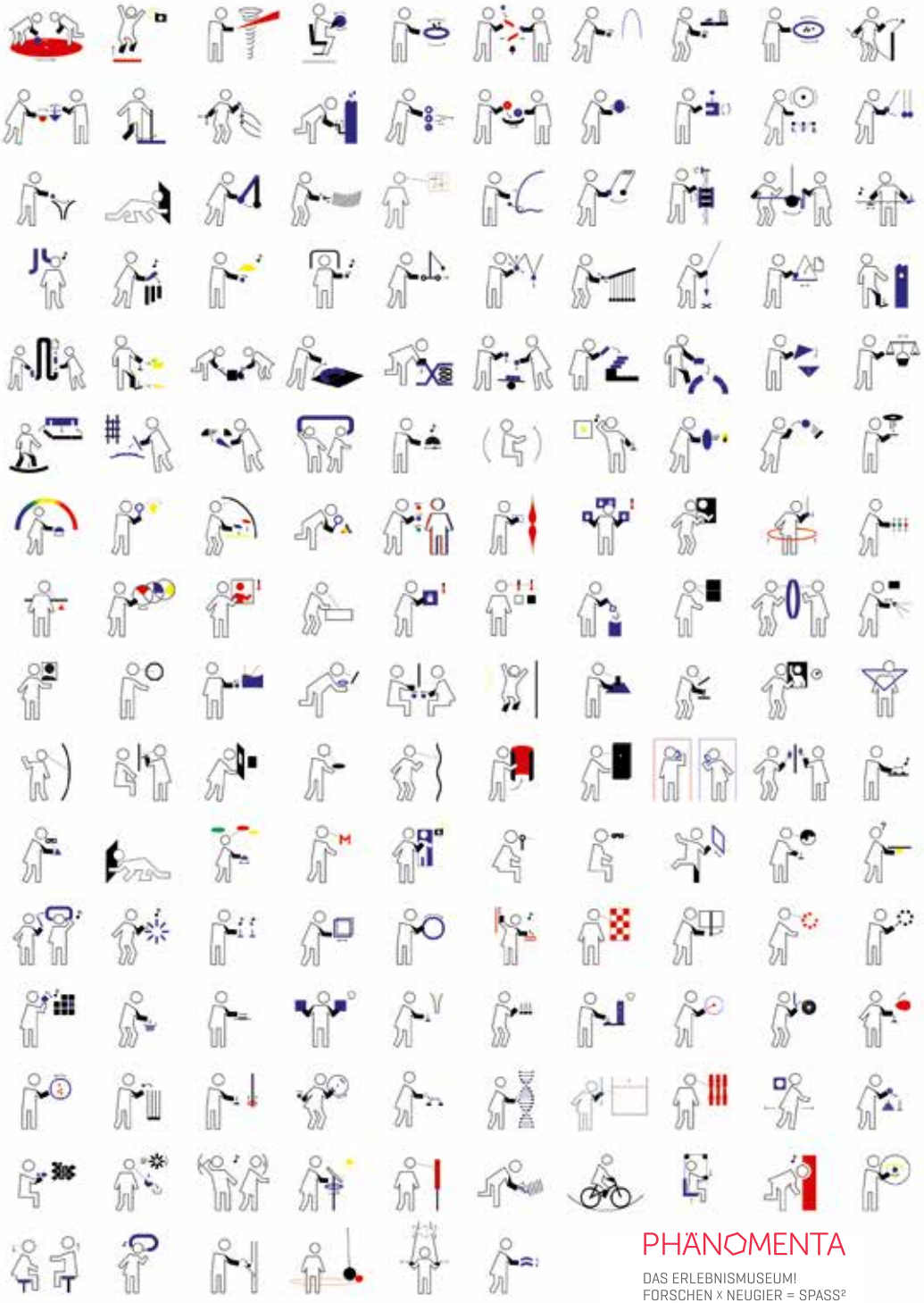
PHÄNOMENTA

DAS ERLEBNISMUSEUM!
FORSCHEN x NEUGIER = SPASS²

Pfad für Sehbehinderte und Blinde mit Handreichungen für ihre Begleiter

»Fledermauspfad«

Auflage: 04 | 2021



PHÄNOMENTA

DAS ERLEBNISMUSEUM!
FORSCHEN x NEUGIER = SPASS²

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	Seite 4
Glocke im Vakuum	Seite 5
Hörrohr	Seite 7
Hörstein	Seite 9
Klopfophon	Seite 11
Lichtloses Tasten	Seite 13
Lochsirene	Seite 14
Magnetische Felder	Seite 16
Monochord	Seite 18
Resonanzröhren	Seite 20
Schwebung	Seite 22
Selbstgespräch	Seite 23
Stereohören	Seite 24
Tastpfad	Seite 26
Theremin-Vox	Seite 28
Turm von Hanoi	Seite 30
Unendliche Tonleiter	Seite 33
Vorwärts Rückwärts	Seite 35
Warm oder kalt	Seite 36
Wärmewahrnehmung	Seite 38

AUTOREN:

Sebastian Bühren · Hans-Henning Langkitsch · Dr. Johannes Pöpping · Martin Rudolf Schmidt

GEFÖRDERT DURCH:

Südwestfalen Regionale 2013 · Denkfabrik · EUROPÄISCHE UNION Investition in unsere Zukunft Europäischer Fonds für regionale Entwicklung · Ziel2.NRW · Ministerium für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen

Stadt Lüdenscheid · Die Beauftragte der Bundesregierung für Kultur und Medien · BUNDES VERBAND SOZIO KULTUR · NEU START Sofortprogramm für Corona-bedingte Investitionen in Kultureinrichtungen

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Vorwort

Speziell für Blinde und Sehbehinderte ...

Von Beginn an hat die PHÄNOMENTA versucht, die Ausstellung für Menschen mit Behinderungen soweit wie möglich nutzbar zu machen: Selbstverständlichkeiten wie Behindertenparkplätze, barrierefreie Zugänge von außen, Aufzüge und Rampen im Inneren des Gebäudes sowie geeignete Toiletten sind eingerichtet. Auch die Stationen wurden, wenn möglich, so geplant und gebaut, dass sie mit dem Rollstuhl unterfahrbar sind und die Bedienungselemente sich gut erreichen lassen.

Anfang der 2000er-Jahre betrieb die PHÄNOMENTA in Zusammenarbeit mit dem Blinden- und Sehbehindertenverein Lüdenscheid und Umgebung jeweils für einige Tage das „Café Unsichtbar". In diesem völlig dunklen Café mussten sich die Besucher tastend und hörend zurechtfinden, sie wurden von blinden und sehbehinderten Vereinsmitgliedern betreut und bedient. Eine parallele Sonderausstellung gab Einblick in die Hilfsmittel, die Blinden zur Verfügung stehen.

Im Zuge der Erweiterung 2015 fanden Gespräche mit dem ehrenamtlich tätigen Behindertenbeauftragten der Stadt Lüdenscheid statt, die den Fokus nochmals verstärkt auf die Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen legten.

In diesem Zusammenhang wurde das schon länger geplante und in Vorbereitung befindliche Projekt „Fledermauspfad", ein Angebot speziell für Blinde und Sehbehinderte, fertig gestellt.

Der Pfad umfasst 19 Stationen aus dem akustischen und taktilen Bereich, die an einer Plakette mit dem Symbol „Fledermaus" und dem Wort Fledermauspfad in Brailleschrift erkennbar sind. Diese Handreichungen enthalten die zugehörigen Texte, die man auch an den Vertiefungsstationen und im Internet finden kann, und Hilfestellungstexte für Besucher, die die Blinden und Sehbehinderten in der Ausstellung begleitend betreuen.

Selbstverständlich steht ein Mitarbeiter der PHÄNOMENTA für unbegleitete Blinde und Sehbehinderte zur Verfügung.

Das Team der PHÄNOMENTA Lüdenscheid wünscht Ihnen viel Spaß!

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Glocke im Vakuum

Hörst du das Klingeln immer gleich laut, wenn die Luft nahezu vollständig abgesaugt wird?

WORUM GEHT ES?
Wenn Kirchenglocken läuten, ist das in der ganzen Stadt zu hören. Denn die von der Glocke erzeugten Schallwellen breiten sich durch die Luft aus. Was passiert aber, wenn man die Luft entfernt, also ein Vakuum erzeugt? An dieser Station kannst du untersuchen, wie der Transport des Schalls vom Schallträger Luft abhängt. Du drückst dazu an der Station zuerst nur den Knopf für die Aktivierung der Glocke. Dann ist das Läuten aus dem Acrylzylinder klar und deutlich zu hören. Betätigst du jetzt auch noch den anderen Knopf, dann beginnt eine Pumpe die Luft aus dem geschlossenen Behälter zu ziehen. Der Glockenton wird langsam immer leiser.

WESHALB IST DAS SO?
Alle Geräusche, die wir wahrnehmen, müssen erst über die Luft an das Ohr transportiert werden. Wird die Luft aus dem Acrylglaszylinder abgepumpt, nimmt die Dichte der Luft langsam ab. Die Schwingungen der Luft übertragen sich immer schlechter, da der Kontakt zwischen den Teilchen der Luft immer schwächer wird. Dadurch wird der Ton immer leiser. Würde man ein absolutes Vakuum in dem Zylinder erzeugen können, wäre der Ton sogar überhaupt nicht mehr zu hören. In einem luftleeren Raum fehlt nämlich das Medium, das die Schallwellen überträgt. Unsere Ohren können daher kein Signal wahrnehmen und wir hören nichts mehr. Die Glocke läutet somit völlig lautlos unter dem Acrylglaszylinder.

