

Impulswoche

11 bis 15 Oktober

**Die Module wurden anlässlich des 150 Jahre Jubiläums
der Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten entwickelt.
Mehr Anleitungen unter www.baukulturvermittlung.at**



Initiative Baukulturvermittlung
www.baukulturvermittlung.at

Arch+Ing

Architekturexperiment: Rauminstallation mit Kabelbindern

Das Ausgangsmaterial ist simpel: Einfache Kabelbinder aus Plastik aus dem Baumarkt. Durch Schlaufen miteinander verbunden, bauen wir aus Ketten und Netzen schwebende Räume, die durch die Spannung stabil werden und im Maßstab 1:1 unmittelbar erlebt werden können. Von kokonartigen Vogelnestern bis zu spinnennetzartigem Gewebe: Verblüffend ist, welche sinnlichen Qualitäten, Leistungsfähigkeit und Flexibilität dieses einfache Konstruktionsmaterial besitzt. Nur die eigene Phantasie setzt die Grenzen.

Anleitung

Thema: Flächenverspannung in alle Richtungen

Material:

Große Kabelbinder (ca 7 -10 cm lang), Wäscheleine, Ankerpunkte im Raum, zwischen denen die Wäscheleine gespannt werden kann.

Technisch – konstruktive Herausforderungen:

- Stabilität durch Spannung (Zug)
- Räumliche Begrenzung beachten
- Befestigungspunkte planen

Hilfreiche Tipps für den Arbeitsablauf:

- Zuerst Verspannungen herstellen
- dann Flächen ausfüllen
- neue Verdichtungen bilden
- Hauptlinien setzen
- unterschiedliche Verbindungs- und Webmuster ausprobieren.

Erweiterung / Alternativen:

Innen, Draußen, Rauminstallation Stiegenhaus, Hängematte, Hängesessel, Gerüst für Sonnenschutz

Entwicklungspotential (Innere Differenzierung):

Von ornamentaler Lösung zu ganz auf Zug basierenden Konstruktionen



Links

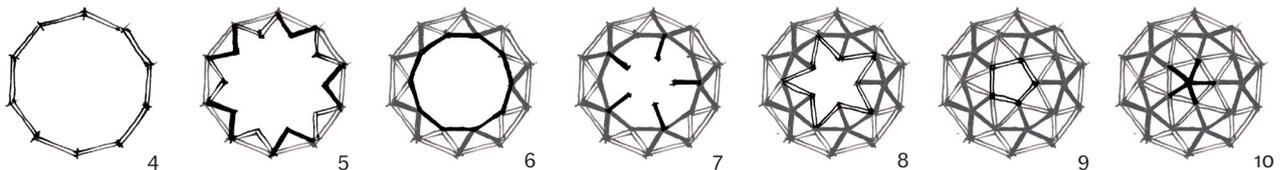
<http://www.youtube.com/watch?v=LQEP-budOb4>

<http://www.youtube.com/watch?v=sbMkdxSqIQE>

Geodätische Kuppel

Du brauchst Zeitungspapier Großformat, am besten in 2 Farben (z.B. Standard und Presse, für die weißen eignen sich besser Frankfurter Allgemeine oder Süddeutsche Zeitung, da sie etwas größer sind), mindestens 130 Doppelseiten pro Farbe. Die Zeitungen bekommst du z.B. in Büchereien, aber rechtzeitig nachfragen! Musterbeutel- bzw Rundkopfklemmern mindestens Größe 5, Rundstäbe \varnothing 10mm, Maßband, Bürolocher, Klebeband und eine Schere.

Außerdem: ein paar Freunde, Teamgeist, Fantasie und ein bisschen Geduld.



So geht's

1. Rolle je zwei oder drei Lagen Zeitungspapier über Eck mit Hilfe eines Rundstabes zu stabilen Stäben und fixiere sie mit Klebeband. Den Holzstab ziehst du wieder raus, um den nächsten Zeitungspapierstab zu rollen. Du brauchst 35 weiße und 30 rosa Stäbe.

