterricht bzw. dem forschenden Lernen vertraut waren. Ziel dabei war es, mit einem Produkt, in unseren Fall Sand, so viele Bereiche wie möglich abzudecken. Zu Beginn der Versuche standen immer Fragen, zu denen die Schülerinnen und Schüler Vermutungen aufzustellen hatten. Danach gab es eine kurze Anleitung der Lehrperson. Danach durften die Lernenden selbst experimentieren und ihre Hypothesen untersuchen. Als Sozialform wurde immer die Partnerarbeit gewählt. In kleineren Klassen kann aber durchaus alleine gearbeitet werden. Dies ist von der Lehrperson individuell abzuschätzen und zu wählen. Es ist allerdings wertvoll und wichtig, dass die zuvor ausgemachten Rahmenbedingungen eingehalten werden.

In der NMS handelte es sich um eine 1. Klasse (5. Schulstufe) und im Gymnasium um eine 7. Klasse (11. Schulstufe). Je nachdem, welche Klasse gerade unterrichtet wird, können die Experimente einfacher oder schwieriger gestaltet werden. In der NMS wurden die Versuche sehr geleitet durchgeführt. Im Gymnasium wurde die Unterrichtsform sehr offen gestaltet, es mussten auch Diagramme ausgewertet werden.

## **6.3 Material**

Für die Experimente, die in den Schulen durchgeführt wurden, wurde normaler Spiel-sand aus dem Baumarkt verwendet.

Im Handel wird dieser Sand als Quarzsand RK 0,1/0,8 bezeichnet. (Bramac, o. J)

Da es für Experimente wegweisend ist, einheitliche und vergleichbare Werte zu erzielen, wurde darauf geachtet, dass in jedem Versuch der gleiche Sand verwendet wurde.

- kalk- und kaolinfrei – dadurch gibt es keine Staubentwicklung und keine Verhärtungen nach längerer Lagerung.
- durch optimierte Sieblinie sehr weich und gut formbar
- frei von humosen Stoffen und Verunreinigungen
- schnell entwässernd und nicht versteifend
- Rundkorn – kein scharfkantiges Bruchkorn

(Bramac, o. J)

#### **6.4 Erste Einheit – feuchter Sand**

Fragestellung: Was ist schwerer? Feuchter oder trockener Sand?

Materialliste:

Becher 100 ml, Becher 400 ml, Sand, Löffel, Wasser, Messbecher, Auffangschale, Gewichte, Kartonunterlage

Feinziele:

Schüler und Schülerinnen sollen

- das Phänomen genau beobachten
- Fragen an das Experiment stellen
- Vermutungen selbstständig aufstellen

#### **Ablauf der 1. Einheit:**

Die Lehrperson setzt sich mit dem Stoffgebiet auseinander und beschließt den genauen Ablauf des Unterrichts. Dies ist von Klasse zu Klasse unterschiedlich. Die beste und nachhaltigste Methode ist immer, die Einheit so offen wie möglich zu gestalten, damit sich die Schülerinnen und Schüler selbstständig mit dem Thema auseinandersetzen und nicht alles wie ein Rezept vorgelegt bekommen.

Bevor die Schülerinnen und Schüler die Materialien ausgeteilt bekommen, erklärt die Lehrperson den genauen inhaltlichen Ablauf der nächsten 2-3 Einheiten. So erlangen die Jugendlichen ein gutes Vorwissen und können sich gedanklich bereits auf das geplante Projekt einstimmen.

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Um die Motivation der Schülerinnen und Schüler zu steigern und die Neugier zu wecken, ist ein spannender Einstieg besonders wichtig (Siehe Kapitel 4.6). Sie werden mit einem Phänomen konfrontiert, das sie zuerst etwas irritieren und auch vermutlich auf die falsche Spur führen wird. Das steigert den Ehrgeiz um das persönliche Auseinandersetzen rund um die Problematik.

Die Schülerinnen und Schüler werden am Anfang der Einheit gefragt, ob feuchter oder trockener Sand schwerer ist. Die Lehrperson notiert anschließend die Vermutungen und diskutiert auch gleich mit den Kindern bzw. Jugendlichen. Wie bereits in den Pilotschulen zu sehen war, stimmt in der Regel die ganze Klasse dafür, dass der feuchte Sand schwerer ist. Die Kinder erklären dies damit, dass durch die Verbindung mit Wasser eine schwerere Masse entsteht.

Die Lehrperson teilt danach die Versuchsmaterialien aus. Je nach Klassenstärke, wird alleine oder mit dem Sitznachbar oder Sitznachbarin gearbeitet. Die Schülerinnen und Schüler füllen zuerst den trockenen Sand in einen Becher, wiegen diesen ab und notieren die Ergebnisse. Anschließend mischt jede Gruppe ihren trockenen Sand mit Wasser im größeren Becher. Wichtig dabei ist, dass jede Gruppe ein anderes Mischverhältnis bekommt, um Gewichtsvergleiche aufstellen zu können. Wenn alle die Masse gut vermischt haben, füllen sie den feuchten Sand wieder zurück in den Becher, in dem sie die erste Messung durchgeführt haben. Ist der Becher wieder bis zur gleichen Markierung gefüllt, stellen sie diesen wieder auf die Waage und notieren erneut das Gewicht. Jede Gruppe teilt der Lehrperson nun das Trockengewicht und das Feuchtgewicht mit. Diese Werte werden in einer Tabelle eingetragen. Die Kinder werden sehen, dass die feuchte Masse nun deutlich leichter ist als der trockene Sand.

<b>Gruppe</b>	<b>Masse Sand trocken (g)</b>	<b>Wassermenge (ml)</b>	<b>Gesamtmasse feucht (g)</b>	<b>Belastbarkeit (g)</b>
1	210	5		
2	210	10		
3	210	15		
4	210	20		
5	210	30		
6	210	40		
7	210	50		

Tabelle 3: Tabelle für Messwerte

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Die Lehrperson oder die Kinder bzw. Jugendlichen erstellen in der Zwischenzeit eine Tabelle an der Tafel oder im Heft. Wenn alle Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse dem Lehrer mitgeteilt haben, werden diese in die Tabelle eingetragen. In der ersten Spalte werden die Gruppen eingetragen, in denen die Kinder eingeteilt wurden. Die abgewogene Masse des trockenen Sandes wird in der zweiten Spalte eingetragen. Die Spalte drei mit der Wassermenge wird von der Lehrperson zuvor schon ausgefüllt, um unterschiedliche Mischverhältnisse zu gewährleisten. Nach dem Vermengen von Sand und Wasser wird die Masse in die vierte Spalte eingetragen. Die letzte Spalte kommt im Folgeexperiment zum Einsatz. Dort wird die maximale Masse eingetragen, die von dem Turm getragen wurde.

Aus dieser Tabelle kann dann ein Diagramm erstellt werden. Nun werden die Kinder gefragt, was ihnen auffällt und ob sie eine Erklärung dazu haben. Die Gruppen beraten sich untereinander und stellen Vermutungen auf, warum der feuchte Sand leichter ist als der trockene. Anschließend bespricht die Lehrperson die Aussagen der Gruppen gemeinsam mit der ganzen Klasse. Falls die richtige Antwort noch nicht genannt wurde, erklärt die Lehrperson dieses Phänomen, das in Kapitel 5.2.3.1 schon erläutert wurde.

### Geplanter Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 1</b>	Erklärung/Einführung	Zeit 5 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Was erwartet die SuS in den nächsten Einheiten?</li><li>• Wie sehen die zeitliche Organisation und die Rahmenbedingungen aus?</li></ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 2</b>	Einstieg in das Projekt	Zeit: 5 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• L teilt die SuS in 2er- Gruppen ein.</li><li>• L stellt den SuS die Frage, ob feuchter oder trockener Sand schwerer sei.</li><li>• L diskutiert mit SuS die Vermutungen.</li></ul>	Materialien: Tafel



## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

<b>Schritt 3</b>	1 Versuch	Zeit: 10 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Arbeitsmaterialien werden ausgeteilt</li><li>• Erklärung des Experiments</li><li>• Durchführung</li><li>• Messdaten sammeln</li><li>• Messdaten besprechen</li></ul>	Materialien: Tafel, Sand, Becher, Löffel, Wasser, Messbecher, Gewichte, Unterlage
<b>Schritt 4</b>	Fortsetzung im nächsten Kapitel 6.5	Zeit

### **6.5 Zweite Einheit – Belastbarkeit**

Fragestellung:

Wie viel Masse hält mein Turm aus?

Materialliste:

Becher 100 ml, Becher 40 0ml, Sand, Löffel, Wasser, Messbecher, Auffangschale, Gewichte, Kartonunterlage (wie bei Experiment 1)

Feinziele:

Schüler und Schülerinnen sollen

- das Phänomen genau beobachten
- Fragen an das Experiment stellen
- Vermutungen selbstständig aufstellen

#### **Ablauf der Einheit:**

Der zweite Versuch ist ein Folgeexperiment, das gleich im Anschluss an das erste Experiment durchgeführt wird. Jede Gruppe hat nun die fertige Mischung vor sich liegen. Die Tabelle mit den Messergebnissen steht an der Tafel.

Die Schülerinnen und Schüler übertagen nun diese Tabelle von der Tafel in ihr Heft. Anschließend erklärt die Lehrperson die weiteren Schritte. Die mit dem Wasser-Sand-Gemisch gefüllten Becher sind nun zu stürzen, damit ein Sandturm entsteht. Wenn dies geschehen ist, sollen sie ein Ranking erstellen, welcher Turm ihrer Meinung das größte Gewicht hält, wenn er belastet wird. Als nächsten Schritt bekommen die Gruppen Wasserflaschen zur Verfügung gestellt, welche unterschiedlich schwer gefüllt sind. Zur Belastung des Sandturms platzieren die Schülerinnen und Schüler die Flaschen auf ihrem

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Turm. Sie steigern das Gewicht so lange, bis der Sandturm zusammenbricht. Jede Gruppe notiert sich wieder, wie viel der eigene Turm ausgehalten hat. Danach werden alle Ergebnisse der Lehrperson mitgeteilt. Diese trägt die Werte wieder in die Tabelle ein. Die Schüler und Schülerinnen können nun das offizielle Ranking mit dem selbst erstellten Ranking vergleichen.

Die Lehrperson projiziert ein Diagramm, in dem Folgendes zu sehen ist:

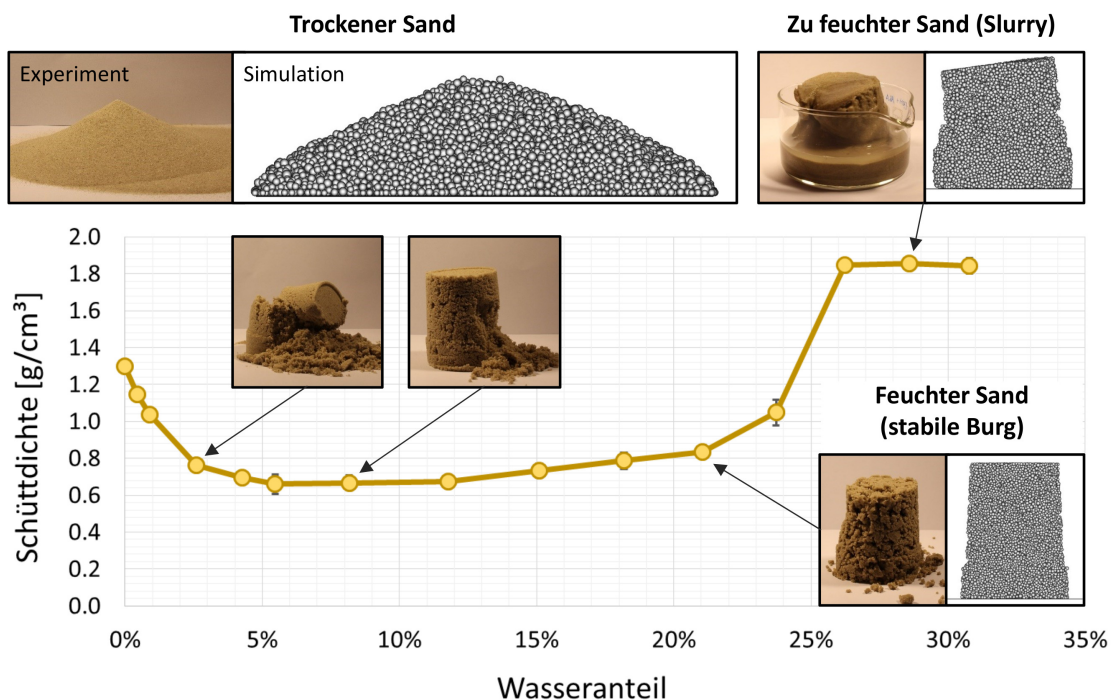


Abbildung 7: Diagramm Schüttdichte-Wasseranteil

Die Lehrperson fragt die Schülerinnen und Schüler nun, ob sie anhand von diesem Bild Zusammenhänge mit ihrem Experiment finden und geht auf die Vermutungen ein. Abschließend gilt es für die Gruppen zu erkennen, dass es einen Bereich für die „perfekte“ Mischung gibt. Wird zu wenig oder zu viel Wasser verwendet, wird der Turm instabil. Diese beiden Experimente beschließen die erste Einheit und bilden eine gute Basis für die folgende, zweite Einheit.

