

Bertrand Knobell und Peter Vogel

## Zytglogge – das Uhrwerk

Heft 4

Herausgeber:

Hans Christoph Berg, Hans Ulrich Küng

schulverlag blmv AG

PHBern

Institut für Weiterbildung

(vormals Zentralstelle für Lehrerinnen- und  
Lehrerfortbildung des Kantons Bern)

Vertrieb: schulverlag blmv AG, Bern

ISBN-10: 3-292-00358-X

ISBN-13: 978-3-292-00358-4

Art.-Nr. 6.126.00

November 2005

## Ein frühes Zeugnis

«Jetzt will ich schreyben, wie fisierlich es uff aunander gadt unf folgt also: wan es will anfahen schlahen, so sytzt ain guldiger han enbor uff dem dechle, der thutt die fligel auff und zu, sam er flieg, und hangen an den fliglen vil schella. Wan nun der han hat auffheren schella, so stand darneben zwen thurnblaser, die fahen an zu blausen so artlich zusammen, als ob sy leben. Wan sy nun ain weyl geblasen haund, so heren sie auff blasen und halten ain weyl still und sehen sich um, darnach so thond sy die Kepf wider zum busaunen und blasen die backen auff und thrumeten zusammen wie forhin. Wan sy nun haben ausgeblasen, so sitz ain narr oben uff dem dechle, der schhlecht all viertel stund, das erst fiertayl ain straych, das ander fiertayl zwen straych, das dryt fiertayl drey straych, und wan die drumeter ausgeblasen haund fier straych. Wan nun der narr die fier straych hat ausgeschlagen, so ist ain grosser geharnaster man zu aller oberst im thurn bey der stund, und so oft er ain straych thut, so sytzt ain alts mendle daniden under dem hamer und thurnblaser, das thut den mund auff und zu und zelt alle straych, die er thut. Und wan der geharnest man hat ausgeschlagen, so hat das alt mendle ain stund (Sanduhr) in der hand, die fert es um, und gadt also wesentlich uff ainander als ob es als lebendig sey. Und ist das, da dan der han und die drumeter, der narr und das alt mendle ist, das ist ain ercker, der fein firm thurn herausgadt wie ain ercker an aim haus und fein ininander verfast, wie ich dan alle ding fleyssig und ordentlich fir augen gmalet und gstelst hab, sampt der stund und reder darin, auch die zwelff zaichen, die bloneten, die ob der stund staund, als Jupiter, Mars und Fenus ist nur sunst darzu gmalet, und auch die beeren und die zwen geyger ist als nur am thurn gmalet, aber die reder und die zwelff zaychen und Sun und Mon, das sellig gadt um nach irem lauff. Im 1534 jar haun ich zu Bern ain gantz jar gearbayt, da haun ich diesen thurn abgemalet.»<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Hier einer der ersten Beschriebe des Zytglogge aus dem Jahre 1534, fassbar im Wanderbuch des Ulmer Schustergesellen Sebastian Fischer (zit. nach: Kindler 1905: 47-51). Der Autor bereiste als Handwerksbursche die Schweiz und zeichnete überall Merkwürdigkeiten ab. Er fertigte bei seinem Zeitglocken-Besuch auch Skizzen von Turmhelm, Spielerker und von der astronomischen Uhr an, die uns eine Vorstellung des Urzustandes der Ostfassade nach Kaspar Brunners Renovation von 1527-1530 geben (siehe dazu Ueli Bellwald. Ergebnisse der baugeschichtlichen Untersuchungen. Aus «zytglogge. Der Wehrtum, der zum Denkmal wurde. Ein Bericht zum Abschluss der Restaurierung 1981-1983», Bern 1983 [Seite 35])

## Begründung: der Blick hinter die Fassade

Der Zeitglockenturm ist nicht nur seiner Lage wegen ein markanter Punkt im Zentrum der Altstadt, er ist ein Wahrzeichen Berns. Gebaut wurde er um die Wende vom 12. zum 13. Jahrhundert als grosses Befestigungstor, das die Stadt gegen Westen hin abschloss. In der Folge erlebte der Zytglogge eine wechselvolle Geschichte, denn mit der Errichtung der späteren Westgürtel, zuerst bis zum heutigen Käfigturm<sup>2</sup>, dann, 1346, bis zum Christoffelturm auf der Höhe der Heiliggeistkirche, verlor er seinen militärischen Zweck. Fortan übernahmen andere Stadttore die Funktion, äusserster westlicher Wall der Stadtbefestigung zu sein.<sup>3</sup> Der Zytglogge rückte in die Stadtmitte und erhielt eine zentrale Position als Begegnungs- und Orientierungspunkt.<sup>4</sup> Das erklärt, weshalb man ihn trotz des Verlusts seiner militärischen Funktion nicht einfach abriess, sondern ihm wichtige zivile Aufgaben zudachte. Er wurde Hochwacht-Feuerwacht, Gefängnis, Aufenthaltsraum der Turmmusik, Ort der öffentlichen Information und der in der Stadt geltenden Masse.<sup>5</sup> Und eben auch Uhrturm. Von hier aus wurden, während längerer Zeit, alle Uhren im Staate Bern gerichtet. Man hatte, so Markus Marti in einem Interview im NZZ-Format, in den Postkutschen Uhren, die vor jeder Abreise nach dem Zytglogge gerichtet wurden und die Zeit ins Land brachten.<sup>6</sup>

Um den verschiedenen Nutzungsbedürfnissen zu genügen, erfuhr der Zytglogge immer wieder bauliche Erneuerungen, und die exponierte Stelle in der Stadtmitte führte dazu, dass dem Repräsentationsaspekt viel Gewicht gegeben wurde. Das ursprünglich rein funktionale Wehrgebäude wurde zu einem Dekorationsobjekt, ja zu einem eigentlichen Prunkstück der Berner Baugeschichte. Der Turm wurde zum Denkmal. – Mit jeder Renovation nahm der Bau an Eleganz zu, bis er 1770/1771 seine noch heute erhaltene bauliche Form als hochmittelalterlicher Turm in spätbarockem Kleid erhielt. Besonders ausgeschmückt wurde im Verlauf der Jahrhunderte die stadteinwärts zeigende Front, also die gegen Osten ausgerichtete Seite, die noch heute als eigentliche Schauffassade dient.

Seinen Namen erhält der Zytglogge während des Wiederaufbaus der Stadt nach dem verheerenden Brand von 1405.<sup>7</sup> Es kann angenommen werden, dass zu dieser Zeit ein erstes Uhrwerk mit einem Stundenweiser, einem astronomischen Zifferblatt, sowie Sonnen-, Mondlaufangaben und einer Tierkreis-Scheibe eingebaut wurde.<sup>8</sup>

Bekannt ist der Zytglogge wegen seines Uhrspiels. Zu Tausenden strömen die Touristen im Sommer vor die Ostseite des Turms, um sich, immer um die runde Stunde, die Mechanik anzusehen: Oben im Glockenturm ist der bärtige, geharnischte Stundenschläger Hans von Tann zu sehen, der mit einem Hammer auf eine grosse Stundenglocke zu schlagen scheint. Im Zentrum des Spielerkers, rechts in der Fassade, sitzt Chronos, der Gott der Zeit. Er hält in der rechten Hand eine Sanduhr, in der linken ein Zepter. Wenn man während des Glockenschlags genau hinsieht, erkennt man, dass sich seine Lippen bewegen; er zählt also die Stunden. Zu seinen Füssen dreht sich eine Parade mit Bären und Spielleuten ein paarmal im Kreise. Über Chronos sitzt in einem Glockenstübchen ein Narr, der, um den Stundenwechsel zu markieren, wechselweise an zwei Glöckchen zieht. Links von Chronos deutet ein Hahn durch Flügelschläge die Stundenanzahl an. Zum Stundenwechsel lässt er dreimal sein lautes Krächzen ertönen. Mit einem solchen Hahnschrei wird das etwa dreieinhalb Minuten dauernde Figurenspiel jeweils eröffnet und abgeschlossen. Rechts von Chronos steht ein majestätischer Löwe<sup>9</sup>, der durch Kopfbewegungen ebenfalls die Stunden zählt.

2 1260. – Genauerer dazu, siehe Paul Hofer: *Der Zeitglockenturm in Stadtbild und Stadtgeschichte*, in «Zytglogge», *Restaurationsschrift* von 1983, Seite 16.

3 Genauerer zur Stadtgeschichte: Siehe Pfister, Christoph: *Das Ankh von Bern*. [http://www.dillum.ch/html/ankh\\_von\\_bern.htm](http://www.dillum.ch/html/ankh_von_bern.htm) (9.2.05)

4 Noch heute wird der Zytglogge als Scharnierstelle zwischen modern hektischer Ober- und viel beschaulicherer Unterstadt empfunden. Er dient oft als beliebter Treffpunkt für Stadtbummeler.

5 Seit dem 17. Jahrhundert finden sich im Tor-durchgang die im Bernbiet geltenden Masse. 1877 verschwinden diese lokalen Masseinheiten und werden, da Bern das allgemein gültige Dezimalsystem in Kraft setzt, durch zwei Metallstäbe für Meter und Doppelmeter ersetzt (siehe hierzu Hofer 1983: 20).

6 Film «Uhren aus der Schweiz». NZZ Format, ausgestrahlt auf TV DRS 1, am 6.2.05.

7 Markus Marti weist in seinem Beitrag zur *Restaurationsschrift* von 1983 («Das Uhrwerk», S. 56) auf Justingers berühmte Berner Chronik hin, in der von der «alt kebie, do die zitglogge inne hanget» die Rede ist.

8 Marti, Markus. *Das Uhrwerk*, *Restaurationsschrift* 1983, S. 56

9 Wappentier der zähringischen Stadtgründer-Familie

Zu sehen sind an der Ostfront zwei Zifferblätter: Über dem Torbogen jenes einer astronomischen Uhr, eines so genannten Astrolabiums. Es stellt, nach dem Prinzip der stereografischen Projektion, die Bewegungen am Himmel mechanisch nach. Angezeigt werden Wochentag, Monat, Mondphase und Tierkreis. Am äusseren Zifferkranz sind schliesslich, in einer Einteilung von zweimal I bis XII, die vierundzwanzig Stunden des Tages abzulesen. Das zweite Zifferblatt – es ist grösser und befindet sich im oberen Bereich der Fassade – weist eine 12-Stunden-Einteilung auf (I bis XII). Mit seinem schwarzen Grund und den hellen goldenen Ziffern und Zeigern soll dieses Zifferblatt an die Entstehung der Zeit erinnern. Die Zeit, so die Symbolik, bringt Licht ins Dunkle, Ordnung ins Chaos.<sup>10</sup>

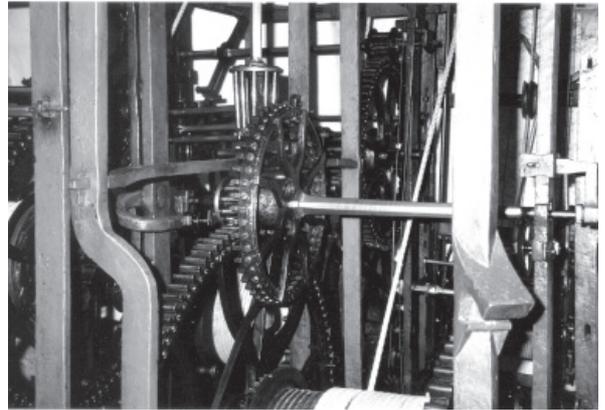
Ferner zieren allerlei allegorische Figuren die Front, welche die Bedeutsamkeit, ja die mythologische Dimension des Turmes als Ort der Zeitmessung unterstreichen.<sup>11</sup>

Die Fassadenattraktionen haben den Berner Zytglogge-Turm weit über die Landesgrenzen hinaus bekannt gemacht; Touristen aus der ganzen Welt besuchen ihn.

Indes; fast interessanter als diese touristischen Aspekte, die im modernen Fremdverkehr-Business schon längstens den Charakter eines schnelllebigen Sightseeing-Folklorismus angenommen haben, ist die Tatsache, dass die Spielmechanik und das Zeigerwerk noch heute von einem fast fünfhundertjährigen Uhrwerk angetrieben werden. Im Innern des Turmes birgt sich nämlich ein wahres Juwel der schweizerischen Technikgeschichte. Die Uhr wurde, nach dreijähriger Entstehungszeit, im Jahre 1530 vom deutschen Schlosser und Büchsenmacher Kaspar Brunner fertiggestellt. Auch wenn sie immer wieder renoviert werden musste, besonders einschneidend in den Jahren 1712 und 1983, hat sich das Uhrwerk Kaspar Brunners bis auf den heutigen Tag erhalten und funktioniert noch einwandfrei.

Das Faszinosum des Uhrwerks liegt in seiner absolut schnörkellosen Funktionalität.

Welch ein Kontrast zur Prunkhaftigkeit der Ostfassade! Diese will repräsentieren. Ihr Prinzip ist die Häufung der Schau-Elemente. Im Gegensatz dazu liegt die Ästhetik des Uhrwerks in der Reduktion seiner Bestandteile auf ein absolutes Minimum: ein schmiedeisernes Metallgehäuse von imposantem Ausmass (2.50 m in der Längsrichtung, 1.70 m in der Tiefe, 2.20 m hoch), mehrere miteinander verbundene, das heisst ineinandergreifende oder nebeneinanderlaufende Zahnräder. Ein auf den ersten Blick unübersichtliches System von Drehstangen, Walzen,



Triebachsen, Hebeln und Rädern, Drähten, Kordeln und Gewichtsteinen bietet sich unserem Auge. Daneben ist das penetrant gleichmässige, metallisch harte Tickgeräusch des Pendels zu hören. Weil es neben der Strebenkonstruktion des Uhrwerks angebracht ist und eine beeindruckende Grösse aufweist, zieht das Pendel die Aufmerksamkeit des Betrachters sofort auf sich. Das regelmässige Hin- und Herschwingen der mörserformähnlichen Kugel ist die einzige Bewegung, die auf den ersten Blick wahrnehmbar ist. Ruhig steht der Apparat da, scheinbar bewegungslos. Bis zum Zeitpunkt, da auf der Rückseite des Hauptrades eine der vielen, die Zahnräder arretierenden Hebelstangen über eine hervortretende Metallnuppe springt, sich dabei aus der Halterung eines Zahnrades löst und das Rad freigibt, so dass sich dieses, von einem Gewichtstein gezogen, zu drehen beginnt.

Wer das zum ersten Mal erlebt, erschrickt. Denn durch die Drehung des so plötzlich deblockierten Zahnrades wird ein geräuschvoller Bewegungsmechanismus ausgelöst, der das ganze Metallgehäuse erfasst: Dem Zug der Gewichtsteine wird eine kurze Zeit nachgegeben. Wie aus dem Nichts fangen verschiedene Zahnräder laut schnarrend und knackend an, sich zu bewegen; Drähte werden hin- und hergezogen, die, wie man erkennen kann, irgend einen weiteren Mechanismus an der Aussenseite des Turmes auslösen müssen. Das Bärenspiel? Die Bewegung anderer Figuren? Den Hahnschrei? Das ist auf Anhieb nicht zu erkennen.

<sup>10</sup> *Uhrsachen*. «Zytglogge-Uhr»  
<http://www.zytglogge-uhr.ch/original.html>

<sup>11</sup> *Genauerer dazu: siehe Bellwald 1983: 21*

Man meint bei genauerem Hinhören ganz oben im Turm einige Glockenschläge zu vernehmen, derweil sich, was wiederum für das Auge sehr auffällig ist, verschiedene Metallpropeller des Uhrwerks zu drehen beginnen. Laut schnurrend tragen sie ihren Teil zum metallischen Geräuschkonzert des entfesselten Apparates bei. Wir erinnern uns daran, wie an der Fassade alle Figurenspiele geordnet, d.h. schön der Reihe nach, ablaufen, und wir können uns kaum vorstellen, dass es sich dabei um die Folgewirkung dieses Wirrwarrs an Drehbewegungen und Geräuschen handeln kann.

Plötzlich fällt der Hebel, dessen Herausspringen den ganzen Mechanismus ausgelöst hatte, wieder in eine Halterung. Mit einem lauten Knackgeräusch stoppt die ganze Drehdynamik, und das so abrupt, wie sie angefangen hatte. Dann scheint, bis auf das immerzu hin- und herschwingende Pendel, alles am Apparat wieder zur Bewegungslosigkeit erstarrt zu sein.

Der Betrachter hat nun wieder die Möglichkeit, die verschiedenen Teile der komplexen Maschinerie in Ruhe zu betrachten. Verschiedene Fragen beginnen ihn zu beschäftigen. Wie und wo werden die einzelnen Bewegungen, die an der Fassade zu sehen sind, ausgelöst und gesteuert? Wie hängt also Äusseres und Inneres zusammen? Gibt es autonom funktionierende Mechanismen, oder ist das Uhrwerk ein einziger Apparat? Wäre es überhaupt möglich, dass das ganze Astrolabium, mit all seinen Angaben zu Datum, Wochentag, Jahreszeit, Tierkreiszeichen, von nur einem Apparat gesteuert wird? Warum sind im Turmschaft so viele verschiedene Gewichtssteine befestigt? Und warum hört die Pendelbewegung im Innern der Uhrkammer nie auf? Haben wir es da mit einem Perpetuum mobile zu tun?

Der Apparat möchte enträtselt, die Art und Weise seines Funktionierens verstanden werden.

Ein Ansatzpunkt bietet sich, wenn wir den Zusammenhang von Innen und Aussen zu ergründen versuchen. Was genau nimmt der Betrachter, wenn er vor der Ostfassade steht, wahr, und welchen Zusammenhang hat das mit dem, was er im Innern, in der Uhrkammer, zu sehen bekommt?

Künstlich künstlerisch gestaltete Schaufassade versus nüchterne Funktionalität des technischen Apparates; barocke Häufung und Verschnörkelung versus maschinell technische Reduktion und Rationalisierung. – Auf diesem Gegensatz von Aussen- und Innensicht basiert die Lehrein-

heit, die hier vorgestellt werden soll. Der für das Lehrstück konstitutive Blickwechsel von der östlichen Prunkseite zum Uhrwerk soll uns ermöglichen, die komplexen Zusammenhänge des Uhrmechanismus zu entdecken.

Dem Uhrwerk also, dem Herzstück des Zytglogge, gilt unsere Aufmerksamkeit. Seit der letzten Renovation des Turmes in den Jahren 1982/83 ist die Uhr, die übrigens noch heute täglich von Hand aufgezogen wird, interessierten Besucherinnen und Besuchern zugänglich gemacht worden und gilt als ein attraktives Angebot der diversen Stadtführungen von Bern Tourismus.

Die Öffnung der Uhrkammer in den frühen 80er-Jahren ermöglichte es uns überhaupt, das Werk Kaspar Brunners zu einem Studienobjekt für den Unterricht zu machen.

Die Erfindung der mechanischen Uhr vor über 700 Jahren ist einer der grossen Schritte in der Technikgeschichte Europas. Dessen Funktionsprinzip hat sich bis auf unsere Tage bewährt, auch wenn die heutige Uhrenindustrie im ständigen Kampf um verbesserte Präzision fast ausschliesslich auf Digitalisierung und Elektronisierung ihrer Produkte setzt.

Noch gibt es in unserer Zeit die mechanische Uhr. Und will man ein solches Objekt, etwa das Zahnradwerk einer alten Pendule, genauer untersuchen, so stösst man dabei auf Gesetzmässigkeiten, wie sie im spätmittelalterlichen Werk Kaspar Brunners fassbar sind.

Der Zytglogge der Stadt Bern bietet uns also die Möglichkeit, das Prinzip der mechanischen Zeitmessung an der Wurzel, in seinen Ursprüngen, zu ergründen, nämlich an einem noch einwandfrei funktionierenden Originalobjekt seiner Entstehungszeit.

Es handelt sich um eine der ersten Grossuhren der Schweiz, und damit um ein eindrückliches Zeugnis der mittelalterlichen Technikgeschichte. Schon zur Zeit seiner Entstehung wurde es als ein eigentliches Wunder angesehen; es erregte Staunen und weckte das wachsende Interesse der Leute.<sup>12</sup>

## Zielsetzung des Lehrstücks: die Funktionsweise der mechanischen Uhr Kaspar Brunners verstehen

Didaktisch ist das Lehrstück so angelegt, dass die Lernenden durch eigenständiges Erforschen die Funktionsweise des Apparates immer besser verstehen sollen. Sie vertiefen und bauen ihr Wissen durch mehrmalige Begegnung mit dem Uhrwerk aus, bis sie in der Lage sind, die mechanischen Abläufe der Uhr anderen Interessierten zu erklären. Das kann nur gelingen, wenn das komplexe Werk gewissermassen im Geiste nachgebaut wird.

Die Schülerinnen und Schüler legen damit den gleichen Weg zurück, den wir, die Autoren des Lehrstücks, haben gehen müssen: das schrittweise Enträtseln der komplizierten Maschinerie. Stundenlang haben wir, uns dem Apparat als Laien der Uhrwerkskunst annähernd, Räder beobachtet, Zähne gezählt, Verhältnisse ausgerechnet. Es ging um genaues Beobachten, um eigenes Folgern und Verstehen. Denn wie konnten wir ein derartiges Phänomen zum Unterrichtsgegenstand machen, ohne es selbst in all seinen Einzelteilen begriffen zu haben? Vor dem Lehren stand also das Lernen.

Langsam liessen sich einzelne Teile der Uhr mit ihren Aufgaben und Funktionen herauslösen. Zusammenhänge wurden sichtbar, bis sich, dies allerdings erst nach mehreren Aufenthalten in der Uhrkammer, der Gesamtmechanismus entschlüsseln liess. Wichtig war dabei, die einzelnen Erkenntnisschritte schriftlich zu dokumentieren. Anhand von Skizzen zerlegten wir das Uhrwerk in seine Einzelteile und setzten es vor dem geistigen Auge wieder zusammen.

So fanden wir heraus, dass es im Metallrahmen verschiedene Apparaturen, in der Uhrmachersprache «Werke» genannt, gibt. Wir sahen auch, dass eines davon eine besondere, ja zentrale Stellung einnehmen musste, weil es die an der Ost- und an der Westfront zu beobachtenden Uhrzeiger antreibt und zudem auch als Auslöser weiterer Bewegungsmechanismen im Innern des Metallgehäuses fungiert. Zentrum dieses Zentralwerks ist wiederum ein grosses, bei jedem Tickgeräusch sich fast unmerklich weiterbewegendes Rad, um dessen Walze das von einem riesigen Gewichtstein gespannte Zugseil ganz langsam, das heisst im Tempo der Radumdrehung, abgewickelt wird.

Nach Berechnung der Zahnradübersetzungen im Uhrwerk erkannten wir im eben beschriebenen grossen Rad das zentrale, das heisst die ganze Apparatur steuernde Stundenrad.

Bis es soweit war, mussten die Zahlverhältnisse der Zähne mit der Umdrehzeit der einzelnen Zahnräder in Beziehung gesetzt werden. Die Erkenntnis, dass sich das Hauptrad in der Stunde einmal um die eigene Achse dreht, war umso erstaunlicher, ja überraschender für uns, als wir beim Beobachten der anderen Räder und beim Messen des Pendelschlages (ca. 3 Sekunden) vorerst keine Masse der uns bekannten Zeiteinteilung wie z.B. 1 Sek. oder 1 Min. wahrnehmen konnten.

