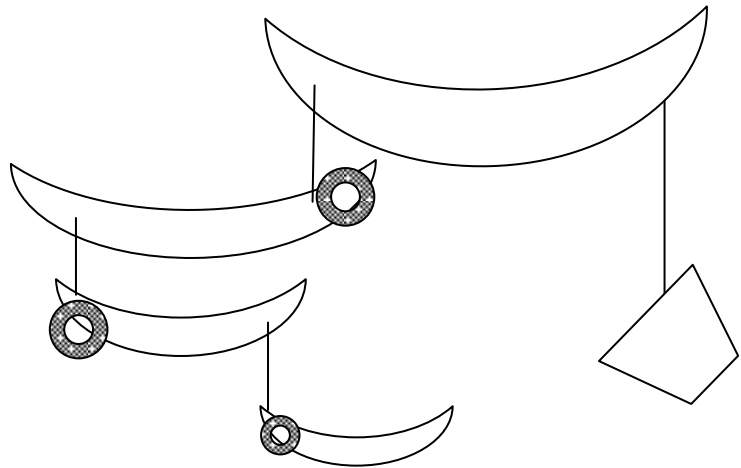


Karin Ernst  
mit  
Barbara Sanders-Mowka  
Christian Frahm  
Frank Behrens



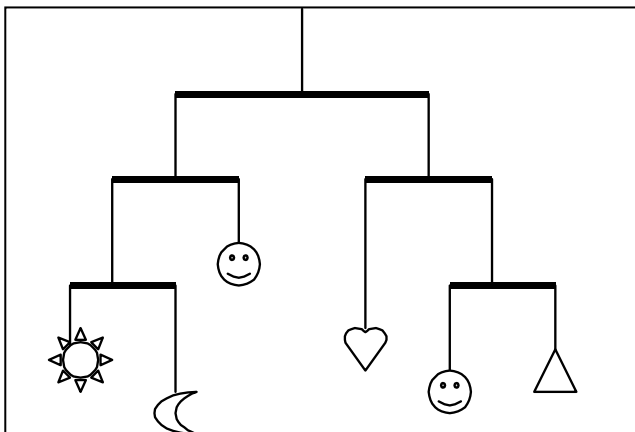
## Schwebende Monde Mobiles auf der Suche nach Calder

*Unsere Arbeitsdokumentation ist durch Korrespondenz und ergänzendes Schreiben auf der Grundlage eines Textes von Karin Ernst entstanden. Unsere Lernwege mit ihren wichtigsten Ergebnissen hatten wir bereits gemeinsam für unsere Präsentation auf der Tagung notiert. Durch diesen „Patchwork“-Text versuchen wir, die unterschiedlichen Blickwinkel, Denkpfade und Motive deutlich werden zu lassen, die uns in unserer Arbeit geleitet haben, ohne daß sie uns daran gehindert hätten, ein gemeinsames Ziel zu verfolgen. Natürlich können wir uns nicht mehr an jeden einzelnen Umweg erinnern, deshalb sind unsere Denkwege nur in groben Zügen skizziert. Mancher Irrweg erscheint uns im Nachhinein peinlich, war aber trotzdem wohl unvermeidlich. Wir staunen heute noch darüber, wie verwirrend es werden kann, wenn man so etwas Einfaches wie das Hebelgesetz auf ein reales Problem anwendet.*

### Ideen – Motive – Anfänge

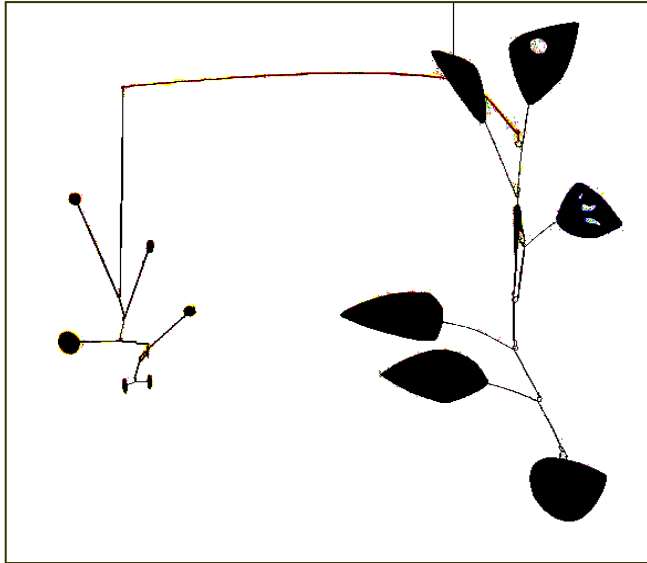
#### Karins Motive

Mobiles sind mir zum ersten Mal als Bastelpackung in meiner Kindheit begegnet - eine Zusammenstellung vorgefertigter Drähte, an denen man vorbereitete, mit wenigen Handgriffen zusammensetzbare Figuren möglichst geschickt aufhängen mußte, um einen Staubfänger für die Ecke über der Heizung zu produzieren. Ich glaube, ich habe so ein Ding nie wirklich gebastelt, obwohl ich eine Weile lang von der zugrundeliegenden Idee fasziniert war. Jedenfalls verband ich mit Mobiles seitdem immer die gleiche Grundform: Unter dem Aufhängepunkt hängt ein Bügel, an dessen beiden Enden an Fäden wiederum Bügel



hängen, an deren beiden Enden entweder wieder Bügel oder aber Objekte hängen, usw. - ziemlich symmetrisch, ziemlich langweilig.

Dieses Konzept von Mobiles wurde gründlich erschüttert, als ich mit Christian im New Yorker Guggenheim-Museum vor, unter und neben den Mobiles von Alexander Calder stand. Manche Gebilde schienen von unten nach oben zu wachsen, andere drehten sich in weit ausladenden Spiralen, oft waren die Einzelteile scheinbar um mehrere Achsen beweglich - es ergaben sich immer neue Arrangements schwebender Teile, die wir gebannt betrachteten. So ein Mobile für die Wohnung zu haben...



Alexander Calder, Numbered One to Seven, 1950

Mobiles gehörten auch zum Spektrum der Balance-Probleme, die wir zusammen mit dem Team der LernbegleiterInnen bei der Tagungsvorbereitung in Berlin auflisteten. Das Elementary-Science-Study-Programm hatte hierzu eine kleine Unterrichtseinheit produziert<sup>1</sup>, die in ihrem Anspruch über das Zusammenbauen vorgefertigter Teile hinausging und Balance-Probleme erfahrbar machte.

Ich wußte deshalb schon im Februar, daß ich im Balance-Workshop versuchen würde, ein Calder-ähnliches Mobile zu erfinden. Über den Sommer wurde daraus ein gemeinsamer Entschluß von Christian und mir.

### **Barbaras Motive**

Nicht Calder hatte mich ins Stutzen gebracht, sondern in meiner Kindheit mein Vater, wenn er den höchst komplizierten Akt vollbrachte, die Teile aus Spanholz, die ich mit meiner Mutter gebastelt hatte, zu Mobiles zusammenzustellen. Er ordnete Drahtbügel an, verkürzte Fäden, schob diese auf den Bügeln um Millimeter hin und her und hielt immer wieder die Luft an, um dann anschließend zu schimpfen. Kleinste Irritationen konnten alles aus dem Gleichgewicht bringen. Warum er was wann tat, blieb mir ein Geheimnis.

Später begegneten mir Mobiles als Blickfang über der Wiege meiner Kinder wieder, die nach zu kräftiger Behandlung von mir wieder ausbalanciert werden mußten – eher lästig und von Versuch und Irrtum mehr geprägt als von Überlegungen.