***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

Geplanter Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 4</b>	Fortsetzung Versuch 2	Zeit: 5 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L fragt die SuS, welche Mischung am stabilsten sein wird.</li> <li>• SuS erklärt den nächsten Versuch.</li> </ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 5</b>	Durchführung Versuch 2	Zeit 10 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SuS müssen ein Ranking erstellen.</li> <li>• SuS belasten die Türme mit verschiedenen Gewichten, bis der Turm einbricht und notieren die Ergebnisse.</li> <li>• L notiert die Werte in der Tabelle. SuS vergleichen diese mit ihren Vermutungen.</li> </ul>	Materialien: Wie bei Versuch 1! (Sand, Becher, Löffel, Wasser, Messbecher, Gewichte, Unterlage)
<b>Schritt 6</b>	Zusammenfassung der Versuche	Zeit 5 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L projiziert ein fertiges Diagramm an die Wand.</li> <li>• SuS sollen Zusammenhänge zu dem zuvor Gelernten herstellen.</li> </ul>	Materialien: Beamer Heft
<b>Schritt 7</b>	Abschluss	Zeit 5 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L stellt bespricht das zuvor Gelernte mit den SuS und sieht so, was in deren Gedächtnis hängen geblieben ist.</li> </ul>	Materialien: Tafel

## **6.6 Dritte Einheit – Wasserbrücken zwischen Tischtennisbällen**

### Materialliste:

4 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser, Unterlage

### Feinziele:

Schüler und Schülerinnen sollen

- das Phänomen genau beobachten
- Fragen an das Experiment stellen
- Vermutungen selbstständig aufstellen

### Ablauf der Einheit:

Zu Beginn wird die letzte Einheit noch einmal kurz wiederholt. Dies geschieht einerseits, um den Lernerfolg zu prüfen, andererseits um das Wissen aufzufrischen und nahtlos zum nächsten Experiment schreiten zu können. Von Vorteil ist es, wenn zwischen den Einheiten nicht zu viel Zeit vergeht, um die Versuche kompakt durchzuziehen.

Nach der Wiederholung bekommen die Schülerinnen und Schülern wieder die Versuchsmaterialien von der Lehrperson ausgeteilt. Die Gruppen bleiben wieder gleich, und die Einheit kann wieder in der Klasse durchgeführt werden. Nun bekommen die Gruppen die Aufgabe, aus vier Tischtennisbällen eine Pyramide zu bauen. Bei diesem Versuch kann auch ein Wettkampf als Einstieg gewählt werden, um die Motivation der Gruppen zu steigern. Da im Sandmodell zuvor gelehrt wurde, dass eine Sandburg ohne Wasser nicht hält, sollten die Gruppen relativ schnell erkennen, dass sie die Tischtennisbälle zum Bau einer Pyramide mit Wasser benetzen müssen. Bei Bedarf können von der Lehrperson kleine Hilfestellungen gegeben werden. Die Lehrperson nimmt hier die Rolle des Beraters/der Beraterin und des Hilfestellers ein.

Wenn alle Gruppen diese Pyramide vor sich stehen haben, werden die Vorgehensweisen der Gruppen besprochen. Die Schüler und Schülerinnen sollen Verknüpfungen zur letzten Einheit herstellen und die Funktion des Wassers beim Bau einer Sandburg nochmals erklären.

Danach sollen die Gruppen die Pyramiden genau beobachten und der Klasse mitteilen, was sie sehen. Zwischen den einzelnen Bällen sind die Wasserbrücken nun sehr gut zu sehen, welche diese Pyramide zusammenhalten.

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

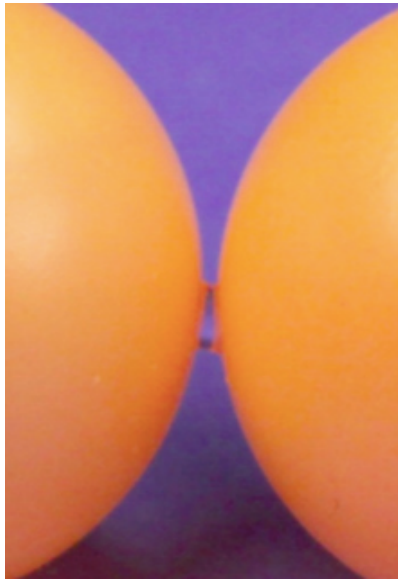


Abbildung 8: Wasserbrücke

Die Schüler und Schülerinnen sollen nun selbstständig Vermutungen und Verknüpfungen zur echten Sandburg herstellen. Zur Beratung bekommen die Gruppen etwas Zeit. Ziel ist es, dass die Kinder die Tischtennisbälle als Sandkörner betrachten und wissen, dass zwischen den einzelnen Sandkörnern die gleichen Wasserbrücken entstehen. Wenn alle Sandkörner mit einer Wasserbrücke verbunden sind, hält die Sandburg am besten.

### Geplanter Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 1</b>	Wiederholung der letzten Einheit	Zeit: 2 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• L teilt SuS wieder in die gleichen Gruppen sein.</li><li>• L befragt die SuS, was sie von der ersten Einheit noch wissen.</li></ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 2</b>	Einstieg Versuch 3	Zeit: 5 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• L stellt den SuS die Aufgabe, aus vier Tischtennisbällen eine Pyramide zu bauen.</li><li>• SuS bekommen Zeit, diese Pyramide zu bauen.</li></ul>	Materialien: Tischtennisbälle, Pipette, Wasser, Becher, Unterlage

***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

<b>Schritt 3</b>	Lösungsansätze	Zeit: 5 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L befragt SuS, wie sie die Pyramide gebaut haben.</li> <li>• L-S-Gespräch zu diesem Thema</li> </ul>	Materialien: Tafel
<b>Schritt 4</b>	Theorie	Zeit: 15 min
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L sagt SuS, dass sie die Pyramiden genau beobachten sollen.</li> <li>• SuS sollen die Wasserbrücken zwischen den Bällen beobachten.</li> <li>• SuS sollen eine Verbindung zu der letzten Einheit herstellen.</li> <li>• SuS sollen selbst erkennen können, dass die Bälle wie Sandkörner sind und nur mit Wasser zusammen halten → wie bei der Sandburg.</li> </ul>	Materialien: Pyramide, Tafel
<b>Schritt 4</b>	Fortsetzung im nächsten Kapitel 6.7	Zeit:

### **6.7 Vierte Einheit – Adhäsion**

Materialliste:

CD, Wasser

Feinziele:

Schüler und Schülerinnen sollen

- das Phänomen genau beobachten
- Fragen an das Experiment stellen
- Vermutungen selbstständig aufstellen

**Ablauf der Einheit**

Im Anschluss dieses Experimentes kommt der Begriff Adhäsion ins Spiel. Denn genau das ist der Fachbegriff für dieses Phänomen.

In diesem Experiment wirkt die Adhäsionskraft zwischen Wasser und Tischtennisball (Anziehungskraft), die dafür sorgt, dass ein Wassertropfen den Tischtennisball benetzt

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

bzw. darauf haften bleibt. Das Ergebnis dieser beiden Kräfte sind die sichtbaren Wasserbrücken.

Um diese Kräfte noch deutlicher spürbar zu machen, bekommt jede Gruppe eine CD ausgeteilt. Diese CD wird an einer Seite mit Wasser benetzt und dann mit der nassen Seite auf den Tisch gelegt. Die Schüler und Schülerinnen sollen nun versuchen, die CD vom Tisch anzuheben. Dies wird den Gruppen nur sehr schwer gelingen. Dieses Experiment erklärt auf leicht verständliche Weise, wie stark diese Kräfte sind. Dieser Versuch wird eher geleitet durchgeführt, da es nur um die Veranschaulichung der Adhäsionskräfte geht.

Am Ende dieser Einheit werden im Plenum die letzten beiden Einheiten noch einmal durchbesprochen und das Erlernete reflektiert. Jeder Schüler und jede Schülerin soll nun in der Lage sein, die physikalischen Eigenschaften einer stabilen Sandburg zu beschreiben.

### Geplanter Unterrichtsverlauf

<b>Schritt 1</b>	Fortsetzung Theorie zu den Wasserbrücken	Zeit: 3 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• L erklärt den SuS, welche Kraft zwischen den Tischtennisbällen wirkt.</li><li>• L erklärt geführt, dass diese Kräfte Adhäsionskräfte heißen.</li></ul>	Materialien: Pyramide
<b>Schritt 2</b>	Versuch 4	Zeit: 10 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• L teilt jeder Gruppe eine CD aus, welche auf einer Seite mit Wasser zu benetzen ist. Die nasse Seite wird dann auf den Tisch gelegt.</li><li>• SuS sollen versuchen, die CD dann vom Tisch zu heben.</li><li>• SuS bemerken, dass diese Kräfte sehr hoch sind und dadurch auch eine Sandburg sehr gut zusammenhält.</li></ul>	Materialien: CD, Wasser

<b>Schritt 3</b>	Zusammenfassung der letzten zwei Einheiten	Zeit: 10 min
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Am Ende der Einheit werden die Versuche von SuS zusammengefasst, um einen Überblick zu bekommen, was sich die SuS bisher gemerkt haben.</li></ul>	Materialien
<b>Schritt 4</b>	Virtuelle Sandbox (optional)	Zeit

### 6.8 Fünfte Einheit – Die virtuelle Sandbox

Diese Einheit wurde in der Technischen Universität Graz (TU) gehalten, kann aber auch in der Schule gehalten werden. Ein Ausflug in die TU bietet sich natürlich an, da die Schülerinnen und Schüler einen Einblick bekommen, wie eine wissenschaftliche Einrichtung arbeitet und auch aussehen kann. In dieser Einheit wird den Schülerinnen und Schülern erklärt, wie wissenschaftlich gearbeitet wird und warum Simulationen wichtig sind. Da die TU die virtuelle Sandbox aufgebaut hat, muss man diese nicht selbst anschaffen. Den Jugendlichen wird hier der Zusammenhang zwischen Realität und Virtualität perfekt vermittelt. Diese Einheit rundet das Projekt sehr gut ab. Die ersten Experimente werden in der Schule durchgeführt. Dort werden die Eigenschaften von Sand ermittelt und erklärt. Jede technische Einrichtung beginnt genau gleich. Zuerst steht das Experiment im Vordergrund. Dort werden die Eigenschaften getestet bzw. erforscht und mit diesen Erkenntnissen wird dann weitergearbeitet. Dieses Wissen kann weiter ausgebaut werden, mit dem Ziel, eine Simulation zu programmieren.

## 7 Empirische Untersuchung

Die nächsten Kapitel beschäftigen sich mit den Methoden zur Auswertung und Beantwortung der Forschungsfrage. Anschließend werden die gesammelten Ergebnisse gezeigt. Basierend auf dem Theorieteil, hat sich folgende Frage entwickelt:

**Eignet sich das Naturprodukt Sand zum Vermitteln von physikalischem Wissen, und kann durch Unterrichtseinheiten eine Verbindung zwischen Realität und Virtualität hergestellt werden?**



## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Um die oben formulierte Forschungsfrage beantworten zu können, werden zwei Annahmen, die sich aus dem Theorieteil ergeben, formuliert:

ANNAHME 1: Mit dem Naturprodukt Sand lässt sich ein guter Bezug zum Alltag herstellen. Er eignet sich daher gut zur Wissensvermittlung.

ANNAHME 2: Durch das forschende Lernen und die virtuelle Sandkiste lässt sich die Verbindung zwischen Realität und Virtualität gut herstellen.

Zur Beantwortung der Annahmen wurden eine Zielscheibenabfrage und ein Fragebogen mit offenen Fragestellungen als Methode gewählt. Dafür wurden 20 Schülerinnen und Schüler einer 1. Klasse NMS und eine 7. Klasse eines Gymnasiums gewählt. Bedeutend war, dass bei der Auswertung Kinder der NMS und Jugendliche aus der AHS befragt wurden um einen Überblick zu bekommen, in welcher Breite diese Einheiten eingesetzt werden können und wie die unterschiedlichen Altersgruppen abstimmen.