Allmählich brachten unsere Beobachtungen etwas Licht ins Dunkel. Es gelang uns, den Weg vom Pendelschlag über alle Zahnräder und Drehstangen des Systems bis zum Zeigerwerk der Uhren und bis zum Astrolabium an der Aussenfassade zu rekonstruieren.

Wir erschlossen auch die Funktion der anderen Werke: des Viertelstunden- und des Stundenschlagwerks, des Hahnschreis und Bärenspiels. Sie sind mit eigenen Gewichtsteinen ausgestattet, hängen aber alle vom Hauptrad (Stundenrad) ab. Das heisst: Sie werden durch daran angebrachte Noppen ausgelöst.

Der erste Schritt unserer Lehrstückarbeit bestand also, zusammengefasst, in einem eigenen Prozess wahrnehmenden Erfragens, ergründender Hypothesenbildung und -überprüfung, einem Prozess auch der dokumentierenden Verschriftlichung. Denn erst, nachdem wir uns dem Uhrwerk gegenüber sicher genug fühlten, d.h. es zu begreifen vermochten, konnten wir an die Unterrichtsplanung denken und uns erste didaktische Gedanken darüber machen, wie ein Lehrstück rund um das Zytglogge-Uhrwerk aussehen könnte. Bei der Konzipierung des Unterrichts, und vor allem bei dessen Durchführung, zehrten wir immer wieder davon, so lange mit dem Gegenstand gerungen und den ganzen Lernprozess selbst gemacht zu haben.

Die Zielsetzung sieht vor, dass die Lernenden, konfrontiert mit dem monumentalen Werk von Kaspar Brunner, die Uhr auf eigenständige Weise untersuchen, ihr Funktionieren verstehen und dieses Verstehen in einem Bericht dokumentieren.

Dabei nimmt das Lehrstück eine bewusste Reduktion vor: Untersuchungsgegenstand ist und bleibt das Uhrwerk in der Uhrenkammer, auch wenn sich vielleicht der spektakulärste Teil des Zytglogge, das Astrolabium, auf den ersten Blick eher als Unterrichtsthema aufdrängen würde.

Die Beschränkung macht indes auch Sinn, und das aus zwei Gründen:

- Das Astrolabium ist in der Literatur mehrmals eingehend beschrieben worden, so etwa von Manfred Schukowski im Magazin der Zeitschrift «Astronomie + Raumfahrt»<sup>13</sup>, oder, und das in hervorragend präziser Weise, von Markus Marti im Orion-Artikel «Wie funktioniert die astronomische Uhr am Zytglogge in Bern?» (Separatdruck aus Orion 200<sup>14</sup>). Eine Untersuchung des Astrolabiums auf eigene Faust wäre deshalb die blosser Rekonstruktion einer schon geleisteten Arbeit. Man würde auf Martis Pfaden wandeln und könnte, was die Dokumentation angeht, dessen ausgezeichnete Beschreibung bestenfalls kopieren. – Ein nicht sehr motivierendes Unterfangen.
- Zudem wäre das eigenständige und direkte Erforschen des Phänomens hier nicht möglich, ist doch das unter dem Zifferblatt des Astrolabiums angebrachte System von Zahnrädern und Achsen dem Beobachtenden nicht direkt zugänglich. Eine Abhilfe könnte hier das in der Uhrenkammer ausgestellte Modell leisten, doch wäre dabei nur ein Lernen «aus zweiter Hand» möglich. Die Lernmethode dieses Lehrstückes besteht aber gerade darin, dass ein Gegenstand auf ganz direkte und eigenständige Weise untersucht wird. Das Astrolabium eignet sich also da weit weniger als das freistehende, der Beobachtung des Lernenden offenstehende Uhrwerk.

Im Anschluss an das Lehrstück über das Uhrwerk wäre eine Auseinandersetzung mit dem Astrolabium allerdings sinnvoll, hat dieses doch einen hohen kulturgeschichtlichen Wert.<sup>15</sup> Jahrhunderte lang hat es die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich gezogen. Die Übertragung der Uhrwerk-bewegung auf die Figuren und auf die vielen Zeitindikatoren an der Fassade galt als eine technische Spitzenleistung. Mit ihr konnte die Stadt ihre Macht demonstrieren. Auch gibt die Apparatur Töne von sich und befriedigte damit das Bedürfnis der Leute nach direkter sinnlicher Wahrnehmung. So konnten etwa auch die Bauern, die sich bei ihren landwirtschaftlichen Tätigkeiten am Stand der Sonne im Tierkreis, aber auch am Mond, orientierten, am Zytglogge mit eigenen Augen ablesen, ob der Mond «obsigehend oder nitsigehend» sei.<sup>16</sup>

Das Astrolabium war also schon immer ein Faszinosum für Menschen verschiedenster Herkunft. Und dies ist es bis heute geblieben.

<sup>13</sup> 36/1999/2

<sup>14</sup> Februar 1984, Seiten 30 bis 35

<sup>15</sup> Weil das Astrolabium des Zytglogge eine so ausserordentliche Bedeutung hat, seien im Anhang unter A8 und A9 / Seite 65ff immerhin ein paar Ideen zur Integration dieses Themas im Unterricht aufgenommen.

<sup>16</sup> Markus Marti im Film «Uhren aus der Schweiz». NZZ Format, ausgestrahlt auf TV DRS 1, am 6.2.05.

## Ein Wort zum Lehrstückbericht

Auch wenn das Phänomen «Uhrwerk» oft im Zentrum des hier vorgelegten Berichtes erscheint, versteht sich dieser nicht als ein weiterer Zytglogge-Beschrieb<sup>17</sup>. Ausgehend von den Zielsetzungen des Lehrstücks<sup>18</sup> versucht der Bericht vielmehr, die Denk- und Erkundungswege, welche Lehrende und Lernende angesichts einer solch eindrücklichen Apparatur einschlagen, möglichst genau und umfassend zu dokumentieren.

Dabei nimmt der Bericht mit seinem immer neuen Umkreisen des Gegenstandes und mit seinen wiederholten Anläufen, diesen, auch sprachlich, in den Griff zu bekommen, das Handlungsmuster des Lehrstücks bewusst auf. Ja, er, der Bericht, «mimt» in einem gewissen Sinne den Prozess seiner eigenen Entstehung: Vom Staunen und Fragen über das hartnäckige Suchen zum allmählichen Begreifen; und vom Begriffen-Haben zur Formung einer didaktischen Einheit, eines Lehrstücks. – Das ist ein langer, nicht immer linearer Weg gewesen, und dieser wird in diesem langen, nicht immer linearen Bericht nachgezeichnet.

Wie die Autoren sehen sich nun also auch die Lesenden immer wieder dem Uhrwerk gegenübergestellt. Auch sie unternehmen immer neue Anläufe, dessen Funktionieren im Geiste nachzuvollziehen. – Das Repetitive, das sich dabei ergibt und das den Lesefluss möglicherweise etwas stört, ist gewollt und hat System: Denn jede Begegnung mit dem Objekt, auch jede schreibende, jede lesende, birgt, wenn der Denkprozess nicht abreisst, die Chance einer neuen Sichtweise, und damit einer neuen, vertieften Begegnung.<sup>19</sup>

Ein Bericht vermag indessen, und sollte er noch so genau gelesen werden, den Gegenstand, von dem er spricht, nicht zu ersetzen. Als bloss gelesener wird er nie ganz verständlich sein. Im erforschenden Lernen ist und bleibt das Auge das zentrale Instrument des Verstehensprozesses. Und dazu bedarf es des direkten Kontaktes mit dem Phänomen.

Unser Bericht ist aus diesem direkten Umgang mit der Uhr heraus entstanden. Seine Absicht kann keine andere sein, uns wieder zu diesem direkten Kontakt hinzuführen. Und hier wird der Bericht, wie wir hoffen, eine kleine Hilfe sein, das grosse Uhrwerk Kaspar Brunners besser zu verstehen.

<sup>17</sup> Gute Beschreibungen gibt es bereits viele. Besonders zu empfehlen sind etwa: Bellwald (1983 und 1984), Kindler (1905), Marti (1983 und 1984), Schukowski (1992). – Im Anhang (siehe A 19, Seite 79ff) wird auch von unserer Seite her der Versuch eines Kürzest-Beschriebs unternommen: In Form eines «Abstracts» wird die Funktionsweise der Uhr auf wenigen Seiten zusammengefasst.

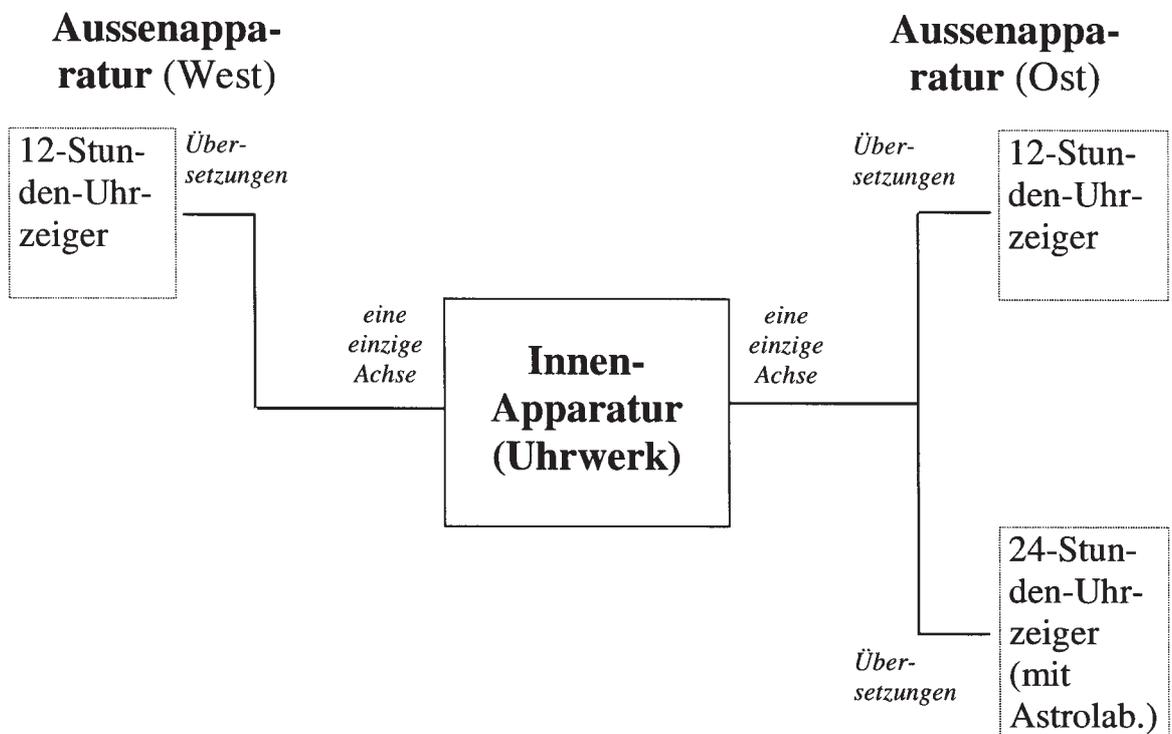
<sup>18</sup> Siehe das vorangehende Kapitel.

<sup>19</sup> Vergleiche das Leitbild des Gymnasiums Muristalden, den Passus: «Das Lesen, auch von Bildern».

# Das Uhrwerk – Versuch einer Beschreibung

## Der Weg von Aussen nach Innen: Haupttrad, Radübersetzungen, Gewichtssteine

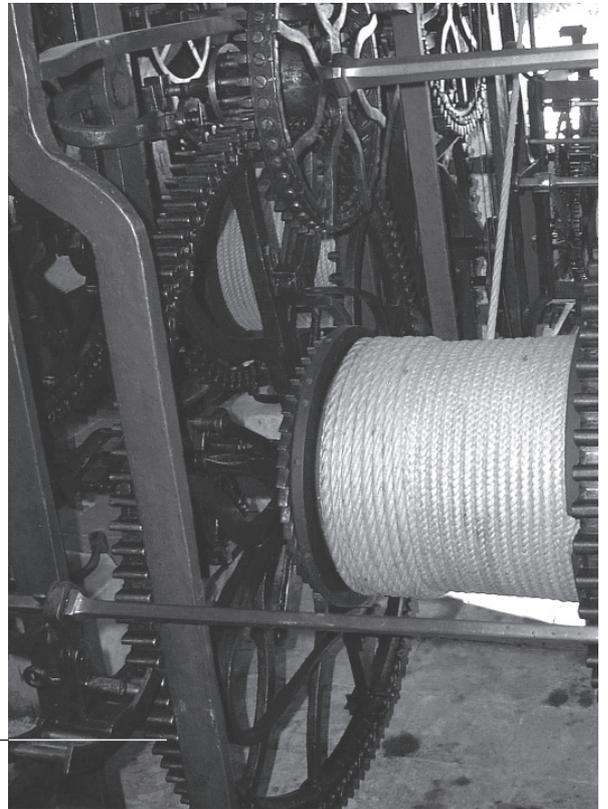
Eine Grundbewegung des Lehrstücks ist der Gang von der Schaufassade in die Uhrenkammer, von Aussen nach Innen. Beachtet man dabei, wie die Aussenapparatur, also die beiden Uhren und das Astrolabium, mit dem Uhrwerk zusammenhängt, erkennt man als erstes, dass Aussenmechanismus und Innenmechanismus durch eine einzige Achse verbunden sind.



Die zentrale Achse vom Uhrwerk weg gegen Osten und Westen fungiert also als Scharnierstelle zwischen der Innenwelt des Werks und der Aussenwelt der Zeigersysteme an den Fassaden. Ihr muss schon aus diesem Grunde eine grosse Bedeutung zukommen. Es handelt sich um die Drehachse des auffälligsten, grössten Rades des ganzen Uhrwerks. Das Rad seinerseits scheint sich bei jedem Knackgeräusch unmerklich vorwärts zu bewegen. Der Eindruck, dass es für den Uhrmechanismus eine wichtige Funktion übernehmen muss, wird durch die Beobachtung bestärkt, dass an ihm eine Zugkordel angebracht ist, die von der Seiltrommel aus in den Turmschacht verläuft und dort durch den grössten aller Gewichtsteine, die im Turm aufgehängt sind, straff gespannt wird.

Das grosse Rad nimmt, als Mitte des Gehäuses, eine zentrale Position ein. Zudem weist es an seiner Vorder- und Hinterseite zahlreiche Noppen auf. Verweilt man etwas länger vor ihm, merkt man, dass die einzelnen Noppen dazu dienen, die Mechanismen anderer Apparate der Uhr, welche ansonsten die meiste Zeit durch immobil sind, auszulösen. Diese anderen Apparate, in der Uhrensprache «Nebenwerke» genannt, werden ihrerseits durch Gewichtssteine angezogen. Sie geraten, nach ihrer Auslösung durch das grosse Rad, in Bewegung. Allerdings nur für kurze Zeit; sofort werden sie wieder in den Zustand absoluter Immobilität zurückgeführt. Da die Auslösung immer um die runde Stunde herum passiert, müssen die Nebenwerke etwas mit dem Schauspiel, das jeweils beim Stundenwechsel an der Ostfassade betrachtet werden kann, zu tun haben.

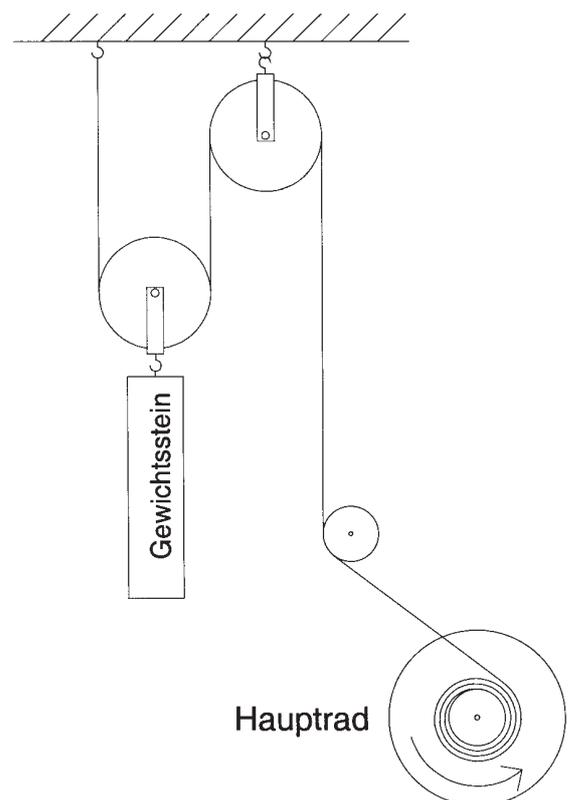
Hauptrad



Wir werden zu einem späteren Zeitpunkt auf die Nebenwerke, die sich alle an der Peripherie des Uhrgehäuses befinden, zurückkommen. – Bleiben wir also vorerst noch beim grossen Rad im Zentrum des Uhrgehäuses, das wir fortan das «Hauptrad» nennen wollen.

Dieses Hauptrad wird, wie wir es gesehen haben, von einem Gewichtsstein angetrieben. Ein Blick in den Turmschacht verrät uns, dass ein Flaschenzug benutzt wird. Das obere Ende der Kordel ist an der Decke angemacht. Mit Hilfe zweier Rollen, von denen die eine den gegen unten ziehenden Gewichtsstein hält während die andere wiederum fix an der Decke angebracht ist, wird das Zugseil verlängert (siehe Skizze). Der Flaschenzug ermöglicht ein weniger mühevolleres Aufziehen des Gewichtssteines. Ausserdem sorgt er für eine grössere Seilreserve im Schacht, so dass die Uhr nicht nach kurzer Zeit bereits wieder aufgezogen werden muss.

Zurück zum Hauptrad. Im Uhrgehäuse ist es mit einem ganzen System von verschiedenen Zahnrädern verbunden, welche, räumlich gesehen, über ihm liegen. Genauer gesagt handelt es sich um vier paarweise ineinander verzahnte Räder, welche zwei Übersetzungen bilden. Die Funktion dieser Übersetzungen ist dem Betrachter vorerst



nicht klar. Die neben- und übereinander montierten Zahnräder drehen sich langsam, aber ganz kontinuierlich und regelmässig, um die eigene Achse.

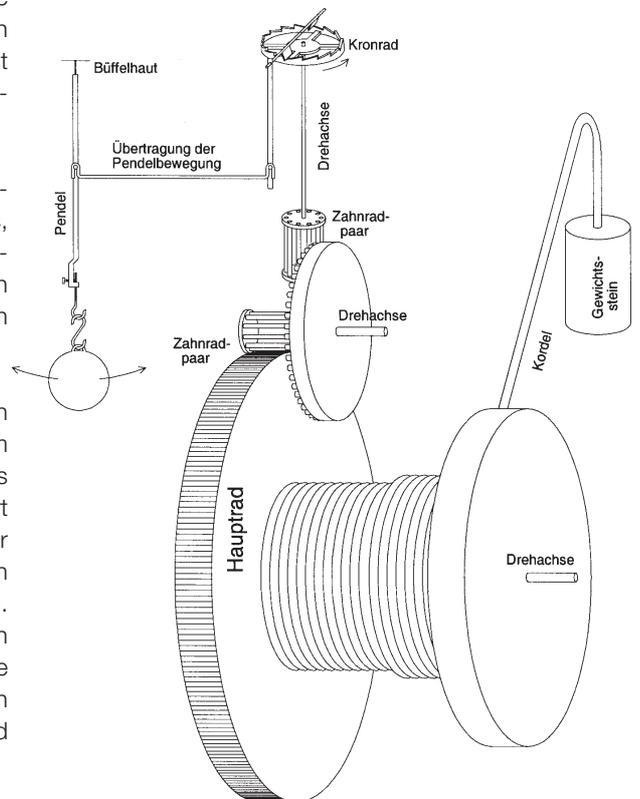
Beim letzten und obersten dieser Zahnräder, einem kranzartigen Kronrad, das waagrecht liegt, entsteht durch die hin- und herwippende Bewegung der Pendelquerstange das penetrant laute Tickgeräusch, das die ganze Zeit durch in der Uhrenkammer zu vernehmen ist. Das Haupttrad ist also direkt, das heisst über das erwähnte Zahnrädernsystem, mit der Pendelvorrichtung verbunden.

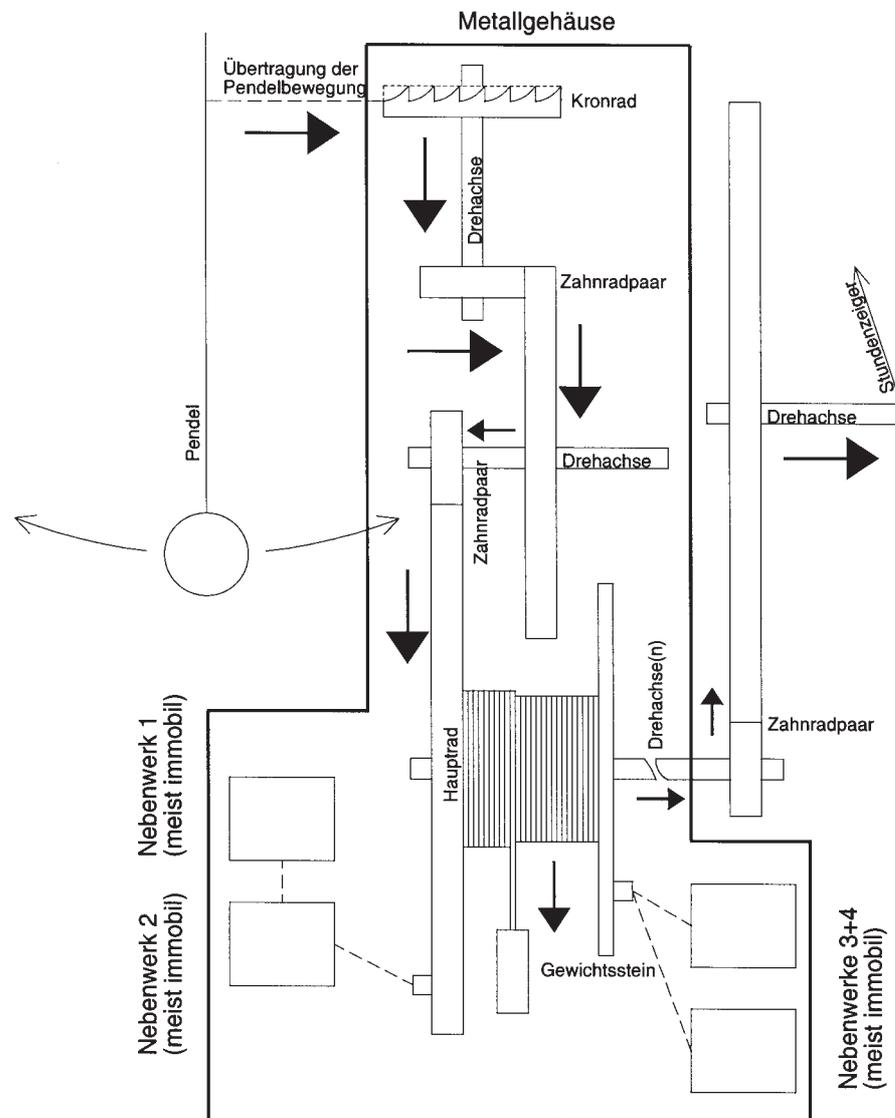
Die Pendeleinrichtung ihrerseits befindet sich im westlichen Teil der Kammer, ausserhalb des Metallgehäuses, in dem das Uhrwerk gelagert ist. Das Pendel ist das Element, dessen andauernde Bewegung sowohl akustisch wie auch optisch am besten wahrgenommen werden kann. Ist es die antreibende Kraft des Ganzen?