### **Karins Anfang**

Die Bredbecker Lernlandschaft war voller herausfordernder Objekte für unsere vagen Ideen von einem „unmöglichen“ Mobile - Drahtbügel aus der Reinigung, ausrangierte Stangen von Scheibengardinen, eine Kiste mit Schrott, Mobile-Bastelpackungen, das Drahtgestell von einem Lampenschirm... Unser mitgebrachtes Sortiment von Unterlegscheiben und gewellter Metallfolie, in die einmal Geschenke eingepackt waren, ergänzte dieses Sortiment auf's Schönste. Auf dem Weg nach draußen, beladen mit all diesen Dingen, stoppte uns Frank, der wahrscheinlich auch auf diese Sachen spitz war. „Was wollt ihr denn damit machen?“ - „Ein irgendwie unmögliches Mobile - so nach Calder.“ - „Ich weiß, wo die Werkstatt ist. Laßt ihr mich mitmachen?“ - Nun waren wir schon zu dritt. Uli wollte, daß wir Fragestellung und Ort aufschreiben und aushängen. Dann zogen wir los.

### **Barbaras Anfang**

So gut wie Karin hatte ich es nicht! Ich stand in Bredbeck noch vorm Nichts: Die Bredbecker Lernlandschaft begeisterte mich durch ihre Vielfalt, ließ in mir aber keine Frage entstehen. Sehr angestrengt und beklommen drehte ich meine Runden um den Tisch. Erst ein Buch in der Literaturecke brachte mich auf Mobiles. Ich erinnerte mich an meine Begegnung mit diesen schwebenden Teilen. In mir entstand die Vor-

<sup>1</sup> Vgl. Elementary Science Study Programm: Mobiles. ...

stellung eines riesigen und nicht sofort zu durchschauenden Mobiles. Beim Treffen zur Gruppenfindung schrieb ich mein Thema auf, bemerkte auch Karin und Christian, die schon sehr „fragebewußt“ im Raum standen. Und dann waren sie weg. Später entdeckte ich den Hinweis „Werkstatt“ auf ihrem Zettel. Es dauerte etwas, bis ich mich traute, nach ihnen und der Werkstatt zu suchen – hatten sie doch so zielgerichtet und eingeschworen gewirkt. Ob ich da wohl mitarbeiten könnte? Ich konnte...

In der Werkstatt waren Karin, Christian und Frank dabei, Gardinenstangen und ein Lampenschirmgestell zu einem schwebenden Gesamtgebilde zusammenzustellen. Immer wieder tauchte der Name „Calder“ auf, mit dem ich nichts verbinden konnte. Aber „unmögliches Mobile“, das sagte mir etwas. So konnte ich auch das Gebilde aus meiner Vorstellung nennen.

Andere Menschen kamen hinzu, bis unsere Gruppe acht Personen umfaßte. Ohne Plan und Frage, so kam es mir vor, stellten wir Teile zusammen, bis der Platz nicht mehr reichte und wir beschlossen, unser „Kunstwerk“ draußen zu befestigen.

### **Karin:**

Während wir in der kleinen Werkstatt unsere Schätze ausbreiteten und das eine oder andere Teil versuchsweise zusammenfügten, kamen immer mehr Interessentinnen und Interessenten. Sie wurden „irgendwie“ miteinbezogen, wodurch auch die Teile „irgendwie“ zusammenkamen. Das entstehende Gebilde wurde immer unförmiger und größer, immer „unmöglichlicher“. Gelegentliche Fragen, was das eigentlich sollte, wurden zwar gestellt, aber nicht beantwortet. Erfindungsgemeinschaften entstanden und lösten sich wieder auf. Während die einen ein weitausladendes Ende mit einem Stück von einem Bügeleisen auszubalancieren versuchten, steckten die anderen Gardinenstangen ineinander, um noch größere Weiten zu erreichen. Das Lampengestell baumelte schief in der Mitte. Eine Fahrradgabel wurde angebracht. Von Calder keine Spur.

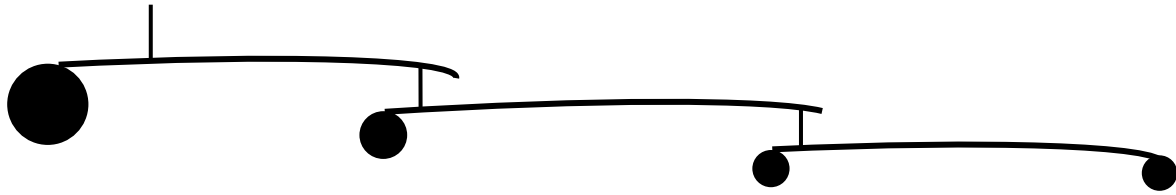
Mir wurde das Geschehen zu unübersichtlich. Das entstehende Mobile war in meinen Augen das krasse Gegenteil der schwerelos wirkenden, minimalistischen Strukturen Calders. Ich hätte gerne die Bewegungs- und Balancemöglichkeiten der Materialien gründlicher erkundet, um dann allmählich ein experimentelles Mobile zu entwickeln, sozusagen mit eingeplanten Varianten, um herauszufinden, wie man ein Mobiles anders als verzweigt symmetrisch bauen kann. Als die Baugruppe mit dem „unmöglichen Mobile“ nach draußen zog, um einen Platz zum Aufhängen zu suchen, blieb ich in der Werkstatt und versuchte, meine eigenen Gedanken besser zu verstehen.

### **Barbara:**

Baum und Leiter waren bald gefunden und wir bauten – ohne Karin – die verschiedensten Teile zu einem großen Windspiel zusammen. Es sollte bei Bewegung klirren und so auf sich aufmerksam machen. Die Teile boten dem Luftzug nicht genug Widerstand, so daß sich unser Gebilde kaum rührte und also auch nicht klirrte. Erst als wir ein „Segel“ (*welches Material war das noch?*) einbauten, funktionierte das Riesenmobile zu unserer Zufriedenheit. Letztere war bei mir nur vordergründig: Unser Mobile im Baum war viel zu normal. Brav hingen alle Teile untereinander, kaum etwas schwebte frei. Fazit: kein „unmögliches Mobile“.

Für mich stellten sich die Fragen: „Was will ich hier?“ und „Wie soll es weitergehen?“

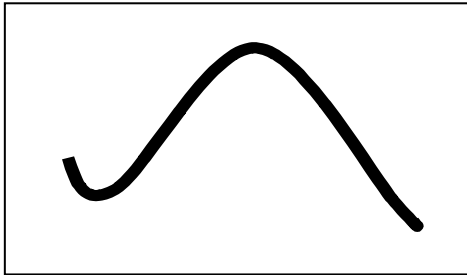
Ich fertigte eine Skizze von einem „unmöglichen Mobile“: an einer Seite weit ausladend und leicht wirkend, die andere Seite eher schwer.



Dabei hatte ich noch keine Vorstellung über die Auswirkung der weit ausladenden Seiten auf das gesamte Gleichgewicht.

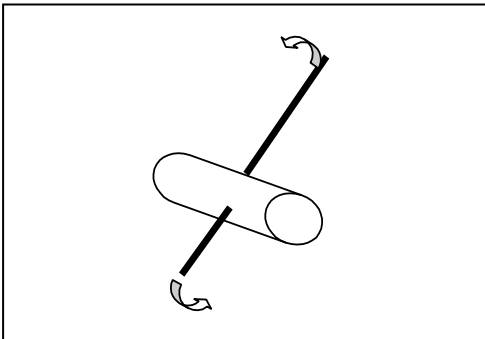
### Karin:

Als die anderen nach draußen gingen, waren die meisten Materialien, die wir aus der Lernlandschaft mitgenommen hatten, verbaut. Übriggeblieben waren allerdings



die Unterlegscheiben und die merkwürdigen Drahtbügel, die aus einem Freinet-Baukasten unserer Lernwerkstatt stammten, den nie jemand verstanden hatte. Diese Drahtbügel müßten „quer“ schweben, wie waagerechte Bögen... und dann untereinander... Aber die beiden Enden fielen immer wieder nach unten, wie auch immer ich sie hielt.