Schall breitet sich bei Zimmertemperatur in Luft mit etwa 340 Metern pro Sekunde aus. Er kann sich aber auch in anderen Medien als Luft ausbreiten. Man nennt die Schallwellen dann auch „Körperschall". Dieser breitet sich meistens wesentlich schneller aus als die Schwingungen in der Luft. In Eisen bewegt sich eine Schallwelle zum Beispiel ca. 15 Mal schneller als in Luft, also mit ca. 5100 m/s. So ist es auch bei völlig evakuiertem Acrylglasbehälter möglich, dass man noch ein wenig vom Läuten hört, weil

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

der Schall über die Aufhängung der Glocke und den Behälter nach außen geleitet wird.

Übrigens: Schallwellen breiten sich nicht nur in Luft bzw. Gasen und festen Körpern aus, sondern auch in Flüssigkeiten, sonst könnte beispielsweise ein Echolot nicht funktionieren.

Und noch eine Anmerkung: In Science-Fiction-Filmen hört man oft Geräusche im Weltraum, z.B. von Raketenantrieben oder von Explosionen. Diese werden nur für die Dramatik eingespielt. In Wirklichkeit ist es im Weltall vollkommen still.

HILFESTELLUNG:
Um dieses Experiment durchführen zu können, sollte ein sehender Begleiter zunächst den Aufbau beschreiben und die Frage des Anregungstextes vorlesen. Außerdem muss der Blinde oder Sehbehinderte beiden Knöpfe ertasten und deren Funktion kennen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Hörrohr

Sprich mit einem Partner am anderen Ende des Hörrohres!

WORUM GEHT ES?
Durch das Hörrohr kann man sich mit Freunden unterhalten, so wie einst Kapitän und Maschinist auf einem alten Dampfschiff. Erstaunlicherweise reicht es völlig aus, ruhig und leise zu sprechen. Das Gegenüber versteht trotz der Rohrlänge von 38 Metern und 26 Bögen jedes einzelne Wort. Die Partner stehen bei diesem Experiment an den beiden Rohröffnungen. Sie sprechen abwechselnd in das Rohr und hören zu, was der Partner am anderen Ende sagt.

WESHALB IST DAS SO?
Beim Sprechen sendet man Schallwellen aus. Spricht man direkt in das Rohr, so werden diese Laute an der glatten und festen Oberfläche des Rohres reflektiert. Das ist zu vergleichen mit der Reflexion von Licht an einem Spiegel. Auch hier gilt das Gesetz „Einfallswinkel ist gleich Ausfallswinkel". Durch Reflexionen wird der Schall von einem Rohrende zum anderen geleitet, an den Bögen des Rohrs sind dazu mehrere Reflexionen nötig. So gelangen die Worte ohne größere Energieverluste an das andere Ende des Rohres, wo man sie gut verstehen kann.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Alltagsbezug
Die Schallreflexion wird auch für das Echolot bei Schiffen und Booten genutzt. Dabei sendet das Boot ein Schallsignal aus, das sich im Wasser ausbreitet und dann an Gegenständen oder am Meeresboden reflektiert wird. Ein Teil des Schalls wird von der Oberfläche zum Boot zurückgeworfen. Dessen Echolot registriert die Richtung und misst die Zeit, die seit Aussenden des Signals vergangen ist, um darüber die Entfernung des Gegenstandes zu bestimmen. Das Echolot ersetzt also das menschliche Auge unter Wasser.

In der Natur machen sich zum Beispiel Fledermäuse dieses Prinzip zunutze, um nachts sehen zu können.

Auch wir schätzen einen Raum anhand der Akustik, also seiner charakteristischen Schallreflexion ein, allerdings meist unbewusst, weil wir uns sehr stark auf die Augen verlassen. Man kann aber Geräuschen oder Musik einen besonderen Hall unterlegen, so dass man den Eindruck bekommt, man befinde sich in einem großen Raum.

Konzertsäle werden sogar auf gute Schalleigenschaften hin konstruiert. Beim Neubau des aktuellen Bundestages gelang dies nicht, so dass aufwendig nachgebessert werden musste.

HILFESTELLUNG:
Der Aufforderung des Anregungstextes (Sprich mit einem Partner am anderen Ende des Hörrohres!) kann ein Sehbehinderter oder Blinder nur schwer folgen, wenn er nicht durch einen sehenden Begleiter zu einem Rohrende geführt wird und erklärt bekommt, wie das Rohr unter der Decke durch den Raum läuft und wo das andere Ende liegt, an dem der Gesprächspartner steht. Wenn man gemeinsam den Weg zwischen Anfang und Ende des Rohres im Raum unter dem Rohr abgeht, kann man ein Gefühl für die Länge des Schallweges vermitteln. Mit der dann gegebenen räumlichen Vorstellung wird dem Sehbehinderten beim Gespräch deutlich, von welch erstaunlich guter Qualität die akustische Verbindung ist.

Außerdem kann der Begleiter empfehlen, das Rohrende in die Hände zu nehmen, um das Anstoßen mit dem Mund oder dem Ohr zu vermeiden.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Hörstein

Welche Geräusche hörst du in dem Stein? Brumm doch mal!

WORUM GEHT ES?
Hört sich deine Stimme immer gleich an? Probiere es aus. Stecke deinen Kopf in eine der Mulden des Hörsteins, brumme, summe oder sprich! Klingt es vertraut? Erkennst du dich wieder?

WESHALB IST DAS SO?
Hat man seinen Kopf in das Loch des Steines gesteckt und singt oder brummt mit seiner Stimme Töne in verschiedenen Höhen, bemerkt man, dass es einen Ton gibt, bei dem man ohne große Kraftanstrengung einen kräftigen Klangeffekt erzielen kann. Man spürt, dass Kopf und Teile des Oberkörpers anfangen mit zu vibrieren. Bei dieser Tonhöhe stimmen der erzeugte Ton und die Resonanzfrequenz des Steininnenraumes gerade überein. Die menschliche Stimme besteht nicht aus einzelnen Tönen, sondern es handelt sich um ein Gemisch an unterschiedlichen Tönen, die sich zu Klängen zusammensetzten.

Der Mensch nimmt die Klänge seiner Stimme auf zwei unterschiedliche Arten wahr: Zum einen gelangt seine Stimme, wie alle anderen Laute, von außen an und in sein Ohr (Luftleitung). Zum anderen erreicht ein Teil seiner Stimme das Ohr aber auch von innen über die Knochen des Kopfes (Knochenleitung). Dabei ändert sich der Klang der eigenen Stimme durch die Verstärkung unterschiedlicher Tonlagen in den natürlichen Resonanzräumen, die sich beim Menschen zum Beispiel in Kopf und Brust befinden. In kleinen Resonanzräumen, wie sie im Kopf vorhanden sind, werden vor allem hohe Töne verstärkt, so dass sie

die tiefen Töne überstimmen. Umgekehrt werden in größeren Resonanzräumen, wie in der Brust, besonders die tiefen Töne verstärkt.

Nun wirkt die Mulde des Hörsteins wie eine Erweiterung unserer natürlichen Resonanzräume in Kopf und Brust. Weil sie aber relativ groß ist, werden vor allem tiefe Töne verstärkt, so dass die hohen Klänge in der

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

menschlichen Stimme unterdrückt werden. Die eigene Stimme erscheint ungewöhnlich dunkel.

Alltagsbezug
Menschen, die beim Duschen gerne singen, haben vielleicht auch schon mal gemerkt, dass sich ihr Gesang in der Duschkabine anders anhört. Dieser Effekt entsteht genau wie beim Hörstein durch Verstärken bestimmter Eigenfrequenzen.

HILFESTELLUNG:
Hier wird den Sehbehinderten oder Blinden empfohlen, zunächst die Betonsäule und den gesamten Rand sowie die Tiefe des Hohlraums durch Tasten zu erfassen. Anschließend ist es wichtig beim Hineinstecken des Kopfes die harten Betonkanten des Lochs mit den Händen abzupolstern.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Klopfophon

Klopfe von oben auf die Öffnungen der Rohre!
Du kannst die gleichen Lieder spielen, wie mit den weißen Tasten an einem Klavier.

WORUM GEHT ES?
Das Klopfophon macht ein wenig den Eindruck einer Kirchenorgel – wie Orgelpfeifen hängen die Rohre mit unterschiedlichen Längen unter dem Tisch. Mit einem festen Stück aus Gummi klopft man von oben auf die Öffnungen und kann tatsächlich ein Lied spielen.

WESHALB IST DAS SO?
In jedem Rohr befindet sich eine Luftsäule, die genau der Länge des Rohrs entspricht. Durch den Schlag auf die obere Öffnung bringt man die Luft in dem Rohr zum Schwingen. Da die Rohre unterschiedlich lang sind und jede Luftsäule ihre eigene Schwingungsdauer hat, hören sich alle Klopfophontöne anders an. Ein langes Rohr klingt tief, ein kurzes Rohr klingt hoch. Die Frequenz, die diesem Ton entspricht, nennt man Eigenfrequenz oder Resonanzfrequenz.

Der Grundton ergibt sich aus dem längsten Rohr mit 224 cm. Die übrigen Rohre sind als diatonische Tonleiter über 2 Oktaven gestimmt. Das bedeutet, dass es sieben Abstufungen gibt, bis sich die Länge des Rohrs halbiert bzw. die Resonanzfrequenz verdoppelt. Die Oktavröhren haben daher die Längen 112 cm und 56 cm. Nur die zwei Röhren, die sich in der unteren Reihe ganz rechts und in der oberen Reihe ganz links befinden, haben die gleiche Länge. Obwohl im Klopfophon nur zwei Oktaven mit insgesamt sechzehn Rohren verbaut sind, kann man darauf die gleichen Lieder spielen, die auf einem Klavier mit den weißen Tasten möglich sind.

