

Nachbau eines Termitenhügels als Projekt zur Wärmelehre

Sara Wilhelm*, Thomas Wilhelm⁺

*Julius-Maximilians-Universität Würzburg, ⁺Goethe-Universität Frankfurt am Main
wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Klimawandel und Ressourcenverbrauch stellen die Menschheit vor große technische Herausforderungen. Die Bionik beschäftigt sich damit, die Natur als Vorbild für die Technik zu nehmen. Gerade im Baubereich gilt es, CO₂ und Energie einzusparen. Die Baubionik beschreibt das Übertragen von Phänomenen aus der Natur auf technische Funktionen, die für die Architektur und Funktionen eines Gebäudes relevant sein können. Damit liefert sie auch interessante Anwendungen für den Physikunterricht.

Ein bekanntes Beispiel aus der Baubionik ist der Termitenhügel. Die Termiten mögen es in ihrem Bau bei niedriger und vor allem konstanter Temperatur und brauchen im Innern genügend Sauerstoff. Dies erreichen sie u.a. durch einen geschickten Einsatz von Konvektion.

In dem Beitrag wird der Nachbau eines Termitenhügels mit einfachen Mitteln gezeigt. Daran können mit einfachen Messungen Inhalte der Wärmelehre veranschaulicht werden. Dazu gehört die Wärmespeicherfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit, aber auch Konvektion und der Kamineffekt zur passiven Kühlung. Gezeigt wird der Nachbau des Termitenhügels sowie aufgenommene Messwerte und Wärmebilder mit der FLIR ONE-App eines Smartphones.

1. Motivation

Das Interesse von Schülerinnen und Schülern für den Physikunterricht ist bekannterweise oft gering (Merzyn, 2008; Potvin & Hasni, 2014) und laut der IPN-Studie sinkt das Sachinteresse der Schülerinnen und Schüler während der Schullaufbahn (Hoffmann et al., 1998). Dabei ist das Interesse primär abhängig von der kontextuellen Einbettung des physikalischen Sachverhalts (Häußler & Hoffmann, 1995; Potvin & Hasni, 2014). Physik um ihrer selbst willen ist für die meisten Schülerinnen und Schüler unattraktiv. Mehr Interesse finden Kontexte aus der Natur. Deshalb sind Kontexte für das Lernen im Physikunterricht sehr wichtig und deren Einbindung in den Unterricht ist seit 2004 in KMK-Beschlüssen verankert (Sekretariat der KMK, 2004).

Kontexte aus der Natur liefert beispielsweise die Bionik. Insbesondere die Baubionik stellt eine Möglichkeit dar, interdisziplinär die Fächer Biologie, Physik sowie technische Aspekte zu verbinden. Ein bekanntes Beispiel aus der Baubionik ist der Termitenhügel. Die Termiten wollen in ihrem Bau eine niedrige und konstante Temperatur, was manche Arten u.a. durch einen geschickten Einsatz von Konvektion (Kamineffekt) erreichen, der gleichzeitig für genügend Sauerstoffzufuhr sorgt.

Der hier vorgestellte Bau eines Modells eines Termitenhügels ist ein Projekt, das naturwissenschaftlich-technische Betrachtungen mit einer praktischen Tätigkeit verbindet. Es kann in einem fächerübergreifenden Schulprojekt, einer Arbeitsgemeinschaft oder im Rahmen einer Seminararbeit umgesetzt werden. Dazu werden aus Lehm zwei Hügel-Hälften auf zwei Holzplatten gebaut, die dann für Messun-

gen auseinandergeschoben werden können. Eine Hälfte bekommt eine zentrale Plastikbox und Abwasserohre, um eine Konvektion im Inneren zu ermöglichen.

2. Bionik

Die Bionik beschäftigt sich damit, die Natur als Vorbild für die Technik zu verwenden – entweder durch den Technology Pull (top-down), bei dem ein Problem in der Technik durch biologische Vorbilder gelöst wird, oder durch den Biology Push (bottom-up), bei dem die Natur ein Vorbild ist und dieses in der Technik umgewandelt wird. Damit man von Bionik sprechen kann, muss es ein Vorbild in der Natur geben, eine Abstraktion des natürlichen Prinzips stattgefunden haben und dieses anschließend auf die Technik übertragen worden sein.

