Eingangstest: Fragebogen für die Schüler

Vorbemerkungen

Lesen Sie Ihren Schülern folgenden kleinen Text über Eratosthenes vor: Das wird ihre Neugier anstacheln und sie dazu anregen, sich voll und ganz auf das Projekt einzulassen.

"Vor langer Zeit im alten Ägypten erregte eine Papyrusrolle die Aufmerksamkeit eines gewissen Eratosthenes, der damals Leiter der Großen Bibliothek einer Stadt am Mittelmeer namens Alexandria war. Darin war die Rede von einem senkrecht stehenden Stab, der am ersten Tag des Sommers (d.h. am 21. Juni) zur Mittagszeit keinen Schatten auf den Boden warf. Dies geschah weit entfernt von Alexandria in einer genau südlich gelegenen Stadt namens Syene (dem heutigen Assuan). Eratosthenes selbst stellte fest, daß in Alexandria am gleichen Tag und zur selben Stunde ein senkrechter Stab einen wenn auch verhältnismäßig kurzen Schatten warf. Wie ließ sich das erklären? Wir werden es euch hier nicht verraten, sondern laden euch dazu ein, das Geheimnis selbst zu ergründen. Dies wird euch weit bringen, denn mit dem Schlüssel zu dem Geheimnis werdet ihr den Umfang der Erde messen können."

Sie werden später sehen, wie sich diese Geschichte fortsetzen läßt, und was Sie Ihren Schülern zur Nachahmung vorschlagen können. Auch über die Literatur-Recherchen wollen wir erst später sprechen. Aber Ihre Schüler können ja schon ihre Meinung über diese wahre Geschichte äußern und die beiden genannten Städte auf einer Karte suchen.

Sagen Sie ihnen dann folgendes, um etwaige Bedenken wegen des Fragebogens auszuräumen:

“ Bei den zahlreichen Aktivitäten, die wir im Rahmen des Projekts "Auf den Spuren des Eratosthenes" unternehmen, werden wir einer Reihe spannender Themen begegnen, von denen ihr vielleicht schon einmal etwas gehört habt. Mit dem Fragebogen, den ihr hier ausfüllen sollt, wollen wir herausfinden, was ihr über diese Themen bereits wißt.
Solltet ihr die eine oder andere Frage nicht beantworten können oder wenn ihr eine Frage falsch beantwortet, so hat das überhaupt nichts zu bedeuten. Dieser Fragebogen wird nicht benotet, denn es handelt sich dabei eher um ein Quizspiel. Meldet euch, wenn ihr den Sinn einer Frage nicht versteht, und scheut euch nicht, auch eine Frage mit "Ich weiß es nicht" zu beantworten. ”

Praktische Einzelheiten

Testdauer: Je nach Erfahrung der Schüler eine Stunde von 45 Min. oder zwei Stunden von ca. 30 Minuten. (Sehr langsam arbeitenden Schülern sollte Gelegenheit gegeben werden, die noch offenen Fragen später zu beantworten.)

Erforderliches Material:

Für jeden Schüler:
die Fragebogenblätter und einige Blatt weißes Papier
für die zu einigen Fragen anzufertigenden Zeichnungen;
Bleistift, Radiergummi,
Bunt- oder Filzstifte.

PROJEKT: "AUF DEN SPUREN DES ERATOSTHENES"

14 Fragen zur Ermittlung des Wissensstandes auf einigen Gebieten.
Bevor du eine Frage beantwortest, lies sie zuerst bis zu Ende durch.
Wenn du zwischen mehreren Antworten wählen mußt, kreise die von dir gewählte Antwort mit ***Bleistift*** *ein.*
Wenn du eine ***Frage*** *mit einer Zeichnung beantworten mußt, mache die Zeichnung auf ein gesondertes Blatt, auf dem du die* ***Nummer*** *der gestellten Frage angibst.*

1 – Wir stellen uns in den Schatten !

Hast du schon einmal Schatten beobachtet? Versuche, den Schatten eines in der Sonne stehenden Stabes zu zeichnen (der Stab steckt im Boden). Zeichne dann die Schatten von drei ziemlich weit voneinander stehenden Stäben.

2 – Hängt die Wandtafel schief ?

Senkrecht und waagerecht: Mache eine Zeichnung, um diese beiden Wörter zu veranschaulichen. Ziehe zuerst eine Linie, die den Boden darstellt; zeichne dann einen senkrecht darauf stehenden und daneben einen waagerecht darauf liegenden Gegenstand.

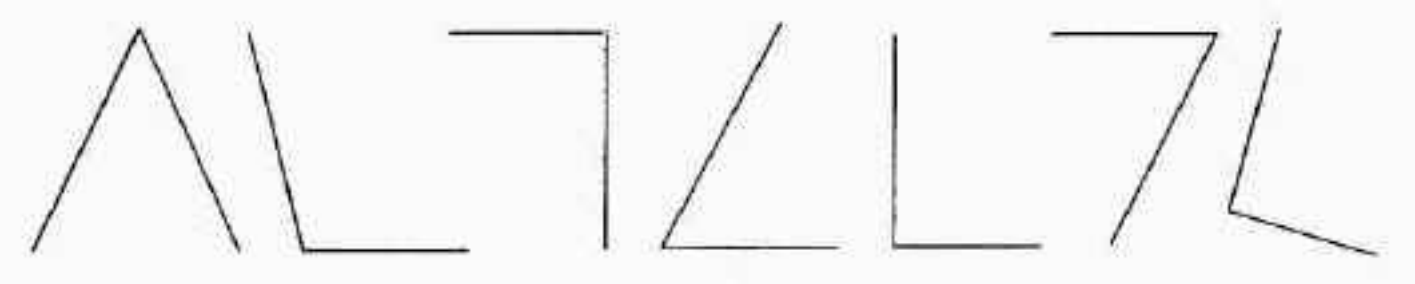
Kannst Du zwei Geräte nennen (und zeichnen?), mit denen man prüfen kann ,

- ob der erste Gegenstand senkrecht steht : _____

- ob der zweite Gegenstand waagerecht liegt : _____

3 – Winkelige Gassen

Du weißt vielleicht schon, was ein Winkel ist, und kennst vielleicht auch schon einen rechten Winkel. Kreise von den nachstehenden Winkeln diejenigen ein, die du als rechte Winkel betrachtest.



Weißt du, wie ein Winkel heißt, der "weniger offen" als der rechte Winkel ist ?

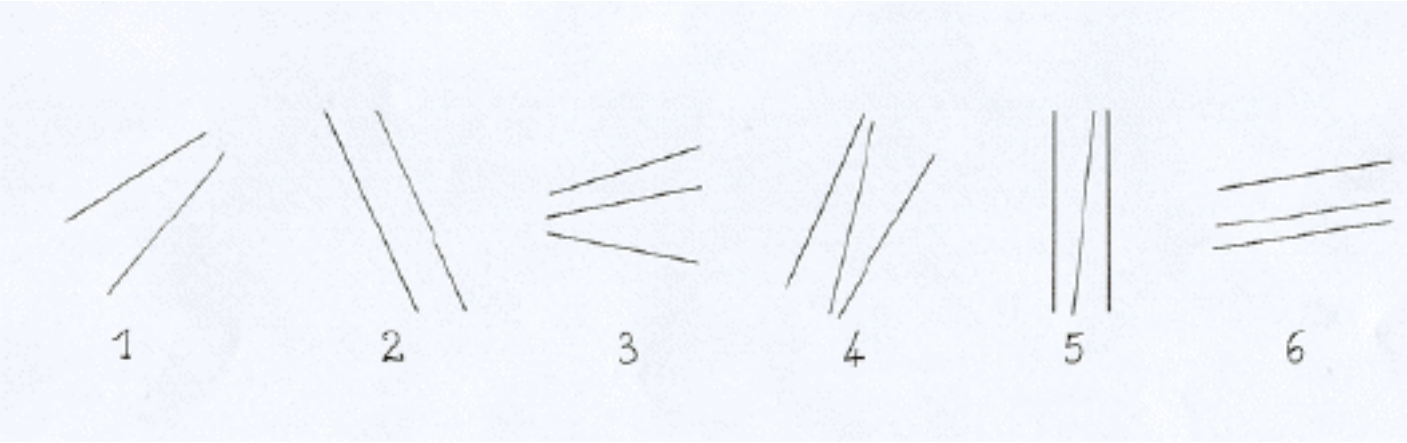
Es ist ein _____ Winkel.

Kennst du das Gerät, mit dem man "die Öffnung" eines Winkels mißt ?

Es heißt _____

4 – Parallele Straßen...

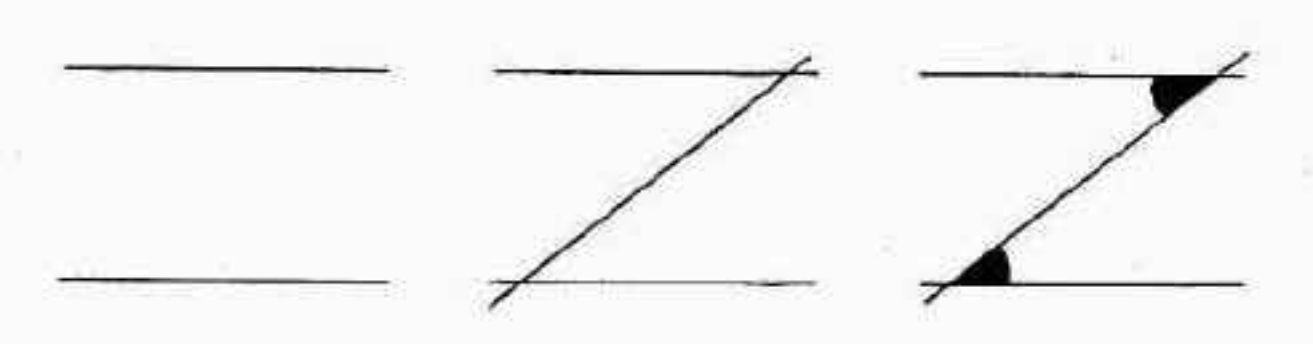
Hast du schon von "parallelen Geraden" gehört? Auch wenn nicht, kannst du vielleicht herausfinden, worum es sich handelt, wenn du die folgenden "Gruppen" von Geraden betrachtest :



Kreise die Gruppen mit parallelen Geraden ein

5 – Z wie Zorro (diese Frage richtet sich nur an Oberschüler)

Betrachte die drei Etappen des Zustandekommens dieses komischen "Z".



Die beiden geschwärzten Winkel weisen eine Besonderheit auf: welche ?
_____

Wie kann man sie nachweisen? _____

6 – Unsere Erde !

Welche Form hat die Erde ? (Zeichne sie auf eines der weißen Blätter

Woher weißt du das ?_____

Woran erinnert sie dich ? _____

7 – Und noch einmal Stäbe !

Füge auf dem Umkreis der gerade von dir gezeichneten Erde in großen Abständen drei wie Zeltpflöcke im Boden steckende Stäbe ein.

8 – Die Erde im Sonnenschein

Zeichne die Erde, wie du sie dir im Weltraum vorstellst, mit Erdteilen z.B., aber auch mit der sie bescheinenden Sonne. Schattiere sorgfältig den Teil der Erde, in dem deiner Ansicht nach Nacht herrscht.

9 – Tag und Nacht !

Kreise von folgenden vier Sätzen den (oder die) ein, der (oder die) deiner Ansicht nach die richtige Erklärung dafür liefert (liefern), daß auf der Erde abwechselnd Tag und Nacht ist. (Du kannst mehr als eine Antwort einkreisen)

1) Die Erde dreht sich um die Sonne

2) Die Sonne dreht sich um die Erde

3) Die Erde dreht sich um sich selbst

4) Die Erde dreht sich um sich selbst und um die Sonne

10 – Ein kleiner Westwind

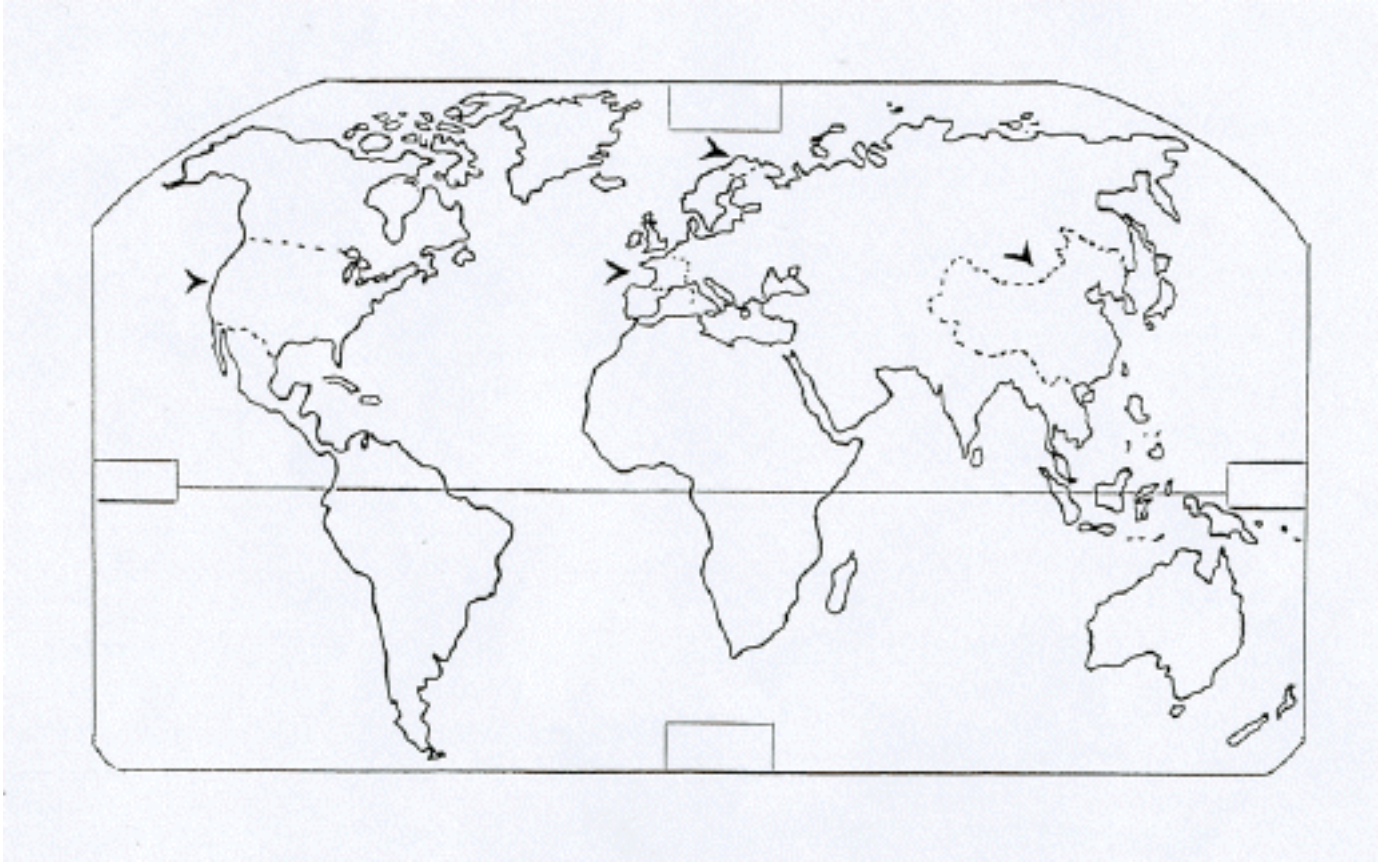
Hier ist eine Karte von Frankreich. Daneben siehst du eine sogenannte Windrose. Sie gibt die vier Himmelsrichtungen an:

Norden (N) Süden (S) Osten (O) Westen (W)

Schreibe an die Spitzen der Windrose den Anfangsbuchstaben der jeweiligen Himmelsrichtung.
Auf der Karte ist der Ort gekennzeichnet, wo sich deine Schule befindet. Wähle eine nördlich davon gelegene Region und schreibe Norden hinein, eine südlich davon gelegene Region und schreibe Süden hinein, usw.
.

11 – Wir reisen in die weite Welt

Hier ist eine Karte mit den fünf Erdteilen. Man nennt eine solche Karte Planisphäre. Schreibe den Namen der vier Himmelsrichtungen in die vier kleinen Rechtecke. Suche Frankreich, die Vereinigten Staaten von Amerika, China und Lappland und koloriere sie jeweils mit einer anderen Farbe



Wo liegen deiner Ansicht nach die Vereinigten Staaten :

- westlich von Frankreich

- östlich von Frankreich

Wo liegt deiner Ansicht nach Frankreich ?

- westlich von China
- östlich von China

12– Die Sonne geht auf !

Weißt du, in welcher Richtung man die Sonne aufgehen sieht ?

im Norden im Süden im Osten im Westen

Weißt du, in welcher Richtung man die Sonne untergehen sieht ?

im Norden im Süden im Osten im Westen

13– Die Sonne scheint mir in die Augen !

Stell Dir vor, du stehst auf einer großen Ebene; die Sonne steht vor dir hoch am Himmel. Zu welcher Tageszeit kannst du sie so sehen ? _____

In welcher Richtung kann sie zu dieser Zeit stehen ? _____

Zeichne eine Linie für den Horizont, dann in der Mitte und in der Höhe die Sonne am Himmel.

Zeichne die Bahn der Sonne vom Morgen (Aufgang) bis zum Abend (Untergang).
Versuche entsprechend Deinen Antworten auf die Fragen 12 und 13, die Himmelsrichtungen einzutragen.
Zeichne danach Pfeile an die Sonnenbahn .

14– Die Jahreszeiten

Weißt du, warum die Nächte im Winter länger sind als im Sommer ?_____

_____

Weißt du, warum es bei uns im Winter kalt und im Sommer heiß ist ?
_____

_____

KOMMENTAR FÜR DEN (DIE) LEHRER(IN)

Bei der Beantwortung der Frage 1 sind verschiedene Arten von Fehlern möglich:
- die Sonne fehlt,
- falsche Positionen der Sonne, des Stabs und des Schattens zueinander,
- der Schatten geht nicht bis zur Basis des Stabs,
- Details im Schatten,
- Schatten von gleicher Größe wie der Stab. Dies ist nicht unbedingt ein Fehler, da dieser Fall eintreten kann, deutet aber darauf hin, daß der Schüler den Schatten als ein Abbild oder Spiegelbild betrachtet.

Bei der Frage 9 kann man nach der theoretischen Physik auch die Antwort 2 als richtig gelten lassen, da Erde und Sonne sich ja relativ zueinander bewegen. Dies hängt davon ab, welches Bezugsobjekt man wählt. Wählt man die Erde, dreht sich natürlich die Sonne um sie.
Die Schüler sind häufig davon überzeugt, daß nur die Antwort 4 die richtige ist. Es ist zwar sehr lehrreich aber schwierig, sie davon zu überzeugen, daß sich der Tag- und Nachtwechsel nach mehreren Hypothesen erklären läßt.
Umgekehrt ist es aber auch schwierig, ihnen beizubringen, daß es kein vertrautes Phänomen gibt, das eindeutig für eine einzige Hypothese spricht.

Wenn ein Schüler bei der Frage 13 die Sonne von rechts nach links wandern läßt, nachdem er sie rechts im Osten aufgehen ließ und links im Westen untergehen läßt und damit den Höchststand nach Norden legt, so ist seine Zeichnung nicht als völlig falsch zu betrachten, denn so sieht es ja von der Südhalbkugel aus.

Die "Fehler" und "Ungenauigkeiten" in den Antwort-Zeichnungen sollten Sie mit Vorsicht beurteilen.

Der Schüler kann eine richtige Vorstellung haben, aber nicht fähig sein, sie richtig umzusetzen und zwar aus verschiedenen Gründen: aus Schußligkeit, Ungeschicklichkeit oder Unfähigkeit, dreidimensional zu zeichnen. Daher sollten Sie sich durch Fragen an den Schüler rückversichern.

Wir halten es für ratsam, eine Querschnittsbewertung vorzunehmen, indem man die Zahl der Schüler, die eine Frage vollkommen richtig beantwortet haben, feststellt und dann die Art und Häufigkeit der in den Antworten auf diese Frage gefundenen Fehlern ermittelt. Diese Vorgehensweise erscheint uns auch für die folgenden Etappen des Projekts interessant und sinnvoll.

Warum nicht für jeden Schüler ein qualitatives "Profil" erstellen, in dem man seine Stärken und Schwächen auf jedem Gebiet, das angesprochen wird, festhält? Dieses Profil wird dann natürlich mit dem Abschlußtest verglichen, bei dem man ganz einfach den gleichen Fragebogen ausfüllen lassen kann .

Projektphase 1

Die Beobachtungen des Eratosthenes verstehen und versuchen, sie nachzuahmen

Einleitung

Mit dieser Phase wird das Projekt, das sich über das ganze Jahr bis 21. Juni erstrecken wird, auf den Weg gebracht. Diese Phase ist daher von grundlegender Bedeutung. Wir schlagen Ihnen vor, sich an die weiter unten beschriebene Reihenfolge zu halten, die mit einem Experiment in der Sonne beginnt. Wir haben allerdings vergangenes Jahr gesehen, daß die Sonne während mehrerer Wochen hinter einer Wolkendecke verschwinden kann.Wenn Sie daher nach zwei Wochen wegen ungünstigen Wetters noch nicht beginnen konnten, können Sie die Unterrichtsabschnitte 1 und 3 (Versuch im Klassenraum mit Taschenlampen) umkehren und später im Freien arbeiten.

Wir halten es für sehr wichtig, daß die Arbeiten und Ergebnisse auch schriftlich festgehalten werden, und regen daher an, daß jeder Schüler aufgefordert wird, eine Experimentkladde zu führen, in die er regelmäßig einträgt, was er verstanden und entdeckt hat, die Vermutungen, die angestellt werden, um die sich erhebenden zahlreichen Fragen zu beantworten. In dieser Kladde werden auch die Zeichnungen und Schemata zu den durchgeführten Experimenten gesammelt. Sie können so nachprüfen, was der Schüler verstanden hat und seine Fortschritte während dieses Jahres verfolgen.

Fakultativer Einführungsunterricht : Er hat Arbeiten über die Beziehungen zwischen einer Lichtquelle, Körpern und ihrem auf eine Unterlage fallenden Schatten zum Gegenstand. Wenn Sie nach dem Durchlesen dieser Experimente glauben, daß Ihre Schüler einer Einführung hierzu bedürfen, empfehlen wir Ihnen die Seite über die Entstehung von Schatten und ihre Beziehung zur Lichtquelle.

Begriffe, die angesprochen werden :

Schattenbildung, geradlinige Ausbreitung des Lichts. Zusammenhang zwischen der Länge des Schattens und der Höhe der Lichtquelle. Parallele und divergente Strahlen

Vorbereitung: Die Beobachtungen des Eratosthenes

Dauer : 30 - 45 Minuten Erläuterung

Verteilen Sie folgenden Text zusammen mit Photokopien der Karte von Ägypten und lassen Sie den Text in der Klasse lesen :

"Vor ungefähr 2200 Jahren in Ägypten erregte eine Papyrusrolle die Aufmerksamkeit eines gewissen Eratosthenes, der damals Leiter der Großen Bibliothek von Alexandria (einer Stadt am Mittelmeer) war. Es war darin die Rede von einem senkrechten Stab, der am ersten Tag des Sommers (d.h. am 21. Juni) zur Mittagszeit keinen Schatten auf den Boden warf (Die Sonnenstrahlen drangen bis auf den Grund der Brunnenschächte). Dies geschah weit entfernt von Alexandria in einer genau südlich davon gelegenen Stadt namens Syene (die heute Assuan heißt). Eratosthenes stellte seinerseits fest, daß in Alexandria am 21. Juni zur gleichen Stunde ein senkrecht aufgestellter Stab einen wenn auch verhältnismäßig kurzen Schatten warf. Wie ließ sich das erklären ?
Wir laden euch ein, das Geheimnis selbst zu ergründen. Dies wird euch weit bringen, denn wie Eratosthenes gezeigt hat, könnt ihr mit dem Schlüssel zu dem Geheimnis den Umfang der Erde messen... "

Die Kinder werden zunächst auf die Schlüsselwörter des Textes aufmerksam gemacht: Person, Orte, Zeit, das Experiment (Körper, Brunnen, Zeit ...). Nachdem sie auf einer Wandkarte (Planisphäre oder Karte von Europa und vom Mittelmeer) Ägypten gefunden haben, lassen Sie sie auf den Photokopien die im Text genannten Orte suchen. Danach werden die Beobachtungen des Eratosthenes nachgeahmt.

Inhaltsverzeichnis :

1) Nachahmung der Beobachtungen in der Sonne
2) Die Beobachtungen mit Hilfe von Schemata interpretieren
3) Die Beobachtungen mit einer Taschenlampe nachahmen

---

1) Nachahmung der Beobachtungen in der Sonne

Dauer : mindestens 30 - 45 - minütiges Experimentieren auf dem Schulhof bei Sonnenschein

---

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern:
1 auf Zeichenpapier photokopierte Karte von Ägypten im DIN A 4 - Format
(oder zwei zusammengeklebte Blätter)
2 Streichhölzer oder Bleistiftstummel oder Schrauben mit flachem Kopf
1 Kugelschreiberkappe
Radiergummi, ein- oder zweiseitiges Klebeband oder Klebstoff
Eine halbe Stunde Sonnenschein !

Die Schüler sollen zuerst die im Text genannten Orte und Gegenstände in kleinem Maßstab nachbilden. Für die "Stäbe" verwenden sie diverse Sachen (s.u. Lernmittel), die auf der Karte befestigt werden. Sie müssen sich natürlich vergewissern, daß die "Stäbe" senkrecht stehen, aber geben Sie keine Anweisungen, sondern lassen Sie die Kinder "machen". Beschränken Sie sich darauf, ihnen zu sagen, daß ihr Experiment in allen Punkten dem, was im Text erzählt wird, gleich sein muß. In Syene (Assuan) können sie entweder einen Stab oder einen Brunnen nachbilden. Für letzteren können sie die Kugelschreiberkappe in die Karte stecken (dazu schneiden sie die Karte kreuzförmig ein; so kann man auch den Bleistiftstummel anbringen).

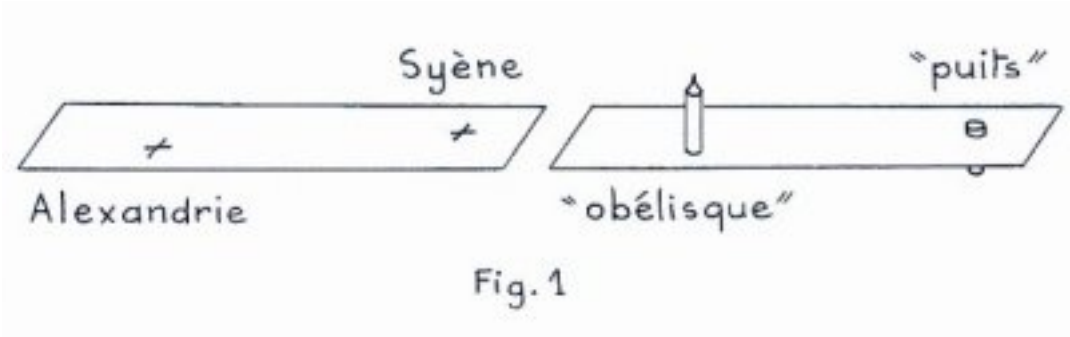


Fig. 1

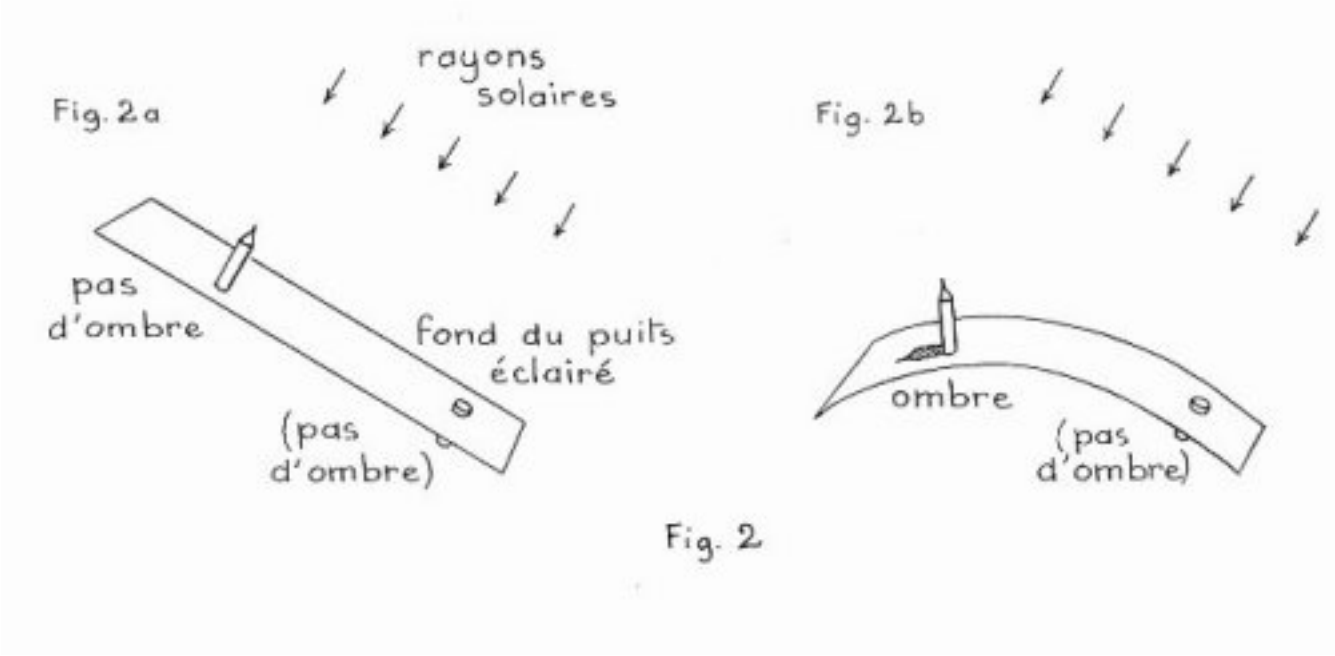
Es wäre zweckmäßig, in jeder Gruppe einen Protokollführer zu bestimmen, der auf einem Blatt aufschreibt, welche Lösungen die Gruppe wählt und wie sie vorgeht (d.h. die Versuche, die sie unternimmt und die Ursachen für etwaige Fehlschläge). Dieses Blatt kann dann photokopiert werden und wird als erste schriftliche Aufzeichnung in die Experimentkladden der Schüler jeder beteiligten Gruppe aufgenommen.

1. Aufgabe : Einen Schatten in Alexandria erzielen und gleichzeitig den Schatten in Syene zum Verschwinden bringen, wenn man dort einen "Stab" errichtet hat (oder den Boden der Kappe beleuchten, wenn man sich für den Brunnenschacht entschieden hat). Falls nötig, darauf hinweisen, daß die "Stäbe" beim Hantieren nicht zur Karte geneigt werden dürfen, sondern senkrecht bleiben müssen....

Die Schüler werden zuerst merken, daß man die Karte zur Sonne halten muß, damit der Schatten des "Stabs" in Syene verschwindet (oder der Boden des "Brunnenschachts" beleuchtet wird). Aber sie werden dann auch feststellen, daß es in Alexandria auch keinen Schatten mehr gibt. Ein Problem!

Nach einigen Versuchen werden die Schüler darauf kommen, daß sie die Karte krümmen müssen, und sie werden sich wundern, daß sie nicht früher daran gedacht haben, daß die Erde nicht flach ist. Auch wenn

deren Kugelform für sie bislang eine Selbstverständlichkeit war, so werden sie jetzt das Gefühl haben, dafür einen Beweis gefunden zu haben.



2. Aufgabe : Die Länge des Schattens in Alexandria variieren, ohne daß in Syene ein Schatten entsteht. Hierzu müssen die Kinder die Karte mehr oder weniger krümmen. Sie sehen so, daß die Länge des Schattens in Alexandria von der Krümmung der Karte und damit von der Krümmung der Erdoberfläche abhängt
.

3. Aufgabe : Noch einmal die Länge des Schattens in Alexandria variieren, aber dieses Mal bei gleichbleibender Krümmung der Karte: Die Schüler müssen jetzt den in Alexandria aufgestellten "Stab" weiter weg oder näher rücken und werden somit verstehen, daß die Länge des Schattens auch von der Entfernung zwischen den beiden Städten abhängt.

Bei jeder Aufgabe notiert jeder Protokollführer die Einfälle und Entdeckungen auf sein Blatte.

---

2) Die Beobachtungen mit Hilfe von Schemata interpretieren

Anmerkung : Dies soll nach Möglichkeit sofort nach der praktischen Arbeit geschehen, damit die Schüler deren Ergebnisse nicht vergessen.
Sie können hier auch die Aktivitäten zur Schattenbildung einschieben, wenn es bei der Arbeit im Freien Verständnisschwierigkeiten gegeben hat. Sie können die ersten Experimente auch rasch wiederholen lassen, bevor Sie weitergehen, um sich zu vergewissern, daß die Schüler sie richtig verstanden und verarbeitet haben. Wenn Ihnen die schematische Darstellung der Experimente noch zu schwierig erscheint, können Sie auch zuerst die praktischen Versuche mit Taschenlampe ausführen lassen.

Dauer : 30 - 45 Minuten im Klassenraum

Lernmittel :

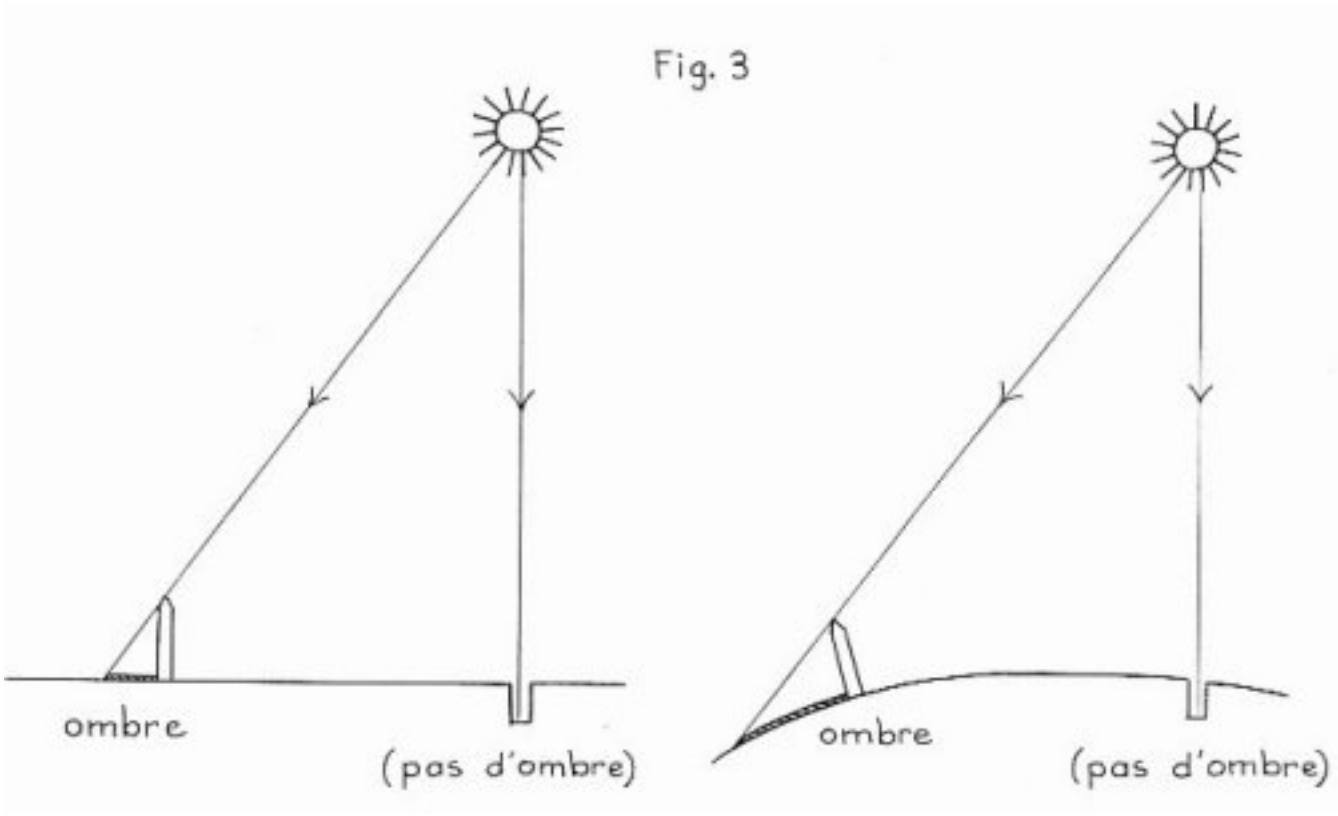
Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern:
Das Blatt mit den Skizzen, Notizen und Bemerkungen, die der Protokollführer während des Experiments gemacht hat.

Nach der Rückkehr ins Klassenzimmer schildert jede Gruppe der gesamten Klasse, wie sie vorgegangen ist, was einen Vergleich zwischen den verschiedenen Verfahrensweisen ermöglicht.

Die gesamte Klasse gelangt zu dem Schluß, daß mit diesem Experiment nachgewiesen werden konnte, daß die Erde keine flache Scheibe ist und daß der Schatten der Stäbe mit der Krümmung der Erdoberfläche, aber auch mit der Entfernung zwischen den beiden Städten variieren kann.

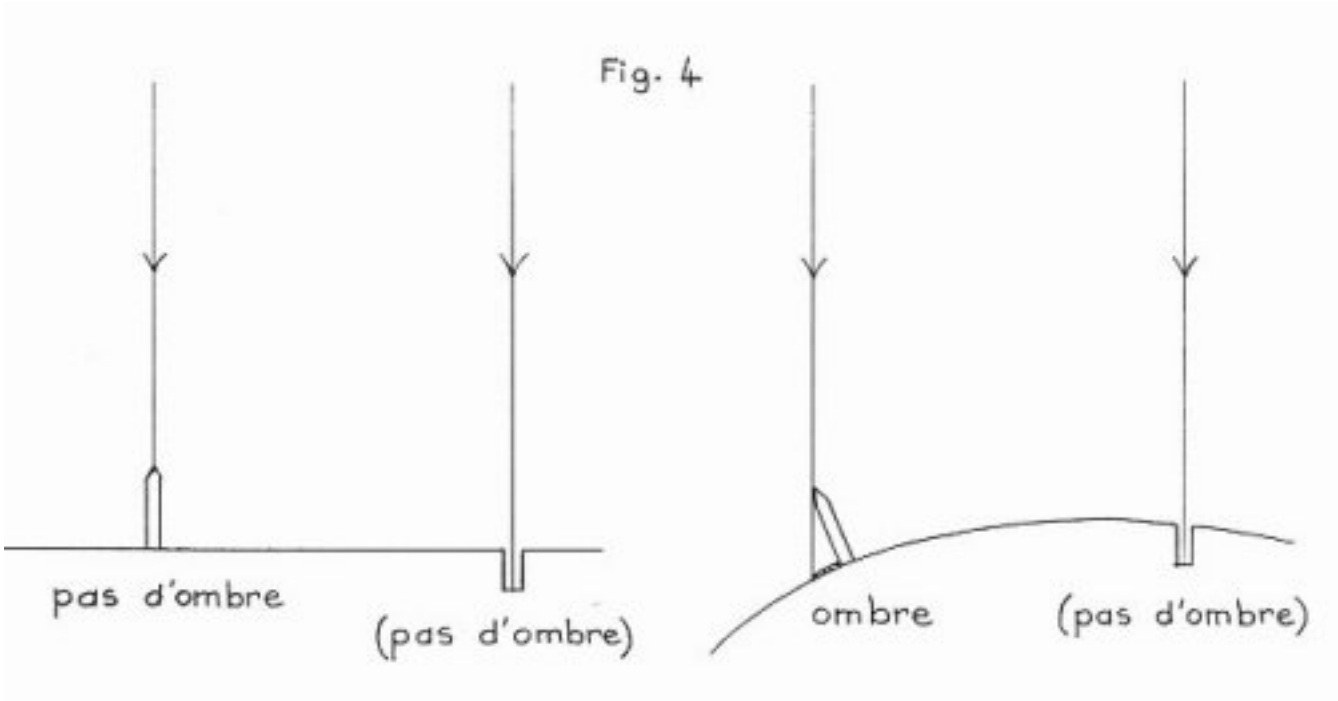
Lassen Sie jetzt alle Schüler zwei Zeichnungen vom "Experiment in der Sonne" mit den beiden Stäben (oder mit dem Stab und dem Brunnenschacht) und der Karte im Profil machen:
- die erste mit einer flachen Erde
- die zweite mit gekrümmter Erdoberfläche (gebogene Karte).

Sagen Sie den Schülern, daß die Sonnenstrahlen auf den Schemata deutlich sichtbar sein und mit dem Lineal gezeichnet werden müssen. Sollte dies Fragen oder Zweifel in der Klasse aufkommen lassen, konnen Sie die fakultativen Arbeiten über die Ausbreitung des Lichts einschieben (s. separate Seite). Die meisten Schüler werden die Sonne auf ihrem Blatt bestimmt mit divergenten Strahlen (Strahlenkranz) darstellen. Sie müßten dann auch auf beiden Schemata einen Schatten am Stab in Alexandria zeichnen (was nicht dem entspricht, was sie beobachtet haben, denn als die Karte flach war, sah man weder in Alexandria noch in Syene einen Schatten).



Eine weitere Aufgabe : Herausfinden, wie auf der flachen Karte der auf den Stab fallende Sonnenstrahl gezeichnet werden muß, damit es keinen Schatten gibt.
Die Schüler werden merken, daß sie diesen Strahl genau nach dem Stab ausrichten müssen. Und was stellen sie fest, wenn sie die beiden Sonnenstrahlen betrachten? Daß beide Strahlen in die gleiche Richtung gehen und der Abstand zwischen ihnen immer gleich bleibt. Daher spricht man von parallelen Strahlen. Die Kinder haben dieses Wort wahrscheinlich schon einmal gehört.

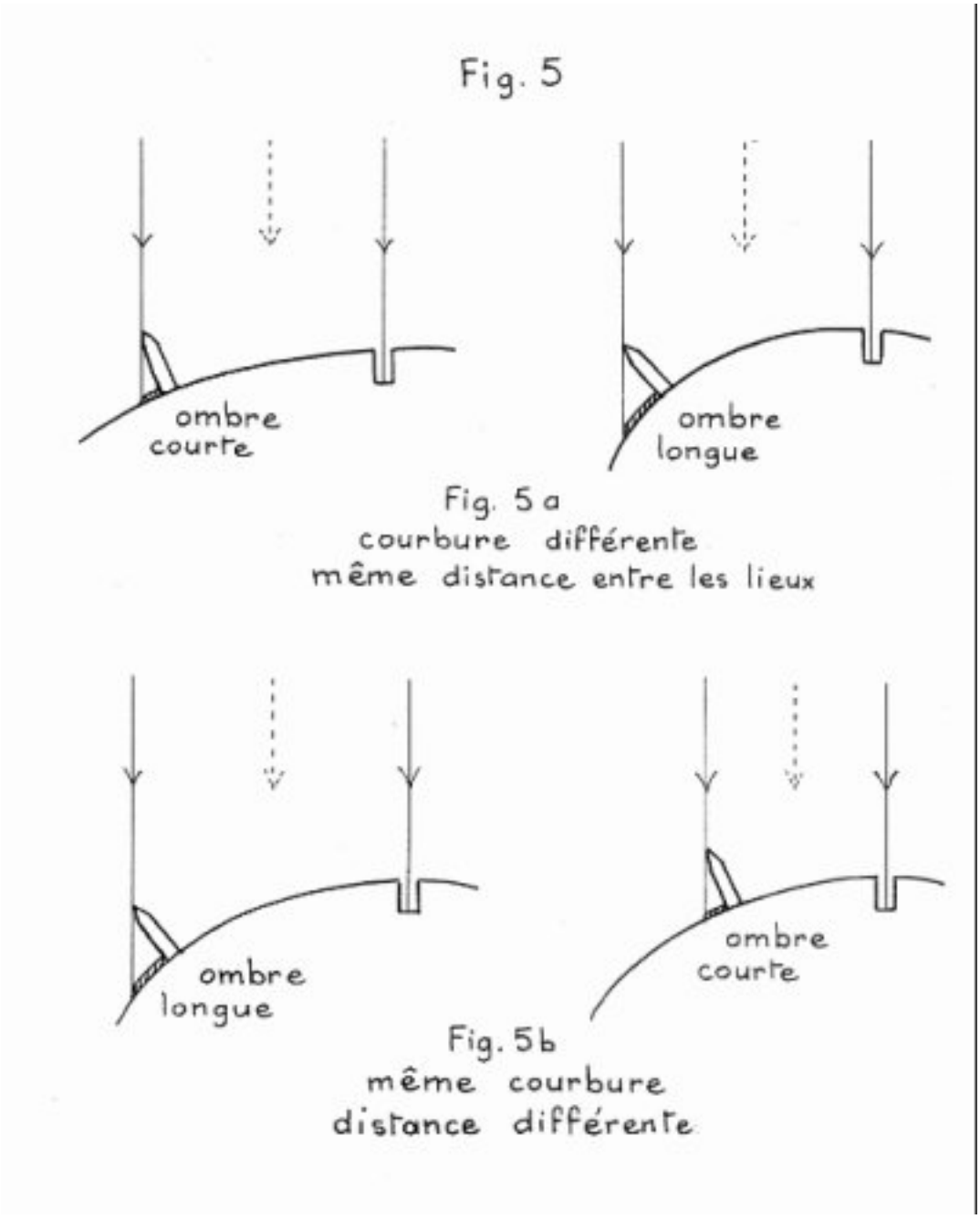
Sie werden ihre beiden Zeichnungen neu machen, jetzt aber mit zwei parallelen Strahlen und ohne Sonnenscheibe, und damit ihre Beobachtungen mit der Karte im Sonnenschein richtig umsetzen.



Ist ein experimenteller Nachweis der Parallelität der Sonnenstrahlen notwendig ?

Wenn Sie noch eine Viertelstunde Sonnenschein haben, können Sie den Unterrichtsabschnitt mit der am Ende dieser Phase beschriebenen Arbeit abschließen. Sie können damit aber auch den nächsten Unterrichtsabschnitt einleiten.

Wenn noch Zeit übrig bleibt, können Sie die letzten Experimente zeichnerisch darstellen lassen, als die Schüler die Karte mehr oder weniger krümmen sollten, bei gleichbleibendem Abstand der Stäbe, und dann umgekehrt (gleichbleibende Krümmung, Variieren des Abstands der beiden Stäbe). Sie können zum Beispiel Skizzen vorbereiten, in die die Schüler nur noch die beiden parallelen Sonnenstrahlen (aber genau parallel zu einem gestrichelten Bezugsstrahl, der der Einfachheit halber senkrecht sein sollte) und die Schatten einzuzeichnen brauchen. Sie können so rasch nachprüfen, daß jeder die im Sonnenschein ausgeführten Versuchsschritte richtig verstanden hat. Bewahren Sie die Zeichnungen gut auf und schicken Sie uns die besten !



3) Die Beobachtungen mit einer Taschenlampe nachahmen

Bei dieser Simulation können die Schüler sehen, wie sich divergente Lichtstrahlen auswirken, und sie entdecken dann, wie man sie nach und nach "parallel" macht.

Dauer : ca. 45 Min.

Ort : Klassenzimmer (abgedunkelt), dann im Freien

Lernmittel :

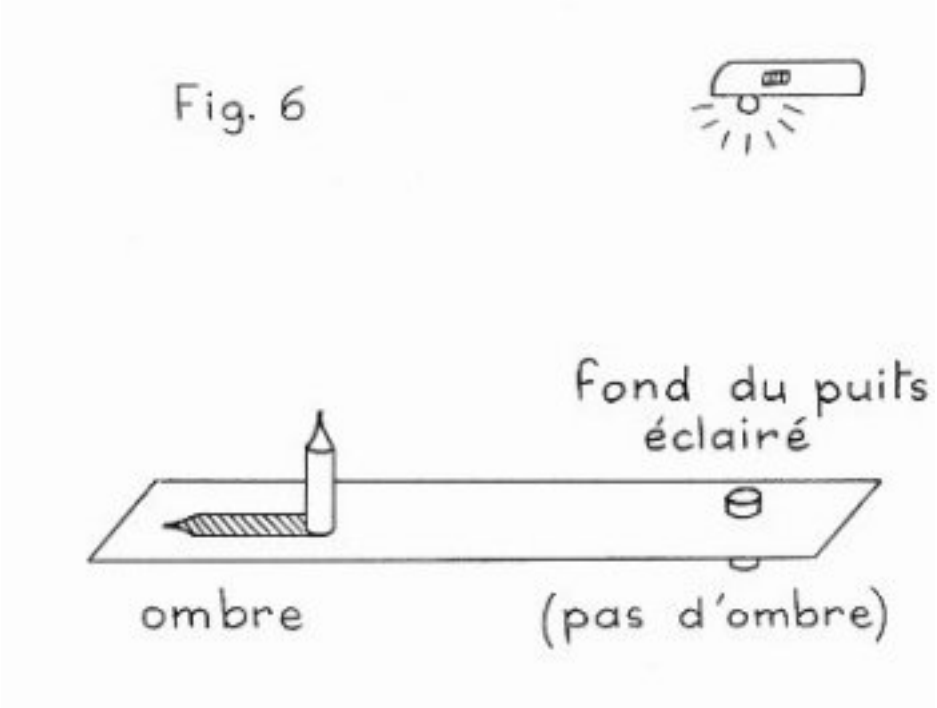
Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
Eine Taschenlampe, aus der man nach
Möglichkeit den Hohlspiegel entfernt,
damit die Schatten schärfer werden
Die Karte von Ägypten und die beiden
"Stäbe" (oder die Kugelschreiberkappe)

Für das anschließende Experiment:
3 nicht zu kurze Schrauben mit flachem Kopf
1 Blatt kariertes Papier.

Es geht darum, die Beobachtungen des Eratosthenes zu wiederholen, aber mit einer Taschenlampe anstelle der Sonne. Wenn es keinen Sonnenschein gibt, können Sie das Projekt auch hiermit beginnen. Stecken Sie wie beim ersten Unterrichtsabschnitt in die Photokopie der Karte von Ägypten auf Zeichenpapier einen Stab oder Bleistift an die Stelle der beiden Städte. Sie können auch für den Brunnenschacht in Syene eine Kugelschreiberkappe oder einen anderen von Ihren Schülern vorgeschlagenen Gegenstand verwenden (s. Abb. 1).

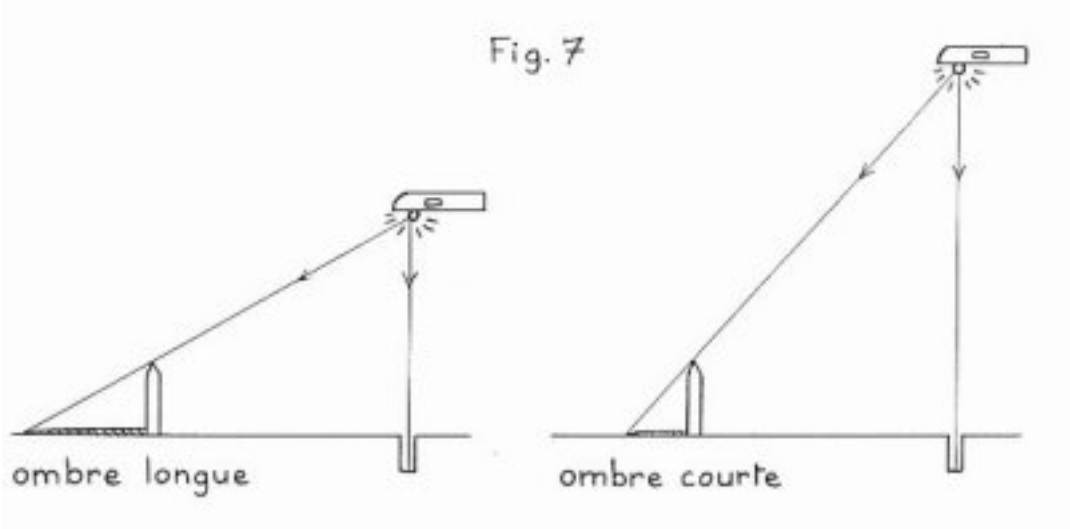
Die Aufgabe lautet : Die Beobachtungen des Eratosthenes Schritt für Schritt nachzumachen, zunächst also mit flacher Karte. Man muß die Taschenlampe so positionieren, daß sie den Boden des Brunnenschachts beleuchtet (oder keinen Schatten in Syene entstehen läßt, wenn man dort einen "Stab" aufgestellt hat; Sie können zu diesem Zweck auch den Kugelschreiber in seine Kappe stecken, sobald die Lampe richtig positioniert ist.) Was geschieht bei diesem ersten Schritt, wenn die Karte richtig flach liegt ?

Die Kinder sehen jetzt, daß der senkrecht stehende Stab einen Schatten wirft, genau wie auf der ersten Zeichnung, die sie gemacht hatten, als ihre Sonnenstrahlen nicht parallel waren. Dies entspricht also überhaupt nicht dem, was sie draußen bei Sonnenschein gesehen hatten. Dies bedeutet aber, daß die Strahlen der Lampe nicht parallel sein können...



Eine neue Aufgabe : Kann man die Lampe so positionieren, daß der Schatten des Stabs kleiner wird, ja sogar verschwindet? Nach mehreren erfolglosen Versuchen merkt einer der mit der Lampe hantierenden Schüler, daß wenn man die Lampe höher über die Karte aber immer genau über die Kappe in Syene hält, der Schatten des Stabs in Alexandria kürzer wird. Nähert man die Lampe der Karte, wird der Schatten dagegen länger. "Und wenn man die Lampe bis zur Decke heben würde, könnte man den Schatten vielleicht ganz zum Verschwinden bringen?!!" Die Kinder versuchen daraufhin, die Lampe so hoch wie möglich über die Karte zu halten, und verstehen, daß die Lichtquelle sehr, sehr weit von der Karte entfernt sein muß, damit ihre Strahlen parallel ankommen. Dies ist genau das, was in der Sonne geschieht. Dafür muß man später noch eine Bestätigung finden.

Schematisierung der Simulation : Aufgrund dieses Experiments zeigen die Schüler an zwei Skizzen den Zusammenhang zwischen der Länge des Schattens und der Höhe der Lichtquelle. Sie verwenden hierzu eventuell eine vom Lehrer vorbereitete Photokopie, in die sie die beiden Lampen und die beiden Strahlenpaare einzeichnen müssen .



Damit die Schüler endgültig von der Parallelität der Sonnenstrahlen überzeugt sind, können Sie den Unterrichtsabschnitt mit nachstehendem Experiment beschließen oder sie daran erinnern, falls sie es schon gemacht haben.

Photo: Huguette Farges , Compiègne

Experiment im Freien : Nachweis der Parallelität der auf die Oberfläche der Erde fallenden Sonnenstrahlen

Die Kinder stellen zu allererst fest, daß die Linien eines karierten Blattes parallele Streifen bilden. Es gilt jetzt nachzuweisen, daß die Schatten der auf das Blatt gestellten Gegenstände genau den Linien des Blattes folgen und mithin auch parallel sind. Dies zeigt, daß die Strahlen, die diese Schatten entstehen lassen, selbst auch parallel sind.

Fragen sie die Schüler, was geschieht, wenn man die Sonne durch eine elektrische Lampe ersetzt. Wenn sie ihre Vermutungen überprüfen, stellen sie fest, daß die Schatten auseinander gehen, sich aber den Linien annähern, wenn man die Lampe höher hält.
Schlußfolgerung: Die Sonne ist wirklich sehr weit von der Erde entfernt, so weit, daß ihre Strahlen genau parallel ankommen. Die Sonne ist so weit weg, daß man sie auf den Zeichnungen gar nicht sehen darf, wenn man ihre Strahlen richtig darstellen will !

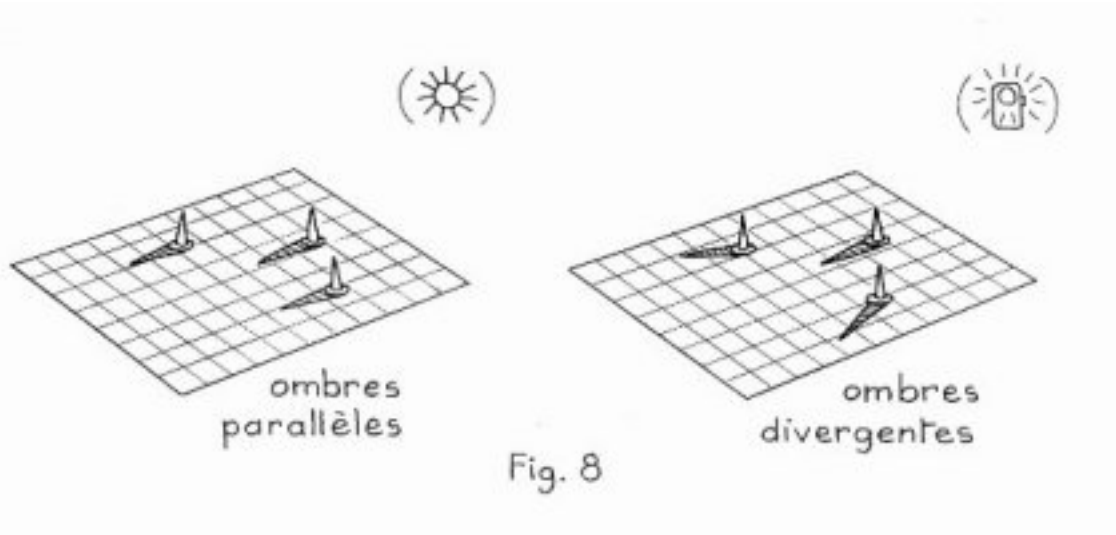


Fig. 8

Sie können diesen Unterrichtsabschnitt um die fakultativen Arbeiten zur Parallelität der Lichtstrahlen erweitern.