Herauszufinden galt, ob die Einheiten für die Schülerinnen und Schüler interessant gestaltet wurden und ob sich diese Einheiten mit dem forschenden Lernen verbinden lassen. Die Zielscheibenabfrage wurde unmittelbar nach der Einheit durchgeführt, wobei die offenen Fragestellungen erst drei Wochen später gestellt wurden, um zu erfahren, ob das Gelernte auch langfristig in den Köpfen der Schülerinnen und Schüler verankert sei. Um die Antworten der Schülerinnen und Schüler besser im Überblick zu haben und später auswerten zu können, wurden zwei Kategorien, die Annahmen betreffend, festgelegt:

- Lernerfolge
- Verständnis

Im ersten Schritt wird die Zielscheibenabfrage analysiert, welche schon wichtige Angaben zum Gesamteindruck der Unterrichtseinheit gibt. Dabei geht es um die Gestaltung der Einheit und darum, ob die Inhalte interessant vermittelt wurden. In weiterer Folge werden die offenen Fragen in Kernaussagen reduziert. Diese Kernaussagen werden danach mit den Annahmen und den Kategorien verknüpft und zu einem Endresultat zusammengefasst. Das Fazit über die Einheit und den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler bildet den Abschluss dieser Arbeit.

### **7.1 Auswahl der Personen**

Da bei den Experimenten die Schülerinnen und Schüler in der Hauptrolle agieren, werden zur Entwicklung der Ergebnisse die Schülerinnen und Schüler selbst herangezogen und befragt. Deshalb werden zur Untersuchung zwei Zielgruppen herangezogen. Zum einen eine 7. Klasse AHS mit neun Jugendlichen. Davon waren vier Personen weiblich und fünf Personen männlich. Die zweite Zielgruppe bestand aus Schülerinnen und Schüler der 1. Klasse Praxis NMS. Davon waren acht Personen männlich und zwölf Personen weiblich. Es wurde darauf geachtet, dass unterschiedliche Altersgruppen in die Befragung einbezogen werden, um zu prüfen, ob die Einheiten für alle Schulstufen einsetzbar sind. Es wurden in beiden Schulen die gleichen Fragen gestellt. Der einzige auch zu erwartende Unterschied bestand darin, dass die Antworten in der AHS spezifischer ausfielen, da bei den Einheiten mehr auf physikalische Eigenschaften eingegangen wurde als in jenen in der NMS.

### **7.2 Zielscheibenabfrage**

Die Evaluation mittels Zielscheibe ist eine gute Möglichkeit, einen Überblick zu erhalten, wie die Arbeitsphase oder ein Projekt bei den Schülerinnen und Schülern angekommen ist. Bei dieser Art der Evaluation werden die subjektiven Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler anonym auf einer vorbereiteten Zielscheibe gekennzeichnet. Das Ergebnis kann somit auf einen Blick betrachtet werden. Dies bietet der Lehrperson die Möglichkeit, die Einheit zu verbessern.

### **7.3 Vorbereitung und Durchführung**

Die Zielscheibe wurde auf einem Flipchart aufgemalt. Zuvor war festzulegen, welche Punkte für die Evaluation wichtig sind. Die Zielscheibe kann jeweils in beliebig viele Teile unterteilt werden. Im durchgeführten Fall waren es vier wichtige Punkte, die helfen sollten, das Stundenbild zu verbessern. Dazu gehörten:

- 1.) Die Stunde war heute sehr interessant für mich.
- 2.) Ich habe heute Neues gelernt.
- 3.) Ich möchte mehr Stunden wie diese.
- 4.) Ich möchte gerne mehr über Sand erfahren.

Die Skalierung wurde dann ähnlich einer Dartscheibe gestaltet. In der Mitte wurde ein lachender Smiley gezeichnet, als Symbol, dass der betreffende Punkt zur vollen Zufrie-

denheit gestaltet wurde. Je weiter ein Punkt von der Mitte entfernt eingetragen wurde, desto weniger hat er der Schülerin oder dem Schüler gefallen.

Am Ende der Einheit bekam jede Schülerin und jeder Schüler einen Klebepunkt von der Lehrperson ausgeteilt. In der Evaluation war es wichtig, zwischen Buben und Mädchen zu unterscheiden. Die Schüler erhielten daher die Farbe Blau, die Schülerinnen die Farben Rot und Grün. Es wurde darauf geachtet, dass jede Person einzeln zur Zielscheibe ging, um die Anonymität zu sichern. Zur Gewährleistung dieser Anonymität wurde die Zielscheibe verdeckt auf einem Tafel Flügel befestigt. Am Ende der Zielscheibenabfrage war ein deutliches Ergebnis sichtbar. (bpb, 2013)

#### **7.4 Auswertung**

Um eine genauere Datenanalyse zu erlangen, wurde die Zielscheibenabfrage in zwei Schulen durchgeführt. Befragt wurden eine erste Klasse einer NMS und eine siebente Klasse aus einem Gymnasium. Zusammen mit der Klassenlehrerin wurde nach durchgeführter Abfrage analysiert und zusammengefasst. Aufgrund der anschaulichen Methode der Zielscheibenabfrage war eine schnelle visuelle Auswertung möglich. Wie eine solche Zielscheibenabfrage ausgesehen hat, wird im Folgenden angeführt:

### Klasse einer NMS

Die unten angeführte Grafik zeigt die originale Durchführung der Zielscheibenabfrage in der ersten Klasse der NMS.

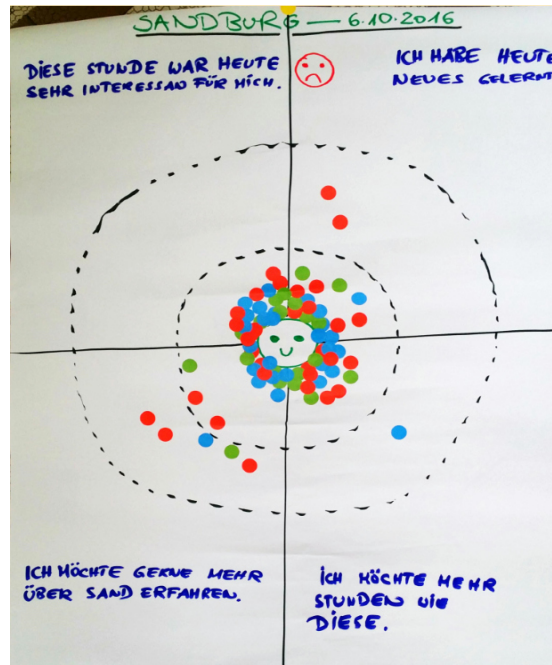


Abbildung 9: Zielscheibe NMS

Anzahl der Schüler: 8

Anzahl der Schülerinnen: 12

#### **1. Diese Stunde war heute sehr interessant für mich**

Bei diesem Erhebungspunkt ist anhand der Zielscheibenabfrage zu sehen, dass die Einheit den Schülerinnen und Schülern sehr gut gefallen hat und auch interessant war. Die meisten der Punkte waren im Inneren der Zielscheibe platziert, sodass ersichtlich wurde, dass beide Geschlechter mit Motivation dabei waren. Das große Interesse der Kinder war auch von außen gut zu beobachten. Jeder hat sich in der Einheit integriert, was das Ergebnis sichtbar widerspiegelt.

#### **2. Ich habe heute Neues gelernt**

Hier waren sich mit Ausnahme von zwei Kindern alle einig. Aufgrund der Farbpunkte wurde deutlich, dass es sich dabei um zwei Mädchen handelt. Im Plenum wurde gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern versucht, eine mögliche Lösung für die

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

Meinung der beiden Schülerinnen zu finden. Zur Erhaltung der Anonymität wurde die Einheit mit den Kindern im Plenum reflektiert und nicht einzeln. Schon nach kurzer Diskussion konnte festgestellt werden, dass nach Angabe der beiden Mädchen zu wenig theoretischer Input eingeflossen sei. Aufgrund dessen, dass die beiden Einheiten nicht in aufeinanderfolgenden Stunden stattfanden sondern in einem Abstand von zwei Wochen, gerieten einige wichtige Schritte bei den Schülerinnen und Schülern in Vergessenheit. Somit war der praktische Teil, die zweite Einheit, im Vorwissen beeinträchtigt. Aufgrund dieses Feedbacks der Schülerinnen und Schüler soll in Zukunft darauf geachtet werden, dass die beiden zusammengehörenden Einheiten in aufeinanderfolgenden Stunden stattfinden.

### **3. Ich möchte mehr Stunden wie diese**

Die Rückmeldung dieser Aussage besagt, dass alle Kinder vom Unterricht begeistert waren. Sie unterstreicht die Wertigkeit dieser offenen Unterrichtsform. Ein Schüler wurde diesbezüglich allerdings konkreter und weichte vom einheitlichen Feedback seiner Klassenkollegen und Kolleginnen ab. Er war der Meinung, dass eine solche Einheit nicht wiederholt werden sollte. Aufgrund dieser einzigen Aussage lässt sich schließen, dass das Interesse dieses Schülers am erarbeiteten Thema nicht groß genug war.

### **4. Ich möchte gerne mehr über Sand erfahren**

In den vorangegangenen Punkten waren sich die Schülerinnen und Schüler zum Großteil einig. In vierten Punkt gingen die Meinungen der Kinder jedoch weit auseinander. Während ein Teil der Kinder noch mehr über Sand erfahren wollte, waren andere Kinder nicht so begeistert und weichten sogar vom Thema ab. Davon waren vorwiegend Mädchen betroffen. Unter den Kritikern war lediglich ein männlicher Schüler zu finden. Aus diesem Ergebnis lässt sich schließen, dass Schülerinnen von naturwissenschaftlichen Phänomenen, wie Sand, nicht so begeistert sind wie Schüler. Dieses Feedback macht die verschiedenen Interessensfelder der Kinder deutlich sichtbar.

## Gymnasium

Die unten angeführte Grafik zeigt die originale Durchführung der Zielscheibenabfrage der siebenten Klasse eines Gymnasiums.

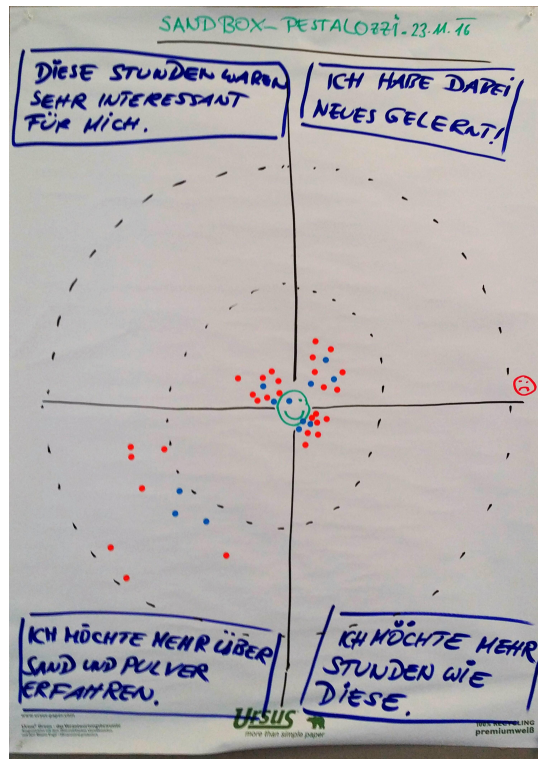


Abbildung 10: Zielscheibe AHS

Anzahl der Schüler: 4

Anzahl der Schülerinnen: 5

### **1. Die Stunde war heute sehr interessant für mich**

Bei diesem Punkt sind sich alle Schülerinnen und Schüler einig. Die Stunde war interessant gestaltet. Die Jugendlichen hatten Freude am Lernen.

### **2. Ich habe heute Neues gelernt**

Wie bereits bei der ersten Aussage zu erkennen war, sind sich auch bei diesem Feedback alle einig, dass es Neues zu lernen und Spannendes zu entdecken gab. Schülerinnen und Schüler zeigten sich wissbegierig und zögerten bei der Abgabe ihrer Rückmeldungen nicht. Nur die Anordnung der Punkte im Feld lässt darauf schließen, dass die Teilnehmer/innen nicht ganz so überzeugt waren wie beim ersten Ansatz, in dem die Klebepunkte deutlich mittiger platziert wurden.

### **3. Ich möchte mehr Stunden wie diese**

Die offene Form des Unterrichts kam nicht nur bei den Kindern der NMS gut an, sondern auch bei den älteren Schülerinnen und Schülern des Gymnasiums. Die direkt neben dem Smiley platzierten Punkte beider Geschlechter zeigen, dass nicht nur Input der Lehrperson im Frontalunterricht gewünscht wird sondern auch gerne alleiniges Forschen und Erarbeiten der Lerninhalte.