Ein bekanntes Beispiel der Bionik ist der Vogel und das Flugzeug. Durch genaues Analysieren des natürlichen Vorbildes Vogel hat man das Prinzip der Gleitvögel verstanden und so sind allmählich Flugzeuge mit großen Tragflächen entstanden. Ein weiteres bekanntes Beispiel ist der Lotuseffekt. Die Lotusblume ist in der Lage, Schmutz und Regentropfen, die auf ihre Blätter fallen, abzuweisen. Nach Untersuchungen der Lotusblume konnten Oberflächen entwickelt werden, die ebenfalls wasserabweisend ist.

3. Termiten als Baumeister

3.1. Termitenarten

Termiten sind eine erstaunliche Insektenart, die viele Ähnlichkeiten mit Kakerlaken haben und im Sozialverhalten den Ameisen, Bienen und Wespen ähnlich

sind. Sie können zum Beispiel einen Bau herstellen, der bis zu über das 1.000-fache ihrer Körpergröße hoch werden kann (siehe Abb. 1). Zum Vergleich entspräche das bei einem Menschen einem hoch effizienten Gebäude so hoch wie Berge.



Abb. 1: Ein Termitenhügel in Namibia

Termiten sind eine vielfältige Gruppe von Insekten mit über 2.600 verschiedenen Arten, die sich in zwei Kategorien einteilen lassen. Die einen leben in Holz, das auch als Nahrungsquelle dient, während bei anderen Nest und Nahrung getrennt sind. Einige haben ihr Zuhause unterirdisch, andere oberirdisch oder sogar in Bäumen. In den Nestern oder Hügeln können mehrere Millionen von ihnen bis zu mehreren Jahrzehnten lang leben (Korb, 2008, S. 153). Termiten sind fast überall auf der Welt verteilt, vor allem in warmen und feuchten Gebieten, zum Beispiel in afrikanischen oder südamerikanischen Savannen oder auch in Tropenwäldern.

Die Nahrungsbeschaffung ist in jeder Art verschieden; einige der am Boden lebenden Arten können sich selbst ihre Nahrung in ihrem Nest anpflanzen. Pilze leben gerne in einer kühlen, dunklen, feuchten und nährstoffreichen Umgebung. Dies bekommt der Pilz im Innern der Termitenhügel geboten, wo er mit Pflanzen gefüttert wird. Im Gegenzug bietet der Pilz eine Umsetzung komplexer chemischer Substanzen, die die Termiten als Nahrung brauchen (Korb, 2007, S. 998). Vor allem bei den pilzzüchtenden Termiten sind die Bauten hoch effizient. Diese am Boden bauenden Termiten lassen sich anhand ihrer Bauweise noch einmal unterteilen, denn manche Hügel sind offen und andere geschlossen.

3.2. Offene Termitenhügel

Offene Termitenhügel funktionieren meist nach dem gleichen Prinzip: dem Kamineffekt, wie er bei Feuerstellen genutzt wird. Wenn durch den Kamineffekt

Luft im Kamin aufsteigt, kann von der Seite neue Luft nachströmen, die reich an Sauerstoff ist, so dass das Feuer besser brennt.

Der Kamineffekt ist ein physikalischer Vorgang, bei dem sich Luft in unten und oben offenen Hohlräumen aufgrund von Erwärmung senkrecht nach oben bewegt. Die erwärmte und folglich ausgedehnte Luft hat eine geringere Dichte und wird von der kühleren und dichteren Luft nach oben gedrückt (Auftrieb), so dass ein Aufwind entsteht. In dem Kamin entsteht unten im Vergleich zur Umgebung ein Unterdruck, weshalb Umgebungsluft aus dem Bereich mit höherem Druck in den Bereich des Unterdrucks hineinströmt.

Dieses Aufsteigen der warmen Luft nennt man freie Konvektion, die auch im Geographieunterricht behandelt wird. Dort wird aufgezeigt, dass am Zenitstandpunkt der Sonne, auch innertropische Konvergenzzone ITC genannt, die Luft aufsteigt und bei den Wendekreisen absteigt. Bodennah entsteht so in der innertropischen Konvergenzzone ein Tiefdruckgebiet und an den Wendekreisen ein Hochdruckgebiet. Ein ähnliches Phänomen ist die Land-See/Meer-Konvektion.