Etwas verunsichert den Betrachter. Das Tickgeräusch ertönt nicht, wie wir das gerne annehmen würden, im Sekundentakt, sondern gemäss dem Wippen des Pendels alle  $1\frac{1}{2}$  Sekunden. Das Hin und Her des Pendels dauert 3 Sekunden und löst zwei Tickgeräusche aus. Und wir haben ebenfalls Mühe, uns auf die Umdrehzeit des oberen Kronrades von ca. 51 Sekunden einen Reim zu machen. Warum solche Zeitmasse, die mit den uns bekannten (Sekunden, Minuten) nichts zu tun haben? Wie kommt die Uhr bei soviel scheinbarer Unregelmässigkeit dazu, an den Fassaden ganz regelmässig funktionierende Minuten- und Stundenzeiger zu steuern?

Das Uhrwerk wirft also Fragen auf, auch wenn wir gewisse Aspekte davon bereits verstanden haben und wie folgt zusammenfassen:

Die Uhr besteht aus sich kontinuierlich vorwärtsbewegenden Teilen (Pendel – Zahnradsystem im Uhrgehäuse – Haupttrad – Drehachse – Stunden-, Minutenzeiger an der Ost- und Westfront) und aus meist immobilen, blockierten Teilen (Nebenwerken an der Peripherie des Metallgehäuses).





Die sich kontinuierlich vorwärtsbewegenden Teile sind alle miteinander verhängt und bilden eine Art Bewegungsachse (siehe Pfeile) quer durch die ganze Uhr hindurch. Weil dieser Teil der Uhr in ständiger Vorwärtsbewegung ist, wird er in der Fachsprache auch Gehwerk<sup>1</sup> genannt. Die immobilen Teile erscheinen dagegen eher isoliert und ephemere; sie werden, jedes einzeln, durch Noppen des Haupttrades ausgelöst und drehen sich jeweils nur für eine kurze Zeitdauer.

<sup>1</sup> Das Gehwerk ist die Mechanik, welche die Zeitanzeige regelt. Sie besteht aus dem Antrieb (Gewichtsstein oder, in anderen Uhren, die Antriebsfeder), dem Räderwerk, der Hemmung und dem Zeigerwerk. Das Gehwerk ist in ständiger Bewegung. – Ganz im Gegensatz zu den Nebenwerken, die nicht kontinuierlich «gehen».

## Die Nebenwerke: Hahnschrei, Bärenspiel, Viertelstunden- und Stundenschlagwerk

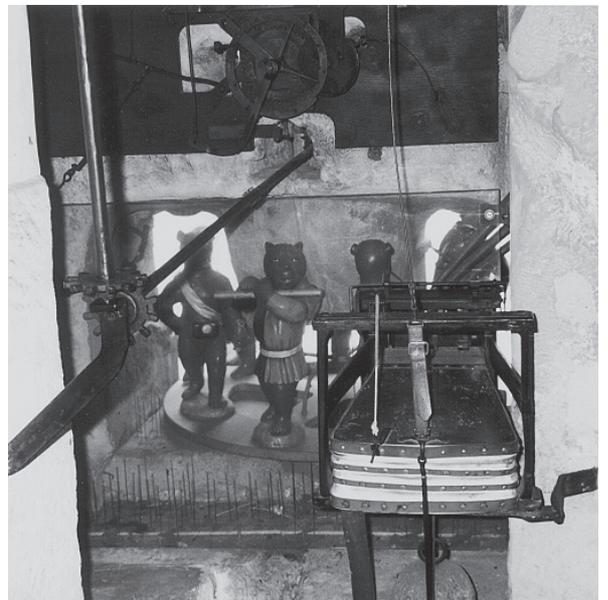
Die Nebenwerke werden immer um den Stundenwechsel herum aktiv. Es liegt also auf der Hand, dass Sie mit den Spielfiguren und den beiden Glockenschlägen, jenen des Viertelstundenschlages und des Stundenschlages, zu tun haben.

Der Betrachter hat denn auch keine grosse Mühe, die einzelnen Werke zu identifizieren.

In der östlichen Hälfte des Uhrgehäuses, unmittelbar vor der Seiltrommel des Hauptrades, befinden sich in einem kleineren Gestellrahmen die *Nebenwerke 3 + 4 des Hahnschreis und der Bärenparade* (Skizze Seite 12).

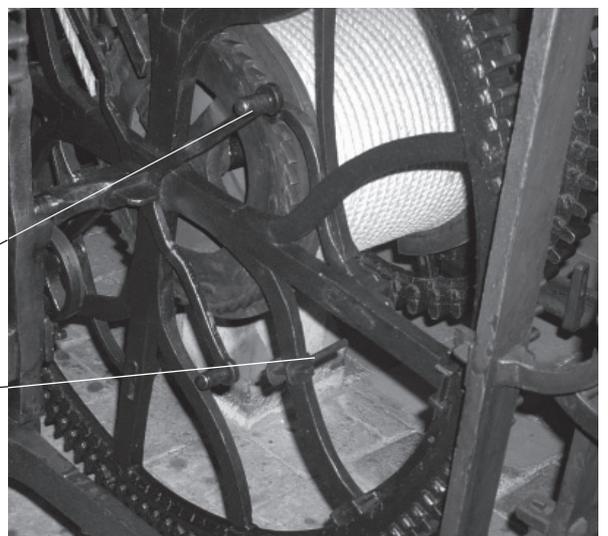
Wie wir uns erinnern, ertönt der Hahnschrei dreimal, und zwar kurz nacheinander. An der Vorderseite des Hauptrades erkennen wir denn auch drei nahe beieinander angebrachte Noppen, die bei der Auslösung eine Rolle spielen müssen (Bild Seite 14). Über diese Noppen läuft eine Stange, die das kleine Werk die meiste Zeit lang immobil hält. Sobald die Arretierstange durch eine Noppe aus der Halterung gehoben wird, setzt sich das Spielwerk, von der Zugkraft eines kleinen Gewichtssteins angetrieben, in Bewegung. Das sich in relativ lautem Schnurren drehende Rad aktiviert ein System von Drähten, die, über den Kopf des Betrachtenden gezogen, einen in der Nordwestecke der Uhrenkammer befindlichen Blasebalg aufziehen und wieder loslassen, so dass die entweichende Luft den Hahnschrei erschallen lässt. Danach klinkt sich die Hemmstange ein, und das Werk steht wieder still.

Ähnlich läuft das daneben liegende Antriebswerk der *Bärenparade*. Da die Bären ihren Tanz zur runden Stunde bloss einmal vollführen, muss eine einzelne Noppe am Hauptrad für die Deblockierung des Spieles genügen. Für den Betrachter ist auch diese Noppe an der Vorderseite des Hauptrades gut sichtbar. Ähnlich wie beim Hahnschrei setzen sich Zugdrähte, die quer unter der Kammerdecke verlaufen, in Bewegung und treiben die waagrechte Drehscheibe des Bärenanzuges an.



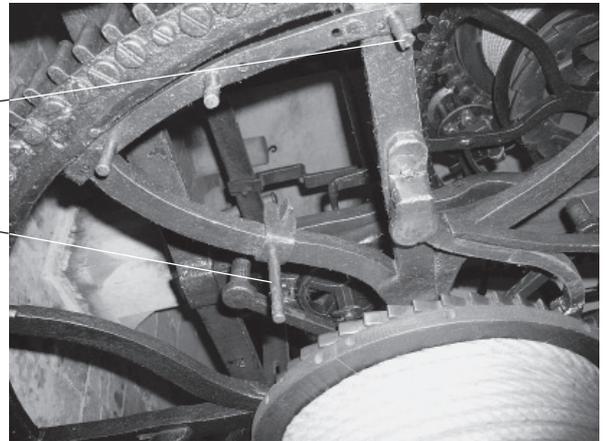
*Einer von vier Noppen, welche das Viertelstundenwerk steuern.*

*Noppe, welche das Bärenspiel auslöst.*



*Einer von drei Noppen, welche jeweils den Hahnenschrei auslösen.*

*Noppe, welche das Bärenspiel auslöst.*



Hinter der Rückseite des Hauptrades, also im südwestlichen Teil des Uhrgehäuses, befinden sich zwei grössere Werke. Das eine wird, ganz ähnlich wie die eben beschriebenen Spielwerke, durch Noppen, welche an der Hinterseite des Hauptrades angebracht sind, ausgelöst. Es sind vier an der Zahl, und da dieses Werk, wie uns ein Blick auf unsere Uhr verrät, alle fünfzehn Minuten in Bewegung gerät, ist es offensichtlich, dass es sich bei ihm um das *Viertelstunden-Schlagwerk* handeln muss. Dabei läuft ein zum Schlagwerk führender Hebel, der so genannte Auslösehebel, über eine der vier Noppen des Hauptrades<sup>3</sup>. Zuerst wird ein kleines Rädchen, Herzrad genannt, deblockiert. Ein Propeller setzt sich ganz kurz in Bewegung und kündigt das baldige Losgehen des ganzen Apparates an.<sup>4</sup> In der Zwischenzeit ist der Auslösehebel von der Noppe weiter angehoben worden. Der Fallhebel<sup>5</sup>, der bisher das Schlussrad des Viertelstundenschlagwerks blockiert hat, wird aus seiner Verankerung ganz hinausgehoben, so dass der entsprechende Gewichtsstein das Schlagwerk für einen Moment, nämlich bis der Fallhebel in die nächste Kerbe fällt, in Bewegung setzt. Während sich das Viertelstundenrad bewegt, gleitet der Fallhebel über die glatte Rundung des Schlussrades<sup>6</sup> bis zur nächsten Verkeilung. Das Schlagwerk wird auf jäh Weise arretiert und ist wieder stillgelegt. Dies allerdings nur für die Dauer einer Viertelstunde, bis die nächste Auslösung des Werkes eingeleitet wird.<sup>7</sup>

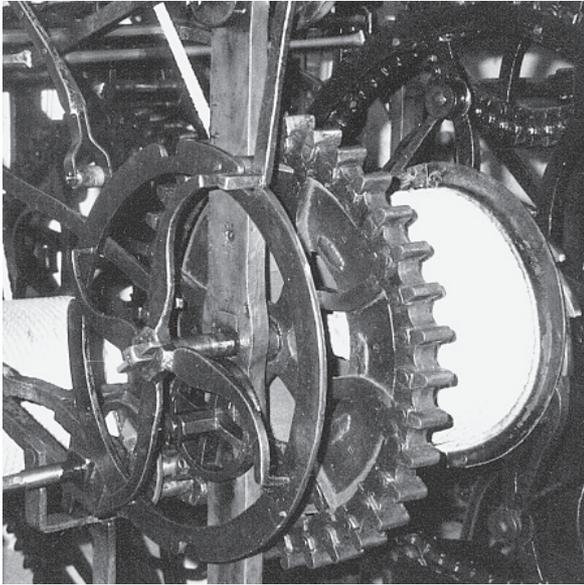
<sup>3</sup> Vier Noppen, welche viermal den Viertelstundenschlag auslösen. – Bereits hier kann im Betrachter die Vermutung aufkommen, dass sich das Hauptrad in einer Stunde einmal um die eigene Achse drehen, dass es also ein Stundenrad sein könnte.

<sup>4</sup> Diese ganz kurze Ankündigung, die sich wie ein kleines Vorspiel ausnimmt, wird in der Fachsprache «Warnung» genannt.

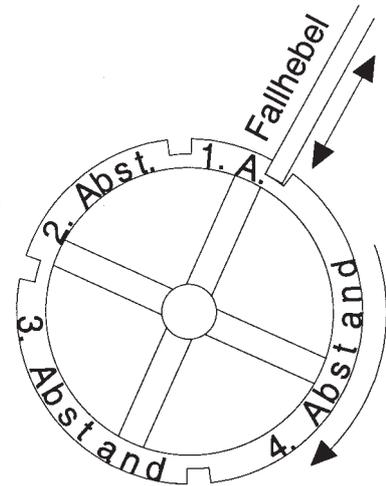
<sup>5</sup> Auch als «Fallvorrichtung» bezeichnet.

<sup>6</sup> Als «Schlussrad» (oder «Schlossrad») wird das hinterste, abschliessende Rad eines Werkes bezeichnet.

<sup>7</sup> Genaueres zur Auslösung des Viertelstundenschlagwerks: Siehe Anhang, Seite 55f (A1)



Schlussrad des Viertelstundenschlagwerks

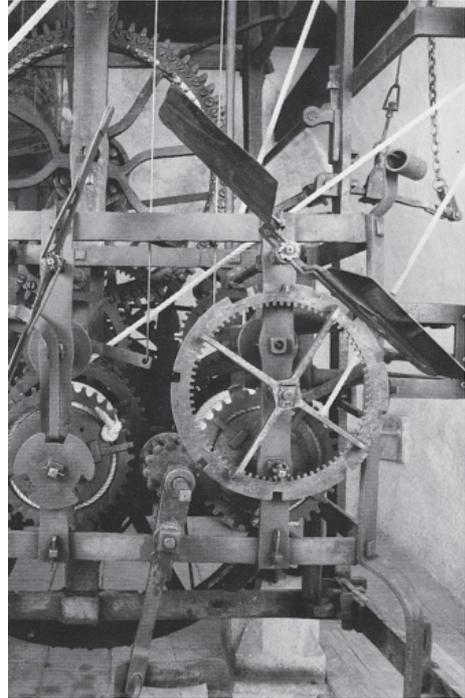
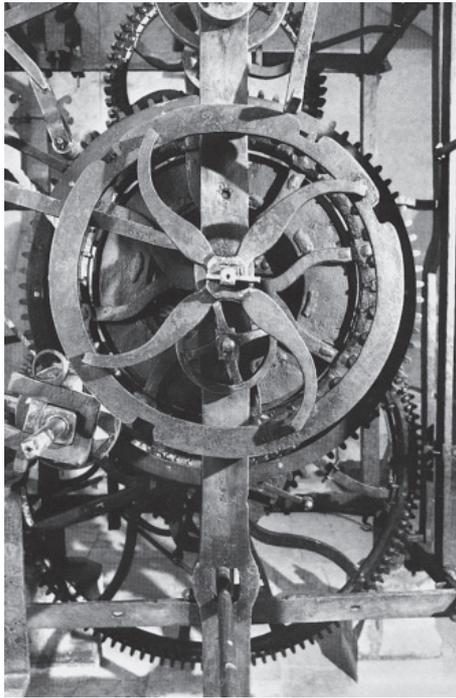


Mit der kurzen Drehbewegung des Werks setzt das Schlagen der Viertelstundenglocke oben im Turm ein. Da die vier Verkeilungsabstände des Schlussrads immer grösser werden, gleitet die Stange mit jedem Mal etwas länger über die Rundung des Rades weg, so dass die Glockenschlagbewegung im Turm immer ein bisschen länger dauert.

So ermöglicht der erste Abstand einen einzelnen Glockenschlag, der zweite zwei, der dritte drei und der vierte schliesslich vier Glockenschläge. Ein System von schnatternden Propellern, welche sich durch die jeweiligen Teildrehungen des Viertelstundenrades in Bewegung setzen und für den relativ grossen Lärmpegel in der Uhrenkammer verantwortlich sind, hat die Funktion, durch Luftwiderstand die Drehbewegung des Rades zu verlangsamen. Der lauten Geräusche des Viertelstundenschlagwerkes wegen hört man in der Uhrenkammer die hoch im Dachgeschoss ausgelösten Glockenschläge kaum.

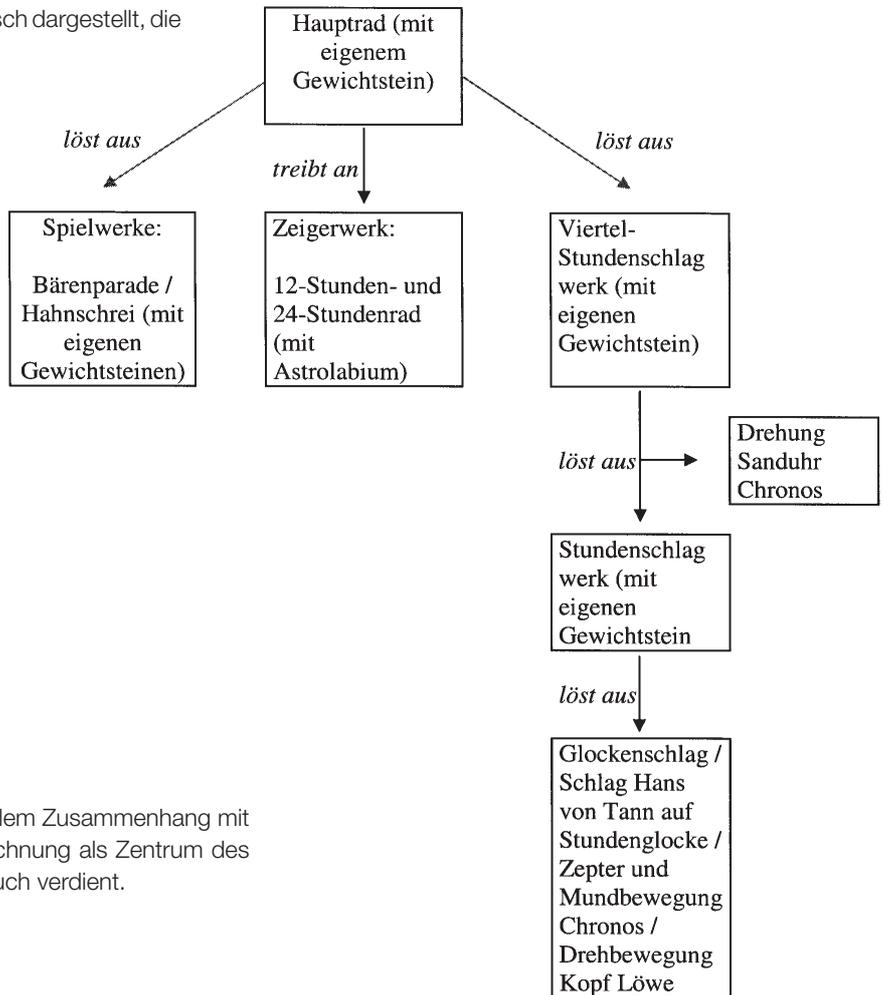
Das Viertelstundenschlagwerk wird also, wie wir gesehen haben, durch das Haupttrad gesteuert. Seinerseits löst es nun die Bewegung eines weiteren Apparates aus, jene des neben ihm liegenden, d.h. im nordwestlichen Teil des Metallgehäuses befindlichen *Stundenschlagwerks*. Hierfür ist das Viertelstundesschlagwerk mit einer grossen Noppe ausgerüstet, die für die stündliche Steuerung des Stundenschlages verantwortlich ist. Die Deblockierung passiert analog zu jener des Viertelstundenschlagwerks.<sup>8</sup> Wenn sich das Stundenschlagwerk dreht, wird am Nordteil des Uhrwerks ein Hebel bewegt, der seinen Impuls via Metalldrähte in das Glockengehäuse des Turmes leitet und dadurch das Schlagen der Stundenglocke verursacht. Synchron dazu werden die kleinen Bewegungen des Stundenschlägers Hans von Tann ausgelöst. Hoch oben im Glockengehäuse scheint er mit einem Metallhammer die Glocke zu schlagen.

<sup>8</sup> Genauere Erklärungen zum Stundenschlagwerk: Siehe ebenfalls Anhang, Seite 56ff (A1)



Viertelstundenschlagwerk    Stundenschlagwerk

Wir erkennen also bis dahin, grafisch dargestellt, die folgenden Teile der Uhr:



Alle Teile stehen also in funktionalem Zusammenhang mit dem Haupttrad, das diese Bezeichnung als Zentrum des gesamten Mechanismus denn auch verdient.

## Das Pendel

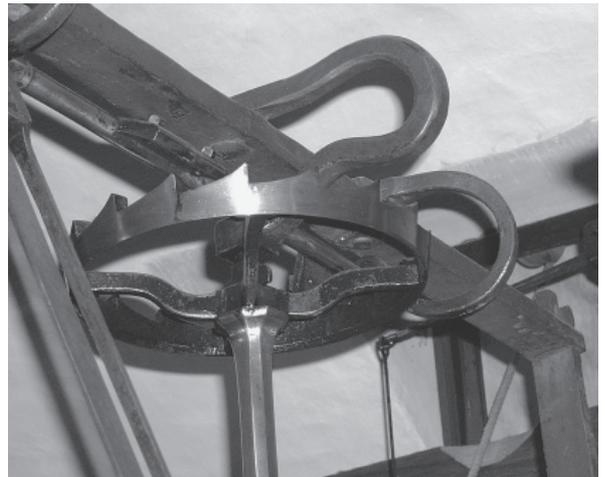
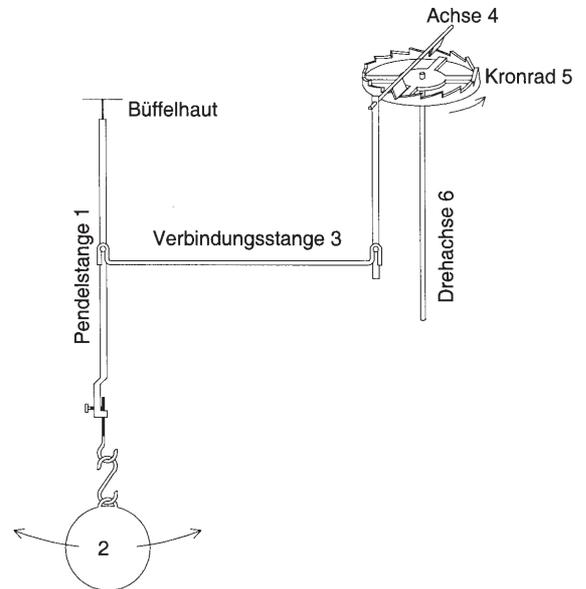
Ein wichtiger Bestandteil des Uhrwerks wurde bisher nur kurz erwähnt und nicht näher beschrieben: die im Westen der Uhrkammer liegende Pendelvorrichtung.

Eine als Pendellinse dienende etwa 40 cm dicke Kugel (2) ist an einer 2 m langen Pendelstange (1) befestigt, deren Hin- und Herbewegung durch ein bewegliches «Scharnier» aus Büffelhaut ermöglicht wird. In der Mitte des Pendels ist eine horizontal liegende Verbindungsstange (3) angebracht, welche vom hin- und herwippenden Pendel ganz regelmässig mitbewegt wird und den Rhythmus auf eine drehbar gelagerte Stange (4) überträgt. Die Drehachse dieser Stange (4) besitzt zwei kleine Metallflügel, welche seitlich versetzt sind und, zusammen mit dem sägeförmigen Zahnrad (5), das Tickgeräusch verursachen. Die zwei Flügel hemmen also das Zahnrad (5) an der Drehung, indem sie es an zwei gegenüberliegenden Stellen abwechselnd halten und loslassen.<sup>9</sup> Dies wird durch die sägeförmigen Zähne des Rades ermöglicht, das deshalb in der Fachliteratur «Kronrad» genannt wird.<sup>10</sup>

Das Pendel ist, so wird uns langsam klar, nicht etwa, wie ein Laie am Anfang vielleicht anzunehmen geneigt ist, die antreibende, sondern ganz im Gegenteil die hemmende Kraft des Systems: Es garantiert durch das absolut regelmässige Hin und Her und die stossweise, nur langsam nachgebende Hemmung die Präzision der Uhr, indem es die kontinuierliche Vorwärtsbewegung des Systems von Räderübersetzungen über das Haupttrad bis hin zum Zeigerwerk reguliert.