### **4. Ich möchte gerne mehr über Sand erfahren**

Aufgrund der deutlich weiter außen platzierten Punkte beider Geschlechter war ersichtlich, dass das Interesse bezüglich des Themas Sand in dieser Klasse nicht groß war. Die Schülerinnen und Schüler signalisierten durch dieses Feedback, dass kein weiterer Input zum Thema Sand gewünscht sei. Interessant bei diesem Ergebnis war allerdings, dass die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler die Punkte in einem gemeinsamen Teil des Feldes angebracht hatten. Zwei Schülerinnen wurden in ihrer Aussage sichtlich konkreter und platzierten ihre Punkte noch weiter außen als ihre Mitschüler/innen. Diese Platzierung bestätigt das, schon bei der NMS ersichtliche Ergebnis, dass Mädchen in naturwissenschaftlichen Lernfeldern deutlich weniger Interesse als Burschen zeigen.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Insgesamt können die zwei Einheiten durchaus positiv bewertet werden. Die Rückmeldung der Schülerinnen und Schüler waren zum größten Teil positiv behaftet. Da die Altersunterschiede eher groß sind, die Ergebnisse aber ziemlich ähnlich, kann gesagt werden, dass die Einheiten wirklich in allen Klassen einsetzbar sind. Es muss nur darauf geachtet werden, wie tief in das jeweilige Thema eingetaucht wird. In einer AHS kann durchaus mehr spezifisches Wissen vermittelt werden als in einer NMS. Die Entscheidung darüber liegt immer bei der Lehrperson, da diese ihre Schülerinnen und Schüler am besten kennt und einzuschätzen vermag. Der einzige Kritikpunkt, welcher durch die Auswertungen sichtbar wurde, ist, dass weitere Informationen zum Thema Sand von Schülerinnen und Schülern nicht gewünscht werden. Die Ergebnisse der Abfragen zeigen deutlich, dass eine offene Unterrichtsform wie diese von Schülerinnen und Schülern als sehr ansprechend gewertet wird. Das Ergebnis verdeutlicht, dass nicht nur eine Frontalunterrichtsphase in den Unterricht einzubetten ist, sondern durchaus auch eine selbstständige, offene und forschende Lernform Platz finden soll.

## **7.5 Fragebogen mit offenen Fragestellungen**

Um eine noch genauere Beantwortung der Forschungsfrage zu erlangen, wurde neben einer Zielscheibenabfrage, die den Lernerfolg aufzeigen soll, ein Fragebogen bereitgestellt, der von den Schülerinnen und Schülern zu beantworten war. Es wurden zwei Fragen formuliert, die einerseits den Lernerfolg, andererseits das Verständnis für die Lehrinhalte der beiden Einheiten aufzeigen sollte.

Um einen Fragebogen erstellen zu können, müssen klare Ziele definiert werden. Es ist festzulegen, welche Fragen beantwortet und welche Teilbereiche erforscht werden sollen. Außerdem müssen Inhalt und Formulierung der Fragen genau überdacht werden, um konkrete Antworten überhaupt zu ermöglichen. Die Inhalte dazu ergeben sich aus dem zu erforschenden Bereich. In diesem Fall sollen die Fragen des Fragebogens die Antworten der Forschungsfrage ergeben. (Zask, o.J.)

Bevor ein Fragebogen erstellt werden kann, gilt es, vorab den Umfang der Fragen bzw. Antwortmöglichkeiten zu überdenken und festzulegen. Da in den durchgeführten Einheiten jeweils nur Teilgebiete gelehrt, jedoch ausführliche Rückmeldungen in den Zielscheibenabfragen gesammelt wurden, hat sich der Autor für zwei offene Fragen entschieden. Die Zielgruppe dazu wird bereits im Kapitel 2.4 beschrieben. Bei offenen Fragen ist die Sortierung bzw. Reihenfolge der Fragen nicht von Bedeutung. (Zask, o.J.) Beim wissenschaftlichen Arbeiten werden zwei Arten der Formulierung von Fragen beschrieben, die direkte Formulierung und die indirekte Formulierung. Im vorliegenden Beispiel galt es, vorwiegend Wünsche und Fakten zu ermitteln. In diesem Fall empfiehlt sich der Einsatz von direkten Fragen. Beim Formulieren von direkten Fragen ist es wichtig, auf die „inhaltliche Relevanz“ zu achten. (Zask, o.J., S. 8)

Wie im vorigen Absatz erwähnt, werden für die Beantwortung der Forschungsfragen beim Fragebogen offene Fragen gewählt. Wie unterscheiden sich aber offene Fragen von geschlossenen Fragen?

Im Leitfaden für Fragebogen (Zask) steht geschrieben, dass offene Fragen direkte Fragen sind, welche die Befragten dazu hinleitet, offene Antworten zu geben. Während bei geschlossenen Fragen die Befragten zu bestimmten Antworten gedrängt werden, können offene Fragen im beliebigen Ausmaße beantwortet werden. (Zask, o.J.)



Da bei dieser wissenschaftlichen Arbeit eine kleine Teilnehmeranzahl befragt wurde, eignet sich die Verwendung von offenen Fragen, da offene Fragen „Meinungen, Einstellungen, Vorschläge usw. befragen“. (Zask, o.J., S. 14)

## 7.6 Inhalte der Fragen

Um überprüfen zu können, ob die Schülerinnen und Schüler das Gelehrte auch verstanden haben, wurde von ihnen verlangt, die Inhalte in eigenen Worten wiederzugeben. Mit dieser Art der Überprüfung lässt sich die Verständnisfrage am besten klären. Von den Schülerinnen und Schülern wurde auch verlangt, ein vorgefertigtes Diagramm zu interpretieren. Ein Diagramm stellt eine gute Möglichkeit dar, Verständnis über Lehrinhalte prüfen bzw. von rein oberflächlich erlangtem Wissen zu unterscheiden.

Das Resümee aus allen aufgezeigten und durchgeführten Ergebnissen und Überlegungen bilden folgende zwei offene Fragen für den Fragebogen:

### 1. Was wird auf dem beigelegten Bild dargestellt?

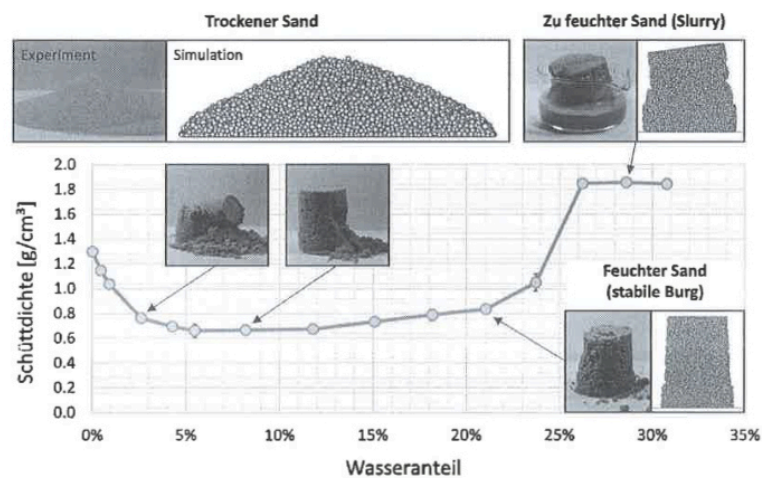


Abbildung 11: Frage 1 im Fragebogen

### 2. Was war für dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Frage 1 zielt auf das Abfragen des Wissens bzw. auf das Verständnis des Naturphänomens Sand ab, während Frage 2 den Lernerfolg bzw. die Lernmotivation aufzeigen soll. Frage 2 beschäftigt sich mit dem Lernerfolg und der Motivation dieser Thesis gegenüber. Frage 2 korreliert also stark mit den Befragungen der Zielscheibenabfrage. Der Autor möchte durch die offene Frage zum Lernerfolg sowohl die Feedbacks der Zielscheibenabfrage bestätigt sehen, als auch detailliertere Rückmeldungen erhalten.

## **7.7 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Zur Beantwortung der Forschungsfrage müssen zuerst die beiden in Kapitel 7 aufgestellten Annahmen beantwortet werden. Hilfestellung für diese Antworten und deren Bestätigung geben die zwei Kategorien aus Kapitel 7. Um die Antworten der offenen Fragen leichter im Überblick zu haben, werden die Antworten der Fragen nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2012) zusammengefasst und den Kategorien zugeordnet.

In der NMS wurde der Fragebogen zwanzigmal ausgefüllt und im Gymnasium neunmal. Es wurden also 29 Fragebögen ausgefüllt bzw. 58 Fragen beantwortet. Danach wurden die Aussagen den Kategorien zugeordnet und zusammengefasst. Im Folgenden werden die zusammengefassten Aussagen der Fragen aufgezeigt:

### **7.7.1 Verständnis**

Der größte Teil der Schülerinnen und Schüler hat bei dieser Frage bzw. Darstellung der Grafik die richtigen Verhältnisse des Gewichtes von nassem bzw. trockenem Sand erkannt. Die Schülerinnen und Schüler gaben vorwiegend nachvollziehbare Antworten und zeigten diese auf den Fragebögen auf. Die Jugendlichen verwendeten dabei die richtigen Fachausdrücke und antworteten ihrem Alter gemäß, formulierten ihre Antworten in ganzen Sätzen und orthografisch richtig.

### **7.7.2 Lernerfolg**

Die Schülerinnen und Schüler waren von den Einheiten begeistert, interessiert und gaben überwiegend positives Feedback. Einige Schülerinnen und Schüler gaben beim Antworten konkrete Angaben, während andere eher durch kurze und ungenaue Formulierungen auffielen. All jene, die ausführlich und konkret antworteten, schrieben, dass ihnen der Großteil der Einheiten Spaß gemacht habe und äußerten klar den Wunsch nach weiteren und vor allem mehr offen gestalteten Unterrichtsstunden. Die Beantwortung und Auswertung der Fragebögen deckte sich mit dem Feedback der Zielscheibenabfrage. Die interessierten Schülerinnen und Schüler hoben in ihren Antworten den Spaß an den Experimenten und die Freude am forschenden Lernen besonders hervor. Sowohl die Auswertung der Fragebögen als auch das Ergebnis der Zielscheibenabfragen bestätigten, dass mit dem Naturprodukt Sand ein guter Bezug zum Alltag hergestellt werden kann und dieser sich sehr gut zur Wissensvermittlung eignet.

Auch Annahme 2 wird durch die Durchführung bzw. Auswertung der beiden Forschungsmethoden bestätigt.

## **8 Interpretation der Ergebnisse**

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der empirischen Forschung und somit die Ergebnisse aus den beiden Forschungsmethoden, der Zielscheibenabfrage sowie des Fragebogens, aufgezeigt und interpretiert.

Mithilfe der Zielscheibenabfrage konnte das Interesse bzw. die Motivation und der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler zum eingesetzten Unterrichtsmittel, Sand, erfolgreich erfragt werden. Der Großteil aller Teilnehmer überraschte durch aktive, angelegte Mitarbeit und motiviertes Erforschen. Weiters konnte das Interesse über weiteres Wissen zum Thema Sand gesteigert werden. Nur einige wenige bekannten sich zum Gegenteil. Um noch genauere Daten zu ermitteln, wurde eine der beiden offenen Fragen im Fragebogen speziell so formuliert, das Feedback der Zielscheibenabfrage zu bestätigen. Die offenen Antworten ermöglichten dem Autor eine detailliertere und umfassendere Beantwortung der Fragen und Überlegungen zu Lernerfolg und Lernmotivation. Dadurch, dass bei der Auswertung bzw. Evaluierung der beiden Einheiten mit dem Lehrmittel Sand verschieden farbige Punkte für die Geschlechter verwendet wurden, konnte ein geschlechterspezifischer Überblick geschaffen werden. Mithilfe der Zielscheibenabfrage konnte auf diese Weise herausgefunden werden, dass Buben in naturwissenschaftlichen Unterrichtseinheiten mehr Interesse und Motivation aufbrachten als Mädchen. Dennoch zeigten sich sowohl weibliche als auch männliche Schüler gleichermaßen wissbegierig. In der Frage, ob sie über das Naturphänomen Sand noch mehr erfahren wollten, äußerst motiviert und aufgeschlossen. Die Phase des offenen Unterrichts bereitete den Schülerinnen und Schülern große Freude und förderte das selbstständige und entdeckende Lernen, das bei naturwissenschaftlichen Einheiten von großem Vorteil ist. Das Lerninteresse der Schülerinnen und Schüler wurde gesteigert, ebenso deren selbstständiges Denken angeregt. Durch den kurzen jedoch anregenden Input der Lehrperson bekamen alle Teilnehmer genügend wichtige Informationen, welche stark zu selbständigem Arbeiten inspirierten. In Folge konnten die Schülerinnen und Schüler in der offenen Unterrichtsphase alleine oder in kleinen Gruppen konzentriert arbeiten. Dieses praktische Arbeiten rundete das erfolgreiche Unterrichtskonzept ab. Durch die praktische Phase des Tuns und Forschens lernten alle gleichermaßen

ßen, die Theorie in die Praxis selbstständig einzubauen. Ebenso ermöglichte dies ein leichteres Behalten des Unterrichtsertrages und Lernstoffes mit gleichzeitigem Verständnis des Sachverhaltes. Dieses Verständnis bestätigte sich bei der Ausarbeitung der ersten Frage des Fragebogens. Die große Mehrheit der Schülerinnen und Schüler konnte den theoretischen Hintergrund der physikalischen Eigenschaften des Sandes anhand der Grafik wiedergeben. Die Methoden, die zur Auswertung bzw. Evaluation verwendet wurden, erwiesen sich als sehr sinnvoll, denn das Wissen der befragten Schülerinnen und Schüler konnte, das Thema betreffend, ausreichend ermittelt werden. Ebenso konnte durch das aussagekräftige Feedback, welches durch die Zielscheibenabfrage erhoben wurde, zur erfolgreichen Evaluierung verwendet werden.