Musikinstrumente funktionieren ganz vergleichbar: Bei einer Kirchenorgel entsteht der Klang zwar nicht durch einen Schlag, sondern durch eingeblasene Luft. Aber es gibt wie beim Klopfophon auch hier lange und kurze Orgelpfeifen. Durch unter-

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

schiedlich große Durchmesser kann die Luftsäule und damit der entstehende Klang zusätzlich verändert werden. So kommt man bei einer Orgel oft auf eine Anzahl von über tausend Orgelpfeifen.

Bei Instrumenten wie Vibraphonen und Marimbas, die dem Klopfophon ähnlich sind, wird der Ton der angeschlagenen Metall- bzw. Holzklangstäbe durch Röhren jeweils passender Länge unterhalb der Klangstäbe verstärkt.

HILFESTELLUNG**:**
Ein Begleiter kann dem Sehbehinderten oder Blinden den Aufbau der Station mit den verschieden langen, oben offenen Rohren beschreiben, die Rohrenden ertasten lassen, das Gummistück zum Schlagen reichen und ggf. bei den ersten Schlägen auf nahe gelegene Rohre die Hand führen. Das Spielen von Tonfolgen ergibt sich dann von selbst.

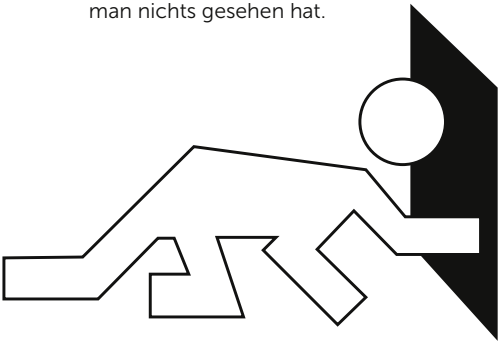
© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Lichtloses Tasten

WORUM GEHT ES?
In dem rund 44 Meter langen Rundgang ist das wichtigste Sinnesorgan des Menschen, das Auge, nicht zu gebrauchen – denn in dieser Station ist es stockdunkel!

Da es in der Station vollkommen dunkel ist, ist ein Vorankommen nur durch Ertasten der Umgebung möglich. Die Teilbereiche des Exponats sind dem Aufbau eines Wohnhauses nachempfunden und mit verschiedenen Oberflächen und Elementen bestückt, die nicht alleine den Tastsinn aktivieren. Auf dem Weg durch die unterschiedlichen Räume nimmt der Besucher nämlich auch Gerüche und Geräusche wahr, die ein inneres Bild des Wohnhauses entstehen lassen und ihm dabei helfen den Parcours zu meistern.

WESHALB IST DAS SO?
Auch ohne Augenbenutzung sind wir in der Lage, den Weg durch Tasten zu finden. Mit jedem weiteren Durchgang durch das „Lichtlose Tasten" würde das Bild des Weges genauer und differenzierter, sodass man sogar in der Lage wäre, einen genauen Plan der Station zu zeichnen, obwohl man nichts gesehen hat.



Neben der Erkundung des richtigen Pfads gilt es auch verschiedene Untergründe zu ertasten, die Empfindungen von weich bis hart, samtig bis rau, warm bis kalt und uneben bis spiegelglatt vermitteln. Zusätzlich sind auf dem Weg unterschiedliche Gegenstände verteilt, die man durch Fühlen erraten und betätigen kann. Und auch Geräusche und Gerüche vermitteln einen Eindruck von der jeweiligen Umgebung, in der man sich befindet.

Das verlässlichste Bild der Umwelt erhält der Mensch, wenn er alle Sinnesorgane benutzt. Dass dabei die visuelle Wahrnehmung sehr wichtig ist, merkt man, wenn sie ausfällt. Die anderen Sinnesorgane werden dann stärker aktiviert und ermöglichen so das Entstehen eines „inneren Bildes" des Rundgangs. Der Mensch ist also in der Lage, einen fehlenden Sinn sehr gut zu kompensieren. So sind auch Blinde in der Lage, sich eine Vorstellung von ihrer Umgebung zu machen.

HILFESTELLUNG:
An dieser Station erhält aus Sicherheitsgründen jeder Besucher eine Einführung durch einen Mitarbeiter der Phänomenta. Für Blinde und Sehbehinderte gilt das genauso, aber sie werden sich in dieser Station in der Regel besser zurechtfinden als Sehende: Das Lichtlose Tasten ist „ihre Station", das Zurechtfinden „im Dunkeln" ist ihr Alltag! Sehenden wird mit dieser Station das Handicap von Blinden und Sehbehinderten sehr deutlich!

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

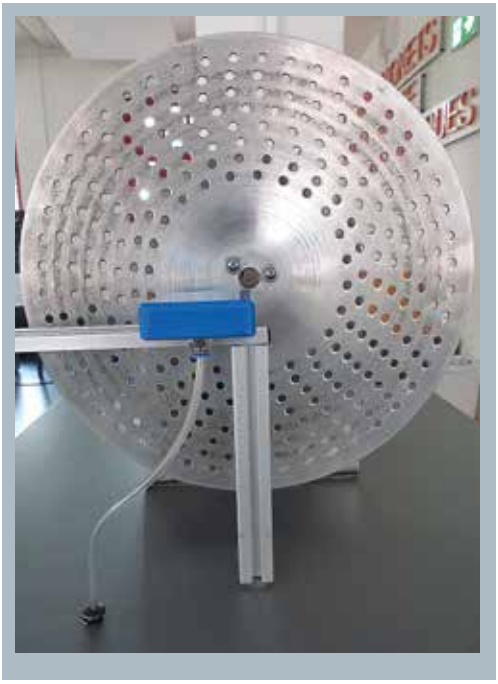
Lochsirene

Richte den Luftstrahl auf die Löcher in der sich drehenden Scheibe!

WORUM GEHT ES?
Drückt man den Startknopf, wird die Lochscheibe in schnelle Rotation versetzt. Gleichzeitig strömt aus dem Schlauch vor der Lochscheibe Luft. Man kann den Schlauch vor die verschiedenen Lochreihen schieben und so unterschiedliche Töne erzeugen. Wer besonders geschickt ist, kann vielleicht sogar eine kleine Melodie spielen.

WESHALB IST DAS SO?
Durch den schnellen Wechsel von Löchern und Metall wird der Luftstrom aus dem Gummischlauch gleichsam in „Stücke" geschnitten. Dadurch erhält die Luft hinter der Platte schnell aufeinanderfolgende Stöße. Diese Druckwellen breiten sich über die Luftmoleküle aus und bilden eine Schallquelle, die wir als typischen Sirenenklang wahrnehmen. Er äußert sich darin, dass die Druckänderungen nicht harmonisch wie bei einer Stimmgabel erfolgen, sondern abrupt.

Überträgt man die Töne in grafische Linien, erhält man bei harmonischen Schwingungen eine Sinuskurve und bei Sirenenklängen eine Rechteckschwingung. Je nachdem wie häufig der Luftstrom pro Sekunde unterbrochen wird, entsteht ein anderer Ton. Bewegt man den Schlauch zum Beispiel zu einem der äußeren Ringe, wird der Luftstrom wesentlich häufiger unterbrochen. Das liegt daran, dass hier mehr Löcher vorhanden sind, die den Luftstrom in derselben Zeit passieren wie die Öffnungen auf den inneren Kreisen.



Je häufiger der Luftstrom unterbrochen wird, desto schneller schwingt die Umgebungsluft. Man sagt auch, die Frequenz erhöht sich.

Insgesamt lässt die Lochsirene das Spielen aller Töne der Dur-Tonleiter zu. Ließe man dieScheibe schneller rotieren, wäre es sogar möglich, die Dur-Tonleiter in unterschiedlichen Oktaven oder zu unterschiedlichen Grundtönen zu spielen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Alltagsbezug
Mechanische Sirenen funktionieren ähnlich. Eine mit Hand oder Elektromotor angetriebene Trommel mit Luftschaufeln erzeugt einen Luftstrom, der vom umschließenden, mit Löchern versehenen Gehäuse zerhackt wird. Dabei entsteht ein lauter, weithin hörbarer Warnton.

HILFESTELLUNG:
Bevor die Lochscheibe in Drehung versetzt wird, sollte die Scheibe mit den Fingerspitzen ertastet und auch das Schlauchende hin- und herbewegt werden. Wenn sich die Scheibe dann dreht, ist das Erzeugen von Tönen und das Spielen von Melodien leicht.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Magnetische Felder

Zwischen den starken Magneten lassen sich Brücken schlagen. Probiere auch, in die Höhe zu bauen!

WORUM GEHT ES?
Jeder hat wahrscheinlich schon mal eine Brücke gesehen, die aus Holz und Nägeln gebaut ist. Man kann Brücken aber auch ganz ohne Nägel, nur aus Holz bauen, wie zum Beispiel die Leonardo-Brücke. Oder aber, wie an dieser Station, nur aus Nägeln. Für diese Bauart braucht man zwei starke Magnete sowie etwas Zeit und Geduld. Zwischen zwei Magneten, die in eine Tischplatte eingelassen sind und die sich in einem nicht zu großen Abstand mit Südpol und Nordpol gegenüberliegen, kann man eine Brücke aus losen Eisennägeln bauen. Man muss dazu recht viele Nägel verwenden, damit ein stabiler Brückenbogen entsteht.