Mir kam die Idee zu einem Mobile, das sich senkrecht um eine Querachse drehen sollte. Hierzu mußte ich eine Gardinenstange mit einer Achse versehen, die so lose auf irgend etwas aufgelegt war, daß sie sich frei drehen konnte. Dies erforderte offensichtlich zwei Gelenke in verschiedenen Ebenen, ein haltbares Gestell und entsprechendes technisches Denken. Schwierig.



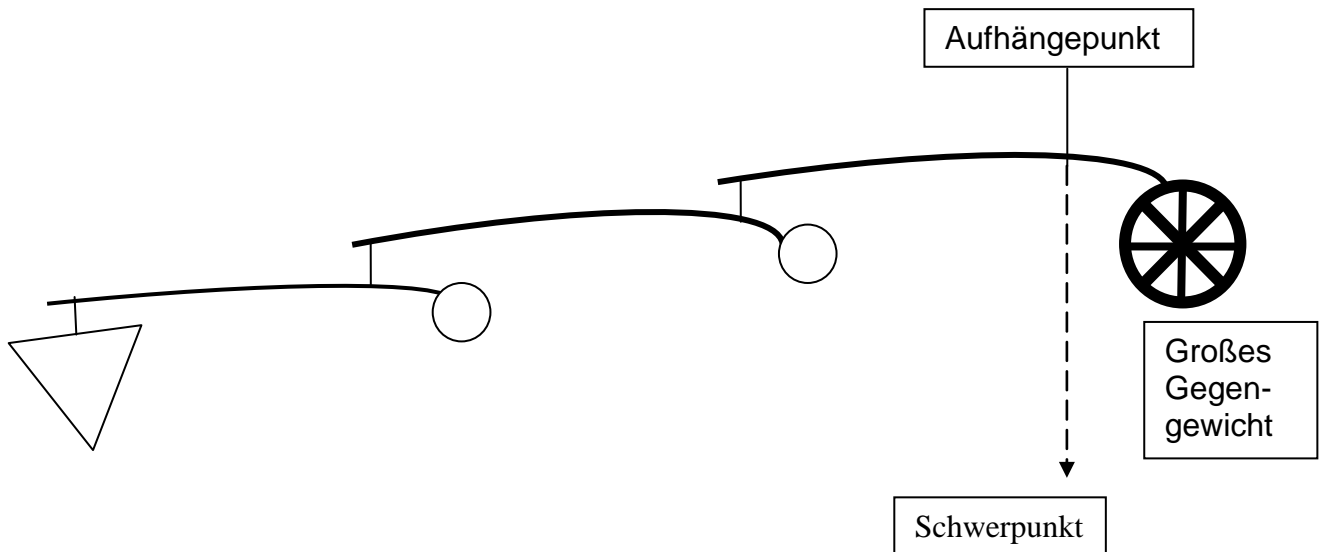
Heidi, eine der Lernbegleiterinnen, brachte mich nach längerem gemeinsamen Überlegen auf die Idee, nicht die dünne Gardinenstange zu durchbohren, um eine noch dünnere Achse durchzustecken, sondern die Stange quer durch ein durchbohrtes Plastikrohr zu schieben, das sich dann eventuell einfacher lagern lassen würde. Es gelang mir (Wie funktioniert denn wohl dieser Bohrständler??), das Rohr zu durchbohren. Die Gardinenstange rutschte allerdings bei jeder

Bewegung der Achse heraus. Hatte ich erwartet, daß sie sich, wenn sie nur richtig in ihrem Schwerpunkt lag, auch eine senkrechte Drehung, sozusagen entgegen der Schwerkraft, überstehen würde?

## Zweite Annäherung an ein „unmögliches Mobile“

Christian kam in die Werkstatt zurück und fragte mich ziemlich ärgerlich, warum ich denn aus dem gemeinsamen Projekt ausgestiegen sei. Wir raufte uns eine Weile lang auseinander und zusammen und schwangen uns schließlich wieder auf eine gemeinsame Linie ein. Ich erfuhr, daß die anderen draußen beim Aufhängen des Mobiles unzufrieden darüber gewesen waren, daß fast alles Gewicht des Mobiles sichtbar unterhalb des Aufhängepunktes hing und nur wenige Gegenstände „frei“ rundherum schwebten. Es gab also noch eine Chance, wieder gemeinsam nach Calder-ähnlichen Strukturen zu suchen.

Zu zweit skizzierten wir zunächst folgende Überlegung:

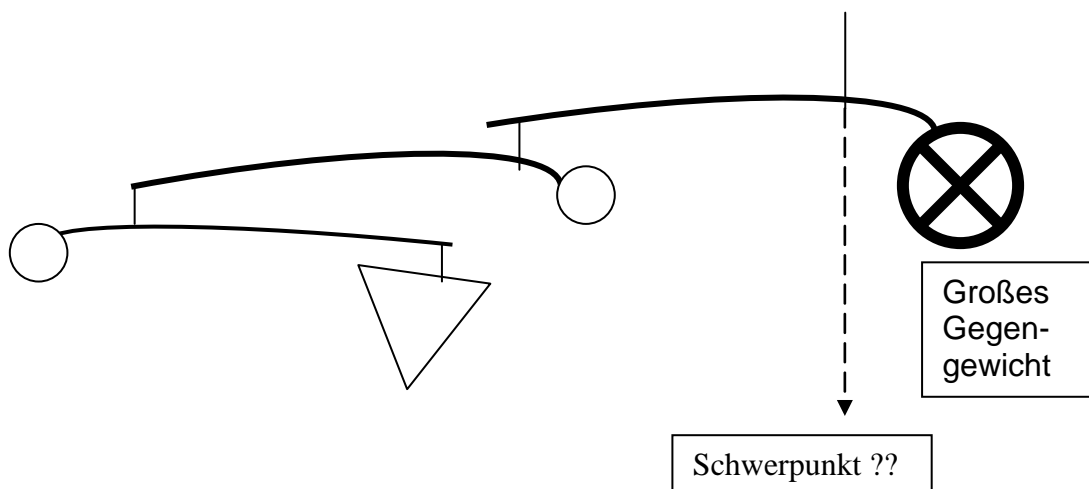


Wenn wir ein weit ausladendes, asymmetrisch wirkendes Mobile bauen wollen, brauchen wir wahrscheinlich ein sehr schweres Gegengewicht, da ein sehr kurzer Hebelarm einen sehr langen ausbalancieren muß. Wir erinnern uns daran, daß das Hebelgesetz lautet:

$$\mathbf{Kraft \times Kraftarm = Last \times Lastarm}$$

Dies dürfte auch für Mobiles gelten.

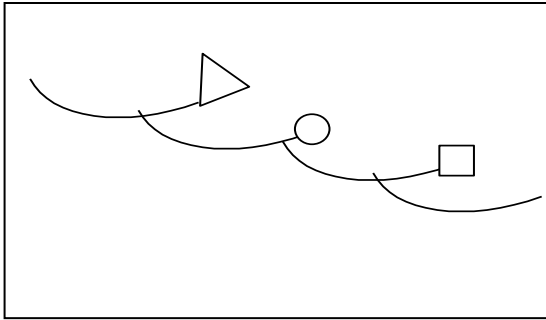
Aber halt! Christian kam eine Frage in den Sinn: Wenn sich das Mobile nach innen dreht und damit den Lastarm verkürzt - kommt das gesamte Gebilde dann aus dem Gleichgewicht?