2. Schneide die Papierstäbe auf die richtige Länge zu. Du beginnst mit den längeren Stäben – üblicherweise die weißen. Wenn du wirklich große Zeitungen verwendet hast, schneide 35 Stäbe auf 70 cm ab. Es ist wichtig, die Stäbe an beiden Seiten abzuschneiden, da die Enden der Stäbe genau so stabil sein müssen wie die Mitte. Die verbleibenden 30 (rosa) Stäbe schneide auf 62 cm zu. Wenn du kleinere Zeitungen verwendest, schneide sie entsprechend kürzer (im Verhältnis 1:0,88) zu.

3. Loch mit einem Bürolocher in jedes Ende der Stäbe ein Loch. Achte darauf, dass sich das Loch möglichst in der Mitte befindet.

4. Nun kannst du mit dem Bauen beginnen: Stecke mit den Musterbeutelklammern 10 lange (weiße) Stäbe zu einem Kreis zusammen.

5. Bereite jetzt 10 weiße und 10 rosa Stäbe vor und klammere je zwei zusammen, sodass du je 5 Pärchen in jeder Farbe erhältst. Befestige immer abwechselnd

weiße und rosa Dreiecke am Kreis. Dazu musst du die Klammern am Kreis wieder kurz öffnen, um die neuen Stäbe festzumachen.

6. Die nächsten 10 kurzen (rosa) Stäbe werden an den Dreiecksspitzen befestigt. Nun kannst du schon erahnen, dass hier eine Kuppel entsteht.

7. Klammere jetzt überall, wo sich vier kurze (rosa) Stäbe treffen, einen dritten dazu (insgesamt 5).

8. Dort, wo sich zwei kurze und zwei lange Stäbe treffen, kommen jetzt je zwei lange (weiße) dazu. Diese verbindest du mit dem freistehenden rosa Ende. Wenn du nun genau schaust, hast du eine Konstruktion aus stabilen Dreiecken gebaut, die ihrerseits 5 weiße Fünfecke bilden.

9. Verbinde nun das obere Fünfeck mit den verbleibenden 5 langen (weißen) Stäben.

10. Zum Schluss bleiben noch 5 kurze (rosa) Stäbe, die du jeweils an den Ecken des oberen Fünfecks festmachst und zum Schluss mit der letzten Klammer ganz oben zusammenfügst. Erst jetzt ist deine Kuppel stabil!

Was hast du gemacht?

Du hast mit einfachen Materialien eine kompliziert erscheinende Konstruktion – eine geodätische Kuppel – gebaut. In Wirklichkeit ist die Konstruktion nicht so kompliziert wie sie aussieht. Sie besteht aus regelmäßigen Fünf- und Sechsecken, die zusammengefügt annähernd eine Halbkugelform ergeben. Die einzelnen Flächen bleiben eben und können so ganz einfach geschlossen werden.

Geodätische Kuppeln wurden speziell von Richard Buckminster Fuller (1895 – 1983), einem amerikanischen Erfinder/Architekten entwickelt und werden aus stabilen geometrischen Formen – ausgehend von Dreiecken – errichtet. Durch die Verteilung der Lasten auf viele Einzelverbindungen sind diese Gebilde meist sehr leistungs- und tragfähig und können sogar aus gewöhnlichem Zeitungspapier errichtet werden.

Wenn man zwei Halbkugeln zusammenfügt, kann man eine Kugel bauen. Kennst du einen Alltagsgegenstand, bei dem dieses System zur Anwendung kommt?

Warum funktioniert das mit einfachem Zeitungspapier?

Papier ist als Blatt nicht besonders tragfähig. Wenn man es aber faltet oder rollt, wird es viel stabiler. Du musst nur darauf achten, dass das Papier eng gerollt ist und die Enden nicht zu schwach sind. Damit kann man mit wenig Material und relativ geringem Gewicht große Flächen überspannen.

Die Flächen deiner Kuppel werden von Dreiecken begrenzt. Ein Dreieck ist eine sehr stabile Form, da man sie nicht verformen kann. Das kannst du z.B. mit einem Zollstab gut ausprobieren. Wenn man viele Dreiecke flächig oder räumlich aneinanderreihet, bleibt auch die dadurch entstandene Form stabil.