Auch das Bauen von kleinen Türmen aus magnetisierten Eisennägeln kann mit etwas Geduld gelingen.

WESHALB IST DAS SO?
Magneten erzeugen in ihrer Umgebung ein magnetisches Feld. Bei zwei Magneten, die sich in einem nicht zu großen Abstand mit Südpol und Nordpol gegenüberliegen, entsteht ein Feld, das sich – ähnlich wie

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

eine Kuppel über einer Halle – von einem Magneten zum anderen wölbt. Um ein Magnetfeld zu veranschaulichen, benutzt man sogenannte Feldlinien. Diese zeigen an jedem Punkt in Richtung der Kraft, die das Magnetfeld auf magnetische Materialien ausübt. Dabei ist der Abstand zwischen benachbarten Feldlinien ein Maß für die Stärke des Feldes. Je geringer der Abstand, desto kräftiger ist das Magnetfeld.

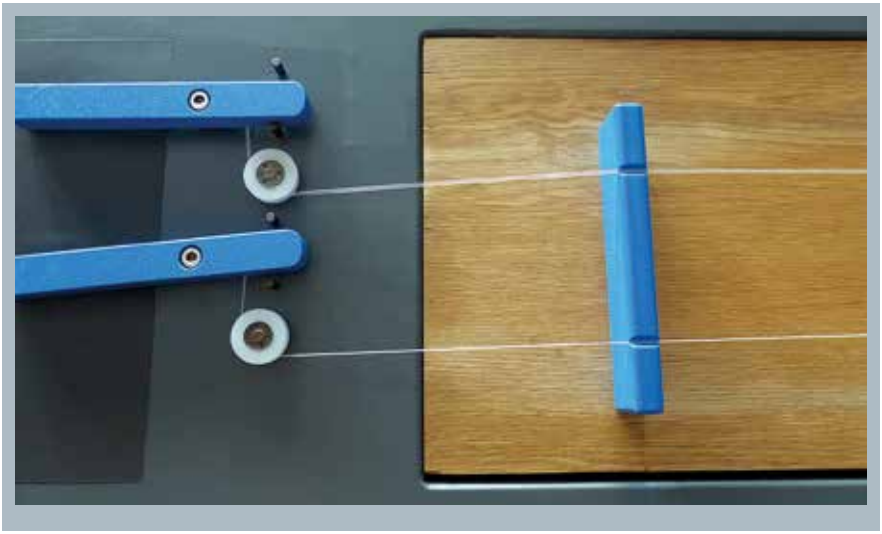
In unserem Experiment magnetisieren die beiden Magneten die Eisennägel, die damit zu kleinen Magneten mit Nordpol und Südpol werden. Diese ordnen sich dann entlang der Feldlinien an und hängen – seitlich und in der Länge magnetisch verbunden – aneinander. So kann eine Brücke von Magnet zu Magnet entstehen, die ganz von alleine zusammenhält.

HILFESTELLUNG:
Dieser Station ist sehr taktil. Ein Helfer könnte die leichten Vertiefungen mit den eingearbeiteten Magneten in der Tischoberfläche und die stumpfen Nägel erfühlen lassen. Dann können blinde oder sehbehinderte Besucher der Aufforderung eine Brücke zu bauen relativ leicht folgen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Monochord

Zupfe an den Saiten. Wie ändert sich der Ton, wenn du den Hebel drehst oder den Holzsteg verschiebst?



WORUM GEHT ES?
Ihr könnt zwei gespannte Saiten unterschiedlicher Dicke anzupfen, ihr könnt die Saiten jeweils mit einem blauen Hebel zusätzlich spannen oder ihr könnt die Längen der schwingenden Saiten verändern, indem ihr den Steg auf dem Resonanzkasten verschiebt. All dieses verändert den Ton.

WESHALB IST DAS SO?
Wie entstehen eigentlich die unterschiedlichen Töne bei Saiteninstrumenten? An dieser Station könnt ihr das nachvollziehen. Denn je nachdem, wie ihr den Holzsteg verschiebt oder die Hebel dreht, ändert sich der Ton, der beim Zupfen der Saiten erklingt. Zuerst werdet ihr feststellen, dass der zu hörende Ton umso lauter erklingt, je stärker ihr die Saite anzupft. Das liegt daran, dass sie dann mit einer größeren seitlichen Auslenkung (Amplitude) schwingt, die wiederum der Lautstärke des Tons entspricht. Dann werdet ihr merken, dass die dickere Saite bei gleicher Spannung einen tieferen Ton erzeugt.

Mit den beiden blauen Hebeln könnt ihr die beiden Saiten zusätzlich stärker spannen. Erhöht ihr die Spannung, erhöht sich auch die Tonhöhe des Lauts, der durch Anzupfen der Saite erklingt.

Mit Verschieben des Stegs verändert ihr die Saitenlänge, die schwingen kann. Dann ist der Abstand zwischen dem Steg und dem Endpunkt der Saite gleich der Saitenlänge. Auf dem Steg selbst liegt die Saite fest auf, sie kann sich dort nicht bewegen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Zwischen Steg und Endpunkt entsteht nach Anzupfen der Saite eine stehende Welle. Das bedeutet, dass zwischen dem Anfangs- und Endpunkt der Saite eine Welle mit so genannten Bäuchen (maximale Auslenkung des Saite) und Knoten (in diesem Punkt bewegt sich die Saite nicht) entsteht. Sie heißt stehend, weil ihr räumliches Wellenbild nicht wandert. Diese stehende Welle verursacht den zu hörenden Klang.

Die Tonhöhe verändert sich mit der Schwingungszahl pro Sekunde (Frequenz) der Saite. Wird die Frequenz höher, erscheint auch der zu hörende Ton höher. Die Tonhöhe kann durch Drehen der Hebel oder durch Verändern der Saitenlänge beeinflusst werden. Diese Änderung des Tons durch Verkürzen der Saite wird auch bei Saiteninstrumenten wie der Gitarre oder der Geige benutzt. Hier wird die Saite durch Auflegen eines Fingers verkürzt. Mit Änderung der Saitenspannung werden diese Instrumente gestimmt.

Mensch
Das Monochord wird dem antiken Philosophen und Mathematiker Pythagoras von Samos zugeschrieben. In seiner ursprünglichen Form hatte es nur eine Saite. Hier wurden zwei angebracht, damit ein direkter Vergleich von Tönen möglich ist.

Alltagsbezug
Musikinstrumente: Alle Saiteninstrument haben mindestens eine Saite. Der Klang wird dadurch erzeugt, dass eine oder mehrere Saiten zum Schwingen angeregt werden und über einen Resonanzkörper diese Schwingung als Klang zu Gehör bringen. Die Anregung kann durch Anschlagen, Zupfen, Streichen usw. erzeugt werden. Um diese Instrumente zu stimmen wird praktisch immer die Saite entsprechend gespannt, z.B. mit einem Wirbel wie bei der Gittarre oder beim Klavier.

Die verschiedenen Töne erzeugt man entweder, indem man die Saiten verkürzt, mit einem Griffbrett bei Geige oder Gitarre oder verschieden lange und dicke Saiten anregt, wie beim Klavier oder bei der Harfe. Das Monochord ist also die Grundlage aller Saiteninstrumente.

Technik
Alle Körper können zum Schwingen angeregt werden. Diese Schwingung kann man überprüfen, wenn man dagegen klopft. Den Klang, den man dann hört, ist die Eigenschwingung des Körpers. Natürlich gibt es Gegenstände, die praktisch keinen Ton von sich geben, Watte zum Beispiel. Dort ist die Dämpfung so groß, dass keine vollständige Welle entstehen kann. Deren Energie wird in Wärme umgesetzt. Solche Materialien nimmt man zum Beispiel zur Schalldämmung.

Aber selbst Gebäude schwingen. Wenn bei einem Kirchturm, auch wenn er massiv gebaut ist, die Schwingungen der Glocken mit der Eigenschwingung des Turmes übereinstimmen, dann treten im Laufe der Jahrzehnte Risse im Turm auf. Bei den ersten Windkraftanlagen kam es zu Brüchen in den Masten, weil die Schwingungsbeanspruchung unterschätzt wurde.

HILFESTELLUNG:
Bei diesem Experiment sind verschiedene Parameter veränderlich, somit wird eine sorgfältige Einführung notwendig. Der Sehbehinderte oder Blinde muss die Saiten ertasten und versuchsweise zupfen, er muss erklärt und „gezeigt" bekommen, dass es einen verschiebbaren Steg gibt, und auch, wo sich die Hebel befinden und was das Drehen an den Hebeln bewirkt. Für all dies sollte ein Begleiter die Hände führen und erklären, was zu tun ist, ohne die Ergebnisse vorwegzunehmen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Resonanzröhren

Lege ein Ohr an die Öffnungen der verschieden langen Rohre! Hörst du einen Unterschied?

WORUM GEHT ES?
An einem Pfeiler hängen Röhren in vier unterschiedlichen Längen. Mit seinem Ohr verschließt man das eine Ende einer Röhre und hört dann mit dem anderen offenen Ende in den Raum hinein.

Man hört in den Röhren ein Rauschen, ähnlich wie das Rauschen in großen Muscheln, und stellt fest: Je länger die Röhren sind, desto tiefer klingen sie.

WESHALB IST DAS SO?
In dem Raum, in dem die Resonanzröhren angebracht sind, entstehen viele verschiedene Geräusche. Auch von draußen dringt Straßenlärm herein. Alle diese Geräusche bestehen aus hohen und tiefen Tönen, die sich dementsprechend in ihrer Wellenlänge unterscheiden.