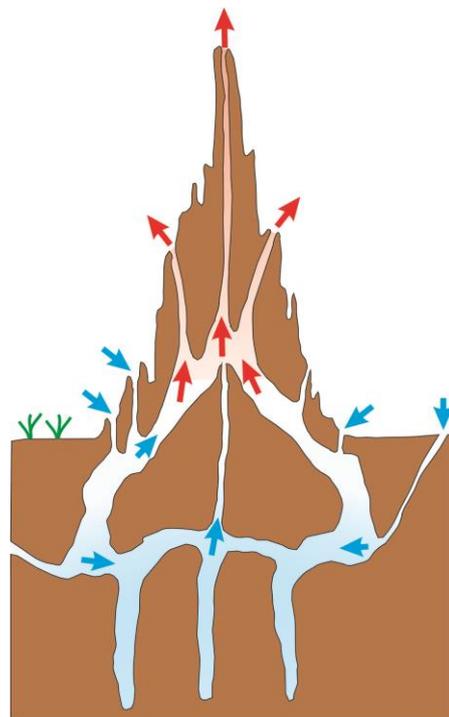


Abb. 2: Kamineffekt im offenen Hügel

Bei den bis zu acht Meter großen Hügeln der Termiten tritt der Kamineffekt auf. Im Bau erwärmt sich die Luft durch intensive Sonneneinstrahlung und Körperwärme der Termiten, so dass die erwärmte Luft aufsteigt und entweicht. Im Bau entsteht ein Unterdruck und kalte Luft wird hineingedrückt (siehe Abb. 2). Die kalte Luft, die nachströmt, ist entweder unterirdisch gekühlt oder von der Nacht noch im Innern gelagert. So entsteht ein Kreislauf, der für die Termiten eine lebenswichtige Rolle hat, da so ihr

Bau auf einer nahezu konstanten Temperatur bleibt (Nachtigall & Pohl, 2013, S. 50). Manche Arten können kalte Luft innen oder unterirdisch speichern, allerdings erreicht die Temperatur am Abend ein deutliches Maximum.

3.3. Geschlossene Termitenhügel

Die geschlossenen Termitenhügel funktionieren nur bedingt ähnlich. Da die im Inneren angepflanzten Pilze und Termiten einen hohen Stoffwechsel haben, brauchen sie genügend frischen Sauerstoff. Deshalb haben die Termiten an den dünnen Wänden ihres Hauses Kanäle (= Galerien) gebaut, durch die ein Gasaustausch erfolgen kann. Je dicker die Wand, desto länger braucht das Gas zum Diffundieren (King, et al., 2015, S. 11590). Eine Studie zeigt, dass sich die CO₂-Konzentration am Tag zwar ändert, aber trotzdem noch im optimalen Bereich bleibt, sodass ihr Leben im Inneren davon nicht benachteiligt wird. Wenn gegen Abend die Konvektionsströme im Inneren abnehmen, kann bis zu 6 % CO₂ festgestellt werden (in freier Luft 0,06 % Massenanteil), was für die Tiere kein Problem ist. Allerdings können die Pilze eine hohe Konzentration nur schlecht tolerieren, weshalb ihre Stoffwechselaktivität abnimmt. Nachts verringert sich die CO₂-Konzentration allerdings wieder auf 1 % (King et al., 2015, S. 11591; Korb, 2003, S. 214).

Termiten und Pilze geben auch Eigenwärme ab. Da sie es bevorzugt kühler als die Außentemperatur in der Savanne haben, nutzen die Termiten physikalische Vorgänge, um ihren Bau zu kühlen – nämlich die Konvektion der Luft. In der Nacht ist die Außentemperatur geringer, weshalb die Luft im mittleren Kanal aufsteigt und in den Galerien wieder absinkt, wobei sich zusätzlich die Gase an der Außenwand austauschen. Am Tag wird die Außenseite des Termitenhügels stärker von der Sonne erwärmt, weshalb die Luftströme im Innern gegengesetzt sind. Die in den Galerien erwärmte Luft steigt auf und fällt im mittleren Schlot ab. Insgesamt zeigt sich, dass das Nestinnere fast immer auf ähnlicher Temperatur gehalten wird. Entscheidend aber ist, dass immer Luft durch die Galerien zum Gasaustausch strömt.

4. Technische Übertragung

4.1. Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität

Die Wärmespeicherung und die Wärmeleitung spielen bei Termitenhügeln und auch in der Architektur eine wichtige Rolle. Die Isolation von Wohnhäusern ist ein großes aktuelles Thema. Die Baumaterialien Holz und Lehm, die Termiten benutzen, haben eine geringere Wärmeleitfähigkeit als massiver Stein, weshalb beim Hausbau energetisch gesehen Holz oder Lehm besser geeignet ist (Wilhelm, 2014 a+b).