Zusammenfassend kann der Aspekt des offenen und forschenden Lernens im Physikunterricht als positive Art und Weise des selbstständigen Lernens angesehen werden. Der Unterrichtsinhalt bleibt durch das selbstständige Erarbeiten des Experiments bzw. des Sachverhaltes länger und genauer im Gedächtnis der Schülerinnen und Schüler, als durch den alleinigen Input oder den Vortrag der Lehrperson.

## **9 Resümee und Ausblick**

Aufgrund dieser Auseinandersetzung mit der vorliegenden Thesis ist ersichtlich, wie wichtig eine Phase des selbständigen Lernens im Physikunterricht ist. Durch die Abfrage des inhaltlichen Verständnisses bei den Schülerinnen und Schülern sowie die Erhebung von Sinnhaftigkeit und Erfolg der gehaltenen zwei Einheiten kann die tatsächliche Motivation ermittelt werden. Anschauliche Unterrichtsmittel, wie die virtuelle Sandbox, tragen auf sehr wirkungsvolle Weise dazu bei, Unterrichtsinhalte und Sachverhalte für Kinder und Jugendliche leichter verständlich und nachvollziehbarer zu machen. Aktives Mittun und Erforschen mittels spannender Versuche schaffen eine weitere Dimension des Lernens, verglichen mit ansonsten ausschließlich Gelesenem oder/und Gehörtem. Das selbstständig erarbeitete Sachverhalte leichter im Gedächtnis verankert und auch wieder abgefragt werden können, wird durch die einzelnen Abfragemethoden erneut bestätigt.

Wenngleich diese Auseinandersetzung eine Beantwortung der Forschungsfrage ermöglicht, ist dennoch ersichtlich, dass diese Form des Unterrichts alle Schülerinnen und Schüler nicht gleichermaßen ansprechen muss bzw. kann. Dies ist aufgrund der verschiedenen Interessensfelder von Jugendlichen nicht anders möglich und erklärbar. Es

## *Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

ist deshalb die Aufgabe der Lehrperson, eine möglichst für alle Schülerinnen und Schüler interessante Unterrichtseinheit zu gestalten und umzusetzen. Die unzähligen Mittel, wie die virtuelle Sandbox und auch anschauliche Experimente zu den physikalischen Gegebenheiten von Sand, unterstützen dabei, dieses Interesse der Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht aufrechtzuerhalten und bestenfalls noch zu steigern.

In Hinblick auf eine weitere Forschung, ist es sinnvoll, mehrere Schülerinnen und Schüler zum Sachverhalt zu befragen und eine Zielscheibenabfrage mit mehreren Feldern durchzuführen, mit dem Ergebnis einer noch genaueren, detaillierteren Datenanalyse. Ebenso könnte eine qualitative Forschungsmethode, wie die Gruppendiskussion, in Betracht gezogen werden. Dabei wird eine ausgewählte Gruppe von Schülerinnen und Schülern zu einem bestimmten Thema zum Diskutieren und Forschen eingeladen. Im Anschluss werden die Ergebnisse daraus in die Forschung miteinbezogen.

Die eindeutig gewonnene Erkenntnis, die aus dieser Arbeit hervorgeht, ist, dass physikalische Unterrichtsthemen durch Phasen des offenen und forschenden Lernens sowie durch die Verwendung von Anschauungsmitteln, wie die virtuelle Sandbox, positiv verstärkt werden können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es in Hinblick auf den Physikunterricht für Lehrpersonen wichtig ist, auf die Interessen der Schülerinnen und Schüler abzielen und die Unterrichtseinheiten nach den jeweiligen Interessen zu gestalten. Deren weitere Aufgabe ist es, Schülerinnen und Schüler zum selbständigen Denken anzuregen und das Verständnis eines physikalischen Sachverhaltes durch interessante und sinnvolle Anschauungsmittel, wie zum Beispiel die virtuelle Sandbox, zu sichern.

Zum Schluss soll die Erkenntnis, dass offenes und forschendes Lernen für einen ertragreichen Unterricht von großem Vorteil ist, noch einmal verdeutlicht und die Wichtigkeit der Rolle der Lehrperson in den Vordergrund gerückt werden. Die Lehrperson ist die gestaltende Person des Physikunterrichts. Ihre Aufgabe ist es, diesen so zu gestalten, dass alle Schülerinnen und Schüler bei ihrem aktuellen Wissens- und Entwicklungsstand abgeholt werden, an ihre Interessen anzuknüpfen und durch selbstständiges, interessantes, entdeckendes und forschendes Lernen und Lehren die großartigen Phänomene und Inhalte der Physik näher zu bringen.

## 10 Literaturverzeichnis

2ask: Institut für Umfragen. (o. J). *Leitfaden für die Erstellung eines Fragebogens*. Verfügbar unter:

[http://www.2ask.at/media/1/10/2/3/5/bc958b68e726b401/Leitfaden\\_Fragebogenerstellung.pdf](http://www.2ask.at/media/1/10/2/3/5/bc958b68e726b401/Leitfaden_Fragebogenerstellung.pdf) [19.03.2017]

Backhaus, U. & Braun, T. (2009). Impulse für offenes Experimentieren. Forschendes Lernen in der Physik. In Messner, R. (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 106-121). Hamburg: Edition Körber-Stiftung

bifie: Zentrum für Innovation & Qualitätsentwicklung (2011). *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe*. Vorläufige Endversion Oktober 2011. Verfügbar unter: [https://www.bifie.at/system/files/dl/bist\\_nawi\\_kompetenzmodell-8\\_2011-10-21.pdf](https://www.bifie.at/system/files/dl/bist_nawi_kompetenzmodell-8_2011-10-21.pdf) [20.03.2017]

BMBF: Bundesministerium für Bildung und Frauen. BGB1. II Nr. 113/2016, Teil II. *Lehrplan Neue Mittelschule*. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40181121/NOR40181121.pdf> [25.03.2017]

Bohl, T. und Kucharz, D. (2010): *Offener Unterricht heute. Konzeptionelle und didaktische Weiterentwicklung*. Weinheim und Basel.

bpb: Bundeszentrale für politische Bildung (2013). *Zielscheibe zur Evaluation*: Verfügbar unter: <http://www.bpb.de/lernen/grafstat/partizipation-vor-ort/155252/zielscheibe-zur-evaluation> [20.03.2017]

Bramac, (o. J). *Datenblatt*. Verfügbar unter: [http://www.bramac.at/fileadmin/rootBramac/Bramac\\_Austria/Sandwerk/Kinderspielsand\\_RK\\_I\\_0\\_1-0\\_8.pdf](http://www.bramac.at/fileadmin/rootBramac/Bramac_Austria/Sandwerk/Kinderspielsand_RK_I_0_1-0_8.pdf) [16.03.2017]

GUDJONS, H. (2006): *Neue Unterrichtskultur – veränderte Lehrerrolle*. Bad Heilbrunn.

## ***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

Hasselhorn, M. & Gold, A. (2013). *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH

Höttecke, D. (2010). Forschend- entdeckender Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 119, 4-12.

Kampa, I. (2010). *Welt der Physik*. Verfügbar unter:  
<http://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/strand/trockener-fussabdruck/>  
[23.03.2017]

Lippold, B. (2017). *Sand*. Verfügbar unter: <http://www.chemie.de/lexikon/Sand.html>  
[23.02.2017]

Lutz-Westphal, B. (2014). Das forschende lernen. *mathematik lehren*, 184/6, 16-19

Marquardt-Mau, B. (o. A.). *Der Forschungskreislauf: Was bedeutet forschen im Sachunterricht?* Verfügbar unter: [http://www.forschendes-lernen.net/files/eightytwenty/materialien/weiterlesen/Forschungskreislauf\\_Marquardt-Mau.pdf](http://www.forschendes-lernen.net/files/eightytwenty/materialien/weiterlesen/Forschungskreislauf_Marquardt-Mau.pdf) [13.03.2017]

Messner, R. (2009). Forschendes Lernen aus pädagogischer Sicht. In Messner, R. (Hrsg.), *Schule forscht. Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen* (S. 15-30). Hamburg: Edition Körber-Stiftung

O. Kreylos (2015). *Lake Visualization - Complete Installation Instructions*, Verfügbar unter: <http://lakeviz.org/forums/topic/complete-Installation-Instructions>. [22.03.2017]

PESCHEL, F. (2011): *Offener Unterricht. Idee, Realität, Perspektive und ein praxiserprobtes Konzept zur Diskussion*. Teil I: Allgemeindidaktische Überlegungen (6. Aufl.). Baltmannsweiler.

***Sand – ein Naturprodukt als Kontext für  
den Physikunterricht in der Sekundarstufe***

Reitinger, J. (2012). „...*hinter den Dingen ...*“ *Exemplarische Beiträge zur Naturwissenschaftdidaktik*. Aachen: Shaker Verlag

Roth, J. & Weigand, H. (2014). Forschendes Lernen. Eine Annäherung an wissenschaftliches Arbeiten. *Mathematik lehren*, 184/6, 2-9.

Schlichting, H. J. (2014). Das Geheimnis der Sandburgen. *Spektrum der Wissenschaft.*, S. 44-45.

TU Graz & PH Steiermark. (o. J.). Der Virtuelle Sandkasten. *Unveröffentlichter Antrag im Rahmen des Wissenschaftskommunikationsprogramms*. Graz.

Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen- eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Weinert, F. E. (Hrsg.), *Leistungsmessung in Schulen* (S. 17-31). Weinheim und Basel: Beltz Verlag



## **11 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: bestehender virtueller Sandkasten im Einsatz (TU Graz & PH Steiermark, o. J.) .....	10
Abbildung 2: Aufbau des virtuellen Sandkastens (TU Graz & PH Steiermark, o. J.)....	13
Abbildung 3: Kompetenzmodell (BIFIE, 2011).....	15
Abbildung 4: Forschungskreislauf (Marquardt-Mau, o. A., S. 32). .....	28
Abbildung 5: Grenzflächen zwischen Sand, Wasser und Luft bzw. Kapillarbrücke aus Wasser (Schlichting, 2014, S. 44).....	34
Abbildung 6: Struktur des feuchten Sandes (Schlichting, 2014, S. 45).....	35
Abbildung 7: Diagramm Schüttdichte-Wasseranteil .....	42
Abbildung 8: Wasserbrücke.....	45
Abbildung 9: Zielscheibe NMS .....	52
Abbildung 10: Zielscheibe AHS.....	54
Abbildung 11: Frage 1 im Fragebogen.....	57

## **12 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ebenen der Öffnung (Höttecke, 2010, S. 10) .....	21
Tabelle 2: Korngrößen (Lippold, 2017).....	31
Tabelle 3: Tabelle für Messwerte .....	39

## 13 Erklärung



Pädagogische  
**Hochschule**  
Steiermark

### Erklärung – Bachelorarbeit

Name <b>Benjamin Bahar</b>	Matrikelnummer <b>1414446</b>
-------------------------------	----------------------------------

„Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst ist und dass ich dazu keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet habe. Außerdem habe ich die Reinschrift der Bachelorarbeit einer Korrektur unterzogen und ein Belegexemplar verwahrt.“

Graz, am .....