Die tiefen Töne bestehen z.B. aus Schallwellen mit großen Wellenlängen. Man sagt, sie haben niedrige Frequenzen. Bei hohen Tönen ist es genau umgekehrt. Durch die Überlagerung entsteht ein Ton-Klang-Geräusch-Gemisch, ein sogenanntes Klangspektrum.

Die Schallwellen der verschiedenen Geräusche breiten sich im Raum aus und bringen auch die Luft in den Röhren zum Schwingen. Je nach Länge der Röhren passen bestimmte Wellenlängen besonders gut hinein – je länger das Rohr, desto länger die passende Wellenlänge und desto tiefer der Ton. Die Schwingung der Luft für diese Töne überlagert sich mit der Reflexion am Ende des Rohrs. Die Lautstärke wird verstärkt und schaukelt sich so auf, dass die anderen Geräusche davon übertönt werden. Zu jeder Rohrlänge gehört ein typischer Ton. Die Frequenz dieses Tons nennt man Eigenfrequenz oder Resonanzfrequenz.

Auch Töne mit doppelter, dreifacher usw. Frequenz werden verstärkt und bilden zusammen mit dem Grundton einen gemeinsamen Klang.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

ALLTAGSBEZUG
Da die Röhren unterschiedlich lang sind, ist an jeder etwas anderes zu hören. Auch bei Musikinstrumenten wird diese Eigenschaft ausgenutzt. Zum Beispiel ändert sich bei der Posaune der Ton durch Verlängern oder Verkürzen des Rohres am Instrument. Bei einer Panflöte ist es etwas anders. Hier sind die Längen der Röhrchen fest und daher wird eine große Anzahl von ihnen nebeneinander angeordnet. Und auch bei der Orgel gibt es verschieden lange Pfeifen für die verschieden hohen Töne.

HILFESTELLUNG:
Ein sehender Begleiter führt zu den Rohrenden der verschieden langen Rohre und empfiehlt – ähnlich wie beim Hörrohr – das jeweilige Rohrende in die Hände zu nehmen, um ein Anstoßen mit dem Ohr zu vermeiden.

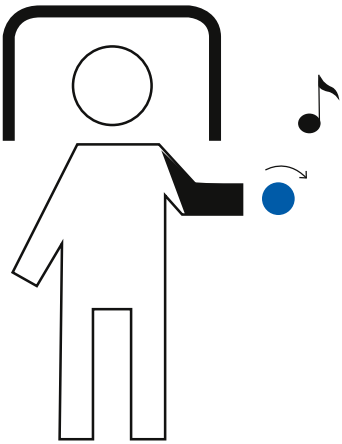
© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Schwebung

Versuche, mit dem Regler beide Töne sorgfältig aufeinander abzustimmen. Achte auf die schwankende Lautstärke, wenn sich beide Töne annähern!

WORUM GEHT ES?
Zunächst hört man an dieser Station nur ein dumpfes Brummen. Stellt man den Drehknopf auf dem Pult aber richtig ein, hört man einen Ton, der abwechselnd lauter und leiser wird. Die beiden Lautsprecher in der Decke der Station erzeugen zwei von einander unabhängige Schallwellen, die sich überlagern. Mit dem Drehknopf in der Mitte des Pults kann man die Frequenz eines der beiden Lautsprecher verstellen.

WESHALB IST DAS SO?
Sind die beiden Töne sehr unterschiedlich, überlagern sie sich zu einem dumpfen Brummen. Schwingen die beiden Lautsprecher oder Schallwellen hingegen fast mit identischer Frequenz, tritt ein Phänomen auf, das man Schwebung nennt. Dabei erzeugen die beiden einzelnen Schallwellen einen Gesamtklang mit einer Frequenz, die in der Mitte der beiden Einzelfrequenzen liegt und der abwechselnd laut und wieder leise wird.



Schwebungen treten also nur bei geringen Frequenzunterschieden der beiden einzelnen Schallwellen auf, die Lautstärkenschwankung erfolgt mit der so genannten Schwebungsfrequenz.

Schallwellen verstärken sich, wenn zwei Wellenberge oder zwei Wellentäler aufeinander treffen, sie schwächen sich ab, wenn Wellenberg auf Wellental trifft. Hier überlagern sich zu einem bestimmen Zeitpunkt Wellenberg und Wellenberg (die Wellen schwingen synchron), es wird laut, aber schon einen Augenblick später treffen wegen des Frequenzunterschiedes Wellenberg auf Wellental (die Wellen schwingen entgegengesetzt), es wird leise. Sobald man die zwei Lautsprechertöne zur perfekten Überlagerung bringt, verschwindet die Schwebung.

Alltagsbezug
Den Effekt der Schwebung macht man sich beim Stimmen von Instrumenten zunutze. So entsteht z.B. beim Stimmen eines Klaviers eine Schwebung, solange zwei Töne von zwei oder drei zusammengehörigen Saiten noch nicht ganz gleich sind. Wird die Laut-Leise-Schwankung der Schwebung langsamer, nähert man sich der Tongleichheit, verschwindet sie ganz, sind die Töne identisch.

HILFESTELLUNG:
Der Begleiter sollte hier nur auf die beiden Lautsprecher verweisen, die Hand zum Tonhöhenregler führen und den Anregungstext vorlesen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Selbstgespräch

Kannst du gegen die eigene Stimme sprechen?
Versuche es mit deinem Lieblingsgedicht.

WORUM GEHT ES?
Spricht man in das Mikrofon des Telefonhörers, kommt das Gesprochene mit zeitlicher Verzögerung an der Hörmuschel an. Spricht man und hört dabei gleichzeitig ein wenig zeitversetzt die eigenen Worte, dann wird es schwer, sich nicht aus dem Text bringen zu lassen.

WESHALB IST DAS SO?
Zwischen Sprechen und Hören gibt es eine gewisse Verzögerung, die hier elektronisch erzeugt wird und zeitlich einstellbar ist.
Bei der Station Spra-a-achrohr bewirkt ein langer Schlauch eine Zeitverzögerung von etwa einer drittel Sekunde.

In beiden Fällen ist es für Besucher nicht möglich, längere Sätze gegen die eigene Stimme zu sprechen. Dieser Effekt wurde vom Militär bei der Musterung verwendet, um angebliche Taubheit von Soldaten zu widerlegen. Sind sie wirklich taub, sind sie in der Lage gegen die eigene Stimme zu sprechen, sonst nicht.

Manchmal macht man bei der Nutzung eines Handys die Erfahrung, dass man das Echo der eigenen Stimme zeitversetzt hört. Das kann die Konzentration erheblich stören.

HILFESTELLUNG:
Für Sehbehinderte ist ein Telefon ein (allerdings etwas aus der Mode gekommener) Alltagsgegenstand. Es ist daher allenfalls erforderlich, die Benutzer an die Station heranzuführen und eine kurze Erklärung zu geben, was zu tun ist.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Stereohören

Setze dich auf den Hocker! Halte die Hörmuscheln so an deine Ohren, dass der Schlauch hinter deinem Kopf verläuft! Kannst du hören, an welcher Stelle dein Partner auf den Schlauch klopft?

WORUM GEHT ES?
Jeder Mensch ist auf zwei Ohren angewiesen, um wahrnehmen zu können, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt. Wie gut das funktioniert, kannst du an dieser Station ausprobieren. Halte die Hörmuscheln an deine Ohren, sodass der Schlauch hinter deinem Kopf verläuft. Lass einen Partner mit dem Stock an verschiedenen Stellen leicht auf den Schlauch klopfen. Zeige ihm an oder sag ihm, auf welcher Seite du das Klopfen gehört hast. Du kannst dich nicht entscheiden? Dann war der Schlag wohl ziemlich in der Mitte!

WESHALB IST DAS SO?
Je nachdem, wo eine Schallwelle ihren Ursprung hat und wie unser Kopf zu diesem Ursprung gedreht ist, muss sie zu unseren beiden Ohren unterschiedlich lange Strecken zurücklegen. Das heißt, die Ohren registrieren den Laut zu unterschiedlichen Zeiten. Dadurch kann das Gehirn entscheiden, aus welcher Richtung das Geräusch

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

kommt. Genauso funktioniert es auch an dieser Station. Klopft man genau auf die Mitte des Schlauches, so muss der damit erzeugte Schall in beide Richtungen einen gleich langen Weg zu den Ohren zurücklegen. Er erreicht also beide Ohren zur selben Zeit, woraus das Gehirn schließt, dass das Geräusch genau mittig hinter einem entstanden ist.

Klopft man nun ein kleines Stück weiter rechts oder links auf den Schlauch, so erreicht der Schall das eine Ohr eher als das andere. Das Gehirn kann aufgrund dieser unterschiedlichen Eintreffzeiten erkennen, aus welcher Richtung das Signal kommt. Schlägt man den Schlauch zum Beispiel 1,5 cm links von der Mitte an, so muss der Schall zum rechten Ohr insgesamt 3 cm mehr zurücklegen als zum linken Ohr. Das entspricht bei einer Schallgeschwindigkeit von 340 Metern pro Sekunde ungefähr einem Zeitunterschied von 1/10.000 Sekunde, die das Signal eher bzw. später am Ohr eintrifft. Bereits dieser kleine Zeitunterschied reicht für unser Ohr und unser Gehirn aus, um zu bestimmen, aus welcher Richtung das Geräusch stammt.