Sie können auch das zu Beginn dieser Projektphase vergeschlagene Experiment wiederholen, mit dem die

Krümmung der Erdoberfläche bestätigt wurde und die Kinder mit den Beobachtungen des Eratosthenes vertraut gemacht wurden. Dadurch können Sie sich vergewissern, daß jedes von ihnen das Experiment in der Sonne gut verstanden hat.

Sie können sie danach ein großes Wandbild machen lassen, auf dem sie die Beobachtungen des Eratosthenes erklären mit den beiden Hypothesen über die Form der Erde und genau parallelen Sonnenstrahlen und dann den Schluß ziehen, daß die Erdoberfläche gekrümmt und nicht flach ist.

Bemerkung : Im Verlauf dieser Projektphase werden manche Schüler vielleicht einwenden, sie hätten schon gewußt, daß die Erde rund ist. Gewiß, aber dank den mit ihnen durchgeführten Experimenten haben sie zwar nicht beweisen können, daß die Erde rund ist, aber zumindest nachgewiesen, daß ihre Oberfläche gekrümmt ist.
Nutzen Sie die Gelegenheit und weisen Sie auf alle Anzeichen hin, welche die Menschen vor über 2000 Jahren zu der Vermutung gelangen ließen, daß die Erde rund ist:
Das allmähliche Verschwinden der Schiffsmasten am Horizont, die Form des Erdschattens auf dem Mond bei Mondfinsternisen ... Sie können auf den Sternenhimmel verweisen, den sich der eine oder andere Schüler schon einmal genauer angeschaut hat, und erwähnen, daß manche Sternbilder (wie der große Bär) zur gleichen Zeit nur von einer Hemisphäre aus sichtbar sind, daß der Sternhimmel sich verändert, wenn man über große Entfernung reist. Man kann z.B. leicht feststellen, daß die Höhe des Polarsterns über dem Horizont abnimmt, wenn man nach Süden (und zunimmt, wenn man nach Norden) reist .

Complément : Es wäre schade, wenn Sie in dieser Projektphase die Schüler nicht zu bibliographischen Recherchen (Lexika, Bibliothek oder Internet) über den großen Gelehrten Eratosthenes, die Alexandrinische Bibliothek, Ägypten und seine fesselnde Geschichte anregen würden. An Stoff fehlt es nicht !
.

Fakultativer Unterricht (Projektphase 1)

Experimente zur Schattenbildung

Begriffe, die angesprochen werden

Der erste im Eratosthenes-Projekt zu erörternde Begriff ist natürlich die geradlinige Ausbreitung des Lichts, da sie die Schattenbildung unmittelbar betrifft. Danach die Begriffe Schlagschatten und divergente Lichtstrahlen und Parallelität und zwar im Zusammenhang mit den Sonnenstrahlen, denn dank dieser Besonderheit konnte Eratosthenes den Erdumfang berechnen. Schließlich wird noch die Beziehung zwischen der Veränderung des Schattens (Länge und Ausrichtung) und der Bewegung der Lichtquelle angesprochen.

Nähere Einzelheiten über diese Begriffe können Sie der "Anleitung" entnehmen.

Unterteilung der Projektphase

Diese Projektphase besteht aus vier Teilen. Für jeden Teil sind mehrere Unterrichtsabschnitte von unterschiedlicher Dauer vorgesehen. Die Einteilung der Unterrichtsabschnitte können Sie den Umständen entsprechend ändern. Die Zeit für die Eintragungen in die Experimentkladde wird bei den Zeitangaben nicht mitgerechnet.
(Wir weisen noch darauf hin, daß die in den Teilen 2 und 4 vorgeschlagenen Aktivitäten sich an das Buch *L'Astronomie est un jeu d'enfant*, Le Pommier/Fayard).

Inhaltsverzeichnis :

1) Arbeiten zur geradlinigen Ausbreitung des Lichts
2) Arbeit über die Schatten und ihre Beziehungen mit der Lichtquelle
3)Divergente und parallele Strahlen
4) Beobachtung der Veränderung der Schatten im Tagesverlauf

---

1) Arbeiten zur geradlinigen Ausbreitung des Lichts

Dauer : 1 volle Stunde oder zwei Teilstunden von 40 Min., je nach Erfahrung der Schüler.

Ort : zum einen ein teilweise in der Sonne liegender Raum, zum anderen ein Raum, der sich verdunkeln läßt.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
zwei kleine Spiegel
eine Taschenlampe
ein Bleistift
ein Blatt weißes Papier
einen Diaprojektor und
einen Lappen mit Kreidestaub vorsehen

Voruntersuchung.

Im allgemeinen stellen sich Kinder kaum Fragen über die Ausbreitung von Licht, sei es das Sonnenlicht oder das Licht einer Glühbirne (z.B. einer Deckenlampe). Für sie strahlt das Licht ganz einfach von seiner Quelle in alle Richtungen, denn es umgibt sie ja, und das genügt ihnen. Dagegen erkennen sie, daß dies bei einer Taschenlampe anders ist wegen des Hohlspiegels, "*der das Licht nur auf den zu beleuchtenden Gegenstand richtet*".
Sie sagen dann, das Licht "*scheint geradeaus*" auf den betreffenden Gegenstand. Fragt man sie dann, ob es möglich ist, auch das Sonnenlicht "*geradeaus*" irgendwohin zu richten, denken manche bestimmt an einen Spiegel, "*mit dem man einen Kameraden blenden kann*".

Zeichnen vor dem Experimentieren.

Lassen Sie Ihre Schüler das gerade Gesagte zeichnerisch darstellen.
Manche zeichnen vielleicht auch ihre Lichtstrahlen (geradlinig oder nicht, mit oder ohne Pfeile). Fragen Sie, ob sie diesen Teil ihrer Zeichnung wirklich sehen können, und sagen Sie ihnen, wenn es ihnen eine Hilfe sei, könnten sie die Strahlen darstellen. Da diese aber nicht sichtbar sind, lassen Sie sie gestrichelt zeichnen.
Und behalten Sie diese Darstellung dann systematisch bei.
Wenn die Schüler die Strahlen mehrheitlich geradlinig darstellen, fragen Sie sie, ob sie sich dessen sicher sind. Sind die Meinungen geteilt, muß auf jeden Fall herausgefunden werden, wer recht hat. Dies leitet die Fragestellung im nächsten Abschnitt ein.

Experimente

Ein erstes Experiment - ziemlich kurz - können die Gruppen nacheinander anstellen: zunächst in einem Teil des Klassenraums, in den die Sonne fällt, spiegeln die Kinder "die Sonne" in einen dunkleren Teil des Raums, auf eine Wand oder an die Decke, und beobachten, wie sich der Lichtfleck mit der Ausrichtung ihres Spiegels verlagert. Dann, in einem verdunkelten Raum, beobachten die Schüler die Position der mit ihrer Taschenlampe angestrahlten Gegenstände zu der Lampe und beurteilen Form und Ausdehnung des beleuchteten Bereichs. Sie können aber auch mit der Spiegelung des Taschenlampenlichts experimentieren.

Die Protokollführer jeder Gruppe werden sicher bestätigen, daß das Licht etwas mit geradlinigen Strecken zu tun hat. Aber wie stellt man es an, um dies z.B. mit Taschenlampen nachzuweisen ?

Ein zweites Experiment: Diejenigen Schüler, die eine Idee haben, nehmen sich die notwendigen Lernmittel und machen sich daran, ihre Idee umzusetzen. Für die anderen lassen Sie ein Blatt weißes Papier zuerst an eine Wand halten, die mit einer Taschenlampe angestrahlt wird, und zwar so, daß das kleine helle "Rund" sich in der Mitte des weißen Blattes befindet (Abb. 1). Dieses "Rund" kreist man mit Bleistift ein. Dann soll das Blatt langsam auf die (unbewegliche) Taschenlampe zubewegt werden, wobei der helle runde Lichtfleck immer innerhalb des Bleistiftkreises bleiben muß. Die Schüler werden merken, daß sich dies nur mit einer geradlinigen Bewegung zur Lichtquelle hin bewerkstelligen läßt.

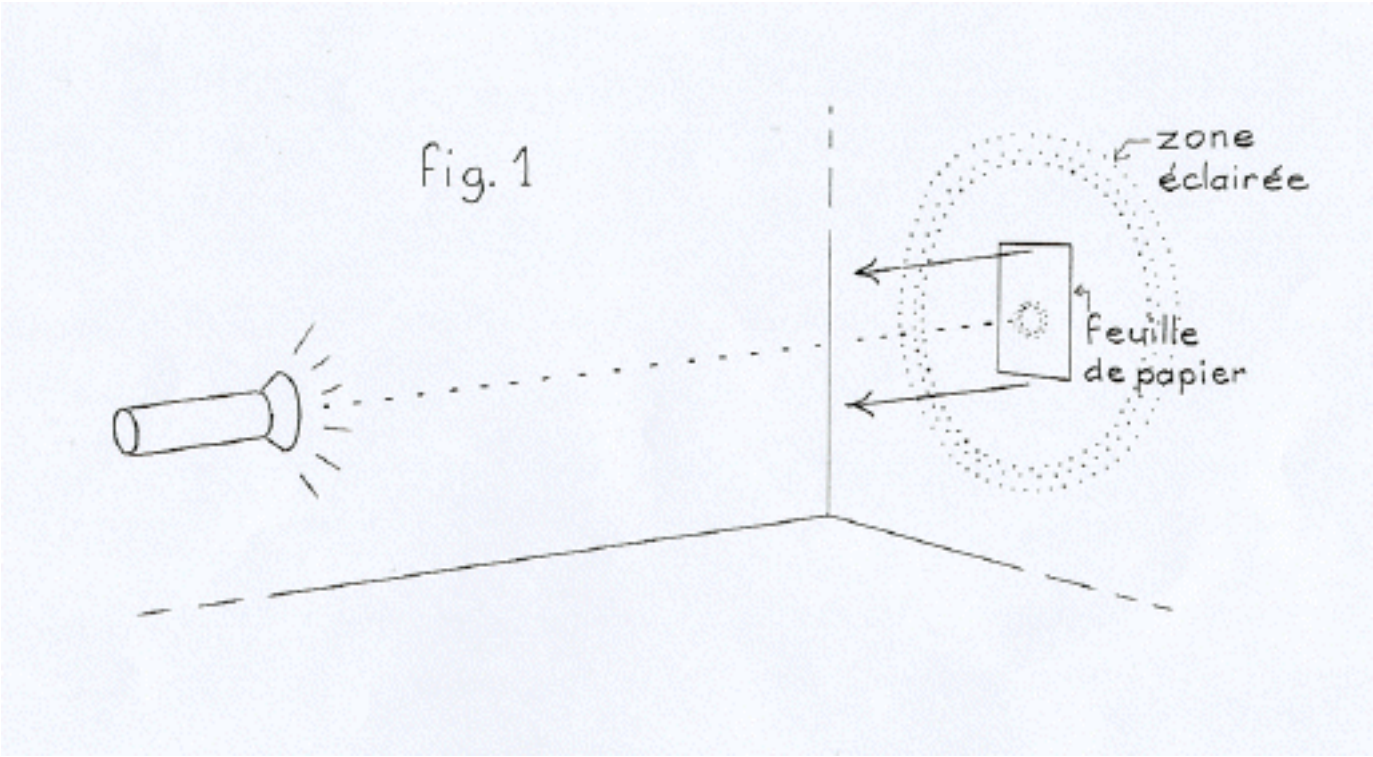


Photo Huguette Farges (Compiègne)

Zeichnungen nach dem Experimentieren.

Die Schüler fertigen neue Zeichnungen an, die bestimmt vollständiger und genauer als die vorhergehenden sind, und schreiben eine kurze Erläuterung dazu.

Mehr Wissenswertes.

Die Kinder werden festgestellt haben, daß die Lichtstrahlen aus der Taschenlampe nicht sichtbar sind. Man muß einen Gegenstand davor stellen und also ihre Bahn "schneiden", damit man den angestrahlten Gegenstand sieht, der das Licht in unser Auge zurückwirft (Ideal wäre es, diesen Versuch in einem sehr großen Raum bei völliger Dunkelheit zu wiederholen). Sie sollten die Schüler dann fragen, ob sie sich erinnern können, schon einmal einen oder mehrere Lichtkegel gesehen zu haben: Sonnenstrahlen, die durch ein Loch im Fensterladen in ein dunkles Zimmer dringen, in dem Staubteilchen schweben; bei nebligem Wetter durch die Zweige fallende Sonnenstrahlen; Autoscheinwerfer bei Nebel; Zigarettenrauch in einem Scheinwerferkegel.
Die Schüler darauf hinweisen, daß in allen Fällen Staub- oder Wasserteilchen das Licht sichtbar werden ließen. Sie erhalten das Licht von der Quelle und reflektieren es (wie der Mond) nach allen Seiten. Man sagt, die Teilchen streuen das Licht. Man kann dies in einem dunklen Raum demonstrieren, indem man z. B. den Tafellappen mit dem Kreidestaub über dem Lichtkegel eines Diaprojektors ausschüttelt.

---

2) Arbeit über die Schatten und ihre Beziehungen mit der Lichtquelle

Dauer : mehrere Beobachtungszeiten im Freien, je nach Wetter; 20 Min. Schattenumrisse im Freien zeichnen, Zeit für Simulationen im Raum.

Ort : eine asphaltierte Fläche in der Sonne; ein Raum, der sich verdunkeln läßt.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
ein Stück Kreide
ein Bandmaß
ein Taschenrechner
eine Taschenlampe
ein Kreidestück oder länglicher Gegenstand
Plastilin
ein Blatt weißes Papier
Bleistift
Millimeterpapier

Voruntersuchung

Nachdem die Schüler ihr Wissen (im Fragebogen-Test) mit der Zeichnung eines "Stabs in der Sonne" bekundet haben, sollen sie sagen, was sie von Schatten im allgemeinen und wie sie entstehen, wissen. Sie sollen sich dann selbst "in der Sonne" neben einem Baum und einem Haus nach ihrer eigenen Auffassung

über das gerade Gesagte zeichnen.

Gegenüberstellung der Zeichnungen

Die Schüler haben beim Eingangstest Zeichnungen gemacht, die bestimmt Widersprüchliches enthalten. Der (die) Lehrer(in) zeigt die Zeichnungen mit Widersprüchen und fordert die Schüler auf, in der Gruppe über die Fehler in den Zeichungen nachzudenken.
Die im folgenden Absatz vorgeschlagenen Beobachtungen sind problematischer.

Beobachtungen

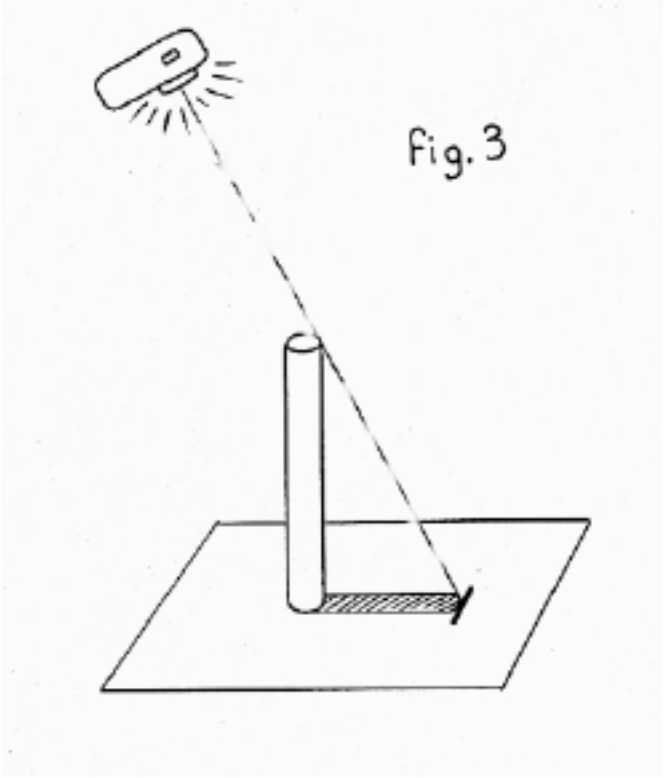
Sie werden bei Sonnenschein, aber auch wenn die Sonne etwas verschleiert ist, angestellt, damit man sehen kann, daß die Schatten mehr oder weniger scharf und dunkel sind und verschwinden können, sobald sich eine Wolke vor die Sonne schiebt. Die Form der Schatten mit der Form des Gegenstands selbst vergleichen, je nachdem welche Seite der Sonne dargeboten wird (frontal, im Profil, Dreiviertel von oben ...).

Experimente

Die Kinder werden erkennen, daß der Schatten sich nicht auf die zwei Dimensionen beschränkt, die man ihm im allgemeinen zuschreibt. Wenn sie eine Hand hinter einen von der Sonne beschienen Gegenstand oder noch besser hinter einen Kameraden halten, stellen sie fest, daß ihre Hand im Schatten ist, ganz gleich wie groß der Abstand zwischen dem Gegenstand oder Kameraden und der Fläche (Mauer oder Boden) ist, auf die dessen Schatten fällt. Es wird ihnen bewußt, daß der Schatten in Wirklichkeit drei Dimensionen aber keine eigene Konsistenz hat. Es ist ein Bereich im Raum, in den das von der Sonne kommende Licht nicht gelangt. Steht ein Körper zwischen einer Lichtquelle und einem Schirm, sieht man auf dem Schirm einen Schatten, den man Schlagschatten nennt (Da es bei allen weiteren Aktivitäten immer nur hierum geht, bedarf es dieser Präzisierung nicht mehr).

Interpretation von Schattenumrissen.

Einige Schüler bemerken, daß ihr Schatten nicht die gleiche Größe hat wie sie selbst. Wie läßt sich das nachprüfen? Indem man Vergleiche anstellt und zu diesem Zweck die Schattenumrisse mißt. Die Kinder tun sich zu Paaren zusammen. Der eine stellt sich zur Sonne, und der andere malt mit Kreide auf asphaltierten Boden den Umriß seines Schattens, einschließlich der Füße, denn wir "gehen" ja auf unserem Schatten.
Wie prüft man jetzt, ob die Umrisse gleich groß, größer oder kleiner als die betreffenden Schüler sind? Jedes Paar wählt seine eigene Vorgehensweise und setzt sie um (am einfachsten legt man sich auf seinen Umriß) .



Experimentieren mit einer elektrischen Lampe

Inzwischen werden sich die Schüler nach der Ursache des Unterschieds zwischen ihrer Körpergröße und der Länge ihres Schattens gefragt haben und sie werden verstanden haben, daß die Höhe der Sonne über dem Horizont etwas damit zu tun hat. Um sich völlige Klarheit über dieses Phänomen zu verschaffen, werden sie in kleinen Gruppen Simulationen mit einer elektrischen Lampe und irgendeinem Gegenstand (ideal wäre ein in eine Plastilinkugel gesteckter Bleistift) durchführen. Sie werden nicht lange brauchen, um festzustellen, daß eine Beziehung zwischen der Höhe der Lampe und der Länge des Schattens des Gegenstands besteht.

Vielleicht macht ein kleiner Schlauberger eine Entdeckung, die dem widerspricht, und er wird mit seinen Kameraden wetten wollen, daß sie nicht darauf kommen, wie man die Lampe senkt oder höher hebt, ohne daß der Schatten, den man zu Beginn erhalten hat, sich in der Länge verändert (auf einem Blatt Papier unter dem Gegenstand markiert man die Länge des Schattens). Abb. 3 zeigt, daß der vom Lichtstrahl und der Unterlage gebildete Winkel konstant bleiben muß. Dazu muß die Lampe geradlinig zur Spitze des Gegenstands geführt werden (am einfachsten ist es natürlich, wenn dieser Winkel 90° groß ist: In diesem Fall bleibt die Lampe beim Absenken senkrecht über dem Gegenstand, dessen Schatten dann wie in der Geschichte des Eratosthenes "verschwindet"!

Andere Schüler entdecken vielleicht auch, daß wenn man die Lampe seitlich bewegt, der Schatten dies auch tut, aber in die entgegengesetzte Richtung. Diesem Phänomen werden wir etwas später wieder begegnen…

Zeichnungen mit Erläuterungen

Die Schüler halten ihre Beobachtungen zu diesem Teil mit Skizzen und Erläuterungen fest. Man kann auch von ihnen verlangen, daß sie auf Millimeterpapier im Maßstab 1:10 eine Person ihrer Größe im Profil zeichnen, die einen Schatten vor sich hat (also wie auf Abb. 3 links oder rechts von ihr ist), dessen Länge dem entspricht, was sie selbst gemessen haben. Sie werden sich fragen, wohin sie die Sonne zeichnen müssen. Manche werden den Sonnenstrahl schräg oben am Kopf der Person vorbei bis zum Ende des Schattens ziehen und ihn nach oben verlängern, wo sie dann die Sonne plazieren.
Anmerkung: Wenn die Schüler die Sonnenstrahlen darstellen, sollen sie sie stricheln...

Mehr Wissenswertes

Möglicherweise fragen sich die Schüler, warum die Umrisse der Schatten manchmal verschwommen sind. Man kann ihnen dann mit sehr einfachen Experimenten klar machen, daß das Verschwommene der sogen. Halbschatten ist und daß dessen Entstehung mit der Größe der Lichtquelle zusammenhängt, ganz gleich ob diese punktförmig ist oder nicht. Wir gehen hier nicht näher auf diese Experimente ein, da das angesprochene Phänomen beim Eratosthenes-Projekt keine oder nur eine sehr geringe Rolle spielt. Interessenten finden alle näheren Einzelheiten unter der Rubrik "Eclipses" der Web-Site
On peut prévoir une évaluation intermédiaire, complètement formative, pour voir si, à ce stade, les élèves ont acquis les notions sur lesquelles il faudra s'appuyer plus tard.

Man kann eine Zwischenbewertung vorsehen, die rein pädagogischen Zwecken dient, um zu sehen, ob die Schüler in diesem Stadium die Begriffe, auf die man sich später stützen muß, verstanden haben.
Der (die) Lehrer(in) kann sie eine sehr einfache Zeichnung anfertigen lassen.
1. Im Schnitt eine Straße mit zwei Bürgersteigen und einer Straßenlaterne auf einem der Bürgersteige (KEINE SONNE ZEICHNEN!)
2. Aufgabe: Die Sonne so plazieren, daß der Schatten der Laterne auf den gegenüberliegenden Bürgersteig fällt.

---

3) Divergente und parallele Strahlen

Dauer : eine ungefähr 15 Min. dauernde Simulation; 20 Min. lang Experimentieren und Messen im Freien.

Ort : ein Raum, der sich verdunkeln läßt; ein sonniger Ort im Freien.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern:
eine Taschenlampe
drei oder vier Bleistifte
Plastilin
ein großes Blatt Papier
ein Lineal mit Millimeterskala
dünne Schnur
Pauspapier.

Simulation

Der (die) Lehrer(in) erklärt, was man tun wird: Mehrere Bleistifte werden in einer Reihe auf den Tisch gestellt und mit einer Taschenlampe von hinten angestrahlt (Die Lampen sind noch nicht verteilt). Die Schüler sollen im voraus sagen, was geschieht, wenn sie die Lampe anmachen.

Anmerkung: Der (die) Lehrer(in) kann an den Antworten den Kenntnisstand der Schüler hinsichtlich der geradlinigen Ausbreitung des Lichts ermessen, und den Schülern kann bewußt werden, wie sie argumentieren. Wenn sich nach dem praktischen Nachweis die Vorhersage als falsch erweist, verstehen die Schüler bestimmt besser, warum sie sich geirrt haben.

Jede Schülergruppe erhält jetzt eine Taschenlampe und strahlt die wie in Abb. 4 auf einem großen Blatt Papier aufgestellten Bleistifte an. Sie sagen, was sie an Besonderheiten bemerken. Die Schüler, die ihre Kerzen in mehr oder weniger großen Abständen ungefähr in einer Reihe aufgestellt haben und sie von hinten anstrahlen, stellen sofort fest, daß die Schatten "*zur Spitze hin auseinandergehen*" und zwar umso mehr, je näher man die Lampe an die Bleistifte hält (Abb. 4a). Sie sehen auch, daß die Schatten "*sich gleichrichten*", wenn man die Lampe weiter weghält, "*ohne daß dies ganz gelingt, weil die Lampe nicht*

stark genug ist und man nicht genügend Raum hat, um sie noch weiter weg zu halten". Fragen Sie, welche Lichtquelle stark und weit genug entfernt sein könnte, um zu prüfen, ob die Schatten sich "*ganz gleichrichten*" können. Sicher kommt einer auf die Sonne!

Anmerkung: Es ist möglich (aber nicht sicher), daß den Schülern auffällt, daß sich die Schatten "gleichrichten", wenn man die Lampe von den Bleistiften wegführt. Daher kann man sie fragen, ob es möglich ist, parallele Schatten zu erzielen.
Auch hier sollte man sie zuerst urteilen lassen, bevor man zum Experiment schreitet (Die Taschenlampen vorübergehend wieder einsammeln).
Wenn die Idee mit der Sonne geäußert wird, ist dies erfreulich, aber sie sollte nicht für richtig erklärt werden, sondern als Hypothese bestehen bleiben. "Manche glauben, daß man mit der Sonne parallele Schatten erhalten wird, aber was denken die anderen?" Wird die Idee nicht geäußert, stellt der (die) Lehrer (in) die Frage: "Wie glaubt ihr werden die Schatten in der Sonne sein?" Damit kann man zum folgenden Experiment überleiten

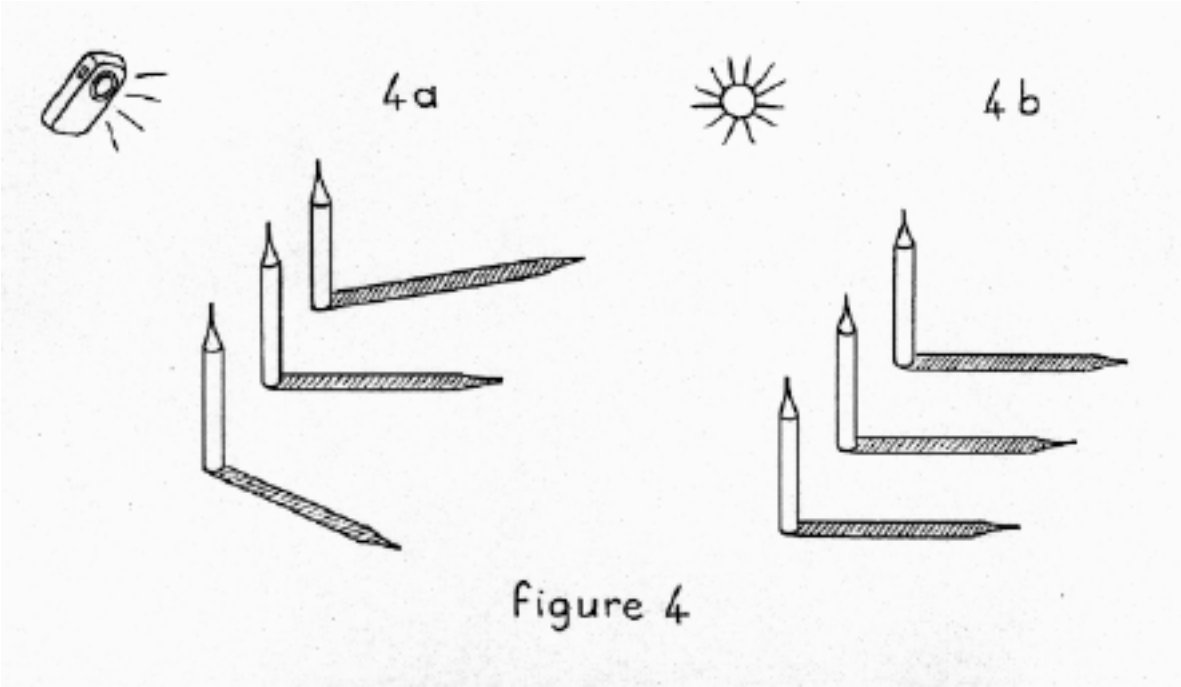


Figure 4

Experiment im Freien

Die Schüler stellen ihre Bleistifte in der Sonne auf. Unter der Voraussetzung, daß diese einander quasi parallel (aber nicht unbedingt senkrecht) sind und daß der Boden an dieser Stelle plan (aber nicht unbedingt waagerecht) ist, stellen sie fest, daß die Schatten "ganz gleichgerichtet" zu sein scheinen (Abb. 4b). Diejenigen, welche die Frage Nr. 4 des Fragebogens richtig beantwortet haben, werden sich vielleicht an das Wort "parallel" erinnern. Wie die Parallelität nachprüfen? Manche werden vorschlagen, den Abstand der Schatten an der Basis und an der Spitze zu messen, "aber nur wenn die Bleistifte gleich hoch sind"; diese Voraussetzung soll so weit wie möglich erfüllt werden, ebenso wie die Parallelität der Bleistifte untereinander. Sie sollen übrigens auf einem großen Blatt Papier stehen, auf dem man die Schatten sorgfältig umrandet, um sie anschließend in der Klasse messen zu können.

Messen und interpretieren

Nach dem Messen der Schatten und dem Vergleich der Meßwerte (die um nicht mehr als einen halben Zentimeter nach oben oder nach unten voneinander abweichen sollten) werden die Schüler zu dem Schluß gelangen, daß die Schatten wahrscheinlich parallel sind. Bevor sie daraus aber die Parallelität der Sonnenstrahlen ableiten können, müssen sie bei zwei weiteren Simulationen - zuerst mit einer elektrischen Lampe und dann in der Sonne - bestimmte Beobachtungen machen.

Neue Beobachtungen

Zunächst geht es darum zu erkennen, warum die Schatten bei einer elektrischen Lampe auseinandergehen. Manche, die sich an die Skizze auf Millimeterpapier erinnern, werden sicher vorschlagen, mit Schnur die Bahn der Lichtstrahlen darzustellen: von der Lampe über die Spitze jedes Bleistifts bis zum Ende ihres Schattens (Bei der praktischen Verwirklichung muß man versuchen, die störenden Nebenschatten der Schnüre am Glas der Taschenlampe und am Ende der Schatten so weit wie möglich zu verringern). Die Schüler werden feststellen, "*weil die Schnüre auseinandergehen, gehen auch die Schatten auseinander*". (Abb. 5 a).

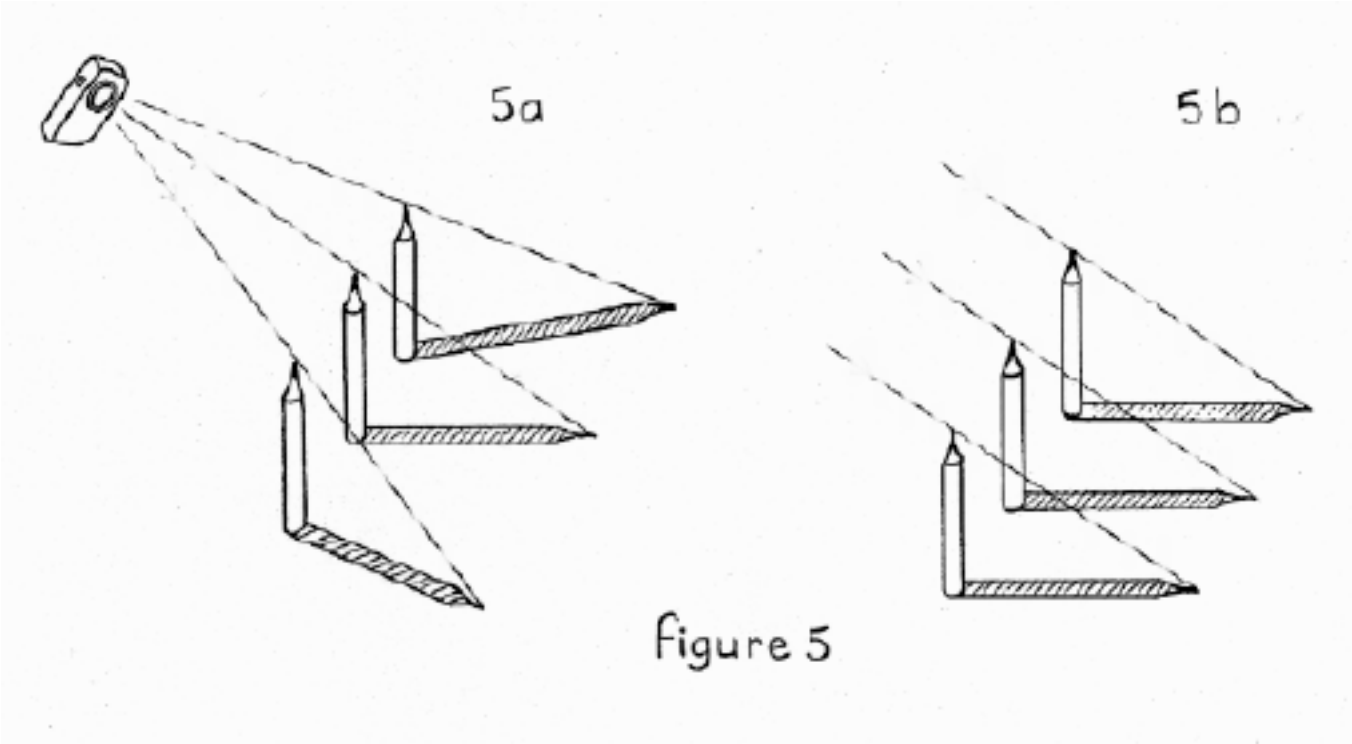


Figure 5

Spitzfindige fügen vielleicht hinzu:"*Aber dann müßten in der Sonne die Schnüre parallel sein!*" (Abb. 5b). Sie werden dies natürlich an Ort und Stelle prüfen und zu dem Schluß gelangen, daß die Sonnenstrahlen selbst parallel sein müssen.

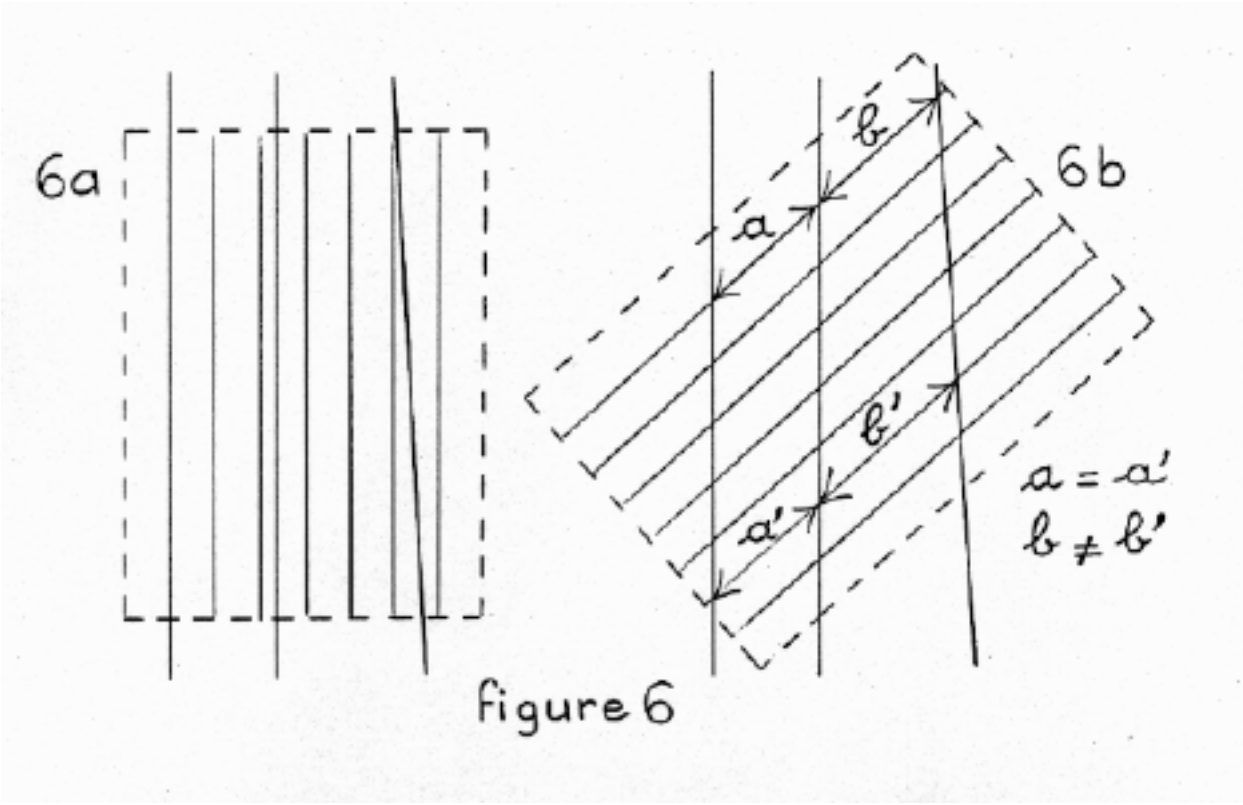
Schriftliche Verarbeitung

Die Schüler veranschaulichen die gemachten Beobachtungen mit Zeichnungen und Erläuterungen.

Und noch eine nützliche Übung

Der (die) Lehrer(in) schlägt den Schülern vor zu versuchen, nach Augenmaß möglichst parallele Geraden zu ziehen und deren Parallelität auf verschiedene Arten zu überprüfen, u.a. wie folgt:
Die Schüler übertragen auf Pauspapier die Liniatur von vorgedruckten Blättern und erhalten damit ein

ziemlich dichtes Netz von wirklich parallelen Geraden. Dieses Netz wird auf die vorher nach Augenmaß gezogenen Geraden gelegt und zwar so, daß sich eine dieser Geraden genau mit einer Linie des Netzes deckt. Dann kann man prüfen, ob die anderen Geraden parallel sich (Abb. 6a).



Danach legen sie das Netz quer über die vorgezeichneten Geraden, messen jeweils Segmentpaare und vergleichen die Meßwerte (Abb. 6b).
Die Schüler sehen herbei auch, daß es leicht ist, auf kariertes Papier schräge Parallelen zu malen
.

---

4) Beobachtung der Veränderung der Schatten im Tagesverlauf

Dauer : wiederholte kurze Beobachtungs- und Markierungszeiten während eines Tages; 30-45 Minuten Simulation.

Ort : eine asphaltierte Fläche, die den ganzen Tag von der Sonne beschienen wird; ein Raum, der sich verdunkeln läßt.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
ein 10 - 15 cm langer Gegenstand, der aufrecht
stehen bleibt oder sich
mit Plastilin fixieren läßt,
Kreidestücke,
ein großes Blatt Pauspapier,
ein Markierstift,
eine Taschenlampe,
ein großes Blatt weißes Papier.

Voruntersuchung

Nach der Veränderung der Schatten im Laufe eines Tages befragt, sagen die Schüler einstimmig, daß sie gegen Abend länger werden, "weil die Sonne untergeht". Sie schließen daraus, "daß die Schattens morgens auch sehr lang sein müssen, weil die Sonne gerade aufgegangen ist". Was die Zeit dazwischen angeht, glauben sie, daß sie zuerst kürzer werden bis zu der Zeit, "da man zum Essen in die Kantine geht, denn dann steht die Sonne ganz hoch am Himmel". Und dann werden sie wieder kürzer. Fordert man sie auf, sich zu diesen verschiedenen Zeiten zu zeichnen, beschränken sie sich im allgemeinen darauf, die Veränderung der Länge ihres Schattens mit einer hinter ihnen und verschieden hoch stehenden Sonne wiederzugeben. Aber den Lauf der Sonne und die Drehung der Schatten stellen sie nicht dar.

Beobachtungen

Um mehr darüber zu erfahren, beobachten die Schüler den Schatten von Gegenständen, die draußen in der Sonne stehen, und zwar einmal morgens, einmal in der Mittagspause und zweimal nachmittags. Wenn die Längenschwankungen auch im großen und ganzen ihren Erwartungen entsprechen, so überrascht sie doch zunächst die Tatsache, daß die Schatten auch ihre Richtung ändern. Doch sie begreifen die Ursache schnell*: "Weil die Sonne sich am Himmel fortbewegt ! "*.

Schattenumrisse zeichnen

Wie läßt sich die Veränderung der Schatten im Laufe eines Tages genau festhalten? Indem man den Schatten eines Gegenstands zu verschiedenen Zeitpunkten markiert. Die Schüler wählen in kleinen Gruppen irgendeinen Gegenstand (der aber nicht höher als 20 cm sein sollte) und stellen ihn an einen Ort auf dem Boden, der den ganzen Tag über in der Sonne liegt. Kann der Gegenstand nicht ständig an diesem Ort bleiben, malen sie mit Kreide den Umriß seiner Basis auf den Boden, damit sie ihn später mit derselben Ausrichtung wieder dorthin stellen können.

Ungefähr jede Stunde markieren die Mitglieder jeder Gruppe abwechselnd den neuen Schattenumriß. Am Ende des Tages versammeln sich alle Schüler an den jeweiligen Gegenständen und stellen fest, daß sich die Schatten unter Veränderung ihrer Länge um die Basis der Gegenstände "gedreht" haben. Einige Schüler werden beauftragt, ihre Schattenserie für spätere Zwecke auf große Pauspapierblättter zu übertragen.

Achtung : Nachdem die Schüler gegangen sind, markiert der (die) Lehrer(in) unauffällig mit Hilfe eines Kompasses auf einer der auf den Boden gemalten Schattenserien die Nord-Süd-Richtung und ebenso auf

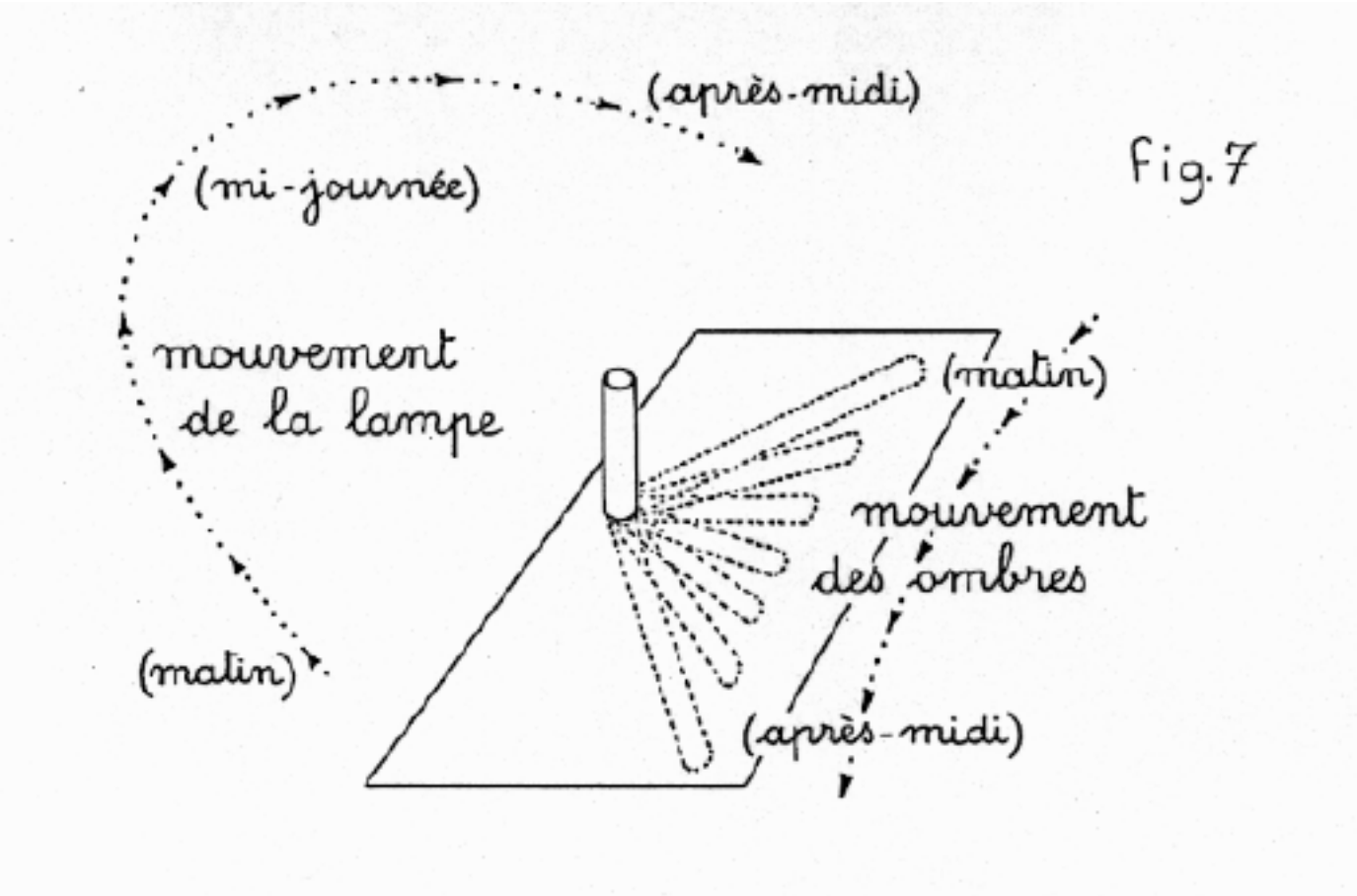
der entsprechenden Pause. Warum, das werden wir in den anschließenden Projektphasen sehen.

Zeichnungen mit Erläuterungen

Die Kinder versuchen, das beobachtete Phänomen so gut wie möglich zeichnerisch umzusetzen. Manche zeichnen ebenso viele Sonnen wie Schattenumrisse und versuchen, sie einander gegenüberzustellen. Sie tun dies mit Hilfe von Strahlenlinien, die über die Spitze des Gegenstands bis zum Ende des Schattens gehen, und zeigen damit, daß sie das Phänomen verstanden haben.

Simulation

Bei dieser Simulation soll das Phänomen mit seinen zwei Komponenten, nämlich Veränderung der Länge der Schatten und ihre gleichzeitige Drehung - nachgeahmt werden. In einem verdunkelten Raum werden die vorher in der Sonne verwendeten Gegenstände auf ein großes weißes Blatt gestellt. Jede Gruppe versucht dann mit der Lampe die scheinbare Bewegung der Sonne so nachzuahmen, daß sich der Schatten um den Gegenstand dreht und seine Länge sich dabei verändert. Manche Schüler, die sich daran erinnern, was mit dem Schatten geschieht, wenn sie ihre Lampe hinter einem Gegenstand von einer Seite zur anderen führen, werden herausfinden, daß sie die Lampe in einem Bogen bewegen müssen, um die gewünschten Wirkungen zu erzielen (Abb. 7)



Danach stellt jede Gruppe ihren Gegenstand auf die Pause mit den Schattenumrissen und die Schüler versuchen abwechselnd, den Schatten des Gegenstands nacheinander in jeden Umriß zu projizieren. Nachdem sie sich an die richtigen Stellungen der Lampe herangetastet haben, sollen sie die Bewegung kontinuierlich ausführen. Diejenigen, denen dies gelingt, können sich damit brüsten, "*die echte Sonne*" nachgeahmt zu haben

In der folgenden Etappe soll die scheinbare Bewegung der Sonne genauer untersucht werden.

Anleitung zur Projektphase 1

Fiat lux !

In allen Projektphasen und vor allem in der ersten werden eine Reihe von Begriffen im Zusammenhang mit den Lichtphänomenen (Ausbreitung, Reflexion, Streuung und Brechung von Lichtstrahlen, Schattenbildung und Parallelität der Lichtstrahlen ...) behandelt. Wir gehen hier nicht auf das Wesen des Lichts ein, raten Ihnen aber, sich nachstehende Punkte gut einzuprägen.

Wahrnehmung des Lichts

Entgegen der Meinung vieler Kinder sehen wir Gegenstände, weil Lichtstrahlen von deren Oberfläche ausgehen und in unser Auge gelangen, und nicht umgekehrt. Kinder können sich schwer vorstellen, daß außer einer Lampe oder der Sonne etwas von sich aus Licht "ausstrahlen" kann.

Um dies zu verstehen, muß man zwei Arten von Lichtquellen unterscheiden: die Quellen, die Licht hervorbringen (Kerze, Glühfaden einer Birne, die Sonne) und die Quellen, die das einfallende Licht zurückstrahen (alle Gegenstände und Lebewesen um uns herum, die für uns sichtbar sind). So können wir etwas, das selbst kein Licht hervorbringt, nur sehen, wenn es beleuchtet wird und die von ihm zurückgeworfenen Strahlen uns erreichen. Näheres über den Vorgang des Sehens können Sie der Seite über den Aufbau des Auges entnehmen.

Ausbreitung des Lichts

Um zu verstehen, wie sich Licht ausbreitet, muß man das Medium, das es durchquert (Vakuum, Luft, Flüssigkeit oder Glaswürfel ...) genau kennen. Der einfachste Fall ist ein homogenes Medium, das mit anderen Worten an allen Punkten die gleichen Eigenschaften (Temperatur, Druck, Zusammensetzung) besitzt. In einem solchen Medium breitet sich das Licht geradlinig aus, solange es nicht auf ein Hindernis trifft, d.h. es folgt dem Weg, welcher der kürzesten Laufzeit entspricht.

Ist das Medium nicht homogen (wenn z.B. große Temperaturunterschiede in ihm herrschen), ist der kürzeste Weg (im Sinne der Laufzeit) nicht mehr eine gerade Linie, sondern mehr oder weniger gekrümmt. Hierauf beruhen z.B. Luftspiegelungen. Ebenso wird ein Lichtstrahl, der von einem Medium in ein anderes dringt (die Grenzfläche zwischen Luft und Wasser z.B.) abgelenkt. Dies läßt sich leicht nachweisen, indem man einen Stab in ein Wasserbecken taucht. Der Stab sieht dann "geknickt" aus, weil die Strahlen vom eingetauchten Teil beim Übergang in das Medium Luft abgelenkt und so in unser Auge gelangen.
Aus diesem so einfachen Experiment hat der Physiker Descartes seine berühmten Gesetze über die Reflexion und Brechung von Lichtstrahlen (Übergang von einem Medium ins andere) abgeleitet.

Wir unterscheiden im folgenden durchsichtige Medien (Luft, Glas), die zumindest einen Teil des Lichts durchlassen, und lichtundurchlässige Medien (Holz oder Metall), die kein Licht durchlassen.

Hinderung der Ausbreitung und Schattenbildung

Streuung des Lichts

Trifft ein Lichtkegel auf einen lichtundurchlässigen Körper, wird er zum Teil reflektiert. Nehmen wir

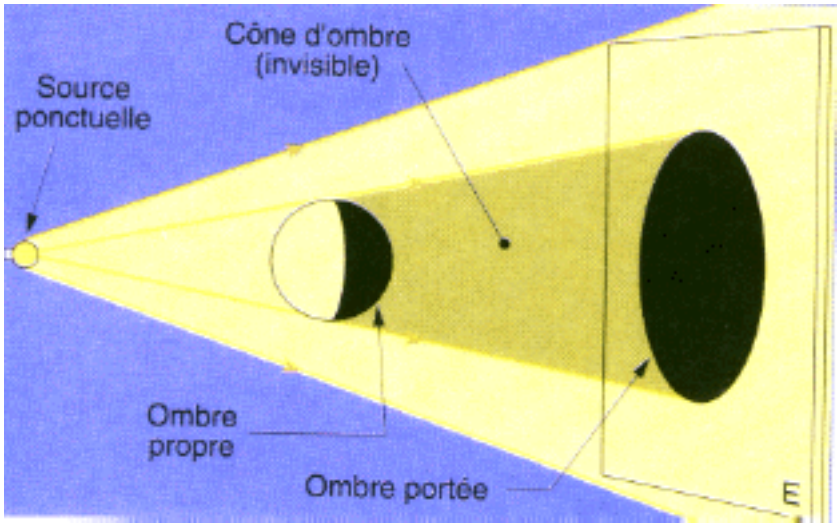
zum Beispiel einen Spiegel, der in einem sehr großen, völlig dunklen Raum aufgestellt ist und von einer einfachen Taschenlampe beleuchtet wird. Der auf den Spiegel treffende Lichtkegel scheint in eine einzige Richtung reflektiert zu werden, die von der Neigung des Spiegels gegenüber dem Lichtkegel abhängt. (Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur den Spiegel etwas um seine Achse zu drehen). Es handelt sich hier um die einfache Anwendung eines der kartesischen Gesetze.

Schauen wir uns die Sache einmal etwas näher an: Die Oberfläche des Spiegels ist nicht ganz plan, sondern besteht aus einer Reihe von Facetten, die das Licht reflektieren. Ist der Spiegel gut poliert, haben diese Facetten fast alle die gleiche Ausrichtung, aber einige von ihnen sind aleatorisch geneigt und reflektieren das Licht in andere Richtungen. Ganz gleich, wo wir uns in dem Raum aufhalten (sofern wir uns vor der verspiegelten Fläche befinden), der Spiegel bleibt sichtbar. Dies beweist, daß die Lichtstrahlen in alle Richtungen, wenn auch nicht ganz gleichmäßig, reflektiert werden.

Dieses Phänomen nennt man **Streuung**: Trifft ein Lichtstrahl auf einen Punkt eines (lichtundurchlässigen oder durchsichtigen) Körpers, wird dieser Punkt selbst zu einer Lichtquelle, indem er Lichtstrahlen in alle Richtungen reflektiert; dadurch kann man den Körper von der Seite der Lichtquelle her sehen. Schauen wir jetzt einmal, was auf der anderen Seite unseres lichtundurchlässigen Körpers geschieht.

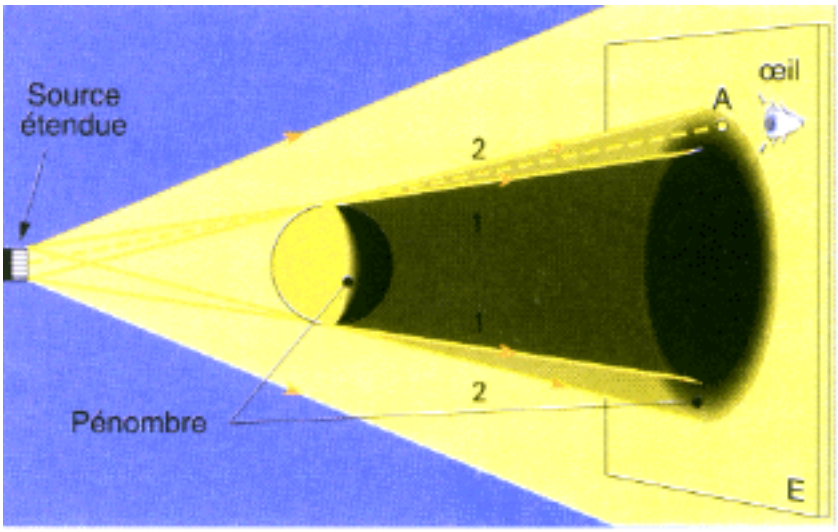
Schattenbildung

Wir strahlen einen Tennisball mit einer sogen. **punktförmigen** Lichtquelle an. Da es keine vollkommen punktförmige Lichtquelle gibt, verwenden wir eine einfache Taschenlampenbirne. Da ihr Glühfaden sehr dünn und klein ist, kann man diese Lichtquelle als punktförmig betrachten.



Stellt man sich hinter den Ball dorthin, wo das von der Glühbirne abgestrahlte Licht nicht hingelangt, sieht man die Birne nicht. Den unbeleuchteten Teil des Balls nennt man Eigenschatten und den Raum hinter dem Ball, wo keine Lichtstrahlen hingelangen, **Schlagschatten**. Auf der Leinwand sieht man einen dunklen Fleck, der **Kernschatten** genannt wird. Zwischen dem Ball und der Leinwand liegt ein Bereich, in den die von der Lampe ausgehenden Lichtstrahlen nicht hineingelangen. Wegen der runden Form des Balls ist dies ein **Schattenkegel**.

Ist die Lichtquelle nicht punktförmig, sondern ausgedehnt, was sozusagen immer der Fall ist (Sonne, Straßenlaternen usw.), sieht man auf der Leinwand um den Kernschatten einen weniger beleuchteten Bereich. Dies ist der Halbschatten. Eine scharfe Trennung zwischen Kern- und Halbschatten ist nicht zu erkennen. Schaut man aus dem Halbschattenbereich zur Lichtquelle, sieht man einen Teil der ausgedehnten Quelle.



Um die Kern- und Halbschattenbereiche zeichnerisch darzustellen, genügt es, Geraden zwischen den am weitesten außen liegenden Punkten der Glühbirne und dem beleuchteten Körper zu ziehen (vgl. Abb.). Keine von einem Punkt der Birne ausgehende Gerade gelangt in den Schattenbereich, da der Körper zwischen beiden liegt. Ebenso könnt ihr einen beleuchteten Körper nur sehen, wenn es eine Gerade gibt, die ohne Hindernis von dem Körper zu eurem Auge gelangt: Wenn ihr euch unter einen Tisch setzt, könnt ihr auf dem Tisch liegende Gegenstände nicht sehen. Dagegen gelangen einige von der Lichtquelle ausgehende Strahlen in den Halbschattenbereich. Aus dem Schattenkegel kann man aber die Lichtquelle nicht sehen.

Wir stellen uns dann vor, daß an die Stelle der im Experiment verwendeten Glühbirne die Sonne, an die Stelle des Tennisballs die Erde tritt und ein dritter Akteur, nämlich der Mond hinzukommt. Tritt die Erde in den Schattenkegel des Mondes oder umgekehrt ein, kommt es zum wohlbekannten Phänomen der Sonnen- bzw. Mondfinsternis.