.....  
Unterschrift des Verfassers

## 14 Anhang

### 14.1 Fragebögen Schülerinnen und Schüler NMS

• Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Eigentlich hab ich mir ~~gedacht~~ gedacht dass der Sand schwerer wird.  
Bei manchen ist er leichter geworden.  
Aber bei unserer Gruppe ist er schwerer geworden

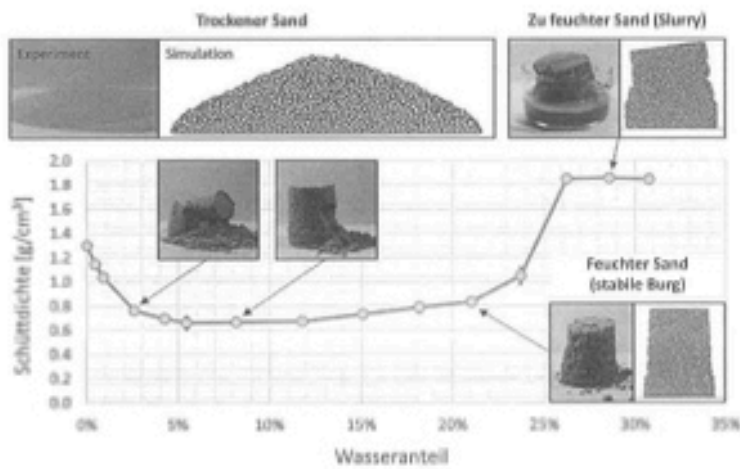
• Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt? Ich glaube

↑ nach oben leichter und nach  
↓ unten wird der Sand schwerer  
und ab 5% das ist das Wasser

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder Überraschend?

Ich habe sehr spannend gefunden wie alle aus der Klasse unterschiedlich viel Sand und ungeschichtlich viel Wasser bekommen haben. Mich haben die Ergebnisse sehr überrascht.



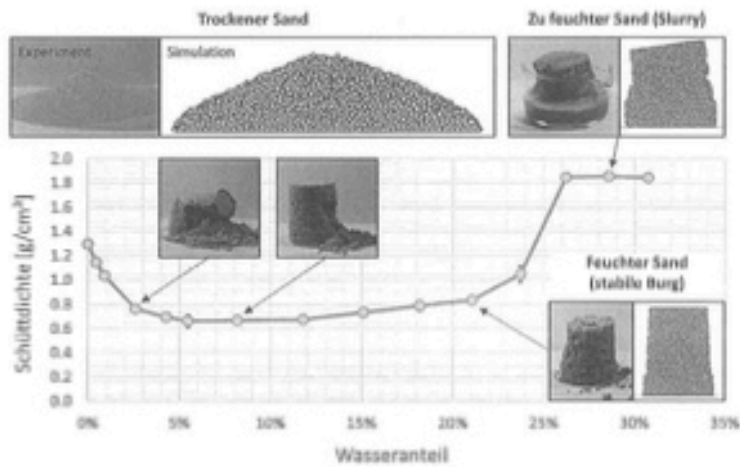
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Ich weiß es leider nicht mehr!

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Ich finde es sehr wichtig, dass wir herausgefunden haben, wie das alles funktioniert. Ich finde das sehr interessant.



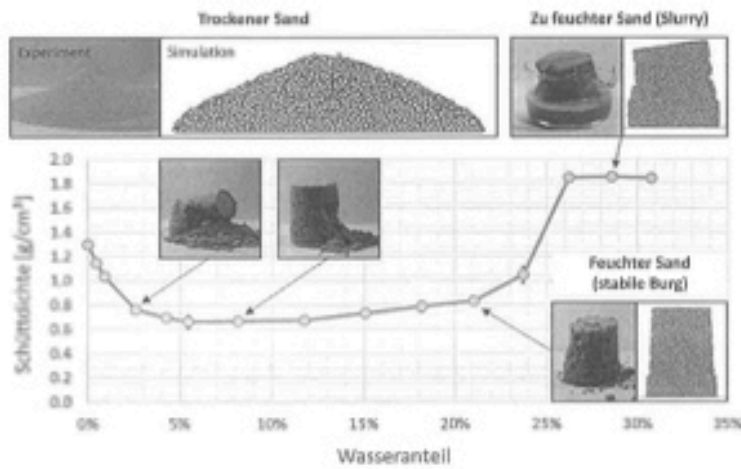
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Ich habe es leider vergessen.

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

für mich war sehr interessant wie wir erfahren haben was für einen Zustand der Sand hat wenn er mit verschiedenen mängen Wasser versetzt wird



- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Feuchter Sand (stabile Burg) Der Sand ist eine stabile Burg weil das Wasser die Sand Körner verklebt.

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?  
*Dass wir auch Experimente machen dürfen.*

**Trockener Sand**

Experiment

Simulation

**Zu feuchter Sand (Slurry)**

Experiment

Simulation

Wasseranteil (%)	Schüttdichte [g/cm³]
0%	1.3
2%	1.1
4%	0.8
6%	0.6
10%	0.6
15%	0.7
20%	0.8
25%	1.1
28%	1.8
30%	1.8

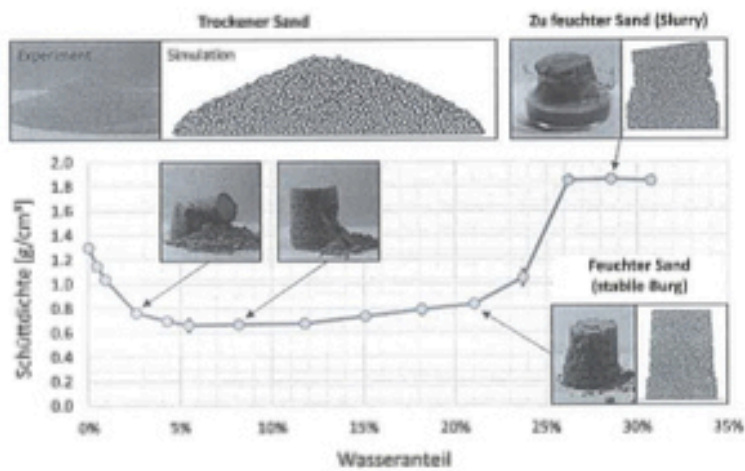
  

- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?  
*Zuerst ist da nur ein bisschen Sand. Wenn der Sand zu feucht ist fällt er um. Wenn der Sand feucht ist dann ist er stabil.*

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

das bei manchen weillen weuchter sand leichter war als der trockene.



- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

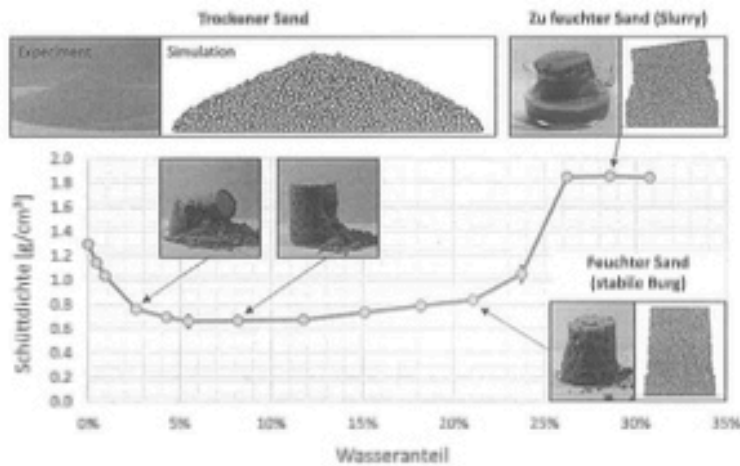
ich weiss nichts mehr.



**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Ich habe mich überrascht über immer so viel was raus gekommen ist mit dem Thema Sand und es war eine lustige Stunde



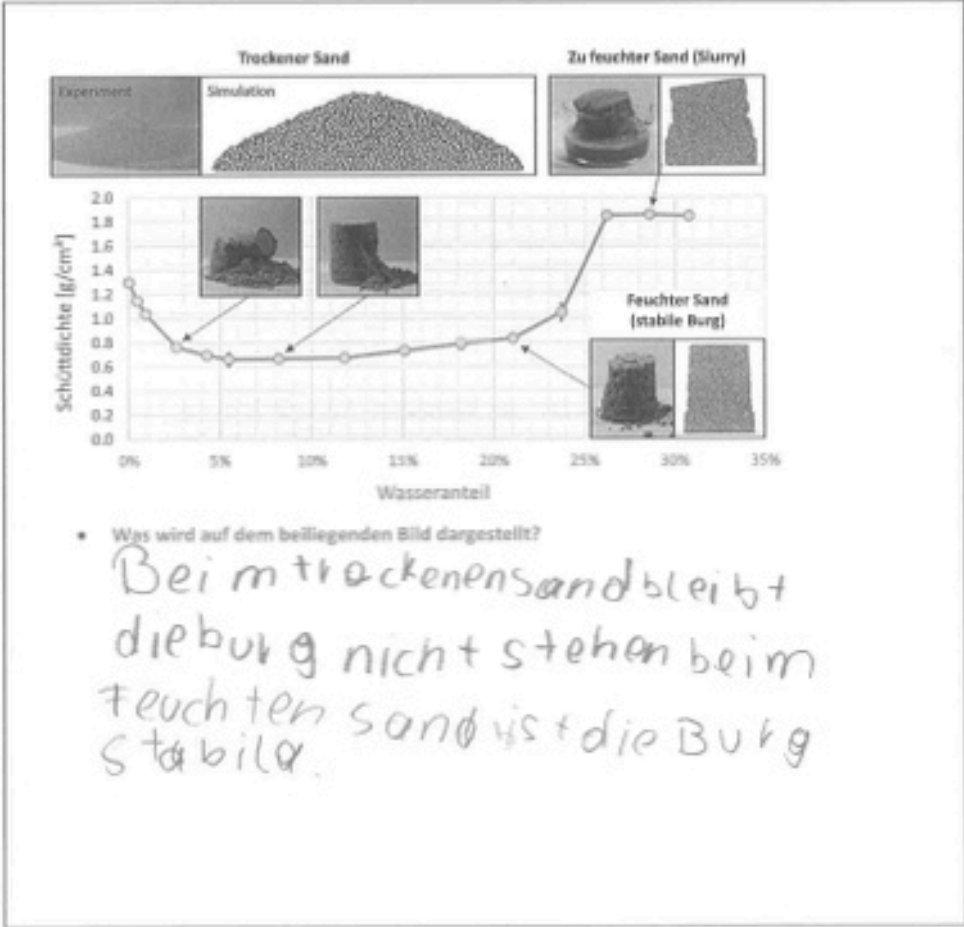
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

der unterschied zwischen feuchtem sand und stabile Burg

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

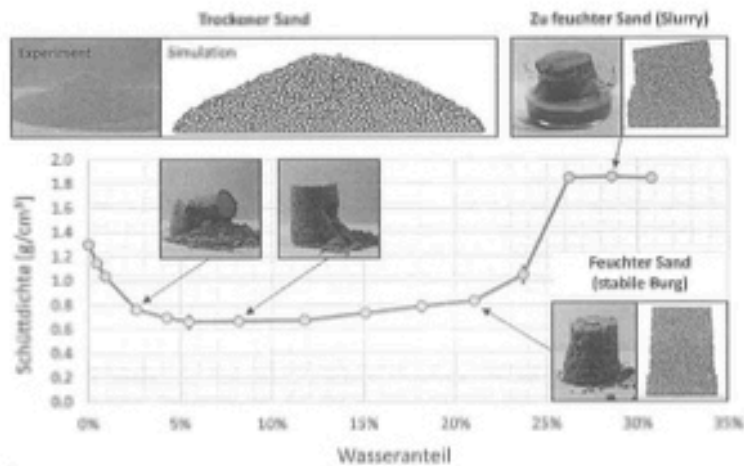
für mich war es <sup>es</sup> interessant weil der Sand bei mit <sup>sich</sup> fast nicht verformt nat



**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Dass man zu sehen bekommt was mit dem Sand im Wasser passiert.  
 I Hatten die Platte oder nicht mit zu viel Wasser war die beste frag.

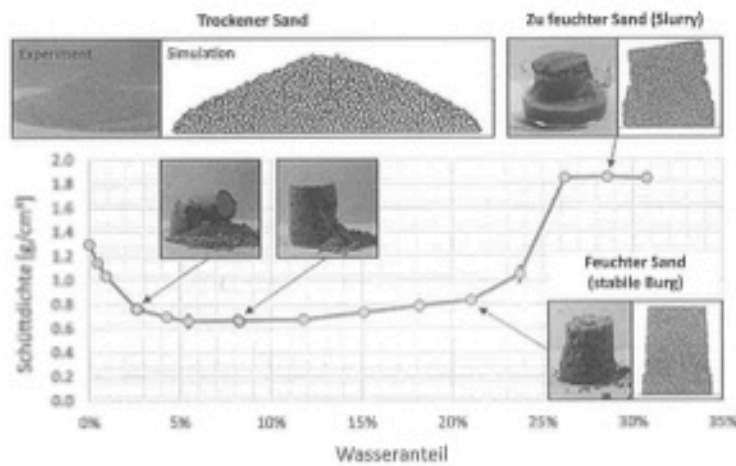


- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Ich war sehr überrascht, weil ich gar nicht wusste, dass wenn man beim Sand Wasser drann gibt, das es dann sogar leichter ist. Da war ich sehr überrascht.