Alltagsbezug
Diese gut entwickelte menschliche Fähigkeit des Richtungshörens mithilfe seiner Ohren ist überlebenswichtig im Urwald und im Dschungel der Großstadt: Man muss wissen, von wo die Gefahr (angreifendes Tier oder heranfahrendes Auto) kommt um ihr rechtzeitig ausweichen zu können.

Biologie
Übrigens: Es gibt in Südamerika einen Frosch, den Panama Stummelfußfrosch, der sehr klein ist. Um trotzdem noch gut Richtungshören zu können, müssen die Ohren einen möglichst großen Abstand voneinander haben. Daher hat der Frosch seine Ohren an der breitesten Stelle seines Körpers: an den Hüften.

HILFESTELLUNG:
Manche Experimente bei Phänomenta sind wie dieses eine Partnerstation. Wenn der Begleiter nach Ertastenlassen des Versuchsaufbaus (Trichter, Schlauch, Stöckchen) gemäß den Anweisungen des Anregungstextes handelt, wird sich das Experiment für sehbehinderte oder blinde Besucher leicht erschließen. Der sehende Partner klopft auf den Schlauch, der blinde Partner hört und zeigt an, von welcher Seite der Ton kommt.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Tastpfad

Nicht hinsehen, nur mit den Fingerspitzen tasten!
Was ist unter dem Tisch?

WORUM GEHT ES?
Testet euren Tastsinn! Dazu müsst ihr nur unter den Tisch greifen und versuchen, zu ertasten, was sich dort befindet. Aber nicht mogeln und nachgucken! Die Gegenstände unter dem Tisch sind so ausgewählt, dass sie möglichst viele Gegensätze aufweisen. Sie unterscheiden sich durch Form (groß/klein, rund/eckig), Stabilität (weich/hart), Temperaturempfinden (warm/ kalt), Oberflächenbeschaffenheit (rau/glatt, handschmeichelnd/kratzig) und vieles mehr. Trotzdem sind manche nur unter Zuhilfenahme des Auges zu erkennen.

WESHALB IST DAS SO?
Menschen sind gewohnt, alle ihre Sinne zur Wahrnehmung einzusetzen um ein Bild von ihrer Umwelt zu gewinnen. Ist wie hier der Sehsinn ausgeblendet, ist die Wahrnehmungsfähigkeit eingeschränkt. Das für die Augen Offensichtliche ist bei Berührung nur mit den Fingern so ungewohnt, dass man es nicht eindeutig identifizieren kann. Hin und wieder ahnt man nur um welchen Gegenstand es sich handelt. Blinde Menschen sind hier eindeutig im Vorteil, weil sie ihren Tastsinn als Ersatz für das Sehen gut trainiert haben.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Alltagsbezug
Manchmal spielen zusätzlich taktile, d.h. durch den Tastsinn hervorgerufene Täuschungen eine Rolle. Eine solche Täuschung entsteht zum Beispiel, wenn man den Zeigefinger und Mittelfinger kreuzt und damit seine Nasenspitze berührt. Der Tastsinn gaukelt uns zwei Nasenspitzen vor, weil er gewohnt ist, dass ein gleichzeitiger Druckreiz auf den Außenseiten zweier Finger nur von zwei Gegenständen herrühren kann. Dieser Effekt ist auch unter dem Namen „Aristotelische Täuschung" bekannt. Allerdings sind taktile Täuschungen nicht so effektvoll wie optische Täuschungen und deswegen weniger bekannt.

Physik
In der Physik spielen menschliche Sinne eine wichtige Rolle, denn sie sind die Grundlage für jede Beobachtung. Je besser der einzelne Sinn ausgeprägt ist, desto kleiner sind die Ungenauigkeiten bei den Messungen. Die letzten Fehler versucht man mit Hilfe technischer Geräte zu verringern. Wichtig ist, dass man Fehler nie ganz vermeiden, sondern nur relativ gering halten kann.

HILFESTELLUNG:
An diesem Tisch sind alle Besucher in der gleichen Lage, alle müssen sich nur auf den Tastsinn verlassen, was Sehbehinderten in der Regel viel besser gelingt. Im Zweifelsfall kann ein sehender Begleiter durch Blick unter den Tisch für Klarheit sorgen. Auch das Foto zu dieser Station zeigt die Lösung.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Theremin-Vox

Erzeuge verschiedene Töne! Kannst du auch eine Melodie spielen?

WORUM GEHT ES?
Das Theremin-Vox ist bis heute das einzige Instrument, das ohne Berühren gespielt werden kann: Je nachdem, wie nah man seine Hände an die beiden Antennen bringt, verändern sich Lautstärke und Tonhöhe von einem tiefen Brummen bis zu hohem Pfeifen. Die zwei Antennen befinden sich an den Seiten des Geräts, rechts eine kleine Stabantenne, die im Gehäuse versteckt ist, und links eine Ringantenne. Beide reagieren empfindlich auf Veränderungen in ihrer Umgebung und beeinflussen zusammen die Tonausgabe.

Hinweis: Wenn kein Ton kommt, kann es daran liegen, dass man sich zu nahe an der Ringantenne befindet.

WESHALB IST DAS SO?
Bringt man die rechte Hand in die Nähe der im Gehäuse versteckten Stabantenne, ändert sich die Tonhöhe des Klangs, den das Gerät dann kontinuierlich ausgibt. Die Lautstärke des Tons kann über die Ringantenne links gesteuert werden, dadurch lassen sich auch einzelne voneinander getrennte Töne erzeugen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Ein Theremin-Vox hat ein kontinuierliches und deshalb ganz markantes Klangspektrum, das man leicht aus anderen Instrumenten heraushören kann. So kann man mit ihm nicht gezielt einen einzelnen Ton anspielen, wie man es beispielsweise von einer Orgel oder einem Klavier gewohnt ist. Stattdessen muss man sich dem Ton annähern, indem man entweder zunächst die Lautstärke auf null herabsetzt, die Tonhöhe mit der Annäherung an die Stabantenne bestimmt und dann die Lautstärke wieder kontinuierlich erhöht. Oder man lässt die Lautstärke unbeeinflusst und erklimmt die Tonleiter bis zum gewünschten Ton in Form eines Glissandos. Mit ein wenig Übung lassen sich so mit dem Theremin-Vox ganze Lieder spielen.

Dieses gänzlich berührungslos zu spielende, erste elektronische Musikinstrument ist eine Zufallsentdeckung, denn eigentlich wollte der russische Erfinder Lev Theremin (1896 – 1993) einen Bewegungsmelder für eine Alarmanlage konstruieren. Dazu kombinierte er zwei elektromagnetische Schwingkreise der gleichen hohen Frequenz. Durch Annäherung an die Stabantenne wird die Frequenz des einen Schwingkreises verändert, es entsteht eine Überlagerung der Schwingungen. Aus dem Unterschied der beiden entsteht eine neue Frequenz, die so genannte Schwebung, mit einer Schwebungsfrequenz im hörbaren Bereich. Diese wird verstärkt und über einen Lautsprecher ausgegeben. Eigentlich eine perfekte Alarmanlage: Bei Annäherung entsteht ein Ton, leider war aber die Empfindlichkeit bei größeren Abständen zu gering ...

Alltagsbezug
Der eigentümliche Klang des Instruments wurde oft von Regisseuren wie Alfred Hitchcock oder Tim Burton zur Untermalung von Thrillern und Science-Fiction-Filmen eingesetzt. Gespielt wurde es unter anderem von Jean-Michel Jarre oder Led Zeppelin. Auch in der Titelmelodie der Serie „Inspector Barnaby" spielt ein Theremin-Vox.

HILFESTELLUNG**:**
Für jeden Besucher ist bei dieser Station zunächst unklar, wie man einen Ton erzeugen soll. Durch Herantasten (Versuch und Irrtum) kommt man den Geheimnissen des Instruments mit den eigenartig wimmernden Tönen auf die Spur. Im Text „Warum ist das so" erhält man genauere Informationen.

Bei dieser Station passiert es oft, gerade wenn zwei Personen an ihr stehen, dass eine davon an der „Schlaufe", dem Lautstärkeregler, steht oder diese gar berührt. Dann bleibt die Station stumm. Man muss sich so hinstellen, dass dies vermieden wird.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Turm von Hanoi

Bringe den Turm auf einen anderen Stift! Bewege immer nur eine Scheibe und lege niemals eine größere auf eine kleinere! Mit wie vielen Zügen schaffst du es? Geht es mit noch weniger Zügen?

WORUM GEHT ES?

EEiner hinduistischen Sage nach befindet sich im Tempel von Benares ein Spiel mit 64 goldenen Lochscheiben unterschiedlicher Größe. Neben diesen Scheiben gibt es drei Stifte, auf die die Platten geschoben werden können. Zu Beginn sind alle Scheiben der Größe nach auf einem Stift angeordnet – beginnend mit der größten. Weiter heißt es in der Sage, gelänge es diesen Turm unter Beachtung der gegebenen Regeln auf einen der anderen beiden Stifte umzuschichten, würde die Welt untergehen. Das allerdings würde ca. 600 Milliarden Jahre dauern, selbst wenn man jede Sekunde eine Scheibe bewegt. In der PHÄNOMENTA wird allerdings „nur" mit fünf Scheiben gespielt, so dass man das Spiel in angemessener Zeit zu Ende bringen kann. Die Türme von Hanoi sind ein mathematisches Knobel- und Geduldsspiel. Das Spiel besteht aus drei Stäben A, B und C, auf die mehrere gelochte Scheiben in verschiedenen Größen gelegt werden. Zu Beginn liegen alle Scheiben auf Stab A der Größe nach geordnet. Die größte Scheibe ist dabei ganz unten und die kleinste oben. Ziel des Spiels ist es, den kompletten Scheibenstapel von A nach C zu versetzen. Bei jedem Zug darf die oberste Scheibe eines beliebigen Stabes auf einen der beiden anderen Stäbe gelegt werden, vorausgesetzt, dort liegt nicht schon eine kleinere Scheibe. Folglich sind zu jedem Zeitpunkt des Spieles die Scheiben auf jedem Stab der Größe nach geordnet.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

WESHALB IST DAS SO?