Warum muss ich Zeitungspapier in zwei Längen verwenden?

Deine geodätische Kuppel ist aus ebenen Dreiecken aufgebaut, die aneinandergefügt Fünf- und Sechsecke ergeben. Wenn alle Seiten gleich lang wären, würden die Mittelpunkte der Fünfecke höher aufragen, weil die Fünfeckfläche kleiner ist als die Sechseckfläche, und die Kuppeloberfläche würden "Spitzen" bekommen. Wenn ihr in Mathematik oder Geometrie über platonische Körper spricht, könnt ihr dieses spannende Rätsel sicher lösen.

Wozu brauche ich das?

Zum Räume erfinden, zum Experimentieren, zum Staunen, für deine eigene Höhle, zum Zelten, zum Überdachen von New York, zum Abheben in den Weltraum...

Geodätische Kuppeln werden häufig für Planetarien, Gewächshäuser, Ausstellungshallen, Radaranlagen, etc. verwendet. Aber sogar Wohnhäuser kann man daraus bauen!

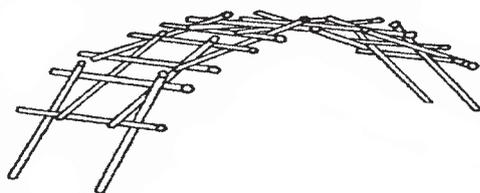
Tipps

- So lange die Kuppel oben nicht geschlossen ist, ist sie noch sehr wackelig. Erst wenn alle Stäbe miteinander verbunden sind, ist sie stabil und kann auch gut transportiert werden.
- Wenn einmal ein Stab oder eine Verbindung knicken sollte, kannst du die Schwachstelle mit Klebeband wieder stabilisieren.
- Allein ist es ziemlich schwierig, diese Kuppel aufzubauen. Schon das Rollen der Papierstäbe dauert eine Weile. Wenn ihr aber z. B. 10 – 15 Leute seid, geht das ruck-zuck.
- Du kannst die Flächen der Kuppel auch mit Papier zukleben, dadurch entsteht ein geschlossener Raum. Wenn du farbiges Transparentpapier verwendest, sieht das besonders schön aus.
- Wenn du eine Plastikfolie mit einrollst oder eine Folie zum Abdecken verwendest, kannst du die Zeitungspapierkuppel auch im Freien verwenden.
- Natürlich kannst du auch Bambusstäbe oder anderes Material verwenden, nur musst du dir dann andere Verbindungen überlegen.



Leonardobrücke

Einführung Ende des 15. Jh. schrieb Leonardo da Vinci: „Ich habe eine Anleitung zur Konstruktion sehr leichter und leicht transportabler Brücken, mit denen der Feind verfolgt und in die Flucht geschlagen werden kann.“ Damit war eine bogenförmige Brücke gemeint, die ohne Verbindungselemente wie Nägel, Seile, Klemmen oder Leim zusammengebaut werden kann. Es gibt viele verschiedene Formen der Leonardobrücke, allen gemeinsam ist, dass die Balken so geschickt ineinander verkeilt sind, dass sie nur auf Grund von Reibung tragen und sich bei Belastung selbst verfestigen.



Leonardobrücken-Bausatz

Der Leonardobrücken-Bausatz beinhaltet 14 lange Fichtenstäbe und 12 kurze Buchenstäbe. Damit lässt sich nicht nur eine Minimalvariante konstruieren, sondern auch auf vielfältige Art experimentieren.

Aufbauanleitung

Um den kleinst möglichen Brückenbogen zu konstruieren, werden mindestens vier lange und zwei kurze Stäbe benötigt. Mit jeder weiteren Ergänzung von Stäbchenkombinationen wird die Spannweite schrittweise größer.