Ändert sich der Schwerpunkt?

Wir konnten das Problem durch Diskussion nicht lösen, skizzierten aber in Gedanken die gegenteilige Konstruktion: Wenn das Mobile auf einer Stange fest in der Erde verankert wäre und sich auf der einen Seite weit ausladende, bewegliche Teile befänden und auf der anderen Seite ein Gegengewicht nahe an der Stange - würde das einen Unterschied machen? Würde die Verankerung in der Erde für Stabilität sorgen? Und wäre das das gleiche wie eine Verankerung in der Decke?

Um die Gedankenspiele noch etwas weiter zu treiben, beschrieb ich schließlich mein vorher gefundenes Problem: Wie ließen sich Bögen waagrecht schwebend zu einem Mobile verbinden? Oder, falls das nicht ging, als eine senkrecht Bogenlinie? In der Erinnerung schienen mir die Calderschen Mobiles vor allem nach diesem Prinzip aufgebaut zu sein. Aber es war mit völlig unerklärlich, wie sie verbunden und ausbalanciert waren.



Inzwischen waren Barbara und Frank in die Werkstatt zurückgekehrt und versuchten, sich in unsere Überlegungen einzuklinken. Wir kamen überein, den verschiedenen Balance- und Konstruktionsproblemen, die wir inzwischen gefunden hatten, von nun an in kleinen Schritten experimentell nachzugehen.

### **Barbara:**

In der Werkstatt sah Karin meine Skizze und stellte die Ähnlichkeit zu ihren Plänen fest. Sie schien sich bereits früher von der Gruppe und dem Mobile im Baum verabschiedet zu haben. Ich freute mich, daß endlich wieder eine Gemeinsamkeit da war, wenn sie auch nicht die gesamte Gruppe betraf. Wir spalteten uns. Die Gruppenmitglieder, die später hinzugekommen waren, bildeten eine eigene Gruppe. Das beschäftigte und beunruhigte mich lange. Ist es möglich, daß in einer großen Gruppe jede/r zur "eigenen" Frage und doch alle zusammen arbeiten – zumal sich Karin und Christian schon vorher gedanklich mit dem Thema auseinandergesetzt hatten? Hätten gemeinsame Runden am Anfang eine einheitlichere Linie für alle möglich gemacht?

Für mich stand fest, daß ich an meiner Vorstellung von einem Mobile weiter arbeiten wollte. Diese ähnelte der von Karin, Christian und Frank. Wir arbeiteten als Gruppe weiter.

Ich hatte keinen konkreten Plan für meine nächsten Schritte. So hörte ich den anderen zu. Karin erklärte ihre Überlegungen zu schwebenden Bögen – ich verstand nichts. Christians Frage nach dem „eingeklappten Schwerpunkt“ konnte ich eher nachvollziehen.

### **Karin (als Protokoll für alle):**

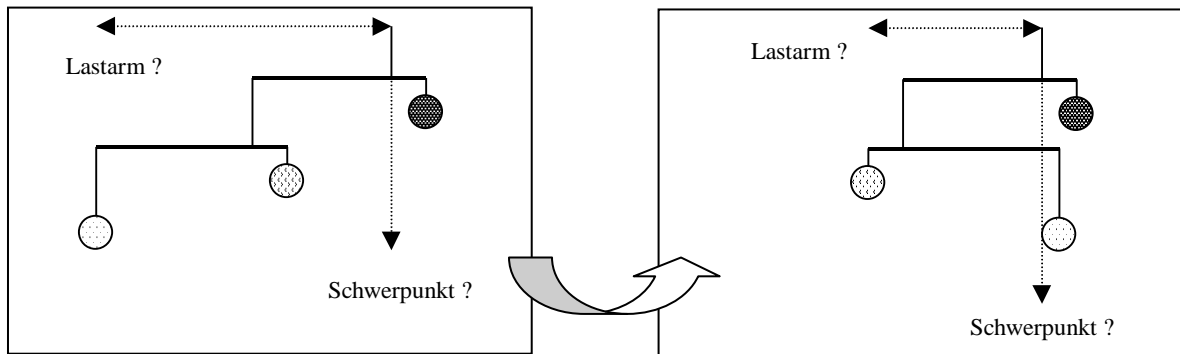
Es entwickelten sich drei Suchrichtungen nebeneinander:

- ☼ Christian und Barbara wollten ein asymmetrisches Mobile bauen, um das Problem des „eingeklappten Schwerpunktes“ real zu untersuchen,
- ☼ ich dachte weiter über die schwebenden Bögen nach und wollte außerdem nachmittags oder am nächsten Tag untersuchen, ob sich aus der mitgebrachten Metallfolie sinnvolle und stabile Mobile-Formen herstellen lassen würden,
- ☼ Frank nahm die Idee der schwebenden Bögen auf seine Weise auf und probierte alles Mögliche aus.

Wir waren von unseren jeweiligen Untersuchungen absorbiert und nahmen gleichzeitig aus dem Augenwinkel und mit halbem Ohr wahr, was die anderen taten.

## **Der „eingeklappte“ Schwerpunkt**

Barbara und Christian bauten aus den vorhandenen Mobile-Drähten mit Hilfe von Nylonschnur und Unterlegscheiben als Gewichte nacheinander zwei sehr asymmetrische Mobiles, bei denen sie die weit ausladenden Arme „einklappen“ konnten.



Durch Ausprobieren kamen sie zu zwei wichtigen Erkenntnissen:

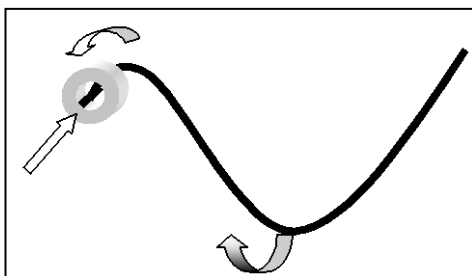
- ☼ Das Mobile wird beim „Einklappen“ nicht aus dem Gleichgewicht gebracht. Es scheint so, als konzentrierte sich alle Kraft jeweils unter dem Aufhängepunkt, während sich die Arme scheinbar schwerelos um sich selbst drehen können.
- ☼ Um das Mobile ins Gleichgewicht zu bringen, müssen die einzelnen Elemente von unten nach oben nacheinander ausbalanciert werden. Jeweils unter dem oben liegenden Element bildet sich offensichtlich so etwas wie ein Gesamtschwerpunkt aus, um den herum sich die darunter liegenden Arme frei drehen können.

Ließe sich das berechnen, um über anzuhängende Gewichte und Balancepunkte schon vor der Montage Aussagen machen zu können? Zum Beispiel für die Herstellung vorgefertigter Bastelpackungen?

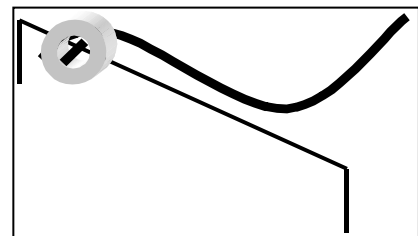
## Bögen zum Schweben bringen

Mir nützte es nichts, auf dem Papier zu skizzieren, wie schwebende Bögen aussehen könnten. Auch durch weitere Versuche, die gebogenen Drähte in der Waagerechten zu stabilisieren, indem ich sie einfach an verschiedenen Punkten auf meinem Finger balancierte, kam ich nicht weiter. Mir fiel auf, daß ich bisher vom Gleichgewicht dieser Bögen eine falsche Vorstellung gehabt hatte, denn ich wunderte mich darüber, daß immer die beiden äußeren Enden nach unten fielen und nicht die Mitte. Wahrscheinlich hatte ich das Bild eines durchhängenden Seiles im Kopf und dies automatisch auf andere gebogenen Formen übertragen.