Aus Größe und Ausrichtung eines Schattens können wir auch auf die Position der Lichtquelle schließen. So zeigt der Schatten eines Gnomons genau den regelmäßigen Lauf der Sonne am Tage an. Auf diesem Konzept beruhen die Sonnenuhren.

Schwierigkeiten, die man vermeiden sollte !

Die Behauptung "Schatten ist der Bereich, in den kein Licht fällt", ist im allgemeinen unzutreffend weil ungenau. Gewöhnlich gibt es eine Fläche (eine Mauer, der Boden, andere naheliegende Körper ...), die einen Teil des Lichts zu dem beobachteten Körper reflektiert. Daher hat dieser mehrere Schatten, auch wenn sie nicht alle ohne weiteres sichtbar sind. Betrachtet man dagegen einen unendlichen dunklen Raum ohne Wände (dadurch ist echte Dunkelheit gewährleistet) und beleuchtet man darin einen Stab mit einer Lampe, so fällt in dessen Schatten kein Licht.
Im alltäglichen Leben ist der von einer Primärlichtquelle geschaffene Schattenbereich nicht unbedingt ein Bereich, in den kein Licht gelangt. Genauer gesagt, ist es der Bereich, von dem aus man die Lichtquelle nicht sehen kann, weil sie von dem davor befindlichen Körper völlig verdeckt wird. Der Halbschatten ist somit der Bereich, von dem aus man nur einen Teil der von einem Körper verdeckten ausgedehnten Lichtquelle sehen kann .

Parallelität und Divergenz

Ein wesentlicher Punkt des Experiments des Eratosthènes: die Parallelität der Sonnenstrahlen. Wie läßt sie sich einfach erklären ?

Nach der Lehre vom Licht sind die von einer ausgedehnten Quelle ausgehenden Lichtstrahlen parallel, wenn die Quelle sich in unendlicher Entfernung vom Beobachter befindet. In der Praxis kann man, ohne philosophische Überlegungen über den Begriff "unendlich" anzustellen, davon ausgehen, daß es eine Entfernung gibt (die von der Größe der Lichtquelle abhängt), nach der die uns erreichenden Strahlen, grob gesprochen, einander parallel sind.
Schauen wir uns hierzu einmal die Sonne an.
Wir wählen zwei vom gleichen Punkt der Sonnenoberfläche ausgehende Strahlen, die auf die zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte einer 2 m hohen Mauer treffen. Der Winkel zwischen den beiden Strahlen läßt sich leicht abschätzen, indem man folgendes Verhältnis berechnet: die Höhe der Mauer geteilt durch die Entfernung des Punktes der Sonnenoberfläche (ca. 150 Millionen km =150 Milliarden m); man erhält (wie zu erwarten ist) einen (in Radiant ausgedrückten) äußerst kleinen Winkel, den man mit dem Auge nicht erkennen kann; und daher kann man die beiden Strahlen als einander parallel betrachten.

Ist dies auch bei der Größenordnung eines Departements, einer Region, eines Landes oder auch der Erde selbst der Fall? Setzen wir in die gleiche Rechnung anstelle der Mauerhöhe die euch interessierende Entfernung (zwischen zwei Städten oder zwischen Nordpol und Südpol) ein: In allen Fällen erhält man einen äußerst kleinen Winkel. Man kann daher sagen, daß die uns auf der Erde erreichenden Strahlen vom gleichen Punkt der Sonnenoberfläche parallel sind.

Aber die Sonne läßt sich nicht auf einen Punkt reduzieren: Sie ist eine ausgedehnte, ja sehr ausgedehnte Lichtquelle. Ihr Durchmesser beträgt nicht weniger als 1,4 Millionen km! Das von der Sonne zu uns gelangende Licht bildet also einen Kegel, dessen Basis die Sonnenoberfläche und dessen Spitze unser Auge ist. Alle in diesem Kegel enthaltenen Strahlen sind einander nicht absolut parallel, sondern bilden zueinander kleine Winkel. Den größten Winkel bilden die von den entgegengesetzten Rändern der Sonnenscheibe ausgehenden Strahlen. Man kann diesen Winkel in gleicher Weise wie oben bestimmen, indem man folgendes Verhältnis berechnet: Durchmesser der Sonne geteilt durch ihre Entfernung ca. 1/100.
Dieser Winkel (von 0,5 °) ist fast vernachlässigbar, so daß man in erster Näherung sagen kann, daß alle diese Strahlen parallel sind. Aber wie gesagt, dies ist nur eine Näherung. Man braucht sich nur den Schatten eines auf einen Tisch gestellten Bleistifts anzusehen, um zu begreifen, daß der Schatten seiner Spitze verschwommen ist, weil die von der Sonnenscheibe kommenden Strahlen leicht voneinander divergieren. Wären diese Strahlen einander völlig parallel, wäre der Schatten ganz klar abgegrenzt und wir sähen die Sonne als einen Punkt am Himmel. Genau so ist es bei den Sternen am Nachthimmel: Diese Sonnen sind so weit von uns entfernt, daß ihre Scheibe zu einem Punkt schrumpft und ihre Strahlen (fast) parallel auf die Erde treffen.

Vorsicht !

In die Sonne zu schauen, ist außerst gefährlich. Dazu muß man unbedingt Spezialfilter benutzen (Brillen zur Beobachtung von Sonnenfinsternissen oder Schweißerbrillen - Mindeststärke 14). Ohne Schutz entstehen schmerzlose aber unheilbare Läsionen in den Augen, die sich allerdings erst nach einigen Stunden oder Tagen bemerkbar machen. Warnen Sie die Kinder vor dieser Gefahr. Es wird dringend davon abgeraten, die Sonne ohne Strahlenschutz zu betrachten. Mit Spezialbrillen können Sie die Sonnenscheibe in aller Sicherheit bewundern und ihren Durchmesser schätzen.

Achtung - Falle

Kinder zeichnen die Sonne mit einem Strahlenkranz und stellen damit unbewußt stark divergierende Strahlen dar. Ist dies falsch? Ja und nein. Die Oberfläche der Sonne sendet Strahlen in alle Richtungen

aus (und man kann die Sonne daher von überall her im Weltraum sehen). Die von den Kindern gezeichneten Strahlen gibt es also tatsächlich, aber uns erreichen sie nicht. Fast alle diese Strahlenbündel gehen in den Weltraum und treffen auf ferne Gestirne. Nur ein ganz kleiner Bruchteil von ihnen (die in dem weiter oben erwähnten Kegel enthalten sind) gelangt zu uns. Um die auf die Erde treffenden Strahlen richtig darzustellen, darf man also nicht die Sonnenscheibe, sondern muß man die uns erreichenden parallelen Strahlen zeichnen. (Um ganz genau zu sein, müßte man um jeden der parallelen Strahlen einen kleinen Lichtkegel zeichnen als Hinweis darauf, daß die Sonne keine punktförmige Lichtquelle ist.) Um die enorme Entfernung Erde-Sonne zu ermessen, genügt es, eine maßstäbliche Zeichnung von Sonne und Erde zu machen. An die Arbeit !

Projektphase 2

Anfertigung und Benutzung von Gnomonen

Einleitung

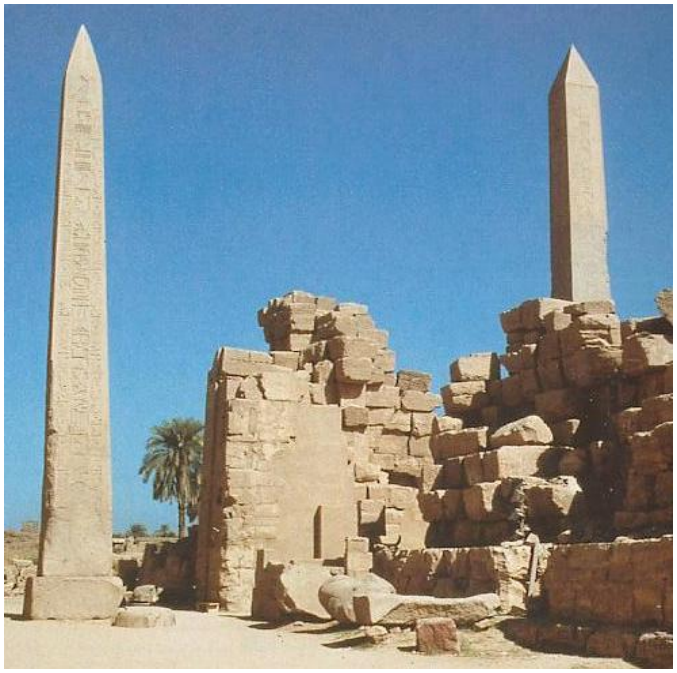
In dieser Projektphase werden die Kinder erkennen, daß der Schatten eines Stabes sich im Lauf eines Tages dreht und seine Länge verändert. Sie werden dann von ihnen selbst angefertigte "Miniaturobelisken", d.h. Gnomone zunächst unterschiedlicher und dann gleicher Art, in die Sonne stellen. Sie markieren und messen die Schatten zu fünf oder sechs verschiedenen Tageszeiten und vergleichen untereinander ihre Ergebnisse. Wegen der Unterschiedlichkeit der Meßwerte werden sie verstehen, daß ihre Gnomone gleich sein müssen, damit sie gleiche Schatten werfen. Das wird sie auch veranlassen, die Gnomone genau senkrecht auf eine Unterlage zu stellen, die ihrerseits genau waagerecht ist.

Kenntnisse und Begriffe

Die Veränderung der Schatten während eines ganzen Tages. Erste Umrißzeichnungen und Messungen. Erste Richtungsbestimmungen an den Schatten unter Bezug auf den von einem Kompaß angezeigten Norden. Erste Vergleiche. Senkrecht und waagerecht.

Vorbemerkungen: der Obelisk von Alexandria

In der ersten Phase des Projekts habt ihr einen Teil des Geheimnisses des Eratosthenes entdeckt. Hier ist die Fortsetzung dieser Geschichte.
"Nachdem Eratosthenes in der Papyrusrolle gelesen hatte, daß der in Syene aufgestellte Stab keinen Schatten hatte, wollte er wissen, was es mit diesem erstaunlichen Phänomen auf sich hatte. Zu diesem Zweck stellte er auch einen Stab in die Sonne und beobachtete ihn stundenlang. Da der Stab nicht ganz gerade war und nur einen ganz kleinen Schatten warf, beschloß er, den Schatten einer hohen Granitsäule zu beobachten, die am Eingang eines der Tempel von Alexandria stand. Diese nahezu 20 m hohe Säule stand kerzengerade in der Erde und warf einen viel größeren Schatten als sein Stab. Man nannte sie einen Obelisken. Ihre Spitze hatte die Form einer kleinen Pyramide und war mit Gold belegt. Die glänzte in der Sonne, so daß man sie aus weiter Ferne sehen konnte. Obelisken schmückten häufig den Eingang ägyptischer Tempel und die Gräber der Pharaonen. Eratosthenes hatte daher keine Mühe, einen in der Nähe seiner Bibliothek zu finden. Er beobachtete ihn viele Stunden am Tag, und seine Beobachtungen ermöglichten es ihm, einen Teil des Geheimnisses zu lüften...".



Was hat er wohl entdecken können, wenn er den Schatten dieses Obelisken einen ganzen Tag lang beobachtete? An euch ist es, dies herauszufinden, indem ihr in der Sonne das gleiche Experiment ausführt wie Eratosthenes !

Die Schüler sollen also dieses neue Experiment des Eratosthenes nachmachen. Sie werden überlegen, welche Gegenstände einen Obelisken "en miniature" darstellen können und werden welche mit in die Klasse bringen. Aber bevor sie mit der nötigen Sachkenntnis Gnomone anfertigen können, müssen sie einen Stab in die Sonne stellen und zwar nicht nur für eine momentane Beobachtung, sondern um die Frage zu beantworten, die durch eine eigenartige Präzisierung im Text aufgeworfen wird.

Die Beobachtungen und Messungen waren zu einer bestimmten Tageszeit, nämlich am Sonnenmittag, vorgenommen worden. Soll das heißen, daß sich die Schatten im Laufe des Tages verändern? Gut wäre es, wenn Sie ihnen einige Bilder zeigen würden, auf denen zu sehen ist, wie diese "große Granitsäule" am Eingang der ägyptischen Tempel aussah.

Dauer : Diese Projektphase besteht aus vier Teilen. Für jeden von ihnen müssen ein oder zwei Unterrichtsabschnitte oder kürzere Aktivitäten im Laufe eines Sonnentages aufgewendet werden.

Inhaltsverzeichnis :

1) Erfassung der Veränderung des Schattens eines Stabes zu verschiedenen Zeiten eines Schultages.
2) Gnomone anfertigen und benutzen.
3) Anfertigung und Benutzung einiger gleichartiger Gnomone.
4) Anwendung der Begriffe "Senkrechte" und "Waagerechte" zur Regelung der Gnomone.

---

1) Erfassung der Veränderung des Schattens eines Stabes zu verschiedenen Zeiten eines Schultages.

Dauer : 5 oder 6 Zeitabschnitte von 5 - 10 Minuten während eines sonnigen Tages zwecks Erfassung der Schatten.

Ort : eine freie Fläche, die den ganzen Tag in der Sonne liegt.

Lernmittel :

Für die Klasse :
:ein Stab (von mindestens 30 cm Länge)
in einem Topf mit Erde oder feuchtem Sand,
ein Stück Kreide,
ein Bandmaß,
zwei Kompasse,
ein Blatt Pauspapier,
einige gerade Gegenstände, darunter eine Schraube,
ein Blatt Papier für Notizen.

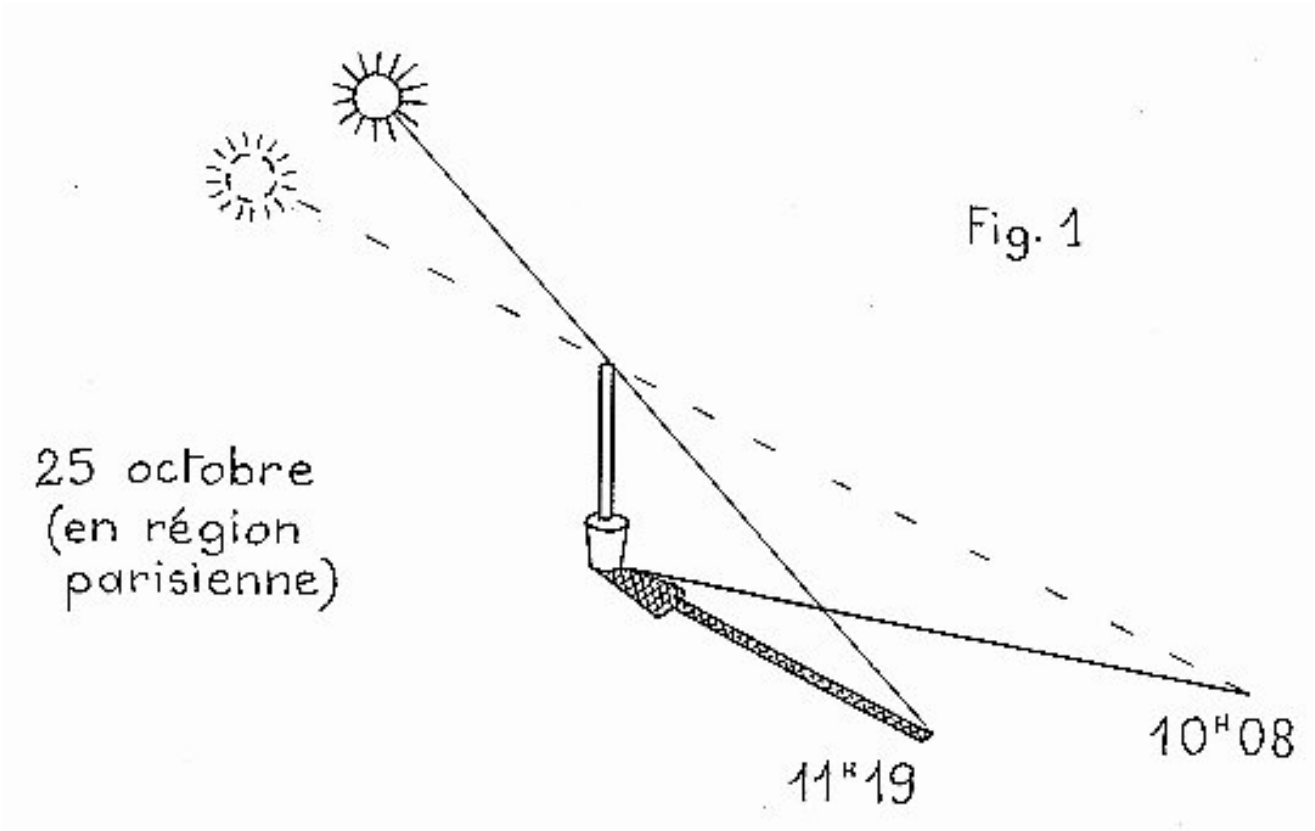
Diskussion.

Die Kinder diskutieren zunächst über dieses Experiment und versuchen sich vorzustellen, was Eratosthenes wohl so

Bemerkenswertes beobachtet haben mag. Jeder äußert seine Vermutung und teilt seinen Kameraden seine Ideen mit und notiert alles in seiner Experimentkladde. Der eine oder andere erinnert sich vielleicht an die Versuche mit der elektrischen Lampe über der Karte von Ägypten und vermutet, daß sich die Schatten auch drehen, wenn die Sonne über den Himmel zieht.

Um alle Ideen, die aufkommen, zu überprüfen und zu einem Ergebnis zu gelangen, gibt es nur eine Lösung, nämlich das Experiment selbst in der Sonne zu machen. Schon morgens stellt man einen Topf mit einem Stab an einen während des ganzen Schultags von der Sonne beschienen Ort und mißt mehrere Male am Tag den Schatten des Stabes. Aber jetzt stellt sich die Frage: Wenn der Schatten sich bewegt, wie soll man seine Bewegung festhalten? Die Antwort lautet: Man muß den Schatten auf den Boden zeichnen. Also stellt man den Topf auf eine asphaltierte Fläche. (Kann er nicht den ganzen Tag dort stehen bleiben, zeichnet man den Umriß seines Bodens auf den Asphalt).
Man macht aus, zu welchen Zeiten die Beobachtungen des Schattens vorgenommen werden sollen, damit der Unterricht nicht gestört wird: z.B. gleich zu Beginn der großen Pause, dann vor der Mittagspause, danach bei Wiederaufnahme des Unterrichts, dann während der Nachmittagspause und schließlich kurz vor Schulschluß. Wenn der Morgenunterricht um 11 Uhr 30 endet, werden die Schüler, die in der Schulkantine essen, eine zusätzliche Beobachtung genau mittags vornehmen.

Bei der ersten Beobachtung wird nach Registrierung des Datums und der genauen Uhrzeit ein Schüler beauftragt, den Schatten des Stabes durch einen geraden Strich vom Boden des Topfes bis zum Ende des Schattens zu markieren.
Ein anderer Schüler mißt den Strich mit einem Bandmaß; der gemessene Wert wird aufgeschrieben. Manche Schüler bemerken etwas Wichtiges: Der Schatten läßt sich nicht genau messen, denn er ist zwar am Boden des Topfes scharf umrissen wird aber zum Ende des Stabes zu verschwommen (und zwar umso mehr, je länger der Stab ist. Dies ist auf den Halbschatten zurückzuführen). Und wenn der Stab am Ende sehr spitz ist (zu diesem Zweck befestige man daran vorübergehend eine Schraube mit der Spitze nach oben) stellen die Schüler wider Erwarten fest, daß der Schatten noch verschwommener ist. (Wenn sie das nächste Mal wieder zu dem Topf gehen, nehmen sie einige unterschiedlich lange gerade Gegenstände mit unterschiedlich geformter Spitze mit. Sie stellen sie gerade auf den Boden und werden feststellen, daß die kürzesten Gegenstände mit flachem Ende den schärfsten Schatten haben. Daran werden sie sich erinnern, wenn sie ihre Gnomone anfertigen.)
Bei der zweiten Beobachtung (für die Sie zwei Kompasse eingesteckt haben) tönt es von allen Seiten: "Der Schatten hat sich gedreht!", "Und er ist kürzer geworden!" Die Kinder diskutieren dann über die Ursache dieses Phänomens und werden sich rasch darüber einig, daß die Sonne am Himmel weiter gewandert sein muß und jetzt auch höher steht.

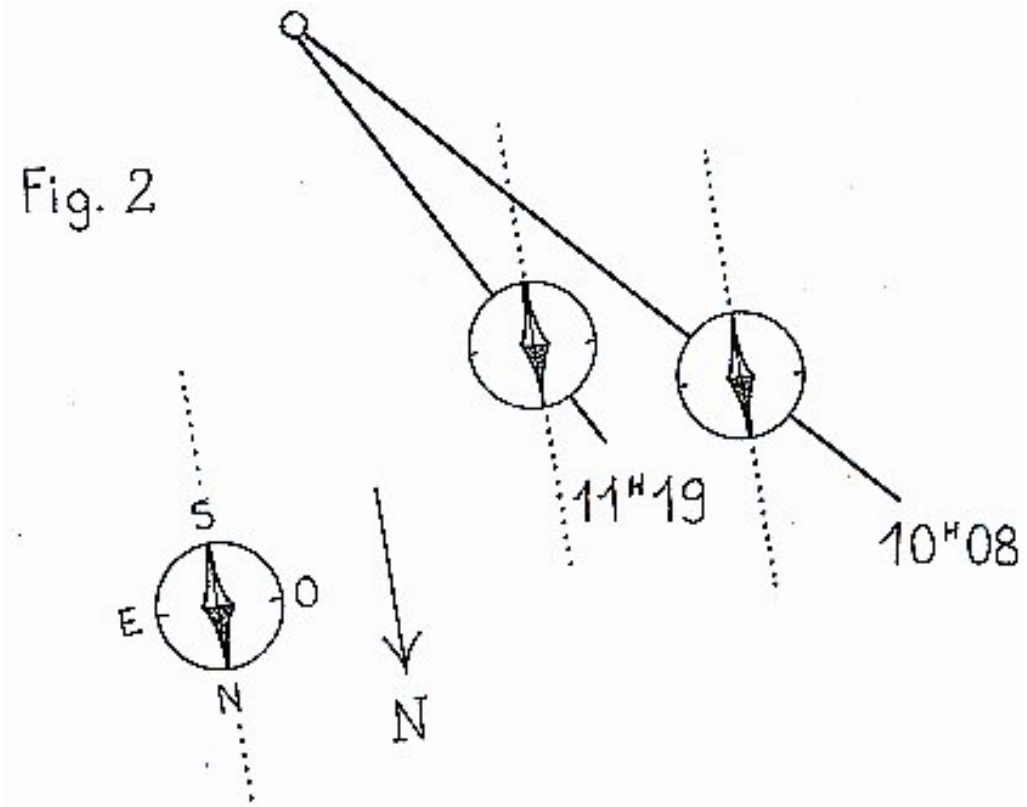


Im Eifer versuchen sie vorherzusagen, wie der Schatten bei der nächsten Besichtigung aussehen wird: Wenn es genau zur Mittagszeit sein wird, dürfte er kürzer sein und dann bis abends wieder länger werden. Was seine Bewegung angeht, sind sie sich sicher, daß er in die gleiche Richtung weiter wandert, da die Sonne sich ja nicht rückwärts bewegen wird

Sich die Richtungen der beiden ersten und dann der nächsten Schattenmarkierungen merken.
Bei der zweiten oder aber bei den nachfolgenden Besichtigungen wird sich bestimmt eine Frage stellen: Es ist zwar einfach, jedesmal die Länge des Schattens festzuhalten, aber wie merkt man sich die jeweiligen Abstände, d.h. wie sich der Schatten "gedreht" hat. Die Schüler wollen sich zuerst an etwas orientieren, was in der Verlängerung der Schattenmarkierungsstriche ist (ein Baum, eine Tür ...), aber das ist zu unsicher und ungenau. Andere schlagen vor, ein großes Blatt Pauspapier unter den Topf zu legen, um den Anfang der Markierungsstriche festzuhalten. Aber das wirft ein neues Problem auf: Wenn Regen alles auswischt, wie soll man dann die Pause wieder richtig auflegen, wenn man für spätere Vergleiche weiter markieren will? Man kommt zu der Erkenntnis, daß man auf dem Boden und dann auf dem Pauspapier eine präzise und unveränderliche Richtung wie z.B. den Norden festhalten muß, den man ja auch auf den Karten findet. "Wir bräuchten einen Kompaß!"

Stellen Sie bei dieser Gelegenheit fest, was Ihre Schüler über dieses Instrument wissen, und legen Sie einige Übungen ein, um sie mit seinem Gebrauch vertraut zu machen (s. Arbeiten am Kompaß).
Während die Kinder feststellen, daß sich der Schatten schon ein wenig weiter gedreht hat, während sie diskutierten, ziehen Sie einen der beiden Kompasse aus der Tasche. Lassen Sie einen der Schüler vorführen, wie man dieses Instrument, das Sie auf den Boden gelegt haben, benutzt. Wenn die Nadel stillsteht, bringt der Schüler ihre "blaue Spitze" mit dem Buchstaben N zur Deckung, worauf man die vier Himmelsrichtungen ablesen kann. Der Norden wird dann mit einem Pfeil gekennzeichnet (wie in Abb. 2).

Bemerkung . Wenn Sie in der südlichen Hemisphäre außerhalb der Tropenzone sind, ersetzen Sie im folgenden Text "Norden" durch "Süden", denn die Sonne kulminiert dann für Sie im Norden und der Schatten des Stabes weist nach Süden. Sind Sie innerhalb der Tropenzone, ist das eine oder das andere der Fall, je nachdem in welcher Jahreszeit Sie das Experiment anstellen. Außerdem entsprechen die in der Folge gemachten Zeitangaben nur dem, was man in Frankreich nach der Standardzeit beobachten kann. Sie müssen auf den Zeitpunkt des Sonnenhöchststandes (12 Uhr der wahren Sonnenzeit) in Ihrer Region umstellen.



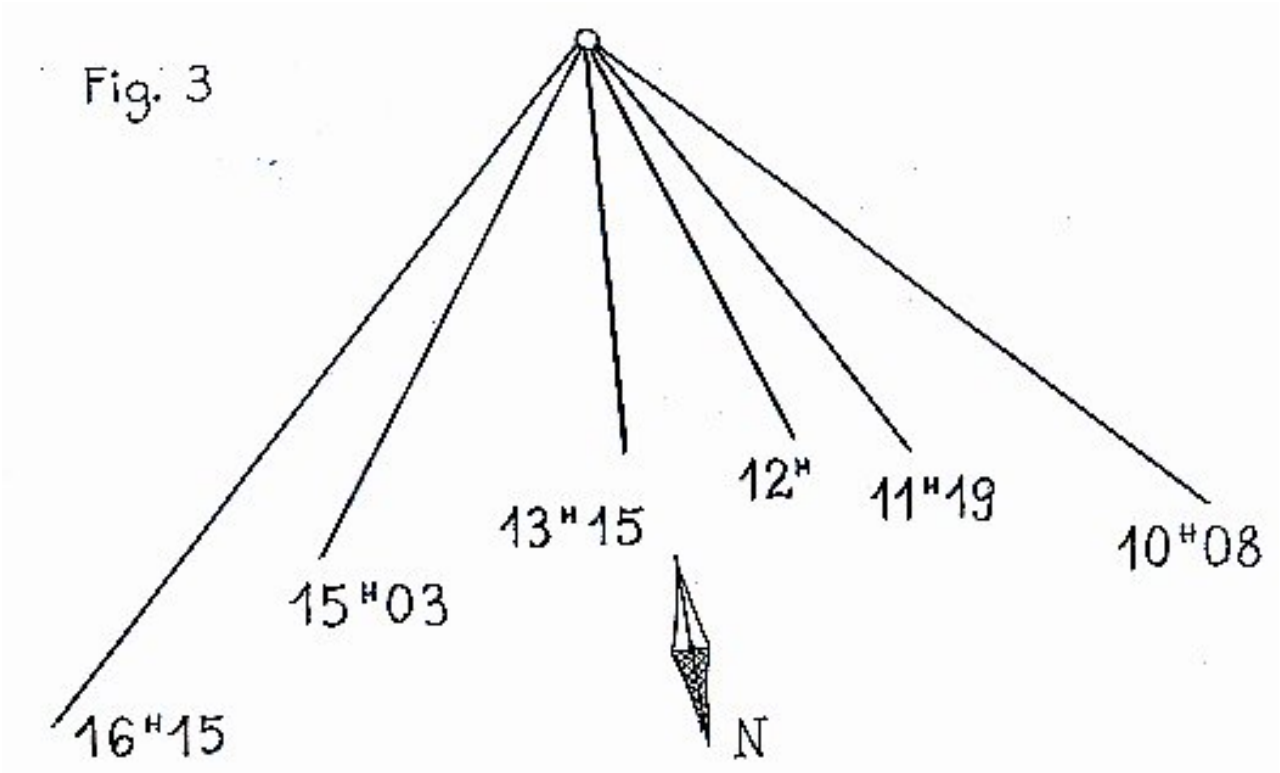
Die Kinder bemerken, daß die beiden Schattenmarkierungen nicht nach Norden ausgerichtet sind. Sie schlagen vor,

den Kompaß (und den zweiten, den Sie auch hervorgeholt haben) auf jede Markierung zu legen, um zu sehen, wie weit sie abweichen. Es kann sein, daß manche sagen, die Markierungen zeigten nach Nordosten. Wir möchten hierzu bemerken, daß es hier nicht darum geht, die Richtung der Markierungen genau bestimmen zu lassen, - was im übrigen für Schüler, die sich noch nicht mit Winkeln auskennen, zu schwierig wäre - sondern festzuhalten, wie sich der Schatten gegenüber dem Norden (der auch im Mittelpunkt der späteren Beobachtungen stehen wird) dreht. Die Kinder werden wahrscheinlich vorhersagen, daß sich die nachfolgende Markierung dieser Richtung annähern wird, was sich ja nachprüfen läßt.

Wie erinnerlich findet die folgende Beobachtung entweder in der Mittagszeit oder bei Wiederaufnahme des Unterrichts statt: Der Schatten wird dann wieder auf dem Boden markiert, und dann werden seine Länge und seine Ausrichtung gegenüber den beiden Nachbarmarkierungen und dem Norden besprochen. Findet diese Messung um "Punkt 12" statt, wie es die Kinder vielleicht gewünscht haben, werden sie feststellen, daß der Schatten noch kürzer geworden ist, sich aber noch nicht mit der vom Kompaß angezeigten Richtung deckt. Der Schatten wird, so vermuten sie, später die Richtung Norden überschreiten. Bis wann wird er kürzer? Wird er schließlich verschwinden? Um wieviel Uhr? Was wird am späten Nachmittag geschehen? Wird der Schatten wieder länger?

Die Kinder äußern ihre Vermutungen, sie notieren in ihre Kladde die gemachten Beobachtungen und ihre Antworten auf alle diese Fragen und nehmen weitere Messungen vor, um eine Bestätigung für ihre Hypothesen zu finden.

Wird die nächste Messung etwas nach 13 Uhr gemacht, wird man sehen, daß der Schatten die Richtung Norden überschritten hat, etwas kürzer als um "Punkt 12" geworden aber nicht verschwunden ist (es sei denn, ihre Schule liege in den Tropen). Die beiden letzten Schattenaufnahmen werden die Vermutung der Kinder bestätigen: Sie werden sehen, daß der Schatten wieder länger und zur Zeit des Sonnenuntergangs riesig lang wird.



Vor Schulschluß übertragen die Schüler auf Pauspapier diesen sich nach Norden öffnenden sonderbaren Fächer oder zumindest den Anfang der Markierungsstriche einschließlich des nach Norden weisenden Pfeils (oder der Kompaßnadel). Sie können sich hierauf stützen, wenn sie in ihren Experimentkladden die vorgenommenen Messungen schematisch darstellen.
Planen Sie 10 Minuten vor Unterrichtsende ein, um die Schlußfolgerungen aus diesem Experiment zusammenzufassen. Man hat entdeckt, was Eratosthenes bei der Beobachtung des Obelisken erkannt hat: Der Schatten dreht sich und ändert mit der Zeit seine Länge. Manche Schüler bringen vielleicht die Sonnenuhren zur Sprache, die auf dem Prinzip der Drehung der Schatten beruhen.
Sagen Sie ihnen dann, daß die Obelisken den Ägyptern sehr wahrscheinlich als Sonnenuhr dienten. Die Schüler

notieren sorgfältig alle neuen Fragen, die das Experiment aufgeworfen hat. Sie haben danach sicher das Bedürfnis, es mit "Miniaturobelisken" zu wiederholen, die dann auf großen Platten aufgestellt werden, auf denen die langen Morgen- und Nachmittagsschatten Platz finden. Dies wird im weiteren Verlauf dieser Projektphase getan
.

---

2) Gnomone anfertigen und benutzen

Dauer : etwas Zeit für die Abstimmung und die Bastelarbeit; dann im Laufe eines sonnigen Tages 5 oder 6 Schattenmessungen; etwas Zeit für den Meinungsaustausch und die Diskussion.

Ort : Klassenraum; dann für die Messungen ein Raum, in dem es den ganzen Tag sonnig ist (der also nach Süden liegt) oder eine sonnige Fläche im Freien.

Lernmittel :

Für die Klasse :
mitgebrachte Gegenstände für die Anfertigung der Gnomone,
d.h. "Miniaturobelisken" (einer pro Gruppe von 3 - 5 Kindern), die auf Holzplatten befestigt werden;
entsprechende Werkzeuge; einige bereits zu Hause angefertigte Gnomone;
ein Kompaß und ein Blatt Pauspapier pro Gruppe.

Während die meisten Kinder diverse Sachen mitbringen, die als Stab bzw. ebene Unterlage verwendbar sind, kommen manche stolz mit einem fertigen Gnomon in die Schule (A propos, Sie sollten Ihre Schüler dazu ermutigen, sich für zu Hause einen Gnomon anzufertigen, damit sie am Wochenende und in den Ferien daheim nachmachen können, was sie in der Schule getan haben. Ihre Familie kann so an ihrem Abenteuer teilnehmen).

Abstimmung.

Die Schüler werden in Gruppen eingeteilt und stimmen sich darüber ab, welche der mitgebrachten Gegenstände am geeignetsten sind, um einen oder zwei Gnomone anzufertigen. (Möglicherweise beschließt man auch, daß jeder Schüler einen eigenen Gnomon baut, doch sollte man dabei bedenken, wieviel Raum man braucht, um dreißig nicht gerade kleine Platten in die Sonne zu stellen). Anfertigung der Gnomone: Manche Gruppen entscheiden sich dazu, einen Stock in eine Styroporplatte zu stecken oder einen großen Niet auf eine Sperrholzplatte zu kleben, andere befestigen einfach mit Hilfe eines Klebepasterings einen Bleistift (den sie vorher angespitzt haben oder auch nicht) oder ein Stück Rohr auf Pappkarton, usw.
Diejenigen, denen bewußt ist, daß zum einen die Schatten im Spätherbst sehr lang sind und zum anderen ihre Umrisse "zum Ende zu" immer verschwommener werden, nehmen einen ziemlich kurzen, d.h. höchstens 10 cm langen Gnomon, damit die Platte nicht zuviel Raum einnimmt. Doch wenn sie keine genügend große Platte nehmen und nicht daran denken, den Gnomon an einem der Ränder zu befestigen, laufen sie Gefahr, daß der Schatten nicht genügend Platz auf der Platte hat (In unseren Breiten erreichen die Schatten zur Zeit der Wintersonnenwende am örtlichen

Sonnenmittag, wenn sie also am kleinsten sind, mehr als die zweieinhalbfache Länge der betreffenden Körper).

Notizen. Jeder Schüler beschreibt in seiner Kladde das Instrument, das seine Gruppe (oder er selbst) gebaut hat, mit den Maßen des Stabes und der Platte; und er vermerkt auch, warum man (oder er) sich für dieses oder jenes Material und für bestimmte Maße entschieden und ob man (oder er) bewußt einen Stab mit einem spitzen oder eher abgerundeten Ende gewählt hat.

Aufstellung der Gnomone.

Ideal wäre natürlich ein nach Süden gelegener Raum mit genügend Platz in Fensternähe, um alle Gnomone "in der Sonne" unterzubringen. (In dieser Jahreszeit und während des ganzen Winters fallen in der Breitenzone Frankreichs in nach Süden gelegene Räume genügend Sonnenstrahlen.)
Doch sei es im Innern oder im Freien, als erstes müssen jetzt alle Gnomone ausgerichtet werden, denn selbst diejenigen, die an Ort und Stelle bleiben können, laufen Gefahr, verschoben zu werden. Jede Gruppe testet ihr Ausrichtverfahren, indem sie ihren Gnomon verrückt und dann versucht, ihn wieder in die richtige Lage zu bringen.
Ein Bogen Pauspapier, auf den die Schattenmarkierungen übertragen werden, wird provisorisch auf der Unterlage befestigt. Der Norden wird durch einen Pfeil darauf gekennzeichnet .

Man einigt sich darauf, die Schatten ungefähr zu den gleichen Zeiten zu vermessen wie bei den Messungen im Freien. Um die Ergebnisse später miteinander vergleichen zu können, wird ein Schüler beauftragt, nach der Uhr das Signal zum Beginn der Aufnahmen zu geben. Möglicherweise schlagen einige Schüler vor festzustellen, was zwischen 12 Uhr und der folgenden Aufnahme geschieht: Sie verschieben dann die Markierung von "Punkt 12" und ziehen die Frühnachmittagsaufnahme etwas vor, und treffen vielleicht mit einer der beiden neuen Aufnahmen den Zeitpunkt, in dem der Schatten mit der Nordrichtung zusammenfällt.
An einem weiteren Sonnentag tauschen die Schüler innerhalb der einzelnen Gruppen die Plätze. Vielleicht stoßen sie hier und da auf Probleme: über die Unterlage hinausragende Schatten (weil der Stab zu lang oder schlecht plaziert oder aber der Norden gegenüber der Achse der Unterlage zu weit verschoben ist), Schwierigkeit bei der präzisen Markierung der Schattenachse (weil der Stab zu breit oder zu ungleichmäßig ist), zu ungenaue Messung (weil der Stab noch zu spitz ist)...

Gegenüberstellung der Ergebnisse.

Wenn die Schüler die Pausen zu je zwei aufeinanderlegen, sehen sie natürlich, daß die höchsten Gnomone die längsten Schatten geworfen haben. Sie stellen fest, daß aus den diversen "Fächern" im großen und ganzen zu erkennen ist, daß die Schatten sich in gleicher Weise gedreht haben. Sie sehen aber auch ein, daß größere Abweichungen die genaue Ausrichtung mancher Schatten, vor allem der mittäglichen Schatten, die sich der Nordrichtung am stärksten annähern, in Frage stellen. Sie diskutieren hierüber und gelangen zu der Einsicht, daß sich die Ergebnisse leichter vergleichen ließen, wenn alle Gnomone gleich wären. Und wenn Sie sie fragen, ob sie mit gleichartigen Gnomonen und mit der nötigen Sorgfalt gleichlautende Ergebnisse zu erzielen können glauben, werden sie dies sicher einhellig bejahen. Nehmen Sie sie beim Wort…

---

3) Anfertigung und Benutzung einiger gleichartiger Gnomone

Dauer : eine kurze Bastelstunde, dann an einem sonnigen Tag 5 oder 6 Schattenaufnahmen, Diskussion.

Ort : Klassenraum; für die Schattenaufnahmen ein nach Süden zu gelegener Raum oder eine während des ganzen Tages von der Sonne beschienene Fläche im Freien.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
ein Zahnstocher,
ein ungefähr 18 mal 25 cm großes Stück Karton (oder EK-Pappe),
ein Meßstreifen (10 cm) aus Millimeterpapier auf Zeichenpapier,
ein Blatt Pauspapier,
ein Kompaß .

Schlagen Sie den Schülern die rasche und einfache Anfertigung eines kleinen Gnomons vor: Als Stab dient ein an einem Ende spitzer Zahnstocher, den man in die 5 mm dicke Wellpappe (oder noch besser EK-Pappe, die man in Kunstmalerbedarfsgeschäften kaufen kann) steckt und der 5 cm aus der Unterlage herausragen soll. Bei unserem Beispiel erhält man somit Gnomone, die alle 5 cm hoch sind. Die Unterlage kann also ziemlich klein sein (18 mal 25 cm). Bevor man den Zahnstocher hineinsteckt, befestigt man provisorisch ein Blatt Pauspapier darauf.
Vor und während der Aufnahmen werden alle gemeinsam beschlossenen Vorkehrungen getroffen: Überprüfung der Höhe des Zahnstochers (mit Hilfe des Meßstreifens ab der Unterlage), Prüfung der präzisen Ausrichtung der Unterlage während der Aufnahmen, sehr sorgfältige Markierung der Schatten (mit einem gut gespitzten Bleistift) von der Basis des Zahnstochers bis zum Ende des Schattens (der flach und nicht spitz sein soll).

Gegenüberstellung der neuen Ergebnisse. Die Pausen werden zu je zwei bei genauer Deckung der Nordung aufeinandergelegt. Und dann gibt es vielleicht eine böse Überraschung: Von einigen Ausnahmen abgesehen, decken sich die Markierungen nicht wirklich in bezug auf die Winkel und Längen.
Die Kinder suchen nach den Ursachen. Nachdem sie zuerst die Pausenzeichner der Ungenauigkeit verdächtigen, untersuchen sie sorgfältig die betreffenden Gnomone und stellen fest, daß ein Zahnstocher nicht genau senkrecht steht. Sie können dann sehen, daß wenn man einen Gnomon auch nur geringfügig um seine Basis neigt, sich die Länge und Richtung seines Schattens stark verändern. Aber vielleicht weist ein anderer verdächtigter Gnomon diesen Fehler gar nicht auf. Dann muß man nach einer anderen Ursache suchen. Vielleicht liegt es an der Unterlage. Und dann stellt sich heraus, daß die Pappe nicht genau aufliegt, weil ein Lineal darunter liegen geblieben ist. Wenn man dann die Unterlage nach allen Richtungen neigt, sehen die Kinder, daß der Schatten des Zahnstochers seine Richtung entsprechend ändert. Sie werden also erkennen, daß man vergleichbare Schattenmaße nur erhält, wenn man nicht nur alle notwendigen Vorkehrungen getroffen, sondern sich auch vergewissert hat, daß alle Gnomone genau senkrecht stehen und alle Unterlagen ganz flach aufliegen
.

Das wirkliche Erfordernis jedoch ist, daß die Gnomone und auch die Unterlagen (an ein und demselben geographischen Ort) alle einander parallel sind. Ein weiterer Versuch würde zeigen, daß man mit (gleich hohen) Gnomonen und (ganz ebenen) Unterlagen, die in gleicher Weise geneigt sind, gleich lange Schatten erhält. Die senkrechte Ausrichtung Ersterer und die waagerechte Ausrichtung Letzterer ist nur in unserem besonderen Fall notwendig aber auch sehr zweckdienlich.

---

4) Anwendung der Begriffe "Senkrechte" und "Waagerechte" zur Regelung der Gnomone.

Dauer : 2 Vorbereitungsstunden von ca. 30 Min; einige kurze Zeitspannen zur Regelung der Gnomone vor den späteren Schattenaufnahmen.

Ort : Klassenraum, dann ein Ort für die Schattenaufnahmen.

Lernmittel :

Für eine Gruppe von 4 oder 5 Schülern:
:ein gewöhnlicher rechter Winkel;
ein Rechteck aus Zeichenpapier (um einen doppelten rechten Winkel zu machen),
ein Lineal,
ein Bleistift,
eine Schere,
der Millimeter-Meßstreifen,
eine handelsübliche (oder selbst gemachte) Wasserwaage,
ein Blatt Pauspapier für die neuen Schattenaufnahmen .

Ermittlung des Wissensstandes.

Mit dem Fragebogen haben Sie schon einen gewissen Überblick über das Wissen der Kinder über die Begriffe "Senkrechte" und "Waagerechte" (wir fügen hier "an einem gegebenen Ort" hinzu, denn Ihre Schüler werden später sehen, daß die Parallelität zweier Senkrechten an zwei verschiedenen Orten auf der Oberfläche der Erdkugel nicht mehr stimmt; das Gleiche gilt für zwei Waagerechte).
Je nach Wissensstand (und der Ihnen noch verbleibenden Zeit) können Sie die Kinder mit der aber auch mit dem von beiden gebildeten rechten Winkel arbeiten lassen. Schauen Sie sich auch die Seite "Senkrechte und Waagerechte" an (Dort steht vor allem auch, wie man auf einfache Weise ein Lot und eine Wasserwaage anfertigt und dann auch benutzt).
Die Schüler müssen sich die Zeit nehmen, um zu lernen, wie man mit einer Wasserwaage umgeht, denn mit ihr und einem rechten Winkel läßt sich die Senkrechte bestimmen. Sie verstehen dann, daß sich die Gnomone am einfachsten regeln lassen, indem man zuerst den Zahnstocher im rechten Winkel zur Unterlage anbringt, denn wenn letztere dann waagerecht liegt, ist der Zahnstocher genau senkrecht.

Regelung mit Hilfe der rechten Winkel

Zunächst wird auf jeder Unterlage ein Blatt Pauspapier provisorisch befestigt.
Wenn die Schüler ihren rechten Winkel auf die Unterlage und an den Gnomon stellen, um zu prüfen, ob sie ihn richtig eingesetzt haben, stellen sie fest, daß der rechte Winkel mehr oder weniger um seine Basis geneigt sein und also auch mit einem etwas schiefen Gnomon übereinstimmen kann. Sie halten dann den rechten Winkel an zwei oder drei anderen Stellen an den Zahnstocher, um sich zu vergewissern, daß dieser jedes Mal mit dem rechten Winkel übereinstimmt. Sie erhalten damit den Beweis, daß er wirklich senkrecht auf der Unterlage steht. Abbildung 4 zeigt, wie man aus einem 32 x 12 cm großen Rechteck aus Zeichenpapier einen "doppelten rechten Winkel" anfertigen kann, der ganz stabil ist und mit dem man den Gnomon verläßlich ausrichten kann. Die Basis des Rechtecks muß absolut geradlinig sein. Das Blatt muß sorgfältig "Kante auf Kante" gefaltet werden, und der Kniff wird mit dem Fingernagelrücken glattgestrichen .

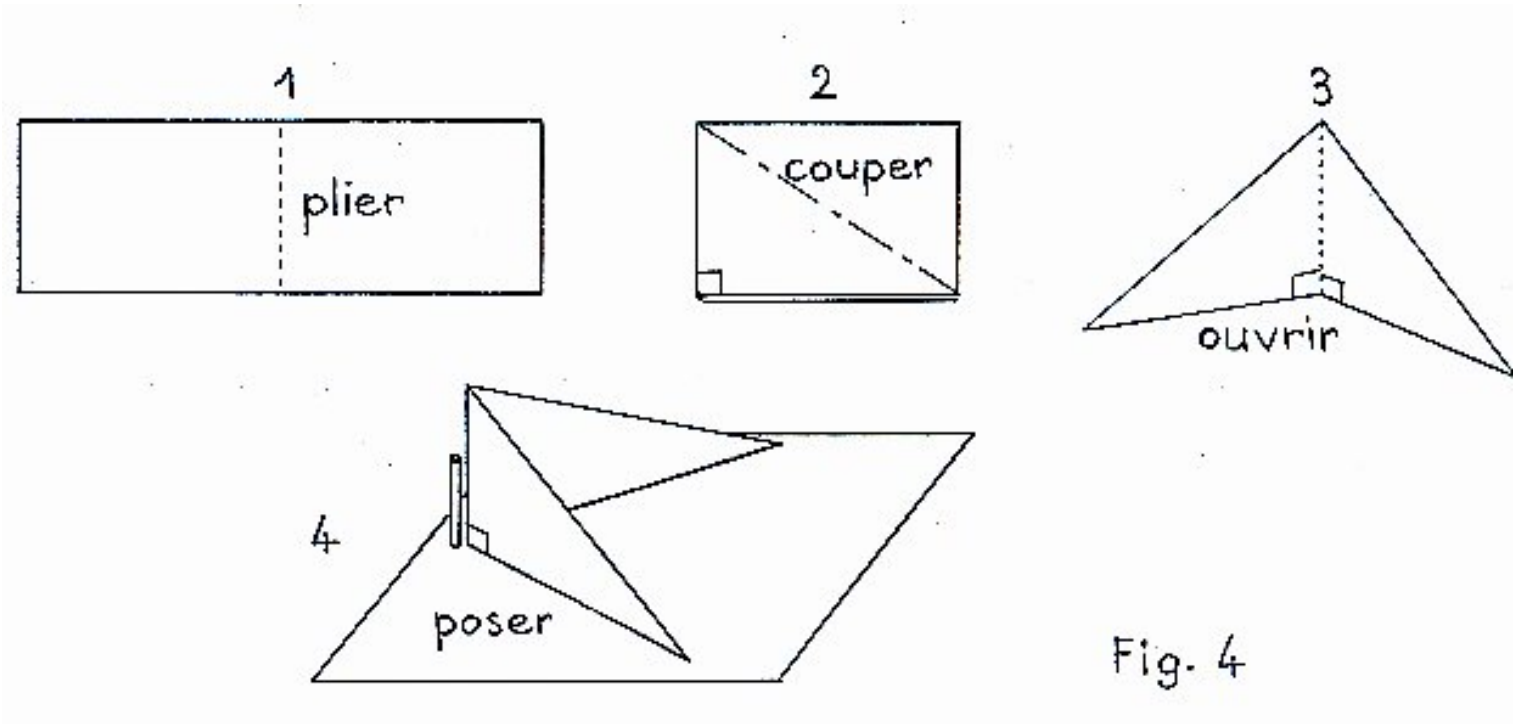


Fig. 4

Nicht vergessen, mit dem Meßstreifen aus Millimeterpapier die einheitliche Höhe der Zahnstocher zu prüfen (In Teil 3 der Projektphase noch einmal die Zeilen vor dem Absatz mit dem Titel "Gegenüberstellung der neuen Ergebnisse" lesen.)

Regelung mit Hilfe der Wasserwaagen. Wenn der Gnomon genau senkrecht auf der Unterlage steht (von mehreren Seiten geprüft), brauchen die Schüler Letztere nur noch in die waagerechte Lage zu bringen und zwar mit nur einer Wasserwaage, die sie in verschiedene Richtungen auf die Unterlage legen, oder mit zwei (aufeinander abgestimmten) Wasserwaagen, die wie der doppelte rechte Winkel einen sehr stumpfen Winkel vor dem Gnomon bilden.

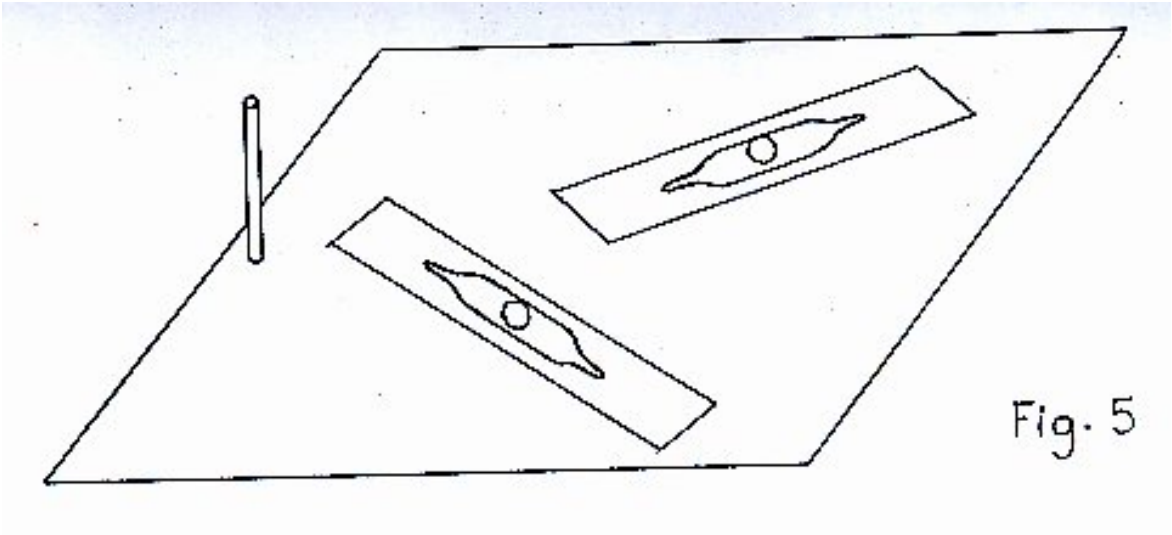


Fig. 5

Neue Schattenaufnahmen. Voller Stolz auf ihre gut geregelten Gnomone (die sie aber vor jeder Benutzung neu einregeln bzw. überprüfen müssen, wenn das Gerät nicht an Ort und Stelle bleiben kann oder nicht überwacht wird), nehmen die Kinder neue Schattenaufnahmen vor, und wir können wetten, daß die Ergebnisse jetzt ihren Erwartungen entsprechen, d.h. übereinstimmen !

Fakultativer Unterricht (Projektphase 2)

Senkrechte und Waagerechte

1)Arbeiten mit der Senkrechten

Dauer : ca. 45 Min. für sämtliche Aktivitäten

Ort : Klassenraum, Flur, Mehrzweckhalle, Schulhof.

Lernmittel

Für die Klasse
Für die Anfertigung eines Senklotes:
Kordel und Bindfaden,
diverse kleine Gegenstände zum
Aufhängen, z.B. Unterlegscheiben
(in zwei oder drei verschiedenen Größen))

Voruntersuchung

Die Schüler sagen, was sie über die Senkrechte wissen und nennen Körper, die ihrer Meinung nach senkrecht stehen. Bei dieser Gelegenheit können die Testfragebögen eingesehen und kommentiert werden.

Wie prüft man, ob ein Körper senkrecht steht ?

Ein Versuch ohne Meßinstrument

Manche Schüler schlagen vielleicht vor, eine Prüfung nach Augenmaß vorzunehmen und zwar nicht an einem alleinstehenden Körper, sondern durch den Vergleich von zwei Dingen, die angeblich senkrecht sind.
Man stellt sich z. B. neben die "senkrechte" Kante einer offenen Tür und visiert mit einem Auge den "senkrechten" Rahmenteil eines Fensters in der gegenüberliegenden Wand an. Neigt man den Kopf etwas zur Seite, sieht man, wie Türkante und Fensterrahmen sich einander nähern und nach und nach parallel erscheinen, bis sie sich über die gesamte Länge decken. Dann sind beide wirklich senkrecht. Dieser Vergleich bietet sich besonders an, wenn man vor zwei Hochhäusern steht. Die Präzision ihrer Senkrechten ist wirklich beeindruckend.

Wenn die Schüler bei ihren Vergleichen eine "Anomalie" feststellen, sollen sie herausfinden, welcher der beiden Körper (oder beide) senkrecht ist, indem sie ihn zusammen mit einem schon "geeichten" dritten Körper anvisieren.

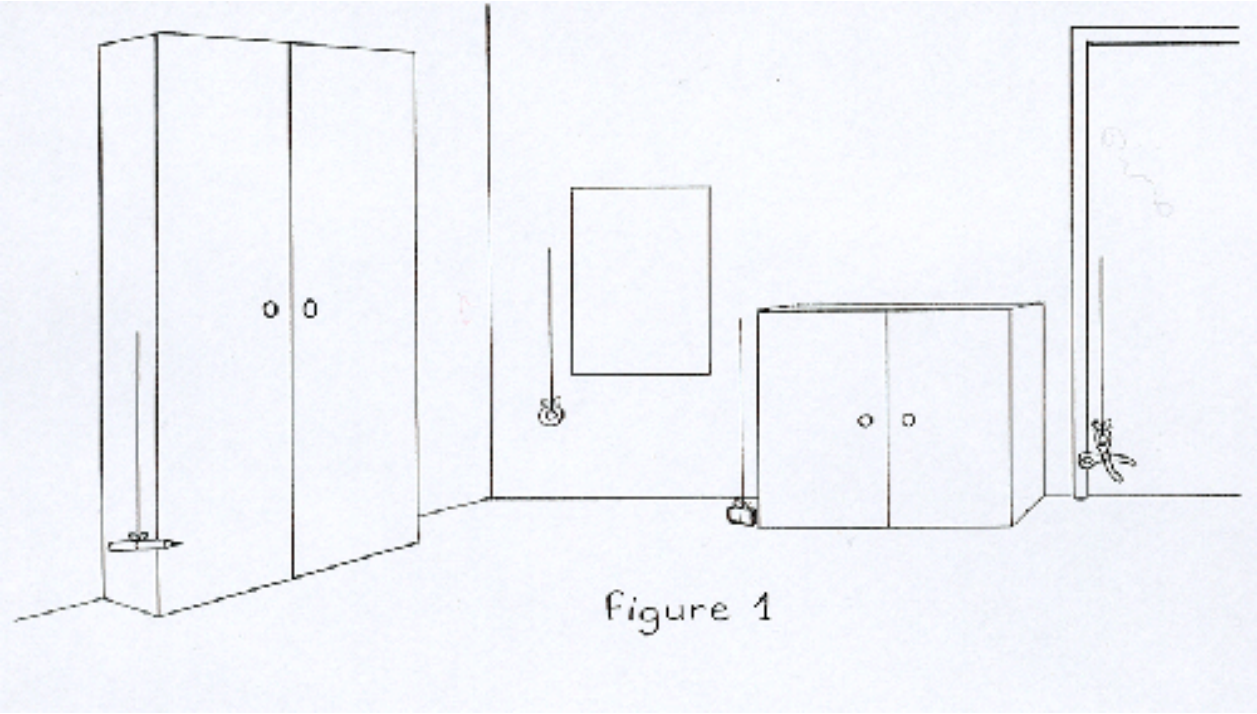
Anfertigung und Benutzung von Senkloten

Nachdem den Kindern aufgegangen ist, daß immer mit etwas verglichen werden muß, das selbst senkrecht ist, fragen sie sich vielleicht: Wie prüft man, ob ein alleinstehender Körper senkrecht ist?