Die dicken Mauern einer alten Steinburg haben aber eine große Wärmekapazität. Das bedeutet, sie brauchen im Sommer lang, um warm zu werden, wogegen sich ein Holzhaus bei warmen Außentemperaturen schneller aufheizt. Sind massive Steinmauern

einmal aufgeheizt, dauert es länger, bis sie wieder abkühlen. Beim großen Hügel der Termiten aus dem verwendeten lehmartigen Material mit seiner großen Masse gibt es ebenfalls diesen verzögernden Effekt des langsamen Erwärmens und Abkühlens.

4.2. Kamineffekt (passive Kühlung)

Der Kamineffekt wird an fast jedem neuen Dach eines Wohnhauses genutzt, nämlich beim Hinterlüften des Daches. Die Dächer besitzen einen Hohlraum zwischen den Außenbrettern und den Ziegeln. Meist befindet sich am First des Daches ein versteckter Schlitz und auch knapp unter der Regenrinne ein weiterer Schlitz. Durch Sonneneinstrahlung wird die Luft im Hohlraum erhitzt und aufgrund des Kamineffekts strömt die warme Luft nach oben hinaus, während unten kältere Luft nachströmt. Dadurch wird das Dach und damit auch das Haus weniger erwärmt.

Zudem gibt es sogenannte Solarkamine in warmen Regionen, auch thermischer Schornstein genannt, die meist an der Südfassade angebracht sind. Diese werden tagsüber durch die Sonne erwärmt, sodass die warme Luft im Inneren aufsteigt und dabei Raumluft ins Freie befördert – zur Verbesserung der natürlichen Belüftung von Gebäuden. Diese können auch im Zusammenhang mit automatisierten Fenstersystem genutzt werden, die zur Kühlung eines Gebäudes beitragen (Schwab, et al., 2004). Alternativ kann sich auch die Luft zwischen einer Hausfassade und einer Glaswand erwärmen und den Unterdruck erzeugen, der die Strömung anregt.

Beim solaren Aufwindturm ist das Design ähnlich, der Schornstein enthält jedoch Turbinen. Wenn Luft durch den Schornstein nach oben strömt, dreht sie die Turbinen des Generators.

Das System des Kamineffektes wurde bei großen Gebäuden angewandt. Beispielsweise haben der Architekt Mike Pearce und das Ingenieurbüro Ove Arup in Harare/Simbabwe nach dem Prinzip des Kamineffektes ein Bürogebäude gebaut, das gleichzeitig eine Shopping Mall ist (Pearce, 2016). Das Gebäude besitzt zwei seitliche Teile, in dem sich die Büros und Einkaufsläden befinden. Zwischen diesen ist das Atrium, das in der Nacht kühle Luft aufnimmt. Durch die warme Außentemperatur, die Wärmeabgabe von technischen Geräten und die Körperwärme der Personen im Gebäude erwärmt sich die Luft in den einzelnen Zimmern tagsüber und steigt über Kamine auf. In jedem Zimmer sind doppelte Decken und Wände, die die Hitze nach oben über 48 Kamine hinausströmen lassen. Durch die Druckdifferenz wird die kühlere Luft aus dem Atrium in die verwendeten Räume zur Kühlung befördert. Dadurch entsteht eine konstante und angenehme Temperatur in jedem Zimmer. Der Stromverbrauch ist durch diese natürliche, stromsparende Klimaanlage knapp 50 % geringer als der von vergleichbaren Gebäuden (Nachtigall & Wisser, 2013, S. 50).

5. Nachbau eines offenen Termitenhügels

5.1. Der Bau des Hügels

Für den Nachbau eines Termitenbaus zum Experimentieren muss dieser sehr komplexe Bau stark vereinfacht werden. Beispielsweise können die Pilze im Inneren, die vielen feinen Gänge und die unterirdischen Gänge nicht berücksichtigt werden.

Der Termitenhügel wird aus Lehm und aus zwei getrennten Teilen gebaut, die dann für Messungen auseinandergeschoben werden können. Er muss auf einer ebenen Fläche gebaut werden; hier wird eine alte Holztür auf die Grasfläche gelegt. Mindestens die leichtere Seite muss auf eine Platte gebaut werden, die verschoben werden kann. Hier werden die zwei Teile auf je eine OSB-Platte (1,0 m x 0,63 m) gebaut.