Plötzlich hörte ich Frank sagen: „Kuckt mal, so geht's!“, und dabei hielt er einen quer



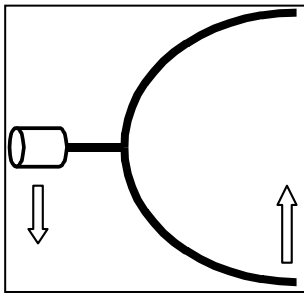
schwebenden Bogen auf dem Finger. Er hatte folgendes herausgefunden: Auf dem nach hinten gebogenen Endstück der einen Seite ließ sich ein Gewicht anbringen, daß den Bogen um 90° drehte und



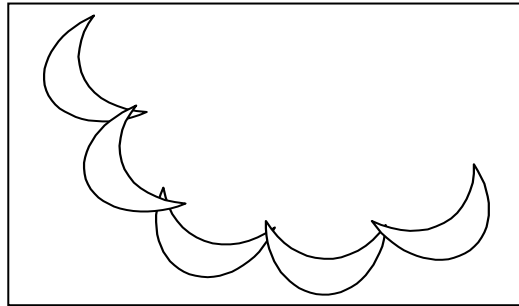
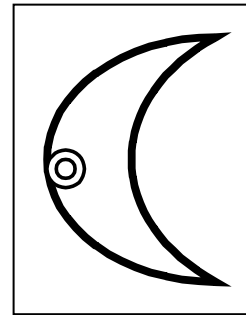
damit waagerecht schweben ließ. In meinen Augen ein Wunder! Der beschwerte Bogen balancierte sogar mit etwas Geschick auf einer schmalen Kante, die senkrecht zur Kipprichtung verlief, wenn der Auflagepunkt sehr nahe am Gegengewicht lag.

Jetzt hatten wir also eine Leitlinie für unsere schwebenden Bögen: Irgendwo, wahrscheinlich am besten in der Mitte, mußte ein Gegengewicht angebracht werden, daß

die beiden Enden daran hinderte, nach unten zu hängen. Ich stellte mir folgende Konstruktion vor:



Oder aber, in geschlossener Form, in der sich ein Gewicht verbergen ließ, als Mond. Trotzdem blieb das Problem, wie sich solche Formen ausbalancieren und miteinander verbinden lassen würden, um ein weitausladendes Mobile zu bilden.



Mit diesen Erkenntnissen und Überlegungen beendeten wir die Arbeit des ersten Vormittags und schlossen am nächsten Tag ziemlich nahtlos daran an.

## **Auf der Suche nach geeigneten Materialien und Formen**

### **Karin:**

Ich war besonders von der Metallfolie, die wir mitgebracht hatten, fasziniert. Sie war in der Struktur wie feine Wellpappe und von daher in einer Richtung sehr beweglich, in der anderen einigermaßen steif. Ich stellte mir vor, zwei gleiche Teile mit zueinander senkrecht stehenden Wellen aufeinanderzukleben und auf diese Weise stabile Mobile-Formen zu erhalten. Ich experimentierte deshalb mit der Mondform, stellte aber bald fest, daß das Endprodukt ausgesprochen biegsam war, und zwar besonders an den spitz zulaufenden Ecken, an denen je eigentlich weitere Teile angebracht werden sollten. Die Metallfolie eignete sich nicht als Material.

Da wir in der Gruppe übereingekommen waren, mit möglichst flexibel verwendbaren Grundmaterialien zu experimentieren, hatte Frank inzwischen Balsaholz besorgt und sägte eine Reihe von Monden aus. Wir stellten uns vor, sie mit Unterlegscheiben zu beschweren, die zahlreich in vielen Größen und damit auch Gewichten vorhanden waren, und die einzelnen Monde mit Nylonschnur untereinander zu hängen. Dies funktionierte.

Später verbanden wir die Unterlegscheiben mit Tesakrepp und sicherten die Nylonfäden mit winzigen Knöpfen, außerdem wählten wir für unseren größten Mond eine stabilere Hartfaserplatte. Insgesamt beschäftigten uns von nun an Materialprobleme nicht mehr besonders.

### **Theoretische Zwischenspiele**

Neben den konkreten Tätigkeiten hingen wir alle unseren Gedanken nach, redeten miteinander ins Unreine, kritzelten auf unseren Schreibblöcken und versuchten irgendwie, unsere Mobile-Ideen besser zu begreifen.



Christian jonglierte offensichtlich innerlich mit Konzepten wie „Kräfteparallelogramm“, „Schwerpunkt“, „Schwerelinie“, „Hebelgesetz“,... und suchte, so weit ich es verstand, nach Möglichkeiten, das Mobile zu berechnen. Aber wie ließ sich ein Kräfteparallelogramm überhaupt zeichnen? Welche Größen wirkten in welche Richtung und wie ließ sich das symbolisieren?

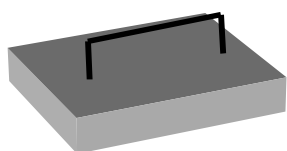
Barbara war von der Fragilität des Gleichgewichts fasziniert, da an den beiden am Vortag gebauten Mobiles schon winzige Verschiebungen alles aus dem Gleichgewicht brachten. Gleichzeitig beschäftigte sie das Phänomen, wie groß und in ihren Augen noch willkürlich die Differenz der Gewichte an den Experimentiermobiles war.

Mir fiel dazu eine Erfahrung ein, die ich in „Zeit“-Workshops bei der Konstruktion von Zeitmessern nach dem Waage-Prinzip gemacht hatte: *Wenn ich eine Balkenwaage benutzte, von der zwei Waagschalen herabhingen, und ich auf der einen Schale eine brennende Kerze aufstellte, bewegte sich der Balken mit abnehmendem Gewicht der Kerze ganz langsam in die Schräge, so daß ich ihn als Zeitanzeiger vor einer Skala benutzen konnte. Wenn ich direkt an den beiden Ende des Waagebalkens Schalen anbrachte, auf die Sand oder Wasser rieselten, kippte der Balken quasi schon durch ein Sandkorn um, das auf einer Seite zu viel war, und eine langsame Drehung in die Schräglage war nicht zu beobachten. Erst nach längerer Überlegung und Diskussion wurde mir damals klar, daß die herabhängenden Waagschalen ein „stabiles“ Gleichgewicht herstellten, das auch graduelle Schräglagen aushielt, während der pure Balken sich offensichtlich im „indifferenten“ oder gar „labilen“ Gleichgewicht befand und sich blitzartig einen neuen Schwerpunkt suchte, wenn eine Seite Übergewicht bekam.*

## Balanceakt für Monde mit innovativen Versuchsgeräten

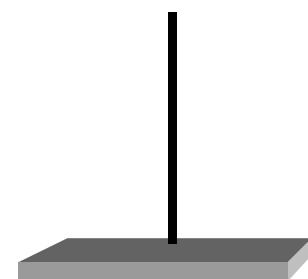
Frank hatte inzwischen eine Reihe von Monden ausgesägt. Wir überlegten nun, wo wir wieviel Gewicht anbringen mußten, um einen Mond asymmetrisch aufzuhängen, und wo der Aufhängepunkt liegen würde. Wahrscheinlich brauchten wir in der Nähe des Aufhängepunktes viel Gewicht, um das andere Ende weit ausragen lassen zu können. Barbara klebte an die Spitze eines Mondes eine Unterlegscheibe und versuchte, das Konstrukt auf einem Finger auszubalancieren. Es war nicht möglich.