Einige werden schon einmal eine Wasserwage mit drei Libellen gesehen haben, von denen eine anzeigt, ob ein Körper senkrecht, eine andere, ob er waagerecht ist und eine dritte angibt, ob er eine Neigung von 45° hat. Andere

haben sicher schon einmal etwas von einem Senklot gehört und werden mit Interesse sehen, wie man aus Kordel, Bindfaden und Gewichten ein solches Instrument herstellt. Und sie werden feststellen, daß sich dünne Schnur besser dazu eignet als die gröbere Kordel, die sich wegen der verhältnismäßig leichten Gewichte weniger gut strafft. Die Unterlegscheiben sind besonders gut geeignet, weil sie flach sind und das Lot sich daher am besten an den zu prüfenden Körper anlegen läßt.

Wenn die Senklote fertig sind, prüfen die Schüler damit diverse Dinge im Klassenraum und im Freien (Abb. 1)



---

2) Arbeiten mit der Waagerechten

Dauer: drei Unterrichtsstunden von 30 - 45 Min. Dauer.

Ort : Klassenraum.

Lernmittel :

Für die Klasse

.Arbeiten mit den mit Wasser gefüllten Behältern:
8 - 10 große Blätter gewöhnlichen weißen Papiers (50 mal 65 cm),
ein Dutzend Kunststoffbehälter (s. weiter unten)
mit etwas leicht gefärbtem Wasser (einen Schwamm bereitlegen!),
Bleistifte,
einige lange flache Lineale oder ganz gerade Leistenstücke,
eine handelsübliche Wasserwaage

Arbeiten mit dem rechten Winkel:
Die noch an der Wand und der Tafel hängenden weißen Blätter vom ersten Experiment,
Senklote,
einige (sehr sorgfältig) in vier gleichgroße Teile geschnittene Buntpapierblätter,
drei oder vier Dreiecke (die zunächst beiseite gelegt werden).

Für jede Gruppe von 2 Schülern: :

Anfertigung von Wasserwaagen:
Eine Ampulle Kochsalzlösung (aus der Apotheke),
20 cm Abdeckleiste (40 mm),
Klebeband

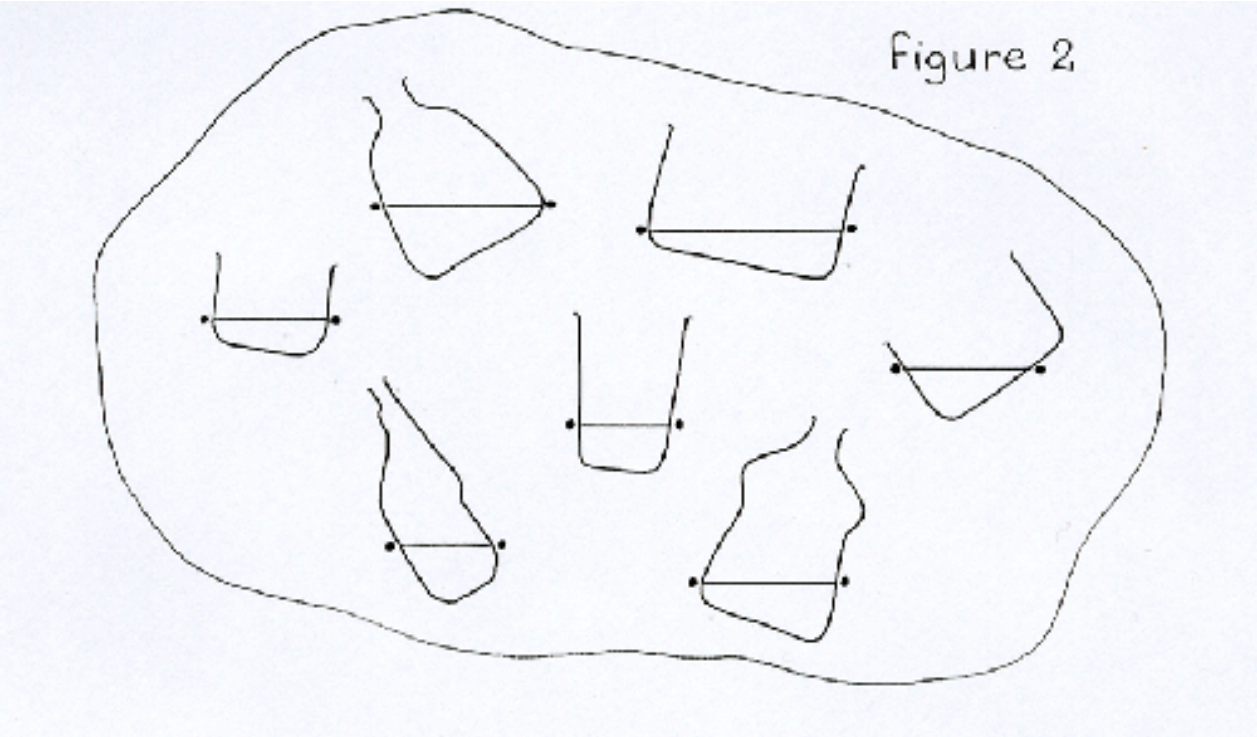
Voruntersuchung

Um die Waagerechte zu beschreiben, zählen Kinder im allgemeinen diverse Dinge aus dem Alltag auf wie z.B. den Fußboden: "*Der ist immer ganz eben, und wenn er sich ein bißchen wölbt, spürt man das sofort*"; oder die Tischplatte "*Die ist auch ganz eben, doch wenn sie etwas geneigt ist, kommt eine Kugel darauf ins Rollen und fällt auf den Boden*". Waagerecht ist für sie also gleichbedeutend mit stabil, so wie sie die Senkrechte mit Gleichgewicht in Verbindung bringen. Dies erklärt vielleicht auch, warum sie nicht an stehendes Wasser denken, das für sie dem Wesen nach instabil ist. Lassen Sie sie Flüssigkeit in einem Behälter zeichnen: Viele werden die Oberfläche wellenförmig malen. Und bei einer Flasche, aus der Wasser in ein Glas gegossen wird, werden sie den Wasserpegel schräg zeichnen.

Versuch

Um zu zeigen, daß die freie Oberfläche einer Flüssigkeit waagerecht ist, wird ein kleiner Versuch durchgeführt, für den die Schüler sich zu Gruppen von 3 - 5 zusammentun.
Jede Gruppe schneidet ein großes weißes Papierblatt zu einer beliebigen unregelmäßigen Form zurecht und befestigt es an der Wand und an der Tafel. Etwa ein Dutzend verschiedene Behälter aus durchsichtigem (oder durchscheinendem) Kunststoff werden auf einen zentralen Tisch gestellt. Es handelt sich um Tiefkühl-, Nahrungsmittel- und Reinigungsmittelbehälter (die sauber sein müssen) mit quadratischer, rechteckiger oder länglicher Form. Sie werden bis zu einem Viertel mit leicht gefärbtem Wasser gefüllt.

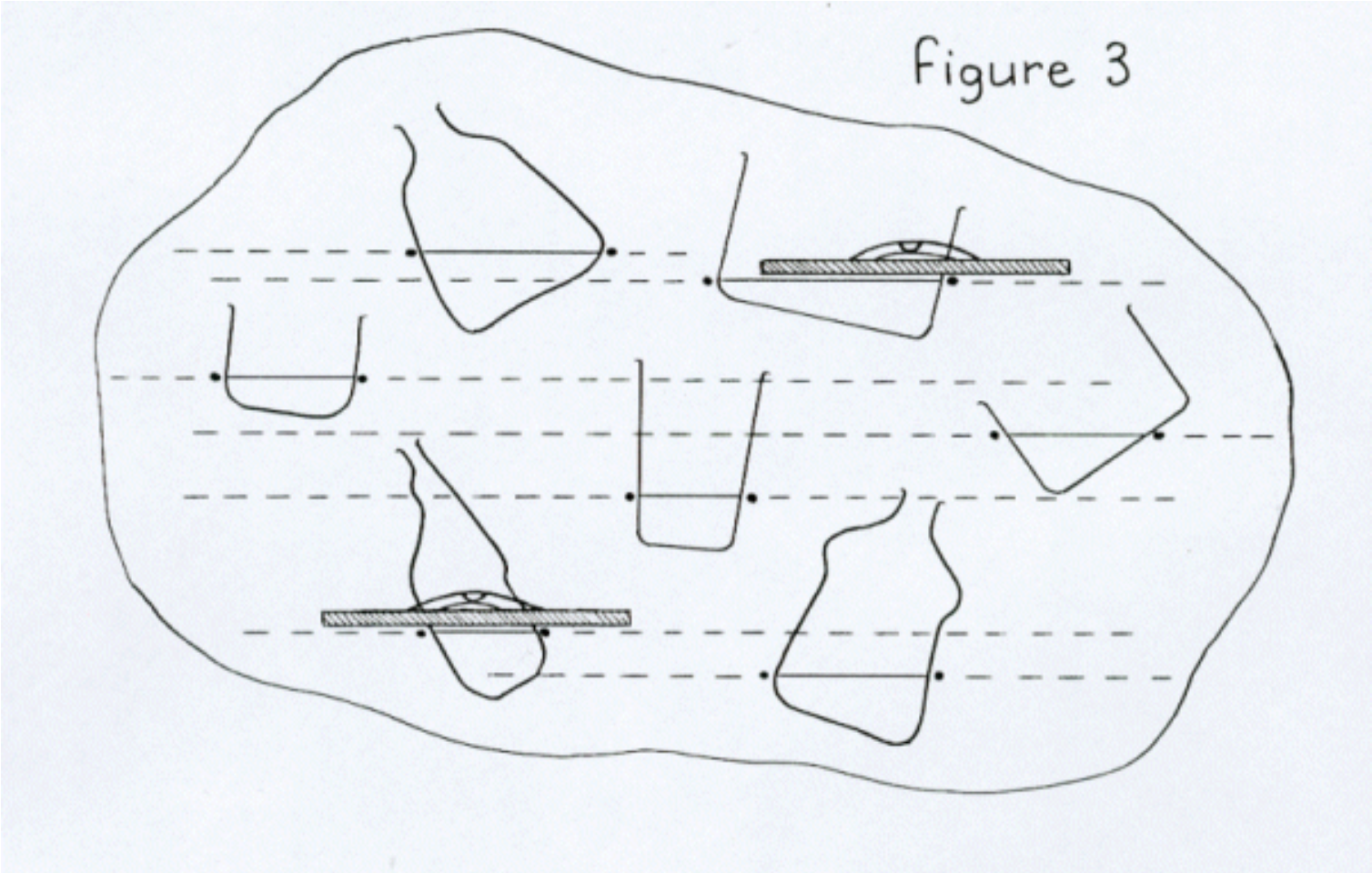
Ein Schüler pro Gruppe hält einen Behälter leicht schräg und ohne zu wackeln vor ein weißes Blatt, und ein anderer Schüler zeichnet den Umriß des Behälters und, wenn das Wasser zur Ruhe gekommen ist, markiert auf jeder Seite des Behälters den Wasserstand. Das Gleiche wird mit anders geformten und unterschiedlich geneigten Behältern getan. Danach werden auf jeder Silhouette die Pegelmarkierungen miteinander verbunden. Manche Schüler tun dies intuitiv mit einem Lineal (Abb. 2).



Die Kinder stellen fest, "*daß alle Striche ganz eben sind.*"
Wie läßt sich das prüfen? "*Man kann sie mit einem großen Lineal nach beiden Seiten verlängern, um besser zu sehen*". Vielleicht bemerkt einer: "*Das ergibt parallele Linien; das können wir nachprüfen, wie wir es dieser Tage bei unseren Pausen getan haben*" (s. Abb. 6 der Projektphase 1). Und ein anderer bemerkt: "*Die sind richtig plan wie der Boden. Die sind waagerecht.*" Wie kann man dies prüfen ?

Schüler, deren Eltern gern basteln oder im Wohnwagen campen, haben sicher schon einmal eine Wasserwaage gesehen und bringen gern eine mit in die Klasse. Damit kann man an den Zeichnungen auf den weißen Blättern nachweisen, daß die die Wasserstände in den Behältern wiedergebenden Linien waagerecht sind (Abb. 3).

(Diese Blätter sollen in der gleichen Lage hängen bleiben, um, wie weiter unten erläutert, den rechten Winkel daran zu untersuchen).



Anfertigung und Benutzung von Wasserwaagen

Mit 20 cm langen und 40 mm breiten Abdeckleistenstücken, Ampullen mit Kochsalzlösung und Klebeband lassen sich rasch einfache aber sehr brauchbare Wasserwaagen anfertigen. Die Ampulle wird flach in die Nut der Abdeckleiste gelegt und mit Klebeband an beiden Enden befestigt. Dann testet man das Ganze auf einer Fläche, die sich bei der Prüfung mit einer "richtigen" Wasserwaage als waagerecht erwiesen hat, um bei Bedarf die Position der Ampulle auf der Leiste mit Hilfe von "Papierkeilchen" so zu korrigieren, daß die Blase (oder die Bläschen) in der Mitte der Ampulle stehen bleibt. Die Schüler werden sehen, daß es nicht notwendig ist (wie bei den handelsüblichen Geräten) beiderseits Markierungsstriche anzubringen, denn bei der geringsten Neigung schwimmt die Blase an eines der Enden der Ampulle.

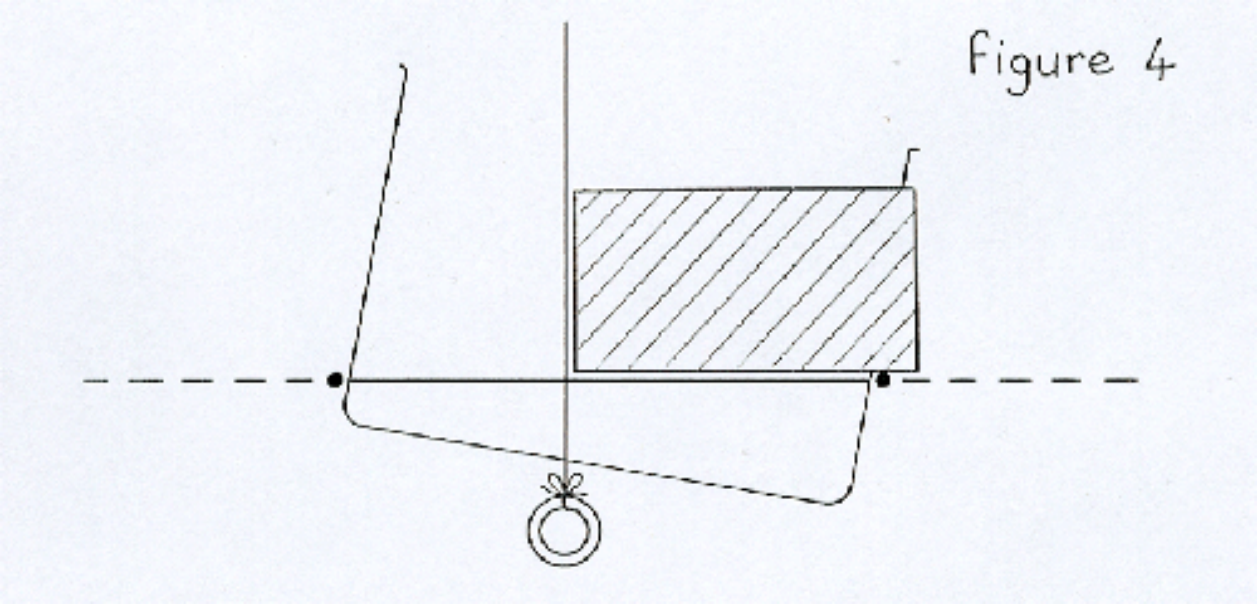
Die Schüler werden dann ihre Wasserwaagen an Tischen, Bänken, Regalen usw. ausprobieren. Doch oft begnügen sie sich damit, sie nur in eine einzige Position, häufig parallel zu einer Kante, zu legen. Heben Sie an einem Tisch ein Bein leicht an (indem Sie z.B. ein Buch unterlegen) und verlangen Sie von ihnen, die Blase ihrer Wasserwaagen zu zentrieren. Nach einigen Versuchen wird ihnen dies gelingen, und sie werden begreifen, daß man die Wasserwaage bei einem Körper mindestens an zwei verschiedenen Stellen und in verschiedenen Richtungen auflegen muß, um sich zu vergewissern, daß er waagerecht ist.

Den rechten Winkel auf experimentellem Weg entdecken

Lassen Sie die Schüler ihre Senklote an die Umrisse der Behälter auf den noch an der Wand und der Tafel hängenden Blätter halten und fragen Sie sie, ob ihnen etwas Interessantes auffällt. *"Die Schnur des Lotes bildet mit der die Wasserfläche markierenden Linie ein Kreuz.*"

Geben Sie jeder Gruppe ein farbiges Blattviertel und fragen Sie, ob es in einen Winkel des Kreuzes paßt. Die Schüler erkennen sofort, daß die Blätter nicht nur in jeden der vier Winkel passen, sondern daß man ein Blatt um

den Schnittpunkt des Kreuzes drehen und in jeden Winkel einsetzen kann (Abb. 4). "*Man könnte in das Kreuz auch vier Zeichendreiecke von der Art, wie mein großer Bruder eins besitzt, einsetzen. Damit zeichnet er rechte Winkel, wie wir sie in unserem Fragebogen finden mußten*."



Die Schüler suchen natürlich in ihrer Umgebung Gegenstände mit rechten Winkeln und finden viele. Auch üben sie sich darin, mit dem Zeichendreieck rechte Winkel zu zeichnen und stellen fest, daß man das Dreieck bei Millimeter- oder kariertem Papier nicht braucht (aber nur, wenn ein Schenkel des rechten Winkels sich mit einer Linie deckt oder parallel zu ihr ist.)

Nachdem die Schüler entdeckt haben, daß das, was "*gerade*" ist, senkrecht, und das, was "*plan*" ist, waagerecht ist, und daß die "*Kreuzung*" beider den rechten Winkel ergibt, wird ihnen bewußt, daß die Gnomone auf ihren Unterlagen diese Eigenschaften besitzen müssen, um einen zuverlässigen Vergleich zwischen ihnen anstellen zu können
.

Fakultativer Unterricht (Projektphase 2)

Arbeiten mit dem Kompaß

Dauer : eine Unterrichtsstunde von 30 - 40 Min

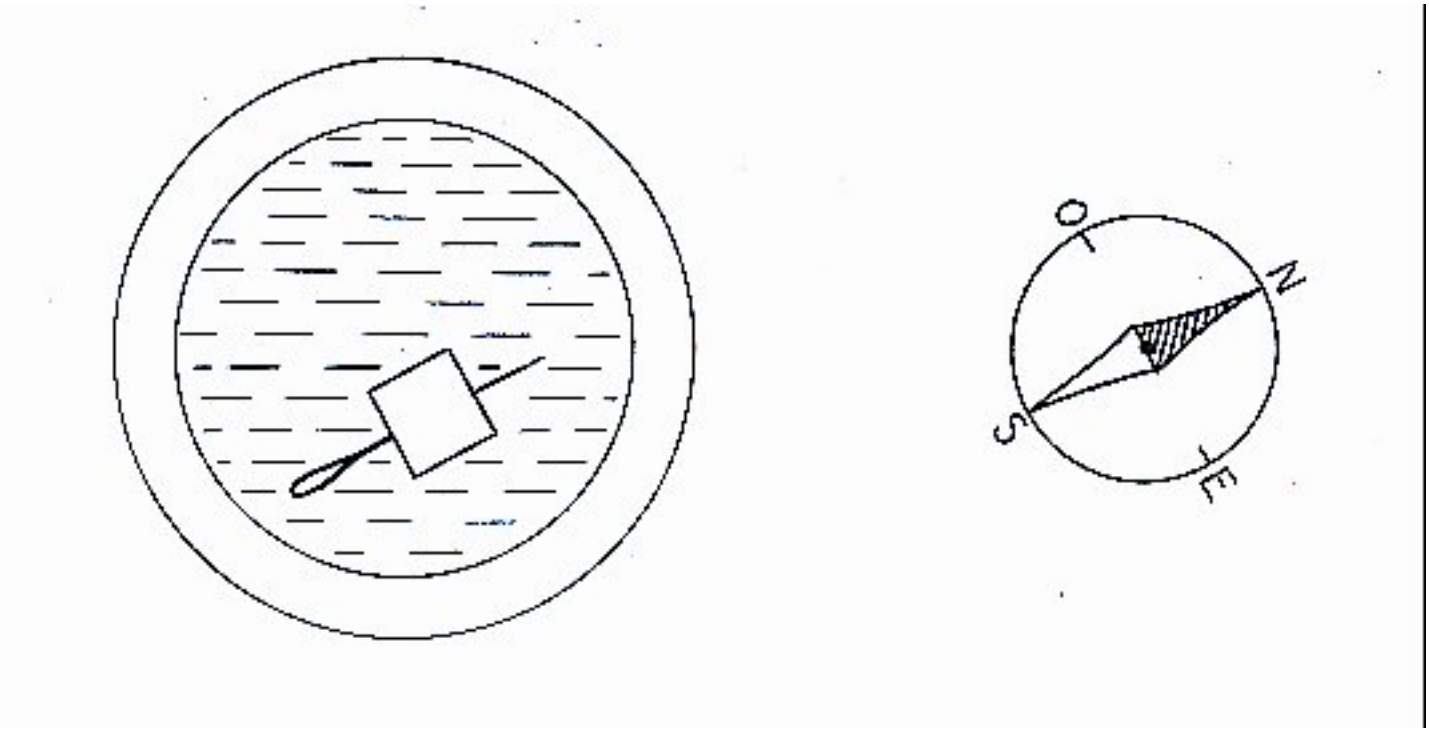
Ort : Klassenraum, dann im Freien.

Lernmittel

Für jede Gruppe von 4 oder 5 Schülern :
ein kleiner gewöhnlicher Kompaß
Für einen schwimmenden Kompaß:
eine große Stopfnadel,
ein Magnet,
ein Styroporplättchen,
ein Kunststoffteller mit Wasser
(Schwamm oder Waschlappen).

Versuch

Sobald die Schüler die drei Dinge, mit denen sich ein "schwimmender" Kompaß anfertigen läßt, in der Hand haben, versuchen sie zunächst ihren Magneten auf dem Styroporplättchen schwimmen zu lassen. Indem sie ihn abwechselnd mit der einen und der anderen Seite und vor allem an der Kante des Plättchens auflegen, merken sie auf einmal, daß der Magnet sich immer wieder in die selbe Richtung dreht. Ein Kontrollkompaß (den man nicht zu nah an den Teller mit dem Magneten halten darf, weil er sonst "die Richtung verliert") bestätigt, daß die Drehung des Magneten etwas mit der Nord-Süd-Ausrichtung zu tun hat. Man braucht dazu nur den Kompaß über dem Magneten zu norden.
Da aber der Magnet auf dem Styroporplättchen eine sehr "wackelige Angelegenheit" ist, sollen sie den Magneten benutzen, ohne ihn jedoch auf den Schwimmer zu legen. Das ist eine harte Nuß für sie. Man erklärt ihnen dann, daß man der Nadel den Magnetismus des Magneten verleihen muß. Die Schüler versuchen es schließlich, indem sie mit dem Magneten über die Nadel reiben, aber sie wissen nicht, wie man dies richtig macht. Man muß ja immer in der selben Richtung (vor allem nicht hin und her-) reiben und zwar mindestens 20 mal. Ist die Nadel schließlich magnetisiert, sticht man sie der Länge nach durch das Styroporplättchen, und fertig ist der schwimmende Kompaß!



Anmerkung :Es kann sein, daß die Schüler etwas Eigenartiges feststellen, wenn sie ihre magnetisierten Nadeln aufs Wasser legen:
Manche Nadeln zeigen mit der Spitze, die anderen aber mit dem Öhr nach Norden ... Warum? Dies ist darauf zurückzuführen, daß die beiden Seiten des Magneten entgegengesetzte Polarität haben (die eine ist negativ, die andere positiv). Wenn also Nadeln mit der positiven Seite und andere mit der negativen Seite gerieben wurden, richten sie sich umgekehrt zueinander nach Norden aus. Diese unterschiedliche Polarität läßt sich leicht nachweisen: Man hält zwei Magneten aneinander. Entweder ziehen sie einander an (entgegengesetzte Pole) oder sie stoßen einander ab (gleiche Pole). Man kann dann die unterschiedlichen Polaritäten noch testen, indem man einige Nadeln mit der einen und einige Nadeln mit der anderen Seite des Magneten reibt und dann vorhersagt, wie die Nadelpaare sich verhalten
.

Weitere Aktivitäten.

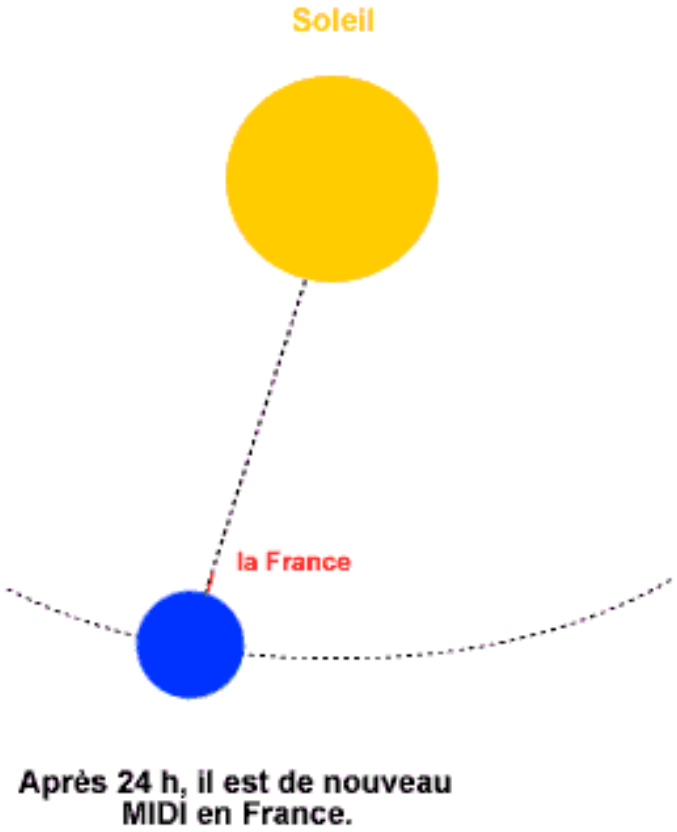
Man kann diesen Versuch durch eine Untersuchung der vier Himmelsrichtungen und der (auf der Windrose angegebenen) Zwischenrichtungen: Nordosten, Nordwesten, Südosten, Südwesten, aber auch Nordnordosten, Nordostosten usw. ergänzen.
Dann kann man den Schülern Orientierungsaufgaben stellen, bei denen sie versuchen sollen, so gut wie möglich die Richtung einer Landmarke (Gebäude, Portal, Baum, Hügel usw.) zu beschreiben, ohne sie jedoch in einem Winkelmaß zu schätzen, bevor sie mit Winkeln und der Benutzung eines Winkelmessers bekannt gemacht wurden.
Schließlich sollen die Schüler lernen, sich auf einer Landkarte zu orientieren. Man beginnt damit, daß man die Karte nach dem Kompaß nordet und dann die Richtung eines Ortes zu einem anderen Ort bestimmen läßt.

Anleitung zur Projektphase 2

Die Projektphase 2 lädt zur täglichen Beobachtung des Laufs der Sonne am Himmel ein. Die Bahn des Tagesgestirns über unseren Köpfen ist auf die Umdrehung der Erde um ihre Nord-Süd-Achse innerhalb von 24 Stunden zurückzuführen. Die Schwankung dieser Bahn im Lauf eines Jahres hat ihren Ursprung in der Neigung dieser Rotationsachse gegenüber der Erdbahnebene und im Umlauf der Erde um die Sonne in ca. 365 Tagen. Gehen wir jetzt näher auf diese Begriffe ein.

Erdrotation

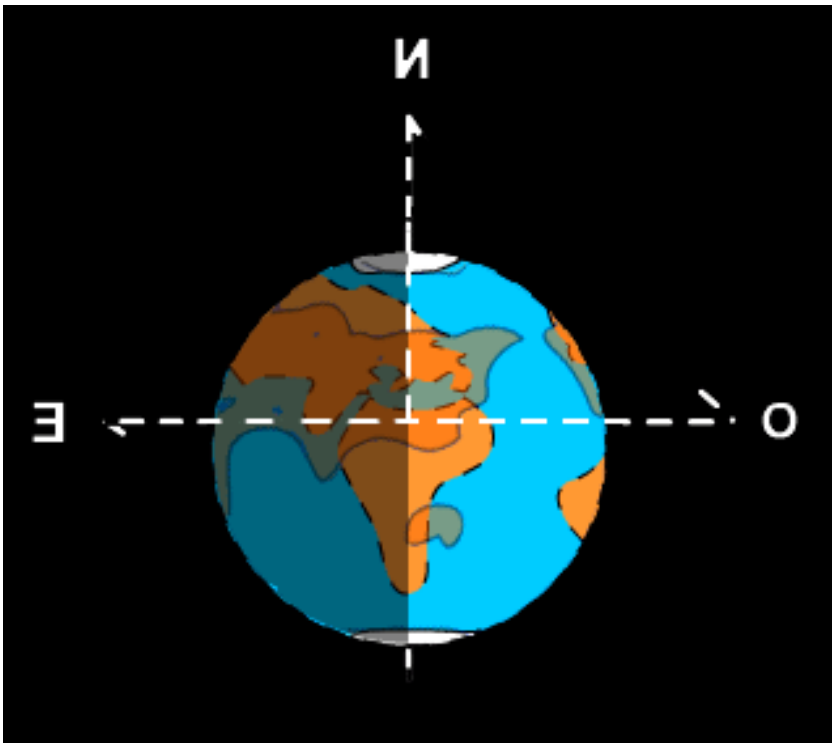
Der Wechsel von Tag und Nacht ist für den Menschen wahrscheinlich das auffälligste und markanteste astronomische Phänomen. Die Erde dreht sich um sich selbst von Westen nach Osten in 23 Std. 56 Min., bezogen auf (quasi fixe) ferne Sterne. In einem Tag läuft sie auch um etwas weniger als 1° um die Sonne, was eine geringfügige Verlängerung des Sonnen-Tages zur Folge hat; dieser dauert im Durchschnitt 24 Stunden; es ist die Zeit zwischen zwei Meridiandurchgängen der Sonne.



Man hat lange geglaubt, die Erde sei das ruhende Zentrum des Universums und alle Gestirne drehten sich um sie. Aristarch von Samos (310 - 230 v. Chr.) hat die Grundlagen der heutigen Kosmologie geschaffen, indem er die Erde in einem Jahr um die Sonne laufen und in einem Tag "wie ein Kreisel" um sich selbst drehen ließ. Sein System wurde uns dank den Schriften griechischer Historiker und von Zeitgenossen (wie Archimedes) überliefert und von Nikolaus Kopernikus (1473 - 1543) aufgegriffen, der es als erster wagte, aus der Erde einen Planeten wie die anderen zu machen und damit nicht nur die Astronomie, sondern das gesamte menschliche Denken revolutionierte.

Die Bahn der Sonne am Himmel während eines Tages

Die Rotation der Erde um die Nord-Süd-Achse weckt in uns den Eindruck, die Sonne (und die Sterne) drehe sich in entgegengesetzter Richtung um die Erde: Sie geht im Osten auf, erreicht mittags im Süden (für die Nordhalbkugel) den Höchststand und geht schließlich im Westen unter.



Wir müssen sie hier auf den Begriff "Sonnenmittag" aufmerksam machen. Es ist dies der Zeitpunkt, in dem die Sonne den Höchststand am Himmel erreicht und somit die Schatten, die sie wirft, am kürzesten sind. Die Bahn der Sonne am Himmel ist, auf ihre Stellung am Sonnenmittag bezogen, vollkommen symmetrisch. Unter Mittag ist die Mitte des Tages, also die Mitte der Zeit zu verstehen, in der die Sonne scheint. Doch Vorsicht! Es handelt sich nicht um die Zeitangabe auf unseren Uhren. Auch variiert dieser Zeitpunkt über das gesamte Jahr um mehrere zig Minuten. Doch davon mehr in den nachfolgenden Kapiteln.

Überkommene Vorstellungen !

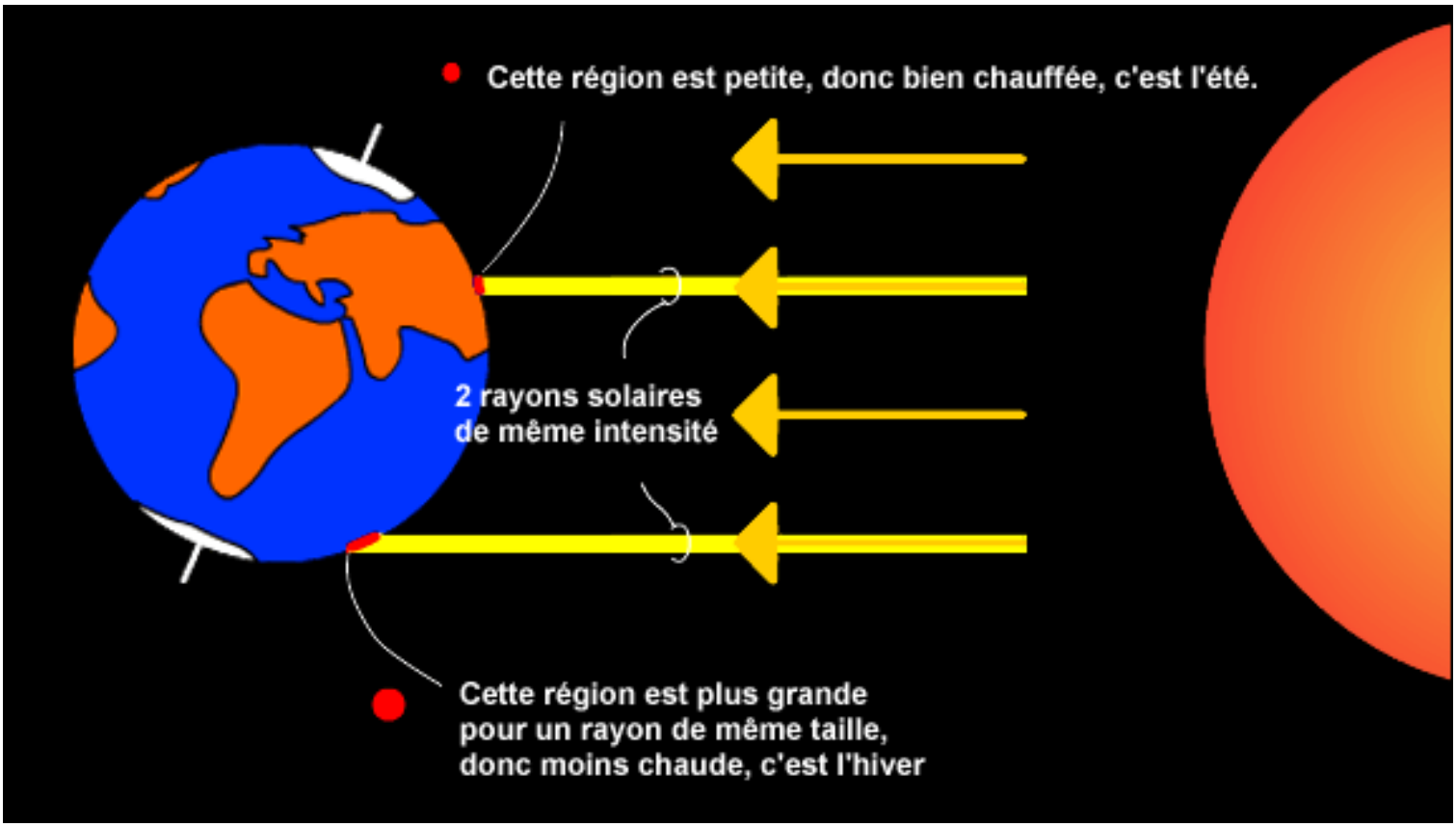
Man glaubt häufig zu Unrecht, die Sonne gehe genau im Osten auf und im Westen unter. Das ist falsch! Oder besser gesagt dies stimmt nur an zwei Tagen des Jahres, nämlich bei den Tagundnachtgleichen. Im Winter geht sie im Südosten auf und im Südwesten unter und verkürzt so ihren Lauf am Himmel (von der Nordhalbkugel aus gesehen). Im Sommer dehnt sie ihre Bahn nach Norden aus und verlängert damit die Zeit, in der sie über dem Horizont bleibt (Auf der Südhalbkugel ist dann das Gegenteil der Fall). Wie entstehen diese Schwankungen ???

Neigung der Rotationsachse

Die Erde umrundet die Sonne in einem Jahr (365,25 Tage) und beschreibt dabei eine Bahn, die in einer Ekliptik genannten Ebene liegt. Wie ein Kreisel bewegt sie sich auf einem Kreis (genauer auf einer Ellipse) mit einem Radius von rd. 150 Millionen km. Eine Besonderheit ist ihre gegen die Ekliptik geneigte Rotationsachse: Die die Pole verbindende Achse ist um 23,5° geneigt und zeigt, auf die Sterne bezogen, immer in die gleiche Richtung (auf den berühmten "Polarstern").

Das Phänomen der Jahreszeiten ist auf diese Neigung und nicht auf die Schwankung der Entfernung Erde-

Sonne zurückzuführen. Während die Nordhalbkugel sich unter der Sommersonne erwärmt, erfährt die Südhalbkugel die Strenge des Winters. Und daher wird der Nordpol ständig von der Sonne erhellt, während der Südpol in Dunkelheit getaucht ist. Da die Nord-Süd-Achse der Erde immer in die gleiche Richtung zeigt, ist sechs Monate später die gegenteilige Situation zu beobachten.



Vorsicht bei den Begriffen Nord und Süd!

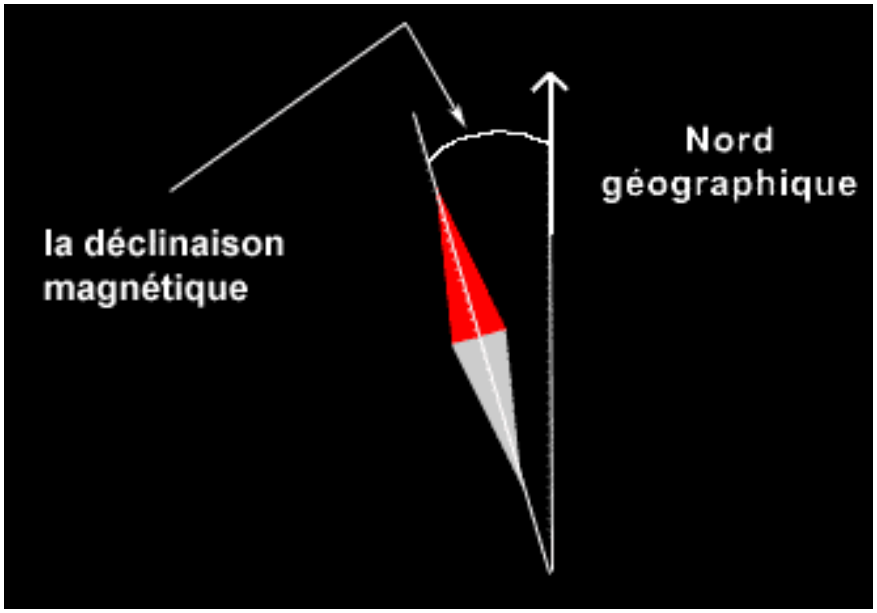
Bis jetzt haben wir immer nur vom geographischen Norden gesprochen, d.h. von der Richtung des Nordpols vom Beobachtungspunkt aus betrachtet. Dieser Nordpol ist nichts anderes als der Punkt, in dem die Rotationsachse durch die Erdoberfläche geht. Um den Norden genau zu bestimmen, benutzen wir im allgemeinen einen Kompaß.

Wie aber funktioniert ein Kompaß ?

Wenn man vom Kompaß spricht, stellen sich viele Fragen zum Magnetismus, aber wegen der Komplexität dieses Phänomens ist bei ihrer Beantwortung Vorsicht geboten und man sollte sich auf einige wenige Feststellungen beschränken.
Eine Kompaßnadel ist ein Magnet mit einem Nord- und einem Südpol. (Das Wort "Pol" wird hier analog zur Erde gebraucht.) Zwei Magnete können sich je nach der Position der Pole zueinander anziehen oder abstoßen. Daher darf man einen Kompaß nicht in die Nähe magnetischen Metalls oder eines Magneten legen. Nichtmagnetisches Material aus Eisen (z.B. Nadeln, Nägel) wird in der Nähe eines Magneten selbst magnetisch. Manche Münzen, die 2001 noch im Umlauf waren, werden von einem Magneten angezogen, weil sie Nickel enthalten. Schließlich verhält sich auch eine Spule aus Elektrizität leitendem Draht wie ein Magnet, wenn man Strom hindurchleitet" (Auszug aus dem Wissensdateiblatt Nr. 15 des Kultusministeriums im Internet unter www.eduscol.education.fr/).

Die beiden Magnetpole (Nord und Süd) decken sich indes nicht genau mit den geographischen Polen. Auch

verlagern sie sich im Laufe der Jahre. Daher muß man die vom Kompaß angezeigte Richtung (Mißweisung) berichtigen, um den geographischen Norden zu finden. Die Korrektur hängt vom Standort und vom Datum ab. (Dieser Aspekt des Magnetismus wird den Schülern nicht erklärt)



Halten Sie nur fest, daß die vom Kompaß angezeigte Nord-Süd-Richtung leicht (um einige Grad) von der Richtung der geographischen Pole abweicht, die von der Richtung der Schatten am Sonnenmittag genauer angezeigt wird. Bestimmen Sie mit Ihren Schülern diesen Winkel !

Anleitung zur Projektphase 2

In der Projektphase 2 werden die Begriffe Senkrechte und Waagerechte behandelt. Örtlich werden diese Begriffe intuitiv gehandhabt, aber für ihre Anwendung auf unseren Planeten bedarf es doch einiger eingehender Erläuterungen.

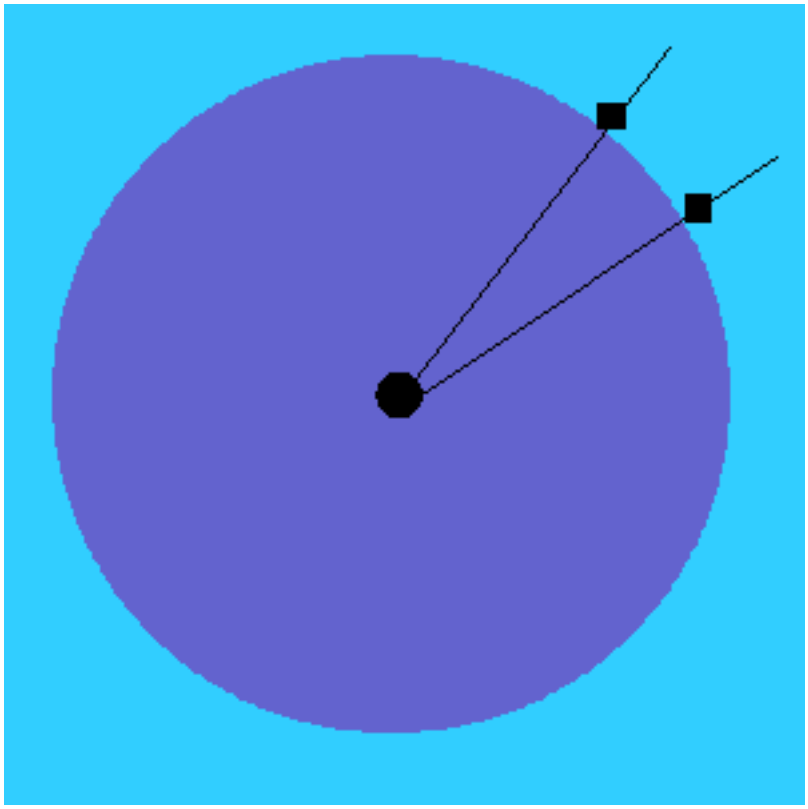
Darstellung der Senkrechten und der Waagerechten

Die Senkrechte an jedem beliebigen Punkt ist die Richtung, die ein Senkblei anzeigt. Eine an einer Schnur hängende Masse zieht die Schnur straff nach unten. Deren Richtung fällt mit der örtlichen Senkrechten zusammen.
Die Waagerechte wird von jeder Geraden in der Ebene der Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit angezeigt. Diese Ebene erhält man im allgemeinen mit einer Wasserwage. Dies ist ein möglichst langes Richtscheit mit einem Glasröhrchen (Libelle), in dem Wasser und eine Luftblase eingeschlossen sind. Ist das Richtscheit waagerecht, befindet sich die Luftblase genau in der Mitte des Glasröhrchens. Ist dies nicht der Fall, wandert sie zu einem der Enden der Libelle. .

An jedem beliebigen Punkt gibt es eine Senkrechte und unendlich viele Waagerechten. Auf dem Schulhof sind alle Senkrechten einander parallel und lotrecht zu den Waagerechten. Auf der Erdoberfläche hingegen sind die Senkrechten (wie auch die Waagerechten) nicht alle einander parallel, sondern sie treffen sich im Mittelpunkt der Erde.

Um sich davon zu überzeugen, könnte man die Schwankungen in der Ausrichtung eines Lots messen: Mißt man den Winkel zwischen zwei 111 km (dies entspricht 1 Längengrad) voneinander entfernten Loten, würde man eine Differenz von 1° feststellen.
Bei zwei 1 km voneinander entfernten Loten würde man eine Differenz von 1/100 Grad, d.h. 36 Sekunden messen. Bei einem 10 m langen Klassenraum wäre es 0,36 Sekunde, was mit einem Winkelmesser nicht mehr meßbar ist.
Bei mehrere hundert Kilometer voneinander entfernten Punkten läßt sich der Winkel zwischen den Senkrechten messen.

Wir wissen, daß die Erde rund ist, aber an unserem Standort sieht sie eher flach aus. Wie läßt sich beides miteinander vereinbaren?
Unsere nähere Umgebung (die Straßen, die Mauer des Schulhofs ...) stellt einen so winzigen Teil der Erdkugel dar, daß man sie als plan betrachten kann.
Im Maßstab unseres Planeten betrachtet, ist die Senkrechte unseres Standortes nichts anderes als der Radius, der den Mittelpunkt der Erdkugel mit unserem Standort (Punkt) an ihrer Oberfläche verbindet. Wenn man sich also von einem Ort zu einem anderen begibt (z.B. von Lille nach Marseille), ändern die Radien ihre Richtung und zeigen jeweils eine Senkrechte an. Beschränkt sich die Ortsveränderung auf eine kleine Entfernung (von einem Ende des Schulhofs zum anderen), fallen die Radien praktisch zusammen.



Im Maßstab des Planeten betrachtet, ist die Waagerechte (örtlich) einfach in der Tangentialebene der (kugelförmigen) Erdoberfläche enthalten. Über geringe Entfernungen fallen die Tangentialebenen praktisch zusammen, und zwei an den äußeren Enden eines Klassenraums angebrachte waagerechte Platten werden im Vergleich nicht geneigt erscheinen. Nicht daß der Winkel zwischen den beiden Platten gleich Null wäre, aber er ist so winzig, daß man ihn nicht messen kann. Erinnert Euch, daß der Erdradius rd. 6370 km beträgt. Es bedarf daher genügend großer horizontaler Entfernungen (mindestens einige zig Kilometer), um die Erdkrümmung sehen zu können (z.B. ein klarer Horizont am Meer).

Die Senkrechte und die Waagerechte verstehen

Wie gelangt man zum physikalischen Verständnis der Senkrechten und Waagerechten? Welchen gemeinsamen "Nenner" haben beide? Es ist die Gravitation, die Kraft, die das Gewicht des Lots "anzieht" und die Schnur strafft. Sie zieht auch das Wasser an und bewirkt, daß dessen Oberfläche waagerecht ist.

Was ist Gravitation genau?

Man kann sie als Eigenschaft der Materie betrachten: "Materie zieht Materie an." Zwei Körper ziehen einander umso stärker an, je größer ihre Masse und je geringer ihr Abstand voneinander ist. Läßt man z. B. ein Stück Kreide los, fällt es zu Boden. Warum? Weil die Erde und die Kreide einander anziehen.

In welche Richtung ?

Jedes Teilchen der Erde zieht die Kreide an, aber wegen der Kugelgestalt der Erde (und auch aus Gründen der Homogenität der Verteilung der Massen in den die Innenstruktur der Erde bildenden Schichten) kann man sagen, daß die Erdmasse in ihrem Massezentrum konzentriert ist (das man in erster Näherung als den Mittelpunkt der Erde betrachten kann). Die auf die Kreide wirkende Anziehungskraft der Erde ist also zum Mittelpunkt der Erde gerichtet. Daher richtet sich auch das Lot zum Erdmittelpunkt und zeigt im jeweiligen Punkt die Senkrechte an. Es zeigt somit zum "Massezentrum der Erde". Läßt man das Kreidestück fallen (ohne es zu werfen), folgt auch es der Senkrechten !

Und wie steht es mit der Waagerechten?

Das gleiche Phänomen wie bei den festen Masseteilchen tritt auch bei den Teilchen einer Wassermenge ein: Sie werden alle zum Mittelpunkt der Erde angezogen. Im Gleichgewichts- oder Ruhezustand befinden sich alle Teilchen der Oberfläche einer Flüssigkeit in einem Gefäß im gleichen Abstand zum Erdmittelpunkt. Daher ist die Oberfläche der Flüssigkeit parallel zur Erdoberfläche: Auf engem Raum ist sie plan, über eine große Entfernung betrachtet, folgt sie der Erdkrümmung. Um uns herum ist der Ozean (ohne Wellen) eben, aber über den gesamten Planeten betrachtet, eine Kugel.

Und noch einiges mehr...

Geht die Senkrechte wirklich durch den Mittelpunkt der Erde? Die Antwort wäre ja, wenn die Erde völlig kugelförmig und die Verteilung ihrer Masse, auf den Mittelpunkt der Kugel bezogen, ganz symmetrisch wäre. Es ist aber erwiesen, daß die Erde eher ein Ellipsoid als eine Kugel ist. Genauer gesagt, ist sie an den Polen leicht abgeplattet. Es ist ein wenig so, als zöge sich ein "Wulst" um den Äquator. Diese morphologische Asymmetrie hat eine leichte Ablenkung der Resultanten der auf das Lot einwirkenden Anziehungskräfte zur Folge. Das Lot wird geringfügig zum Äquator hin abgelenkt und zeigt damit nicht genau zum Erdmittelpunkt, sondern zum "Massezentrum" unseres Planeten.

Projektphase 3

Der Sonnenmittag

Einleitung

In dieser Projektphase sollen die Kinder herausfinden, wann Sonnenmittag ist, und sie werden ihn bei einer Simulation mit einer den Lauf der Sonne nachahmenden Lampe über ihrem Gnomon reproduzieren. Danach werden sie zwei auf einem Ball befestigte Minignomone beleuchten und dabei die von Eratosthenes am Sonnenmittag in Alexandria und Syene gemachten Beobachtungen nachvollziehen. Bekanntlich entspricht der Sonnenmittag dem Zeitpunkt, da die Sonne sich in der Mitte ihres täglichen Laufs am Himmel befindet und ihre maximale Höhe über dem Südhorizont (oder Nordhorizont je nach dem geographischen Standort des Beobachters; s. Anmerkung) erreicht. Die Schatten sind dann am kürzesten und zeigen nach Norden (bzw. Süden) Wir weisen darauf hin, daß es sich um den geographischen Norden (den Nordpol) (bzw. Süden) handelt, der leicht von dem vom Kompaß angezeigten magnetischen Norden (bzw. Süden) abweicht. Wenn diese Abweichung von Ihren Schülern bei den Schattenaufnahmen nicht bemerkt wird, gilt das Wort "Norden" ohne Unterschied für beide Richtungen. Wir erinnern auch noch einmal daran, daß die Sonne an den Orten gleicher Länge (die also auf dem selben Meridian liegen) im selben Zeitpunkt ihren Höchststand erreicht.

Anmerkung: In den über dem Wendekreis des Krebses liegenden Regionen der Nordhemisphäre zeigen die Schatten am Sonnenmittag das ganze Jahr nach Norden. In den unter dem Wendekreis des Steinbocks liegenden Regionen der Südhemisphäre ist es umgekehrt: Dort zeigen die Schatten nach Süden. Und in den Regionen zwischen den beiden Wendekreisen? Dort ist es nicht so eindeutig, denn dort geht die Sonne während des ganzen Jahres durch die Vertikale. Je nach Lage der Regionen zeigen die Schatten zuerst ein halbes Jahr lang nach Norden und dann ebenso lang nach Süden oder umgekehrt. Um den Text nicht zu sehr zu komplizieren, haben wir uns dazu entschieden, die Vorgänge vom Standort der über dem Wendekreis des Krebses liegenden Schulen aus zu beschreiben. Die Schulen südlich des Wendekreises des Steinbocks und, je nach Jahreshälfte, die Schulen in der Tropenzone brauchen nur Norden und Süden "zu vertauschen", um der Beschreibung folgen zu können.

Begriffe, die angesprochen werden

Form der Sonnenbahn; Veränderung ihrer Höhe im Lauf der Monate; Sonnenmittag; Rotationsrichtung der Erde; Einführung zum Begriff Meridian (Längenkreise).

Vorbemerkungen: Noch einmal auf den rätselhaften Sonnenmittag eingehen.

Wir haben in der vorhergehenden Projektphase gesehen, daß die Kinder schon mit dem Sonnenmittag Bekanntschaft gemacht haben, als sie beobachteten, wie sich der Schatten ihrer Gnomone im Verlauf der Stunden veränderte: Er drehte sich und wurde bis zur Tagesmitte immer kürzer, um danach wieder zu wachsen. Die Schattenmarkierungen öffneten sich wie ein Fächer nach Norden und überschritten diese Richtung, doch hat man nicht festgehalten, wann dies genau geschah.
Um die Neugier der Schüler noch etwas mehr zu wecken, lassen Sie sie noch folgende Textstelle lesen :

Schon seit altersher und lange vor Eratosthenes hatte man beobachtet, wie sich der Schatten eines Stabes (oder eines Obelisken) verändert, um den Lauf der Sonne über den Tag, aber auch über das Jahr zu verfolgen, denn dank der jeweils an der Spitze des Schattens gemachten Markierung konnte dieser von Tag zu Tag als Uhr und von Jahreszeit zu Jahreszeit als Kalender dienen. Das Erstaunlichste aber war,

daß man den Schatten zu einem bestimmten Zeitpunkt des Tages sowohl als Uhr als auch als Kalender benutzen konnte. Das war der Zeitpunkt, in dem er am kleinsten war. Man nennt ihn Sonnenmittag. Und jeder lauerte auf diesen Augenblick: Eratosthenes, um seine Messungen zu machen, aber auch die Karawanenführer und aus einem weiteren Grund, den ihr zur gleichen Zeit wie den Augenblick des mysteriösen Sonnenmittags entdecken werdet, sogar die Pyramidenbauer…

Die hierauf folgenden Kommentare und Diskussionen werden sicher deutlich machen, daß man zuallererst herausfinden muß, was Sonnenmittag genau ist. Wir werden sehen, daß dies mit einer weiteren Serie von Schattenaufnahmen möglich ist, und daß sie uns gleichzeitig auch Aufschluß über die unklaren Punkte dieses Textes geben wird; entweder sofort oder etwas später im Jahr mit Hilfe von zwei oder drei zusätzlichen Aufnahmen .

Inhaltsverzeichnis:

1) Entdeckung des Sonnenmittags durch neue Schattenaufnahmens.
2) Benutzung des Schattens als "Uhr" und als "Kalender".
3) Simulation des Laufs der Sonne mit Kulmination am Sonnenmittag.
4) Simulation des Sonnenmittags mit Hilfe eines Balls.

---

1) Entdeckung des Sonnenmittags durch neue Schattenaufnahmen

Dauer : (nach Möglichkeit) stündliche Aufnahmen während eines sonnigen Tages, mit größerer Häufigkeit während der Mittagszeit.

Ort : ein den ganzen Tag von der Sonne beschienener Ort.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
ein Gnomon aus der Reihe der gleichartigen Gnomone (s. Projekt-phase 2 , Teil 3), und die zur Regelung notwendigen Utensilien (Projekt-phase 2, Teil 4).
ein Kompaß,
ein Zirkel,
ein Lineal,
ein Meßstreifen aus Millimeterpapier,
ein Blatt Pauspapier .