Beim Bau des größeren Teils wird von einer Seite eine Platte angedrückt, um eine ebene Mittelebene zu erhalten. Dieser Teil bekommt eine zentrale Plastikbox (37 cm x 26 cm x 27 cm, siehe Abb. 3) als Hohlraum, von der die Seite zur Mittelebene entfernt wird. In diese Box gehen Abwasserrohre (Durchmesser 4 cm, siehe Abb. 3), die für die Gänge stehen. Konkret wird ein Rohr 90 cm senkrecht nach oben geführt, zwei 56 cm schräg nach oben und drei 43 cm am Boden. Für die Abflussrohre gibt es Stopfen, mit denen man später auch einzelne Rohre schließen kann.



Abb. 3: Der größere Teil mit Kiste und Rohren, bevor der Lehm dazu kam

Zum Anrühren des Lehms wird nur Ackerboden Erde und Wasser verwendet. Allerdings kann nicht alles auf einmal gebaut werden, sondern nur in gewissen Abschnitten. Die Lehm Masse muss dann erst trocknen, bevor die nächste Schicht aufgetragen werden kann, weil sonst die Masse unten weggedrückt wird

(siehe Abb. 4). Außerdem kann nicht bei Regen gebaut werden, da sonst der Lehm nicht mehr hält.



Abb. 4: Der größere Teil mit Kiste und Rohren, mit einem Teil des Lehms

Sobald der größere Teil fertig ist, wird der zweite Teil mit Lehm aufgebaut und durch Holzstücke stabilisiert (siehe Abb. 5). Damit die beiden Hälften nicht verkleben, wird eine Plastiktüte zum Trennen benutzt.



Abb. 5: Der zweite Teil ohne Rohre mit stabilisierenden Hölzern

Der in Abbildung 6 und 7 gezeigte Nachbau des Termitenhügels ist nach Fertigstellung 1,1 m hoch und 0,8 m mal 1,0 m breit.



Abb. 6: Der fertige Nachbau mit auseinandergezogenen Teilen



Abb. 7: Der fertige Nachbau in geschlossener Form

Bei Regen wird der Termitenhügel nachbau mit einer Plastikplane abgedeckt. Auf diese Weise hat der gebaute Hügel zwei Jahre gut überstanden, obwohl er im Winter dem Frost ausgesetzt war.

5.2. Messungen zur Wärmespeicherung

Für eine Untersuchung der Erwärmung durch die Sonne am Tag bzw. der Abkühlung in der Nacht wird der geschlossene Termitenhügel geöffnet und die Temperaturen im Inneren mit einer Wärmebildkamera gemessen. Verwendet wurde der kostengünstige Aufsatz „FLIR ONE Pro“ auf einem Smartphone (Molz et al., 2022).

Bei einer Messung am Morgen nach einer kalten Sommernacht (22.7.2020, 8:45 Uhr, Außentemperatur 11 °C) gibt es im äußeren Bereich des Hügels eine Temperatur von nur 9,5 °C (blauer Bereich in Abb. 8) – außer am Lüftungsrohr, das bereits von der Sonne bestrahlt wurde (rote Stelle in Abb. 8). Im Inneren gibt es dagegen noch eine deutlich höhere Temperatur von 15 °C (gelber Bereich in Abb. 8). Innen ist es also noch vom Vortag wärmer und es hat sich aufgrund der hohen Wärmekapazität und der niedrigen Wärmeleitfähigkeit noch nicht so weit abgekühlt.

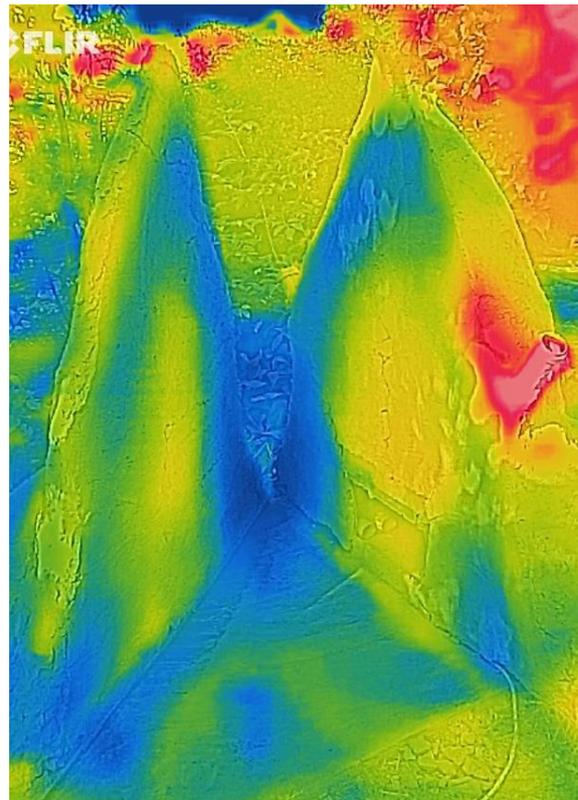


Abb. 8: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels am Morgen

Am Abend nach einem heißen Sommertag (24.7.2020, 18:45 Uhr, Außentemperatur 27 °C) ist ein deutlicher Unterschied zwischen innen und außen festzustellen (siehe Abb. 9). Im Inneren ist die Temperatur 18 °C (blauer Bereich in Abb. 9) und im äußeren Bereich 27 °C wie auch in der Umgebungs-