Frank baute in der Zwischenzeit eine Versuchsvorrichtung, die er später „Eberhard-Gienger-Reck“ taufte und die dazu dienen sollte, zunächst die Linie zu bestimmen, auf der der Schwerpunkt des Gebildes lag, um dann anschließend auf dieser Linie den Schwerpunkt zu suchen. Hierfür schuf er noch ein zweites Gerät, später „Breadback-Nadel“ genannt, auf der jedes Gebilde in der Lage war, auf seinem Schwerpunkt zu ruhen (wenn man ihn fand). Diese Nadel war oben ganz spitz. Übrigens verwendete er dazu die Gardinenstange aus meinem unvollendeten Stand-Mobile.



Gienger-Reck

Trotz dieser innovativen Geräte fielen unsere Monde zunächst aber immer herunter.

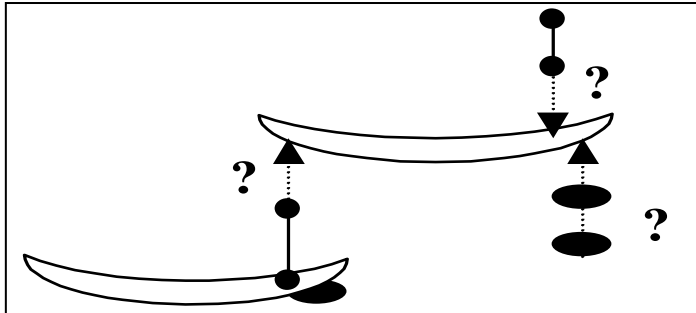


Breadback-Nadel

Plötzlich eine Idee: „Dreh‘ das Ding doch mal um, das Gewicht liegt ja oben drauf!“ Und wie durch ein Wunder fand unser Mond nun sein Gleichgewicht auf Reck und Nadel. Der Fünftel-Millimeter, den die Unterlegscheibe nun unterhalb des Mondes lag, reichte offensichtlich aus, um ein stabiles Gleichgewicht herzustellen.

Barbara und Christian balancierten den ersten kleinen Mond auf der Nadel aus und befestigten im Schwerpunkt einen Nylonfaden, an dem der Mond hängen konnte - leider schief. Durch minimales Verschieben des Gewichtes ließ er sich aber in die Waagerechte bringen. Die unterste Stufe des Mobiles war fertig.

Für die nächste Stufe stellten sich aber sofort folgende Probleme:



- \* Wo wird der untere Mond am nächsten am besten aufgehängt?
- \* Wo wird am nächsten Mond das Gegengewicht befestigt?
- \* Wie groß muß das Gegengewicht sein?

- \* Wo ist der Schwerpunkt des zweiten Mondes?

wenn die Konstruktion möglichst weit ausladend und asymmetrisch sein soll?

Da noch keine Klarheit über die Berechenbarkeit des Mobiles bestand, mußte das Problem durch Versuch und Irrtum gelöst werden. *Sicher war, daß der erste Mond am zweiten möglichst nahe an der Spitze aufgehängt werden mußte und die Aufhängung zum dritten hin möglichst nahe an der anderen Spitze erfolgen mußte, um die große Spannweite zu erreichen. Außerdem wahr wahrscheinlich, daß das Gegengewicht noch näher an der zweiten Spitze hängen und ziemlich groß sein würde. Mond 1 wurde an Mond 2 schließlich an einem willkürlich gewählten Punkt aufgehängt. Die Gewichte an der anderen Seite wurden ebenfalls zunächst willkürlich mit Tesakrepp angeklebt, da sie verschiebbar waren. Schließlich erfolgte der Balance-Akt auf der Breadback-Nadel, bei dem der Schwerpunkt gesucht, Gewichte addiert und Gewichte verschoben wurden, bis schließlich tatsächlich das ganze Konstrukt schwebte. Ein unglaublicher und erhebender Moment!*

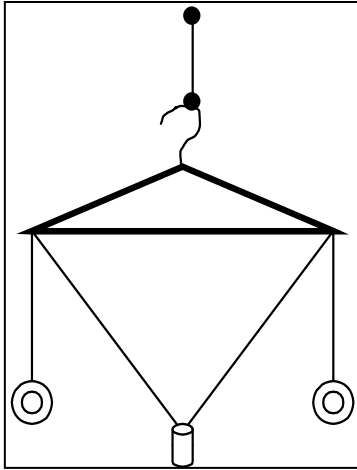
Auf die gleiche Weise wurde schnell und noch etwas unvollkommen der dritte Mond angefügt, ehe die Arbeit des zweiten Tages endete.

## Neue Spiele mit Theorie

Barbara und mich beschäftigte die Frage, ob der Schwerpunkt immer unter dem Aufhängepunkt blieb, auch wenn ein Mobile-Arm aus der Balance geriet. Irgendwie waren wir dabei auch auf der Suche nach Christians Kräfteparallelogramm und nach einer Lösung des Rätsels vom Schwer"punkt" überhaupt. Denn es war nicht leicht einzusehen, daß sich im leeren Raum unterhalb eines Mobile-Arms ein imaginärer „Punkt“ befinden sollte, in dem sich alle Kräfte konzentrierten.

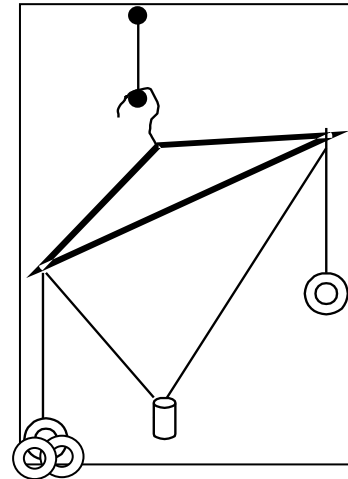
*Eine meiner vielen vagen Erinnerungen in diesem Bereich besagte, daß sich der Schwerpunkt demonstrieren ließ, wenn man die zwei Enden eines Balkens mit einer Schnur verband und daran ein Gewicht nach unten hängen ließ. Wir bauten uns deshalb aus einem Drahtbügel folgende Konstruktion:*

*Indem wir an der linken Seite mehr Gewichte befestigten, brachten wir den Bügel aus dem Gleichgewicht. Das auf dem Verbindungsband lose hängende Gewicht bewegte sich tatsächlich nach links, um wieder unter dem Aufhängepunkt zur Ruhe zu kommen. Es lag damit näher an der schwereren Seite. Aber worauf ließ sich das übertragen? Schließlich hatten wir sonst gar keine „schrägen“ Konstruktionen! Außerdem stellten wir fest, daß sich das Gewicht*



*auch in anderen Positionen halten ließ, da die Reibung des Verbindungsbandes zu groß war. Wieder nichts?*

Auch die Frage, ob es in Längsrichtung des Mondes eine Schwerelinie geben würde, auf der sich die Punkte für die Befestigung des Gegengewichts, des unteren Mondes und der Verbindung zum oberen Mond befinden würden, ließ sich von uns theoretisch nicht so recht



beantworten. Wir fummelten also weiter herum.

Unser aktuelles Problem vor der Weiterarbeit war folgendes: *Der erste Mond war klein und sehr leicht. An ihm hing ein leichtes Gegengewicht in Form einer kleinen Unterlegscheibe. Der zweite Mond war nicht viel größer, aber um den an ihm hängenden kleinen und leichten ersten Mond auszubalancieren, waren bereits erstaunlich viele Unterlegscheiben nötig. In der dritten Schicht vervielfältigte sich das Problem quasi: Um die beiden ersten Monde auszubalancieren, war ein geradezu riesiges Gegengewicht nötig. Der Balsamond bog sich unter der Last der Kräfte, die Unterlegscheiben ließen sich kaum noch zusammenkleben. Was würde mit der vierten Schicht passieren?*

Auf jeden Fall mußte das Material gewechselt werden. Frank fand eine Hartfaserplatte, aus der er einen neuen großen Mond aussägte. Er malte ihn schwarz an, um einerseits das neue Material nicht zu auffällig werden zu lassen und andererseits einen ästhetischen Kontrast zum hellen Balsaholz zu schaffen.