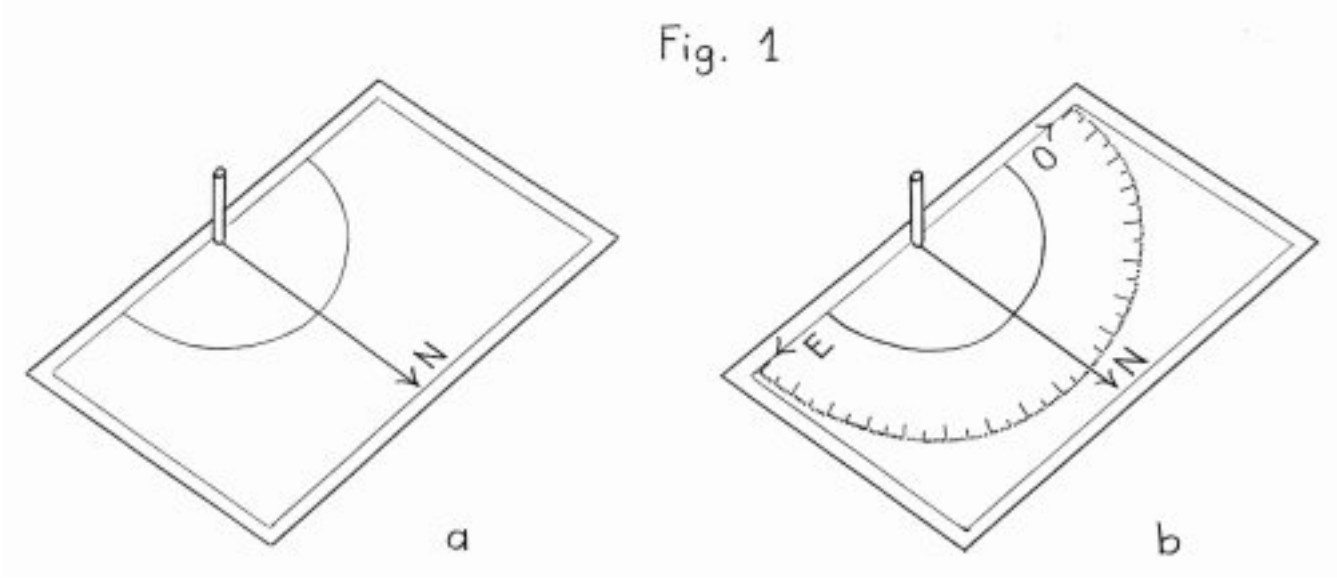
Diskussion über den Sonnenmittag.

Bei den vorhergehenden Schattenaufnahmen haben die Schüler festgestellt, daß die um "Punkt 12" vorgenommene Aufnahme nichts Besonderes ergab, weil der Schatten danach noch weiter an Größe abnahm und seine Richtung in diesem Zeitpunkt unbestimmt schien. Jetzt wollen sie unbedingt wissen, um wieviel Uhr sich der Schatten mit der Nordrichtung deckt und um wieviel Uhr er am kürzesten ist. Sie äußern verschiedene Vermutungen und notieren sie in ihre Kladden. Am Ende der Diskussion sind sie der Überzeugung, daß sich diese Frage nur schlüssig beantworten läßt, wenn man die Gnomone noch einmal in die Sonne stellt...

Vorbereitung der "Jagd" auf den Sonnenmittag.

Alle sind sich darüber einig, daß die Beobachtungen während des Zeitraums, in dem der Sonnenmittag vermutlich stattfindet, in kurzen Abständen erfolgen müssen. Da dieser Zeitraum in die Mittagspause fällt, bleibt zu hoffen, daß die Mehrzahl der Schüler ihr Mittagessen in der Schulkantine einnehmen (Um den Kantinenbetrieb nicht zu stören, sehen die Schüler "Wachablösungen" vor). Die Gruppen sprechen sich darüber ab, wann die Aufnahmen beginnen sollen, und in welchen Abständen sie einander ablösen wollen..

Um am besten den Augenblick abpassen zu können, in dem der Schatten zum einen mit der vom Kompaß angezeigten Nordrichtung zusammenfällt, und zum anderen am kürzesten ist, lassen Sie auf ein Blatt (das unter das Pauspapier gelegt wird) mit dem Zirkel einen Halbkreis schlagen, dessen Radius der Länge des bei den vorhergehenden Aufnahmen erfaßten kürzesten Schattens entspricht. Dieses Blatt wird dann mittig an die Basis des Gnomons gelegt, und von dieser aus eine Gerade (die den Halbkreis zweiteilt) gezogen, die bei den Aufnahmen auf den magnetischen Norden ausgerichtet wird (Abb. 1a). So können die Schüler auf einen Blick die Veränderung der Länge der Schattenmarkierungen gegenüber dem Halbkreis und die Veränderung der Richtung dieser Markierungen gegenüber der Geraden (die auch auf der Pause gezogen werden muß) erkennen.



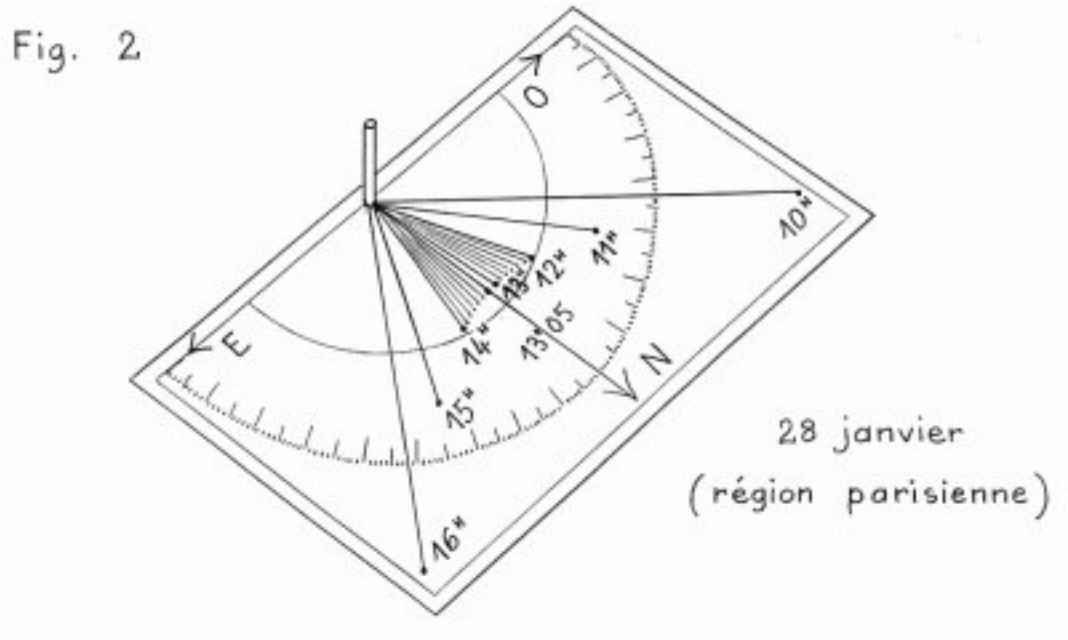
Wenn Ihre Schüler gern messen, können sie auch, wenn sie bei jeder Aufnahme die Länge des Schattens messen, den Winkel bestimmen, den dieser mit der Nordrichtung (oder mit der Ost- bzw. Westrichtung bei den Morgen- bzw. Nachmittagsaufnahmen) bildet. Dazu sollen sie durch Photokopie einen Winkelmesser aus Plexiglas vergrößern und den äußeren Skalenbogen ohne die Zahlen ausschneiden. Dieser Bogen wird dann auf ein ziemlich großes Format vergrößert (Abb. 1b). Auf einem DIN A 4-Blatt

z.B. sind die Abstände zwischen den Gradstrichen ca. 2 mm groß, was eine Meßgenauigkeit bis auf 1/3 Grad ermöglicht !

Durchführung der Schattenaufnahmen.

Um in einem versuchen zu können, das Geheimnis der "Schatten-Uhr" und des ""Schatten-Kalenders" zu lüften, müssen zusätzlich zu den während der Mittagspause in kürzeren Abständen geplanten Messungen Aufnahmen im Stundentakt durchgeführt werden. Um den Unterricht nicht zu sehr zu stören, wird beschlossen, daß alle Gruppen diese zusätzlichen Aufnahmen gleichzeitig zur vollen Stunde machen. Falls sich dieser Rhythmus nicht einhalten läßt, geht man wieder zu der flexibleren Frequenz der früheren Aufnahmen (s. Projektphase 2, Teil 1) über; bei jeder Aufnahme soll die genaue Uhrzeit festgehalten werden.
Am ersten sonnigen Tag, nach Regelung der Gnomone, sorgfältiger Nordung der Geraden auf der Pause und Registrierung des Datums führen die Schüler am Morgen bis einschließlich 12 Uhr stündliche Aufnahmen durch. Manche kommen vielleicht auf die Idee, den Winkel dieser Markierungen mit der Westrichtung zu bestimmen, um daraus die Richtung der Sonne abzuleiten.

Nach einem allgemeinen Uhrenvergleich lösen sich die Schüler während der Mittagspause innerhalb der einzelnen Gruppen bei den in kürzeren Abständen durchgeführten Aufnahmen ab. Eine Aufnahme sollte unbedingt um Punkt 13 Uhr gemacht werden. Bei den Aufnahmen werden die Uhrzeit, die mit dem Meßstreifen gemessene Länge des Schttens, sein Winkelabstand zur Nordrichtung und natürlich der Zeitpunkt notiert, in dem er mit der nach Norden zeigenden Geraden zusammenfällt. Danach werden die Aufnahmen bis 16 (oder 17) Uhr wieder stündlich durchgeführt.



Interpretation der in der Mittagspause gemachten Aufnahmen.

Sofort zu Beginn des Nachmittagsunterrichts, also nach dem Zeitraum, in dem der Sonnenmittag stattfinden sollte, kommen alle zusammen, um die Pausen zu untersuchen (die danach wieder für die letzten Aufnahmen auf die Unterlagen der Gnomone gelegt werden).
Jede Gruppe hat bereits draußen festgestellt, daß sich die Länge des Schattens um die den Norden anzeigende Gerade nur sehr wenig verändert hatte und das leicht verschwommene Ende des Schatttens genaue Vergleiche erschwerte. Trotzdem ist jetzt jeder davon überzeugt, daß der Moment, in dem der Schatten am kürzesten war - auch wenn dies nicht mit Sicherheit festgestellt wurde - etwas mit dem Zeitpunkt zu tun hat, in dem der Schatten die Nordrichtung überschritten hat. Doch wie kann man sich

dessen sicher sein?
Da jede Gruppe während des Zeitraums um den vermuteten Sonnenmittag ihre Aufnahmen zu unterschiedlichen Zeiten gemacht hat, kann man den Fächer der Schattenmarkierungen in der bewußten Zone "verdichten", indem man zwei oder drei Pausen übereinander legt und unter den "kürzesten Schatten" den kürzesten auswählt. Dann wird sich zur allgemeinen Zufriedenheit zeigen, daß derjenige, der mit der nach Norden weisenden Geraden zusammenfällt, den Superlativ wirklich verdient.
Es kann paradoxerweise aber auch sein, daß mit besonderer Sorgfalt gemachte Aufnahmen eine leichte Abweichung zwischen dem kürzesten Schatten und der Nordrichtung aufweisen. In diesem Fall müssen Sie erklären, daß der vom Kompaß angezeigte Norden nicht derselbe ist wie der "wahre", dem Nordpol entsprechende geographische Norden, auf den der Schatten weist und daß man ihn, wie wir später sehen werden, bestimmen kann (s. Ausführungen über die Mittagslinie eines Ortes am Ende dieser Projektphase).

Den Schülern die Entdeckung des Sonnenmittags bewußt machen.

Lassen Sie jetzt die Schüler den Stand der Sonne zu diesem Zeitpunkt beschreiben. Wetten wir, daß sie ohne Zögern antworten werden: *" Die Sonne steht jetzt am höchsten am Himmel und genau in Richtung Süden (oder Norden je nach Ihrem geographischen Standort; s. Anmerkung am Anfang der Projektphase)".*Und dies ist in der Tat eine gute Definition des mysteriösen Sonnenmittags, der Schlüsselerkenntnis im Experiment des Eratosthenes.
Schreiben Sie die Uhrzeit dieser Schattenmessung an die Tafel: Da die Kinder sich fragen werden, warum dieser Zeitpunkt nicht mit der Mittagszeit auf unseren Uhren übereinstimmt, sagen Sie ihnen, daß man sich aus praktischen Erwägungen nicht mehr nach der Sonnenzeit richtet, und daß sie die Gründe bei einer späteren Simulation verstehen würden (s. am Ende dieser Projektphase).
Photokopieren Sie am Ende dieses denkwürdigen Tages den Teil der Pause, der zur Ermittlung des Zeitpunkts des Sonnenmittags gedient hat und lassen sie die Kopie in die Experimentkladden einfügen. Die Schüler werden mit einem Textmarker die betreffende Schattenmarkierung und die Uhrzeit der Aufnahmen hervorheben und dann die erzielten Ergebnisse kommentieren. Sie werden später feststellen, daß die von unseren Uhren angegebene Sonnenmittagszeit im Verlauf der Wochen innerhalb einer Spanne von ca. 20 Minuten (plus eine Stunde, wenn das Land auf Sommerzeit übergeht) variiert.

Wir werden am Ende dieser Projektphase sehen, wie man diese Zeit jeden Tag an jedem Ort einfach und schnell genau feststellen kann. In Frankreich liegt sie nach der Standardzeit um 13 Uhr und nach der Sommerzeit um 14 Uhr. In den am weitesten östlich gelegenen Regionen (in denen die Sonne also früher aufgeht) liegt sie ungefähr eine halbe Stunde früher, und im äußersten Westen fast 20 Minuten späterec presque 20 mn de retard.

---

2) Benutzung des Schattens als "Uhr" und als "Kalender"

Dauer : Einen Tag (oder höchstens 8 Tage) später (nach Möglichkeit) stündliche Beobachtungen während eines sonnigen Tages, die mehrere Male im Laufe des Jahres wiederholt werden.

Ort : ein Ort, der den ganzen Tag in der Sonne liegt.

Lernmittel:

Für jede Gruppe von 3-5 Schülern:
Ein Gnomon aus der Reihe der gleichartigen Gnomone (s. Projektphase 2, Teil 3), und die Utensilien für seine Regelung und Ausrichtung (Projektphase 2, Teil 4),
die Pause mit den vorherigen Markierungen,
ein zusätzliches Blatt Pauspapier. .

In den folgenden Tagen und Wochen, in denen wir weitere Fortschritte in unserem Projekt machen, können die Schüler die unklaren Stellen des kurzen Textes klären, den sie am Anfang dieser Projektphase gelesen haben. Und wir werden sehen, daß die später beschriebenen Simulationen dadurch ergänzt und aufschlußreicher werden.

Wie der Schatten als "*Uhr*" dienen kann.

Wenn am Tag nach der denkwürdigen Entdeckung des Sonnenmittags (oder in den acht Tagen danach) die Sonne scheint, stellen die Schüler ihre Gnomone mit dem Blatt mit den letzten Aufzeichnungen im Freien auf. Die meisten von ihnen glauben dann, daß der Schatten wieder in die alten Markierungen wandern wird, und die neuen Beobachtungen geben ihnen auch recht: "*Der Schatten, der sich dreht, ist wie der Zeiger einer Uhr: Er gibt uns am Tag danach die Zeit an*". (Flechten Sie ein, daß der Schatten sich im gleichen Sinn dreht wie der Zeiger unserer Uhren. Hat der Schatten vielleicht beim Bau unserer ersten Turmuhren als Vorbild gedient?) Fragen Sie dann, ob er auch in den folgenden Tagen und auch Wochen seine Funktion als Uhr erfüllen wird. Die Kinder notieren ihre Vermutungen und Argumente in ihre Experimentkladden. Ob dem so ist, werden sie später sehen und dann gleichzeitig auch das Geheimnis des Schattens als "*Kalender*" lüften können..

Wie der Schatten als "Kalender" dienen kann".

Ideal wäre es, über das Jahr verteilt, weitere Meßreihen zu machen, um die Entwicklung der Schattenfächer zu beobachten. Sehen Sie sich hierzu die Seite über fakultative Arbeiten unter dem Kennwort "*Sonnenkalender*" auf der Grundlage von Schattenmarkierungsfächern an.
Ist dies nicht möglich, empfiehlt sich folgendes: Nach mehreren Schattenaufnahmen am Sonnenmittag werden Ihre Schüler durch Vergleich der Meßwerte erkennen, daß sich die Länge des Schattens mit den Tagen verändert (vom 21. Dezember bis 21. Juni wird er kürzer und wird dann bis 21. Dezember wieder länger). Sie begreifen dann, warum der Schatten von einer Jahreszeit zur anderen als Kalender dienen kann.
Durch sehr genaue Schattenmessungen zur Sonnenmittagszeit kann man aber auch von Woche zu Woche leichte Unterschiede zwischen den Schattenmarkierungen nachweisen, die deutlich machen, daß der Zeitpunkt des Sonnenmittags nach unseren Uhren nicht mehr ganz derselbe ist wie acht Tage vorher.

Weitere Messungen werden zeigen, daß diese Unterschiede im Jahresverlauf fluktuieren und Schwankungen der Sonnenmittagszeit gegenüber unseren Uhren nach sich ziehen. Die Ursache hierfür ist, daß unsere Uhren nicht gewissen Unregelmäßigkeiten in den Bewegungen der Erde Rechnung tragen, die darauf zurückzuführen sind, daß die Erdachse nicht senkrecht zur Erdbahnebene ist und die Erdumlaufbahn nicht kreisförmig sondern leicht elliptisch ist.
Nach diesen Untersuchungen werden die Schüler die unklaren Punkte in der ihnen vorgelegten Textstelle verstehen. Sie wissen jetzt, daß die Markierungen des Schattens eines Stabes während einiger Tage die Sonnenuhrzeit verhältnismäßig genau anzeigen können, aber nicht während eines längeren Zeitraums, daß aber gerade deswegen die Schattenmarkierungen Aufschluß über den Ablauf der Jahreszeiten geben. Jetzt wird ihnen klar sein, warum der Schatten am Sonnenmittag die beiden Funktionen erfüllen kann. Und natürlich haben sie mit der Entdeckung des Sonnenmittags erkannt, welche zusätzliche Bedeutung dessen Schatten für die "*Karawanenführer und die Erbauer der Pyramiden*" hatte; Die Nordrichtung ermöglichte es Ersteren, sich auf ihrer Reise zu orientieren, und Letzteren, ihre Bauwerke auszurichten. Anhand einer Dokumentation über die ägyptischen Pyramiden werden die Kinder sehen, daß deren quadratischer Grundriß genau nach den vier Himmelsrichtungen ausgerichtet ist. Manche werden bemerken, daß einige Pyramiden von einem Mauerrechteck mit Ost-West-Ausrichtung umgeben sind, und daß die berühmte Sphinx von Gizeh genau nach Osten schaut, wo Re, der Sonnengott, aufgeht, und den Rücken nach Westen kehrt, wo Grabmäler und die Totentempel errichtet wurden.

---

3) Simulation des Laufs der Sonne mit Kulmination am Sonnenmittag.

Dauer : 30 - 40 Minuten (ohne die Schemata)

Ort : leicht abgedunkelter Raum.

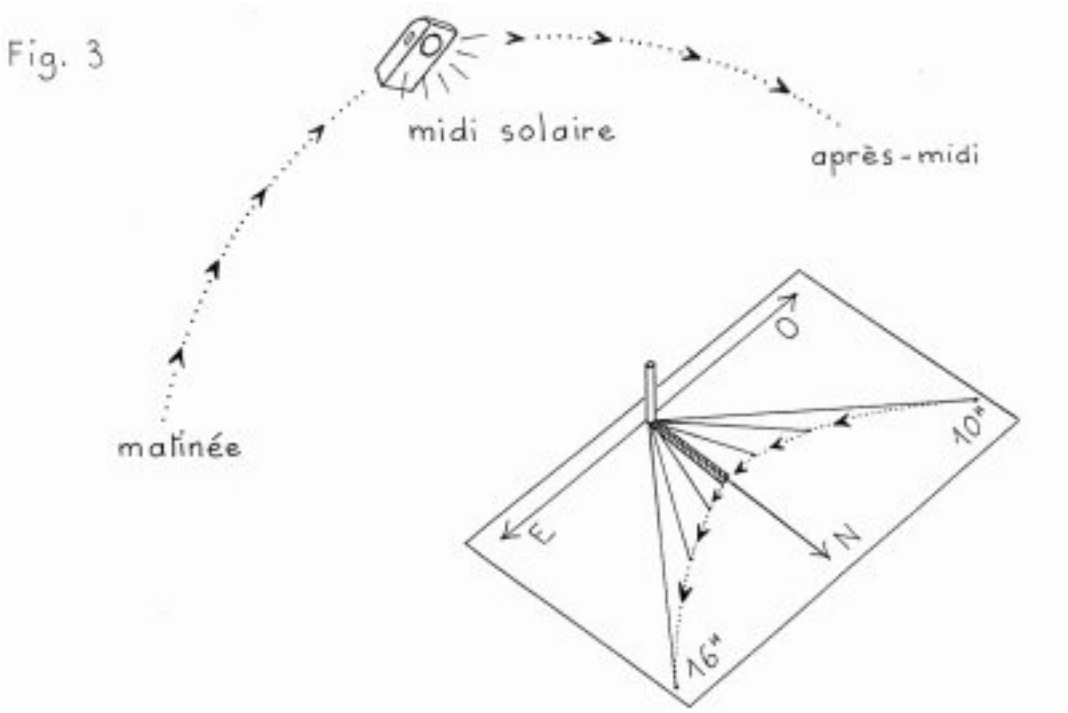
Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern :
der Gnomon, der für die Ermittlung des Sonnenmittags benutzt wurde,
die Pause mit den entsprechenden Markierungen,
ein großes weißes Blatt,
eine Taschenlampe..

Wir kommen jetzt zu einem Versuch, der Ihre Schüler begeistern wird (und an den manche vielleicht schon gedacht haben). Es geht darum, mit einer Taschenlampe und den Schattenmarkierungen vom Tag der Entdeckung des Sonnenmittags die Bewegung der Sonne im Zeitraffer zu reproduzieren. Jede Gruppe stellt also ihren Gnomon auf einem Tisch auf und legt das Blatt mit den betreffenden Schattenmarkierungen auf die Unterlage.

Den Schatten in die einzelnen Markierungen projizieren .

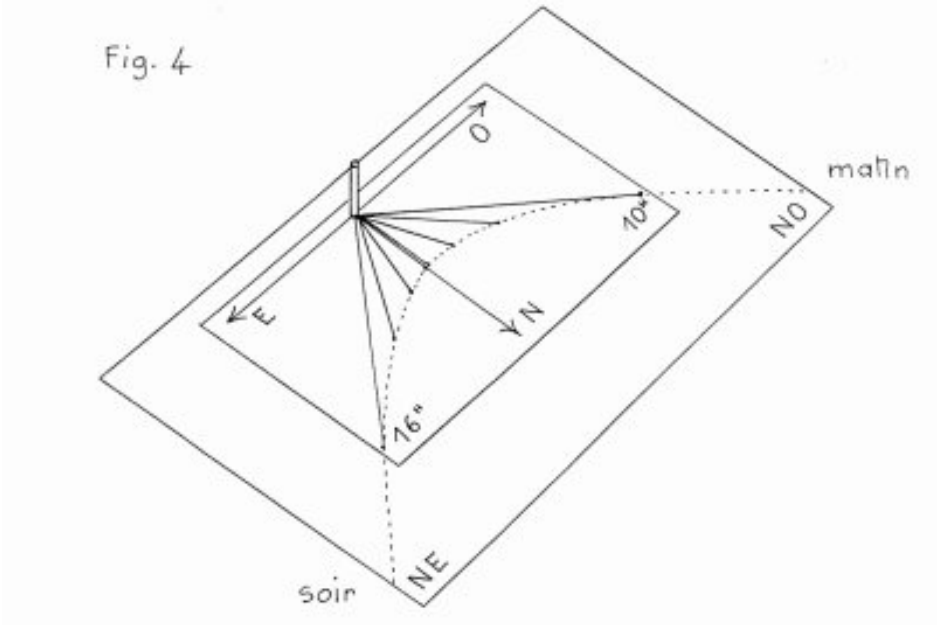
Die Schüler bemühen sich abwechselnd, mit einer Taschenlampe den Schatten des Gnomons in jede der Markierungen wandern zu lassen und ihn dabei auch genau an deren Höhe anzupassen. Ihre Kameraden beobachten aufmerksam, wie die Lampe hinter dem Gnomon sowohl in der Seite als auch in der Höhe bewegt werden muß. Um den Sonnenmittag zu simulieren, muß sie effektiv am höchsten gehalten werden. Während die Schüler zu Beginn noch etwas unsicher sind und bei jeder Markierung eine kleine Pause einlegen, gelingt es ihnen später, ihre Lampen kontinuierlich zu führen.



Den Lauf der Sonne vom Aufgang bis zum Untergang simulieren

.

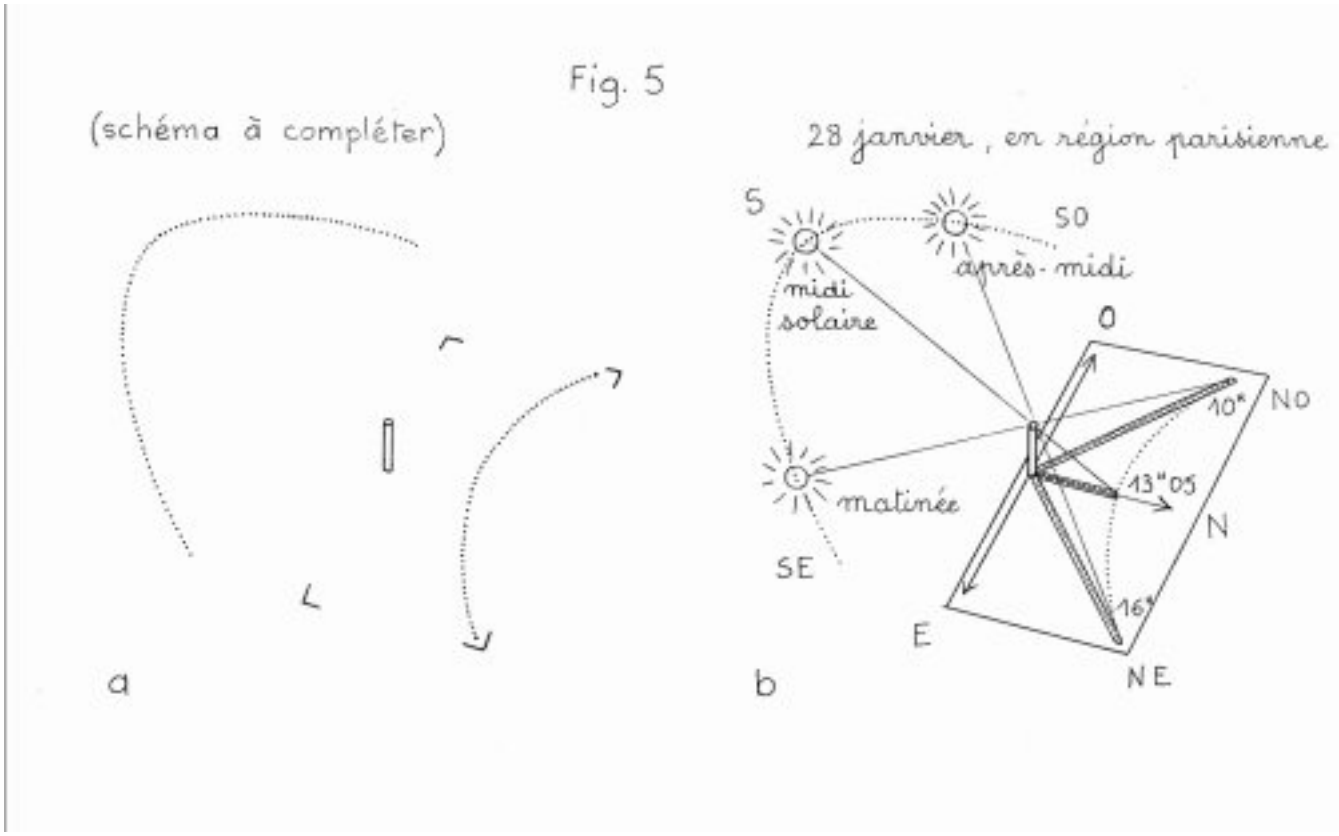
Lassen Sie die Schüler aus den Markierungen auf der Pause die gesamte Bahn der Sonne vom Morgen bis zum Abend ableiten und dann simulieren. Manche Schüler versuchen spontan, ihre Lampe beiderseits weiterzuführen, während andere Richtung und Länge der Markierungen untersuchen, um herauszufinden, welche am Anfang und wleche am Ende liegen. Sie halten es daher für notwendig, die Markierungen an der Spitze miteinander zu verbinden und die sich so ergebende Kurve an beiden Seiten zu verlängern. Sie brauchen hierfür ein großes weißes Blatt, das sie unter ihre Pause legen, um dann die Kurve auf der rechten und linken Seite des Fächers zu verlängern. Dann lassen sie mit ihrer Lampe die Spitze des Schattens die Kurve beschreiben. Diejenigen, denen dies mit einer kontinuierlichen Bewegung gelingt, rühmen sich, "*die echte Sonne nachahmen zu können*".



Sie sollten dieses Hochgefühl nutzen und danach fragen, in welcher Richtung die Sonne nach dieser Kurve ungefähr aufgeht und untergeht. Später, wenn die Simulation nach neuen Schattenaufnahmen wiederholt wird, werden die Schüler feststellen, daß diese Richtungen sich auch verändern. Nach der Wintersommerwende, bei der sie im Nordosten erscheint, geht die Sonne immer weiter im Osten auf und sie erreicht diese Richtung bei der Frühjahrs-Tagundnachtgleiche. Dann verschiebt sich ihr Aufgang nach Südosten bis zur Sommersonnenwende; danach kehrt sich die Aufgangsrichtung bis zur Wintersommerwende wieder um.

Schematische Darstellung der Simulation .

Nach mehreren Versuchen merken die Kinder, daß es schwierig ist, diese Simulation ohne perspektivische Effekte auf befriedigende Weise schematisch darzustellen, und Perspektive ist den meisten von ihnen nicht geläufig. Sie können dann Photokopien verteilen, auf denen nur der Gnomonstab (Zahnstocher), die beiden gestrichelten Kurven und die vier Ecken der Unterlage wiedergegeben sind (Abb. 5a). Die Schüler sollen dieses Schema nach den Markierungen auf ihrer Pause ergänzen. Um aber den Mittelteil nicht zu überladen, sollen sie nur die drei Hauptlichtstrahlen und die drei entsprechenden Schatten einzeichnen (Abb. 5b).



Zur Vertiefung schlagen wir die fakultative Aktivität auf der Seite "Simulation derjahreszeitlichen Veränderungen des Schattens eines Gnomons" vor.

---

4) Simulation des Sonnenmittags mit Hilfe eines Balls.

Dauer : Zwei Unterrichtsstunden von je 30 Min. (ohne die Eintragungen).

Ort : ein etwas abgedunkelter Raum.

Lernmittel :

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern:

:1. Unterrichtsstunde: ein größerer, glatter, einfarbiger Ball,
ein Zylinder aus Zeichenpapier, der weiter als höher ist,
auf den der Ball gelegt wird,
Material für 5 oder 6 gleichartige "Minignomone" nicht höher als 1 cm (Polster- oder Flachkopfnägel, kleine Schrauben, Nieten, Streichholzstücke),
Klebstoff,
eine Taschenlampe..

2. Unterrichtsstunde: das gleiche Material
außerdem eine "Minikarte" von Ägypten (Verkleinerung durch Photokopie)
die Entfernung Alexandria - Syene soll ungefähr 1/7 des Ballumfangs betragen (mit einer Schnur gemessen),
das ist bewußt mehr als auf einem Globus;
die "Minikarte" wird in der Breite so beschnitten, daß nur das Nildelta und das Niltal bis Syene übrigbleiben.

Wenn Ihre Schüler von der vorhergehenden Simulation begeistert waren, so werden sie es von den jetzt folgenden noch mehr sein, geht es doch jetzt darum, aus dem "Weltraum" die Auswirkungen der Umdrehung eines "Erd-Balls" um sich selbst zu beobachten, auf dem man "Minignomone" angebracht hat und der von einer dieses Mal nicht bewegten "Sonnen-Lampe" angestrahlt wird. Die Bedingungen sind also im Vergleich zu den vorhergehenden Simulationen, wo man die "Sonnen-Lampe" über der unbeweglichen platten "Erd-Oberfläche" bewegte, umgekehrt.

1. Unterrichtsstunde :

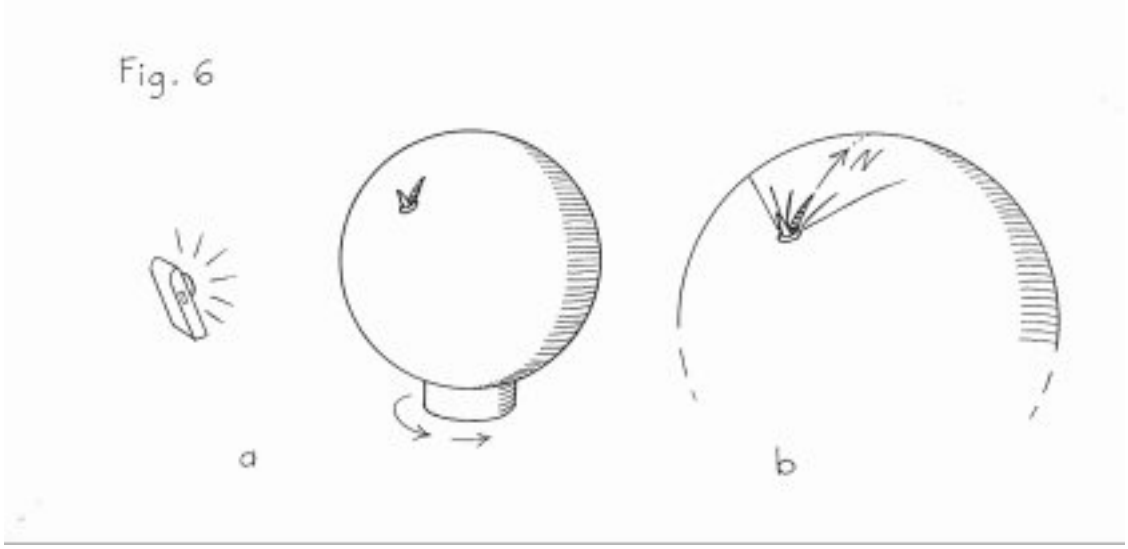
a) Auf dem Ball beobachten, was beim Gnomon in der Sonne beobachtet wurde.

Jede Gruppe befestigt an einer beliebigen Stelle des Balls einen "*Minignomon*" (z.B. eine Schraube), setzt den Ball auf den Zylinder und stellt das Ganze auf einen Tisch. Damit der Zylinder sich nicht verschieben kann, wird er an vier Stellen mit Plastilin fixiert. Dann sollen die Schüler mit dem von der unbeweglichen Lampe angestrahlten "*Minignomon*" durch Drehen des Balls die Bewegung und die Längenveränderungen des Schattens herausfinden, die sie vorher beim Gnomon in der Sonne beobachtet hatten.

Hierbei stellt sich eine Reihe sehr interessanter Fragen: Wie muß der Ball zur Lampe liegen? In welche Richtung muß er gedreht werden? Wie findet man den Sonnenmittag? Was tun, wenn dann der Schatten im Verhältnis zur Höhe der Schraube zu lang oder zu kurz ist?

Das läßt rege Diskussionen und mannigfaches Probieren erwarten. Aber die Kinder werden letztlich alle Probleme lösen und erfreut sehen, daß sich der Schatten ihrer kleinen Schraube genau so verhält wie der

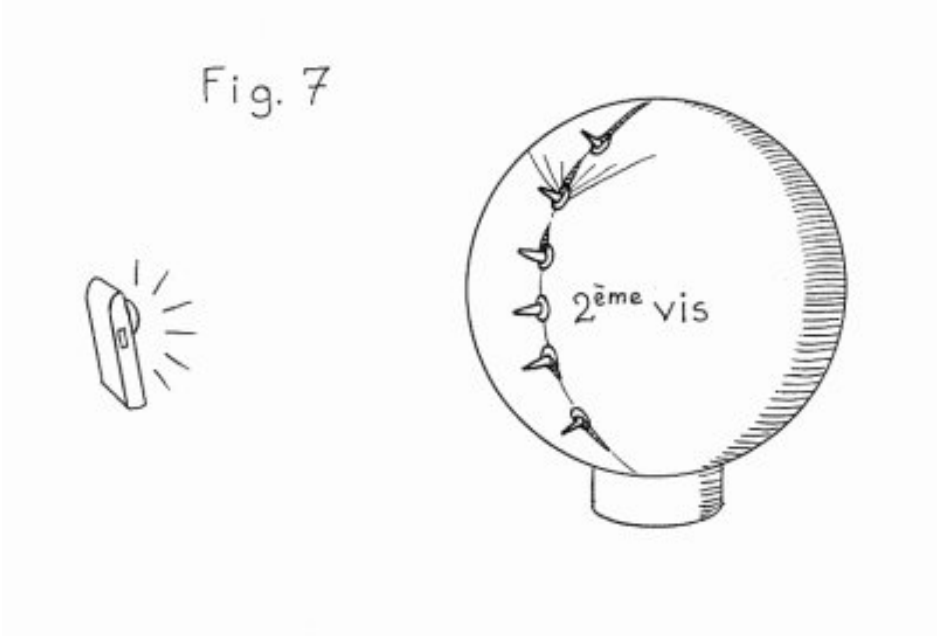
Schatten des Gnomons "*in der echten Sonne*". Um dies zu erreichen, mußten sie eine Menge Dinge begreifen, vor allem, daß der Ball in der entgegengesetzten Richtung zu der vorher beobachteten Richtung der Schatten, also im entgegengesetzten Uhrzeigersinn, gedreht werden mußte.
.



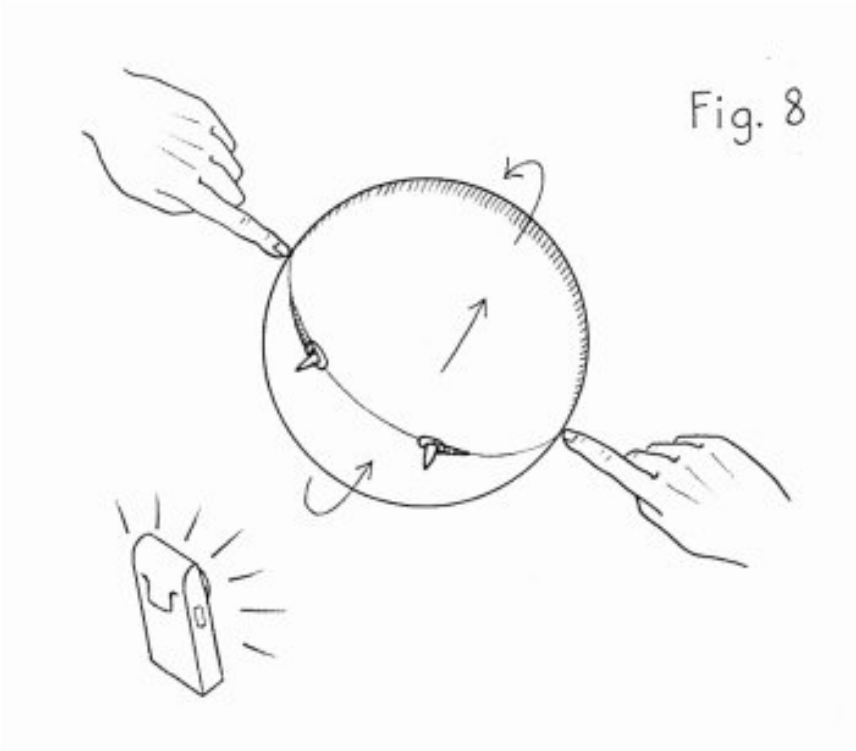
In manchen Gruppen hat man sicher schon mit dem Kugelschreiber den Fächer der "Minimarkierungen" des Schattens der Schraube gezeichnet und vielleicht sogar schon durch eine bis zum "Pol" des Balls reichende Gerade mit Pfeil "genordet" (wir kommen hierauf später zurück). Alle Kinder haben natürlich die "Tag-" und "Nachtseite" des Balls beobachtet und wie die Schraube "morgens" und "abends" von der einen zur anderen wanderte.

b) Mehrere "Minignomone" so plazieren, daß sie gleichzeitig "Sonnenmittag" haben.

'Hier werden Ihre Schüler auf experimentellem Wege mit dem "*Meridian*" bekanntgemacht. Die Kinder sollen auf jedem Ball, auf dem die erste Schraube bei eingeschalteter Lampe in der Stellung *"Sonnenmittag"* steht, ohne den Ball zu drehen oder die Lampe zu bewegen, eine zweite Schraube so anbringen, daß sie keinen Schatten wirft. Danach sollen sie zwei oder drei weitere Schrauben so setzen, daß auch sie im "*Sonnenmittag*" stehen. Dies läßt sich durch Drehen des Balls überprüfen.
Die Schüler begreifen, daß die zweite Schraube in bezug auf die erste die Rolle des Stabes von Syene im Vergleich zu dem von Alexandria spielen wird. Daher finden sie auch rasch ihren Platz "*südlich*" von der ersten Schraube. Diejenigen, die davor eine Linie bis zum "*Nordpol*" des Balls gezogen hatten, sehen sofort, daß die zweite Schraube irgendwo auf die Verlängerung dieser Linie gesetzt werden muß. Daher finden sie auch ohne weiteres die Position für die anderen Schrauben, die sie in gleicher Weise miteinander verbinden. Und dabei machen sie interessante Feststellungen für den weiteren Verlauf des Projekts, nämlich daß die Schatten mit der Linie zusammenfallen, daß sie nach den "Polen" zu allmählich länger werden und daß die Schatten der Schrauben "südlich" von der zweiten zum "*Südpol*" zeigen.



Fragen Sie nun, wo die Linie, die alle Schrauben miteinander verbindet, hinführt, wenn man sie nach beiden Seiten verlängert. Man wird Ihnen antworten, daß sie um den Ball herumführen wird, und dann hinzufügen: "Wenn man auch auf die Rückseite Schrauben setzt und den Ball dreht, dann werden auch diese Schrauben alle gleichzeitig "Sonnenmittag" haben". Dies werden die Schüler natürlich ausprobieren. Manche Schüler werden sich aber auch unter Hinweis auf einen Globus oder auf Schemata, die sie in Büchern gesehen haben, fragen, was bei einer "*geneigten Erde*" geschieht, da sie sich nicht vorstellen können, daß die Schatten dann wie bei dem "*gerade*" auf dem Zylinder liegenden Ball auch zu den "Polen" zeigen. Aber wie läßt sich dies herausfinden? Das Einfachste und Amüsanteste ist, den Ball an den beiden "Polen" zwischen den Zeigefingerspitzen zu halten, ihn etwas zu neigen und ihn mit Hilfe der Daumen zu drehen: Die Kinder stellen fest, daß, ganz gleich wie stark man den Ball neigt und sogar waagerecht hält, die Schatten am "*Sonnenmittag*" immer auf den Meridian (Längenkreis) ausgerichtet bleiben !

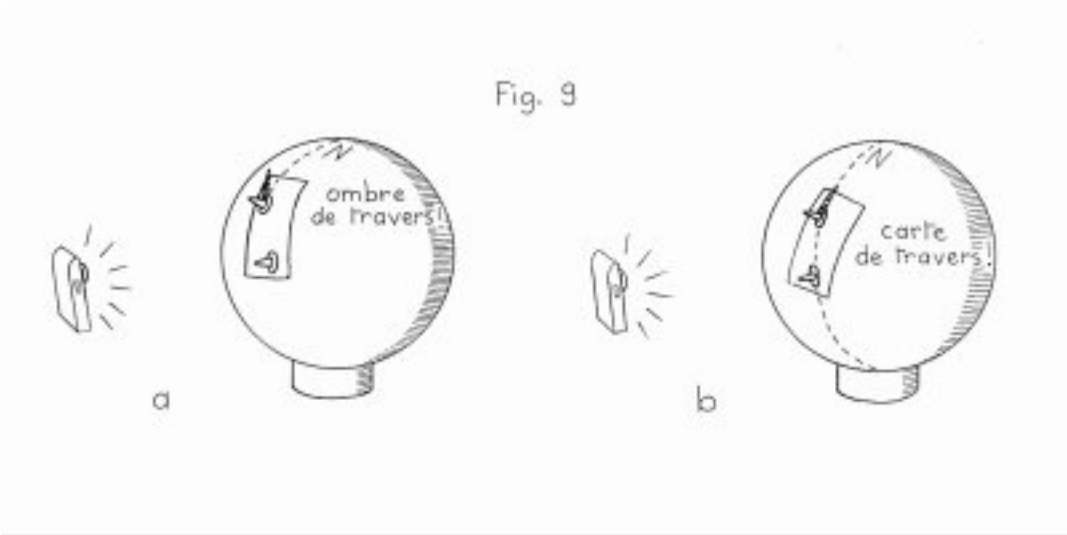


Zweite Unterrichtsstunde

a) Den Sonnenmittag in Alexandria und Syene reproduzieren.

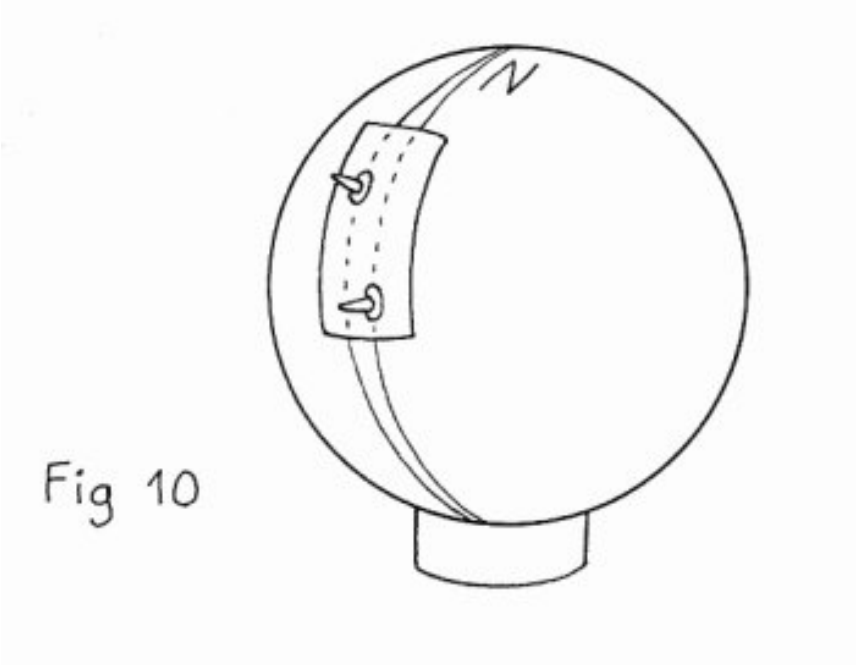
Da die beiden Städte nicht auf dem selben Längenkreis liegen (sie liegen um ungefähr 3,5 Längengrade auseinander wie in Frankreich z.B. Le Havre und Auxerre), werden die Schüler neue Probleme lösen müssen ... Geben Sie jeder Gruppe die zurechtgeschnittene "Minikarte" von Ägypten (s. unter Lernmittel) und lassen Sie die Karte so auf dem Ball plazieren, daß man die Beobachtungen des Eratosthenes, d.h. den Sonnenmittag in Alexandria und in Syene nachvollziehen kann.

Nachdem die Schüler die beiden Schrauben auf die "Minikarte" geklebt haben, legen sie diese senkrecht auf den Ball gegenüber der Lampe und verschieben sie so, daß der Schatten in Syene verschwindet. Dann kleben sie den Kartenstreifen an den vier Ecken an den Ball. Doch da tritt ein Problem auf: Der Schatten in Alexandria "*hat sich nicht ganz gerade gerichtet*" und zeigt also nicht zum "Nordpol". (Auch bei dem kleinen Versuchsmaterial ist dies wegen des Größenverhältnisses zwischen der Breite des Kartenstreifens und der Krümmung des Balls deutlich zu sehen).



Die Kinder versuchen, dem abzuhelfen und drehen den Ball etwas: Der Schatten "*richtet sich gerade*" - und wird ein wenig kürzer - aber da taucht ein neues Problem auf: In Syene ist ein kleiner Schatten entstanden.

Manche erinnern sich an die vorhergehende Simulation und wollen beide Städte auf den auf den Ball gezeichneten "Längenkreis" legen. Und sie erreichen tatsächlich, daß der Schatten in Alexandria zum "Nordpol" zeigt und der in Syene verschwindet. Aber es gibt immer noch ein Problem: "*Jetzt hängt die Karte schief!*" Schlagen Sie den Kindern vor, die Karte wieder "gerade" zu schieben und aufmerksam die Bewegung der beiden Schatten vom "Sonnenaufgang" bis zum "Mittag" zu beobachten - Die Kinder werden entdecken, daß in Syene "*ein wenig vor Alexandria Sonnenmittag ist*" und daß sich damit schon wieder ein Problem stellt, denn das entspricht nicht dem hinstorischen Text, in dem es heißt, daß die Beobachtungen des Eratosthenes zur gleichen Zeit gemacht worden sind. Aber um welche Art von Zeit handelte es sich damals? Doch nicht um die Zeit auf unseren Uhren, die es ja damals noch gar nicht gab, sondern um die von der Sonne angezeigte Zeit, die aber auf dem Erdenrund wie auch auf dem Ball nicht überall gleich ist. Die Kinder begreifen auch, daß die beiden Städte auf verschiedenen Längenkreisen liegen, und daß man auf eine Kugel eine quasi unbegrenzte Zahl von Längenkreisen zeichnen könnte. Hierauf werden wir später zurückkommen .



Anmerkung: Weisen Sie nötigenfalls darauf hin (oder lassen Sie später berechnen), daß der Sonnenmittag in Alexandria fast eine Viertelstunde später als in Syene eintritt, daß aber dieser verhältnismäßig geringe Zeitunterschied Eratosthenes bei der Bestimmung des Meridians kaum gestört hat…

Hiernach wird den Schülern bewußt werden, daß es in unserer modernen Welt nicht mehr möglich ist, sich nach der Sonnenzeit zu richten: Ein Land muß auf seinem gesamten Hoheitsgebiet die selbe Zeit haben, und alle Länder der Erde müssen sich über ein System zur Festsetzung der sogen. gesetzlichen Zeit einig sein (Wir kommen hierauf später zurück).

Mit einem von einer Taschenlampe angestrahlten Ball läßt sich auch die Veränderung des Schattens eines "Minignomons" im Lauf der Jahreszeiten anschaulich simulieren (s. die bereits erwähnte Seite: "Simulation der jahreszeitlichen Veränderung des Schattens eines Gnomons")

b) Bestimmung des Zeitpunkts des Sonnenmittags an allen Orten während des ganzen Jahres.

Wie kann man sich im weiteren Verlauf des Projekts die Arbeit erleichtern, um mit nur einer Schattenaufnahme den genauen Zeitpunkt des örtlichen Sonnenmittags zu bestimmen? Hierfür gibt es mehrere Lösungen:

1. Man begnügt sich damit, nach einem Kompaß die Nordrichtung einzuzeichnen, wohl wissend, daß sie vom geographischen Norden leicht abweicht, womit man von vornherein einen kleinen "Fehler" in Kauf nimmt. Und dann wartet man den Augenblick ab, in dem der Schatten des Gnomons diese Richtung überschreitet.
2. Man zeichnet auf die Unterlage des Gnomons (dessen Umrisse auf dem Boden sorgfältig markiert werden) eine sogenannte Mittagslinie, d.h. einen Teil des örtlichen Meridians, die zum geographischen Norden zeigt. Dies ist insofern zweckmäßig, als man es nur einmal zu tun braucht (Es wird als fakultative Aktivität auf der Seite "Zeichnung der Mittagslinie" vorgeschlagen).
3. Man klickt sich auf die Website des Bureau des Longitudes (B.D.L.) ein, das für jeden Ort und jedes Datum die Zeit des Sonnenmittags angibt, aber in Weltzeit. In Frankreich muß man dann während der Standardzeit 1 Stunde und nach dem Übergang zur Sommerzeit 2 Stunden hinzufügen.

(Schon bei der ersten genau in dem vom B.D.L. angegebenen Zeitpunkt gemachten Schattenaufnahme können Sie die Mittagslinie einzeichnen, da sie sich mit der Schattenmarkierung deckt).
Sie können diese Projektphase auch um die von J. Carole 2001 vorgeschlagenen spielerischen Aktivitäten : erweitern, mit denen gezeigt wird, wie sich an einer durchsichtigen Halbkugel (eine umgedrehte Salatschüssel oder ein sehr feines Sieb) die Bahn der Sonne verfolgen läßt. Diese Aktivität ist das ganze Jahr über möglich, sofern der Himmel mitspielt.

In der folgenden Projektphase werden die Kinder mit den Einfallswinkeln der Sonnenstrahlen bekanntgemacht: Sie lernen, sie zu zeichnen, zu messen und zu interpretieren.

Séances optionnelles (Séquence 3)

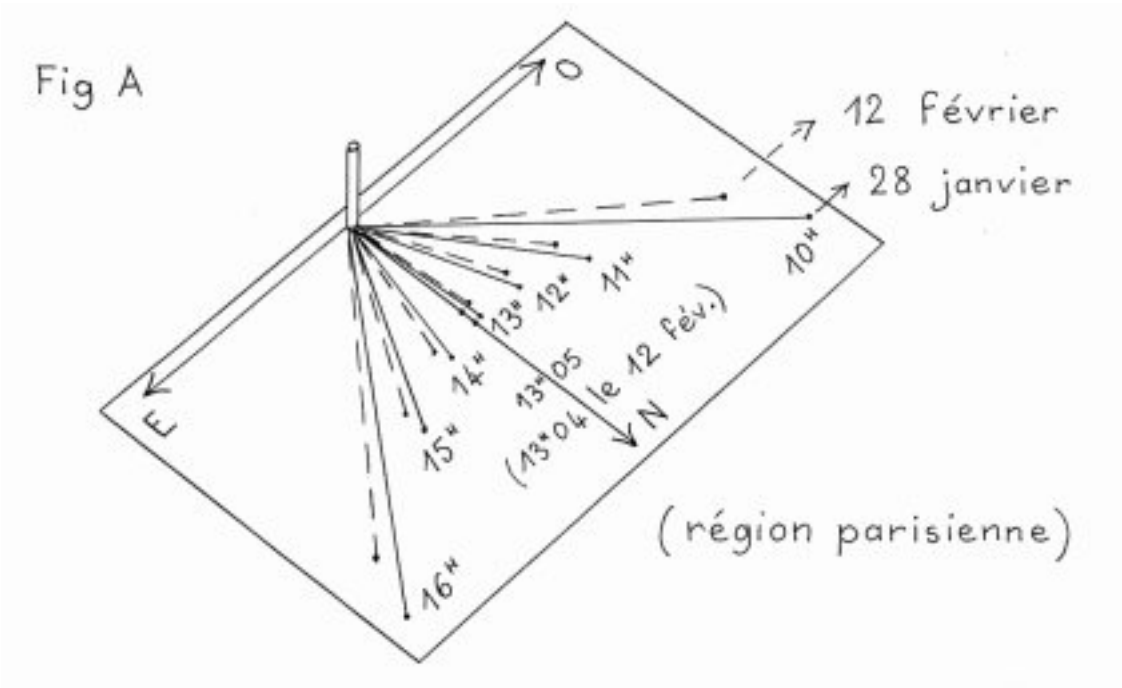
Un "calendrier solaire" à partir d'éventails de traces d'ombre

---

Découvrir comment l'ombre peut servir de *" calendrier "*.

Au moins une dizaine de jours (et même plus) après la date mémorable du dernier relevé d'ombre, les élèves réinstallent leurs gnomons au soleil avec la feuille des tracés correspondants pour voir si, comme la dernière fois, l'ombre va se replacer à l'heure dite sur les tracés. Eh bien, non ! En effet, dès la première observation du matin un décalage est bien visible, comme si l'ombre était " en retard " (si cela se passe après le 21 décembre, ou l'inverse si c'est avant). On se dépêche alors de placer une nouvelle feuille de calque par-dessus l'autre, et, tandis que l'on trace l'ombre, on s'aperçoit qu'elle est aussi un peu plus petite ! (ou plus longue). L'orientation du gnomon mise rapidement hors de cause, on en déduit que *" le Soleil n'est plus tout à fait au même endroit que l'autre jour ! "*. Les observations faites aux autres heures de la journée vont confirmer le phénomène, à une exception près néanmoins concernant l'ombre du midi solaire : elle est la seule à ne s'être pas décalée, ayant juste raccourci (ou rallongé) un peu.
Là aussi cependant, un relevé très précis à l'heure dite du midi solaire peut mettre en évidence un léger décalage révélant que, *par rapport à nos montres*, le moment du midi solaire n'est plus tout à fait le même qu'il y a une dizaine de jours. D'autres relevés montreront que ce décalage fluctue tout au long de l'année, entraînant des variations de l'heure du midi solaire à nos montres. La cause en est que ces dernières ne tiennent pas compte de certaines irrégularités des mouvements de la Terre dues au fait que l'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de la trajectoire de notre planète autour du Soleil, et que cette trajectoire n'est pas circulaire mais légèrement elliptique.
Note : on peut également observer ces fluctuations à partir d'un calendrier indiquant l'heure du levée et l'heure du coucher du Soleil et étudier à l'aide d'un graphique les variation de l'heure de la mi-journée (heure du coucher moins heure du levée divisée par 2) au cours de l'année.