luft (roter Bereich in Abb. 9). Das Innere hat sich also aufgrund der hohen Wärmekapazität und der niedrigen Wärmeleitfähigkeit weniger stark erwärmt, die Lehmmasse ist bei Erwärmung träge.

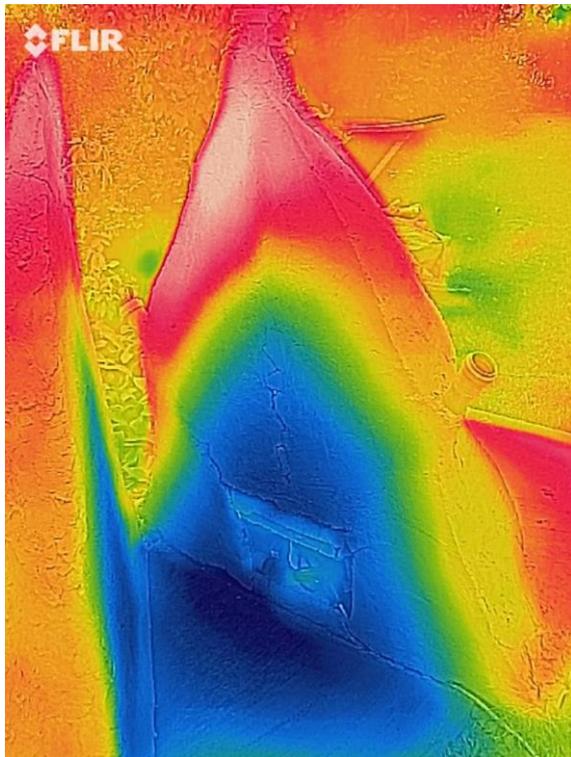


Abb. 9: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels am Abend nach einem heißen Tag

5.3. Messungen zum Kamineffekt



Abb. 10: Ein Mini-Heizlüfters in der inneren Plastikkiste steht für die Abwärme der Termiten bzw. der Pilze

Um den Kamineffekt zeigen zu können, wird ins Innere des Hügels ein kostengünstiger Mini-Heizlüfter (25 €) mit einer Leistung von 500 Watt hineingestellt (siehe Abb. 10). Die Heizung steht für die thermische Energie, die die Termiten und die Pilze erzeugen. Ein Thermometer wird nahe am Boden im Hohlraum des Hügels angebracht und ein weiteres ganz unten im vertikalen Kamin. Die Sensoren der Thermometer brauchen entweder ein langes Kabel zu einem Anzeigegerät außerhalb des Hügels oder eine Funkverbindung, wie man es heute bei Grill- und Bratenthermometern hat. Der Versuch wird am Morgen durchgeführt, wenn der Hügel

innen noch kühl ist und noch kaum von der Sonne erwärmt ist.

Schon kurz nach dem Einschalten der Heizung kann man oben am Kamin mit der Hand spüren, wie warme Luft aufsteigt. Mit einem kostengünstigen Hand-Anemometer wird nach einer anfänglichen Erwärmungsphase eine Windgeschwindigkeit von ca. 3 km/h gemessen.

Die Temperaturen bei den beiden Thermometern im Inneren steigen beide an, allerdings jedoch die im Kamin deutlich stärker (siehe Abb. 11). Nach einiger Zeit (ca. 4 Min.) stellt sich im Hohlraum eine konstante Temperatur ein (ca. 38 °C), die im Kamin hingegen steigt weiter, bis nach ca. 8 Min. eine Temperatur von über 65 °C erreicht wird. Hier besteht die Gefahr, dass sich der Heizlüfter aus Sicherheitsgründen abschaltet, um nicht zu überhitzen. Die Temperatur im Innern ist stark von der Position und Ausrichtung des Heizgeräts abhängig. Trotzdem ist eindeutig zu erkennen, dass die warme Luft durch den Kamin aufsteigt und kältere Luft von den Seiten nachströmt.