Barbara und ich versuchten, Hebelarme auszumessen, die Gewichte zu bestimmen und daraus mit Hilfe des Hebelgesetzes eine Voraussage zu machen, wie schwer das nächste Gegengewicht sein müßte.

*Für die bisher vorhandenen Gewichte fanden wir folgende Zahlen:*

- ◆ 1. Mond: ausbalanciert durch 10 g am kurzen Ende
- ◆ 2. Mond: ausbalanciert durch 60 g am kurzen Ende
- ◆ 3. Mond: ausbalanciert durch 190 g am kurzen Ende

*Obwohl wir die schnelle Gewichtssteigerung schon gefühlt hatten, verwunderten uns diese Zahlen doch sehr. Sie ließen erwarten, daß das Gegengewicht für den 4. Mond sehr groß sein würde. Ausgehend von den Maßen der ausbalancierten 3. Baustufe versuchten wir zunächst, die Anwendbarkeit des Hebelgesetzes zu überprüfen und dann auf die Maße der 4. Stufe zu schließen.*

*Die Länge der Hebelarme bestimmten wir am obersten Mond, ausgehend vom nach oben führenden Aufhängepunkt, zu beiden Seiten hin. Als „Kraft“ hatten wir an der einen Seite das große Gegengewicht von 190 g am kurzen Ende, als „Last“ addierten wir die an die beiden unteren Monde angehängten Gewichte, waren uns aber über dieses Vorgehen nicht sicher. Die Produkte ergaben  $1505 \neq 1615$ , also keine Gleichheit, aber auch keine großen Unterschiede. Möglicherweise mußten wir das Gewicht der angehängten Monde mitberücksichtigen.*

*Nach dem gleichen Prinzip versuchten wir nun das Gegengewicht der nächsten Stufe zu bestimmen. Hierzu nahmen wir willkürlich Aufhängepunkte nach dem Prinzip größtmöglicher Weite an: Der Lastarm am großen Mond sollte 40 cm lang sein, der Kraftarm 10 cm. Das auszubalancierende Gewicht betrug mindestens 260 g (ohne „Mondgewicht“). Auf dieser Basis sagten wir ein nötiges Gegengewicht von 1120 g voraus. Wir konnten uns nicht vorstellen, daß der vierte Mond, trotz seiner größeren Stabilität, dies aushalten würde. Und wir hatten auch kein so großes Gewicht.*

Also gingen wir wieder pragmatisch vor: Unter dem Schrott fanden wir ein interessant geformtes schweres Eisenteil, das sich mit einer Schnur aufhängen ließ. Es wog 740 g. Das mußte reichen. Außerdem wollten wir den Aufhängepunkt des Gegengewichts nicht an die äußerste Spitze des Mondes verlegen, weil wir einen Bruch der Holzscheibe befürchteten. Wir befestigten also die drei ersten Monde auf der einen Seite, das Gegengewicht auf der anderen Seite, suchten den Schwerpunkt/Aufhängepunkt mit unseren Versuchsgeräten und hatten schließlich tatsächlich ein aufregendes, ungewöhnliches und ziemlich unmögliches Mobile fertig.

Alle unseren theoretischen Probleme waren noch nicht zu Ende gedacht und beschäftigen uns weiterhin.

#### **Barbara:**

In meinem ½-jährigen Physikunterricht hörte ich vom Hebelgesetz. Verstanden habe ich es nie. Anwenden konnte ich es auch nicht. An dieser Stelle hat es mir endlich eingeleuchtet. Seitdem verweise ich oft voller Stolz auf meine neue Kenntnis: „Das ist doch das Hebelgesetz!“

### **Rückblick: Zum physikalischen Gehalt unserer Untersuchungen**

Wir haben während des Mobile-Baus kein damit verbundenes physikalisches Problem klären können, aber viele für uns neue aufgeworfen und manches besser verstanden. Deshalb hier der Versuch einer Zusammenfassung mit offenen Fragen.

#### **Schwerpunkt:**

Der Schwerpunkt bei einem Mobile wird am besten sichtbar, wenn unterhalb des Aufhängepunktes ein schwerer Gegenstand hängt. Es ist dann einfach, ein paar ausladende, wackelnde Teile anzubringen. Die meisten Mobiles haben jedoch in der Mitte keinen sichtbaren „schweren Punkt“, sondern ihr Schwerpunkt befindet sich unsichtbar unterhalb des Aufhängepunktes. Dies ist nicht unmittelbar einsichtig. Wenn man die einzelnen Arme eines Mobiles ausbalanciert, läßt sich der Schwerpunkt aber gut fühlen: Sind die Arme in der Balance, dann drehen sie sich scheinbar schwerelos um ihren Aufhängepunkt, an dem sich das ganze Gewicht zu konzentrieren scheint.

Wie unsere Versuche zum „eingeklappten Schwerpunkt“ gezeigt haben, bildet sich beim Mobile ein Gesamtschwerpunkt aus, der durch die Bewegung der Arme mit ihren Einzelschwerpunkten nicht aus dem Gleichgewicht gebracht wird. Um diesen Gesamtschwerpunkt zu bestimmen, muß das Mobile von unten nach oben ausbalanciert werden.

Uns ist weiterhin unklar, ob es überhaupt einen Schwer“punkt“ ohne einen ihn umgebenden Gegenstand geben kann, bzw. ob wir nicht besser von einer Schwere“linie“ ausgehen sollten, die sozusagen senkrecht auf die Erde zu führt und an der entlang sich das Gewicht konzentriert.

### **Hebelarme:**

Wir haben mehrfach versucht, das „Hebelgesetz“ anzuwenden, z.B., um das Gegengewicht bei asymmetrischer Aufhängung zu bestimmen. Dabei sind wir zunächst davon ausgegangen, daß der Lastarm des gesamten Mobiles, der durch die große Gegenkraft ausbalanciert werden muß, bis zur äußersten Spitze der ausgeklappten Konstruktion reicht. Die Versuche zum eingeklappten Schwerpunkt legen jedoch nahe, daß der Lastarm immer nur bis zu dem Aufhängepunkt reicht, an dem die nächste Last bereits in ihrem Schwerpunkt ausbalanciert ist.

Offensichtlich muß bei Berechnungen außerdem berücksichtigt werden, daß die Lastarme keine ideal zu sehenden Striche auf dem Papier sind, sondern selbst Gewicht haben. Dies muß wahrscheinlich in die Berechnung mit einbezogen werden. Dabei ist es schwierig, das Last-Teilgewicht bei einer zusammenhängenden Fläche, die sowohl Last- wie Kraftarm ist, zu bestimmen. Die hierzu geeigneten Rechenverfahren waren uns nicht präsent.

Der Versuch, das Gegengewicht unserer obersten Mobile-Stufe rechnerisch zu bestimmen, ist u.a. auch daran gescheitert, daß wir das Gewicht des Lastarmanteils nicht bestimmen konnten.

Wir haben eine vage Vermutung, daß sich der Zusammenhang von Hebelarm-Länge und anzuhängenden Gewichten durch eine Funktion darstellen lassen müßte, die uns ermöglicht, eine technisch und ästhetisch optimale Verteilung von Aufhängepunkten und Gegengewicht zu finden. Aber wie?