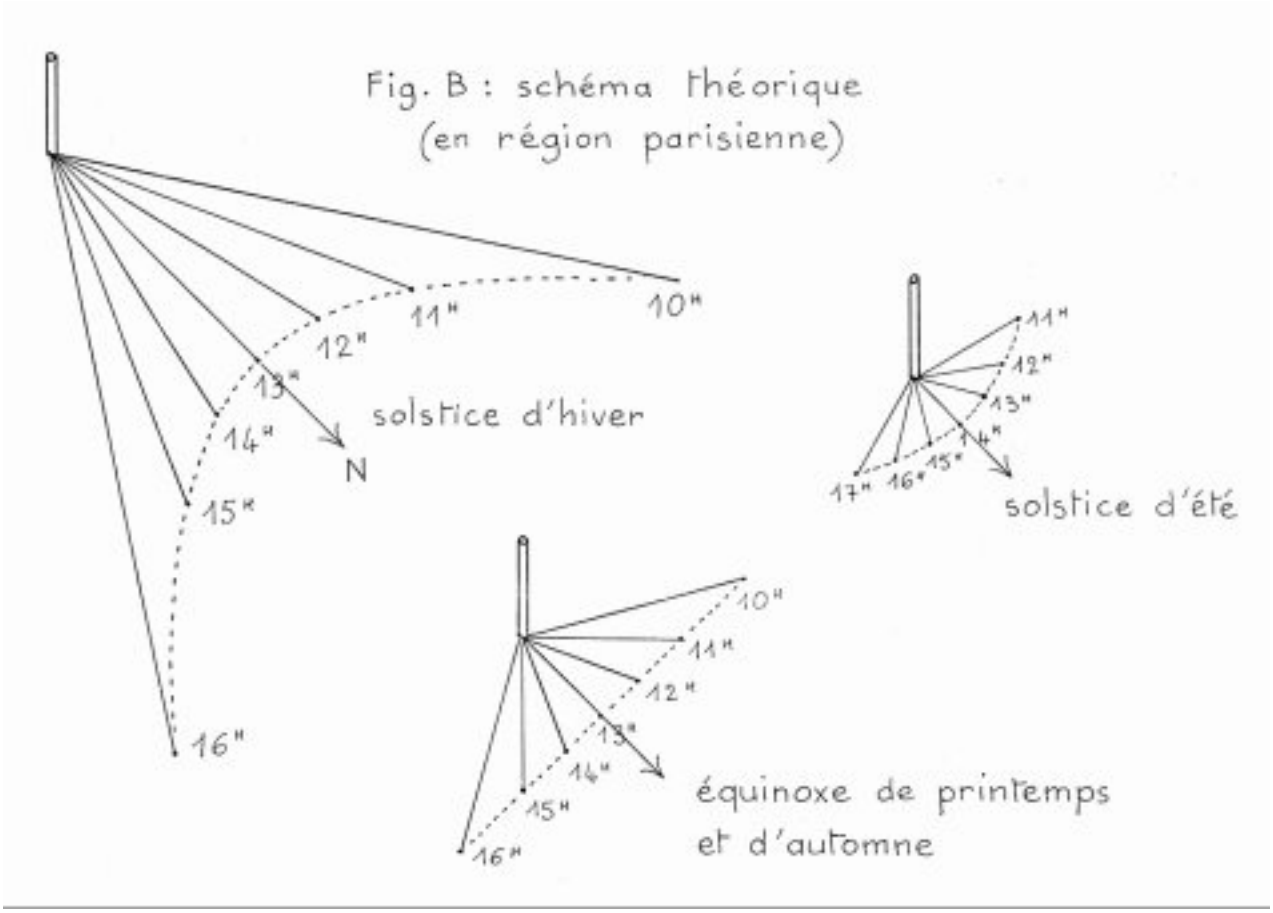
Les élèves remarquent ensuite que les décalages des nouveaux tracés sont symétriques par rapport au tracé du midi solaire, leur éventail s'étant un peu " ouvert " (ou " fermé ").



S'ils savent expliquer la cause du changement de longueur des tracés de l'éventail, ils sont bien embarrassés pour trouver une explication à son "ouverture " (ou à sa " fermeture "). En effet, cela relève d'un domaine de la géométrie dans l'espace (la section des coniques) : l'extrémité de l'ombre décrit durant la journée une courbe appelée hyperbole, laquelle évolue et s'inverse d'un solstice à l'autre, devenant une simple droite au moment de la phase intermédiaire que représentent les deux équinoxes. D'où l'intérêt de refaire des tracés plusieurs fois dans l'année pour suivre cette évolution.

Remarques utiles à propos des " calendriers " solaires.

La figure ci-dessous montre, de façon théorique, les éventails des tracés d'ombres d'un même gnomon (sous nos latitudes) lors des solstices et des équinoxes. On voit que l'axe de symétrie correspond à l'ombre au midi solaire, moment que l'on a fait coïncider, pour simplifier, avec l'heure entière de la mi-journée. Il en résulte que les deux tracés symétriques formant chaque paire ont une longueur égale. Or, comme n'auront pas manqué de le constater vos élèves, il y a généralement une différence de longueur entre les deux, entraînant une dissymétrie globale de l'éventail plus ou moins accusée : pourquoi cela ? C'est parce que les relevés ont été faits à chaque heure entière et que le moment réel du midi solaire, comme nous l'avons vu, ne coïncide pas avec celui de 13 h (ou 14 h) en un lieu donné : le relevé de 13 h (ou 14 h) ne peut donc pas être l'axe de symétrie. Autre remarque concernant cette fois les angles formés par les tracés d'un même éventail : ils ne sont pas égaux dans la réalité, affichant un minimum tôt le matin et tard l'après-midi, et un maximum autour du midi solaire, cela pour une question de géométrie dans l'espace, qui n'est pas à la portée des élèves (mais qui n'aura pas d'incidence pour la poursuite du projet !)



© INRP, Académie des sciences

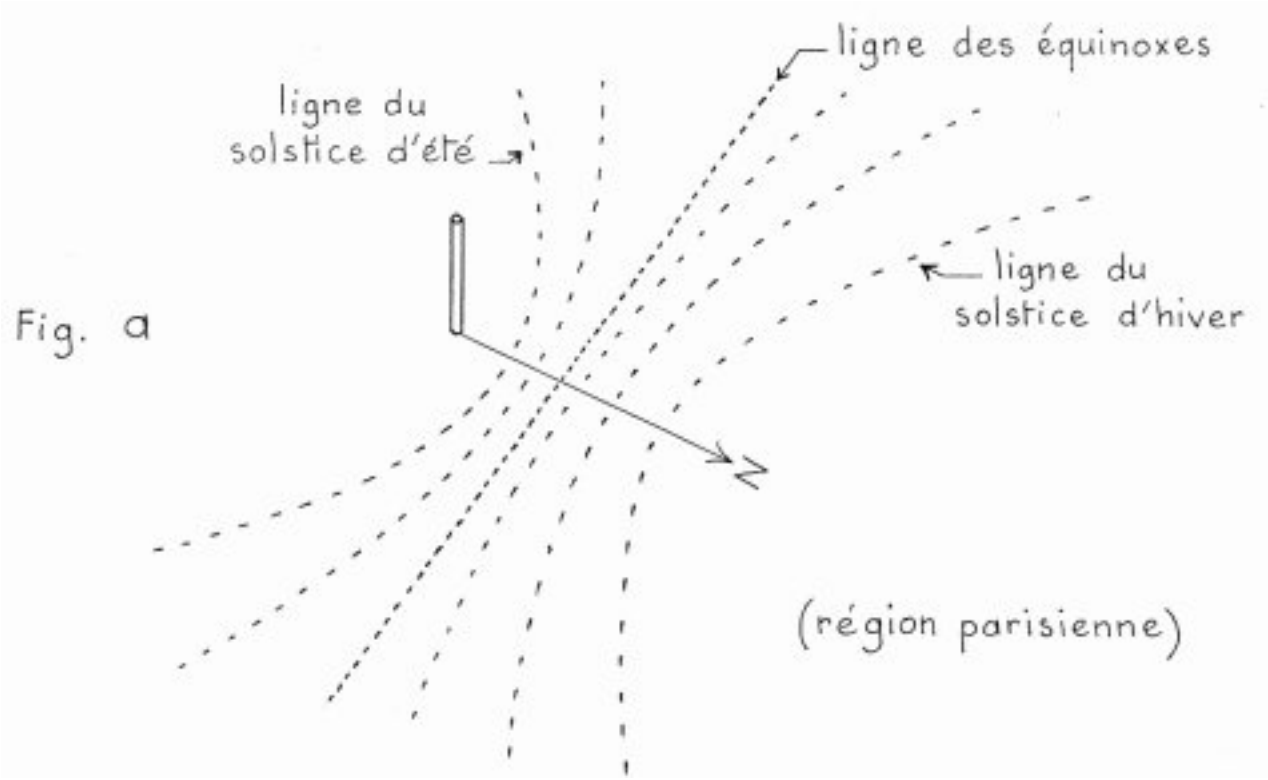
Séances optionnelles (Séquence 3)

Simuler les variations saisonnières de l'ombre d'un gnomon.

Les simulations proposées ici concernent l'évolution de la ligne que décrit l'extrémité de l'ombre d'un gnomon au cours de la journée, au fil des saisons. Elles devront être précédées d'une séance de relevés plusieurs fois durant l'année scolaire (deux par trimestre au minimum).

Simulation au moment de l'équinoxe de printemps (ou d'automne !)

Au vu des relevés faits en automne ou en hiver et des simulations qui ont suivi, vos élèves penseront peut-être que la forme de la courbe décrite par la pointe de l'ombre est le reflet inversé de celle décrite par le Soleil (ou par leur lampe). Cette nouvelle simulation leur prouvera qu'il n'en est rien. L'idéal est de faire auparavant une nouvelle séance de relevés très proche de l'équinoxe (à défaut du jour même), succédant à une autre faite deux semaines auparavant, cela afin que vos élèves constatent déjà que la courbe est devenue peu à peu… une droite ! (Le cas échéant, préparez des feuilles avec un simple trait rectiligne assez long, en avant de la base des gnomon). En manipulant leur lampe comme précédemment, les enfants se rendront compte que celle-ci est " bien obligée " de décrire une courbe ! (Et ils auront l'intuition que la géométrie régissant le phénomène n'est pas si simple qu'il l'y parait…).
D'autre part, si une nouvelle séance de relevés a lieu peu après l'équinoxe, les élèves verront s'amorcer la nouvelle tendance de la ligne reliant l'extrémité des tracés : demandez-leur d'anticiper ce qu'elle va devenir, de noter leurs hypothèses, et bien sûr de les vérifier sur le terrain le moment venu. Il est fort probable que, vers la fin du projet, certains élèves puissent prédire avec justesse ce que va faire la courbe durant l'été puis durant l'automne : mais ils ne pourront le vérifier que grâce à un gnomon réalisé à la maison ! (La figure ci-dessous est à mettre en parallèle avec la figure B de la fiche d'activités optionnelles " Un calendrier solaire à partir d'éventails de tracés d'ombre ".)

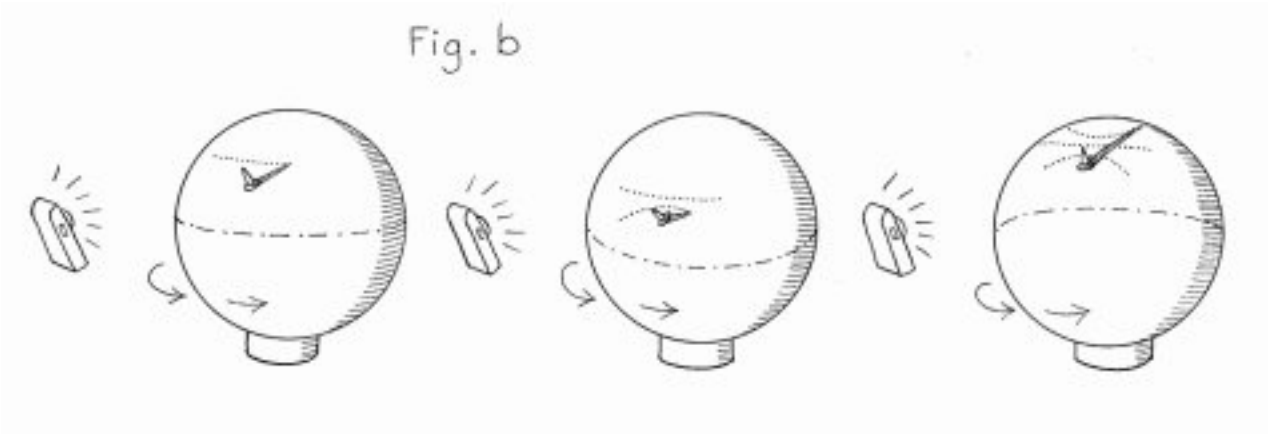


Les deux équinoxes présentent aussi un autre intérêt, en relation avec l'angle des rayons solaires au

moment du midi du Soleil, et… de la latitude du lieu. Si vos élèves ont déjà abordé ces deux notions et qu'ils ont commencé à faire quelques mesures de l'angle concerné, ils s'apercevront qu'un jour d'équinoxe, la valeur de cet angle correspond à la latitude de leur école !
En effet, ce jour-là, le Soleil éclaire la Terre d'une façon particulière. Notre planète étant éclairée par moitié, le bord circulaire de sa moitié " jour " passe exactement par les deux pôles : un gnomon - sur la " vraie " Terre - que l'on planterait en ces deux endroits aurait donc une ombre infiniment longue puisque l'angle des rayons solaires arrivant à l'horizontale ferait 90° (c'est bien la latitude des deux pôles). Inversement, au niveau de l'équateur, les rayons tombant à la verticale sur le gnomon (où il n'y aurait pas d'ombre), l'angle serait nul ((latitude 0° à l'équateur). De la même façon, tous les autres lieux sur Terre ont aussi ce jour-là la valeur de leur angle au midi solaire égale à celle de leur latitude.

Simulation sur les variations saisonnières à l'aide d'un ballon

(Se reporter auparavant à la partie 4 de la séquence 3)
Un minuscule gnomon de pâte à modeler étant fixé sur le ballon éclairé par une lampe de poche, les enfants s'amusent à repérer avec un stylo le déplacement de la pointe de l'ombre tandis que le ballon tourne lentement (entraîné par le socle qui doit bien rester en place tandis qu'on le met en rotation). Ils comparent ensuite la ligne obtenue (1) avec celles qu'ils ont pu déjà obtenir sur leurs calques (relevés d'ombre en extérieur) et réfléchissent au moyen de reproduire l'une de ces lignes…
La consigne étant de laisser la lampe immobile et de ne pas déplacer le gnomon, les élèves finissent par comprendre qu'il faut, en position de midi solaire, basculer légèrement le ballon par rapport à la lampe. Cela, soit vers l'avant pour obtenir une " courbe été " (2), soit vers l'arrière pour obtenir une " courbe hiver " (3). Sur la figure ci-dessous, la ligne de l'équateur permet de visualiser ce basculement :



Mais, au fait… la Terre bascule-t-elle vraiment dans l'espace au cours d'une année ?
Voici une question très intéressante que les enfants pourront résoudre mais cette fois en faisant graviter une mappemonde autour de quelques lampes (en cercle) représentant le Soleil : ils verront, par exemple au niveau de la France, que pour obtenir le même effet tandis que la mappemonde accomplira son périple, son axe devra toujours rester parallèle à lui-même : quand l'axe semblera s'incliner vers le " Soleil ", ce sera l'été en France, et quand, à l'opposé, il semblera, se " pencher en arrière ", ce sera l'hiver. Les enfants en déduiront bien sûr la position de la mappemonde au printemps et à l'automne.

Projektphase 4

Den Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der Senkrechten messen

Einleitung

In dieser Projektphase werden die Kinder zunächst mit Winkeln vertraut gemacht. Sie bauen danach gemeinsam einen Gnomon als Sinnbild des Projekts und stellen dann erste Messungen des Winkels zwischen den Sonnenstrahlen und der Senkrechten an, wie es auch der Gelehrte Eratosthenes getan hat.

Im Laufe dieser Projektphase werden Sie Ihre ersten Messungen mit dem Eratosthenes-Gnomon machen. Um ihre Genauigkeit beurteilen und verbessern zu können, raten wir Ihnen, die Anleitung zur Projektphase 4 aufmerksam durchzulesen.

Begriffe, die angesprochen werden

Winkel; Winkelgleichheit; schematische Darstellung des Winkels der Sonnenstrahlen zur Senkrechten; Verhältnis; Benutzung eines Winkelmessers; Verwendung einer Maßtabelle; Vergleich und Interpretation von Meßwerten; Veränderung des Einfallwinkels der Sonnenstrahlen im Laufe des Jahres ....

Vorbemerkung: die Messungen des Eratosthenes.

Nachdem die Kinder mit Eratosthenes den Zeitpunkt des Sonnenmittags entdeckt haben, werden sie die ersten für dieses Projekt spezifischen Messungen machen. Lassen Sie sie folgende kurze Textstelle lesen, die sie veranlassen wird, sich mit Winkeln zu befassen :

"Eratosthenes hatte an einem 21. Juni beschlossen, am Sonnenmittag den Schatten eines in der Nähe seiner Bibliothek stehenden Obelisken zu beobachten, und er wollte etwas mehr darüber wissen. Er wollte den Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und dem Obelisken (von dem er wußte, daß er ungefähr 8 m hoch war) genau bestimmen. Er wartete, bis die Sonne am höchsten stand, um den Schatten auf dem Boden zu messen. Dieser maß genau 1 m. Nachdem er in seine Bibliothek zurückgekehrt war, um seine Beobachtungen auszuwerten, gelangte er zu dem Schluß, daß die Sonnenstrahlen im Zeitpunkt der Messung einen Winkel von 7,2° mit der großen Granitsäule bildeten ..."

Könnt ihr herausfinden, wie Eratosthenes es angestellt hat, um die Größe des Winkels zu finden, und ihn dann selbst messen?"

Inhaltsverzeichnis:

Cette séquence se compose de quatre parties, chacune pouvant faire l'objet d'une ou deux séances, ou d'une simple activité ponctuelle durant l'intervalle du déjeuner (ou plutôt en début d'après-midi puisque l'on vient de passer à l'heure d'été !).

1) Arbeiten zur Winkelmessung

2) Wie kommt man auf die Winkelmessung des Eratosthenes?

3) Bau des "Eratos"-Gnomons.

4) Projektspezifische Winkelmessungen mit dem "Eratos"-Gnomon.

1) Arbeiten zur Winkelmessung

Dauer : 1 Stunde entweder mit der ganzen Klasse, oder in kleinen Gruppen.

Ort : in der Klasse

Lernmittel:

Für jede Gruppe von 3 - 5 Schülern:
Pauspapier,
kleinkarierte Blätter,
farbiges Zeichenpapier,
vergrößerte Photokopien eines Winkelmessers
aus Plexiglas,
Lineale,
Winkelmesser und Scheren .

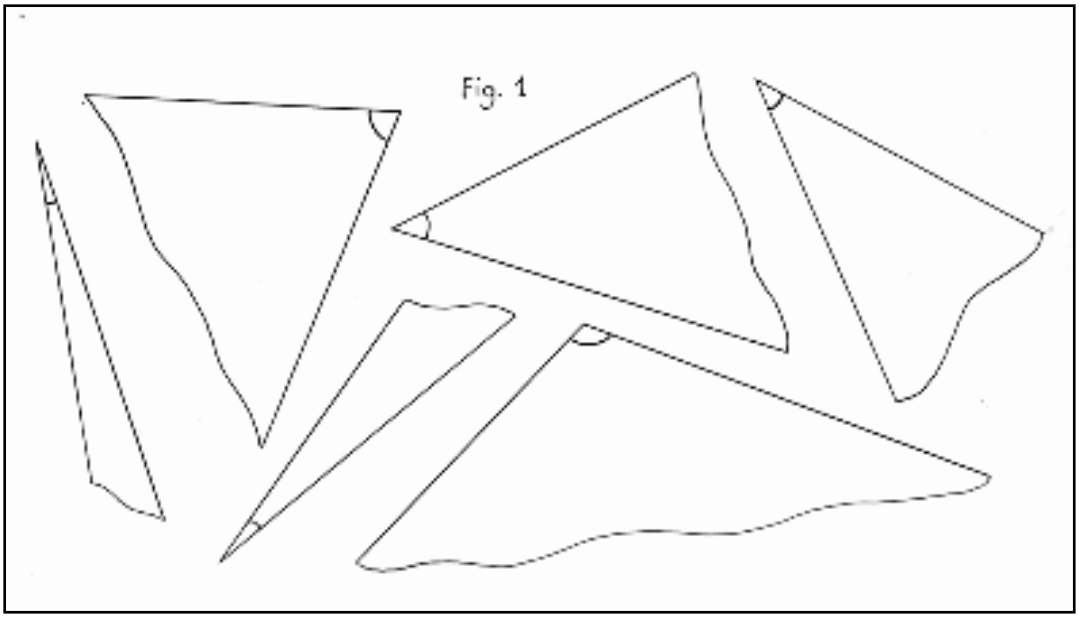
Valérie Munier vom Physik-Didaktiklabor der Universitätsfakultät Paris VII zu den Schwierigkeiten, die der Begriff "Winkel" Schülern bereitet.

In dieser Projektphase sollen die Schüler mit Winkeln umgehen. Viele neigen dazu, einen Winkel als ein Gebilde aus zwei gleichlangen Segmenten mit dem selben Ursprungspunkt zu beschreiben. Und daher halten sie zwei Figuren, die sich nur durch die Länge ihrer Schenkel voneinander unterscheiden für zwei verschiedene Winkel. Es ist also zweckmäßig zu betonen, daß ein Winkel sich vielmehr als das Maß des Abstands zwischen zwei von einem Punkt ausgehenden Strahlen beliebiger Länge definiert.

Wie man Abhilfe schaffen kann :

Verteilen Sie Photokopien mit Paaren gleicher Winkel, von denen der eine kürzere Schenkel hat als der andere. Wenn die Kinder sie ausschneiden und aufeinanderlegen (oder von jedem Paar einen Winkel pausen und auf den anderen legen), werden sie erkennen, daß der Abstand der Schenkel jeweils gleich ist.

Wenn Sie verschiedene Winkel ordnen lassen wollen (z.B. vom stumpfesten bis zum spitzesten), lassen Sie die Schüler aus Zeichenpapier Winkel ausschneiden und den zu betrachtenden Winkel durch einen kleinen Bogen kennzeichnen. Zum Vergleich der Winkel legen sie die Ausschnitte aufeinander (wobei sie darauf achten müssen, daß die Scheitel der Winkel sich decken).



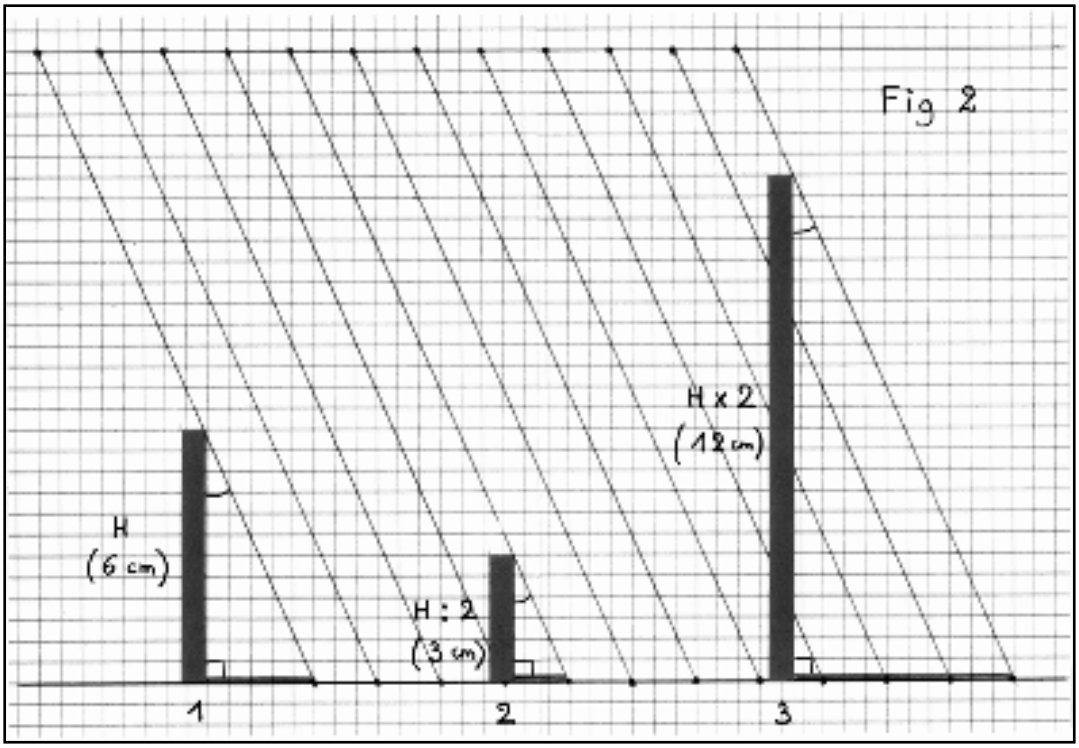
Sie können sich auch im Klassenraum nach diversen Winkeln umschauen. Aber sie werden feststellen, daß die Bücher, Hefte, Möbel, Wände, Fenster usw. alle gleiche Winkel haben, ungeachtet der Länge ihrer Schenkel, denn es sind in allen Fällen rechte Winkel (Und dies ist der Beweis, daß die Größe eines Winkels nichts mit der Länge seines Schenkels zu tun hat).

Besprechung.

Die Kinder zerbrechen sich den Kopf über die Herausforderung nach dem historischen Text. Lassen Sie sie auf kleinkarierten Blättern oder Millimeterpapier ein Schema des Obelisken und seines Schattens in einem gemeinsam festgelegten Maßstab zeichnen.

Nur wird sich sicher die Frage stellen: Wie kann man sicher sein, daß die Neigung der Sonnenstrahlen bei dieser verkleinerten Darstellung die gleiche sein wird?
Mit anderen Worten: Bleibt der Winkel zwischen den Strahlen und dem Obelisken gleich, wenn man den Maßstab ändert, oder wird er in gleicher Weise dividiert? Die Kinder diskutieren über diese Frage, die sie in folgendes Beispiel kleiden: "Wirft ein um das Zweifache höherer Gnomon (zur selben Zeit) ein um das Zweifache längeren Schatten? Und verdoppelt sich der Winkel auch?" (Die Antwort auf die erste Frage lautet natürlich "ja", aber "nein" auf die zweite). Die Schüler notieren ihre Vermutungen in ihre Experimentkladden und antworten wahrscheinlich: "Ja, der Schatten wird bestimmt doppelt so groß sein", und sie können dies schwarz auf weiß (s. weiter unten) und natürlich im Freien prüfen. Hierbei kann man auch gut über den Begriff "Verhältnis" sprechen.

An einem Schema den Winkel der Sonnenstrahlen verdeutlichen.
Die Kinder ziehen zunächst mit dem Lineal eine waagerechte Gerade auf ihr kariertes Blatt, die den Boden darstellt. Dann wählen sie die Neigung der Sonnenstrahlen (indem sie wie in Abb. 2 nach unten eine bestimmte Zahl von Karos abzählen) und zeichnen dann mit dem Lineal ein Gitter paralleler Strahlen. Dann zeichnen sie (oder schneiden sie aus einem farbigen Papierstreifen) einen ersten Gnomon von beispielsweise 6 cm so ein, daß er auf dem Boden steht und seine oberste Kante einen der Strahlen berührt.



Sie erhalten so ein rechtwinkliges Dreieck, denn der Gnomon und der Boden bilden einen rechten Winkel. Die Länge des Schattens wird von dem an der oberen Kante des Gnomons vorbeistreifenden und auf den Boden treffenden Strahl bestimmt. Sie ziehen die Schattenlinie nach und notieren ihre Länge. Dann plazieren sie auf gleiche Weise einen um das Zweifache kleineren (3 cm) und einen um das Zweifache größeren Gnomon (12 cm) und messen deren Schatten. Wenn sie jede der beiden gemessenen Längen zur Länge des Schattens des ersten Gnomons in Beziehung setzen, erhalten sie für den zweiten Schatten die Hälfte und für den dritten das Doppelte der Länge des ersten, womit sich ihre Vermutung bestätigt findet.

Eine grundlegende Entdeckung.

Und wie steht es mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen? Hat er sich von einem Gnomon zum anderen verändert? "Man würde sagen, daß der Winkel gleichgeblieben ist". Nach Prüfung mit Hilfe einer Pause erweist sich dies als richtig. Doch was geschähe, wenn man den Versuch mit einem drei- oder fünfmal größeren oder kleineren Gnomon machen würde? Die Antwort ist einhellig: "Die Schatten wären drei- oder fünfmal länger oder kürzer, aber der Winkel bliebe gleich."

Und wenn man ein neues Schema mit einem anderen Neigungswinkel für die Sonnenstrahlen zeichnet? Die Schüler werden feststellen, daß dies an den vorhergehenden Schlußfolgerungen nichts ändert, weil die auf die Gnomone treffenden Sonnenstrahlen parallel sind. Was für eine Entdeckung! Ganz gleich, wie hoch ein Gnomon ist, der Winkel der Sonnenstrahlen in einem gegebenen Zeitpunkt ist immer gleich. Der Obelisk des Eratosthenes hätte also höher oder niedriger sein können, er hätte in jedem Fall den selben Winkel gemessen.

Schlußfolgerung: Man kann den Verkleinerungsmaßstab für die Darstellung des Obelisken von Alexandria und seines Schattens beliebig wählen - er muß nur einvernehmlich festgelegt werden - denn die Größe des Winkels bleibt gleich. An dem sich ergebenden Schema ist dann der Winkel des Sonnenstrahls zu messen.

Einführung in die Benutzung eines Winkelmessers.

Sollten Ihre Schüler noch nicht mit einem Winkelmesser umgehen können, so ist das kein Problem. Sie können sich auf sehr einfache Weise mit diesem Meßverfahren vertraut machen.

Geben Sie Ihnen mehr oder weniger stark vergrößerte Photokopien von einem Winkelmesser aus Plexiglas und verschiedene auf Pauspapierabschnitte gezeichnete Winkel. Nachdem die Schüler erkannt haben, daß sich der Scheitelpunkt des Winkels mit "dem kleinen Loch" in der Mitte des Winkelmessers und einer der beiden Schenkel sich mit dem Nullgradstrich eines der beiden in Grade unterteilten Bögen decken muß, üben sie sich im Messen der ihnen vorgelegten Winkel. Machen Sie sie darauf aufmerksam, daß die Messung umso genauer wird, je größer der Radius des in Grade unterteilten Bogens auf der Photokopie ist, und daß es somit angebracht ist, sehr stark vergrößerte Photokopien zu verwenden

---

2)Wie kommt man auf die Winkelmessung des Eratosthenes

Dauer : 15 - 20 Min. für die schematische Darstellung und die Messung des Winkels; 45 Min. - 1 Stunde für die praktische Verwendung der Maßtabelle.

Ort : Klassenraum

Lernmittel :

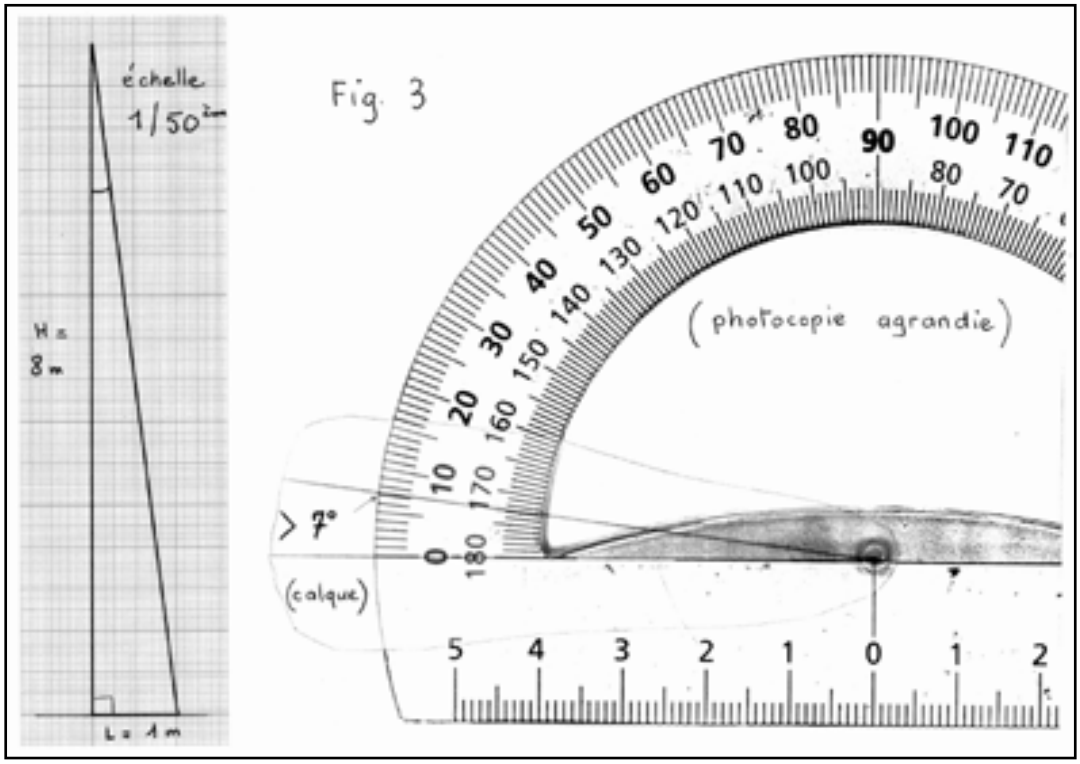
Millimeter- oder karierte Blätter,
Pauspapier,
vergrößerte Photokopien eines Winkelmessers,
gut gespitzte Bleistifte,
Lineale,
Scheren,
Winkelmesser.
Danach Photokopien der Maßtabelle (s. weiter unten).
Für die Simulation:
ein Globus (oder ein Erd-Ball),
zwei gleichartige "Minignomone",
eine Taschenlampe.

Schematische Darstellung der Messungen des Eratosthenes.

Teilen Sie die Schüler in Paare ein und verteilen Sie das notwendige Material. Die Schüler zeichnen auf ihr kariertes oder Millimeterblatt den Boden und dann den Obelisken mit seinem Schatten im vereinbarten Maßstab. Im Maßstab 1:100 entspricht 1 cm 1 m und im Maßstab 1:50 entsprechen 2 cm 1

m in der Natur. Die Kinder zeichnen danach die Hypothenuse des sich ergebenden Dreiecks, um den Sonnenstrahl darzustellen und den zu messenden Winkel zu erhalten.

Sie übertragen diesen Winkel auf Pauspapier und schneiden ihn mit einem Rand aus. Dann legen sie ihn auf die vergrößerte Photokopie eines Winkelmessers. Wenn sie sorgfältig und genau gearbeitet haben, müssen sie einen Winkel erhalten, der leicht über 7° liegt, was den von Eratosthenes gemessenen 7,2° gut entspricht. Weicht ihr Winkel jedoch stark davon ab, müssen sie nach den Ursachen suchen..



Die Kinder werden feststellen, daß sie mit einer ziemlich großen Photokopie bis auf ein Viertelgrad genau messen und somit den Genauigkeitsgrad des griechischen Gelehrten erreichen können. Aber sie werden auch begreifen, daß sich diese Genauigkeit mit einem "echten" Winkelmesser paradoxerweise nicht erzielen läßt, was sie später nachprüfen werden.
Sie kleben ihr Schema in ihre Experimentkladde, daneben die auf den entsprechenden Teil der Photokopie des Winkelmessers geklebte Pause, und schreiben einige Erläuterungen dazu..

Fakultativ: ein bißchen Übung!

Ihre Schüler können sich bei der folgenden Aufgabe spielerisch im Umgang mit dem Winkelmesser üben: "Wir haben die Maße wiedergefunden, die unser genialer Gelehrter in Alexandria das ganze Jahr über nach dem Schatten ein und desselben Obelisken, der bekanntlich 8 m hoch war, ermitteln konnte. Diese Maße sind in der nachstehenden Tabelle angegeben, aber einige von ihnen sind auf rätselhafte Weise ausgelöscht. Könnt Ihr sie wiederfinden?"

Vervielfältigen Sie zunächst die folgende Maßtabelle und löschen Sie dann mit Deckweiß einige Winkel- und Schattenmaße, wobei jedoch unter ein und demselben Datum jeweils eines der beiden Maße stehenbleiben soll, da man es ja unbedingt braucht, um das andere zu finden. Photokopieren Sie die Tabelle dann noch einmal, geben Sie jedem Schüler eine Kopie und lassen Sie mündlich beschreiben, wie vorzugehen ist.

Monat	21. Januar	21. Februar	21. März	21. April	21. Mai	21. Juni	21. Juli	21. August	21. September	21. Oktober	21. November	21. Dezember
Länge des Schattens des Obelisken in Meter	9.9	7.2	4.8	2.8	1.6	1	1.5	2.8	4.7	7.2	9.9	11.3
Winkel der Strahlen mit dem Obelisken in Grad	51.1	41.8	31	19.3	11.1	7.2	10.8	19.2	30.6	42.0	51.2	54.7

Den Schülern soll auch Gelegenheit gegeben werden, schematische Darstellungen im verkleinerten Maßstab zu machen und mit dem Winkelmesser zu arbeiten, damit sie die leeren Kästchen füllen können. Diese Übung ist auch nützlich, um die sich aus den bereits gemachten oder noch zu machenden eigenen Schattenaufnahmen (s. weiter unten) ergebenden Winkel bestimmen zu können.

Praktische Verwendung der Maßtabelle

Nachdem die Schüler die fehlenden Maße gefunden haben, wird ihnen auffallen, daß sich die Länge des Mittagsschattens und die Neigung der Sonnenstrahlen im Laufe des Jahres im engegengesetzten Sinn verändern (Der Winkel verändert sich vom Maximum am 21. Dezember zum Minimum am 21. Juni). Diese Entwicklung haben sie wahrscheinlich schon bei den seit Beginn des Projekts gemachten Schattenaufnahmen bemerkt. Wenn nicht, wird diese Entdeckung ihnen bestimmt keine Ruhe lassen, und sie werden mehr hierüber wissen wollen. Um herauszufinden, ob dies auch an ihrem Ort der Fall ist, müssen sie in den kommenden Wochen weitere Schattenaufnahmen machen und daraus den Winkel der Sonnenstrahlen ableiten, um deren Entwicklung bis zum Ende des Schuljahres zu verfolgen.

Inzwischen können sie die bereits gemachten Aufnahmen schematisch umsetzen, um den Einfallswinkel mit dem Winkelmesser zu ermitteln und dann mit dem in Alexandria im nächstgelegenen Zeitpunkt gemessenen Winkel zu vergleichen. Sie stellen die Differenz fest, versuchen sie zu erklären und machen dann zur Probe eine Simulation.

Simulation mit einem Globus (oder einem "Erd-Ball")

Rufen Sie ihnen die Simulation mit dem "Erd-Ball" in Erinnerung (s. Teil 4 der Projektphase 3). Die Schüler werden sich bestimmt noch erinnern, daß die Schatten der Gnomone mit zunehmender Entfernung von Syene nach Norden und nach Süden immer länger wurden. Im ersten Fall zeigten sie nach Norden, im zweiten nach Süden.

Sie prüfen dies noch einmal an einem Globus (oder einem Ball) und zwei gleichartigen Minignomonen und nehmen dieses Mal Alexandria als Bezugspunkt. Mit Hilfe eines Atlas ermitteln sie auf dem Ball ungefähr die Lage ihres Ortes zu dieser Stadt, wo sie einen dem Sonnenmittag entsprechenden sehr kurzen Schatten erscheinen lassen.
Dann drehen sie den Globus (oder den Ball), so daß sie an ihrem Ort den kürzesten Schatten erzielen, und

vergleichen die beiden Schatten. Je nach der geographischen Lage eures Landes ergeben sich unterschiedliche Schlußfolgerungen aus diesem Modellversuch: Es werden längere Schatten (nördlich des Wendekreises des Krebses und südlich des Wendekreises des Steinbocks) oder kürzere Schatten (in der Tropenzone) beobachtet.

---

3) Bau des "Eratos"-Gnomons.

Dauer : eine oder zwei Unterrichtsstunden für den Bau und die Regelung des Gnomons.

Ort : im Klassenraum, dann an einem von der Sonne beschienenen Ort.

Lernmittel :

Für die Gruppe/Klasse :
Material für den Bau des Gnomons und seiner Unterlage,
Werkzeug,
Utensilien für die Regelung ("doppeltes Rechteck",
Wasserwaage, Kompaß)..

Abstimmung

In einer Besprechung, an der alle teilnehmen, wird das "Lastenheft" für den Bau des Gnomons "Eratos" aufgesetzt. Unter Berücksichtigung der rein sachlichen Erfordernisse (vor allem der Größe der Unterlage, die 1 qm nicht übersteigen soll), soll jeder seine Meinung äußern.
Da der Schatten erfahrungsgemäß zur Spitze zu immer verschwommener wird, sprechen sich manche Schüler für einen ziemlich kurzen Stab aus. Sie halten eine Länge von 15 cm für zweckmäßig. Andere weisen darauf hin, daß die Schatten bis 21. Juni (auf der Nordhalbkugel) immer kürzer werden (im Süden aber immer länger werden) und hätten gern ein etwas weniger bescheidenes Instrument, das sie wie "ein kleines Totem" schmücken wollen. Sie schlagen ohne Zögern eine Höhe von 30 cm vor.
Man wird sich sicher auf einen Gnomon einigen können, der 10 - 20 cm hoch ist, einen zylindrischen Querschnitt von geringem Durchmesser und ein flaches Ende hat, und auf einer 60 x 40 cm großen Unterlage befestigt wird. In manchen Breiten sollte darauf geachtet werden, daß Metallstäbe sehr heiß werden und sich dehnen können, wenn sie lange der Sonne ausgesetzt sind.

Bau des Gnomons.

Da die Schüler in dieser Arbeit schon weitgehend geübt sind und jeder originellere Einfälle als der andere

hat (die vor der Ausführung jedoch gewissenhaft geprüft werden sollten), wollen wir uns hierzu nicht weiter auslassen. Indes ist bei der Unterlage eine gewisse Zurückhaltung geboten:
Keine Behandlung, durch die sich die Oberfläche werfen, keine Verzierung, welche die Schattenaufnahmen stören könnte.***Denkt auch daran, daß sich das Material, das ihr verwendet, dehnen und verformen kann, wenn zur Zeit der Messungen 30° und mehr herrschen. Damit die Messungen verläßlich sind, darf sich die Unterlage nicht werfen, sondern muß absolut plan bleiben.***

Ausrichtung und Regelung

Bezüglich der Ausrichtung der Unterlage und ihrer Regelung in der Waagerechten und der des Stabes in der Senkrechten verweisen wir auf den Teil "Regelung der Gnomone" am Ende der Projektphase 2. Es versteht sich von selbst, daß diese drei Maßnahmen mit der größten Sorgfalt ausgeführt und vor jeder Schattenaufnahme nötigenfalls wiederholt werden müssen.

Bericht von Herrn M. Pouyet von der Schule in Rocquigny über die Anfertigung des Gnomons (Projekt 2001):

"Jedes Kind hat zunächst einen eigenen Gnomon angefertigt: eine Platte aus dicker Pappe mit einem Stab (Stöckchen, lange Zahnstocher). Damit haben sie die ersten - wenig verläßlichen - Schattenaufnahmen gemacht. Sie haben sehr schnell gemerkt, daß diverse Parameter (Waagerechte und Senkrechte) zu beachten sind.
Unser Gemeinschaftsgnomon sieht wie folgt aus:
- eine 2 cm dicke und 50 x 30 cm große Sperrholzplatte mit einem Loch an einer der Längsseiten;
- ein 15 cm langer Stab mit Gewinde am Ende, der mit Mutter und Gegenmutter senkrecht auf der Platte befestigt wird. Wir haben den Gnomon auf dem Schulhof mit der Wasserwaage an einem Ort aufgestellt, der in der Mittagszeit in der Sonne liegt, und wir stellen immer dort unsere Messungen an. Wir markieren die Länge des Gnomonschattens auf der Platte, messen sie und zeichnen in der Klasse auf Millimeterpapier im Maßstab 1:2 das von den Sonnenstrahlen, dem Schatten des Gnomons und dem Gnomon selbst gebildete Dreieck. Wir messen dann den sich ergebenden Winkel. Das Ganze dauert kaum länger als 10 Minuten."

---

4) Projektspezifische Winkelmessungen mit dem "Eratos"-Gnomon

Dauer : während mehrerer Wochen, je nach Wetter, tägliche Schattenaufnahmen (10 Minuten) am Sonnenmittag; danach Bestimmung des Winkels der Sonnenstrahlen.

Ort : ein Ort in der Sonne; Klassenraum.

Lernmittel :

Für die Gruppe/Klasse
:Der "Eratos"-Gnomon,
Millimeterblätter,
gut gespitzte Bleistifte,
Lineale,
Winkelmesser,
Nähgarn.

Jetzt geht's endlich richtig los beim Eratosthenes-Projekt!

Die Schattenaufnahmen, die ihr jetzt machen werdet, müssen genau am Sonnenmittag vorgenommen werden. Im letzten Absatz der Projektphase 3 wurden euch mehrere Lösungen vorgeschlagen, um das ganze Jahr über auf euren Uhren (mit der bürgerlichen Uhrzeit) den Zeitpunkt des Sonnenmittags zu bestimmen. Wir führen sie hier nocheinmal auf.

1. Man begnügt sich damit, nach einem Kompaß die Nordrichtung einzuzeichnen, wohl wissend, daß sie vom geographischen Norden leicht abweicht, womit man von vornherein einen kleinen "Fehler" in Kauf nimmt. Dann wartet man den Augenblick ab, in dem der Schatten des Gnomons diese Richtung überschreitet.
2. Man zeichnet auf die Unterlage des Gnomons (dessen Umrisse auf dem Boden sorgfältig markiert werden) eine sogenannte Mittagslinie, d.h. einen Teil des örtlichen Meridians, die zum geographischen Norden zeigt. Dies ist insofern zweckmäßig, als man es nur einmal zu tun braucht (Es wird als fakultative Aktivität auf der Seite "Zeichnung der Mittagslinie" vorgeschlagen).
3. Man klickt sich auf die Website des Bureau des Longitudes (B.D.L.) ein, das für jeden Ort und jedes Datum die Zeit des Sonnenmittags angibt, aber in Weltzeit. In Frankreich muß man dann während der Standardzeit 1 Stunde und nach dem Übergang zur Sommerzeit 2 Stunden hinzufügen.

http://www.bdl.fr/cgi-bin/levcou.cgi

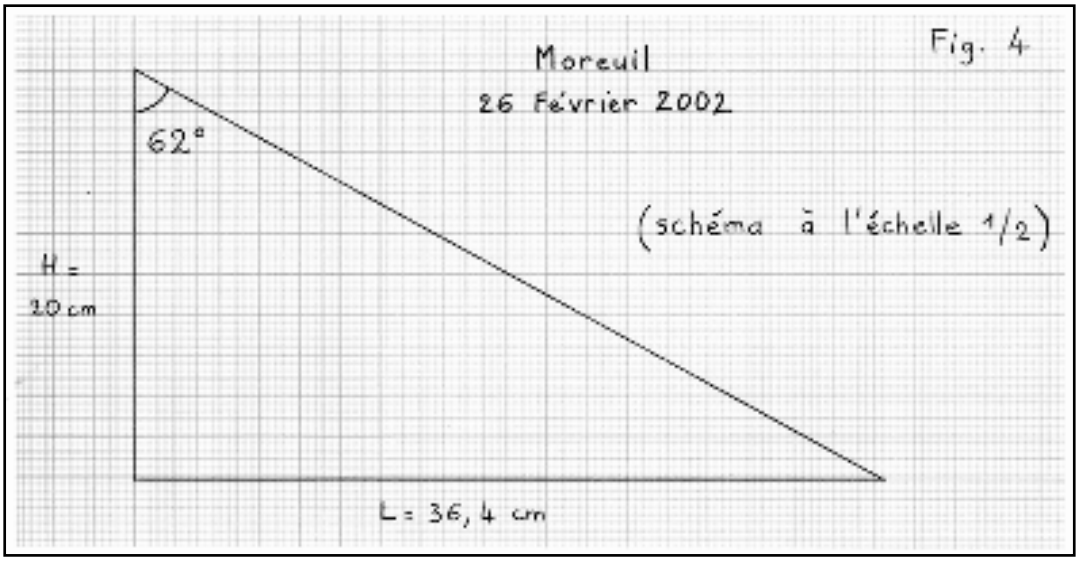
(Schon bei der ersten genau in dem vom B.D.L. angegebenen Zeitpunkt gemachten Schattenaufnahme könnt ihr die Mittagslinie einzeichnen, da sie sich mit der Schattenmarkierung deckt)

Schattenmarkierung

Jeden Tag, wenn die Sonne mittags scheint und der Schatten des "Eratos"-Gnomons sein "Rendezvous" mit der Mittagslinie einhalten kann, markiert ein Schüler mit dem Bleistift genau die Spitze des Schattens und mißt sorgfältig dessen Länge.

Schema.

Mit spitzem Bleistift überträgt er die Höhe des Gnomons und die Länge des Schattens (die bis auf den Millimeter genau zu messen sind - dies ist sehr wichtig) in natürlicher Größe oder im Maßstab 1:2 auf Millimeterpapier und zeichnet dann die den Sonnenstrahl darstellende Gerade ein.



Messung des Winkels .

Dann ist nur noch mit einem Winkelmesser so genau wie möglich, d.h. bis auf einen oder einen halben Grad genau, der Winkel zu messen. Um eine noch höhere Genauigkeit zu erzielen, kann man wieder den Winkel auf Pauspapier übertragen und ihn auf die vergrößerte Photokopie eines Winkelmessers legen (s. Abb. 3).

Es empfiehlt sich, diese Arbeit von drei Schülern parallel ausführen zu lassen, wobei natürlich dieselbe Schattenmarkierung zugrunde zu legen ist (daher ist sie so wichtig): Stimmen zwei oder drei Ergebnisse sehr "eng" miteinander überein, kann man eins von ihnen für gültig erklären. Wenn nicht, müssen die Schemata neu gezeichnet werden

Eine fakultative Variante.

Einige Schüler werden versuchen wollen, den Winkel an Ort und Stelle zu messen, indem sie einen sehr feinen Faden (Nähgarn) von der Kante des Gnomons bis zur Spitze des Schattens spannen und den Winkelmesser anlegen. Sie werden feststellen, daß dies sehr schwierig ist, vor allem, daß sich der Faden schwer genau halten und der Winkelmesser genau anlegen läßt. Doch sie können ja ihre Ergebnisse mit den auf zeichnerischem Wege ermittelten Ergebnissen vergleichen und ihre Schlüsse ziehen

Man kann den Winkel auch noch anders auf sehr einfache und schnelle Weise an Ort und Stelle messen und zwar durch direkte Projektion des kleinsten Schattens eines sogenannten Quadranten (Dies hat uns letztes Jahr ein Lehrer namens Gerard Corbet empfohlen) : s. hierzu die Seite über die entsprechenden Arbeiten.

Bemerkungen:

Im Laufe der Tage wird man feststellen, daß sich die Markierungen auf der Mittagslinie verschieben: Ab dem 22. Dezember scheinen sie zur Basis des Gnomons zu rücken. Die Kinder werden daraus den Schluß ziehen, daß die Bahn der Sonne davor die niedrigste Höhe am Dezemberhimmel erreicht hatte und sich jetzt (bis zum 21. Juni) wieder anhebt. Seht Euch nun wieder die Tabelle mit den Schattenmeßwerten von Alexandria an und untersucht durch Vergleich die Ähnlichkeit der Veränderungen im "Schatten-Kalender" im Jahresverlauf

Und wenn eines Tages der Schatten des Gnomons die gleiche Länge aufweist wie der Gnomon selbst,

werden Ihre Schüler sehen, daß der Winkel halb so groß ist wie der rechte Winkel "wie wenn man ein Blatt über Eck faltet". Hierzu ist noch zu sagen, daß dies an einem Ort mit einer geographischen Breite von 45° (wie es bei Bordeaux der Fall ist) am 21. März, zur Tagundnachtgleiche eintritt. In diesem Zeitpunkt entspricht der Winkel der Sonnenstrahlen der geographischen Breite des Ortes (Jede Schule, ganz gleich wo sie liegt, wird also an diesem Tag sehen, daß der Winkel ebenso groß ist wie die geographische Breite des Ortes).

Kommunikation und Austausch:

Bei jeder Schattenaufnahme im Zeitpunkt des Sonnenmittags sollen der gemessene Winkel sowie das Datum (und die bürgerliche Uhrzeit, aber nur als Anhalt, denn sie wird bei späteren Berechnungen nicht herangezogen) auf dem Schema vermerkt werden.

Diese Informationen sollen in die von uns im Internet für das Projekt eingerichtete Tabelle aufgenommen werden, damit ihr eure Meßwerte bekanntgeben und mit den über die ganze Erde verteilten Partnerschulen austauschen könnt.

http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=de

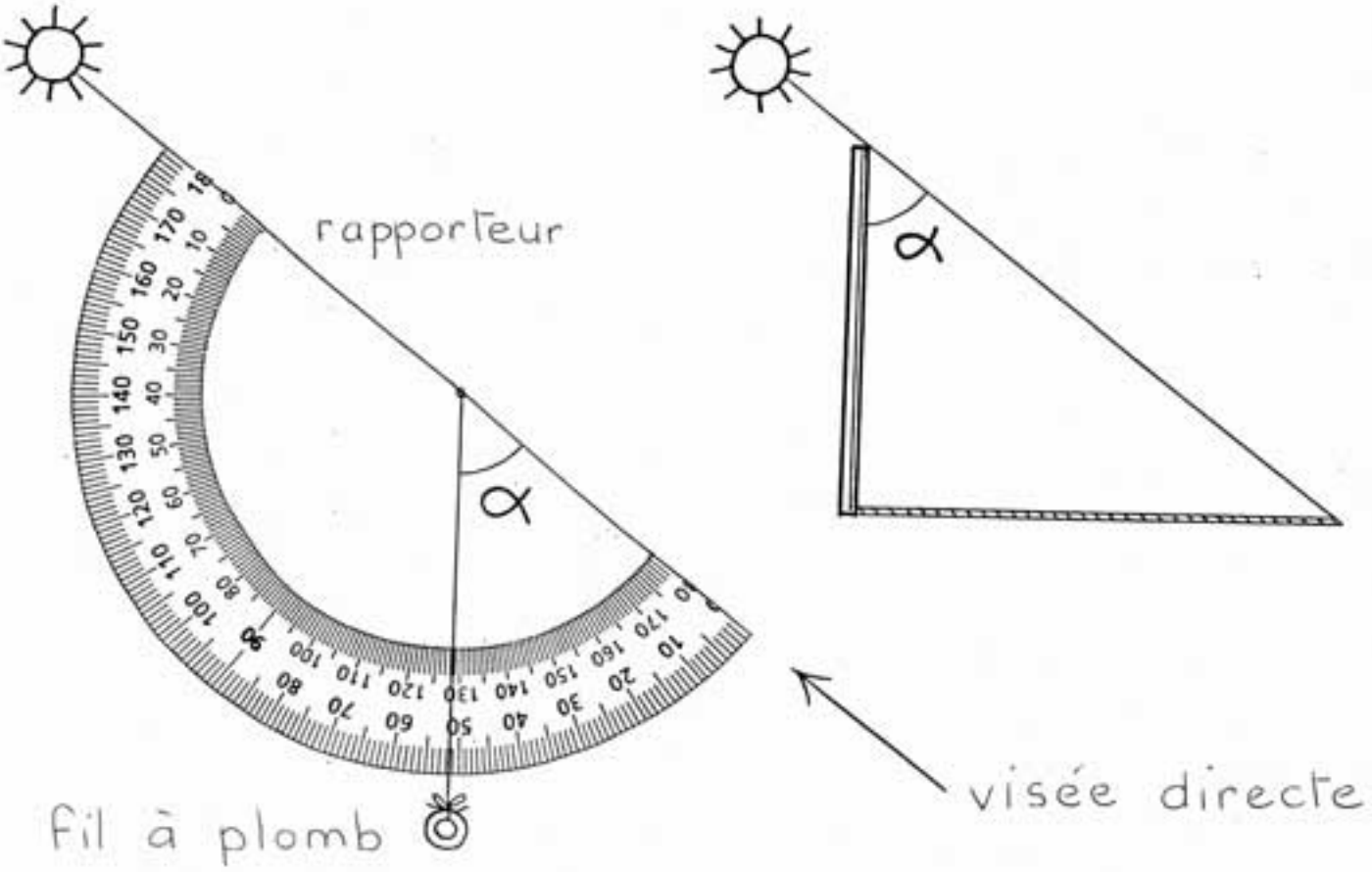
Denkt daran, daß ihr regelmäßig eure Meßwerte bekanntgebt und die Ergebnisse der anderen Schulen verfolgt. Der Meßwertvergleich zwischen den Klassen ist Gegenstand der nächsten Projektphase, in der ihr mit den geographischen Koordinaten bekannt gemacht werdet. Bis bald im Internet!