Die Brücke kann alleine, leichter aber im Team aufgebaut werden. Zuerst legt man zwei lange Stäbe mit kleinem Abstand parallel nebeneinander und einen kurzen Querstab darüber. Über diesen Querstab legt man zwei weitere Längsstäbe, die ersten beiden Stäbe hebt man an und schiebt einen Querstab unter die ersten und über die zweiten Stäbe. Zum einfacheren Beginn kann man die Längsstäbe mittig auf eine höhere Unterlage legen (z. B. der Baukasten selbst, ein Buch etc.). Die Stäbe sind nun miteinander verkeilt. Genauso verfährt man mit dem dritten Stabpaar und zwei weiteren Querstäben und so weiter. Damit die Brücke stabil steht, sollten



die Stäbe möglichst parallel liegen. Das seitliche Verschieben kann ebenfalls wieder durch Bücherstapel verhindert werden.

Schule

Mit der Leonardobrücke kann man anschaulich einfache physikalische Prinzipien der Mechanik und Statik lernen, z. B. Reibung, Auflagekraft, Selbsthemmungsmechanismus Kräfte-diagramme, Schwerpunktbestimmung, Winkelfunktionen etc. Neben den Naturwissenschaften lassen sich auch Themen aus ästhetischer Bildung, Architektur, Design und Geschichte vermitteln (siehe Links). Kompetenzen wie Konzentration, Feinmotorik, räumliches Vorstellungsvermögen und Teamgeist können dabei lustvoll motiviert werden.

Wer kann das?

Wer baut die Brücke, mit der längsten Spannweite?
Wer baut die längste Brücke mit der geringsten Anzahl von Stäben?
Wer baut die Brücke mit der größten Tragfähigkeit?
Wer baut die höchste Brücke?
Wer baut aus den selben Brückenelementen ein Flächentragwerk?

technik bewegt

Impulswoche – 11 bis 15 Oktober 10

Links

Geschichte des Brückenbaus

<http://www.bernd-nebel.de/bruecken/index.html> und
www.brueckenweb.de

Computerspiel Bridge-Builder:

www.winload.de/s/bridge-builder
www.leonardo-da-vinci.de

Hans Humenberger: Mathematische und praktische
Aktivitäten rund um die Leonardo-Brücke (Vortrags-
dokumentation Uni Muenster; pdf):

www.math.uni-muenster.de

Filme

„NZZ-Swiss Made: Brücken“

„Maillarts Brücken“ (H. Emigholz)



Lüftungsexperiment

Wie verhindert man Schimmelbildung im Klassenzimmer? Immer das gleiche Problem: 25 Schülerinnen und Schüler in einem Klassenzimmer... Stundenwechsel... ein neuer Lehrer betritt das Klassenzimmer: „Alle Fenster auf! Oder wollt ihr hier ersticken?“ Ein Aufschrei von den Schülern: „Dann wird es zu kalt!“. Aus dieser Problematik heraus wurden unter Mitarbeit zweier Architekten in einer Klasse Versuche durchgeführt, die das richtige Lüften und den Sinn einer guten Wärmedämmung im Zusammenhang mit sinnvollem Energiesparen veranschaulichen sollten.



Das Lüftungsexperiment

Aufbau Versuch: richtiges Lüften

Quer durch das Klassenzimmer, von der Fenster- zur Türseite werden im Abstand von etwa 50 cm waagrecht Angelschnüre gespannt. Befestigt werden die Schnüre an zwei senkrecht aufgestellten und verkeilten Dachlatten mit kleinen Haken. An die Schnüre hängen die Schüler nun alle 10 cm mit einem Stück Tesafilm einen dünnen Papierstreifen (von geteilten und zerschnittenen Papierservietten). Der Aufbau dieses Versuchs dauert mindestens 30 Minuten. Die Tische und Stühle müssen so verschoben werden, dass die Sicht auf die Papierstreifen von der Zimmerdecke bis zum Boden frei bleibt.