Gäbe es kein Pendel, würde sich der Gewichtsstein des Gehwerks beschleunigen, denn seine einzige Bremsung bestände im Antreiben der zahlreichen ineinandergreifenden Zahnräder. Das Gehwerk und die damit verbundenen Räder und Achsen würden also, bloss durch etwas Reibung gehemmt, in eine immer schnellere Bewegung versetzt, bis das gesamte Gewichtsseil der Gehwerk-Walze abgespult wäre oder der Gewichtsstein am Boden aufschlagen würde.

Demnach übernimmt das Pendel die Aufgabe einer Bremsung und Stabilisierung der Haupttradbewegung. Es ist in gewissem Sinn der «Herzschrittmacher» und wird fachmännisch die «Hemmvorrichtung»<sup>11</sup> genannt.<sup>12</sup>



<sup>11</sup> Die Art und Weise, wie in der Uhrmachersprache der Begriff «Hemmung» gebraucht wird, hat uns verwirrt. Die Hemmung (échappement), so heisst es etwa im «Lexikon Uhren», [www.pos-displays.ch/Glossar6.html](http://www.pos-displays.ch/Glossar6.html) (9.2.2005), sorgt in einer mechanischen Uhr für die Kraftübertragung vom Räderwerk auf das Schwingensystem (Pendel oder Unruh). Die Aufgabe einer Hemmung besteht einerseits darin, den schnellen Ablauf eines Räderwerks zu verhindern, also zu hemmen, andererseits die Drehbewegung des Räderwerks in eine Hin-und-Her-Bewegung, wie diese von einem Pendel gegeben ist, umzuwandeln. Die Hemmung hätte nach dieser Definition nicht nur die Funktion einer mechanischen Bremsung und Regulierung des Gehwerks, sondern sie wäre auch der Mechanismus, der die Kraft vom Gewichtsstein über das Räderwerk auf das Schwingensystem (Unruh = Gangregler = Pendel) überträgt. Das Pendel braucht ja dauernd neue Kraft, damit es immer gleich weit ausschwingt, sonst würde es mit der Zeit stillstehen. (Siehe hierzu unsere Ausführungen im Anhang unter A2, Seite 59.)

<sup>12</sup> Das Pendel ist zu einem späteren Zeitpunkt eingebaut worden. Man kannte zur Zeit Kaspar Brunners die Pendelgesetze noch nicht und verwendete für die Uhren andere Hemmungssysteme (Balken, Foliot). – Siehe hierzu im Anhang die Bemerkung A3, Seite 60 f.

<sup>9</sup> Weitere Erklärungen zum Pendel: siehe Anhang A2 und A3, Seiten 59f.

<sup>10</sup> Verg. z.B. Kindler, 1905, S. 103 oder Fraser, 1991, S. 78.

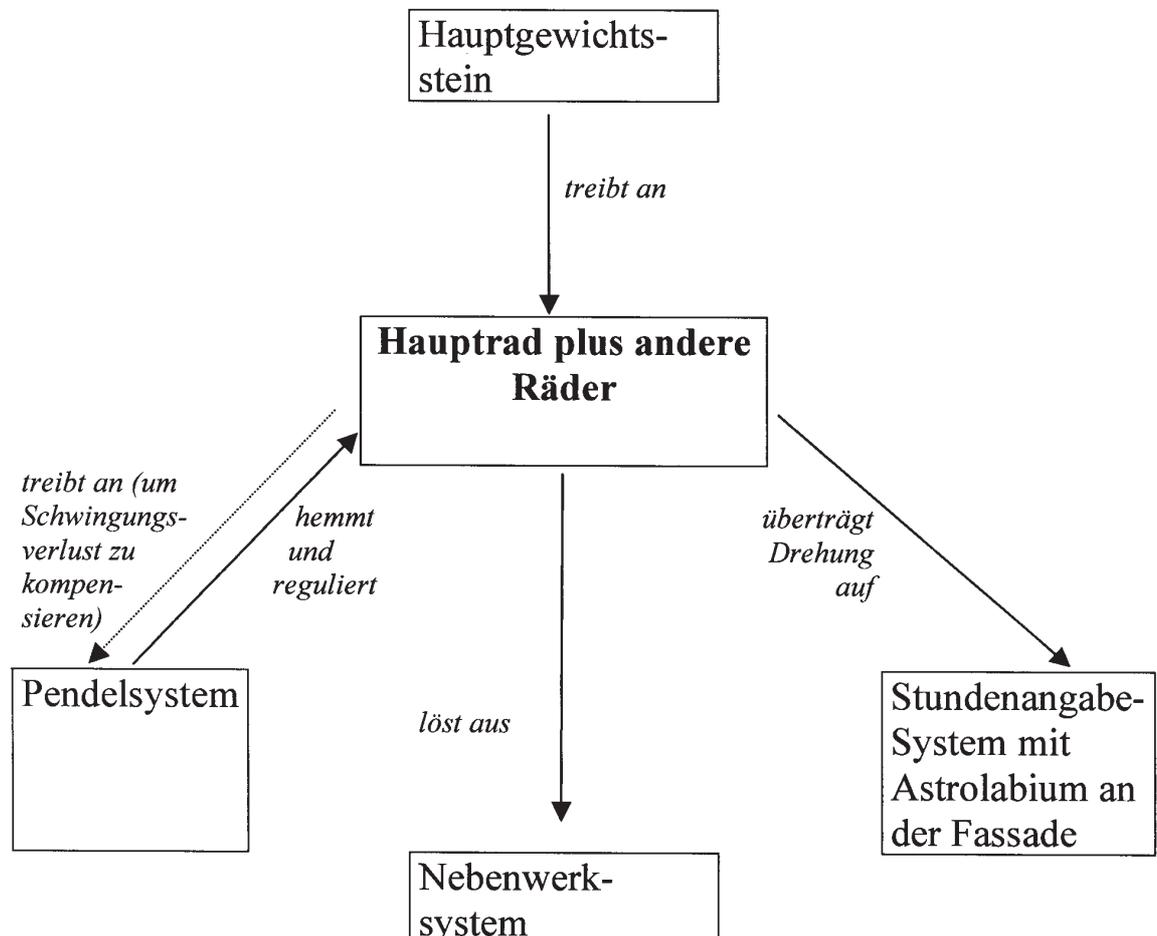
## Zusammenfassung: die vier Hauptteile des Uhrwerks im Überblick

Das Uhrwerk des Zytglogge besteht, wie wir nun zusammenfassend festhalten können, aus vier in ihrer Funktion klar unterscheidbaren Teilen, die sich im Herz des Gesamtapparates, im Haupttrad, kreuzen:

- die energispendende *Gewichtstein-Vorrichtung* als eigentlicher Motor des Uhrwerks: Ein grosser Gewichtstein im Turmschacht, der über ein Seilsystem mit Flaschenzug aufgezo-gen werden kann, spannt die Kordel zur Walze des Hauptrades und treibt dieses an. Das Hauptrad treibt seinerseits die über ihm befindlichen Zahnräder und Achsen bis zum oben gelegenen Kronrad an. - Die vier weiteren Gewichtsteine, die im Schacht sichtbar sind, setzen die anderen Werke (siehe unten: Nebenwerk-system) in Bewegung.
- das sich über diverse Radzahl-Übersetzungen hinzie-hende *Zeitangabe-System*<sup>13</sup> (die Partie vom Hauptrad aus bis zu den Minuten- und Stundenweisern)
- die regulierende Hemmungsvorrichtung des *Pendelsystems* (dieses hemmt ein unkontrolliertes Abspulen der durch den Gewichtstein angetriebenen Apparatur)
- das vom Hauptrad ausgelöste *Nebenwerk-system*: Viertelstundenrad, Hahnschrei, Bärenspiel (indirekt auch das Stundenrad, die Sanduhr-Umdrehung des Chronos und die Bewegung des Glockenschlägers Hans von Tann).

13 Das so genannte «Zeigerwerk».

Eine grafische Darstellungsart zeigt die zentrale Position des Hauptrades als eigentliche Scharnierstelle der ganzen Apparatur:



## Das Hauptrad als Stundenrad: Übersetzungssystem der einzelnen Zahnräder

Die Grafik auf Seite 18 macht ersichtlich, dass das Uhrwerk, vom Stundenweiser an der Fassade bis hin zum Pendel, und auch ausgreifend auf die Nebenwerke, ein Ganzes, eine einzige zusammenhängende Apparatur, bildet.

Eine der Fragen, die wir uns anlässlich der Besichtigung der Ostfassade gestellt haben, ob wir es mit verschiedenen unabhängigen Uhren oder mit einem einzigen Mechanismus zu tun haben, ist also beantwortet. Trotzdem gibt uns das Uhrwerk noch immer etliche Rätsel auf.

So wissen wir z.B. nicht, in welcher Zeit sich das Hauptrad dreht, und wir verstehen noch immer nicht, welcher Zusammenhang zwischen der Pendelzeit von drei Sekunden und der Umdrehzeit der Uhrzeiger an den Fassaden besteht.

Noch einmal soll die Denkbewegung von Aussen, vom Anblick der Ostfassade, nach Innen, zur Uhrmechanik, vollzogen werden. Diesmal allerdings lückenlos und systematisch:

Was wir, von unserer Beobachtung vor dem Turm sicher wissen, ist die Zeit, welche die Achsen der Uhrzeiger für eine ganze Umdrehung benötigen: 12 Stunden die obere, 24 Stunden die untere Achse.

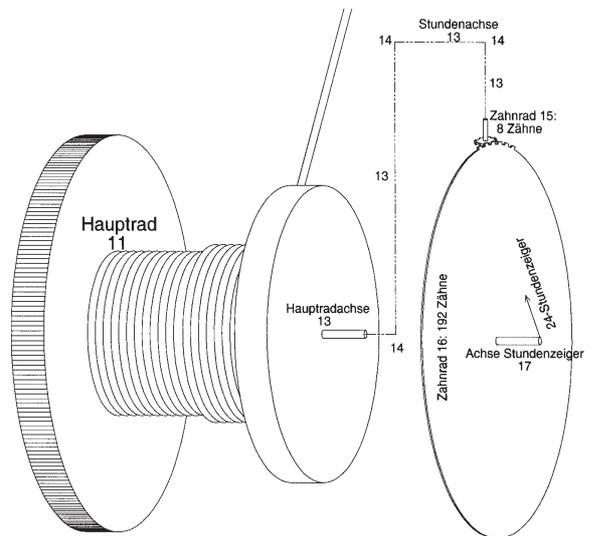
Wenn wir nun die Zähne sämtlicher Räder in der Uhrkammer abzählen und diese zueinander in Beziehung setzen, können wir die genaue Umdrehzeit jedes dieser Räder, und damit auch jene des Hauptrades, eruieren.

Die Umdrehzeit des unteren Stundenzeigers der Fassade dauert 24 Stunden. Die Achse des Zeigers (17) ist, wie wir unmittelbar an der Innenseite der Turmmauer feststellen können, zugleich die Achse eines grossen Zahnrads mit 192 Zähnen (16), das sich also in 24 Stunden auch einmal umdrehen muss. Dieses 192-er-Rad (16) ist mit einem kleineren, im rechten Winkel dazu stehenden Zahnrad mit 8 Zähnen (15) verbunden. Da dieses Zahnrad weniger Zähne hat, dreht es sich schneller, und zwar im Verhältnis der Anzahl Zähne der beiden Räder. Konkret gesagt heisst das:

In 24 Stunden, der Umdrehzeit des grossen Rades (16), hat sich das kleine Zahnrad (15) um die Anzahl Zähne des grösseren Zahnrades (16) weitergedreht, also um 192.<sup>14</sup> Da es nur 8 Zähne besitzt, dreht es sich in den 24 Stunden  $192/8 = 24$  X, also einmal in der Stunde um die eigene Achse.

Wir gewinnen hier zwei wichtige Erkenntnisse:

- Erstens eine methodisch-grundsätzliche, nämlich dass es uns weiterbringt, wenn wir die Zähne der Räder abzählen und sie jeweils in ein Verhältnis zueinander setzen: 24 Umdrehungen an einem Tag. Endlich macht



die Umdrehzeit eines Rädchens (15) für uns Sinn!

- Zweitens: Mit der Umdrehzeit des 8-er-Zahnrad (15) von einer Stunde haben wir im innern des Turmes eine Zeitangabe, mit der wir verlässlich weiterrechnen können.

Gehen wir nun, um weitere Teile der Uhr zu erforschen, der Stunden-Achse des 8-er-Rades (13) nach:

Diese wird, durch eine dreifache 90°-Brechung mit lauter 30-er-Zahnradern (14) über eine Vertikale in eine hoch im Raum verlaufende Horizontale, davon ausgehend von einer Vertikalen wiederum in die tieferliegende Horizontale der Hauptradachse (13) gedreht.<sup>15</sup> Da sich die Achse (13) trotz dieser Dreifach-Brechung nach wie vor gleich rasch, weil unübersetzt, dreht, d.h. in der Stunde einmal, können die drei 30-er-Zahnradpaare (14) bei den weiteren Berechnungen vernachlässigt werden.

Damit bestätigt sich eine frühere Vermutung:<sup>16</sup> Die Umdrehzeit des Hauptrades beträgt eine Stunde. Dieses ist also ein Stundenrad, und wir werden es fortan auch so nennen.

<sup>14</sup> Je mehr Zähne ein grösseres Zahnrad hat, desto schneller dreht sich das Zahnrad mit weniger Zähnen. Genauer gesagt: Nach der Umdrehung eines grösseren Zahnrades haben sich die Zahnräder um dessen Zähnezahl weitergedreht, was eine Beschleunigung des kleineren Zahnrads im Verhältnis seiner Zähnezahl zur Folge hat. Genauer dazu siehe Anhang A4, Seite 61, und vor allem Anhang A11, Seite 70f.

<sup>15</sup> Die Gründe für diese dreifache 90°-Brechung müssen, da ja keine Zahnradübersetzungen vorhanden sind, rein räumlicher Natur sein: Die Achse verläuft dadurch in der Höhe und lässt den Zugang zum Gehwerk und dessen Aufziehmechanismus zu.

<sup>16</sup> Siehe Fussnote 3 auf Seite 14!

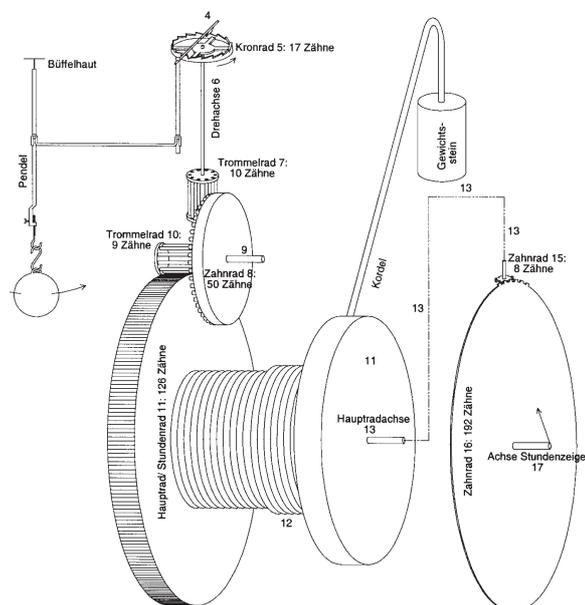
## Vom Stundenrad zum Pendel: die Übersetzungsverhältnisse der Zahnräder im Innern der Uhr

Um nun die Zahlen- und Zeitverhältnisse des gesamten Uhrwerks zu analysieren, ist einerseits ein systematisches Abzählen der Zähne aller Räder, andererseits ein Überblick der durch das Ineinandergreifen der einzelnen Zahnräder bewirkten Übersetzungen nötig.

Vom zentralen Stundenrad/Haupttrad (11) aus gesehen, gibt es zwei Übersetzungssysteme:

- A) Eines weist nach vorne: von der Stundenumdrehung des Haupttrades zur 24-Stunden- (unterer Uhrzeiger) bzw. zur 12-Stunden-Umdrehung (oberer Uhrzeiger) der aussen sichtbaren Uhren. – Wir haben es oben bereits analysiert.<sup>17</sup>
- B) Das andere Übersetzungssystem weist nach hinten: von der Stundenumdrehung des Haupttrades zurück zur Hemmvorrichtung des Pendels.

Verfolgen wir nun System B, also den Weg vom Haupttrad/ Stundenrad (11) zurück zum Pendel, so fallen die verschiedenen Übersetzungen auf:



Das Haupttrad/Stundenrad (11) hat 126 Zähne. Es ist verzahnt mit einem kleinen Trommelrad mit 9 Zähnen (10), welches fix auf einer horizontalen Drehachse (9) mit einem weiteren, 50 Zähne zählenden Rad (8) montiert ist.

Dieses Zahnrad (8) ist seinerseits wieder verzahnt mit einem Trommelrad (7), welches 10 Zähne enthält und fix auf einer vertikalen Drehachse (6) mit einem sägeförmigen Rad (Kronrad 5) verbunden ist. Dieses Kronrad (5) weist 17 Zähne auf.

Wir haben also bisher folgende Übersetzungen: Zahnrad 11 (126 Zähne) – Trommelrad 10 (9 Zähne) – Zahnrad 8 (50 Zähne) – Trommelrad 7 (10 Zähne) – Kronrad 5 (17 Zähne) =  $126 - 9 - 50 - 10 - 17$ .

Da die Pendelbewegung, wie bereits beschrieben<sup>18</sup>, durch ein kompliziertes System von Stangen und Metallflügeln direkt auf das Kronrad (5) geleitet wird, können wir nun die Dauer der einzelnen Pendelbewegungen genau ausrechnen.

Wir wissen, dass die Umdrehungszeit des Stundenrades (11) eine Stunde, das heisst 60 Minuten bzw. 3600 Sekunden, beträgt.

Umdrehungszeit Zahnrad 10:

Dieses hat nur 9 Zähne; es dreht sich also um das Verhältnis  $126 / 9 (= 14X)$  schneller als das Stundenrad 11.

Genauer gesagt: Umdrehungszeit von Zahnrad 11  $\times 9 / 126 = 3600 \text{ Sek.} \times 9 / 126 = 257.1 \text{ Sekunden}$ . Oder, einfacher ausgedrückt:  $3600 / 14 = 257.1 \text{ Sekunden}$ .

Umdrehungszeit Zahnrad 8:

Dieses ist durch die Drehachse 9 fest mit Trommelrad 10 verbunden, d.h. es weist die gleiche Umdrehungszeit auf: 257.1 Sekunden.

Umdrehungszeit Trommelrad 7:

Dieses hat nur 10 Zähne; es dreht sich also um das Verhältnis  $50 / 10 (= 5X)$  schneller als das Zahnrad 8.

Genauer gesagt: Umdrehungszeit von Zahnrad 8  $\times 10 / 50 = 3600 \text{ Sek.} \times 9 \times 10 / (126 \times 50) = 324000 / 6300 = 51.43 \text{ Sekunden}$ .

Oder, einfacher:  $257.1 / 5 = 51.43 \text{ Sekunden}$ .

Umdrehungszeit Zahnrad 5:

Dieses ist durch eine Drehachse (6) fest mit Zahnrad 7 verbunden, d.h. es weist die gleiche Umdrehungszeit auf: 51.43 Sekunden.

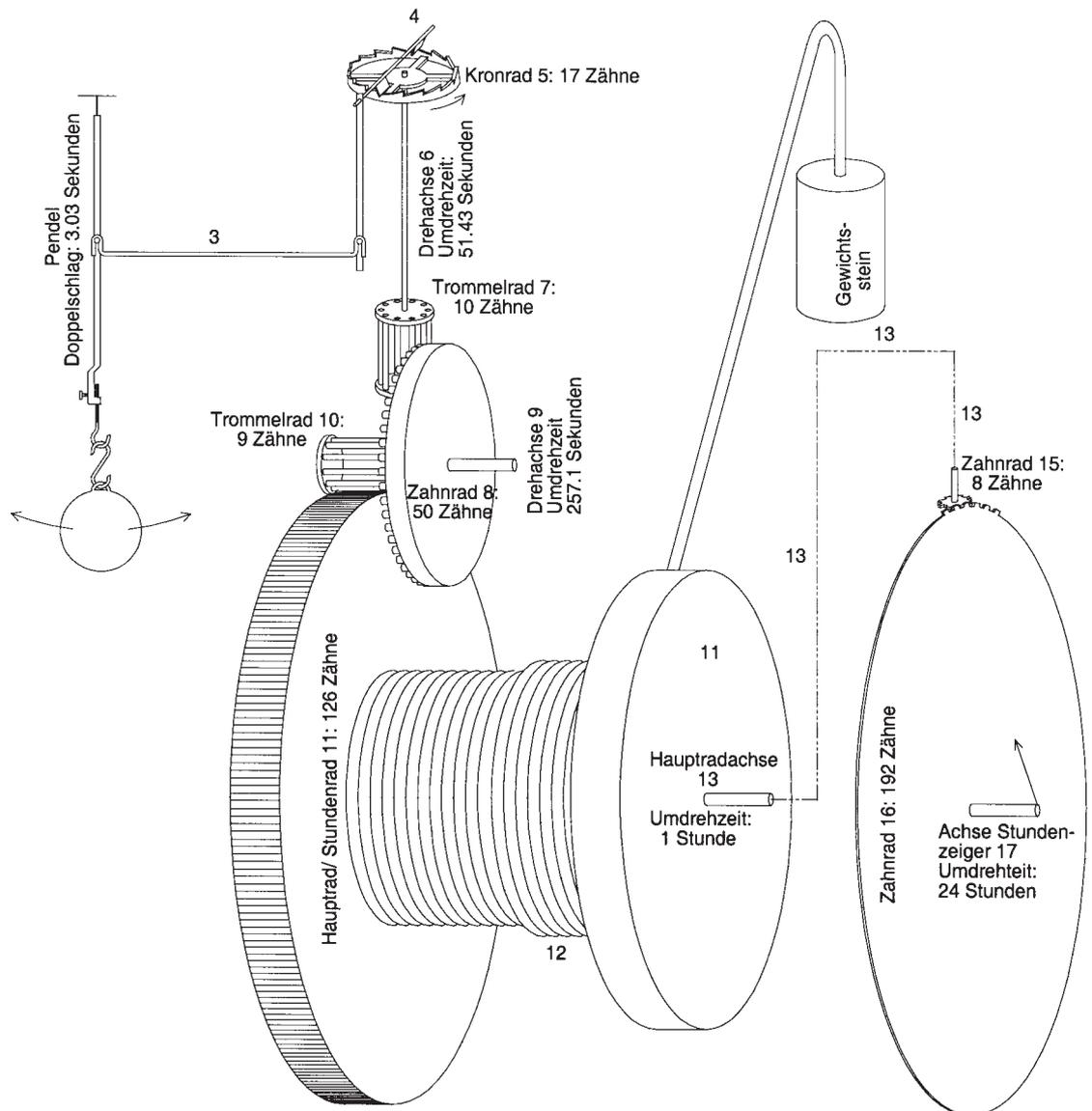
Da sich das Zahnrad 5 (Kronrad) bei jeder Pendelbewegung um einen Zahn (4) weiterdreht, gilt für die Zeit die Pendelbewegung: Umdrehungszeit Zahnrad 1 / 17.

Also:  $51.43 / 17 = 3.0252 = 3.03 \text{ Sekunden}$ .