Ergänzungsunterricht (Projektphase 4)

Messung des Winkels der Sonnenstrahlen mit einem Quadranten

(Visée directe par ombre minimale d'un quadrant)

Im folgenden wird ein anderes Verfahren für die rasche und einfache Messung des Winkels der Sonnenstrahlen beschrieben, das ihre Schüler mit größtem Vergnügen neben der Methode mit dem "Eratos"-Gnomon anwenden werden. Es beruht wie der für die Navigation verwendete Sextant auf dem Prinzip des direkten Anvisierens und ermöglicht es, dank einem Quadrant genannten Instrument, den Winkel (den wir mit bezeichnen) unmittelbar, d.h. ohne einen Gnomon zu benutzen, abzulesen. Die nachstehende Abbildung veranschaulicht dieses Prinzip. Jedoch schaut man beim "Sonnenschießen" nicht in diese, da dies ohne Spezialfiltergläser viel zu gefährlich für die Augen wäre, sondern man projiziert den kleinsten Schatten des Quadranten auf einen Schirm



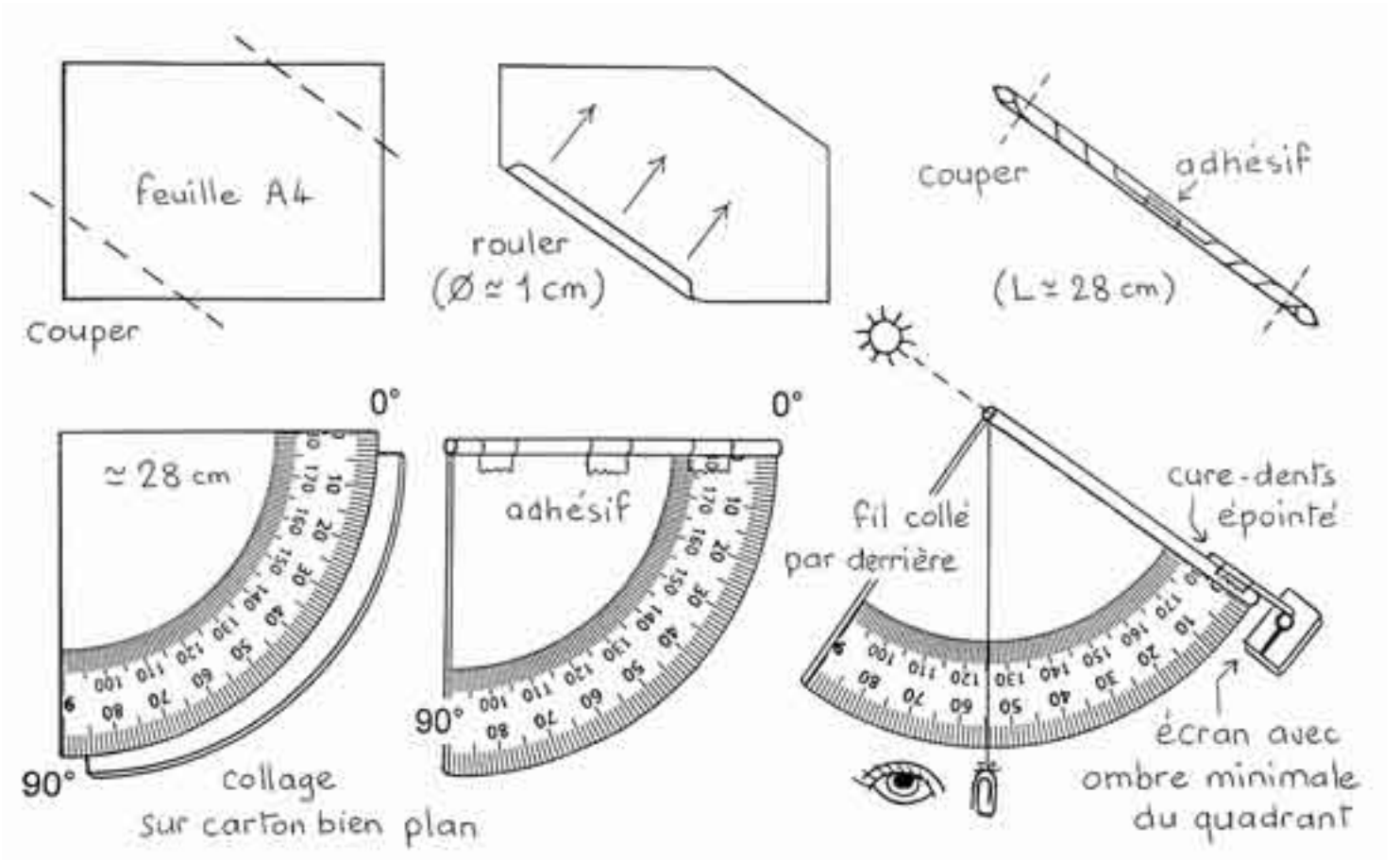
Lernmittel:

- ein DIN A4-Bogen,
- ein Viereck aus steifem Karton mit 30 cm Seitenlänge
und ein Viereck von ca. 8 cm,
- eine stark vergrößerte Photokopie eines (halben) Winkelmessers,
- ein spitzer Zahnstocher,
- Garn,

- eine Büroklammer,
- Klebstoff.

Anfertigung eines gemeinsamen Quadranten

Der Quadrant muß wie der "Eratos"-Gnomon mit besonderer Sorgfalt angefertigt werden, um den Winkel sehr genau (theoretisch bis auf ein Viertelgrad) messen zu können. Die nachstehende Abbildung und einige ergänzende Erläuterungen zeigen, wie man vorgehen muß.
Achtet beim Einrollen des Blattes darauf, daß das Rohr schön gleichmäßig rund wird. Photokopiert und vergrößert zweimal den für die Messung benötigten Teil eines Schulwinkelmessers; beim zweiten Mal auf einem DIN A3-Bogen und vergewissert Euch, daß der rechte Winkel 90° hat, denn manche Kopierer verzerren. Das Lot darf nur wenig über den Quadranten hinausreichen, damit es (durch wiederholte leichte Berührungen mit dem Quadranten) schnell zur Ruhe kommt..
Was den Schirm angeht, werdet ihr bemerkt haben, daß es sich dabei nur um ein kleines Rechteck (oder Quadrat) handelt, das mit dem Rohr fest verbunden wird und zwar so, daß es ungefähr 2 cm hinter diesem hängt (Ihr werdet rasch entdecken, warum ein kleiner Schirm besser ist als ein großer, den man hinter das Rohr halten müßte). Vor jeder Messung müßt Ihr euch vergewissern, daß der Schirm genau senkrecht hinter dem Rohr hängt.
Vorsicht! Der Quadrant ist etwas windempfindlich. Benutzt ihn an einem windgeschützten Ort oder verzichtet lieber auf seine Verwendung (Auf jeden Fall muß jedes Mal mit dem von einem anderen Schüler mit dem Gnomon ermittelten Meßwert verglichen werden).



Der Winkel wird auf dem Quadranten gemessen

Einige Minuten vor dem Sonnenmittag stellt sich der mit der Messung betraute Schüler in die Sonne und hält das Instrument im Profil zur Sonne, ohne zunächst auf das Lot zu achten. Sobald der Schatten auf dem Schirm am kleinsten ist, schaut er auf den Faden: Hängt er zu weit vom Quadranten weg oder liegt er zu stark auf diesem auf?
In beiden Fällen muß man die Haltung so korrigieren, daß der Faden den Quadranten nur leicht berührt. Dabei kann es allerdings passieren, daß der Schatten auf dem Schirm wieder größer wird. Wenn man den Faden des Lots als senkrechte Achse betrachtet, um den sich das Instrument drehen läßt, kann man dessen Ausrichtung vorsichtig so korrigieren, daß der Schatten ganz klein wird. Nachdem das Lot kurz vor dem Zeitpunkt des Sonnenmittags zur Ruhe gekommen ist, wirft der Schüler einen letzten Blick auf den Schatten und liest dann bis auf ein Viertelgrad genau die Größe des Winkels auf der Skala ab. Der Vorgang hat nur eine oder zwei Minuten gedauert. Das Ergebnis wird mit dem Meßwert verglichen, der gleichzeitig mit dem Gnomon ermittelt wird .

Séquence 4

Assistance technique de la séquence 4 : améliorer et évaluer la précision de vos me

Afin de faciliter les échanges entre les écoles, tous les participants à l'opération ont été répartis dans 8 groupes à peu près homogènes (plus un groupe pour les écoles égyptiennes). Compte tenu de la répartition en latitude de l'ensemble des écoles sur le territoire français, nous nous sommes efforcés de garantir un écart de latitude minimum entre les écoles d'un même groupe. C'est-à-dire que, quel que soit votre groupe, nous avons essayé de vous associer au moins un partenaire dont la latitude diffère de la vôtre d'au moins 3 ou 4 degrés.

Pourquoi ? Parce qu'un correspondant situé à 4 degrés au sud de votre ville mesurera un angle inférieur de 4 degrés à celui que vous mesurerez le même jour. Malheureusement, les mesures que vous faites ou allez faire avec vos élèves ne sont qu'une estimation de l'angle réel entre le Soleil et la verticale. Comme vous vous en doutez, cette estimation est nécessairement entachée d'erreur. Tantôt, vous mesurerez un angle supérieur à la réalité, tantôt inférieur. Cet écart, cette erreur dépend à la fois de la qualité de votre gnomon (longueur et “perpendicularité” du stylet), et de la qualité de sa mise en station (horizontalité de la planche, tracé du méridien local). Vous aurez bien sûr compris que votre objectif est de faire une mesure aussi précise que possible.

Si l'erreur que vous commettez sur chaque mesure est de 3 à 4 degrés, il est évident que votre calcul du tour de la Terre sera très éloigné de la réalité puisque cette erreur est justement égale à la différence entre votre mesure et celle de votre partenaire. Si vous arrivez à faire une mesure fiable à 2 degrés près, c'est mieux mais votre partenaire ayant à peu près la même précision, il y a encore un fort risque que la différence de vos mesures s'annule ! En conclusion, il est donc nécessaire que votre gnomon soit suffisamment bien réglé et bien installé pour vous permettre de faire des mesures avec une précision de (au moins) 1 degré.

Cette fiche technique devrait vous aider à contrôler et améliorer votre instrument de mesure afin de publier rapidement des mesures aussi précises que possible. Parmi les écoles qui ont déjà publié quelques mesures, certaines remplissent déjà ce critère de précision. Vous pouvez donc tous y arriver ! Nous avons voulu regrouper dans cette fiche un ensemble de conseils et d'idées pour vous assister. Bien évidemment, ce ne sont que des suggestions, et leur liste n'est pas exhaustive... N'hésitez pas à contacter par courrier électronique les écoles de votre groupe et à échanger vos astuces techniques , les listes de diffusion sont faites pour cela !

Des erreurs à répétition !

À chaque fois que vous assemblez deux parties de votre instrument ou que vous installez votre instrument avant une mesure, vous commettez inexorablement de petites erreurs qui, mises bout à bout, pourraient bien fausser votre mesure. Parfois celles-ci se compensent par chance, parfois elles s'ajoutent et nuisent gravement à vos relevés, alors il est bon de contrôler toutes les étapes avec la plus grande minutie.

Faites donc avec vos élèves la liste des différentes étapes qui ont mené à chaque mesure, depuis l'assemblage de votre gnomon : choix et mesure de la longueur du stylet, fixation de cette tige perpendiculairement à la planche qui est elle-même censée être parfaitement plane, installation de la planche et vérification de son horizontalité, tracé du méridien et repérage du passage de l'ombre du stylet sur la ligne méridienne, mesure de cette ombre, tracé du secteur angulaire grâce aux longueurs de l'ombre et du stylet et enfin mesure de cet angle.

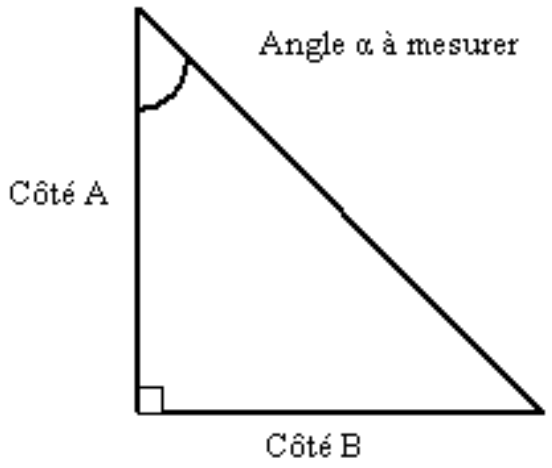
Il vous faut maintenant admettre qu'à chacune de ces étapes, vous avez fait une faible erreur. Vous comprenez que la mesure finale et donc le calcul du diamètre terrestre peuvent être très éloignés de la réalité ! Voyons

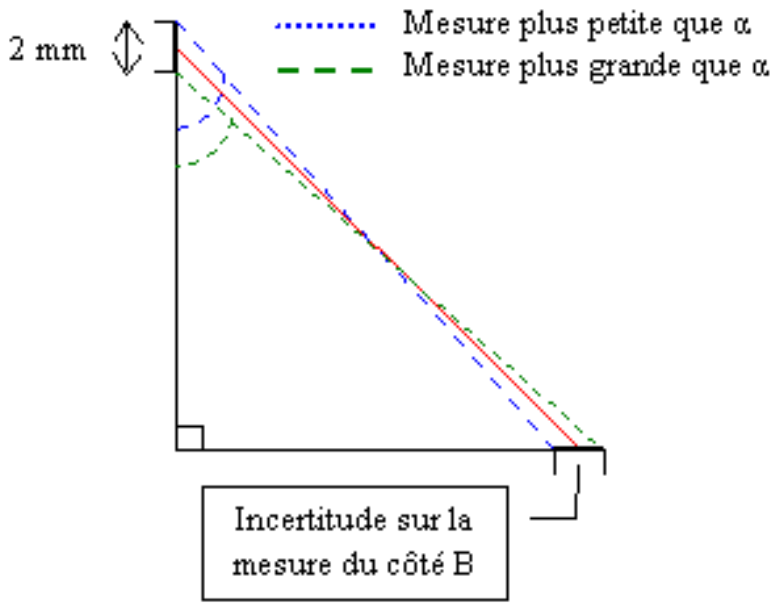
maintenant ensemble quelques idées et astuces pour évaluer et minimiser ces erreurs.

Règle de base

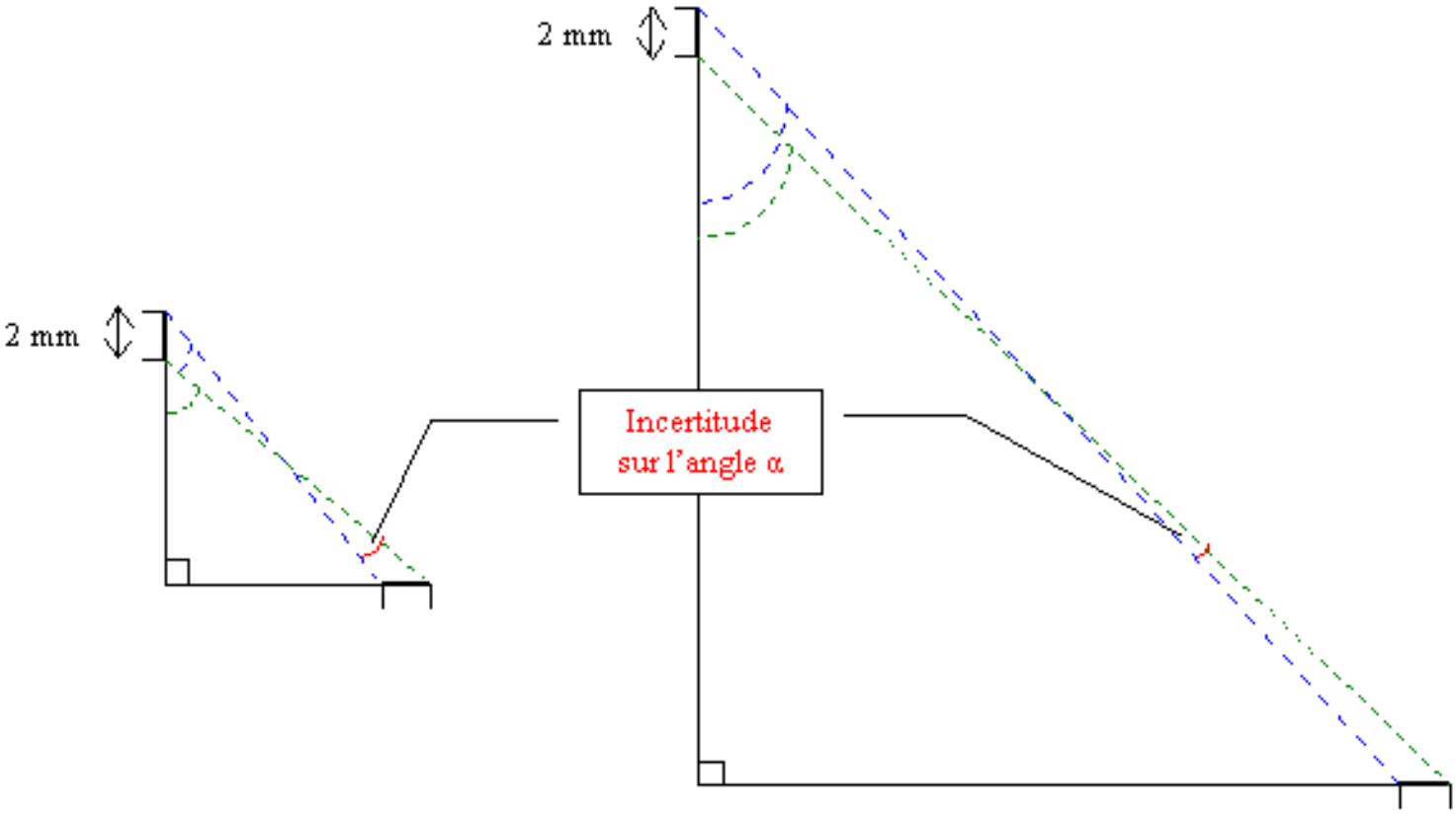
Comment réduire au maximum l'erreur de mesure sur un angle ? En augmentant au maximum les longueurs des côtés que vous tracez pour mesurer cet angle (voir la figure 1). En effet, on ne peut jamais connaître exactement une longueur, mais on la mesure avec une certaine précision (donnez un double décimètre à 3 élèves successivement et demandez-leur de mesurer la taille de votre bureau au demi-millimètre près : ils trouveront à coup sûr 3 mesures différentes !).

Supposons maintenant que vous souhaitiez mesurer l'angle alpha représenté sur la figure 1 ci-dessous à partir de la connaissance des longueurs des segments A et B. Supposons (ce qui est raisonnable) que les longueurs de A et B ont été mesurées à ± 1 mm. La figure vous montre que ces incertitudes sur les longueurs A et B entraînent une incertitude sur la connaissance de l'angle alpha lui-même.





Pour réduire cette incertitude, triplez ou quadruplez les longueurs A et B. L'incertitude sur la mesure de leur longueur, elle, reste la même (elle ne dépend que de votre façon de mesurer : qualité de votre règle et de votre lecture). Par contre, l'incertitude sur l'angle diminue. La figure 2 devrait vous en convaincre : remarquez les angles extrêmes dus à ces incertitudes, ils marquent les limites qui encadrent la valeur réelle de l'angle alpha : ici 45 degrés. Cet intervalle diminue bien sur la figure la plus grande (vérifiez avec votre rapporteur !). Ainsi, vous avez tout intérêt à utiliser de grandes longueurs pour mesurer les angles.



Applications

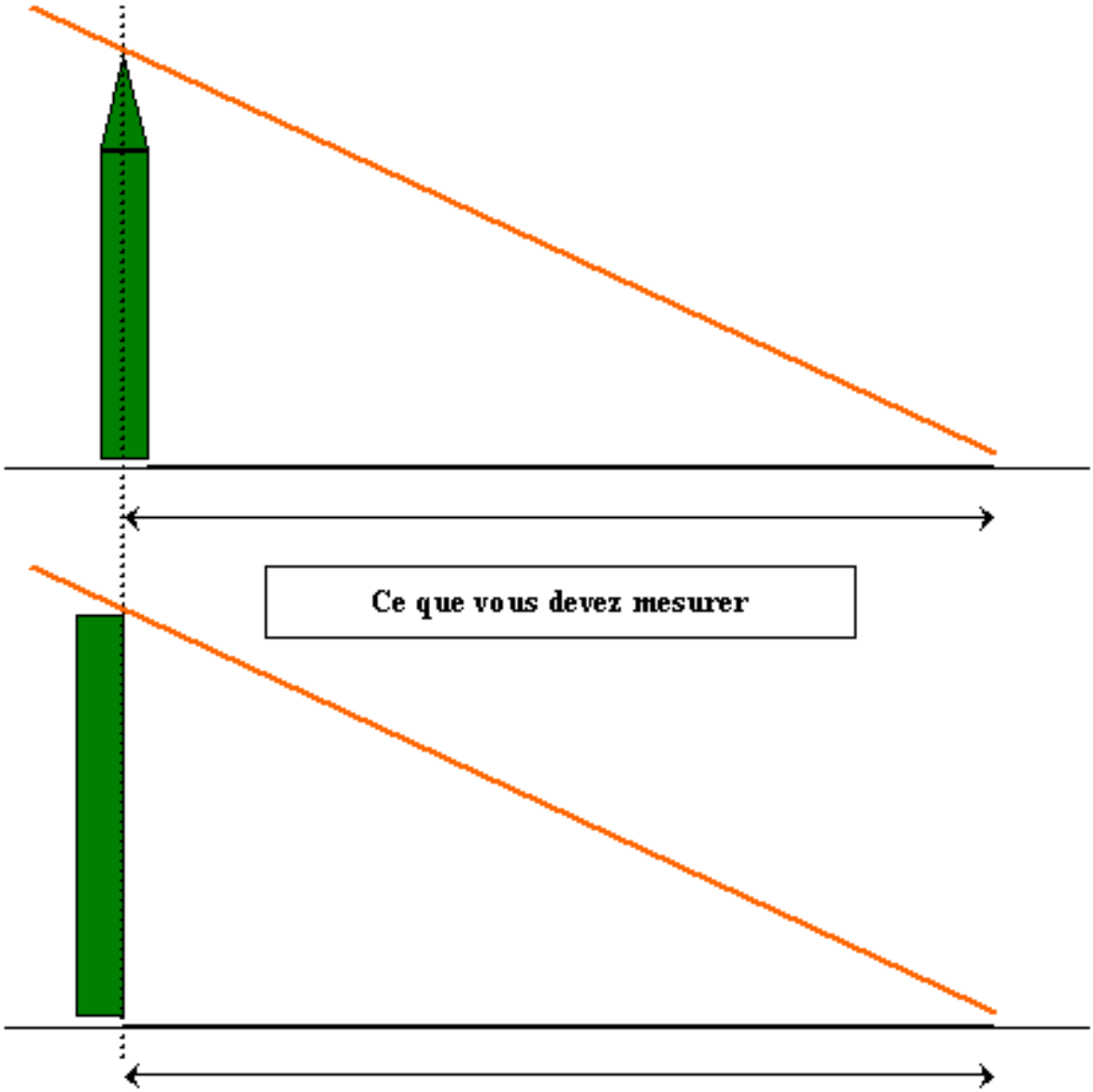
Utilisez de préférence de grands instruments : équerre pour vérifier que votre gnomon est bien perpendiculaire à la planche. Attention : il faut le vérifier dans deux directions perpendiculaires l'une par rapport à l'autre, c'est-à-dire tourner de 90 degrés autour du pied du gnomon et contrôler à nouveau dans cette nouvelle direction. En effet, le gnomon peut être incliné dans n'importe quelle direction !

Un gnomon plus long sera plus facile à installer bien perpendiculairement à la planche, cependant s'il dépasse de 20 cm, son ombre deviendra vite floue, même au midi solaire. Privilégier donc un gnomon d'une dizaine de cm

Si vous avez réalisé un niveau à bulle pour contrôler l'horizontalité de votre planche, il sera d'autant plus précis que la surface de liquide est grande, d'après le principe expliqué précédemment.

Utilisez de préférence des crayons à mine très fine (type critérium) pour tracer les longueurs mesurées, vous réduirez ainsi les erreurs de lecture des angles. De même, servez vous plutôt de rapporteurs de grande taille pour lire l'angle final, vous atteindrez ainsi une plus grande précision dans la lecture.

Remarque : selon la forme de votre gnomon (pointu ou plat à l'extrémité), il vous faudra mesurer la longueur de l'ombre à partir de points différents à son pied, observez bien la figure ci-dessous car vous risquez d'introduire systématiquement une erreur dans vos relevés.



Évaluez vous-même votre précision

Pour avoir une idée de la précision de vos mesures, c'est très simple : il vous suffit de faire des relevés tous les jours. D'un jour sur l'autre, la valeur de l'angle des rayons solaires par rapport à la verticale varie très peu (entre 0,2 et 0,1 degré par jour à partir de mi-mai). Suffisamment peu, donc, pour que vous ne puissiez le remarquer dans vos mesures. Ainsi, en faisant trois mesures trois jours de suite, vous aurez une idée des erreurs (aléatoires) que vous faites lors du réglage de votre instrument et de votre mesure. Vous obtiendrez trois mesures qui doivent être aussi semblables que possible. En revanche, vous ne pourrez pas connaître votre erreur par rapport à la valeur "réelle" de l'angle que vous mesurez.

Mais ne vous inquiétez pas, nous surveillons de près l'ensemble de vos résultats et nous vous communiquerons la précision "réelle" de vos relevés si nécessaire lors de l'interprétation de vos résultats. Bon courage à tous, vous avez presque atteint votre but !

Complément :

Voici la description du gnomon réalisé par Alain Rouquet et sa classe et de leur protocole. Ce gnomon très simple dans sa conception donne d'excellents résultats !

"Pour la réalisation du gnomon, rien de bien original : un plateau en agglo mélaminé posé sur une table et sur

un des chants du plateau une tige en bois dépassant de 10 cm, de section ronde (8 mm), serrée (pas trop pour que les enfants la réajustent à tout moment) par un collier pour tube de cuivre (de plomberie).

Pour chaque mesure, il y a un vérificateur de l'horizontalité du support et de la verticalité du gnomon, un enfant trace sur le plateau l'extrémité de l'ombre et une équipe de retour en classe est chargée de passer à l'action (tracer le fameux triangle et mesurer l'angle du jour...). Une dernière équipe s'en va, très excitée, sur l'ordinateur déposer l'angle du jour sur le site "ératos".

Par visée directe, c'est un peu décevant, les mesures sont difficiles à obtenir avec précision même si les bambins adorent observer le Soleil avec les lunettes "éclipses".

Quelques illustrations du projet figurent sur le site de la classe

---

Projektphase 5

Den Umfang der Erde messen

Einleitung

Jetzt beginnt die letzte Etappe. Sie wird eure Anstrengungen und eure Ausdauer krönen, die ihr während des gesamten Projekts bewiesen habt, und wozu wir euch gratulieren. Die Zeit ist gekommen, die Daten zu verwerten, die ihr so sorgfältig durch eure eigenen Schattenaufnahmen und durch Austausch mit anderen Klassen im Internet gesammelt habt. Wir wollen jetzt zusammen die Länge eures Meridians messen und schließlich den Umfang unseres Planeten berechnen

Anmerkung: Diese letzte Etappe ist die schwierigste. Daher haben wir bewußt ein schrittweises Vorgehen gewählt, das es Ihnen gestattet, Ihre Schüler an die abschließende Berechnung heranzuführen.

Inhaltsverzeichnis:

- 1- Wie Eratosthenes den Umfang der Erde gemessen hat
  - a- Die Senkrechte im Erdmaßstab
  - b- Das Geheimnis des Eratosthenes entdecken
  - c- Die Länge des durch Syene und Alexandria gehenden Meridians messen
- 2- Den eigenen Meridian mit Hilfe der Meßwerte einer anderen Schule messen
  - a- Einen Partner wählen
  - b- Die eigene "Eratosthenes-Figur" zeichnen
  - c- Die Entfernung zwischen den Partnerstädten messen
  - d- Die Länge eures Meridians berechnen
  - e- Den Durchmesser der Erde berechnen
  - f- Bekanntgabe eurer Meßwerte in der Übersicht, in der alle Resultate zusammengefaßt werden
  - g- Versand einer elektronischen Postkarte an alle Teilnehmer über unsere Website
- 3- Letzte Messung am 21. Juni

Vorbemerkung: die Messung des Eratosthenes

Unser griechischer Gelehrter ist am Ende seiner Überlegungen angelangt und liefert uns endlich die Ergebnisse seines Experiments. Geben Sie Ihren Schülern folgenden Text zu lesen:

> "Nachdem Eratosthenes den Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der durch den Obelisken in seiner Stadt Alexandria dargestellten Senkrechten gemessen hatte, zeichnete er einen längs eines Meridians verlaufenden Schnitt der Erde auf den Boden. Er zeichnete darauf die Städte Syene und Alexandria und die auf beide Städte treffenden Sonnenstrahlen ein. Indem er die Winkel dieser Strahlen mit der Senkrechten in jeder der beiden Städte verglich und den Sonnenstrahl in Syene bis zum Mittelpunkt der Erde verängerte, kam ihm die geniale Idee, den Umfang unseres Planeten zu messen.
>
> Er begriff schnell, daß ihm nur eine Größe fehlte, nämlich die Entfernung zwischen Alexandria und Syene. Ihm war bekannt, daß die durch die Wüste ziehenden Karawanen auch als Entfernungsmesser zwischen den Städten dienten. Die neben den Kamelen hergehenden Männer,

> die man Bematisten nannte, zählten ihre Schritte. Sie kannten die durchschnittliche Schrittlänge und berechneten die zurückgelegten Entfernungen, indem sie diese Länge mit der Zahl der während der Reise gemachten Schritte multiplizierten. Es hieß damals, daß nahezu eine Million Schritte Alexandria und Syene voneinander trennten. Das ergab ungefähr 5000 ägyptische Stadien (dies war die damals übliche Längeneinheit).
>
> Eratosthenes fand nach einigen einfachen Rechnungen rasch, daß der Umfang der Erde genau 250.000 Stadien betrug. Er teilte das Ergebnis umgehend seinen Wissenschaftler- und Geographenkollegen mit, und in der ganzen Welt verbreitete sich die Nachricht, daß ein Gelehrter mit Namen Eratosthenes zum ersten Mal den Umfang unseres Planeten gemessen habe."

Jetzt seid ihr an der Reihe! Versucht, die Figur zu reproduzieren, die Eratosthenes auf der ganzen Welt berühmt gemacht hat, und findet heraus, wie er den Erdumfang gemessen hat. Verwendet dann eure eigenen Meßwerte und die einer Partnerschule, um selbst den Umfang der Erde zu berechnen.

1- Wie Eratosthenes den Umfang der Erde gemessen hat

a - Die Senkrechte im Erdmaßstab

Wenn die Kinder über den ihnen vorgelegten Text diskutieren, müssen sich ihnen zahlreiche Fragen aufdrängen. Da ist zunächst die Senkrechte in den beiden Städten Syene und Alexandria. Wenn sie die Arbeiten über die Begriffe "senkrecht" und "waagerecht" aufmerksam verfolgt haben, dann haben sie bestimmt eine gute Vorstellung von der örtlichen Vertikalen. Doch wie sieht es damit aus, wenn von unserem Planeten die Rede ist?

Stellen Sie ihnen folgende Fragen:

> "Wenn die Gnomone genau geregelt sind (die Schüler sollen sich nötigenfalls noch einmal die betr. Aktivität und die diesbezüglichen Notizen in ihren Kladden ansehen), wie stehen sie dann zu ihrer waagerechten Unterlage?" Sie werden ohne Zögern antworten, daß die Gnomone senkrecht darauf stehen und damit auch senkrecht zum waagerechten Boden sind.
> "Wie ist es dann bei Gnomonen, die über die Erde verstreut sind?"

Sie werden hierüber diskutieren und in ihre Kladden ihre Vermutungen notieren, die sie durch ein Experiment zu bestätigen versuchen werden. Hierzu können sie von einem einfachen Streifen steifen Papiers ausgehen, den sie flach auf den Boden legen und auf den sie genau senkrecht Stäbchen oder Heftzwecken kleben. Dies sind die Gnomone, wie sie sie um sich herum beobachten, nachdem sie geregelt sind. Da sie ja davon überzeugt sind, daß die Erde nicht flach ist, krümmen sie den Streifen und sehen, daß die Gnomone nicht mehr parallel sind, sondern in verschiedene Richtungen zeigen. Sie schließen den Streifen zu einem Reifen und sehen dann gewissermaßen um die Erde verteilte Gnomone. Sie zeichnen in ihre Kladde dieses eigenartige Bild der Erde, die wie ein Igel mit Stacheln bedeckt ist.

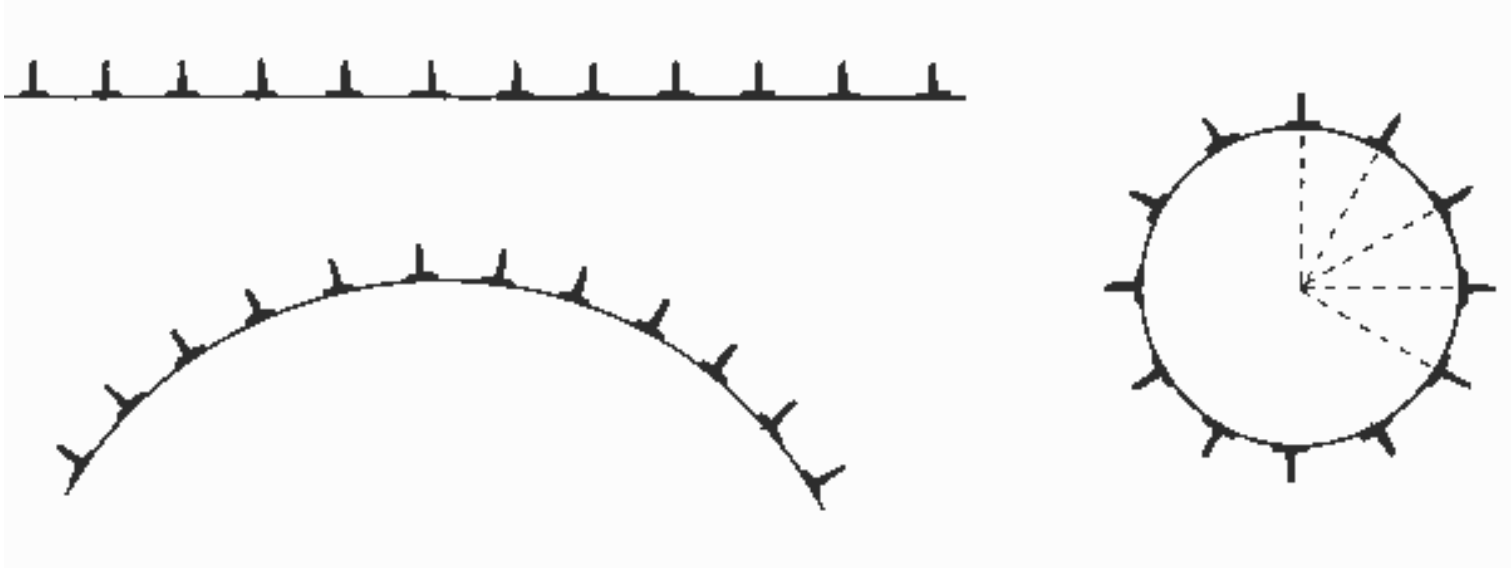


Figure 1

Nachdem die Kinder erkannt haben, daß alle diese Gnomone an jedem Punkt der Erde die Richtung der Senkrechten anzeigen, fragen Sie sie, was geschieht, wenn sie die Stacheln im Geist bis ins Erdinnere verlängern. "Sie treffen sich alle im Mittelpunkt der Erde." Dies läßt sich nachprüfen, wenn man das vorige Experiment wiederholt und die Stäbchen oder Heftzwecken durch Stricknadeln oder Spieße ersetzt.

Sie schließen daraus, daß die Senkrechte an jedem Punkt der Erde zum Erdmittelpunkt zeigt und die Gnomone in zwei weit voneinander entfernten Städten also nicht parallel sind, sondern einen Winkel bilden.

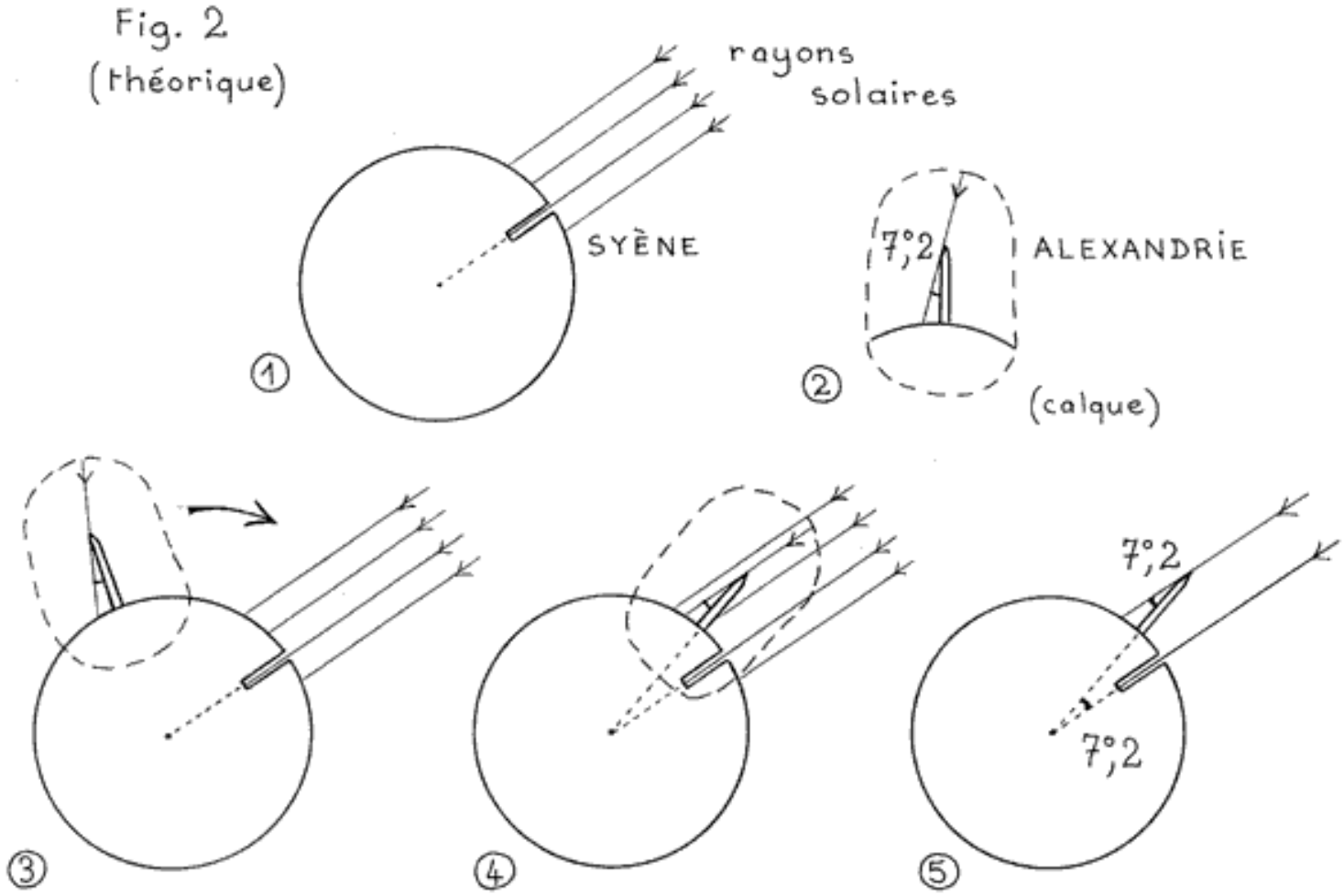
Zeichnen Sie dann den Erd-Kreis an die Tafel und fragen Sie, wo nach dem, was sie über die Messungen des Eratosthenes wissen, auf diesem Kreis die Städte Syene und Alexandria einzuzeichnen sind.

b - Das Geheimnis des Eratosthenes entdecken

Die Aufgabe ist schwierig, und Sie sollen den Kindern helfen, den Weg zu finden, der sie zu der berühmten Figur des Eratosthenes führt.

In den kleinen historischen Texten heißt es, daß in Syene am 21. Juni die Sonnenstrahlen auf den Boden der Brunnenschächte fielen und die senkrechten Körper keinen Schatten warfen. Sie folgten also genau der Senkrechten. Die Kinder zeichnen auf einen DIN A4- oder DIN A3-Bogen den Erd-Kreis wie auf der ersten Skizze der Abb. 2. Dann ziehen sie mehrere (einander genau parallele) Sonnenstrahlen, von denen einer genau der Senkrechten folgt.
(Man kann auch zuerst auf ein großes Blatt die parallelen Sonnenstrahlen zeichnen. Dann schneidet man aus farbiger Pappe einen Erd-Kreis aus und fixiert ihn auf dem Blatt, indem man eine Nadel durch seinen Mittelpunkt sticht. Sodann dreht man die Erde so, daß die Sonnenstrahlen senkrecht auf Syene treffen).

Wie plaziert man jetzt Alexandria? Fragen Sie die Kinder, was Eratosthenes am selben Tag zur gleichen Zeit gemessen hat. "Den Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und dem Obelisken, also den Winkel, den diese Strahlen mit der Senkrechten bilden." Jetzt braucht man sich nur die Größe dieses Winkels in Erinnerung zu rufen (7,2°) und ein Schema wie in Abb. 2 gezeigt zu machen. Die Kinder zeichnen auf Pauspapier den Winkel von Alexandria und legen ihn so auf ihre Zeichnungen mit den Sonnenstrahlen, daß der auf den Obelisken fallende Strahl zu den anderen Strahlen parallel ist.



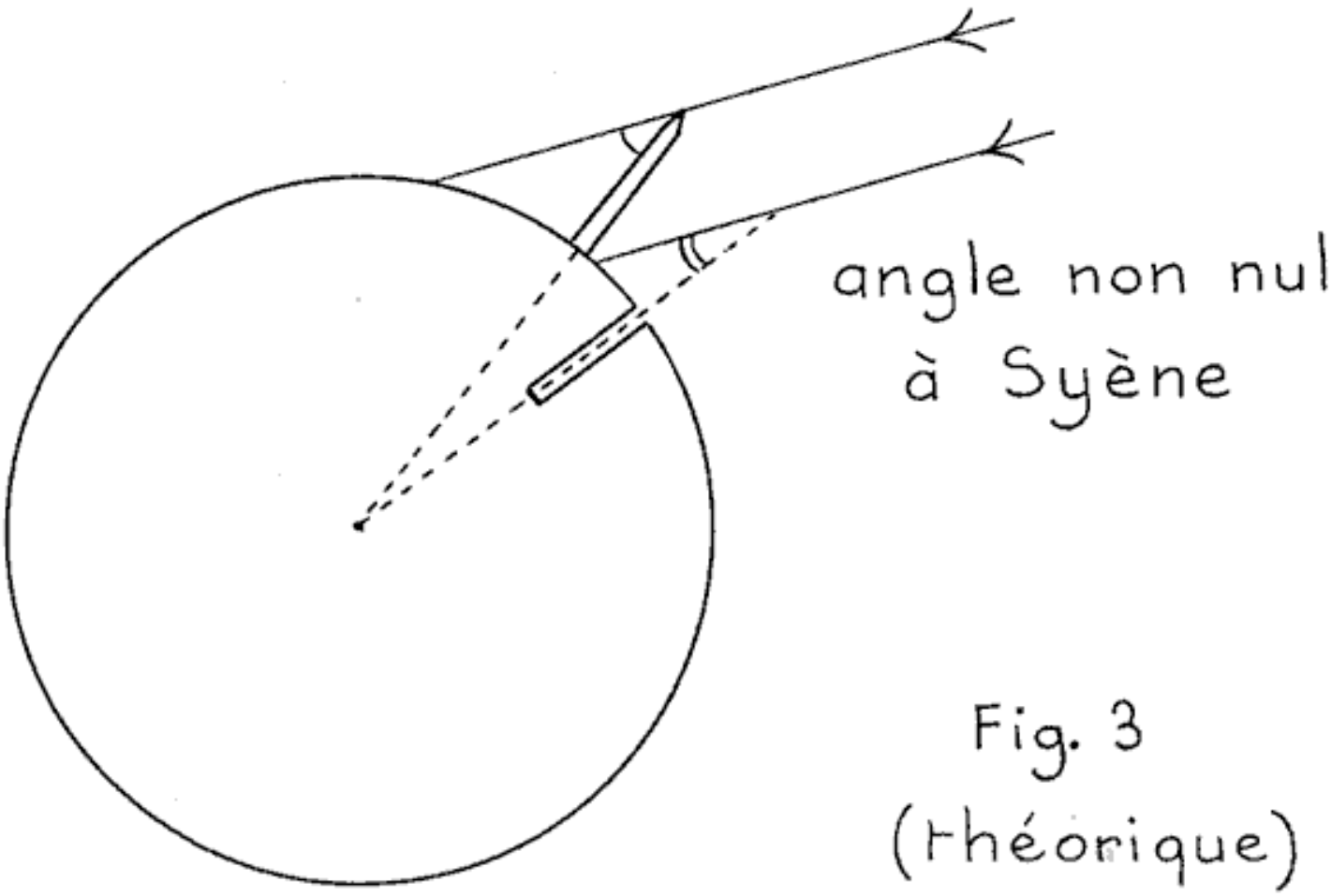
Das Geheimnis des Eratosthenes:
Nachdem sie mit dem Bleistift die Lage Alexandrias gekennzeichnet haben, ziehen sie die durch diese Stadt gehende Senkrechte bis zum Erdmittelpunkt. Fragen Sie sie, wie ihnen der Winkel zwischen dieser und der Senkrechten von Syene vorkommt. "Er gleicht sonderbarerweise dem auf Pauspapier gezeichneten, also von Eratosthenes gemessenen Winkel".

Das wollen sie sofort prüfen: Sie drehen die Pause um und legen den Winkel auf den Winkel um den Erdmittelpunkt. Und siehe, sie passen aufeinander. Dies ist also das Geheimnis des Eratosthenes! Lassen Sie nachprüfen, daß sie mit einer anderen Winkelgröße (der doppelten z.B.) das gleiche Ergebnis erzielen. Sie plazieren das neue Alexandria so, daß sich ein Winkel von 14° ergibt, ziehen die Senkrechte und messen den neuen Winkel um den Erdmittelpunkt. Hierfür können sie auch einen Winkelmesser benutzen.

Stolz über die von ihnen selbst gemachte Entdeckung zeichnen sie die Figur ohne unnötige Linien in ihre Experimentkladde und schreiben die Schlußfolgerung, die das berühmte Geheimnis des Eratosthenes darstellt, hinzu: Der in Alexandria gemessene Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der Senkrechten ist genau so groß wie der im Erdmittelpunkt gemessene Winkel zwischen Alexandria und Syene. Sie sehen auf ihrer Figur das "Z wie Zorro", das ihnen bestimmt helfen wird, sich dieses unglaubliche Fazit einzuprägen.

Zusatzfrage: Wie würde es sich auf diese beiden Winkel auswirken, wenn man die Erde sich so drehen ließe, daß die Sonnenstrahlen nicht mehr senkrecht auf Syene treffen (d.h. wenn man den Erd-Kreis im entgegengesetzten Uhrzeigersinn drehte).

Die Kinder wiederholen das Experiment. Sie zeichnen die neuen Winkel, vergleichen sie und stellen fest, daß sie nicht mehr gleich sind, denn in Syene erscheint ein zusätzlicher Winkel und verändert die Voraussetzungen.



Wenn die Schüler die neuen Winkel in Syene und Alexandria pausen, erkennen sie vielleicht durch Probieren, daß der im Erdmittelpunkt gemessene Winkel zwischen beiden Städten (wie er im ersten Schema gezeichnet worden war) gleich der Differenz zwischen den in beiden Städten gemessenen Winkeln zwischen den Strahlen und der Senkrechten ist (Man kann diese auch mit dem Winkelmesser messen und das Verhältnis zwischen den drei Winkeln - in Syene, in Alexandria und im Erdmittelpunkt zwischen den beiden Städten - herausfinden). Man kann es auch sehr leicht mit Hilfe der Pausen erkennen.

Sie haben so die Schlußfolgerung auch auf die (am häufigsten auftretenden) Fälle ausgedehnt, in denen die Sonnenstrahlen nicht der Senkrechten folgen. Sie notieren auch diese Entdeckung in ihre Kladde, denn sie wird ihnen sehr nützlich sein, wenn sie die Figur des Eratosthenes nach ihren eigenen Meßwerten zeichnen. (Letzteres gilt auch am 21. Juni zwischen Syene und Alexandria, wo dann einer der beiden Winkel null ist. Die Differenz ist also ganz einfach gleich dem in Alexandria gemessenen Winkel).

Damit sind Ihre Schüler gewappnet, um in allen vorkommenden Fällen den Umfang der Erde zu messen.

c- Die Länge des durch Syene und Alexandria gehenden Meridians messen

Zur Vorbereitung auf die Dreisatzrechnung, die für die Berechnung des Meridians unverzichtbar ist, lassen Sie Ihre Schüler über folgendes Szenario nachdenken:

Stellt euch vor, Eratosthenes hätte in Alexandria eine andere Winkelgröße gemessen, stellt euch weiter vor, Syene und Alexandria lägen auf einer Erde, die einer z.B. in 8 gleiche Teile aufgeschnittenen Torte gleicht, und sie lägen darauf wie auf Abb. 4. Wie findet man die Länge des Gesamtumfangs dieser Torte, wenn man weiß, wie lang der Rand eines Tortenstücks ist ?

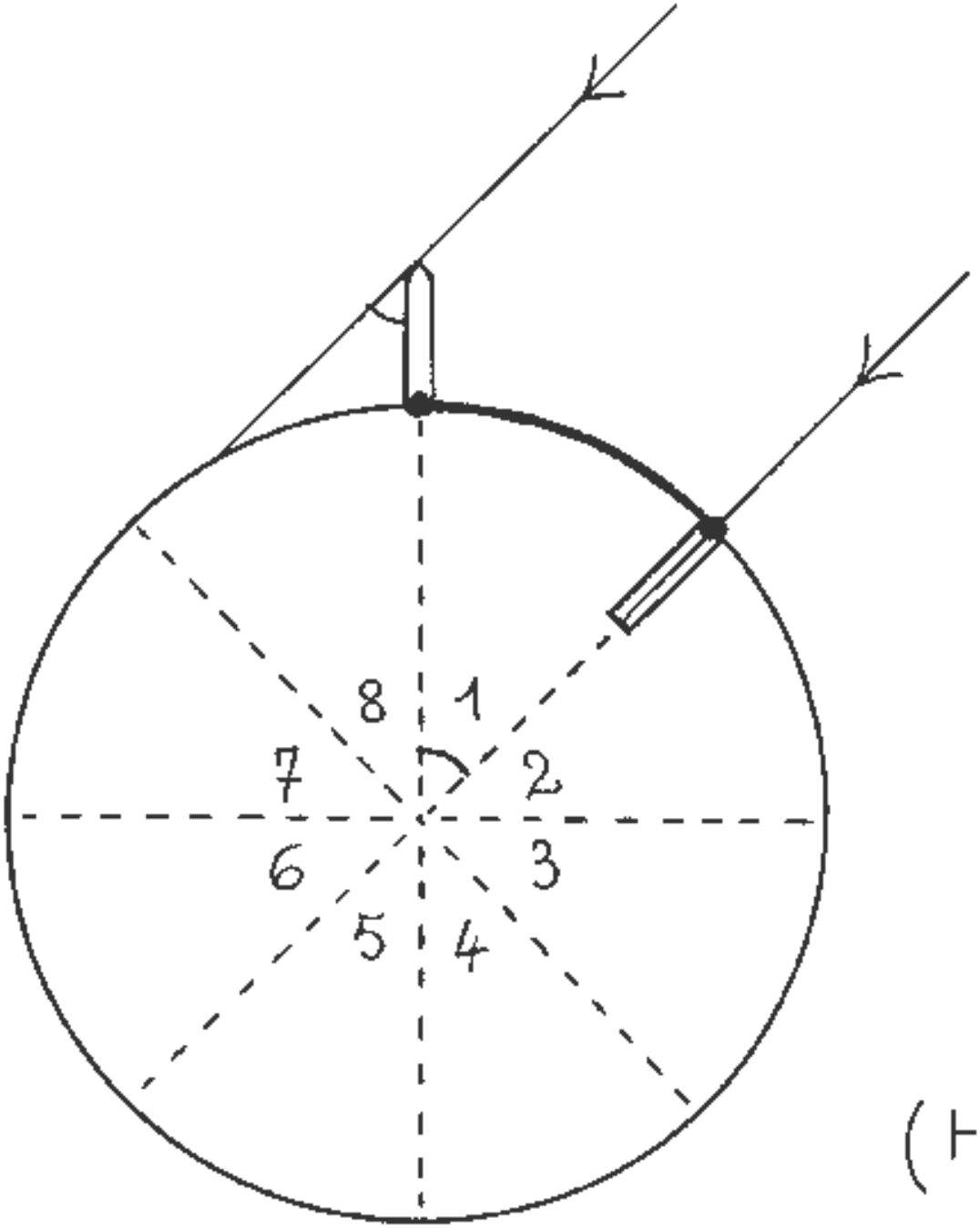


Fig. 4
(théorique)

"Das ist einfach, man braucht die Länge des Randes des Tortenstücks nur mit 8 zu multiplizieren", wird man Ihnen antworten. "Seid ihr euch dessen so sicher?" Um dies nachzuprüfen, können Sie ihnen vorschlagen, einen großen Kreis in acht gleiche Abschnitte zu teilen und dann mit einer Schnur die Länge des Randes eines Abschnitts und mit einer anderen Schnur die Länge des Gesamtumfangs zu messen. Sie werden ein Verhältnis von 8:1 zwischen den Längen der beiden Schnüre finden.

Genau dies hat sich auch Eratosthenes gesagt. Aber wieviele "Tortenstücke" gibt es in Wirklichkeit

Die Schüler können mehrere Experimente vorschlagen, um dies herauszufinden, und sie können Gruppen bilden, um die diversen Vorschläge auszuprobieren.
- Man kann die "Tortenstücke" nach dem Winkelmaß von 7,2° bemessen und zählen, in wieviele Stücke man die Erde schneiden kann (oder die Hälfte der Erde und das Ergebnis mit 2 multiplizieren);
- Man kann mit Schnur (auf der vorher gezeichneten Figur) die Länge des Randes des "Stücks" Syene - Alexandria messen und mit der Länge des Gesamtumfangs der Erde vergleichen;
- Diejenigen, die lieber rechnen, werden 360° (den gesamten Kreisumfang) durch 7,2° (den im Mittelpunkt gemessenen Winkel) dividieren.

Sie erhalten den Faktor 50 (zumindest rechnerisch).
Jetzt braucht man nur noch den Dreisatz anzuwenden, denn Eratosthenes sagt uns, daß die Entfernung zwischen Syene und Alexandria 5.000 ägyptische Stadien beträgt. Multipliziert man sie mit 50, erhält man genau 250.000. Wie der große griechische Gelehrte. Damit ist endlich das Rätsel gelöst.

Aber wie lang war eigentlich das ägyptische Stadion? Eine letzte Suche, die sie zu Enzyklopädien und Suchmaschinen des Internet greifen lassen wird, und sie werden folgenden Wert finden:
1 ägyptisches Stadion = 157,5 m, womit sich der Erdumfang auf 39.375 km beläuft. Vergleicht ihn mit den in den Lexika angegebenen Zahlen und ihr werdet euch der unglaublichen Präzision dieser Messung bewußt.

2- Den eigenen Meridian mit Hilfe der Meßwerte einer anderen Schule messen

Vorbemerkung: Wir laden euch ein, sofern ihr genügend Zeit habt, euch die fakultativen Aktivitäten über Parallelen und Meridiane auf der Erdkugel anzusehen und dabei eure Winkelmessungen mit den von anderen Schulen bekanntgegebenen Meßwerten zu vergleichen. Habt ihr dazu nicht genügend Zeit, könnt ihr euch in der Klasse mit Hilfe eines Globus und einer Weltkarte mit den genannten Begriffen vertraut machen (Fakultativer Unterricht: Sich auf der Erde zurechtfinden)

a- Einen Partner wählen

Wir führen zunächst in ein paar Zeilen die Voraussetzungen auf, die zu erfüllen sind, wenn diese letzte Etappe ein Erfolg werden soll :

Ihr müßt den Schatten eures Gnomons genau am Sonnenmittag (mit einer Toleranz von höchstens 10 Minuten) gemessen und aus dieser Messung die genaue Größe des Winkels der Sonnenstrahlen mit der Senkrechten eures Standortes abgeleitet haben.

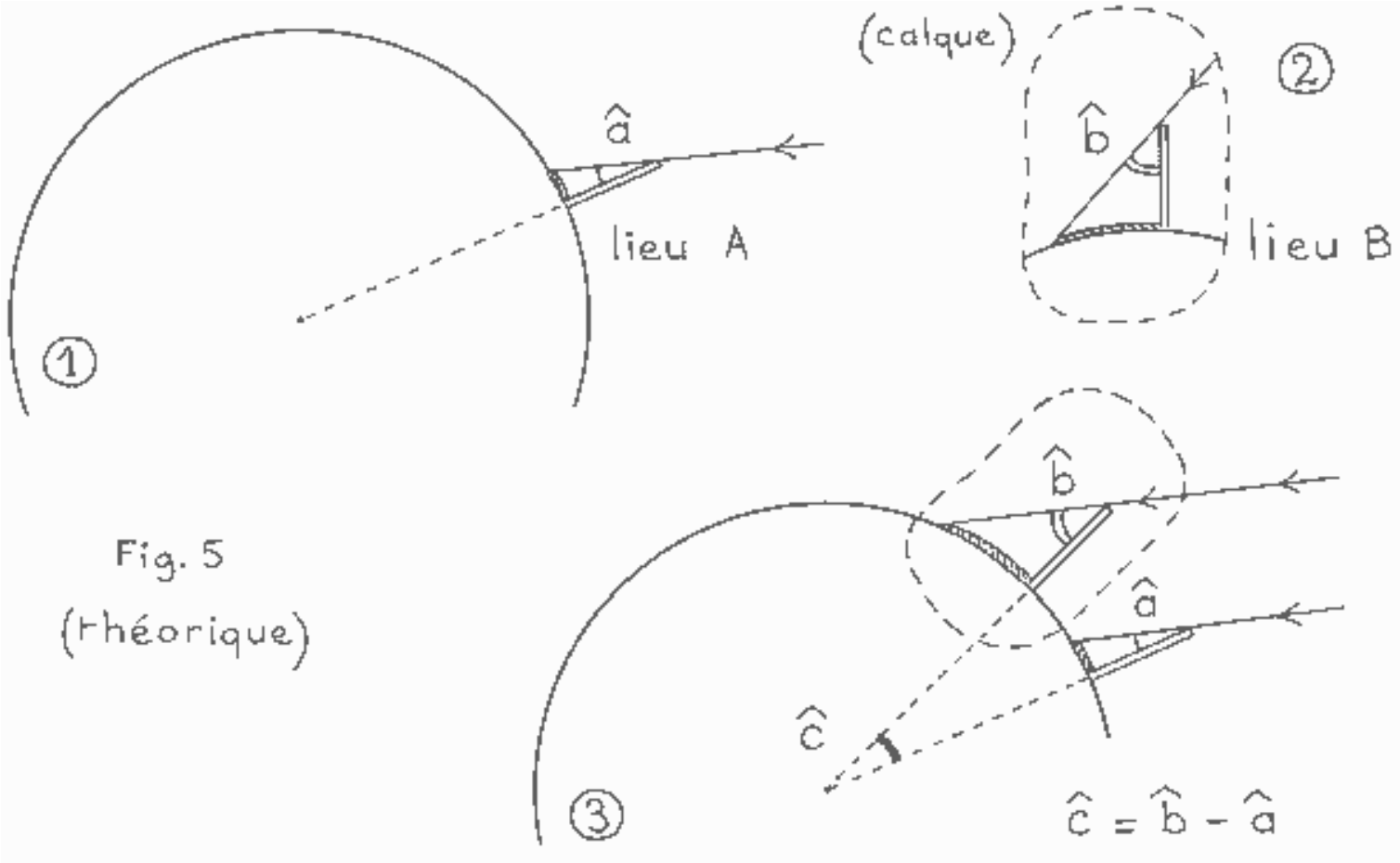
Ihr müßt eure(n) Winkelmeßwert(e) in der von uns auf der Website (http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=de) bereitgestellten Übersicht bekanntgegeben haben, damit die anderen Klassen eure Meßwerte verwenden können.