Beobachtungen

Nun wird folgendes demonstriert: Werden die Außenfenster nur gekippt, bewegen sich die Papierstreifen so gut wie gar nicht. Es findet kein Luftaustausch statt! Werden die Außenfenster weit geöffnet, „fällt“ die kalte Luft in den Raum, wandert den Boden entlang, steigt an der gegenüberliegenden Wand auf, und bewegt sich an der Zimmerdecke wieder Richtung Fenster. Die

Luft wird komplett umgewälzt. Nach 3-4 Minuten ist die gesamte Luft ausgetauscht, die Fenster können geschlossen werden. Zusätzlich kann an der Glasscheibe noch das Kondensieren der warmen, feuchten Luft beobachtet und erklärt werden. Es kann ebenfalls mit einigermaßen schnell reagierenden, digitalen Thermometern die Temperaturveränderung an unterschiedlichen Punkten im Klassenzimmer im Halbminutentakt aufgezeichnet werden. Sind die Außenwände gut gedämmt, bleiben die Wände während des Lüftens warm und das Klassenzimmer erwärmt sich anschließend sehr schnell wieder.

Da der Aufbau des Versuchs einige Zeit in Anspruch nimmt, ist zu überlegen, ob man nicht auch anderen Klassen im Schulgebäude das richtige Stoßlüften demonstriert. Der Versuch gelingt aber nur an kühlen Tagen mit einem größeren Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft.

Der Vermesser Anleitung zum Workshop

Ziel Den Schülerinnen und Schülern soll folgendes nahe gebracht werden: welche Aufgaben haben Vermessungstechniker bzw Vermessungstechnikerinnen, welche Grundkompetenzen sind für sie erforderlich und welche Hilfsmittel verwenden sie.

- 1) **In der Klasse:** Austeilen des 1. Handzettels und Bearbeitung der Fragestellungen.
- 2) **Im Freien:** Praktisches Arbeiten mit Hilfe des 2. Handzettels in Gruppen, wenn möglich, mit den Instrumenten des Geometers. Jede Gruppe sollte aus maximal 5 Schülern bestehen. 1 Gruppe arbeitet mit dem Geometer, die restlichen Gruppen lösen die Aufgaben vom Arbeitsblatt 2 mit einem Maßband oder einem anderen Messinstrument. Der Geometer wechselt dann die Gruppe so oft, bis alle Gruppen mit ihm gearbeitet haben.

Für eine intensivere und längere Projektdauer:

- 3) **Im Klassenzimmer und im Freien:** Theoretisches und praktisches Arbeiten mit Hilfe des 3. Handzettels

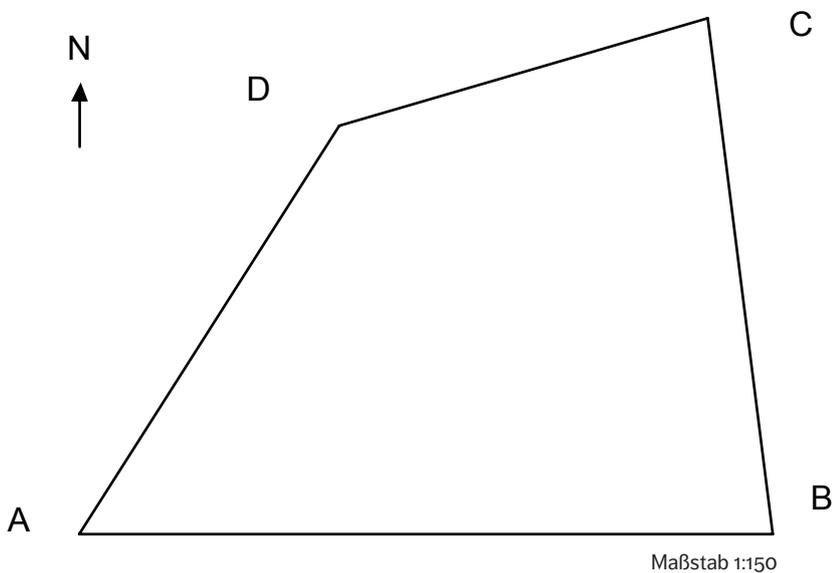
Benötigte Materialien: Je Gruppe 4 Heringe, ein Absperrband und 1 Maßband (oder ein anderes Messinstrument).



Der Vermesser

Arbeitsblatt 1

Das gezeichnete Teilgrundstück soll auf dem Schulgrundstück abgesteckt werden.