<sup>17</sup> Weiterführende Gedanken siehe Anhang: A5, A6, Seiten 62f.

<sup>18</sup> Siehe Seite 17

Grafisch dargestellt:



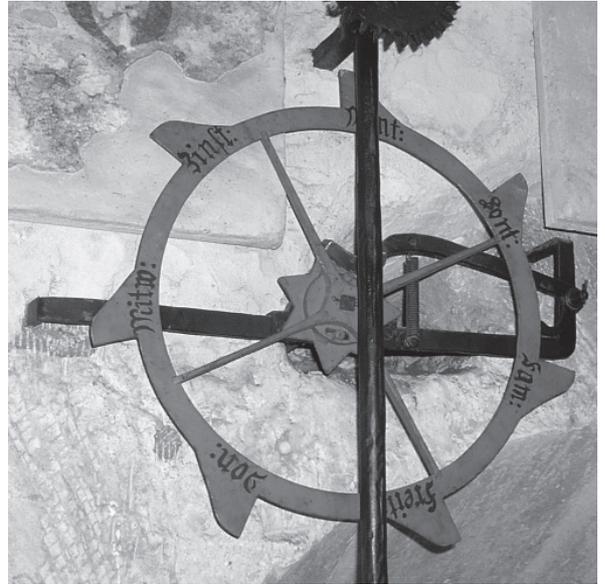
Damit haben wir die Handlungsachse quer durch das Uhrwerk entschlüsselt. Wir rekapitulieren:  
 Herzstück des Uhrwerks ist das durch einen grossen Gewichtstein angetriebene Stundenrad/Hauptrad (11). Von ihm aus können wir, quer durch alle Zahnradübersetzungen des Uhrwerks hindurch, die Pendelzeit berechnen:  
 $3600 \times 9 \times 10 / 126 \times 50 \times 17 = 324000 / 107100$   
 $= 3.03 \text{ Sekunden.}$

## Auflösung eines weiteren Rätsels: die Wochentag-Angabe

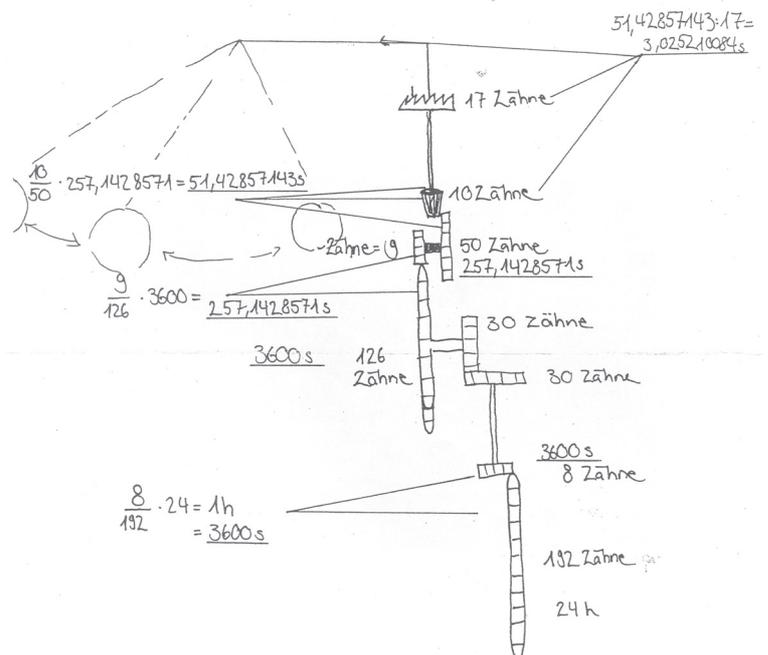
Noch ungelöst ist die Frage, auf welche Weise der jeweilige Wochentag an der Ostfront eingestellt wird.

Da sich das Rädchen, mit dem die Tage verändert werden können, frei an der Innenseite der Mauer befindet (siehe Bild), sind wir lange davon ausgegangen, dass es sich hier um das einzige unverknüpfte System handle, das also manuell betätigt werden müsse. Das war uns immer als eine einzige kleine Unperfektion des Uhrwerks erschienen. – Doch wir täuschten uns. Wie jeder andere Teil der Uhr werden nämlich auch Tages- und Datumsangabe mechanisch, also vom Uhrsystem her, weiterbewegt, und zwar auf folgende Weise:

Wir haben in der Uhrenkammer nur ein Rad, das sich in 24 Stunden einmal um die eigene Achse dreht und somit geeignet ist, die Tagesanzeige zu aktivieren, nämlich das Rad mit der Zeigerachse (17) der unteren Uhr der Ostseite. Dieses Rad (16) liegt unterhalb des Tages- und Monatsrädchen und bringt diese mittels einer ausgreifenden Stange mit Quernoppe in der Tat einmal pro Tag um eine Einheit weiter.



Je genauer wir also das Werk betrachten, umso mehr wird uns seine Perfektion bewusst: Das Uhrwerk ist vom Pendel über die Gewichtsteine, die Glockenspiele, bis hin zu den Stundeweisern der drei Zifferblätter, dem Astrolabium und allen Spielwerken eine einzige, ganze, auf geniale Art zusammenhängende Apparatur! – Das Uhrwerk ist ein Kunstwerk.



Skizze: Nina Luginbühl / Andrea Adamina  
(Beispiel einer Schülerarbeit,  
Lehrstück-Durchgang von Sept. 2003)

# Aufbauskizze des Lehrstücks: der Weg von Aussen nach Innen nach Aussen

## Der Ansatz der Lehrkunst: exemplarisch – genetisch – dramaturgisch

Für den von Theodor Schulze und Hans Christoph Berg ins Leben gerufenen didaktischen Ansatz der Lehrkunst<sup>1</sup> ist die von Wagenschein her bekannte Methodentrias «exemplarisch – genetisch – dramaturgisch» konstitutiv.

Unter «*exemplarisch*» verstehen die Lehrkunsttheoretiker, dass sich ein Lehrstück mit einem reizvollen und relevanten Phänomen zu beschäftigen habe, das, um in der Schule behandelt zu werden, nicht didaktisch zurechtgebogen und präpariert werden dürfe. Vielmehr sollte dieser Gegenstand durch seine Eigenschaft als widerständiges Original im Lernenden jene Fragen provozieren, welche zu seiner Enträtselung beitragen. Das Uhrwerk des Zytglogge ist ein solcher Gegenstand. Ein Phänomen, an dem wir, durch direkten Kontakt, Mass nehmen können: Unser Suchprozess, unser Erkenntnisweg hin zum Verstehen des Apparates wird sich an diesem Gegenstand und seinen Eigenarten orientieren.<sup>2</sup>

Exemplarisch ist der Gegenstand des Uhrwerks auch in Bezug auf das Fach Physik, in dessen Curriculum das Lehrstück eingebaut ist. Wer das Uhrwerk des Zytglogge zu verstehen versucht, eignet sich automatisch die Kenntnisse wichtiger Unterrichtsinhalte der Mechanik an: Antrieb, Zugkraft, Hemmung, Übersetzung, Pendel etc. Das Lehrstück erlaubt also, auch wenn es sich auf die Untersuchung eines einzigen Gegenstandes beschränkt, fundamentale physikalische Einsichten.

Darüber hinaus ist das Zytglogge-Uhrwerk ein Exemplum der abendländischen Technikgeschichte: Im Spätmittelalter wird die mechanische Uhr, als eine der ersten Präzisionsmaschinen des Abendlandes, zum Leitmedium der zivilisatorischen Entwicklung in Europa. Mit dem Uhrwerk des Zytglogge erhalten wir also Einblick in diese entscheidende Phase des technischen Fortschritts. Fassbar wird mit ihm die Phänomenologie der Zeitmessung und -einteilung, wie sie während des Spätmittelalters mit Verve betrieben wurde. Aufgrund ihres mechanistischen Weltbildes stellten sich die Menschen des 16. und 17. Jahrhundert vor, die Welt würde wie eine grosse Maschine funktionieren. Der Ehrgeiz der Techniker ging dahin, die «Welt-Maschine» durch ein Uhrwerk gewissermassen nachzukonstruieren.<sup>3</sup> Das war wohl auch der Grund, weshalb die berühmten Grossuhren dieser Zeit, so auch der Zytglogge, mit einem Astrolabium versehen wurden.

Das Lehrstück zum Zytglogge-Uhrwerk ist exemplarisch, weil es im einzelnen Gegenstand, der Uhr, ein in mehrfacher Hinsicht «Ganzes» sichtbar macht.

Unter «*genetisch*» verstehen Theodor Schulze und Hans Christoph Berg, dass im Unterricht nicht nur wissenschaftliche Ergebnisse gewonnen, sondern auch die Wege, die zu diesen Ergebnissen geführt haben, entdeckt werden sollten. Es muss, mit anderen Worten, ein Zusammenhang hergestellt werden zwischen dem Entstehungsprozess des Unterrichtsgegenstandes, in unserem Falle des Zytglogge-Uhrwerks, und unserem Lernprozess.

Wie eben gezeigt wurde, ergibt sich das genetische Lernprinzip durch die genaue Betrachtung und durch die Erkundung des Apparates von selbst: Wenn wir verstehen wollen, wie das Uhrwerk Kaspar Brunners funktioniert, müssen wir es vor unserem geistigen Auge in seine Einzelteile zerlegen.<sup>4</sup> Und wenn wir die Uhr anhand von Skizzen und Zeichnungen wieder zusammensetzen, so werden uns die Funktionen, die Aufgaben, welche die einzelnen Uhrteile für das Ganze des Apparates übernehmen, immer besser bewusst.<sup>5</sup>

Genetisch ist unser Lernen also, wenn wir die Konstruktions Schritte Kaspar Brunners im Geiste Schritt für Schritt nachbilden.

- <sup>1</sup> *Einführende Literatur dazu: Berg, Hans Christoph: Suchlinien. Studien zur Lehrkunst und Schulvielfalt. Luchterhand, Neuwied 1993. Berg Hans Christoph / Schulze, Theodor: Lehrkunst. Lehrbuch der Didaktik. Luchterhand, Neuwied 1996*
- <sup>2</sup> «,Die Methode soll Mass an den Dingen nehmen, statt sich zum Mass aller Dinge zu machen.' – dies ist wohl die Leitformel der Lehrkunstdidaktik» – Hans Christoph Berg in: *Berner Lehrkunstwerkstatt: Lehrstücke der III. Gruppe*. Herausgegeben von der Zentralstelle für Lehrerinnen- und Lehrerfortbildung Fachbereich Sek II der Erziehungsdirektion des Kantons Bern. Bern 2001, Seite 200.
- <sup>3</sup> *Das Interesse der Gelehrten für die Uhrmacherei erreichte laut Carlo M. Cipolla (1981, S. 63 f) ihren Höhepunkt in der wissenschaftlichen Revolution des 17. Jahrhunderts. Das mechanistische Bild des Universums und des menschlichen Lebens hing eng mit der Entwicklung der Uhrmacherei zusammen. So glich für Kepler «das Universum nicht einem Lebewesen, sondern der Uhr», und Robert Boyle sah das Universum als ein «Juwel der Uhrmacherei» an.*
- <sup>4</sup> *Siehe die entsprechende Übung bei den Ergänzungen, Varianten, Seite 48*
- <sup>5</sup> *Antriebsapparatur (Gewichtsteine, Kordeln), Hemmungsapparatur (Pendel), Übertragungsapparatur zur Justierung des Gehwerks (Zahnräder zwischen Haupttrad und Pendel; Zahnräder zwischen Haupttrad und Zeigersystem), Zeigerwerk, Nebenwerkssystem etc. – Siehe dazu auch Seiten 18 und 76*

Die Untersuchung des Pendels, der wichtigsten Neuerung des Uhrwerks, erlaubt uns den Einblick in eine andere Zeit der Technikgeschichte: Zur Zeit Kaspar Brunnens gab es die Pendelgesetze noch nicht, wurden sie doch erst im Jahre 1583 von Galileo Galilei entdeckt.<sup>6</sup>

Das Pendel selbst setzt seinen Siegeszug als präzisionssteigernde Apparatur in der Uhrmechanik erst im späteren 17. Jahrhundert an.<sup>7</sup> – Die Untersuchung des Pendels am Zytglogge lässt uns also auch diesen Schritt des technischen Fortschritts genetisch nachvollziehen.

Das letzte Prädikat der Lehrkunst, das Stichwort «*dramaturgisch*», bezieht sich auf den Aufbau, besser gesagt den Ablauf des Unterrichts. Im Ringen um das Verständnis des schwierigen Gegenstandes müssen die einzelnen Schritte, die Lernphasen, sehr bewusst aufgebaut werden und einen organischen, dem Unterrichtsgegenstand und dem Lernenden angemessenen Fortschritt ermöglichen.

Das Lehrstück wird, wie eine musikalische Komposition oder ein Theaterwerk, in einzelne Sequenzen bzw. Szenen aufgegliedert. Es gibt eine Einleitung, es gibt eigentliche Schlüsselstellen des Erkenntnisweges, es wird am Schluss auf eine Abrundung des Prozesses geachtet.

Da die Methode «Mass an den Dingen» nimmt, hat jedes Lehrstück seine ihm eigene dramaturgische Grundfigur. In unserem Fall ist es die Bewegung von Aussen, vom Anblick der Ostfassade, nach Innen, dem Verständnis des Uhrwerks, und von da wieder nach Aussen, zur Entschlüsselung der Funktionsweise der vielen Elemente an der Ostfassade. Diese Grundbewegung wird in zwei Grundfiguren fassbar, welche auch wieder dem Uhrwerk und dem Lernweg angemessen sind:

- dem Prinzip des Pendelschlags
- dem Prinzip der zirkularen Vertiefung.

Diese zwei Prinzipien sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

<sup>6</sup> Leu, 1982, Seite 5 – Siehe zu diesem Themenkomplex auch im Anhang, A3, Seite 60

<sup>7</sup> Die Erfindung des Pendels als hemmender Regulator des Uhrwerks geht auf Christian Huygens zwischen 1650 und 1660 zurück. Galilei schwebte die Lösung der Uhr-Regulierung bereits vor, aber erst dem niederländischen Gelehrten Huygens gelang es, die bis zu diesem Zeitpunkt verwendete Spindelhemmung mit dem Foliot durch ein Pendel zu ersetzen. Er läutete damit einen Wendepunkt in der Geschichte der Uhrmacherkunst ein, wie er für das Jahrhundert der wissenschaftlichen Revolutionen geradezu paradigmatisch ist. (Cipolla 1981: 68)

## Das Prinzip des Pendelschlags

Als Metapher für die Grundbewegung des Stückes dient der Pendelschlag des Uhrwerks: So kommt es im Lehrstück zu einem Hin und Her zwischen theoretisch-lehrerzentrierten und explorativ-schülerorientierten Phasen. Man könnte, wenn man auf das in der Lehrstückdidaktik üblicherweise angewendete Theatervokabular zur Beschreibung einzelner Handlungsschritte zurückgreifen möchte, auch von alternierenden «Szenen und Gegen-szenen» sprechen.

Zudem kommt es zu einem örtlichen Hin und Her zwischen Schulzimmertätigkeiten und direkten Begegnungen mit dem Zytglogge-Uhrwerk. Regelmässig hin und her läuft ferner der Wechsel zwischen erkundend-wahrnehmender und zeichnerisch-gestaltender Aktivität ab.

Bewusst wird auf das Leitbild der Schule, des Gymnasiums Muristalden, in welchem das Lehrstück entwickelt wurde, Bezug genommen, wenn von einem Zusammenspiel «wahrnehmender, verstehender, gestaltender und zu verantwortender» Tätigkeiten die Rede ist.<sup>8</sup>

Konkret heisst das:

<b>Einleitung</b>	1. Szene (Schulzimmer): den Zytglogge aus dem Kopf zeichnen. Sensibilisierung für den Gegenstand (ihn aus der Erinnerung «hervorholen»)	
<b>Zeichnerische Annäherung («wahrnehmen»)</b>		2. Szene (Zytglogge): erste Begegnung mit dem Gegenstand, Besichtigung der Ostfassade und des Uhrwerks; zeichnerische Annäherung an das Uhrwerk
<b>Theoretische Basis (Grundlagenarbeit)</b>	3. Szene (Schulzimmer): von der Begegnung mit dem Gegenstand ausgehend bzw. sich daraus ergebend: Theorie zu physikalischen Themen, die eine wichtige Rolle für das Verständnis des Uhrwerks spielen: Übersetzungsverhältnisse ineinandergreifender Zahnräder, Pendelgesetze etc.	

<sup>8</sup> Siehe Leitbild des Gymnasiums Muristalden, Bern. Als zentrale Leitbegriffe werden dort genannt: wahrnehmen – verstehen – gestalten – verantworten.

<p><b>Durcharbeiten; Erkenntnis («verstehen»)</b></p>		<p>4. Szene (Zytglogge): zweite Begegnung mit dem Uhrwerk. Versuch, in Zweiergruppen den Mechanismus des Uhrwerks zu verstehen: Knobeln am Gegenstand, Hypothesen, erste Erklärungsversuche. Hartnäckiges Durcharbeiten des Gegenstands unter Einbezug der erworbenen theoretischen Kenntnisse von Szene 3. Seine Funktionsweise verstehen. Protokoll dieses Erkenntnisvorgangs; Skizzen der Uhr mit entsprechenden Bemerkungen</p>
<p><b>Erkenntnisse diskutieren, sich versichern («verstehen und gestalten»)</b></p>	<p>5. Szene (Schulzimmer): Vorbereitung eines Kurzvortrags, den die Gruppe am nächsten Tag in der Uhrkammer zu halten hat. Zwei Fragestellungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welchen Weg haben wir gemacht (einzelne Tätigkeiten und Erkenntnisschritte), bis wir das Uhrwerk verstanden haben?</li> <li>• Wie liesse sich das Uhrwerk einem Laien möglichst anschaulich erklären?</li> </ul>	
		<p>6. Szene (Zytglogge): Gruppenvorträge; gegenseitige Hilfe bei der Klärung von noch nicht Verstandenem</p>
<p><b>Erste Auswertung: Ergebnis- sicherung, Dokumentation («verstehen und gestalten»)</b></p>	<p>7. Szene (Schulzimmer): Erkenntnis-sicherung durch Dokumentieren; Gestalten eines Heftes zur Funktionsweise des Zytglogge-Uhrwerks. In der Dokumentation behandelt werden wieder die beiden Fragestellungen des Kurzvortrags:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welchen Weg haben wir gemacht (einzelne Tätigkeiten und Erkenntnisschritte), bis wir das Uhrwerk verstanden haben?</li> <li>• Wie liesse sich das Uhrwerk einem Laien möglichst anschaulich erklären?</li> </ul> <p>Gegenseitige Begutachtung der Berichte: Meta-Reflexion als selbst-beurteilende und fremdbeurteilende Tätigkeit</p>	

<b>Reflexion: Expertenbegegnung («verstehen»)</b>		8. Szene (Zytglogge): a) Begegnung mit einer Stewardess von Bern Tourismus (offizielle Führung miterleben; diese beurteilen) b) Begegnung mit dem Turmwart Markus Marti; sich das noch Unverständene von ihm erklären lassen. Sein Experten-Urteil zu den Kleingruppenberichten entgegen nehmen
<b>Zweite Auswertung: Ergebnisse anwenden</b>	9. Szene (Schulzimmer): Überarbeitung der Kleingruppenberichte, Ergänzungen dazu; Vorbereitung einer Uhrwerk-Führung mit den Eltern	
<b>(«verantworten»)</b>		10. Szene (Zytglogge); Abschluss: Schülerinnen und Schüler gestalten eine Führung oder mehrere Führungen durch den Zytglogge für geladene Gäste

## Das Prinzip der kontinuierlichen (zirkularen) Vertiefung

«Wahrnehmen – verstehen – gestalten – verantworten». Die Metapher des Pendelschlags vermag diesen Prozess nur unzureichend darzustellen. Denn ein Pendel erreicht, nach jeweiligem Rückschlag, immer ein und dieselbe Höhe, d.h. den gleichen Ort. Seine Hin- und Herbewegung durchbricht die Zweidimensionalität nicht.

Der intendierte Lernprozess ist jedoch dreidimensional, denn er geht auch in die Tiefe. Wir kehren zwar immer wieder an den physisch gleichen Ort, den Zytglogge, zurück, aber wir sind, was den Erkenntnisprozess angeht, nie am gleichen Ort. Die mehrmalige Begegnung mit dem Untersuchungsgegenstand lässt diesen immer plastischer und verständlicher erscheinen.

Neben der oben skizzierten Grundbewegung des Pendelschlages weist das Lehrstück also eine zweite Bewegung auf: die der curricularen Wiederholung von Tätigkeiten bei gleichzeitiger Vertiefung des Erkenntnisganges.

- So vertieft sich z.B. der Erkenntnisprozess durch die zweimalige Exploration des Uhrwerks (Szenen 2 und 4).
- Auch die gestalterische Arbeit präzisiert sich kontinuierlich: Zeichnen aus dem Kopf (Szene 1) – Zeichnen am Gegenstand (Szene 2) – Zeichnen des Gegenstands (Szenen 5 und 7).
- Eine Intensivierung und Konkretisierung ergeben sich ferner dadurch, dass die Lernenden die Kleingruppenaufträge<sup>9</sup> zwei- oder gar dreimal durchführen müssen: als Vorbereitung eines Kurzvortrags (Szene 5) – als Heft-Dokumentation (Szene 7) – als Präparation einer Führung mit den Eltern (Szene 9).
- Die Lernenden müssen zweimal über das Uhrwerk referieren (Szenen 6 und 10). Auch hier führt die Wiederholung der Tätigkeit zur kontinuierlichen Optimierung.

Im folgenden Kapitel sollen die einzelnen Szenen nun genauer dargestellt und durch konkrete Unterrichtserfahrungen ergänzt werden.

<sup>9</sup> D.h. die Fragestellungen a) und b) der Szenen 5 und 7, siehe Seite 38 und 40

# Das Lehrstück in Szenen

## 1. Szene: Einleitung

Ort: in der Schule / Zeitbedarf: 1 Lektion

Kurzbeschreibung: den Zytglogge aus dem Kopf zeichnen. Sensibilisierung für den Gegenstand (ihn aus der Erinnerung «hervorholen»).

### Beschreibung

Dem Leitbild der Schule entsprechend («wahrnehmen – begreifen – gestalten – verantworten») beginnt das Lehrstück mit einer Wahrnehmungsübung. Der Zytglogge soll aus dem Kopf gezeichnet werden. Die Schülerinnen und Schüler weisen verschiedene Voraussetzungen auf: Einige kommen regelmässig auf ihrem Schulweg am Zytglogge vorbei, andere kennen den Turm schlechter, sehen ihn vielleicht zufällig auf einem Stadtbummel.

Die Zeichnungen werden zuerst verglichen. Anhand eines Posters, das die Ostfassade zeigt, werden sie dann überprüft.

### Begründung/Absicht

Diese Übung dient der Einstimmung. Der Fokus wird ein erstes Mal auf den Unterrichtsgegenstand gelenkt. Beim Zeichnen tauchen verschiedene Fragen und Unsicherheiten auf: «Was alles befindet sich im Spielerker?» «Wie viele Uhrzeiger hat es?» Das führt dazu, dass die Aufmerksamkeit bei der abschliessenden Überprüfung anhand des Posters gross ist. Dabei können die einzelnen Elemente genannt und ein erstes Mal genauer betrachtet werden: die beiden Zifferblätter (12- und 24-Stundenuhr), die komplizierte Apparatur des Astrolabiums, der Spielerker mit Narr, Chronos, Sanduhr, Löwe und Hahn; die Bärenparade, die Tages- und Datumsangabe; die mythologischen Zeichnungen an der Fassade; hoch oben der Glockenschiff mit dem Stundenschläger Hans von Tann.