### **Gleichgewichtsarten:**

Daß es verschiedene Arten des Gleichgewichts gibt, wurde uns im Laufe der Arbeit eindrucksvoll klar. Als das Gegengewicht auf dem Teil lag, das es ausbalancieren sollte, war es unmöglich, das Teil in der Balance zu halten, als es darunter befestigt war, sehr leicht. Wir lernten die Form des stabilen Gleichgewichts deshalb sehr zu schätzen. Daß dadurch auch stabile Schräglagen erzeugt werden können, haben wir zwar oft erfahren, aber immer zu vermeiden gesucht.

### **Kräfteparallelogramm:**

Die Suche nach einer zeichnerischen Konstruktion der wirkenden Kräfte und ihrer Zusammenhänge ist nicht erfolgreich gewesen, das Konzept des Kräfteparallelogramms im Gedankennebel verschwunden.

### **Physikalisches Ideal und Mobile-Wirklichkeit:**

Als wir mit unserer Arbeit angefangen haben, glaubten wir, einigermaßen verlässliche Vorstellungen von den oben beschriebenen Konzepten zu haben. Bei der Arbeit verwandelten sie sich jedoch in komplexe Probleme, die uns reale Objekte stellten. Jede Idealisierung gewann Substanz, mußte in der Wirklichkeit wiedergefunden werden, und es waren immer mehrere Faktoren gleichzeitig in Betracht zu ziehen. Trotzdem war es möglich zur Lösung an einem konkreten Problem zu kommen. Das innerliche Fragen und Denken geht weiter.

## Zurück zu Calder

### Barbara:

Seit der Woche in Bredbeck begegnet mir Calder immer wieder. Seine Mobiles, von denen ich bisher nur Abbildungen gesehen habe, kommen mir gar nicht so unmöglich vor. Unsere Experimente und meine winzigen Erkenntnisse daraus haben das Staunen reduziert. – Mein Vater würde mich nicht mehr verblüffen!

### Karin:

Inzwischen habe ich mir einige Abbildungen Calder'scher Mobiles im Internet angesehen und versucht, hinter das Geheimnis der Konstruktion zu kommen. Ich denke seitdem, daß wir es uns bei dem Versuch, solche Mobiles aus der Erinnerung heraus neu zu erfinden, zu schwer gemacht haben. Calder hat eigentlich keine ungewöhnlichen, asymmetrischen Balance-Übungen veranstaltet. Es scheint eher die kunstvolle Gesamtkomposition zu sein, die den Eindruck des Außergewöhnlichen entstehen läßt, denn,

- ☼ wenn Bögen verwendet werden, dann hängen sie mit den Enden nach unten und nicht nach oben oder quer,
- ☼ wenn Flächen verwendet werden, dann nur an den Enden der Drähte als dekoratives Gewicht,
- ☼ wenn die Drahtbögen untereinander aufgehängt werden, dann nicht am Rand, sondern ziemlich in der Mitte.

Der ungewöhnliche Eindruck entsteht meines Erachtens durch folgende Bauprinzipien:

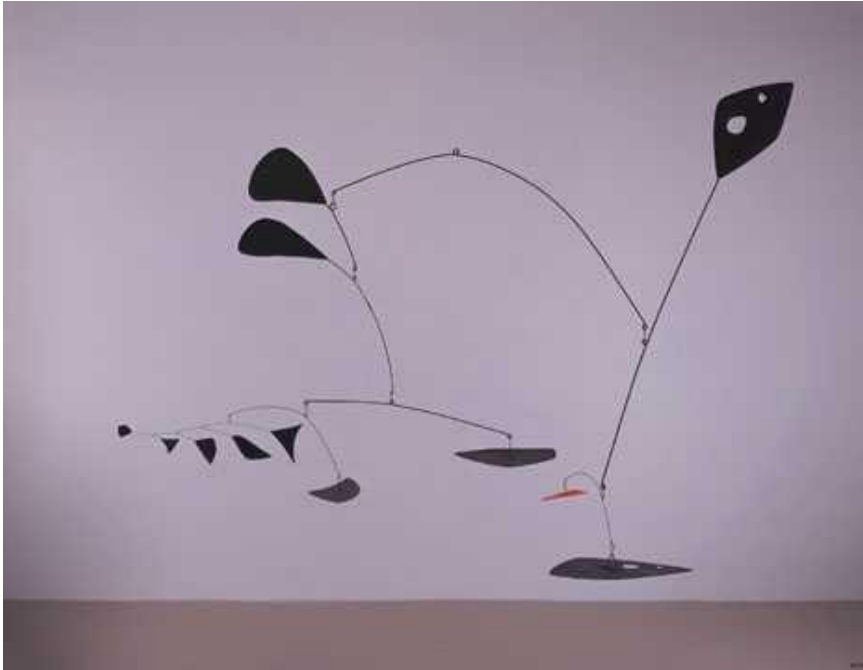
- ☼ Zur Verbindung der einzelnen Mobile-Schichten werden keine Nylon- oder sonstiges Schnüre verwendet, sondern kurze Drahtstücke mit gelenkartigen Verbindungsmöglichkeiten an den Enden. Dadurch scheint ein Draht in den anderen überzugehen.
- ☼ Auf diese Weise hängen die einzelnen Schichten oft sehr dicht untereinander. Stufenartige, weit ausladende Arme werden durch die Aufeinanderfolge vieler Elemente erzeugt.
- ☼ Es werden manchmal sehr lange mit sehr kurzen Drähten in einer Konstruktion kombiniert.
- ☼ Manche Drähte sind von vornherein schief, aber offensichtlich im stabiles Gleichgewicht angebracht, so daß sie eine Bewegung in der Vertikalen suggerieren, obwohl sie in dieser Richtung eigentlich nur leicht schwingen.
- ☼ Die dekorativen Gewichte an den Enden bilden untereinander eigene Kompositionslinien, die sich visuell mit den Drahtlinien überlagern und überdies durch die Bewegung immer wieder neu bilden.

Von dieser Kunst waren wir bei unserer Arbeit weit entfernt. Trotzdem glaube ich, daß wir durch die Fragen, die wir gestellt und die Antworten, die wir gefunden haben, dem Verständnis Calders ein Stück näher gekommen sind.

Alexander Calder hat, wie ich inzwischen nachgelesen habe, den Bau seiner Mobiles immer sehr simpel beschrieben: *„Du bringst an der einen Seite eine Scheibe an, dann an der anderen Seite, und dann balancierst Du alles auf dem Finger aus.“*... *„Ich fange unten mit den kleinsten Teilen an. Dann arbeite ich mich nach oben. Wenn ich den Balancepunkt für das erste Paar von Teilen gefunden habe, verankere ich es mit einem Haken am nächsten*

*Arm, wo es als das eine Ende der Waage fungiert, und so geht es immer weiter nach oben.“  
(Lipman 1981, S. 48, Übersetzung K.E.)*

So haben wir es doch auch gemacht, oder?



**Alexander Calder: Spider**

**Literatur:**

Jean Lipman with Margaret Aspinwall: Alexander Calder and his Magical Mobiles. New York: Hudson Hill Press in association with the Whitney Museum of American Art 1981.

Joan M. Marter: Alexander Calder. Cambridge/New York/Melbourne: Cambridge University Press 1991.

Elementary Science Study: Mobiles. Nashua, NH: Delta Education (Nachdruck).

**Der Artikel ist abgedruckt in:**

Angela Bolland u.a. (Hrsg.): Lernwege zum Thema Balance. Dokumentation der 10. bundesweiten fachtagung der Lernwerkstätten, Bredbeck, 22. – 26.9.1997,

S. 52-61.