In der Klasse:

- Messe die Winkel ab und trage sie am Lageplan ein!
 - Überprüfe, ob du richtig gemessen hast! Welche Möglichkeit gibt es da?
 - Wie teuer ist das Grundstück, wenn 1 m^2 285 € kostet?
 - Wie genau musst du rechnen bzw. messen, damit der Kaufbetrag nicht mehr als 10 € abweicht?
-

Der Vermesser

Arbeitsblatt 2

Im Freien:

- a) Stecke das Grundstück im Freien ab! Lege dabei die Standlinie AB an einer beliebigen Stelle fest. Nun versuche die Punkte C und D im Gelände abzustecken.
 - b) Wie viel m Absperrband brauchst Du, um das Grundstück einzuzäunen?
 - c) Überprüfe, ob Du richtig gerechnet bzw. richtig gemessen hast!
 - d) Es soll ein Haus mit rechteckiger Grundfläche (Länge = 11m und die Breite = 8m) darauf gebaut werden. Achte darauf, dass von jeder Grundgrenze mindestens 5m Abstand gegeben ist. Stecke die Grundfläche des Hauses auf diesem Grundstück ab!
 - e) Schreibe auf, was Du berücksichtigen musst? (Zufahrt, Himmelsrichtung, etc.)
 - f) Arbeiten mit einem Tachymeter oder GPS oder Nivellierinstrument
-

Die Geräte eines Vermessers

Tachymeter in der Bauvermessung

Für die Vermessung sind heute präzise Hightech-Geräte im Einsatz. Die Meistverwendeten sind Tachymeter, GPS und Nivellierinstrument. Schlaue Software wertet die Daten aus, und nach der Bearbeitung entstehen Pläne und Karten.

Folgendes Beispiel: Ein Architekturbüro will eine Villa samt großem Garten planen. Dazu muss das Grundstück zunächst vermessen werden. Die wichtigsten Geräte dazu sind der Tachymeter und/oder GPS sowie das Nivellierinstrument. Ausgehend von Fixpunkten mit bekannten Landeskoordinaten werden alle relevanten Punkte im Grundstück wie die Grenzpunkte, aber auch benachbarte oder beim Abriss stehen gebliebene Häuser samt Giebelhöhen, Bordsteine, die Hangneigung und weiteres vermessen, um daraus einen Bestandsplan für die Planung der Villa zu erstellen. In diesem Plan sind auch Höhen eingetragen, meistens die Höhen über dem Meeresspiegel.

Tachymeter

Der Tachymeter ist eine Kombination aus Winkelmessgerät (auch bekannt als Theodolit) und Distanzmesser. Damit lassen sich Vertikal- und Horizontalwinkel sowie die Strecke zu einem ausgewählten Punkt messen. Der Reflektor ist zur Punktaufnahme an einem Lotstab angebracht, der eine Zentimeter-Teilung besitzt. Moderne Geräte lassen sich auch fernsteuern. Der Benutzer schreitet mit dem Reflektor die gewünschten Punkte ab und löst von dort mit einer Fernbedienung die Messung aus. Der Tachymeter folgt dank Motor jeweils dem Reflektor.

GPS

Nicht nur zur Navigation im Auto kommt GPS zum Einsatz, sondern auch in der Vermessung. Dank spezieller Verfahren lassen sich Koordinaten mit sehr hoher Genauigkeit (Zentimeter-genau) erfassen. GPS funktioniert nur draussen, unter freiem Himmel. Im Innern von Gebäuden ist der Satellitenempfang nicht möglich (auch der Handy-Empfang ist dort ja schlechter).

Nivellierinstrument

Mit Nivellierinstrumenten werden Höhenunterschiede gemessen und zwar präziser als mit einem Tachymeter oder GPS. Das Gerät ist im Wesentlichen ein drehbares Fernrohr, welches mit einer sehr genauen Wasserwaage horizontal ausgerichtet wird. Moderne Nivellierinstrumente sind Digitalnivellier. Über die horizontale Linie werden zwei Messlatten angezielt und so der Höhenunterschied bestimmt.