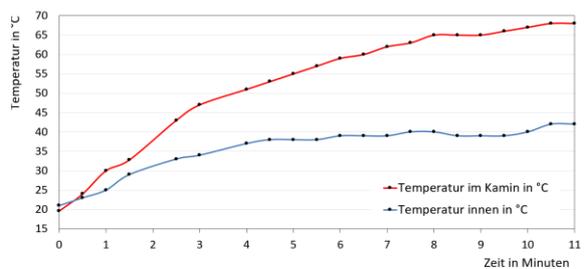


Abb. 11: Temperaturverlauf unten in der Kiste und im Kamin nach Einschalten des Heizlüfters

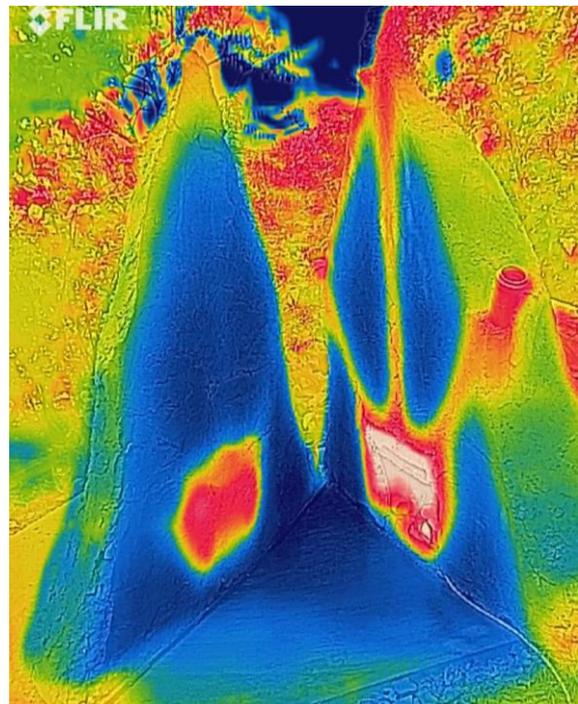


Abb. 12: Wärmebild des aufgeklappten Termitenhügels nach Erwärmung durch den Heizlüfter, auf dem man die Erwärmung der drei Kamine sieht

Nach der Erwärmung mit dem Heizlüfter wird der Hügel geöffnet und ein Wärmebild aufgenommen (siehe Abb. 12). Deutlich sind die drei Rohre nach oben zu erkennen, in denen die warme Luft aufsteigt und den Lehm erwärmt.

6. Ein Analogexperiment zum Kamineffekt

Zur Demonstration des Kamineffekts eignet sich ergänzend ein Analogexperiment (Wiesner et al.). Um eine Herdplatte als Heizungsquelle wird ein rechteckiger Fotokarton zum Zylinder gerollt und als Kamin aufgestellt (ca. 50 cm hoch und \varnothing 20 cm), der unten ein Loch besitzt (z.B. Höhe 6 cm und Breite 3 cm). Dieses Loch sollte nicht zu klein sein, da die Gefahr besteht, dass das Teelicht den Karton anzündet. Verwendet man höhere Kerzen muss auch ein höheres Loch verwendet werden. Schaltet man die Heizplatte ein, steigt im Kamin warme Luft auf und durch das Loch fließt kalte Raumluft nach. Zum Sichtbarmachen wird ein Teelicht an das Loch gestellt oder ein Feuerzeug an das Loch gehalten (siehe Abb. 13).



Abb. 13: Ein Teelicht vor einem Loch (schwarz) des Kamins aus Fotokarton (blau)

Durch den Fotokarton kann auch ein Thermometer, z.B. ein Bratenthermometer, (in verschiedenen Höhen) durchgestochen werden, um so die Lufttemperatur im Inneren messen zu können. Damit sind nun auch quantitative Untersuchungen verschiedener Abhängigkeiten möglich. Z.B. kann die Abhängigkeit von der Kaminhöhe oder von der Größe der Löcher am Boden, also der Zuluftfläche, untersucht werden.

Für die Messung in Abbildung 14 wurde die Herdplatte auf mittlere Stufe angeschaltet, das Bratenthermometer ca. 3 cm über der Herdplatte durch den Karton gestochen und dem Kamin an der Unterseite schrittweise Löcher (3 cm x 3 cm) zugefügt. Man sieht: je größer die Zuluftfläche unten am Kamin ist, desto geringer ist die Temperatur im Inneren, die sich einstellt. Durch eine größere Zuluftfläche kann mehr kühle Luft einströmen und aufsteigen, sodass

sich die Lufttemperatur im Kamin trotz gleicher Heizstufe verringert.