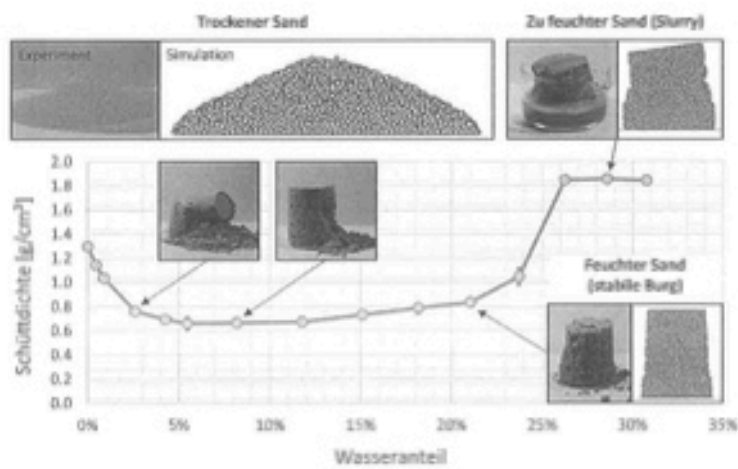
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

das beim ersten Bild die Burg zusammengefallen ist und beim zweiten Bild steht die Burg.

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Das der trockene Sand schwerer war  
 Und wo die Studierenden am Smart Board  
 gezeigt haben das man aus Sand sehr große  
 Sachen machen kann



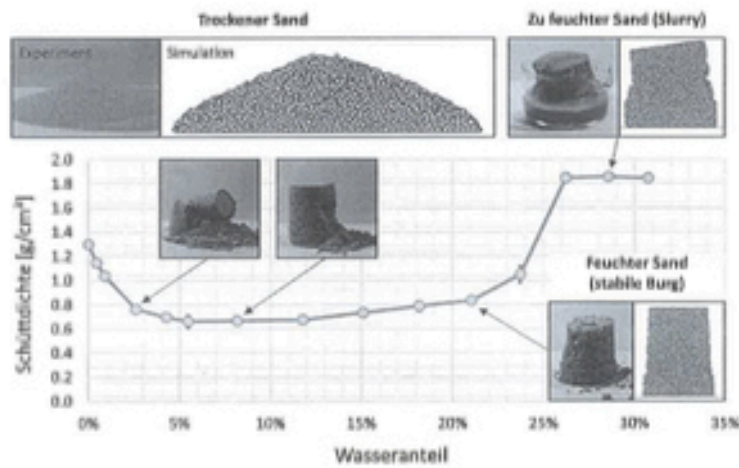
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Ich weiß nichts.

*Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Das mit dem Becher wo wir Sand in den Becher und dann Wasser reinigst haben.



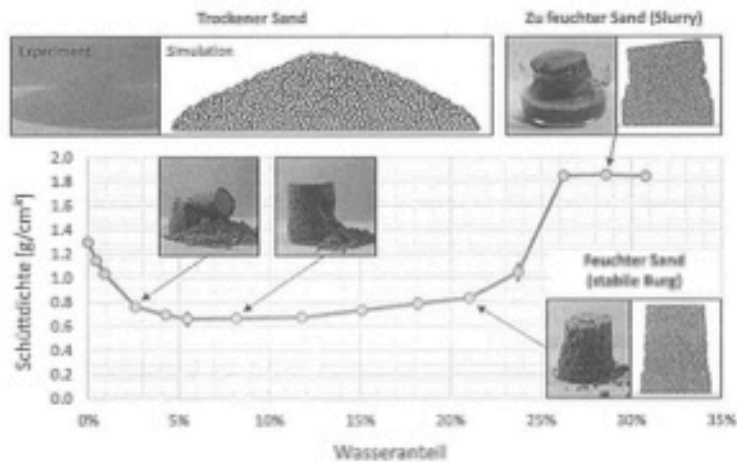
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Ich weiß es nicht mehr.

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Sand kann sand nicht immer reibbar ist als trockener Sand. Die Experimente haben mir sehr gut gefallen.



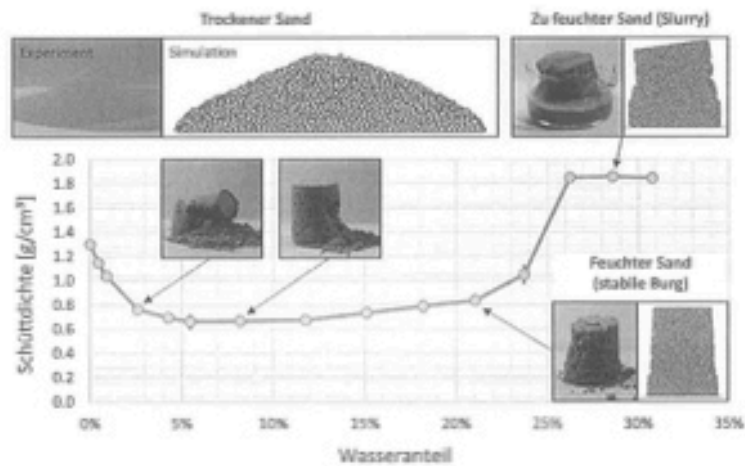
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Was kann Sand ist

## Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Dass bei einem verschiedenen Mengen es entweder schwerer oder leichter dann war.



- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

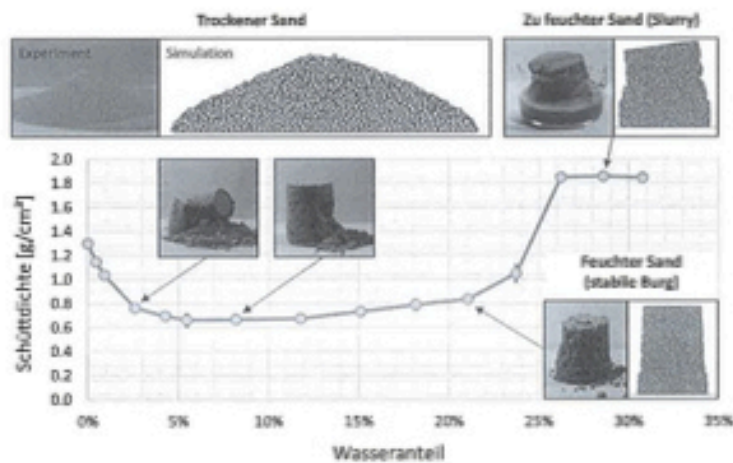
Ich denke es wird feuchter Sand dargestellt



**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Mir war es überraschend dass, dass nasser Sand viel leichter war als der andere der nicht feucht war!



- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

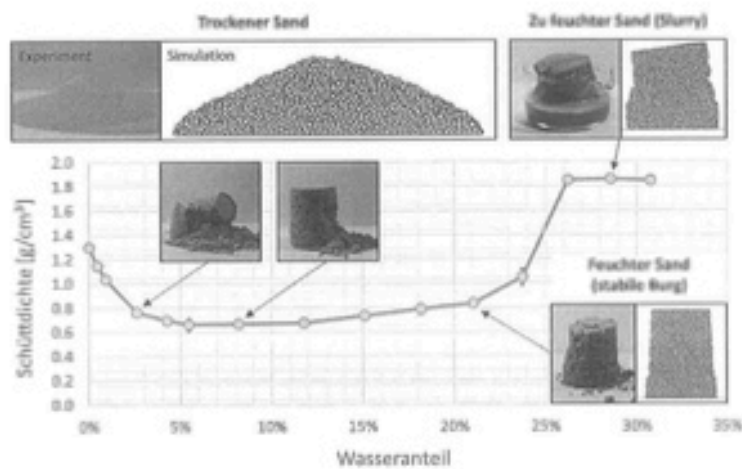
Sie glaube da wird von einem Experiment das man gemacht hat! Oder das Experiment ist schon fertig und sie schauen mal wie es geworden ist!

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Als das Wasser plötzlich nach oben schoss das fand ich toll

Ps: Ich war der einzige der nichtig gerufen hat



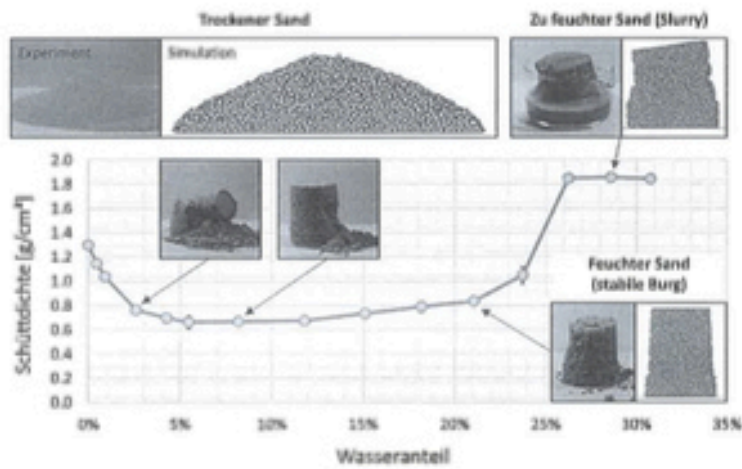
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Das haben wir gemacht und feuchter Sand war stabiler.

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Das der trockene Sand manchmal schwerer war als der nasse Sand.



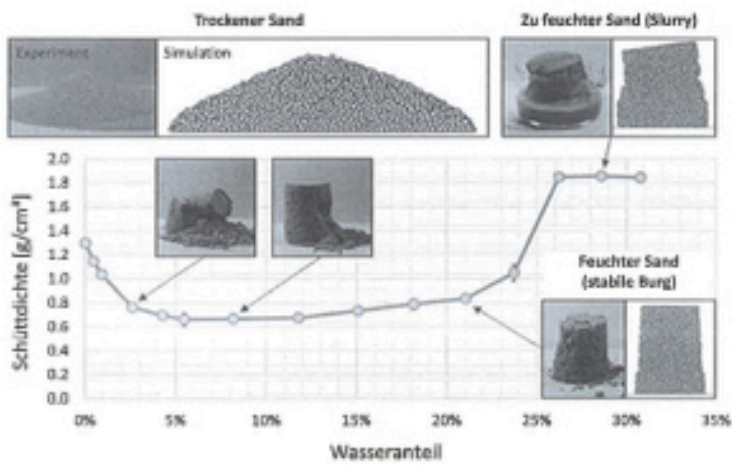
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Ich weiß nichts

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

Das trockener Sand schwerer ist  
 Der Tobomast hat als einziger eine Sache gestimmt  
 und es war buchzig



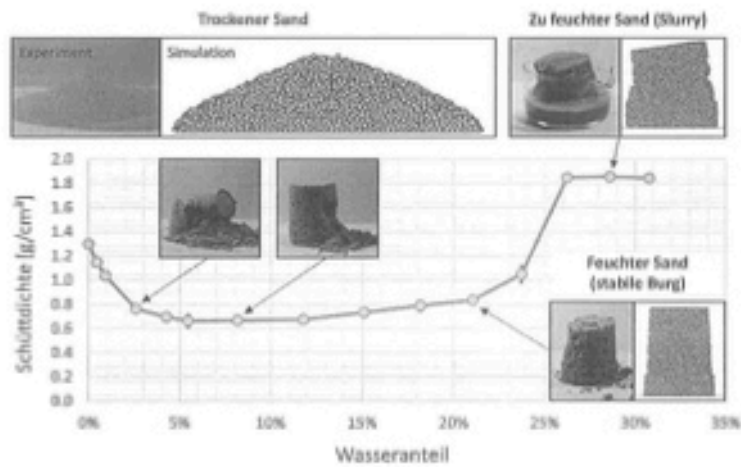
- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

Feuchter und trockener Sand

**Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe**

- Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder überraschend?

- Am meisten hat mir aber der Bunsenbrenner gefallen weil der Geruch ekelhaft war.
- Das snow lied war auch sehr lustig.
- Die Katze zu basteln war auch lustig.