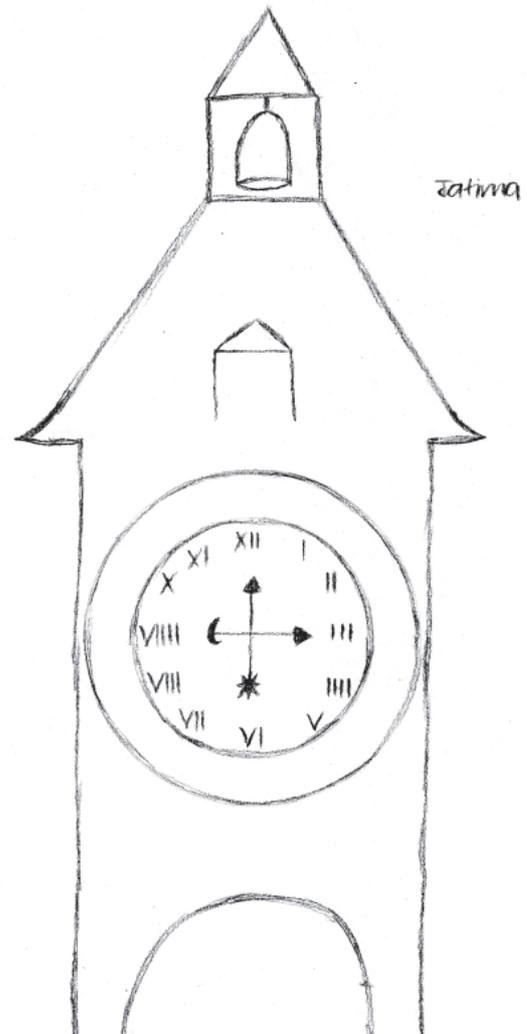
Die Übung sensibilisiert die Lernenden für den Unterrichtsgegenstand, und sie bereitet sie auf die reale Besichtigung der Fassade vor. Die einzelnen Bestandteile des Turmes werden ein erstes Mal wahrgenommen.<sup>1</sup>

### Unterrichtserfahrungen

Wie unsere Unterrichtserfahrungen gezeigt haben, löst diese Übung oft Heiterkeit aus und ist geeignet, die Aufmerksamkeit auf spielerische Art auf den Gegenstand zu lenken. Oft sind die Lernenden darüber erstaunt, wie wenig sie im Grunde von einem Gebäude wissen, an dem sie tagtäglich vorbeigehen. Die Details beginnen sie zu interessieren: «Was sind das für Figuren, und welche Bedeutung haben sie?», «Welchen Bezug haben sie zum

Zeitphänomen und zur Zeitmessung?»

Spannend ist die Tatsache, dass bei allen unseren Durchgängen mit Klassen noch keine Schülerin oder kein Schüler auf den Gedanken gekommen ist, eine andere Ansicht als jene von Osten her zu zeichnen. Der Zytglogge ist im Bewusstsein der Leute in erster Linie einmal seine Ostfassade. Auch das wirft eine interessante Frage auf: Weshalb ist der Turm vor allem auf dieser, und nicht auf der gegen das heutige Stadtzentrum gerichteten Seite so stark ausgestaltet worden?



<sup>1</sup> Bild: Fatima Kimji (Durchgang September 2002). Die Schülerin hat gute Erinnerungen an das Dach, mit Glockenhäuschen(!), und an das obere Zifferblatt. Erstaunlicherweise fehlen gerade jene Elemente, durch die der Zytglogge berühmt geworden ist: Spielerker und Astrolabium.

## 2. Szene: Kontaktnahme, zeichnerische Annäherung («wahrnehmen»)

Ort: Zytglogge; zuerst vor der Ostfassade, dann im Innern/  
Zeitbedarf: 2 Lektionen

Kurzbeschreibung: erste Begegnung mit dem Gegenstand, Besichtigung der Ostfassade und des Uhrwerks; zeichnerische Annäherung an das Uhrwerk.

### Beschreibung

Die zweite Szene gliedert sich in vier verschiedene Phasen.

#### *Phase a), vor der Ostfassade*

Nachdem im vorderen Arbeitsschritt das Auge für die Ostfassade und ihre einzelnen Elemente geschärft worden ist, betrachten die Schülerinnen und Schüler diese nun real. Es fallen ihnen gewisse Details auf: Es hat zwei Sonnen auf der astronomischen Uhr. Warum ist das so, und was geben diese genau an? Die Schülerinnen und Schüler lesen ab, was sie verstehen: das Datum, das Tierkreiszeichen, die momentane Mondphase. Sie versuchen, die Uhrzeit zu bestimmen. Dabei fällt auf, dass die obere Uhr ein 12-Stundenblatt mit Stunden- und Minutenzeiger aufweist, während die untere Uhr, an der das Astrolabium hängt, ein 24-Stundenblatt mit nur einem Stundenzeiger hat. Es scheinen zwei Uhren zu sein. Dies umso mehr, als die beiden Uhrzeiten differieren; in der Sommerzeit um ca. 1½ Stunden.

Es folgt hier ein Lehrervortrag, der die angesprochenen Fragen aufnimmt und die einzelnen Fassadenelemente erklärt.<sup>2</sup>

Am Schluss des Lehrervortrags wird auf die weiterführenden Leitfragen fokussiert: Was steckt wohl hinter der Fassade? Wie funktionieren diese Uhren? (Wie könnte die Mechanik im Innern aussehen?)

Die Phase vor dem Turm darf nicht zu lange ausfallen, denn die Haupttätigkeit des Lehrstücks liegt in der Erkundung des Uhrmechanismus im Inneren. Didaktisch ist es aber wichtig, dass die Lernenden dafür möglichst viele Erkenntnisse, die sie von der Ostfassade gewonnen haben, nach Innen mitnehmen. Zum Beispiel die Beobachtung, dass es einen 24- und einen 12-Stundenweiser gibt, oder die Kenntnis dessen, was sich beim Figurenspiel um die runde Stunde alles tut:

- der Hahn kräht dreimal: einmal vor, einmal während und einmal nach dem ganzen Spiel
- Der Löwe bewegt während der Glockenschläge den Kopf
- die Bärenparade dreht sich, während der Narr im oberen Bereich des Spielerkers wechselweise an den Glöcklein zieht
- Chronos kehrt die Sanduhr um und zählt die Stunden-schläge, immer dazu das Zepter erhebend
- Auch im Glockenschiff bewegt sich etwas: Man sieht, wie Hans von Tann die Stunden schlägt.

Die Frage steht im Raum, wie das Figurenspiel bedient wird, wie viele Apparate wohl im Innenraum dafür verantwortlich sind.

Was aussen beobachtet wird, soll innen erklärt werden können.

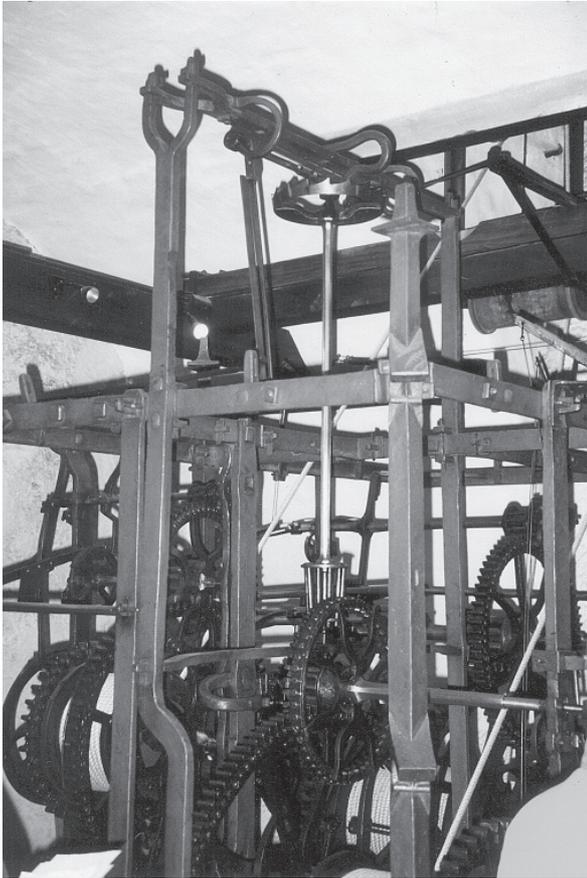
#### *Phase b), in der Uhrkammer: erste Begegnung mit dem Uhrwerk*

Gang in den Zytglogge. Zuerst das technische Monument einige Zeit auf die Lernenden wirken lassen.

Nach der Betrachtung der reich verzierten Fassade in Phase a) fällt den Lernenden, als absoluter Gegensatz dazu, die Schnörkellosigkeit des Apparates im Innern auf. Dieser scheint auf reine Funktionalität reduziert zu sein.

Was sehen wir konkret? – Ein Metallgehäuse (Längsrichtung 2.50 m, Tiefe 1.70 m, Höhe 2.20 m), eine hin und her schwingende Kugel, vielfältig ineinander verzahnte Räder in verschiedensten Grössen und formalen Ausführungen, Stangen, eiserne Drahtzüge, Drehachsen, lange, mit Gewichten versehene Seile; an der Wand einen Blasebalg. Die vollständig aus Eisen geschmiedete Rahmenkonstruktion des Uhrwerks steht auf sechs polygonalen Sandsteinfüssen. An der Ostseite des Gehäuses weist sie eine Signierung und Datierung auf: Kasper Brunner, 1530.

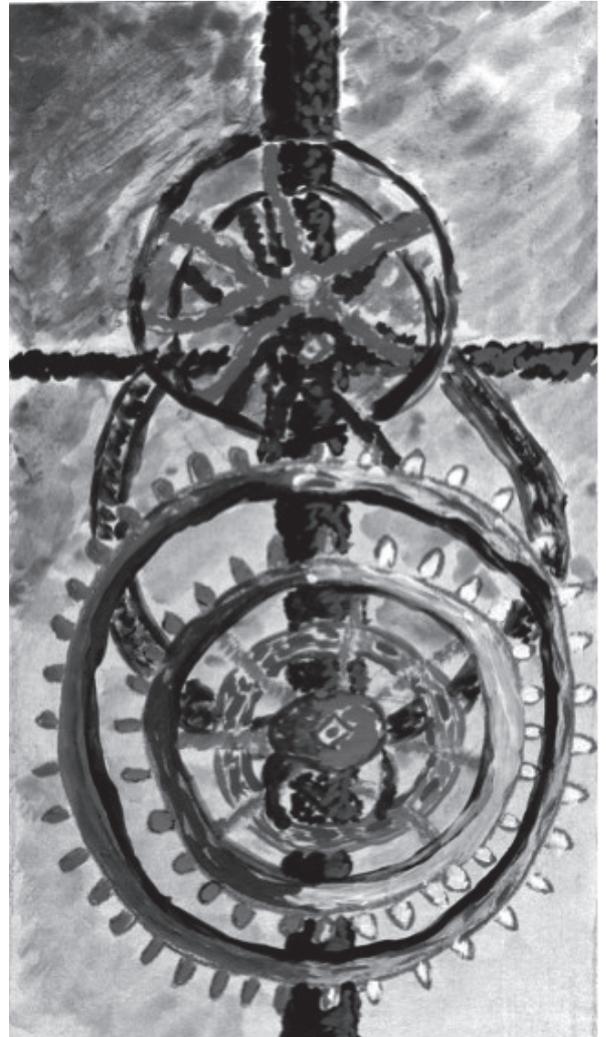
<sup>2</sup> Die mögliche Variante eines solchen Lehrvortrags befindet sich im Anhang. Siehe A8, Seite 65 ff



### *Phase c), das Uhrwerk zeichnen*

Die erste Annäherung an das Uhrwerk geschieht gestalterisch, zeichnerisch, und zwar in zwei Schritten:

- In einem ersten Schritt wird innerhalb kurzer Zeit (5' – 10') der visuelle Eindruck, den das Uhrwerk auf den Betrachtenden macht, mit Bleistift festgehalten.
- In einem zweiten, längeren Arbeitsschritt (ca. 30') wird, am visuellen Gesamteindruck anknüpfend, dargestellt, welche Funktionsbereiche und Teile der Uhr unserer Meinung nach zusammenhängen. Damit werden erste Funktionen einzelner Teile, erste Zusammenhänge und eine Art Apparaten-Hierarchie (was ist wichtiger, was weniger wichtig?) erkannt.<sup>3</sup>



*Zeichnung von Sanna Kägi (Durchlauf September 2003)*

<sup>3</sup> Genaueres zum gestalterischen Auftrag und zu den verwendeten Materialien: siehe Anhang, A10, Seite 69

### **Phase d), Besprechung der Zeichnungen**

Die gestalterische Arbeit hat den Blick geschärft, und dabei ist Folgendes klar geworden:

Das Ganze hängt zusammen, wir haben ein grosses Uhrwerk vor uns (und nicht, wie vor der Fassade angenommen, deren zwei). Die genaue Funktionsweise des Apparates ist indessen, trotz der vorangegangenen gestalterischen Auseinandersetzung, noch nicht nachvollziehbar. Sie muss in den weiteren Szenen (4 und 5) eruiert werden.

### **Begründung/Absicht**

In einem ersten Schritt (Besichtigung der Ostfassade) wird die Tätigkeit der Szene 1<sup>4</sup> wieder aufgenommen. Kenntnisse werden gefestigt bzw. ergänzt. Dies ist wichtig, weil bei der Entschlüsselung der komplizierten Apparatur immer wieder Kenntnisse von Abläufen, die aussen passieren, notwendig sind.

Schwerpunkt dieser Szene ist aber noch nicht die Enträtselung des Uhrwerks, sondern die Wahrnehmung. Das Uhrwerk soll, bevor es in den Szenen 4 und 5 auf rationale Art analysiert und im Geiste rekonstruiert wird, zuerst zeichnerisch erfasst und dargestellt werden. Das sensibilisiert die Lernenden für den Unterrichtsgegenstand. Die Forderung, beim ersten (gestalterischen) Auftrag den Blick auf das Ganze zu richten und einen visuellen Eindruck wiederzugeben, lässt uns erkennen, dass sich in der Uhrkammer bloss eine einzige Apparatur befindet.

Beim zweiten Zeichnungsauftrag werden einzelne Elemente sehr genau angeschaut, und ihr Zusammenhang mit anderen Elementen der Apparatur wird, zumindest ansatzweise, erkannt. Damit ebnet diese vorgeschobene gestalterische Übung Wege für die folgenden analytisch ausgerichteten Tätigkeiten. Man kann sagen, dass hier zuerst einmal «mit dem Zeichenstift gedacht» oder dass das Uhrwerk vorerst «zeichnend gelesen» werde. Gestalten ist immer eine sehr genaue Form der Wahrnehmung, vielleicht die genaueste überhaupt.

### **Unterrichtserfahrungen**

Die Besichtigung der Fassade hat sich in allen bisherigen Unterrichtsversuchen als einer der schwierigsten Teile erwiesen. Das hat zuerst einmal äussere Gründe: Der Lärm, der durch Passanten und Verkehr verursacht wird, erschwert das akustische Verständnis. Auch spielt das sehr unterschiedliche Interesse, welches die Lernenden der Fassade gegenüberbringen, eine erschwerende Rolle:

Es gibt Schülerinnen und Schüler, die, angeregt durch die erste Szene des Lehrstücks, sehr viele Fragen haben und vieles erklärt haben wollen. Es gibt andere, die kein grosses Interesse zeigen und ohnehin meinen, als Stadtbernerin bzw. als -berner die Zytglogge-Fassade zu kennen.

Ferner erwies sich in den bisherigen Durchläufen der Modus des Lehrervortrag als heikel: Auch wenn aus Komplexitätsgründen auf eine umfassendere Erklärung des Astrolabiums verzichtet wurde, bereiteten Erklärungen von vergleichsweise einfachen Aspekten, z.B. dem Unterschied von MEZ, mittlerer Ortszeit und Temporalstundeneinteilung, Schwierigkeiten. Die Konzentration, die nötig wäre, um dies zu verstehen, fehlte zuweilen. Auch konnten die Lernenden nicht ahnen, wie wichtig es bereits in dieser Phase sei, sich Kenntnisse der einzelnen Fassadenteile zu erwerben. In späteren Szenen, in denen sie das Uhrwerk zu verstehen versuchten, wurde ihnen das bewusst, und sie mussten wieder vor die Fassade treten und das nachholen, was sie in dieser Phase verpasst hatten.

Erfreulich waren die Unterrichtserfahrungen bei der gestalterischen Phase, es entstanden z.T. hervorragende Produkte. Und auch dort, wo das nicht der Fall war, erfüllte die Aufgabe ihren Zweck der genauen Wahrnehmung, der Sensibilisierung für den Unterrichtsgegenstand.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Siehe Seite 29

<sup>5</sup> Aus einem Schülerinnenbericht: «Nachdem wir einen Teil des Uhrwerks abgezeichnet hatten, konnten wir gewisse Vorgänge und Verkuppelungen erkennen.» (Valerie Knoll und Lucia Kräuchi anlässlich des Lehrstückdurchgangs im September 2003)

### 3. Szene: Theoretische Basis (Grundlagenarbeit)

Ort: Klassenzimmer / Zeitbedarf: ca. 2 Lektionen

Kurzbeschreibung: von der Begegnung mit dem Gegenstand ausgehend bzw. sich daraus ergebend: Theorie zu physikalischen Themen, die eine wichtige Rolle für das Verständnis des Uhrwerks spielen: Übersetzungsverhältnisse ineinandergreifender Zahnräder, Pendelgesetze etc.

#### Beschreibung

Um diese Szene einzuleiten, werden Details aus den Zeichnungen der vorderen Phase zur Hand genommen. Dabei können die verschiedenen Verknüpfungsarten von Zahnrädern, wie sie im Zytglogge vorkommen, zuerst einmal theoretisch vorgezeigt werden. Alle Zahnräder sind fix mit ihrer jeweiligen Drehachse verbunden. Dies bedeutet, dass sich ein Zahnrad genau einmal dreht, wenn es die zugehörige Achse tut. Die Zahnräder, die nun aber ineinander greifen, haben unterschiedlich viele Zähne, das heisst, dass ihre Umdrehungszeiten ungleich sind.

Setzt man die Anzahl der Zähne mit der jeweiligen Drehbewegung der Räder in Verbindung, können allgemeine Zahnradgesetze formuliert werden, die für das spätere Entschlüsseln des Uhrwerks (Szenen 4 und 5) nützlich sind.<sup>6</sup>

Ebenso verhält es sich mit dem Pendel: Dieses ist ein sehr auffälliger Teil des Uhrwerks. Die Kenntnis der galileischen Pendelgesetze<sup>7</sup> kann von den Lernenden am Zytglogge-Uhrwerk fruchtbar eingebracht werden. Die Arbeit von Szene 3 kann weitgehend im Modus des experimentellen Erforschens erfolgen, so dass selbst diese eher schulische Einheit den didaktischen Grundgestus des Lehrstücks, das explorative Lernen, aufnimmt: Die Schülerinnen und Schüler machen sich Gedanken über die Grössen, welche die Pendelgeschwindigkeit beeinflussen könnten (Luftwiderstand, Pendellänge, Pendelgewicht) und prüfen ihre Hypothesen aufgrund eigener Experimente mit einer Schnur und einem Gewichtsstein. Im Austausch mit einer Kollegin, die einen anderen Gewichtsstein hat, merken sie, dass das Pendelgewicht keine Rolle spielt, wohl aber die Pendellänge.<sup>8</sup>

#### Begründung/Absicht

Der Zeitraum, den Schülerinnen und Schüler in der Uhrkammer verbringen können, ist in der Regel knapp, denn der Zytglogge wird durch die Aktivitäten von Bern Tourismus stark frequentiert. Deshalb ist es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler für die eigentliche Hauptauf-

gabe, das Enträtseln des Uhrwerks in den Szenen 4 und 5, vorbereitet sind. Der Vorbereitung diene, wie oben gezeigt, bereits die vordere Szene 2. Gleiche vorbereitende Funktion hat nun auch diese Szene 3. Es handelt sich dabei um eine ganz normale schulische Einheit im Fach Physik. Die Lernenden werden in zwei Bereiche eingeführt, welche ihnen beim Ergründen der Uhrwerk-Mechanik dienlich sind. Falls in der nächstfolgenden Szene der Transfer auf die Zahnräder und das Pendel des Zytglogge gelingt, erfahren sie, dass theoretische Vorkenntnisse wertvoll sein können, gerade auch für den explorativen Lernprozess. Und die Transferphase, ihrerseits, festigt wiederum die theoretischen Kenntnisse.

#### Unterrichtserfahrungen

In allen bisher durchgespielten Einheiten wurde sichtbar, dass die Schülerinnen und Schüler Mühe haben, die erworbenen theoretischen Kenntnisse von sich aus in die folgenden explorativen Phasen (Szenen 4, 5 und 6) einzubringen. Woran sich die meisten erinnern, ist aber immerhin die Tatsache, dass das Pendelgewicht bei den Berechnungen keine Rolle spielt und dass somit ein allfälliges Wägen des Zytglogge-Gewichtssteins keinen Erkenntniszuwachs bringen würde.

Erst bei einer späteren Szene, jener der Dokumentation im Heft (siehe Szene 7), bei der die Lernenden explizit aufgefordert werden, die Notizen der physikalischen Lehreinheit mit dem Uhrwerk-Beschrieb zu verbinden, passiert bei den meisten jeweils der Transfer.

Trotzdem: – die Auswirkungen der eben vorgestellten Szene 3 auf den explorativen Lernteil des Stückes sind nicht zu unterschätzen: Gewisse Tätigkeiten, die für die eigentliche Erkundungsphase der Szene 4 wichtig sind, werden hier gewissermassen vorgespurt: etwa schon nur das Abzählen von Zähnen oder das Messen der Pendeldauer (3 Sekunden).

<sup>6</sup> Genaueres siehe im Anhang unter A11, Seite 70

<sup>7</sup> Siehe Anhang unter A12, Seite 72

<sup>8</sup> Die Skizze einer Unterrichtseinheit dazu befindet sich im Anhang, ebenfalls unter A12, Seite 72

## 4. Szene: Durcharbeiten; Erkenntnis («verstehen»)

Ort: Zytglogge / Zeitbedarf: 3-4 Lektionen

Kurzbeschreibung: zweite Begegnung mit dem Uhrwerk. Versuch, in Zweiergruppen den Mechanismus des Uhrwerks zu verstehen: Knobeln am Gegenstand, Hypothesen, erste Erklärungsversuche. Hartnäckiges Durcharbeiten des Gegenstands unter Einbezug der erworbenen theoretischen Kenntnisse von Szene 3. Seine Funktionsweise verstehen. – Protokoll dieses Erkenntnisvorgangs; Skizzen der Uhr mit entsprechenden Bemerkungen.