Die Lösungsstrategie lässt sich rekursiv entwickeln, das heißt, hat man den ersten Fall gelöst, können alle weiteren Fälle auf den ersten zurückgeführt werden. Fangen wir mit zwei Scheiben an. Um diese von einem Platz auf einen anderen zu transportieren, benötigt man drei Züge. Diese sehen wie folgt aus: Zuerst bewegt man die kleinere Scheibe auf einen der anderen Plätze. Dann wird die größere Scheibe auf den freien Platz gesetzt und zum Schluss die kleinere Scheibe wieder auf die größere. Hat man nun drei Scheiben, muss zunächst der Teilturm aus zwei Scheiben auf einen der freien Plätze verschoben werden. Dafür benötigt man drei Züge. Dann setzt man die größte Scheibe auf den letzten verbliebenen freien Platz. Schließlich muss man den Teilturm wieder auf die größte Scheibe bauen, wofür man weitere drei Züge benötigt. Es ergeben sich also insgesamt $3 + 1 + 3 = 2 \cdot 3 + 1 = 7 = 2^3 - 1$ Züge. Führt man alles mit vier Scheiben durch, kommt man auf $7 + 1 + 7 = 2 \cdot 7 + 1 = 15 = 2^4 - 1$ Schritte. Bei fünf Scheiben (wie hier in der PHÄNOMENTA) sind es dann $15 + 1 + 15 = 31 = 2^5 - 1$ Schritte, die man mindestens braucht. Man gelangt schließlich zu der folgenden allgemeinen Formel $a_n = 2^n - 1$, mit der man die Anzahl der Schritte bestimmen kann. Dabei steht n für die Anzahl der benutzten Scheiben. Setzt man zum Beispiel für n zehn ein, ergibt sich $a_{10} = 2^{10} - 1 = 1023$ für die Anzahl der Spielzüge, die bei optimaler Strategie nötig, sind um alle Scheiben in richtiger Reihenfolge auf einen anderen Platz zu stapeln.

Alltagsbezug

Ein schönes Beispiel für große Zahlen sind die Adressen im Internet. Wir Menschen sind es gewohnt, mit einem Zahlensystem zu rechnen, das auf der 10 basiert, vermutlich weil wir 10 Finger haben. Wenn man alle durchgezählt hat, merkt man sich das (man nennt das Zehner-Übergang) und dann fängt man wieder bei eins an zu zählen. Hat man das z.B. 4 mal gemacht, lautet die Zahl 40: Man hat 4 mal bis 10 gezählt. Ein Computer arbeitet mit nur zwei Zahlen, nämlich 0 und 1, er verwendet das Dualsystem. Er hat dann allerdings bei jeder zweiten Zahl einen „Zehnerübergang", besser „Zweierübergang", dafür sind die beiden Zahlen aber sehr leicht technisch darstellbar: AN und AUS.

Man kann die Stellen großer Zahlen einfacher darstellen, statt 1000 mit drei Nullen zu schreiben kürzt man ab auf 10^3 (gelesen: zehn hoch drei). Bei kleinen Zahlen scheint das zunächst komplizierter, denn auch mit sechs Nullen bei 1.000.000 kommt man im Alltag noch zurecht. Aber dann beginnt man die Nullen zu zählen. Deshalb wird die Abkürzung 106 für 1.000.000 schon bequem, für größere Zahlen gilt das erst recht. Im dualen Zahlensystem schreibt man entsprechend: 2^2, 2^3 usw. Früher basierten die Rechner auf Zahlen, die 8 Stellen hatten, nämlich 8 Bit oder 2^8.

Um eine Internetadresse darzustellen, nahm man einfach 4 solcher 8-Bit-Zahlen hintereinander: 2^8 mal 2^8 mal 2^8 mal 2^8. Dies war die höchste Zahl der darstellbaren Internetadressen. Man kann das auch einfach ausrechnen: Wenn man 2^8 mal 2^8 mal 2^8 mal 2^8 rechnen will, braucht man nach den Regeln der Potenzrechnung nur die Exponenten, also die 8-er zu addieren und die Basis beibehalten: also 2^{32}. Im Zehnersystem lautet die Zahl: 4.294.967.296, also mehr als 4 Milliarden.

Mittlerweile sind das zu wenig mögliche IP-Adressen (auch moderne internetfähige Kühlschränke bekommen eine!). Also hat man einfach die Anzahl der Blöcke und die

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Anzahl der Stellen verdoppelt: also 2^{16} und das 8-mal mit sich selbst multipliziert. Dies ergibt nun 2^{128} . Das Ergebnis ist im Zehnersystem eine Zahl, die mit den Ziffern 3 und 4 beginnt und 37 weitere Stellen hat. Diese Zahl ist in normaler Schreibweise nicht mehr vernünftig darstellbar.

Mit der Anzahl von Kombinationen verhält es sich ähnlich. Denkt man an einen PKW, der mit 5 verschiedenen Motoren und in 5 Farben ausgeliefert wird, kann man 5 mal 5, also $5^2 = 25$ verschiedene Modelle liefern. Ist zusätzlich noch die Wahl aus 5 verschiedenen Radios möglich, sind das schon 5^3 (Motor, Farbe, Radio), also 125 verschiedene Modelle. Kommen jetzt noch 5 Reifengrößen, je 5 verschiedene Felgen, Sitzbezüge usw. hinzu, wird die Zahl schnell riesengroß. Theoretisch kann man einen VW Golf so zusammenstellen, dass niemals einer dem anderen gleicht. Deshalb werden viele Ausstattungen zu Paketen zusammengefasst, um die potentielle Vielfalt wenigstens etwas zu verringern.

HILFESTELLUNG:
Der „Turm von Hanoi" geht auf eine alte Sage zurück, die oben nachzulesen ist. Ein Begleiter könnte zunächst die Sage erzählen, dann die drei Stifte und fünf Scheiben ertasten lassen und schließlich die Spielregeln erklären. Eine Hilfe beim Aufsetzen der Scheiben auf die Stifte mag dann und wann nötig sein, aber die Erfahrung zeigt, dass Blinde und Sehbehinderte mit dieser Aufgabe sehr gut zurechtkommen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Unendliche Tonleiter

Drücke die Tasten in auf- oder absteigender Reihenfolge! Kannst du ein Ende der Tonleiter finden? Oder einen Anfang?

WORUM GEHT ES?
Egal in welcher Richtung man die zwölf Tasten auf dem runden Tisch nacheinander drückt: Die erzeugte Tonleiter scheint auch bei mehreren Umläufen immer höher oder immer tiefer zu werden, ohne irgendwann ein Ende zu erreichen. Wie kann das sein?

WESHALB IST DAS SO?
Die Unendliche Tonleiter ist nur scheinbar unendlich, denn dieser Eindruck ist in Wahrheit einer akustischen Täuschung zu verdanken: Beim Drücken der Tasten erklingen keine Töne, sondern Klänge. Jeder Klang, der beim Drücken einer Taste zu vernehmen ist, besteht aus mehreren Tönen. Ein Computer hat sie so berechnet, dass die Abstände zwischen den Tönen des Klangs genau einer Oktave entsprechen und die Abstände zwischen benachbarten Tasten genau einem Halbtonschritt. So sind bei einmaligem Umkreisen des Tisches alle zwölf Halbtöne einer Oktave zu hören. Durch unsere selektive Wahrnehmung hören wir beim Wechsel zu einer Nachbartaste nur genau den Ton aus dem Klanggemisch heraus, den wir gemäß der Halbtonleiter erwarten. Würde sich unser Gehör aber nur auf diese sogenannte selektive Wahrnehmung stützen, hätte auch die Unendliche Tonleiter ein Ende. Dass das Gegenteil der Fall ist, liegt daran, dass jeder Mensch neben dem einzelnen Ton auch unbewusst das ganze Klangschema wahrnimmt. Wenn man also einen Ton heraushört, registriert man gleichzeitig auch alle Nebenklänge.

So kommt eine weitere Besonderheit der vom Computer berechneten Klänge zur Entfaltung: Sie sind so aufgebaut, dass die in der mittleren Lage jeweils am lautesten sind, während sie nach oben und unten leiser werden. Ist also ein Ton im Vergleich zu dem eigentlich erwarteten zu hoch oder zu tief, d. h. zu leise, ersetzt das menschliche Gehör diesen durch einen, der dem erwarteten sehr nahe kommt. Dabei gilt, dass Töne, die nur eine Oktave auseinander liegen, sehr ähnlich klingen.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass sich das menschliche Gehör aus einem ganzen Spektrum an Tönen genau den herauspickt, den es erwartet. So wird es fast unmöglich, Anfang oder Ende der

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

„Unendlichen Tonleiter" nach dem Gehör zu bestimmen.

Für die meisten Besucher ist die Unendliche Tonleiter tatsächlich verblüffend und rätselhaft. Es gibt aber immer wieder Besucher, die den Hintergrund des Phänomens sehr schnell erkennen. Diese sind in der Regel musikalisch geschult bzw. haben das absolute Gehör.