Ihr müßt eine Partnerschule wählen, die ihre eigene Messung am Sonnenmittag des selben Tages (zum Monat Juni

hin ist eine Abweichung von zwei Tagen zulässig) angestellt hat. Die Partnerschule muß mindestens 3 oder 4° Breitenunterschied zu eurer Schule haben. Achtet genau auf die Richtung der Schatten, denn manche Schulen sehen die Sonne mittags im Norden kulminieren und die Schatten nach Süden gerichtet, im Gegensatz zur Mehrheit der auf französischem Hoheitsgebiet liegenden Schulen

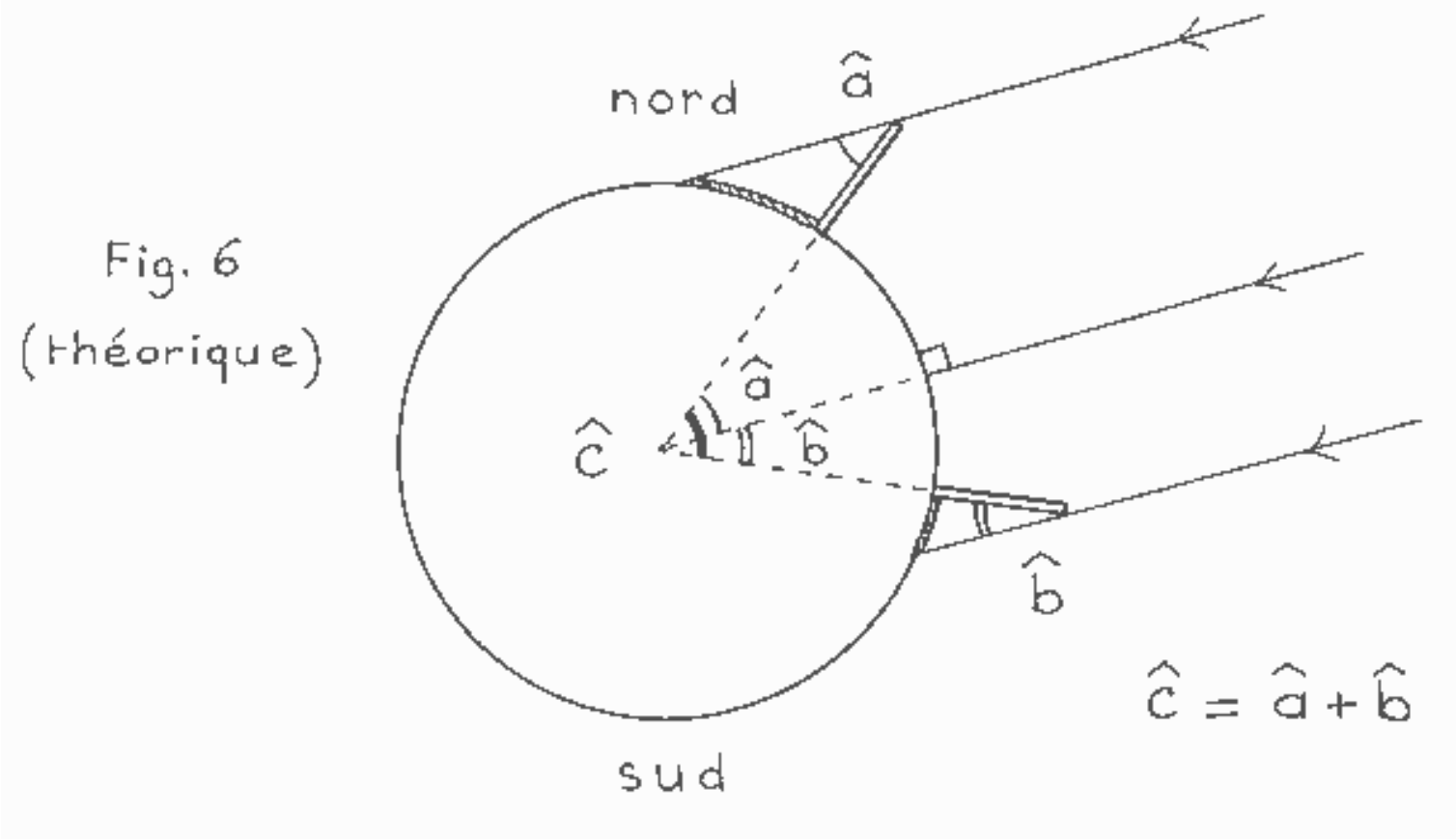
b-Die eigene "Eratosthenes-Figur" zeichnen

Jetzt geht es darum, die Eratosthenes-Figur mit eurer eigenen Stadt und der Stadt der nach den Angaben in der Übersicht gewählten Partnerschule zu zeichnen. Die Kinder machen das Schema in Abb. 5 für einen bestimmten Tag nach dem gleichen Prinzip wie vorher.



Lassen Sie die Kinder die Pause auf den Schnitt von der Erde legen. Es ist wichtig, daß diese durch einen sehr großen Kreis (oder Halbkreis) dargestellt wird, denn die beiden Winkel werden sich nur durch einige Grade voneinander unterscheiden, wenn beide Schulen im französischen Mutterland liegen.

Achtung! Manche Schulen, die im Tropengürtel oder auf der Südhalbkugel liegen, werden den Schatten nach Süden gerichtet und die Sonne also im Norden kulminieren sehen. In diesem Fall müssen sie in der Übersicht unbedingt die Richtung des Schattens angeben, denn dadurch ändert sich die Rechnung: Sehen Sie sich noch einmal die Überlegungen zur Figur des Eratosthenes an und plazieren Sie eine Stadt auf der Südhalbkugel auf den selben Meridian wie Alexandria. Da der Schatten dort in die umgekehrte Richtung zeigt, lassen Sie die Schüler den Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und der Senkrechten in dieser Stadt zeichnen (oder messen) und den vom Mittelpunkt der Erde ausgehenden Winkel zwischen dieser Stadt und Alexandria. Auch bei dieser Aufgabe geht es darum, die Beziehung zwischen diesen Winkeln zu finden: Dieses Mal müssen die Winkelgrößen addiert werden, um den Winkel zwischen den beiden Städten im Erdmittelpunkt zu erhalten.



Zur Probe kann man den zwischen den beiden Städten einfallenden und durch den Erdmittelpunkt gehenden Sonnenstrahl einzeichnen: Er spielt die Rolle von Syene, da er der Senkrechten folgt. Er teilt den Winkel zwischen den beiden Städten im Erdmittelpunkt in zwei Teile: Wendet man das mit dem Städtepaar Alexandria - Syene entdeckte Prinzip der Winkelgleichheit auf die beiden Teilwinkel an, stellt man fest, daß der erste (obere) Winkel gleich dem in der Stadt im Norden gemessenen Winkel und der zweite gleich dem in der Stadt im Süden gemessenen Winkel gleich ist. Die beiden Teilwinkel zusammengenommen ergeben den ganzen Winkel.

Fassen wir zusammen: Zeigen die Schatten der Partnerschulen in die selbe Richtung (beide nach Norden oder beide nach Süden), muß man die zwischen den Sonnenstrahlen und den Senkrechten gemessenen Winkel voneinander abziehen, um den Winkel im Erdmittelpunkt zu erhalten. Zeigen die Schatten in entgegengesetzte Richtungen, muß man die Winkel zusammenzählen.

c-Die Entfernung zwischen den Partnerstädten messen

Wie in dem vorher behandelten Fall des Eratosthenes braucht man nur den Dreisatz anzuwenden, um anhand der Entfernung zwischen den beiden Städten die Länge des großen Erd-Kreises zu finden. Ihr müßt also diese Entfernung kennen. Eratosthenes hatte zwei Städte gewählt, die (nahezu) auf dem selben Meridian liegen. In eurem Fall aber besteht wenig Aussicht, daß euer Partner auf dem selben Meridian wie ihr (d.h. auf der selben geographischen Länge) liegt. Die Kinder werden einsehen, daß man dieses Mal die Entfernung zwischen den durch die beiden Partnerstädte gehenden Parallelen und nicht die direkte Entfernung zwischen den Städten messen muß.

(Um sich davon zu überzeugen, braucht ihr euch nur zu fragen, welche auf eurem Meridian liegende imaginäre Stadt den selben Winkel mißt wie euer Partner. Es ist die Stadt, die auf der selben Parallele liegt. Der Unterschied? In ihr erreicht die Sonne ihren Höchststand zur gleichen Zeit wie bei euch, und ihr dürft sie auf eurer Figur einzeichnen, da es sich ja um einen durch einen Meridian (nämlich den euren) gehenden Schnitt der Erde handelt).

Nehmt eine Straßenkarte oder einen Atlas zu Hilfe, um nach dem angegebenen Maßstab die Entfernung zwischen

den beiden Parallelen zu schätzen. Auf den Karten der Atlanten und auf manchen Karten des Nationalen Geographischen Instituts (IGN) sind zum Glück einige Musterzeichnungen mit Parallelen und Meridianen zu finden, die euch sehr nützlich sein werden. Seid vorsichtig mit Projektionen, die auf Weltkarten die Kontinente deformieren, da sie je nach den Zonen der Erdkugel den Maßstab nicht einhalten

d - Die Länge eures Meridians berechnen

Ihr habt jetzt alle "Zutaten", um eure Rechnung durchführen zu können, und ihr braucht nur noch den Multiplikator, der es euch gestattet, von der Entfernung zwischen den Parallelen zur Gesamtlänge des Meridians überzugehen. Ihr könnt, wenn ihr wollt, wieder auf die in Teil 1 erläuterten Methoden zurückgreifen, um wieder zu den Ergebnissen des Eratosthenes zu gelangen, oder einfach den Dreisatz anwenden (falls die Schüler das Prinzip der Rechenmethode begriffen haben).

e - Den Durchmesser der Erde berechnen.

Nichts einfacher als das. Ihr habt den Umfang unseres Planeten berechnet. Jetzt braucht ihr den nur durch die berühmte Zahl PI ( ) zu teilen, und ihr habt den Durchmesser der Erde

Eratosthenes hatte seinerzeit genau 250.000 Stadien für den Erdumfang gefunden. Diese "schön runde" Zahl macht deutlich, daß er nicht die Präzision, sondern eher eine gute Größenordnung gesucht hat. Und damit ist ihm ein Meisterstück gelungen, denn dies entspricht einer Länge von etwas mehr als 39.000 km und ergibt also einen Erddurchmesser von ungefähr 12.500 km.

Die Kinder können ihre Ergebnisse mit dem von Eratosthenes vergleichen und in Lexika oder im Internet die jüngst von Wissenschaftlern gemessenen Größen suchen (Dabei werden sie übrigens entdecken, daß die Erde nicht vollkommen rund wie eine Kugel, sondern an den Polen abgeplattet ist, und daß ihr Durchmesser in der Polebene etwas geringer ist als in der Äquatorebene). Sie können auch über elektronische Post mit der Partnerschule in Verbindung treten, um mit ihren Kameraden über ihre Ergebnisse und ihre schlauen Rechnungen zu diskutieren.

Ihr könnt dies jedesmal tun, wenn es zu synchronen Messungen mit anderen Schulen gekommen ist. Sind keine Meßwerte zu den selben Daten wie den euren bekannt gegeben worden, könnt ihr (zwischen Mai und Juni) zur Not auch Meßwerte vom Tag vor oder nach euren Messungen verwenden, denn der von euch gemessene Winkel ändert sich sehr wenig von einem Tag zum anderen.

Weicht Ihr Resultat stark von der Wirklichkeit ab, suchen Sie mit Ihren Schülern die mögliche Ursache des (der) Fehler(s): ungenaue Winkelmessungen, ungenaue Messung der Entfernung zwischen den Partnern usw.
Geben Sie Ihre Resultate auf unserer Website bekannt und diskutieren Sie via Internet darüber mit Ihren Partnern und mit uns.

f- Bekanntgabe eurer Meßwerte in der Übersicht, in der alle Resultate zusammengefaßt werden

Die im Eratosthenes-Projektarbeitsraum für Ihre Schüler eingerichtete Meßwerteübersicht (http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=de) enthält von jetzt ab eine Spalte für die Messung des Meridians (in km). Wenn Sie das Ergebnis Ihrer Berechnung in diese Spalte eintragen, erscheint es auch in der Meßwerteübersicht und kann somit auch von anderen am Projekt teilnehmenden Klassen abgerufen werden. Dem Führer für die Benutzung des Projektarbeitsraums (http://www.mapmonde.org/eratos/help.php?lang=de) können Sie nähere Einzelheiten zur Bekanntgabe der Meßwerte entnehmen.

g- Versand einer elektronischen Postkarte an alle Teilnehmer über unsere Website

Wie Emmanuel di Folcoauf seiner Ägyptenreise können die Klassen auf der Eratosthenes-Website eine oder mehrere elektronische Postkarten als Erinnerung an das Projekt veröffentlichen. Wenn man sie ausdruckt, kann man sie ausschneiden und aufkleben und erhält so eine echte Postkarte. Hierdurch erhalten die Schüler die Möglichkeit, ihren Weg auf den Spuren des Eratosthenes zu dokumentieren und den anderen Klassen die eindrucksvollsten Momente ihrer Entdeckungen zu vermitteln.

Verfahrensweise :
Die Postkarte besteht aus vier Teilen, die ihr vorbereiten müßt, bevor ihr die Website anklickt:
ein Text (höchstens 10 Zeilen oder 100 Wörter)
ein Bild (jpg oder gif, höchstens 450 Pixel in der Breite und 400 Pixel in der Höhe),
ein Datum: Tag/Monat/Jahr
eine Bildunterschrift (höchstens 7 Wörter).
Sobald all dies fertig ist, könnt ihr in den Projektarbeitsraum gehen.
Drei Möglichkeiten bieten sich euch:
Eine Postkarte hinzufügen
Postkarten abzurufen oder zu ändern
Gebrauchsanleitung

Mit dem ersten Anklicken erhaltet ihr Zugang zu einem Formblatt für die Veröffentlichung eurer Postkarten. Übertragt den Text, das Datum und die Bildunterschrift auf die dafür vorgesehenen Felder und wählt auf eurem Computer die Stelle für das Bild. Dann braucht ihr nur auf "Abschicken" zu klicken, um eure Arbeit zu speichern und sie der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Der Name eurer Klasse erscheint automatisch in der Signatur der Postkarte. Um das Ergebnis eurer Arbeit sehen zu können, müßt ihr erneut anklicken. Die Postkarten, die eure Klasse verfaßt, erscheinen mit den Links "löschen" und "ändern", die nur mit eurem Paßwort und eurem Log-in sichtbar sind. Achtung! Ihr könnt nur den Text der Postkarte ändern. Wenn ihr das Bild ändern möchtet, müßt ihr die Postkarte löschen und eine neue eingeben.

Ein Tipp :
Auf dem Bildschirm ist eure Karte zweigeteilt: der eine Teil für den Text, der andere für das Bild und die Bildunterschrift. Regen Sie Ihre Schüler dazu an, ihre Postkarte mit einem Photo der Klasse mit dem Gnomon oder mit Photos von Aktivitäten, die ihnen besonders gut gefallen haben, zu versehen.

Vorsicht!
Jedes Einstellen ins Internet ist im rechtlichen Sinn eine Veröffentlichung, für die der Autor, der Herausgeber und der Verbreiter verantwortlich sind. Photos, auf denen Kinder erkennbar sind, bedürfen z.B. einer schriftlichen Einverständniserklärung der Eltern. Wir bitten Sie daher, die notwendigen Schritte bei den Eltern der Schüler, die auf Ihren Photos sind, zu unternehmen, oder ganz einfach auf Aufnahmen, auf denen die Kinder leicht zu identifizieren sind, zu verzichten.

3- Letzte Messung am 21. Juni

Der 21. Juni ist ein ganz besonderer Tag, weil an ihm Eratosthenes seine eigene Messung vorgenommen hat. Außerdem wissen wir, daß an diesem Tag der Sommersonnenwende auf der Nordhalbkugel die Sonne in Assuan am Sonnenmittag genau durch den Zenit geht, da Assuan auf dem Wendekreis des Krebses liegt. Wir regen an, daß ihr zum Abschluß des Projekts wie Eratosthenes am 21. Juni eine Messung macht (sofern die Sonne mitspielt). Die um diese Zeit stattfindenden Volksfeste bieten Gelegenheit, einen Stand zu organisieren, auf dem "der Umfang der

Erde "live" gemessen" wird.

Wie ihr dieser Tage bei euren Messungen sicher schon bemerkt habt, verändert sich der Winkel von einem Tag zum anderen immer weniger, während wir uns der Sonnenwende nähern. In der Woche um diesen Tag wird die Veränderung völlig unbedeutend sein. Das heißt, daß man zwischen dem 17. und 25. Juni angestellte Messungen durchaus gelten lassen kann. Damit ihr also nicht Gefahr lauft, am Tag der Sonnenwende selbst eine große Enttäuschung zu erleben, weil die Messung wegen des Wetters nicht möglich ist, plant schon jetzt eine Messung für den 18. und 19. Juni (und ggf. bis zum 25. Juni).

Dies dürfte es allen beteiligten Klassen ermöglichen, diese historische Messung mitzumachen.!

Ihr könnt dann alle sicher sein, daß ihr einen erstklassigen Partner haben werdet, denn an diesem Tag ist der Winkel der Sonnenstrahlen mit der Senkrechten in Assuan null. Unsere ägyptischen Partner in Alexandria und Assuan haben uns übrigens versprochen, mit einer gleichzeitigen Messung mit von der Partie zu sein. Somit bietet sich die Gelegenheit, diese historische Beobachtung mit Ihren Schülern nachzuvollziehen. Sie brauchen nur die Entfernung zwischen Ihrer Stadt und der Parallelen, auf der Assuan liegt, d.h. Ihre Entfernung zum Wendekreis des Krebses, zu schätzen. Außerdem ist Ihr Winkelabstand zum Wendekreis (der dem Winkel entspricht, den Sie an diesem Tag messen werden) groß genug, um mit präzisen Meßwerten den Durchmesser der Erde gut veranschlagen zu können. Lassen Sie sich nicht die Gelegenheit entgehen, dieses tolle Experiment am 21. Juni noch einmal durchzuführen !

Fakultativer Unterricht (Projektphase 5)

Sich auf der Erde zurechtfinden

Eine weitere Etappe auf dem Weg des Eratosthenes: Nachdem ihr eure ersten "ernsthaften" und präzisen Messungen beendet habt, könnt ihr eure Ergebnisse mit denen der Partnerschulen vergleichen. Aber zuerst müßt ihr mit den geographischen Koordinaten vertraut gemacht werden, mit deren Hilfe ihr vor allem den Standort der anderen Schulen finden könnt.

Dauer : 2 Unterrichtsabschnitte

Begriffe, die angesprochen werden: Kartographie, Breite und Länge, Zeitzonen.

Lernmittel :

Für die Klasse:
eine Wandkarte von Frankreich
eine Straßenkarte eurer Region
ein DIN A3-Blatt
eine durchsichtige Plastikfolie

Für jede Gruppe von 4 Schülern:
eine Karte eures Gebietes (Land, Insel) auf einem DIN A4-Blatt
ein kariertes DIN A4-Blatt
ein kugelförmiger Gegenstand (Globus, Tennisball, Boule-Kugel, Apfelsine ...)
ein Winkelausschnitt

Einleitung

Sie können diesen Unterricht damit einleiten, daß Sie den Schülern erklären, worum es bei dieser Aktivität geht. Nahezu 80 Klassen (http://www.mapmonde.org/eratos/schools.php?lang=de) in 17 Ländern stellen die gleichen Messungen an wie ihr. Mit mehreren Winkelmessungen und der Bestimmung der Entfernungen, die euch von Euren Partnern trennen, könnt ihr bald wie Eratosthenes den Durchmesser der Erde berechnen. Angesichts der langen Liste von Namen, von denen die meisten unbekannt sind, ist das erste Ziel, den Standort dieser Partner zu bestimmen.

Sommaire de la séquence:

1) Orientierung auf einem Plan: eure Umgebung

2) Der gekrümmte Raum: vom Lokalen zum Globalen

1)Orientierung auf einem Plan: eure Umgebung

Die ganze Klasse

Um Ihren Schülern Orientierungshilfen an die Hand zu geben, beginnen Sie damit, zusammen mit ihnen, die in der Nähe Ihrer Schule liegenden Dörfer, Städte, Berge, Hügel und Denkmäler, die sie gut kennen, zu orten. Erfassen Sie sie in einer Liste und schlagen Sie ihnen vor, eine Karte ihrer näheren Umgebung zu zeichnen (Sie können hierfür z.B. eine Straßenkarte zu Hilfe nehmen).

Plazieren Sie in die Mitte eines DIN A3-Blattes Ihre Schule und fragen Sie, wie die auf der Liste stehenden Dörfer, Städte, Hügel usw. auf der neuen Karte zu plazieren sind und wie man eine möglichst wirklichkeitsgetreue Karte zeichnen kann.Nachdem Sie mit den Schülern einen Maßstab festgelegt haben, fragen Sie, was man über jedes Objekt wissen muß, um es auf der Karte zu plazieren. Wie glauben sie alle Objekte am einfachsten und schnellsten auf der neuen Karte plazieren zu können

Die Schüler schlagen möglicherweise zwei verschiedene Vorgehensweisen vor :

- Für die einen muß man bestimmt als Erstes die Entfernung von der Schule zu den einzelnen Objekten kennen und dann die Richtung bestimmen, in der sie liegen.
- Andere wollen vielleicht ein Gitternetz machen und die Objekte einfach wie die Figuren auf einem Schachbrett darauf plazieren.

In Gruppen von 4 oder 5 Schülern

Sie können die Klasse in solche Gruppen einteilen und jede der Gruppen die eine oder die andere Vorgehensweise ausprobieren lassen.

- Die erste Methode :

Da die Schüler nicht alle in Betracht kommenden Entfernungen kennen, obwohl sie aufgrund ihrer täglichen Wege häufig eine vage Vorstellung haben, berechnen sie mit Hilfe der Straßenkarte nach dem vereinbarten Maßstab die entsprechenden Entfernungen auf ihrem Blatt. Dies genügt natürlich nicht. Man muß auch wissen, in welcher Richtung ein Objekt liegt. Für eine zunächst ungefähre Lokalisierung können sie die vier Himmelsrichtungen eintragen. Herauszufinden, ob ein Dorf im Norden oder im Süden liegt, ist ein erster Schritt. Aber wie läßt sich dies genauer bestimmen? Vielleicht erinnern sich manche an die Experimente mit Winkelausschnitten.
Man braucht in der Tat nur einen Winkel auszuschneiden und einem Schenkel eine feste Richtung (Nord-Süd- oder Ost-West-Richtung) zuzuordnen und den anderen eure Schule mit einem Objekt verbinden lassen. Nach der Straßenkarte können die Schüler jetzt so viele Winkel ausschneiden, wie es Objekte gibt, wobei sie als Bezugsstrahl eine der Himmelsrichtungen wählen (die bei jedem Objekt natürlich anders sein kann). Auf jedem der beiden Schenkel des Winkelausschnitts sollen der Name des Objekts, seine Entfernung von der Schule und die als Bezug gewählte Himmelsrichtung vermerkt werden. Die Winkelausschnitte brauchen die Schüler dann nur noch auf ihr Blatt zu übertragen.

- Die zweite Methode::

Auch hierbei müssen zwei Koordinaten bestimmt werden, bei denen es sich aber nicht mehr um Entfernung und Richtung, sondern um zwei Entfernungen handelt, von denen die eine "horizontal" und die andere "vertikal" auf ihrem Gitternetz gemessen wird. Die Schüler müssen also zwei Gitternetze machen: das eine auf der Straßenkarte, das andere auf ihrem Blatt entsprechend dem vereinbarten Maßstab. Sie können dann die Objekte mehr oder weniger genau je nach der Größe ihrer Karos plazieren.

So könnt ihr die Umgebung eurer Schule nach dem gewählten Maßstab darstellen und diese neue Karte sogar mit einem Kompaß im Klassenraum norden.

Wahl der besten Methode:

Fragen Sie die Schüler, welche der beiden Methoden sie für die einfachste und schnellste halten und lassen Sie sie darüber diskutieren. Fordern Sie sie dann auf, sich im Geist an einen der von ihnen auf der Karte dargestellten Standorte (außer der Schule) zu plazieren, und lassen Sie einen Schüler einem Kameraden auf seine Karte (nach seiner Methode) den Weg von diesem neuen Punkt zu einem dritten Standort erklären. Welche Karte ist jetzt die geeignetste, um diesen Weg schnell zu finden?
Nach der ersten Methode muß man wieder die Entfernung zwischen den beiden neuen Orten und genau die Richtung messen. Man muß also die ganze Arbeit nochmal machen, während man nach der zweiten Methode nur die Karos horizontal und vertikal zu zählen braucht, um die der dritte Ort gegenüber dem zweiten versetzt ist. Und das ist in der Tat viel einfacher. Die Schüler sind von der Zweckmäßigkeit dieses als kartesisch bezeichneten Koordinatensystems (das andere heißt Polarkoordinatensystem) rasch überzeugt

Das ganze Land :

Hängen Sie eine Wandkarte von Frankreich (von Ihrem Land oder Ihrer Insel) auf und bereiten Sie eine durchsichtige Folie (Einschlagfolie für Bücher oder Blumen ...) des gleichen Formats vor. Verteilen Sie an alle Gruppen ein DIN A4-Blatt, auf dem nur die Konturen des auf der Wandkarte dargestellten Gebiets zu sehen sind.

Tragen Sie zunächst die vier Himmelsrichtungen auf den Karten ein.
Stellen Sie anhand der Wandkarte mit den Schülern eine Liste der bekanntesten Städte auf, kleben Sie auf den Standort Ihrer Stadt oder Ihres Dorfes einen farbigen Punkt. Die Schüler sollen dann sagen, wie sich die Städte auf der Liste leicht orten lassen und wie man ihren Standort beschreiben soll.
Sie werden sich alle ohne Zögern für das Gitternetz entscheiden. Eine Gelegenheit, das "Schiffe Versenken" für pädagogische Zwecke einzusetzen. Jedes "Quadrat" kann durch einen Buchstaben und eine Zahl "angesprochen" werden .
Sie werden also zunächst mit den Schülern ein Gitternetz machen, das Sie auf die Wandkarte legen, damit man die Lage der größten Städte und Berggipfel bestimmen kann. Die Schüler werden sich sicher fragen, wie groß die Maschen dieses Netzes sein sollen. Sie entscheiden selbst über die zu wählenden Parameter und übertragen dann das Gitternetz auf das Blatt der Gruppe, um die Objekte auf der Karte möglichst genau plazieren zu können.

Wieviele Karos in der Höhe? Wieviele in der Breite? Wie groß soll das Karo sein? Welche Form soll es haben: quadratisch oder rechteckig? Wie soll man numerieren? Wo anfangen? Wie soll der Zusammenhang zwischen beiden Gitternetzen hergestellt werden? Lassen Sie die Schüler über jede dieser Fragen dann diskutieren, wenn sie sich stellen.
Die Gruppen, die sich für die erste Methode entschieden hatten, sind jetzt natürlich im Vorteil und können den anderen bei ihren Entscheidungen behilflich sein.

Fragen : Wie schneiden sich die Linien, die das Gitternetz bilden? Welche Richtung haben sie?

2-Der gekrümmte Raum: vom Lokalen zum Globalen

In Gruppen

Arbeiten Sie in dieser zweiten Phase auf die Erstellung des Netzes von Meridianen und Parallelen hin, welche die geographischen Koordinaten bilden, mit deren Hilfe man sich auf der Erde orientieren kann

Wie läßt sich das, was wir gerade konstruiert haben, auf die Erdkugel anwenden? Verteilen Sie Photokopien des Gitternetzes, das Sie vorbereitet haben, und kugelförmige Gegenstände (Tennisbälle, Boule-Kugeln, Apfelsinen ...) und fordern Sie die Schüler auf, das Gitternetz um diese Gegenstände zu legen: Welche Schwierigkeiten tun sich auf?

Wie ein auf die Kugelform passendes Gitternetz erfinden? Welche Formen nehmen die Linien des flachen Gitternetzes an, wenn sie sich um eine Kugel legen?

Zu einem neuen Anhaltspunkt.

Jede Gruppe wickelt das Blatt mit dem Gitternetz um eine Kugel, und zwar zuerst zu einem Zylinder. Dabei bemerken die Schüler, daß die parallelen Geraden zu Kreisen werden. Um das ganze Gitternetz um die Kugel zu wickeln, müssen sie den Zylinder an den beiden Enden wie das Papier eines Bonbons zusammenfalten, wobei die vorher senkrechten Linien sich verengen und in zwei einander entgegengesetzten Punkten zusammenlaufen.

Da es unmöglich ist, das ganze Blatt faltenlos um die Kugel zu wickeln, nehmen sie eine andere Kugel und üben sich darin, mit dem Filzstift dieses eigenartige Liniennetz darauf zu zeichnen. Sie erhalten auf diese Weise ein ganz neues Gitter, das sie so gleichmäßig wie möglich zu zeichnen versuchen.

Das vorher plane Maschennetz schließt sich um die Kugel. Alle auf dem Papier geraden Linien werden Kreise, die unterschiedliche Durchmesser haben und einander parallel sind, (was die vorher waagerechten Linien angeht), und die alle den gleichen Durchmesser wie die Kugel haben und sich alle in zwei Punkten schneiden, (was die vorher senkrechten Linien angeht). Sie können diese neue Zeichnung mit den Schülern besprechen, indem Sie z.B. eine der Kugeln aufschneiden (Die Schale einer Apfelsine ist hierfür besonders gut geeignet). Für die Kreise mit gleichem Durchmesser kann man sie in Scheiben oder Viertel und für die parallelen Kreise in Kränze oder Ringe schneiden.
Wenn Sie jetzt noch wie beim planen Gitternetz zusammen eine Numerierung der Scheiben und der Ringe festlegen, können die Schüler eine weltumspannende Seeschlacht veranstalten. Falls sich die Durchführung der Projektphasen mangels Sonnenschein verzögert hat, können Sie sich damit begnügen, den Schülern das für die Erde verwendete Gitternetz an einem Globus zu erläutern und sie darauf hinzuweisen, daß die beiden Schnittpunkte der senkrechten Linien dem Nord- bzw. Südpol entsprechen und daß die Numerierung der Planquadrate durch eine Einteilung der Kreise in Grade (wie bei einem Winkelmesser) ersetzt worden ist. Machen Sie sie auch auf die neuen "Nullpunkte" aufmerksam: die Null in der "Vertikalen" auf dem Äquator, und die Null in der "Horizontalen" auf einer "Meridian von Greenwich" oder Nullmeridian genannten Linie, die in Frankreich nicht weit von Paris verläuft.

Sie können die mit diesem neuen Gitternetz verbundene Terminologie einführen, sobald den Schülern Begriffe wie Meridian, Längenkreis, Parallele, Äquator, Länge, Breite usw. hinreichend klar sind. Um sie noch vertrauter damit zu machen, lassen Sie sie auf eine Karte von Frankreich ihre Schule (falls sie im

französischen Mutterland liegt) und die Schulen, mit denen Sie zusammen ihre Messungen anstellen, plazieren und dabei die geographischen Längen und Breiten aus der Übersicht im Internet verwenden. Sie können diese Übung natürlich nach Belieben und der Ihnen zur Verfügung stehenden Zeit auch auf Ihre Region ausdehnen. Dazu bedarf es keiner Sonne.

Ihr seid jetzt hinreichend gewappnet, um den Vergleich eurer Meßwerte mit denen eurer Partner vorzunehmen und endlich den Durchmesser der Erde zu bestimmen. Wenn Sie noch etwas Zeit haben, könnten Sie noch näher auf die Begriffe Breite und Länge eingehen und mit ihnen über die Zeitzonen auf unserem Planeten sprechen.

Projekt

Abschlußtest - Fragebogen für die Schüler

Vorbemerkungen

Das Eratosthenes-Projekt geht zu Ende. Wir hoffen, daß Ihre Schüler aus all diesen Aktivitäten, bei denen sie gelernt haben, mit dem Schatten eines simplen Stabes "die Erde zu messen", großen Nutzen gezogen haben.

Um ihren Wissenszuwachs gegenüber dem mit dem Eingangstest geprüften Kenntnisstand zu ermitteln, schlagen wir Ihnen einen Abschlußtest vor, der einfach auf den Inhalt des Eingangstestes zurückgreift und um zwei Fragen erweitert wurde, von denen die eine die berühmte Figur des Eratosthenes und die andere die geographischen Koordinaten betrifft.

Praktische Einzelheiten

Testdauer: Je nach Erfahrung der Schüler eine Stunde von 45 Min. oder zwei Stunden von ca. 30 Min. (Sehr langsam arbeitenden Schülern sollte Gelegenheit gegeben werden, die noch offenen Fragen später zu beantworten)

Lernmittel :

Für jeden Schüler :
Die Fragebogenblätter und einige Blatt weißes Papier für die zu
einigen Fragen anzufertigenden Zeichnungen;
Bleistift, Radiergummi, Bunt- oder Filzstifte.

PROJEKT: "AUF DEN SPUREN DES ERATOSTHENES"

17 Fragen zur Ermittlung des Wissensstandes auf einigen Gebieten
Bevor du eine Frage beantwortest, lies sie zuerst bis zu Ende durch.
*Wenn du zwischen mehreren Antworten wählen mußt, **kreise** die von dir gewählte Antwort mit Bleistift **ein**.*
*Wenn du eine Frage mit einer **Zeichnung** beantworten mußt, mache die Zeichnung auf ein gesondertes Blatt, auf dem du die **Nummer** der gestellten Frage angibst..*

1 – Wir stellen uns in den Schatten.

Hast du schon einmal Schatten beobachtet? Versuche, den Schatten eines in der Sonne stehenden Stabes zu zeichnen (der Stab steckt im Boden). Zeichne dann die Schatten von drei ziemlich weit voneinander stehenden Stäben.

2 –Hängt die Wandtafel schief?

Senkrecht und waagerecht: Mache eine Zeichnung, um diese beiden Wörter zu veranschaulichen. Ziehe

zuerst eine Linie, die den Boden darstellt; zeichne dann einen senkrecht darauf stehenden und daneben einen waagerecht darauf liegenden Gegenstand.

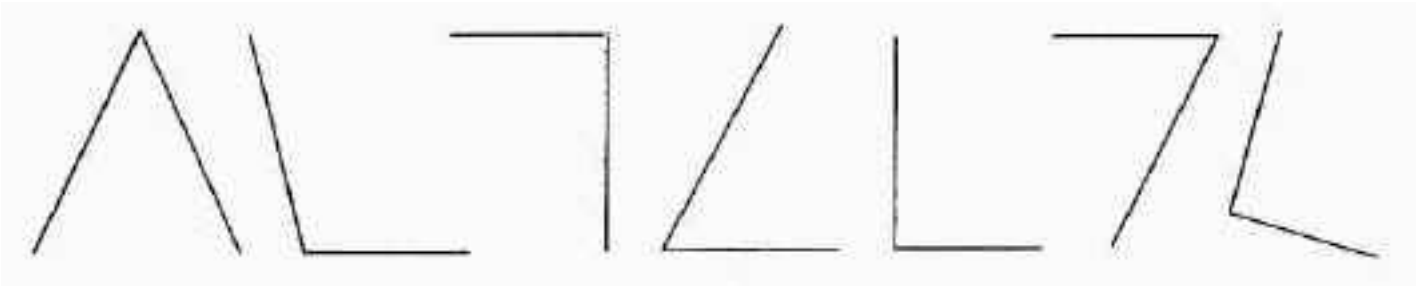
Kannst Du zwei Geräte nennen (und zeichnen?), mit denen man prüfen kann,

-ob der erste Gegenstand senkrecht steht: _____

- ob der zweite Gegenstand waagerecht liegt: _____

3 – Winkelige Gassen

Du weißt vielleicht schon, was ein Winkel ist, und kennst vielleicht auch schon einen rechten Winkel. Kreise von den nachstehenden Winkeln diejenigen ein, die du als rechte Winkel betrachtest



Weißt du, wie ein Winkel heißt, der "weniger offen" als der rechte Winkel ist?

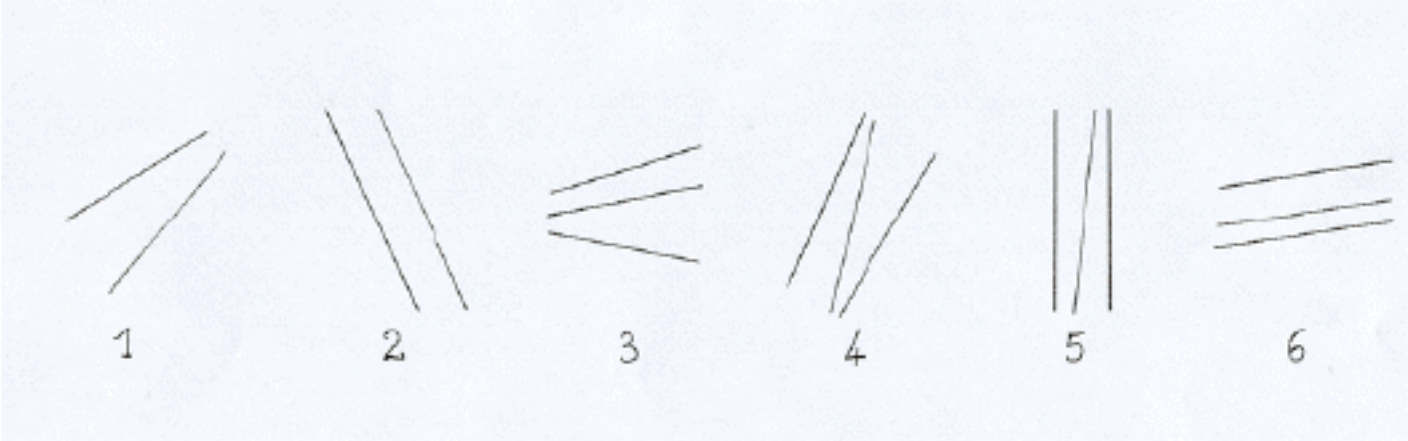
Es ist ein _____Winkel.

Kennst du das Gerät, mit dem man "die Öffnung" eines Winkels mißt?

Es heißt _____

4 – Parallele Straßen.

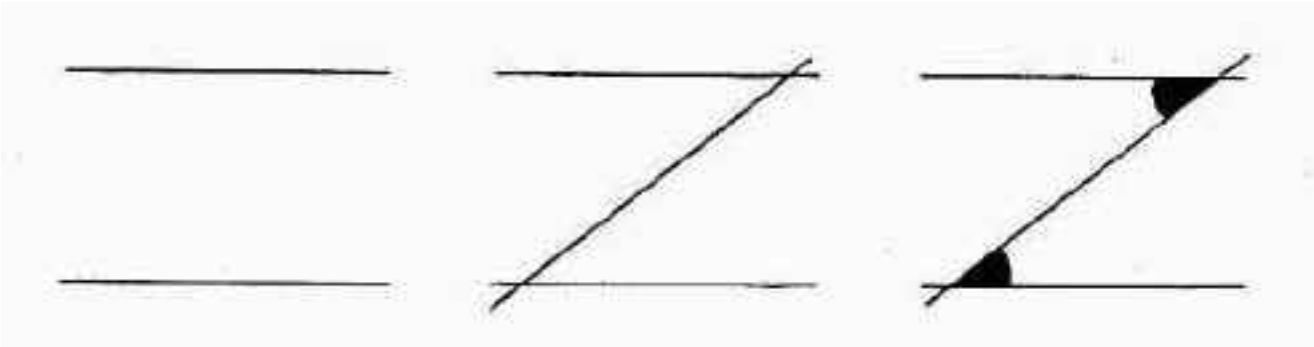
Hast du schon von "parallelen Geraden" gehört? Auch wenn nicht, kannst du vielleicht herausfinden, worum es sich handelt, wenn du die folgenden "Gruppen" von Geraden betrachtest



Kreise die Gruppen mit parallelen Geraden ein

5 – Z wie Zorro

Betrachte die drei Etappen des Zustandekommens dieses komischen "Z".



Die beiden geschwärzten Winkel weisen

eine Besonderheit auf: : welche ? _____

Wie kann man sie nachweisen ? _____

6 – Unsere Erde

Welche Form hat die Erde? (Zeichne sie auf eines der weißen Blätter)

Woher weißt du das?_____

Woran erinnert sie dich? _____

7 – Und noch einmal Stäbe

Füge auf dem Umkreis der gerade von dir gezeichneten Erde in großen Abständen drei wie Zeltpflöcke im Boden steckende Stäbe ein.

8 – Die Erde im Sonnenschein

Zeichne die Erde, wie du sie dir im Weltraum vorstellst, mit Erdteilen z.B., aber auch mit der sie bescheinenden Sonne. Schattiere sorgfältig den Teil der Erde, in dem deiner Ansicht nach Nacht herrscht.

9 – Tag und Nacht

Kreise von folgenden vier Sätzen den (oder die) ein, der (oder die) deiner Ansicht nach die richtige Erklärung dafür liefert (liefern), daß auf der Erde abwechselnd Tag und Nacht ist. (Du kannst mehr als eine Antwort einkreisen)

1) 1) Die Erde dreht sich um die Sonne.

2) Die Sonne dreht sich um die Erde.

3) Die Erde dreht sich um sich selbst.

4) Die Erde dreht sich um sich selbst und um die Sonne.

10 – Ein kleiner Westwind

Hier ist eine Karte von Frankreich. Daneben siehst du eine sogenannte Windrose. Sie gibt die vier Himmelsrichtungen an:

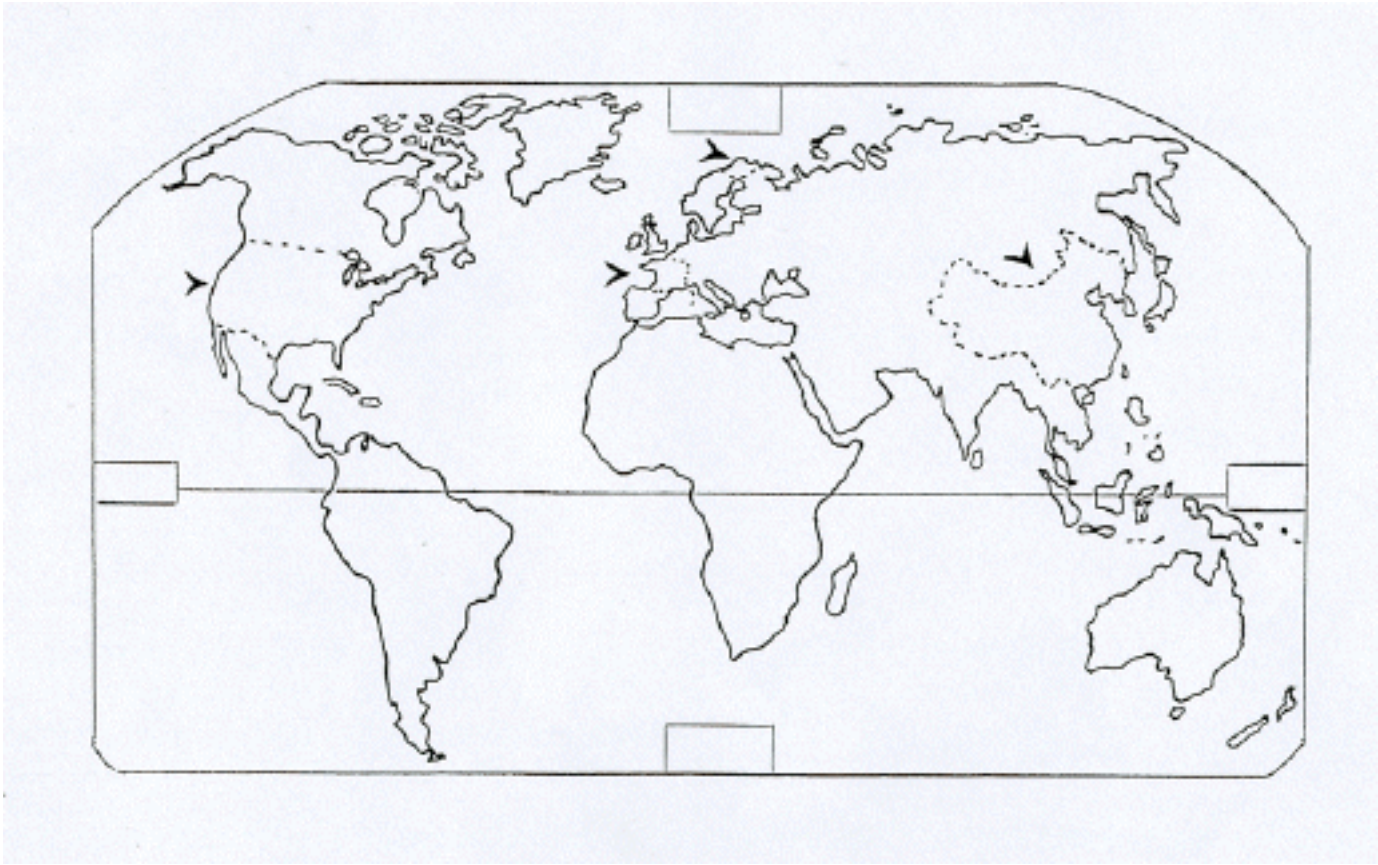
Norden (N) Süden (S) Osten (O) Westen (W)

Schreibe an die Spitzen der Windrose den Anfangsbuchstaben der jeweiligen Himmelsrichtung.
Auf der Karte ist der Ort gekennzeichnet, wo sich deine Schule befindet. Wähle eine nördlich davon gelegene Region und schreibe Norden hinein, eine südlich davon gelegene Region und schreibe Süden hinein, usw.

11 – Wir reisen in die weite Welt

Hier ist eine Karte mit den fünf Erdteilen. Man nennt eine solche Karte Planisphäre. Schreibe den Namen der vier Himmelsrichtungen in die vier kleinen Rechtecke. Suche Frankreich, die Vereinigten

Staaten von Amerika, China und Lappland und koloriere sie jeweils mit einer anderen Farbe



Wo liegen deiner Ansicht nach die Vereinigten Staaten?

- westlich von Frankreich

- östlich von Frankreich

Wo liegt deiner Ansicht nach Frankreich?

- westlich von China

-östlich von China

12 –Ist es Zeit aufzustehen oder schlafen zu gehen?

Während in manchen Ländern Nacht herrscht, ist es in anderen Ländern Tag. Wenn die Kinder in Frankreich morgens aufstehen, gehen andere Kinder auf der Welt zu Bett.

Weißt du welche?
Die amerikanischen Kinder gehen schlafen.
Die chinesischen Kinder gehen schlafen.
Die Eskimokinder in Lappland (Nordeuropa) gehen schlafen

13 –Die Sonne geht auf!

Weißt du, in welcher Richtung man die Sonne aufgehen sieht?

im Norden im Süden im Osten im Westen

In welcher Richtung man die Sonne ugehen sieht?

im Norden im Süden im Osten im Westen

14 – Die Sonne scheint mir in die Augen !

Stell dir vor, du stehst auf einer großen Ebene; die Sonne steht vor dir hoch am Himmel. Zu welcher Tageszeit kannst du sie so sehen? _____

In welcher Richtung kann man sie gegenwärtig sehen? _____

Zeichne eine Linie, die den Horizont darstellt und in die Mitte darüber die Sonne am Himmel.

Zeichne den Lauf der Sonne vom Morgen (Aufgang) bis zum Abend (Untergang).
Trage nach deinen Antworten auf die Fragen 13 und 14 die vier Himmelsrichtungen ein.
Zeichne danach Pfeile an die Sonnenbahn.

15 – Die Jahreszeiten

Weißt Du, warum die Nächte im Winter länger sind als im Sommer?_____

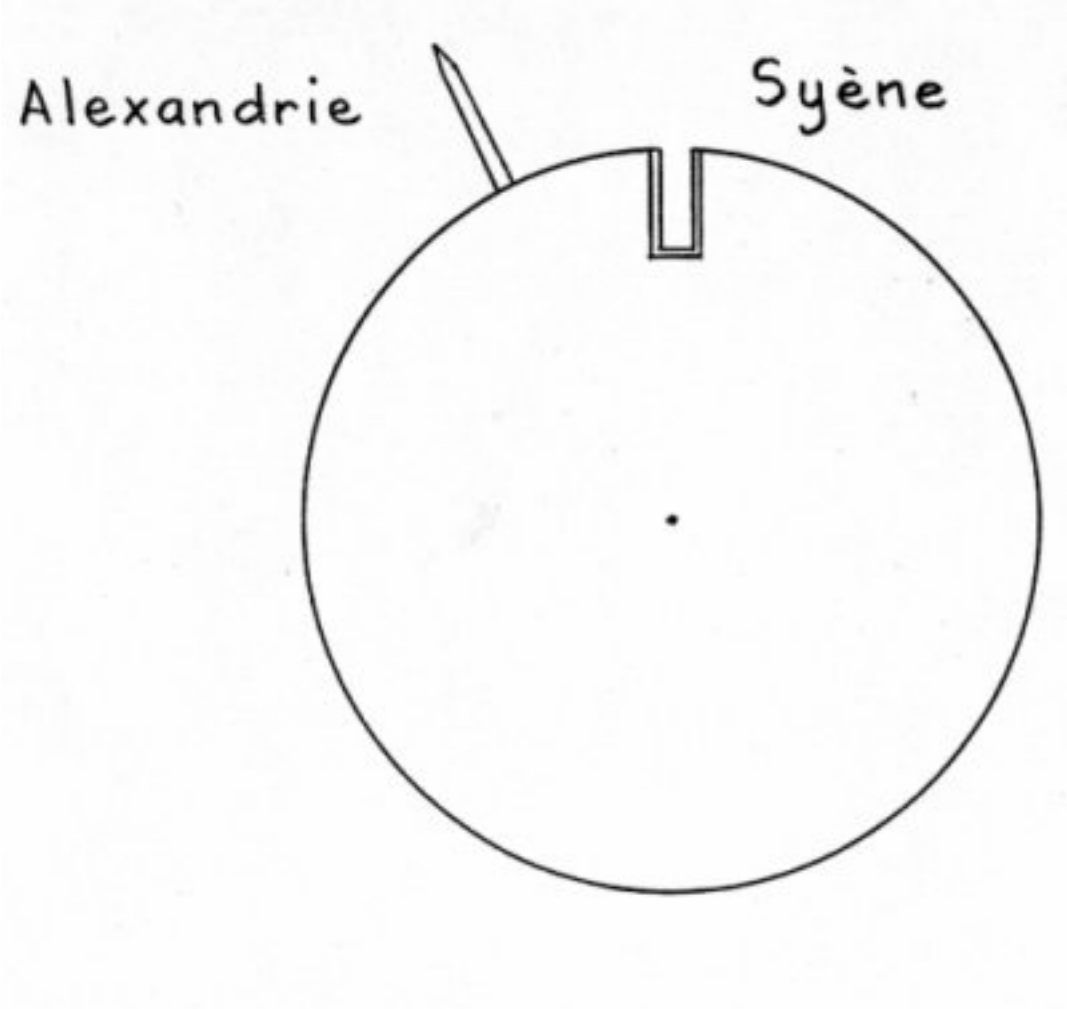
_____

Weißt Du, warum es bei uns im Winter kalt und im Sommer heiß ist?
_____

_____

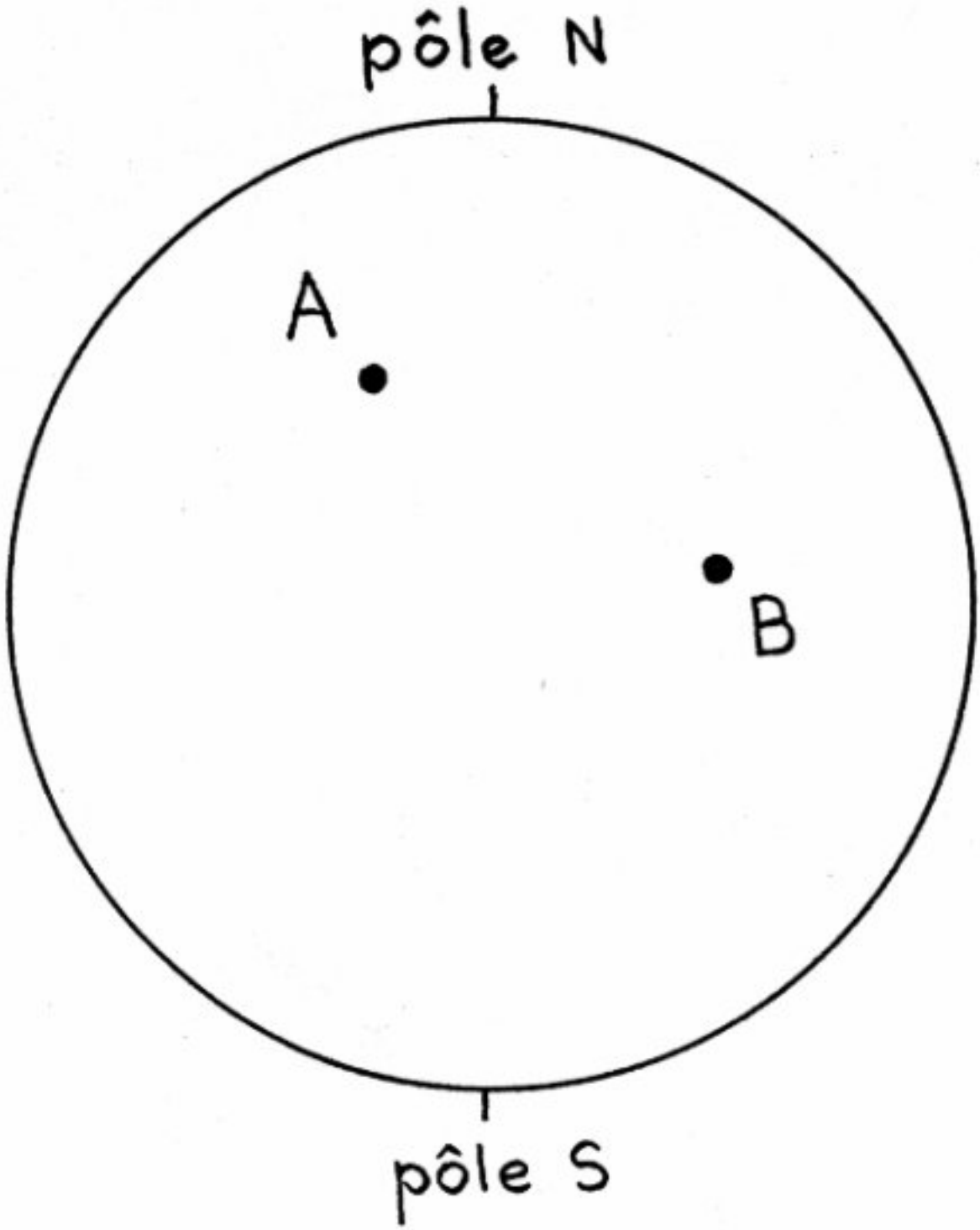
16 - Die geniale Idee des Eratosthenes

Kannst du die berühmte Figur des Eratosthenes vervollständigen? Zeichne auf dieses Schema zuerst zwei Sonnenstrahlen, von denen der eine bis auf den Boden des Brunnenschachts und der andere auf den Obelisken und bis auf den Boden (und durch Strichelung sogar etwas darüber hinaus) geht. Verlängere dann die Senkrechte in Syene und in Alexandria bis zum Erdmittelpunkt. Koloriere die beiden gleichen Winkel (des Z = Zorro), die es Eratosthenes ermöglicht haben, den Erdmeridian zu berechnen.



17 -Meridiane und Parallelen

Hier ist eine schematische Darstellung der Erdkugel mit den Städten A und B. Zeichne den Meridian und dann die Parallele (Breitenkreis), die beide durch die Stadt A gehen. Tue das Gleiche bei der Stadt B. Zeige durch eine gestrichelte Linie die Entfernung, die - nach der Methode des Eratosthenes - bei der Berechnung der Länge des Erdmeridians berücksichtigt werden muß.



Wir wünschen euch ein gutes Schuljahresende und schöne Ferien und sagen Auf Wiedersehen im September bei einem neuen wissenschaftlichen Abenteuer