### Beschreibung

Es handelt sich hier um eine der Schlüsselstellen des Lehrstücks: Die Lernenden müssen nun, nach den verschiedenen Annäherungen, die Funktionsweise des Uhrwerks zu verstehen versuchen. Da hierfür die Kenntnisse der Elemente der Ostfassade nötig sind, wird die Klasse kurz vor der runden Stunde vor dem Turm besammelt, um sich das Uhrspiel ein zweites Mal angucken zu können.<sup>9</sup> In der Uhrkammer erhalten die in Zweiergruppen aufgeteilten Schülerinnen und Schüler den Auftrag, das Uhrwerk so gut zu verstehen, dass sie es jemandem erklären könnten. Sie werden dazu angehalten, Skizzen zu machen, die später wieder verwendet werden können.

Es ist nun wichtig, dass nicht «Expertengespräche» zwischen technisch versierten Lernenden und der Lehrperson einsetzen, sondern dass zuerst einmal Fragen gestellt werden. Die drei wichtigsten sind:

- In welche Teile lässt sich das Uhrwerk zerlegen?
- Erkennen wir bereits die Funktion einzelner Uhrenteile?
- Welche Teile sind wesentlich, welche können vernachlässigt werden?

Die Lernenden gehen, ihrem leitenden Interesse nach, verschiedene Wege. Die Lehrperson begleitet die einzelnen Gruppen, tritt mit ihnen ins Gespräch, dies allerdings ohne die einzelnen Uhr-Elemente zu erklären. Es werden höchstens Fragen gestellt, welche die Erklärungsversuche der Schülerinnen und Schüler weitertreiben. Beispiele solcher Fragen, die, je nach Situation, eingebracht werden können:

- «Und wofür könnte dieses Zahnrad, von dem du sprichst, gut sein?»
- «Ist das ein für das Verständnis der Gesamtapparatur wichtiger Teil oder nicht?»
- «Warum bleibt die Uhr immer in Bewegung?»
- «Warum dreht sich das obere Zahnrad (Kronrad)?»

- «Kannst du von dem, was du eben beschrieben hast, den Bogen zurückschlagen zu dem, was wir in der letzten Physikstunde behandelt haben?»<sup>10</sup>
- «Wie kannst du vorgehen, wenn du die Umdrehzeit dieses Zahnrades berechnen willst?»
- «Welche Funktion für das Ganze könnte der Teil haben, den du eben beschrieben, hast?»
- «Welche Apparatur des Uhrwerks löst was genau an der Fassade aus?»
- «Wie kommt der Glockenschlag im Turm oben zu Stande?»
- «Was würde passieren, wenn wir kein Pendel hätten?»<sup>11</sup>
- «Und was ist nun die genaue Funktion des Pendels?»

Am Schluss dieser Erkundungsphase haben die meisten Schülerinnen wichtige Erkenntnisse gewonnen:

- Sie haben herausgeschält, welche Räder wichtig, ja entscheidend, welche unwichtig sind: Wir finden ein Hauptrad, ein Tagesrad (24 Std.), zwei Halbtagesräder (12 Std., im Westen und Osten des Turms). Von herausragender Bedeutung ist das Hauptrad, das sich in der Stunde einmal um die eigene Achse dreht.
- Sie haben die Grundstruktur der Uhr erkannt und sehen nun, dass beinahe alle Werke durch Impulse des Hauptrades ausgelöst werden.

<sup>9</sup> Diese Grundbewegung des «Aussen nach Innen» liesse sich noch ausbauen: So wäre es zum Beispiel denkbar, ein Protokoll all dessen zu erstellen, was sich während des Stundenwechsels draussen, an der Fassade, bewegt. Bei der nächsten runden Stunde könnten dann die Lernenden im Innern versuchen, sich den protokollierten Ablauf von den auslösenden Apparaturen her zu erklären.

<sup>10</sup> Szene 3! Hier soll den Lernenden u.a. in Erinnerung gerufen werden, dass es bei einigen der Räder wichtig ist, die Zahnzahl zu zählen; bei anderen Rädern weniger.

<sup>11</sup> Im Lehrstück-Durchgang von September 2003 wird zwei Schülerinnen, Gabriela Hauri und Sanna Kägi, sofort klar, dass sich das Uhrwerk auch ohne Pendel bewegen würde. Die weiterführende Frage, weshalb denn trotzdem ein Pendel da sei, lässt die beiden Schülerinnen dessen Funktion als Regulierungsinstanz des Ganzen schon recht früh erahnen.

- Sie haben erkannt, dass die Uhr Teile aufweist, die in einer ständigen Bewegung sind (Pendel-Zahnradkombination-Haupttrad-Stundenzeiger), dass andere Teile meist immobil sind und nur für gewisse Zeit in Bewegung geraten (Nebenwerke).
- Sie haben verstanden, dass die Energie von den Gewichtsteinen herkommt, dass also das Haupttrad, das vom grossen Gewichtstein gezogen wird, die eigentlich antreibende Kraft des Uhrwerks sein muss.
- Und sie haben die Funktion des Pendels erkannt: Es ist nicht antreibende, sondern hemmende Kraft, und es garantiert die Regelmässigkeit des Schlages.

Von grosser Wichtigkeit ist hier auch die Erkenntnis, dass das Uhrwerk nur verstanden werden kann, wenn die Drehzeiten der diversen Achsen und Räder ausfindig gemacht werden, was wiederum ein genaues Abzählen der Zähne bedingt. Denn die Zeitverhältnisse können letztlich nur von den Zahlenverhältnissen der Zähne ineinander greifender Räder her errechnet werden.

### **Begründung/Absicht**

Es soll in dieser Arbeitsphase an die vorderen Szenen angeknüpft werden: Die Kenntnisse der Elemente der Ostfassade werden nun im Innern fruchtbar gemacht. Und zwar nach dem Prinzip des explorativen Lernens. Die Fragestellung (jemandem das Uhrwerk erklären können) ist bewusst sehr offen gehalten, damit die Lernenden die Verantwortung für den Erkenntnisprozess übernehmen und ihren eigenen Lernweg gehen können. Räumliche Begebenheiten unterstützen diesen Vorgang: Automatisch verteilen sich die einzelnen Gruppen in der Uhrenkammer. Weil nicht alle am gleichen Ort stehen und beginnen können, wählt jede Gruppe einen eigenen Weg der Entschlüsselung. So ist es möglich, beim Pendel, bei einem Erkerspiel, beim Haupttrad, bei den Gewichtsteinen oder bei der Achse der Uhrzeiger, die, wie man es gut erkennen kann, durch die Fassade ins Innere dringen, zu beginnen.

Wenn ganz konsequent auf jegliche Lehrführung verzichtet wird, entwickelt jede Gruppe ihr eigenes «Verstehenskonzept». Wichtig ist am Auftrag, dass die Lernenden dazu angehalten werden, ihre Erkenntnis einer aussenstehenden Person erklären zu können. Damit werden die nächsten Szenen (5 – 8) vorbereitet, in denen das Dokumentieren von Erkenntnissen und deren Wiedergabe in Referaten vorgesehen ist.

Um die Grundproblematik dieser Szene durchzudenken, soll noch einmal die Frage aufgeworfen werden, ob es

nicht heikel sei, den Impuls so offen zu halten und die Schülerinnen und Schüler mit so wenig Vorgaben in die explorative Phase eintreten zu lassen.

Wir denken, dass dem nicht so ist. – Wir vertrauen auf den Gegenstand. Und auf die Lernenden. Der Gegenstand interessiert sie. Es macht ihnen Eindruck, dass ein Uhrwerk aus dem Jahr 1530 noch immer einwandfrei funktioniert. Viele sind von der Leistung Kaspar Brunners überwältigt und brennen darauf zu verstehen, wie die Apparatur aufgebaut ist. Zudem steuert und beeinflusst die Rationalität, mit welcher der Uhrmacher die Maschine entworfen bzw. gebaut hat, den Such- und Erkundungsprozess der Lernenden: Angesichts eines solchen Apparates kann sich die erkundende Phantasie der Lernenden nicht verlieren, und die Erkenntnisschritte laufen geordnet, rational ab. Auf den Gegenstand ist also Verlass.

### **Unterrichtserfahrungen**

Am Anfang dieser Phase kommt es oft vor, dass sich die Lerngruppen von der Aufgabe überfordert fühlen. «Das können wir doch nicht, das ist viel zu kompliziert...»<sup>12</sup>, sind Aussprüche, die man da etwa zu hören bekommt. Wie komplex der Apparat auf den ersten Blick erscheinen mag, er eignet sich in hervorragender Weise als Erforschungsgegenstand, denn die Schülerinnen und Schüler können immer wieder kleinere Entdeckungen machen (z.B. erkennen, wie ein Nebenwerk funktioniert), und diese kleinen Entdeckungen motivieren sie, weiterzufahren.

<sup>12</sup> Unter anderen Valerie Knoll und Lucia Kräuchi anlässlich des Lehrstückdurchgangs im September 2003.

Erfahrungen mit Arbeitsgruppen lassen darauf schliessen, dass oft das Pendel als das sich bewegende, Lärm verursachende Element die Aufmerksamkeit der Lernenden auf sich zieht. Sofort wirft es Fragen auf: Ist es die antreibende Kraft?<sup>13</sup> Hält das Pendel alles in Bewegung? Wie kann es sich aber selbst in Bewegung halten? Ist das Knacken, das durch Pendel und oberes Zahnrad ausgelöst wird, der Sekundenschlag? – Der Kontrollblick auf die Uhr zeigt, dass dies nicht der Fall ist. Die Lerngruppen, die mit dem Pendel beginnen, verfolgen in der Regel die Bewegung von der Pendel-Querstange über das Kronrad und die Radübersetzungen bis zum Hauptrad und bemerken, dass sich diese Räder bei jedem Ticken etwas vorwärtsbewegen. Im Gegensatz dazu gibt es im hinteren Bereich des Metallgehäuses Räder, die absolut immobil bleiben. Es gibt Lernende, die, auf dieser Erkenntnis aufbauend, die Zähne der Zahnräder zu zählen beginnen. Sie gehen von den drei Sekunden des Pendelschlags aus, berechnen die Drehdauer aller Räder bis hin zum Hauptrad und kommen auf diese Weise darauf, dass sich dieses in der Stunde einmal herumbewegt.<sup>14</sup>

Die Arbeitsgruppen, die nicht so recht wissen, wie sie die Aufgabe anpacken sollen, erhalten nach 15 Minuten einen Anstoss, denn da beginnt sich das Viertelstundenschlagwerk zu bewegen. Oft erschrecken die Lernenden, wenn das einleitende Knackgeräusch ertönt und sich das Rad laut schnurrend zu drehen beginnt. Was das wohl gewesen ist? Die Schülerinnen und Schüler schauen auf die Uhr und merken, dass eben eine Viertelstunde vorbeigegangen ist. So wird das Viertelstundenrad für gewisse Gruppen der erste Bereich, den sie an der Uhr verstehen: Sie beobachten, dass das Werk deblockiert wurde und dass dies vom Noppensystem des grossen Rades, das im Zentrum der Uhr liegt, ausging. Da an dessen Rückseite vier Noppen angebracht sind, kommt schnell die Vermutung auf, dass es sich bei diesem Zahnrad um ein Stundenrad handeln könnte. Gespannt warten die Lernenden um die halbe Stunde auf das Auslösen des zweiten Viertelstundenschlages und verstehen schon besser, wie der Mechanismus funktioniert. Vielleicht merken sie, dass vom Viertelstundenrad ausgehend ein anderes Werk ausgelöst wird, nämlich das Stundenschlagwerk, und dass der Auslösemechanismus auf genau gleiche Art passiert: durch eine Noppe, welche eine Stange nach oben drückt, was zur Deblockierung des Werkes führt. Um die runde Stunde wird diese Hypothese überprüft, und sie bestätigt sich.<sup>15</sup>

Wieder eine andere Gruppe geht von einem Nebenwerk, z.B. dem sehr auffälligen Blasebalg des Hahnes aus und fragt sich, was dieser Apparat soll. Die Lernenden sehen, dass das Uhrwerk durch Drähte, die über ihren Köpfen verlaufen, mit einer kleinen Rädchen-Apparatur an der Aussenseite des Uhrwerkgehäuses verbunden ist. Da sich hier über eine lange Zeit nichts tut, können die Lernenden untersuchen, auf welche Weise die kleine Apparatur mit dem Ganzen verknüpft sein könnte. Die Gruppe entdeckt aufs Mal, dass die Auslösung von den Noppen an der Vorderseite des grossen Rades her kommt. Kurz vor der runden Stunde kräht nun der Hahn, und erste Hypothesen, auf welche Weise dies genau vor sich geht, können überprüft werden.

Überhaupt bringt die Auslösung aller Nebenwerke zur runden Stunde wichtige Informationen. Denn ausgehend von den Kenntnissen, welche die Lernenden vom Figurenspiel der Ostfassade erworben haben, lässt sich im Innern zumindest ansatzweise rekonstruieren, welche Apparate diese Prozesse auslösen: das Bärenspiel etwa, oder den dreifachen Hahnschrei, das Glöckchenziehen durch den Narr, den Glockenschlag im Glockengehäuse, also im Dachstuhl des Turms.

<sup>13</sup> Aus einem Schülerbericht: «Wir dachten von Anfang an, dass das Pendel alles antreibt, doch nach und nach wurde uns bewusst, dass das grosse Rad einen viel grösseren Einfluss auf das Uhrwerk hat, als wir dachten». (Andrea Adamina / Nina Luginbühl, 18.09.03)

<sup>14</sup> Erstaunlich war für uns etwa, wie rasch die beiden Quartanerinnen Christine Riniker und Deborah Zullian am 17.09.03 erkannten, dass man nur vorwärtskommt, wenn die Zähne gezählt werden. Die Schülerinnen beschränkten den folgenden Weg: Das Kronrad hat 17 Zähne und wird durch die Pendelbewegung vorwärtsgetrieben. Da ein Pendelschlag 3 Sekunden benötigt, dreht es sich in 51 Sekunden einmal um die eigene Achse. Diese Achse weist weiter unten ein trommelartiges Stäbchenrad auf, das sich also auch in 51 Sekunden einmal herumdreht. Dieses Stäbchenrad hat 10 Zähne und greift in ein grösseres Zahnrad mit 50 Zähnen ein (siehe die Grundskizze, Seite 21 – Rad 8), das sich also im Verhältnis 10/50 verlangsamt, d.h. 255 Sekunden für eine Umdrehung braucht. An der Achse dieses Rades treibt ein 9er-Zahnradchen (Rad 10, Skizze) das grosse Rad (Zahnrad 11, Skizze) an, das 126 Zähne hat, das sich also gegenüber den 255 Sekunden Drehzeit der Räder 8 und 10 noch einmal, nämlich im Verhältnis 9/126, verlangsamt. Das ergibt eine Drehzeit von 3570 Sekunden, was approximativ, aber nicht ganz genau, einer Stunde entspricht (Abweichung in der Rechnung der beiden Schülerinnen: 30 Sekunden).

<sup>15</sup> Siehe hierzu im Anhang A1, Seite 55f

Wieder eine andere Arbeitsgruppe fängt bei der Achse des 24-Stundenzeigers an, verfolgt diese über die vierfache Brechung bis zum Hauptrad und erkennt dessen Wichtigkeit rasch. Von hier aus verzweigt sich der Erkundungsweg: eine Fährte führt via Kordel in den Turmschaft zu den Gewichtsteinen; die andere über die Zahnräder zurück zum Pendel.

Eine weitere Gruppe geht von mechanisch-physikalischen Überlegungen aus und fragt sich, warum, d.h. durch welche Energie, die Uhr in Bewegung gesetzt wird. Rasch kommen die Lernenden auf die Gewichtsteine und bauen ihren Erkenntnisgang von dort aus auf. Sie merken, dass es mehrere Gewichtsteine hat, dass also mehrere Apparaturen vorhanden sein müssen. Auffällig ist das Hauptseil, das ein grosses Rad anzieht, welches sich bei jedem Tickgeräusch ganz langsam vorwärtsbewegt. Die anderen Räder, an denen ebenfalls Spannseile angebracht sind, scheinen blockiert zu sein. – Auch hier ermöglichen Viertelstundenschlag und Stundenschlag, aber auch die Auslösung der Figurenspele zur runden Stunde, weitere Erkenntnisse.

Die Arbeitsgruppe erkennt, dass das Uhrwerk in zwei Partien geteilt werden kann:

- in einen Bereich von sich regelmässig bewegenden bzw. kontinuierlich vorwärtsgetriebenen Elementen (vom Pendel über die Zahnradübersetzungen bis zum Hauptrad, und von dessen Achse aus zu den Zeigern der Uhr)
- in einen zweiten Bereich mit blockierten Apparaturen, die nur periodisch (alle Viertelstunden oder alle Stunden) ausgelöst werden.

Wir sehen: Die Erkundenden können ganz unterschiedliche Wege gehen. Und jeder dieser Wege führt irgendeinmal zum Hauptrad und deckt dessen zentrale Funktion auf. Dass das Hauptrad das Zentrum, ja das Herz, der ganzen Apparatur sein muss, erkennen also alle, aus welcher Richtung sie auch kommen mögen.

Die explorative Lernphase birgt indessen auch gewisse Gefahren und Schwierigkeiten. So ist es möglich, dass eine Arbeitsgruppe irgend einmal in eine Sackgasse gerät, denn am Anfang ist niemandem klar, welche Beschäftigung dem Verständnis des Gesamtwerkes dienlich ist und welche nicht. So hat sich eine Gruppe einmal während fast einer Stunde mit dem Gewichtverstärker, der jeweils für das Aufziehen der Uhr benötigt wird, beschäftigt und ist doch nicht darauf gekommen, was dieser Gegenstand genau soll.<sup>16</sup> Eine andere Gruppe begnügte sich mit dem groben Erfassen der einzelnen Bereiche des Apparates (Gewichtstein als Motor, Hauptrad zur Auslösung der Nebenwerkfunktionen, Pendel als Hemm- und Regulationsapparat) und kam nicht auf die Idee, die Umdrehzeiten der einzelnen Zahnräder zu messen. Weil diese Gruppe im Erkenntnisprozess recht schnell vorwärtsgekommen war, erklärte sie bereits nach der Hälfte der zur Verfügung stehenden Zeit, den Arbeitsauftrag erledigt, das Uhrwerk verstanden zu haben.<sup>17</sup>

Hier wird eine der grössten Schwierigkeiten des Lehrstückes erkennbar: Ab wann kann eigentlich genau gesagt werden, dass das Uhrwerk verstanden bzw. entschlüsselt ist? Und wie bewegt man Arbeitsgruppen, die sich mit einer minimalen Erkenntnis zufrieden geben und nicht erkennen, dass das Verständnis weiter vertieft werden kann, dazu, weitere Erkundungen am Uhrwerk zu vollziehen?

<sup>16</sup> Wie oben erwähnt, birgt der Untersuchungsgegenstand durch seine klare Gliederung und durch seine Funktionalität relativ wenige Sackgass-Gefahren. Als eine solche erweisen sich im Unterricht etwa die an gewissen Nebenwerk-Achsen angebrachten Windflügelchen, welche durch ihre propellerartige Form und durch ihr lautes Schnurren während der Drehungen die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler in Anspruch nehmen können. – Die Windflügelchen sind indes nicht sehr relevant für das Verständnis des Werks, dienen sie doch bloss dazu, durch Luftwiderstand die Drehbewegung der einzelnen Nebenwerke zu verlangsamen und deren abrupte Arretierung etwas abzufedern.

<sup>17</sup> Das Gegenteil kann auch beobachtet werden. Gruppen, die erkennen, dass es sich hier um eine Aufgabe handelt, die immer komplexer wird, je mehr man bereits weiss. So etwa Christine Riniker und Deborah Zulian (September 2003): «Uns wurde langsam klar, dass wir noch viel mehr Zeit damit verbringen müssten, zu beobachten, experimentieren, messen und rechnen, um alle diese Funktionen zu verstehen.»

## 5. Szene: Erkenntnisse diskutieren, sich versichern («verstehen und gestalten»)

Ort: Klassenzimmer / Zeitbedarf: ca. 2 Lektionen

Kurzbeschreibung: Vorbereitung eines Kurzvortrags, den die Gruppe am nächsten Tag in der Uhrkammer zu halten hat. Zwei Fragestellungen:

- a) Welchen Weg haben wir gemacht (einzelne Tätigkeiten und Erkenntnisschritte), bis wir das Uhrwerk verstanden haben?
- b) Wie liesse sich das Uhrwerk einem Laien möglichst anschaulich erklären?

### Beschreibung

Die Lernenden werden nun aufgefordert, die Notizen des Zytglogge-Besuchs zur Hand zu nehmen und die beiden Fragen zu beantworten.

Die erste Frage zielt auf den Arbeitsprozess: Welchen Weg haben wir beschritten?

– Hier beschreiben die Lernenden Schritt für Schritt, was sie genau gemacht haben: Wie sind sie eingestiegen? Was waren die ersten Erkenntnisse, wo gab es Sackgassen, was genau hat weitergeholfen, wo sind sie nicht weitergekommen. Was bliebe noch zu tun?

Es geht um eine erste Form der Reflexion des eigenen Prozesses, zumindest um eine Vorstufe dazu.

Die Bearbeitung des zweiten Auftrages ist ein Kernpunkt des Lehrstücks: Einer aussenstehenden Person, z.B. einem Touristen, der den Zytglogge besichtigt, soll eine optimale Erklärung des Uhrwerks abgegeben werden. – Was sagt man da zuerst, wie baut man die einzelnen Schritte am besten auf, damit der Zuhörende nachkommt und eine möglichst umfassende Kenntnis der Funktionsweise der Uhr gewinnt?

Die Beantwortung dieser Frage geschieht schriftlich, als Vorbereitung eines Kurzvortrages für die Klassenkameraden bzw. -kameradinnen am Objekt selbst.

### Begründung

Es geht in dieser Szene um eine Verarbeitung der Notizen und um eine Systematisierung der Erkenntnisse. Da die Zeit, in der man sich im Turm aufhalten darf, begrenzt ist, müssen solch weiterführende Arbeitsphasen ins Schulzimmer verlegt werden. Indes, nur eine lästige, situationsbedingte Notwendigkeit ist das nicht, denn die Verarbeitung der gewonnenen Erkenntnisse an einem anderen Ort, dem Klassenzimmer, erfordert eine hohe Erinnerungsleistung.

Die Beobachtung am Objekt wird hier durch eine Art Rekonstruktion des Uhrwerks vor dem geistigen Auge ersetzt. Erst da werden den Lernenden die «Löcher» der vorderen Arbeitsphase, also das während der Beobachtungen in Szene 4 Versäumte, bewusst.

Die verschiedenen Gruppen, die bisher sehr disparat gearbeitet haben, bringen nun durch die Beantwortung der beiden Fragen ihr Material und ihre Kenntnisse in eine ähnliche Form. Das erhöht die Vergleichbarkeit der Gruppenarbeiten und ermöglicht einen besseren Austausch, wie er in der nächsten Phase, Szene 6, intendiert ist.

Zudem werden drei Tätigkeiten eingeführt, die im weiteren Verlauf des Lehrstückes, das ja nach dem Prinzip des spiralförmigen Curriculums aufgebaut ist, wieder vorkommen werden:

- a) Die Reflexion des eigenen Lehrgangs: das sich Bewusst-Machen, welche Strategien weitergeholfen, welche unfruchtbar gewesen sind.
- b) Das Ringen um eine möglichst präzise Beschreibung des Uhrwerks und das schriftliche Dokumentieren desselben: Die Lernenden müssen hier ihre Notizen verarbeiten. Die Erkenntnisse werden nun in eine stimmige Form gebracht und somit systematisiert.
- c) Das Vortragen der Erkenntnisse zuhänden Dritter: Auch da geschieht eine Systematisierung der Erkenntnisse und ein Transfer, indem das bisher Eruierte auf seine Mittelbarkeit bzw. Erklärbarkeit und auf seine Relevanz für das Verständnis des Uhrwerks hin geprüft wird.