Vom Feld auf die Karte

Mit einer Grundstücksvermessung werden auch Punkte erfasst, deren Koordinaten bereits im Koordinatensystem der Landesvermessung vorliegen. So können nun auch die anderen gemessenen Punkte in den amtlichen Plan übertragen werden. Das Einpassen der vor Ort gemessenen Punkte in das Koordinatensystem der Landesvermessung nennt man Transformation. Dies übernimmt spezielle Software. Andere Software – bekannt unter den Begriffen CAD (Computer Added Design, zu deutsch computergestütztes Entwerfen) und GIS (Geografisches Informationssystem) – ermöglicht weitere Berechnungen und Visualisierungen bis hin zu dreidimensionalen Geländeabbildungen. Der fertige Plan samt Visualisierungen geht dann – in gewünschtem und geeignetem Massstab – ans Architekturbüro, das schon bald mit der Planung der Villa beginnen kann.

Der Vermesser Arbeitsblatt 3

Optional, wenn genügend Zeit vorhanden, oder wenn der Lehrer das Experiment im Unterricht fortsetzen will.

In der Klasse:

- a) Das Grundstück hat eine Hanglage, wobei die Kante AB waagrecht liegt und der Hang gleichmäßig 25° geneigt ist. Du sollst trotzdem das Haus hineinstellen. Wie sieht die Ausschnittfläche am Plan aus?
- b) Mache ein Modell des Grundstückes (25° geneigt) und des Hauses (Quader) und prüfe, ob das Modell in Deinen berechneten Ausschnitt passt?
- c) Ein anderes Haus mit möglichst großer quadratischer Grundfläche auf dem waagrechten Grundstück wird gesucht. Zeichne Deine Lösung in die Grundstücksfläche!
- d) Ein anderes Haus mit möglichst großer quadratischer Grundfläche auf dem schiefen Grundstück wird gesucht. Zeichne Deine Lösung in die Grundstücksfläche!

Im Freien:

Stecke das Grundstück und das darauf befindliche Haus an einem schrägen Hang ab!
Welchen Höhenunterschied hast Du bei Deinem Objekt, das Du im Freien abgemessen hast, bei jeder Hauseckkante?

In der Klasse:

Vielleicht mit GIS arbeiten und eine 3-D Geländeabbildung des Objektes im Freien am Computer erstellen?

Wärmedämmungs- experiment

Für das Experiment benötigt man mindestens zwei Thermowürfel und Eis. Um die Isolationswirkung vergleichen zu können experimentiert man mit verschiedenem Isolierungsmaterial

Versuch Wärmedämmung:

Zwei kleine, mit Wasser gefüllte Plastikbecher werden über Nacht tiefgefroren. Am nächsten Morgen gibt man sie in die zwei Thermowürfel. Jeder dieser Würfel ist zuvor mit unterschiedlichem Isolationsmaterial (z. B. Styropor, Heu, Zeitungspapier, Textilien, Sand, Kies, nur Luft, ...) gefüllt worden. Das Eis in den Plastikbechern beginnt nun langsam zu schmelzen, je nachdem, wie gut das umgebende Material isoliert. Damit der Würfel zur Kontrolle nicht geöffnet werden muss, taucht ein außen sichtbarer Kunststoffstab langsam in das schmelzende Eis ein. Anhand einer Zentimeter-skala lässt sich leicht ablesen, wie schnell das Eis schmilzt bzw. wie gut das Material isoliert.

Es empfiehlt sich, den Versuch vorher zu Hause einmal auszuprobieren. Ist das Eis zu kalt, kann sich der Versuch in die Länge ziehen. Es ist auch sinnvoll, einen Würfel mit einem guten, den anderen mit einem schlechten Isolationsmaterial zu füllen. Dadurch werden Unterschiede deutlicher sichtbar. Die Wahl des Isolationsmaterials kann den Schülern überlassen werden. Einige Materialien sollte man zur Sicherheit aber griffbereit haben.

Während dieser Versuch läuft, können die Schülerinnen und Schüler mit einem zweiten Versuch beschäftigt werden, bevor man zum Schluss wieder auf einen Blick auf den Thermowürfel wirft. Gut geeignet ist dafür das Lüftungsexperiment.