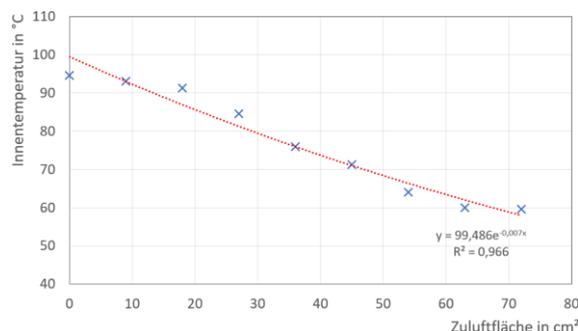


Abb. 14: Innentemperatur unten im Kamin in Abhängigkeit von der Größe der Zuluftfläche

7. Zusammenfassung und Diskussion

Termiten machen sich mit ihrem Bau die Wärmespeicherung, die Wärmeleitfähigkeit, den Gasaustausch und den Kamineffekt zunutze. Insbesondere der Kamineffekt, den man bei offenen Termitenhügeln findet, wird auch in der Architektur verwendet.

Ein Termitenhügel kann aus Lehm nachgebaut werden und daran mit einfachen Mitteln verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden. Dies kann sowohl als Projekt von einer Schülergruppe als auch von einer einzelnen Schülerin oder einem einzelnen Schüler im Rahmen einer Seminararbeit realisiert werden. So kann eine praktische Tätigkeit mit biologischen und physikalischen Betrachtungen kombiniert werden.

Zu beachten ist, dass der Bau über einen längeren Zeitraum stattfindet. Sicherzustellen ist, dass die Holzplatte, auf der der kleinere Teil steht, gut auf dem Untergrund verschoben werden kann.

8. Literatur

- Häußler, P. & Hoffmann, L. (1995). Physikunterricht - an den Interessen von Mädchen und Jungen orientiert. *Unterrichtswissenschaft*, 2(23), 107-126.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN Kiel.
- King, H., Ocko, S., & Mahadevan, L. (2015). Termites mounds harness diurnal temperature oscillations for ventilation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(37), 11589-11593.
- Korb, J. (2003). Thermoregulation and ventilation of termite mounds. *Naturwissenschaften*, 90(5), S. 212-219.
- Korb, J. (2007). Termites. *Current Biology*, 17(23), 995-999.
- Korb, J. (2008). The ecology of social evolution in termites. *Ecology of social evolution*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter*. Schneider Verlag Hohengehren.

- Molz, A.; Wilhelm, T.; Kuhn, J. (2022). Das Unsichtbare sichtbar machen: Smartphones als Wärmebildkamera. In: Wilhelm, T.; Kuhn, J. (Hrsg.). Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone, Springer-Spektrum, https://doi.org/10.1007/978-3-662-63901-6_35, S. 223 – 228.
- Nachtigall, W., & Pohl, G. (2013). Bau-Bionik: Natur-Analogien-Technik. Springer-Verlag.
- Nachtigall, W., & Wisser, A. (2013). Bionik in Beispielen: 250 illustrierte Ansätze. Springer-Verlag.
- Pearce, M. (2016). Eastgate. <https://www.mickpearce.com/Eastgate.html>
- Potvin, P. & Hasni, A. (2014). Analysis of the Decline in Interest Towards School Science and Technology from Grades 5 Through 11. Journal of Science Education and Technology, 23(6), 784–802. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9512-x>
- Schwab, R., Holm, A., & Mayer, E. (2004). Hybride Lüftungsverfahren für die bedarfsgerechte Lüftung von Bürogebäuden. Fraunhofer-Institut für Bauphysik.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). Wolters Kluwer Deutschland.
- Wiesner, H.; Erdmann, J.; Kiermaier, M.; Olk, K. Hoffmann, M. (o. J.). Einheit 5: Wind. www.supra-lernplattform.de/index.php/lernfeld-natur-und-technik/wetter/einheit-5-wetter-wind?start=2
- Wilhelm, T. (2014a). Nasse Wände – Wärmeleitung bei alten Häusern. Kontextorientierte Aufgabe (40). Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 7, S. 48 – 49.
- Wilhelm, T. (2014b). Algen auf Fassaden – Wärmeleitung bei modernen Häusern. Kontextorientierte Aufgabe (41). Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 63, Nr. 8, S. 38 – 39.