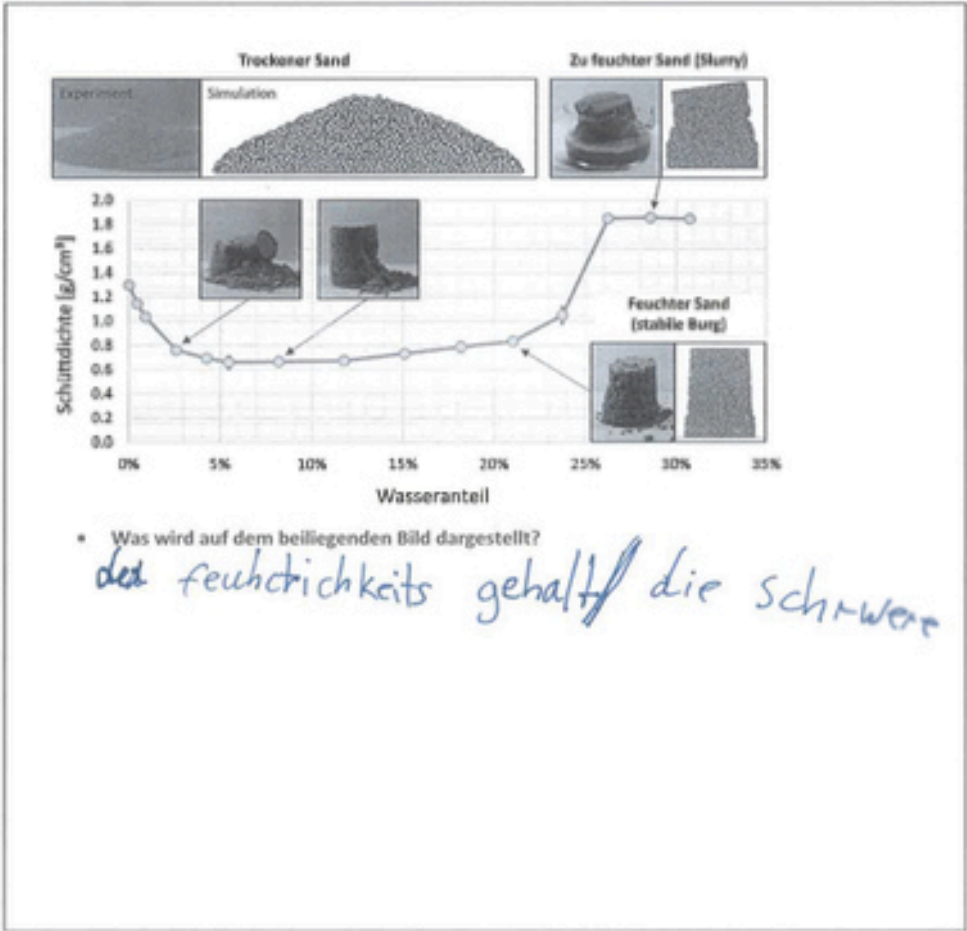


- Was wird auf dem beiliegenden Bild dargestellt?

sch weiß nicht! 😊

*Sand – ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe*

• Was war für Dich beim Projekt Sand besonders interessant oder Überraschend?  
*die gewichts unterschiede*



14.2 Fragebögen Schülerinnen und Schüler AHS

Verstärker

1.) Was wird am Bild dargestellt?

Ein Diagramm, das aussagt wie groß der Wasseranteil bei d. jeweiligen Schüttdichte  $[g/cm^3]$  ist.

2.) Was war besonders interessant / überraschend?

Das ganze Experiment war interessant.

1) Was wird auf dem Diagramm dargestellt?

Es wird gezeigt wie viel Prozent Wasseranteil zu trockenem Sand hinzugefügt werden muss, um eine optimale Sandburg zu bauen.

Die Kurve zeigt den Verlauf von 0-35% Wasser. Hierbei kann man sehen, dass weder zu viel noch zu wenig Wasser benutzt werden sollte, um eine stabile Sandburg zu bauen. Optimal: 5-20% Wasser.

2) Was war für dich besonders interessant/überraschend?

Dass feuchter Sand leichter ist als trockener.  
Dass eine Sandburg mit dem richtigen Wasseranteil sogar eine volle Flasche Wasser tragen kann, ohne zerstört zu werden.



## Sand - ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe

1) Wieviel Wasser zugeführt wird, um es sich auf die Sandfläche und Sandstabilität auswirkt.

Ab ca 20% Wasser ist der Sand an Stabilität. Trockener als auch zu feuchter Sand sind sehr instabil.

2) Die Stabilität des Sandes (Experiment mit Wasserflaschen)

1) Was wird dargestellt:

Im Diagramm kann die Mischung Sand-Wasser am besten erklärt.

Bei zu wenig Wasser zerbröckelt es. Bei zu viel Sand geht die Burg zusammen.

Der ideale Prozentwert an Wasser liegt bei ca 21%.

2) Was wird dargestellt?

1) Was wird ~~ausgewiesen~~ im Bild dargestellt?

Der Graph zeigt das Verhalten des Sands wenn man Wasser hinzufügt. Wenn der Wasseranteil ungefähr 25%, kann man stabile Sandburgen bauen.

2)



## Sand - ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe

1. Was wird mit dem Bild dargestellt?

Zeigt die Relation zwischen Schichtdicke und Wasseranteil. Wenn der Wasseranteil höher als 25 % ist, wird auch die Schichtdicke größer und deshalb ~~beton~~ ~~man~~ ~~man~~ zu feuchter Sand. Wenn der Wasseranteil zu klein ist ist der Sand trocken.

2. Was war für dich besonders interessant?

Die Relation ~~to~~ zwischen ~~Wasser~~ <sup>Wasser</sup> und ~~der~~ ~~Konzentration~~ <sup>Konzentration</sup> des Wassers praktisch zu sehen.

1. Was wird am Bild dargestellt?

→ wie viel Prozent Wasser man braucht, um die „perfekte“ und stabile Sandburg zu bauen

→ ca. 22 % Wasser wird benötigt

2. Was war besonders interessant / überraschend?

→ dass man sich wirklich mit jedem x-beliebigen Thema lange genug befassen kann

1.) Was wird am Bild dargestellt?

- ein Diagramm, das die optimale "Verteilung" von Sand und Wasser darstellt. Das Ziel ist, eine perfekte Sandburg zu bauen und deshalb gab man immer zur gleichen Menge an Sand versch. Wasseranteile hinzu.  
→ Bei circa 22% Wasseranteil war die "Sandburg" perfekt.

2.) Besonders interessant, überraschend?

- Persönlich fand ich es sehr interessant, dass es tatsächlich eine Art Formel gibt um diese perfekte Verteilung zu berechnen.

## Sand - ein Naturprodukt als Kontext für den Physikunterricht in der Sekundarstufe

1.) Was wird auf dem Bild (Diagramm) dargestellt?

Auf dem Bild sieht man, dass trockenerem Sand Wasser zugeführt wird. Der Wert der Schüttdichte bleibt bis zu einem 20%-igen Wasseranteil konstant. Bei weiterem Zuführen des Wassers (mit erhöhter Menge) steigt der Wert der Dichte & die Konsistenz des Gemisches wird immer flüchtiger. Bei einem höheren Wert als 20% ist es nicht mehr möglich eine Sandburg zu bauen.

## 14.3 Experimente

### 14.3.1 Wasserbrückendarstellung mittels Tischtennisbällen

#### **Materialliste:**

4 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser, Unterlage

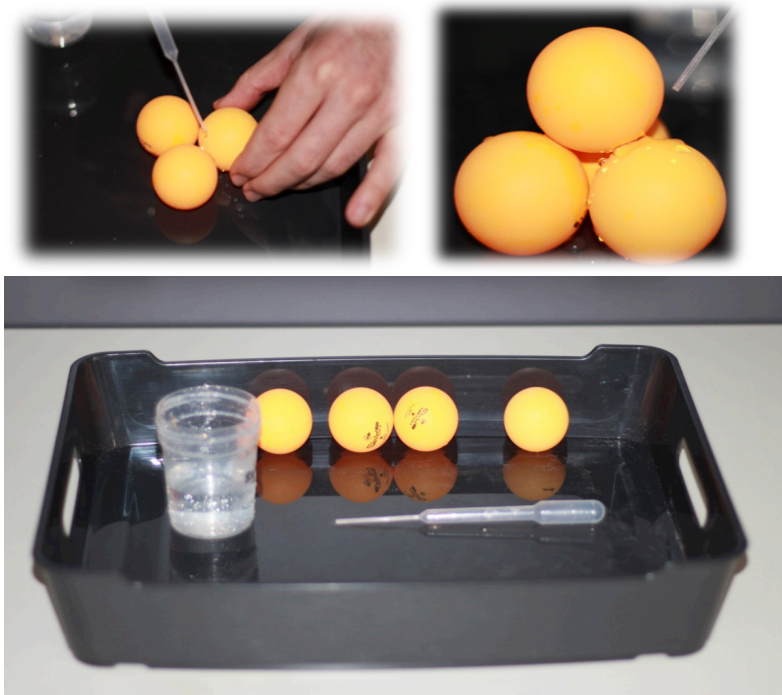
#### **Fragestellungen:**

Wie kann man mit den gegebenen Materialien eine Pyramide bauen,so dass sie nicht zerfällt?

#### **Versuchsanleitung:**

Zuerst versuchen die Kinder eine Pyramide aus Bällen zu bauen – ohne Wasser. Die Bälle rollen bei diesem Versuch auseinanderrollen und halten nicht zusammen. Wenn sie die Bälle an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzen, entstehen Wasserbrücken zwischen den Tischtennisbällen, die diese dann zusammenhalten. Nun rollen die Bälle nicht mehr auseinanderrollen und die Pyramide bleibt stehen.

#### **Bilder:**



### 14.3.2 Wasserbrücken veranschaulichen

**Materialliste:**

2 Tischtennisbälle, Pipette, Becher mit Wasser

**Fragestellungen:**

Modellbildung einer Wasserbrücke

**Versuchsanleitung:**

Die Lehrperson holt die Kinder an den Lehrertisch, um ihnen den Versuch zu zeigen. Die Bälle werden an den Verbindungsstellen mit Wasser benetzt damit eine Wasserbrücke entsteht. Wenn man die Bälle ein kleines Stück auseinanderzieht wird diese besser sichtbar. Wenn man die Bälle auslässt, ziehen sie sich wieder an.

Mit Hilfe dieses Experimentes kann gezeigt werden, wie sich zwei oder mehrere feuchte Sandkörner zusammen halten.



### **14.3.3 Kohäsion/Adhäsion (CD-Experiment)**

#### **Materialliste:**

- 1 alte CD
- Wasser
- Glatte Unterlage

#### **Fragestellungen:**

Was passiert, wenn man eine mit Wasser benetzte CD auf eine glatte Oberfläche legt?

#### **Versuchsanleitung:**

Die Unterseite der CD wird mit Wasser benetzt. Das Wasser soll auf der ganzen Rückseite verteilt werden. Danach wird die CD mit der nassen Seite auf die glatte Oberfläche gelegt und hin und her bewegt, damit sich das Wasser gut verteilt. Wenn die Kinder versuchen, die CD hochzuheben, hat sie sich richtig fest gesaugt und lässt sich kaum vom Tisch heben.

#### **Warum ist das so?**

Wenn man schwitzt oder nass geworden ist, klebt die feuchte Kleidung auf der Haut. Es wirken Adhäsionskräfte zwischen Wasser und CD bzw. zwischen Wasser und Tisch. Adhäsion ist das Aneinanderhaften von verschiedenen Stoffen, zum Beispiel Wassertropfen auf der Fensterscheibe. Kohäsionskräfte (= das, was einen Stoff in sich zusammenhält) im Wasser sorgen dafür, dass der dünne Wasserfilm zwischen Tisch und CD nicht so schnell reißt. Bei Wasser ist die Adhäsion größer, als die Kohäsion. Deswegen bleibt etwas Wasser am Finger, wenn man ihn in Wasser taucht. Ein dünner Wasserfilm kann wegen der Adhäsion wie Klebstoff wirken. Dieser Effekt lässt auch den Duschvorhang beim Duschen am Körper kleben. Wer Kontaktlinsen trägt, macht sich diese Kräfte zunutze: Wenn man die feuchte Linse auf der Fingerkuppe zum Auge führt, hält sie durch die Flüssigkeit am Finger. Auf dem Auge haftet die Linse durch einen dünnen Tränenfilm zwischen Kontaktlinse und Hornhaut. Deswegen hießen Kontaktlinsen früher auch Haftschalen.

#### 14.3.4 Keksmodell

**Materialliste:**

Kekse, Magnete, Münzen, o.ä.

**Fragestellung:**

Veranschaulichung des Flaschenversuchs (Reynolds'sche Dilatanz).

**Versuchsanleitung:**

Die Magnete werden wie im unten stehenden Bild auf den Tisch gelegt.



Man kann erkennen, dass die Hohlräume zwischen den Keksen sehr gering sind. Jeder Magnet symbolisiert ein trockenes Sandkorn. Die Darstellung soll zeigen, wie eng Sandkörner übereinander/ nebeneinander liegen können.

Wenn man aber, wie z. B. bei unseren Reynold'schen-Versuch, die mit Wasser und Sand gefüllte Flasche zusammen drückt, werden Hohlräume frei und das Wasser kann zwischen den Sandkörnern durchsickern.