HILFESTELLUNG:
Die blinden oder sehbehinderten Besucher werden aufgefordert, beim „Rundlauf" um das Experiment von Tastendruck zu Tastendruck vorwärts zu schreiten und zuzuhören, wie die Töne sich verändern. Der Begleiter kann dann zur Orientierung ansagen, wann jeweils ein voller Umlauf beendet ist.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Vorwärts rückwärts

Kannst du rückwärts sprechen?

WORUM GEHT ES?
An diesem Exponat werden Wörter und Sätze, die man vorwärts aufgenommen hat, rückwärts abgespielt. Der Reiz liegt darin, Wörter oder Sätze zu finden, die vorwärts wie rückwärts gleich klingen, sogenannte Palindrome.

Palindrome sind Wörter oder ganze Sätze, die man sowohl vorwärts als auch rückwärts lesen kann, so zum Beispiel die Wörter „Rentner" oder „Neffen". Gesprochen und rückwärts abgespielt ergibt allerdings nicht jedes Palindrom einen Sinn. Welche Wörter und Sätze sich eignen und welche nicht, kann man hier am Vorwärts-Rückwärts-Gerät ausprobieren.

WESHALB IST DAS SO?
Manche Palindrome funktionieren bei „Vorwärts – rückwärts" gut, z.B. Anna-Susanna. Beim Sprechen benutzt man aber auch Doppellaute wie „au, ei, ie" oder Konstruktionen wie „pf, sch, st, ck". Nimmt man Wörter oder ganze Sätze auf, so werden diese besonderen Wortbausteine als ein Laut registriert. Beim Rückwärtsabspielen werden solche ebenfalls als ein Laut wiedergegeben und verfälschen damit manchmal den Sinn des Wortes oder des Satzes. So zum Beispiel bei dem Wort „Reliefpfeiler": Normal gesprochen kommt der „f"-Laut vor dem „pf"-Laut. Beim Rückwärtsabspielen ist jedoch zuerst der „pf"-Laut zu hören, sodass Klang und Aussprache des gesamten Wortes verzerrt werden. Sprache ist eben doch mehr als die bloße Aneinanderreihung von Buch-staben!

HILFESTELLUNG:
Der Begleiter lässt die betreute Person die richtige Sitzposition vor dem Gerät einnehmen und „zeigt" Aufnahme- und Wiedergabeknöpfe. Er erläutert das Vorgehen bei Aufnahme und Wiedergabe, er kann auch einfache Beispiele wie „Anna", „Anna-Susanna" oder „Otto" vorschlagen.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Warm oder kalt

Welche Platte fühlt sich besonders kalt an, welche besonders warm?

WORUM GEHT ES?
Dass sich Tafeln aus verschiedenen Materialien beim Berühren verschieden warm oder kalt anfühlen, ist für den Benutzer zunächst wenig erstaunlich. Erst wenn er registriert, dass die Thermometer an den verschiedenen Tafeln alle die gleiche Temperatur anzeigen, ist er erstaunt. Wie kommt es zu diesem Widerspruch?

WESHALB IST DAS SO?
Das Geheimnis dieser Wahrnehmungstäuschung liegt in den Materialien, aus denen die Tafeln gefertigt sind. Sie bestehen aus Kupfer, Holz, Schiefer, Kork, Acrylglas, Hartfaser, Marmor und Neopren. Diese verschiedenen Materialien besitzen alle eine unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit, d.h. die von der Hand abgegebene Wärme wird innerhalb der Stoffe unterschiedlich gut weitergeleitet. Legt man die Hände auf zwei verschiedene Platten, so gibt man über die Haut Wärme an die Tafeln ab. Je nachdem aus welchem Material die Platten gefertigt sind, wird die Wärme besser oder schlechter in das Innere der Tafel weitergeleitet. Folglich wird unserer Hand mehr oder weniger Wärme entzogen. So kommen wir zu dem Eindruck, dass die eine Platte kälter als die andere ist, nur weil sie

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

unserer Hand schneller die Wärme entzieht.

Alltagsbezug
Bei der Dämmung von Häusern macht man sich die schlechte Wärmeleitfähigkeit von Holz oder Luft zu Nutze. So werden in die Mauern von Häusern Stoffe wie Glaswolle, Styropor oder Schaumstoff eingearbeitet. Weil in ihnen viel Luft enthalten ist, leiten sie die Wärme schlecht nach außen und isolieren gut. Auch die sogenannten Doppelglasfenster (umgangssprachlich Thermopanefenster genannt) bestehen aus zwei Scheiben, zwischen denen sich eine Schicht Luft oder noch besser Argon zur Isolierung befindet.

Umgekehrt nutzt man die gute Leitfähigkeit von Metallen z. B. beim Kochen. Hier ist es wünschenswert, wenn die Wärme von der Kochplatte möglichst schnell durch den Topf- oder Pfannenboden an das Kochgut gelangt.

In Wohnungen, die sich in kalten Gebieten befinden, wird gerne Holz verbaut, in südlichen öfter Steingut und Fliesen. Dies hat den Grund darin, dass sich bei gleicher Temperatur Holz wärmer anfühlt als Stein.

HILFESTELLUNG:
Hier kann der Helfer die Hände beim Versuch führen, die obige Anregungsfrage stellen und die verschiedenen Materialien benennen. Die Antwort auf die Frage fällt dann nicht mehr schwer.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

Wärmewahrnehmung

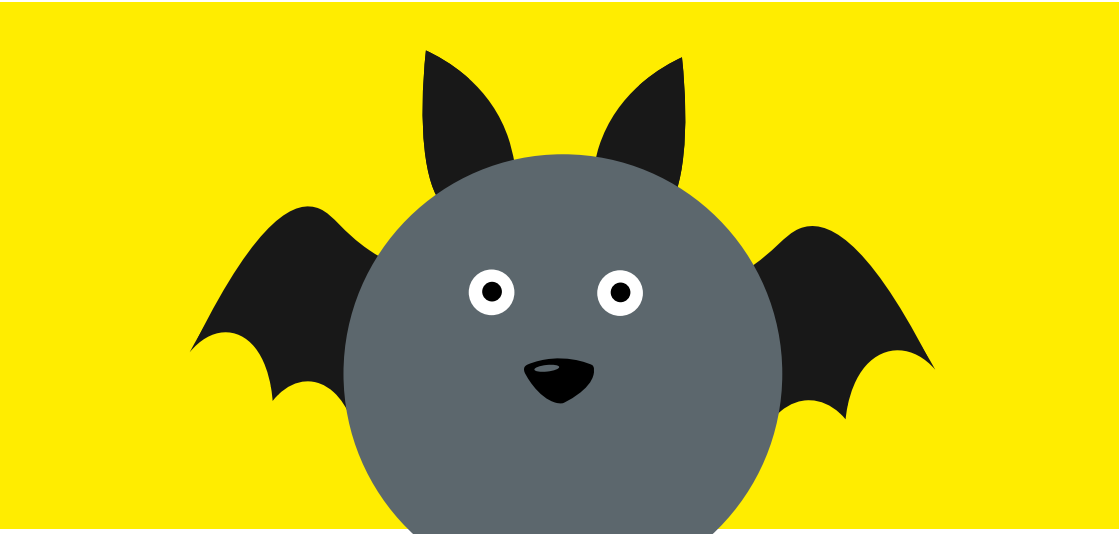
Lege beide Hände zuerst auf die vorderen Platten, danach auf die hintere Platte! Was empfindest du?

WORUM GEHT ES?
Wer im Schwimmbad vorher kalt duscht, friert im Wasser nicht so schnell. Wer aber von der heißen Dusche ins Wasser geht, findet es scheußlich kalt. Wie kommt das? Um diesem Phänomen nachzugehen legt ihr bei dieser Station eure beiden Hände eine Zeit lang auf die zwei verschieden warmen vorderen Metallplatten. Wie fühlt sich danach die dritte Platte an?

WESHALB IST DAS SO?
Die einheitlich warme hintere Platte fühlt sich mit den beiden Händen verschieden warm an. Der Mensch hat nämlich kein absolutes Wärmeempfinden, d. h. er kann Temperaturen nicht auf eine Gradzahl genau bestimmen, sondern nur Unterschiede feststellen. Diese gefühlten Unterschiede fallen stärker bzw. schwächer aus, je größer bzw. kleiner der Unterschied tatsächlich ist. Legt man die Hände also nun auf die zwei unterschiedlich warmen Platten der Station, kühlen sie verschieden aus oder erwärmen sich verschieden: Sie haben unterschiedliche Temperatur. Berührt man dann

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.

anschließend mit beiden Händen die dritte Platte, fühlt man auch hier unterschiedliche Temperaturen, obwohl die Platte einheitlich temperiert ist. Das liegt daran, dass die beiden Hände anfangs nicht mehr gleich warm sind und der Unterschied im ersten Augenblick von jeder Hand entsprechend anders wahrgenommen wird.

HILFESTELLUNG:
Der Begleiter fasst den Sehbehinderten oder Blinden am Unterarm und führt beim Versuch dessen Hände gemäß der Handlungsanregung zunächst für einige Zeit auf die vorderen Platten, dann auf die hintere. Wenn sich der Experimentierende zu ihrer Wärmewahrnehmung geäußert haben, liest der Begleiter die objektiven Temperaturangaben der Thermometer vor.

© 2021, Phänomenta Lüdenscheid e.V. · Phänomenta-Weg 1 · 58507 Lüdenscheid
E-Mail: verein@phaenomenta-luedenscheid.de · Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.