### Unterrichtserfahrungen

Erste Durchgänge haben gezeigt, dass diese Phase dann schwierig wird, wenn sich gewisse Arbeitsgruppen in der vorderen Szene zu wenig Notizen gemacht haben und die Konstruktion des Uhrwerks aus dem Kopf nicht mehr zu Stande bringen. Aus diesem Grunde wurde für diese Phase ein Videofilm angefertigt, auf dem jeder Bestandteil der Uhr in seiner Funktionsweise noch einmal medial betrachtet werden kann.

Die verbindliche Forderung, die Erkenntnisse den Klassenkameradinnen und -kameraden am nächsten Tag in einem Kurzreferat vor Ort vorzustellen, erhöhte in den bisherigen Durchgängen die Ernsthaftigkeit, mit welcher dieser Auftrag erledigt wurde.

## 6. Szene: Vorträge im Turm

Ort: Zytglogge / Zeitbedarf: 2 bis 3 Lektionen

Kurzbeschreibung: Gruppenvorträge; gegenseitige Hilfe bei der Klärung von noch nicht Verstandenem.

### Beschreibung

Bevor die Vorträge anfangen, erhalten die Schülerinnen und Schüler noch 20 Minuten Zeit, um gewisse Fragen und Unklarheiten, die sich am Vortag bei der Vorbereitung ergeben haben, zu klären. Dann tragen die Gruppen ihre Erkenntnisse vor. Schliesslich werden die einzelnen Vorträge besprochen: Was hat überzeugt, was weniger?

Am Schluss der Szene wird den Lernenden bereits der Auftrag der nächsten Arbeitsphase bekannt gegeben: Zu den zwei Fragestellungen des Vortrags (Beschrieb des Arbeits- bzw. Erkenntnisprozesses anlässlich der Szene 4 einerseits; möglichst optimale Beschreibung des Uhrwerks zuhanden eines Uneingeweihten andererseits) muss ein Abschlussbericht verfasst werden. – Bevor der Turm verlassen wird, haben die Lernenden die Gelegenheit, letzte Unklarheiten zu bereinigen und sicherzustellen, dass sie das Uhrwerk nun wirklich verstanden haben.

### Begründung /Absicht

Am Vortag, bei der Vorbereitung des Kurzvortrags, merken die Schülerinnen und Schüler, welche Beobachtungslücken in Szene 4 zurückgeblieben waren. In den 20 vorbereitenden Minuten erhalten sie die Gelegenheit, diese Lücken durch eine erneute Beobachtung des Uhrwerks zu tilgen. Damit erfassen sie den Apparat immer besser.

Auch der darauffolgende Austausch dient diesem Ziel: Die Lernenden sehen, auf welcher unterschiedlichen Art und Weise die einzelnen Gruppen vorgegangen sind. Bei diesem

Austausch vertiefen sich die Erkenntnisse. Jede Gruppe umreist auf ihre Art die einzelnen Elemente der Uhr, jede Gruppe setzt dabei andere Schwerpunkte und verwendet für ein Phänomen andere Worte und Formulierungen.

Die Referenten erhalten ein kurzes Feedback, das ihnen hilft, den eigenen Arbeitsgang zu überdenken und das Produkt im nächsten Arbeitsschritt (Szene 7) zu optimieren. Mit dem kollegialen Austausch wird schliesslich eine Tätigkeit eingeführt, die am Schluss der Szene 7 wieder aufgegriffen werden soll: diejenige des Feedback-Gebens und -Erhaltens.

### Unterrichtserfahrungen

Die Durchgänge haben gezeigt, dass die Lernenden motiviert sind zu erfahren, wie die Kameraden den gleichen Auftrag ausführen. Zwei Schwierigkeiten haben sich hier indessen gezeigt:

- Die Schülerinnen und Schüler sind bei den Kurzvorträgen oft etwas knauserig mit ihren Erklärungen. Und zögerlich verläuft in der Regel auch das kollegiale Kommentieren im Anschluss an ein Referat. Hier muss die Lehrperson durch gezielte Rückfragen mehr Informationen aus den referierenden Gruppen herauszuholen und eine vertiefte Diskussion in Gang zu bringen versuchen.
- Der immer gleiche Ablauf während der Vorträge kann, wie gewisse Unterrichtserfahrungen gezeigt haben, zu einer Sättigung führen. Es empfiehlt sich deshalb, die Klasse zu teilen, damit nicht mehr als 5 bis 6 Vorträge angehört werden müssen.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Siehe hierzu (d.h. zum Thema der Klassenteilung) Seite 48

## 7. Szene: Auswertung: Ergebnissicherung, Dokumentation

Ort: Schulzimmer / Zeitbedarf: 4-5 Lektionen

Kurzbeschreibung: Erkenntnissicherung durch Dokumentieren; Gestalten eines Heftes zur Funktionsweise des Zytglogge-Uhrwerks. In der Dokumentation behandelt werden wieder die beiden Fragestellungen des Kurzvortrags:

- a) Welchen Weg haben wir gemacht (einzelne Tätigkeiten und Erkenntnisschritte), bis wir das Uhrwerk verstanden haben?
- b) Wie liesse sich das Uhrwerk einem Laien möglichst anschaulich erklären?

Gegenseitige Begutachtung der Berichte: Meta-Reflexion als selbstbeurteilende und fremdbeurteilende Tätigkeit.

### Beschreibung

Die Arbeitsgruppen ergänzen die Notizen ihres Vortrags und giessen diesen in eine breiter gefasste Dokumentation um. Es ist den Lernenden von Anfang an klar, dass der Bericht benotet wird. Die Beurteilungskriterien sind:

- Sachliche Richtigkeit: Sind die Beschreibungen korrekt? Zeigen sie, dass die statischen Gesetze, die im Uhrwerk vorkommen (Pendelgesetz, Zahnradübertragungen) verstanden wurden?
- Informationsgehalt (-dichte):
  - a) Wie genau und wie breit wurde der Arbeitsprozess protokolliert und dokumentiert (inklusive die reflektierenden Hinweise zu allfälligen Sackgassen, zu Highlights im Sinne erhellender Durchbrüche etc.)
  - b) Wie genau und wie breit wurde das Uhrwerk beschrieben? (Wie viel wird im Bericht wiedergegeben? Sind auch die genauen Zahlen- und Übersetzungsverhältnisse vorhanden?)
- Aufbau und Klarheit des Uhrwerk-Beschriebs (kommunikatives Moment): Ist der Aufbau des Berichtes logisch, und sind die Erklärungen klar und verständlich, so dass er einer aussenstehenden Person verständlich wird?
- Ästhetisches Moment (Wie sorgfältig und schön wurde der Bericht gestaltet?)

Auch in dieser intensiven Arbeitsphase kommt das bereits in Szene 5 eingesetzte Video zum Tragen. Die Unterrichtenden stellen zudem eine CD-Rom mit Fotos zur Gesamtansicht und zu einzelnen Details des Uhrwerkes zur Verfügung, die, zu Illustrationszwecken, entweder digital in den eigenen Bericht eingebaut oder ausgedruckt und eingeklebt werden können.

Am Schluss dieser Einheit werden die entstandenen Berichte den anderen Gruppen zur Lektüre vorgelegt. Die Lernenden geben einander anhand eines Fragebogens schriftliche Rückmeldungen. Aus Kohärenzgründen werden die oben deklarierten Beurteilungskriterien aufgenommen:

- Frage 1: Stimmen die Fakten? Begründet, indem ihr konkret aufschreibt, was stimmt und was nicht stimmt.
- Frage 2: Wurde das Wichtigste erwähnt? Was fehlt allenfalls noch?
- Frage 3: Würde sich ein Tourist, der den Zytglogge zum ersten Mal sieht, das Uhrwerk aufgrund des vorliegenden Berichtes erklären können? Begründet auch hier: Woran liegt es, dass es gelingen oder nicht gelingen könnte?
- Frage 4: Findet ihr das Heft schön? Was ist an der Gestaltung konkret gelungen, was nicht?

Bevor die Schülerinnen und Schüler die Feedbacks der anderen Arbeitsgruppen zu lesen bekommen, verfassen sie eine Selbstbeurteilung (wiederum anhand der oben genannten Kriterien).

Alle Kommentare (Selbst- und Fremdevaluationen) gehen dann an die Lehrpersonen, welche ihrerseits einen Korrekturbericht verfassen. So erhalten die Arbeitsgruppen am Schluss eine umfassende Rückmeldung: kollegiales Feedback, Selbstbegutachtung, Lehrerbeurteilung.

### Begründung

Der Bericht ist das eigentliche Kernstück der Gruppenarbeit. Es entsteht ein Produkt, mit dem sich die Schülerinnen und Schüler identifizieren.

Sie erhalten nun dafür einen grossen Zeitraum und verarbeiten und dokumentieren das, was sie bisher gemacht haben. Dadurch wird die Phase des eigentlichen Erarbeitens abgeschlossen.

Beim Ausformulieren und Dokumentieren der Ergebnisse werden die Erkenntnisse gesichert. Das Umsetzen in das Medium der Sprache und der Skizze kann auch als eine Variation des Denk- und Erkenntnisprozesses angeschaut werden: Nachdem im Turm in der Auseinandersetzung mit dem Uhrwerk vor allem die analysierenden Tätigkeiten zum Tragen kamen, etwa wenn die Uhr in ihre einzelnen Funktionsteile «dekonstruiert» wurde, dient der Bericht vielmehr der Synthetisierung: Bildlich gesprochen wird die Uhr hier im Geiste der Lernenden wieder «zusammengebaut», also rekonstruiert. Zudem wird der reale Gegenstand in eine mediale Repräsentationsform umgegossen.

Dieser anspruchsvolle Prozess kann nur gelingen, wenn das Uhrwerk noch einmal in seinem Gesamtzusammenhang durchgedacht wird.

Die «Neukonstruktion» ist ein wichtiger Bestandteil des Lehrstücks. Hier zeigt es sich, ob das Uhrwerk verstanden wurde oder nicht.

Damit sich der rote Faden weiter durch das Lehrstück zieht, behandelt der Bericht die beiden Leitfragen des Gruppenvortrags der vorangegangenen Szene 6.<sup>19</sup> Damit knüpfen die Lernenden an das bereits Erworbene an und optimieren durch die curricular beabsichtigte Wiederholung des Auftrags das bisherige Produkt; diesmal allerdings, als Variation zum mündlichen Vortrag, im Medium des Schriftlichen.<sup>20</sup>

Nach der Erarbeitung des Produkts erfolgt die Evaluationsphase: Die Schülerinnen und Schüler sind Experten geworden und können somit die Berichte der anderen auf kompetente Art begutachten. Ihre Könnerschaft wird genutzt. Die Lernenden werden hier zu Lehrenden.<sup>21</sup> Die Beurteilung von Fremdberichten lässt die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Elemente der Uhr ein weiteres Mal memorieren; die Kenntnisse vertiefen sich. Nicht nur in den Berichten, sondern auch in den Rückmeldungen wird ersichtlich, wer das Uhrwerk gut verstanden hat und wer nicht.<sup>22</sup>

Die Idee des Austausches ist wichtig: Man beurteilt die Berichte der anderen, und man bekommt von den anderen Urteile zum eigenen Bericht zurück. Lücken und Probleme des Produkts werden erkennbar, sicher aber auch dessen Stärken.

Darüber hinaus dient der kollegiale Austausch dazu, das eigene Tun, den eigenen Lernweg zu reflektieren.<sup>23</sup>

Mit anderen Worten: Es fördert den Aufbau von Lernkompetenzen, wenn sich die Schülerinnen und Schüler bewusst werden, welche ihrer Strategien geeignet, welche nicht geeignet waren. Sie lernen sich dadurch als Lernende besser zu verstehen. Denn nur wer das eigene Lernen wahrzunehmen vermag, kann dieses Lernen überhaupt verändern, verbessern. Und zudem führt «dialogisches, zunehmend selbständig gestaltetes, prozessorientiertes und reflexives Lernen (...) nicht nur zum langfristigen Auf- und Ausbau der Denkfähigkeit der Lernenden, sondern auch zur Ausbildung eines positiven Selbstbildes und damit zu einer produktiven Beziehung zu sich selbst als Lernendem.»<sup>24</sup>

## Unterrichtserfahrungen

Diese Phase löste in allen bisherigen Durchgängen eine unerhörte Arbeitsintensität aus.

Die entstandenen Berichte haben dank der einheitlichen Fragestellungen eine vergleichbare Form und weisen doch inhaltliche Verschiedenheiten auf. Sie zeigen auf eindrückliche Weise, dass es für die Beschreibung des Zytglogge-Uhrwerkes keinen eigentlichen Königsweg gibt. Es sind mehrere gute Varianten möglich.

<sup>19</sup> Siehe Seite 39

<sup>20</sup> In allen bisherigen Durchgängen des Lehrstücks hat sich diese Wiederholung bewährt: Man kann gut beobachten, wie die Ausführungen der Schülerinnen und Schüler immer präziser werden und wie diese das Wesentliche immer besser auf den Punkt zu bringen vermögen.

<sup>21</sup> In einer Schrift von Marco Adamina und Hans Müller, den Autoren des bernischen Volksschullehrplans, sind wir auf den treffenden Terminus des «reziproken Lernens» gestossen (vergleiche: «Der Zugang über Experimente und Erprobungen» [Seite 35]. Im Dokumentationsband «Lern- und Lehrwelten». Berner Lehrmittelverlag, 2000)

<sup>22</sup> Diese Rückmeldungen eignen sich aus diesem Grund auch sehr gut als Lernkontrollen. Sie könnten benotet werden. – Als Beurteilungskriterium würde da etwa die Frage dienen, ob jemand die Stärken und Schwächen (evtl. sogar Fehler) der Berichte einer Kameradin (eines Kameraden) erkennen und benennen kann oder nicht. – Im letzten Durchlauf des Lehrstücks 2003 war eine klare qualitative Korrelation des eigenen Berichts und der Rückmeldung zu einem Fremdbericht festzustellen: Wer einen guten Bericht verfasst hatte, schrieb jeweils auch eine präzise und kompetente Rückmeldung zu anderen Berichten.

<sup>23</sup> ... wie auch übrigens den fremden Lernweg: denn der Blick auf das Andere ist auch immer wieder ein anderer Blick auf das Eigene ...

<sup>24</sup> Reusser Kurt: «Und sie bewegt sich doch». In: die neue Schulpraxis, Heft 7/8, 1999. Zitiert nach: Müller, Hans und Adamina, Marco: «Der Zugang über Experimente und Erprobungen». Berner Lehrmittelverlag, Bern, 2000.

Exemplarisch seien ein paar Wege, wie sie in den Berichten anlässlich der letzten Durchführung im Herbst 2003 gewählt wurden, wiedergegeben<sup>25</sup>:

#### a) Der Weg vom Pendel bis zum Zifferblatt<sup>26</sup>

Wie wir bereits gesehen haben, zieht das Pendel aufgrund seiner Bewegung und seines Geräusches häufig die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler als erstes auf sich.<sup>27</sup>

Misst man den Pendelschlag, so kommt man auf eine Zeitdauer von ca. 3 Sekunden. Von hier aus lassen sich die Umdrehzeiten der einzelnen Räder bis hin zum Hauptrad ausrechnen: 3 Sek. X Kronrad 5 / Trommelrad 7 X Zahnrad 8 / Trommelrad 10 X Zahnrad 11  
= 3 Sek. X 17/10 X 50/9 X 126 = 3570 Sek.<sup>28</sup>

- Und weiter zum Zifferblatt mit der 12-Stunden-Anzeige:

3570 Sek / 8 (Zahnrad 18) X 96 (Zahnrad 19)  
= 42840 Sekunden (12 Stunden haben aber 43 200 Sekunden!)

- Oder weiter zum Zifferblatt mit der 24-Stunden-Anzeige:

3570 Sek / 8 (Zahnrad 15) X 192 (Zahnrad 16)  
= 85680 Sekunden (24 Stunden haben aber 86 400 Sekunden!)

Man erkennt, dass dieser Weg mathematisch nie genau sein kann, weil wir bei der Messung der Pendeldauer, die als Basis für die weiteren Berechnungen fungiert, immer eine kleine Unschärfe haben werden.<sup>29</sup>

#### b) Der Weg von den Uhrzeigern aus

Die Umdrehung der Uhrzeigerachsen sind eine fixe Grösse, von der aus sich die Zahlenkombinationen im Uhrwerk genau berechnen lassen.

- Vom Zifferblatt mit der 12-Stunden-Anzeige aus:

12 Stunden (=43 200 Sek.) / Zahnrad 19 X Zahnrad 18 / Zahnrad 11 X Trommelrad 10 / Zahnrad 8 X Trommelrad 7 / Kronrad 5 = 43 200 Sek. / 96 X 8 / 126 X 9 / 50 X 10 / 17 = 3.03 Sek. (die Dauer einer Pendelbewegung)<sup>30</sup>

- Oder vom Zifferblatt mit der 24-Stunden-Anzeige aus:

24 Stunden (= 86 400 Sek.) / Zahnrad 16 X Zahnrad 15 / Zahnrad 11 X Trommelrad 10 / Zahnrad 8 X Trommelrad 7 / Kronrad 5 = 86 400 Sek. / 192 X 8 / 126 X 9 / 50 X 10 / 17 = 3.03 Sek. (= die Dauer einer Pendelbewegung)

<sup>25</sup> Die im Folgenden angezeigten Zahnradnummern beziehen sich immer auf die Grundskizze auf Seite 21

<sup>26</sup> Christine Riniker und Deborah Züli, September 2003: Die beiden Schülerinnen gehen vom Pendel aus und merken sehr rasch, dass sie nur weiterkommen, wenn sie die Zähnezahl der Zahnräder zählen und die Umdrehgeschwindigkeiten der verschiedenen Achsen berechnen. Sie sind die ersten der Klasse, die auf mathematischem Weg dazu kommen, dass sich das Rad des Gehwerks einmal in der Stunde dreht.

<sup>27</sup> Kevin Fiebelkorn (September 2003) interessiert sich als Einziger der Klasse sofort für die spannende Frage, weshalb denn das Pendel nicht zu schwingen aufhöre. Er vermutet ein Perpetuum mobile, verrennt sich dann aber, nur noch diese Fragestellung verfolgend, in eine komplizierte und unpräzise Beweisführung. – Es musste klaggestellt werden: Da wir einen Energieträger haben, den Gewichtsstein, kann beim Zytglogge-Uhrwerk nicht von einem Perpetuum mobile gesprochen werden.

<sup>28</sup> Die Nummerierungen der Zahnräder auf dieser und auf den folgenden Seiten beziehen sich auf die Grundskizze des Uhrwerks auf Seite 21.

<sup>29</sup> Gerade diese Unschärfe ist es, welche Michael Zimmermann und Damian Amrain dazu bewegt hat, zuerst einmal die Umdrehzeit des Hauptrades auf genauere Art zu berechnen. Sie geben ihren ersten Berechnungsansatz, der, wie jener von Christine Riniker und Deborah Züli, vom Pendel ausgegangen ist, auf und beginnen bei dem, was ihnen als sicher erscheint, nämlich bei der Umdrehzeit der Stundenweiserachsen. (Siehe im Folgenden Weg b!)

<sup>30</sup> Michael Zimmermann und Damian Amrain kommen als erste auf eine mathematisch verlässliche Berechnung der Pendelzeit. Damit können sie die Unschärfe, die beim Messen der Pendeldauer vorhanden ist, umgehen und den Pendelschlag auf die Hundertstelsekunde genau angeben (3,03 Sek.).

Die erwähnte Unschärfe des Messens liess sich, nebenbei gesagt, dadurch reduzieren, dass nicht nur die Zeit eines einzelnen Pendelschlages, sondern jene mehrerer Pendelbewegungen gemessen wird. Die gesuchte Pendelzeit ergibt sich dann mittels Division dieser Zeit mit der Anzahl Pendelbewegungen.

### c) Der Weg von den Gewichtsteinen zur Zeitmessung<sup>31</sup>

Wir finden im Turmschacht verschiedene Gewichtsteine, die an doppelten Rollen hängen. Das Seil des grössten Steines ist auf der Trommel des Hauptrades aufgewickelt. Der Gewichtstein sorgt also für die kontinuierliche Drehbewegung des Rades und, weil ja alle anderen Räder bis zum Pendel zurück mit diesem verhängt sind, für das Vorwärtskommen des ganzen Gehwerks. Da die Höhe des Schachts eine Gangdauer von 27 Stunden erlaubt, muss der Stein jeden Tag von Hand aufgezogen werden.<sup>32</sup>

Gewichtstein und Seil treiben also das Hauptrad/Stundenrad (Zahnrad 11) an. Dessen Drehbewegung setzt über das vorher analysierte Zahlenverhältnis die beiden Stundenweiser der Ostfassade in Bewegung.<sup>33</sup> Das Hauptrad/Stundenrad ist antreibende Kraft der Stundenweiser und wird durch das Zahnradsystem hinter ihm, d.h. in Richtung des Pendels, gehemmt.<sup>34</sup>

### d) Der Weg von einem Nebenwerk, etwa dem Viertelstundenschlagwerk, zum Gehwerk<sup>35</sup>

Das Viertelstundenschlagwerk ist die meiste Zeit blockiert. Immer nach 15 Minuten wird es für einen kurzen Moment deblockiert und kommt, durch ein Zugseil mit Gewichtstein angetrieben, in geräuschvoller Weise in Gang.<sup>36</sup> Der Mechanismus der Deblokierung wird durch vier an der Rückseite des Hauptrades angebrachte Noppen verursacht. Das Hauptrad weist, wie auch das Viertelstundenrad, ein Zugseil auf; auch es wird durch die Kraft eines Gewichtsteines angetrieben. Vom Hauptrad lassen sich nun wieder die Wege vorwärts zum Uhrzeigersystem und zurück zum Pendel beschreiten.<sup>37</sup>

31 Valery Knoll und Lucia Kräuchi September 2003: Die beiden Schülerinnen gucken als erstes in den Turmschacht und lassen sich von den vielen Gewichtsteinen beeindrucken. Sie merken, dass jeder Gewichtstein ein eigenes Werk betreiben muss, und sie versuchen, das Funktionieren dieser Einzelteile zu verstehen. Mit der Zeit erkennen sie deren Funktionen und Zusammenspiel. – Relativ rasch sehen sie, dass die Kordel, die auf die Seilwalze des Gehwerks geht, besonders wichtig ist, denn dieses Seil muss für den Zug quer durch das Uhrwerk bis zum Pendel verantwortlich sein. Die Grundüberlegung, von wo aus die Energie komme, lässt einen anderen Schüler, Christoph Ischi, ebenfalls von den Gewichtsteinen ausgehen. – Während es bei den beiden Schülerinnen eine zufällige Beobachtung war, welche sie an diesem Ort anfangen liess, war es bei Christoph eine physikalische Überlegung: «Wie, durch welches Gewicht oder durch welchen Antrieb, kommt die Uhr überhaupt in Gang?», fragte sich der Quartaner, bevor er mit dem Beobachten überhaupt anfang.

32 Die Beobachtung der Gewichtsteine führt die Schülerinnen und Schüler zur Einsicht, dass jemand da sein muss, der die Steine aufzieht. So fragt sich Andrea Adamina, ob denn, um den grossen Gewichtstein emporzuziehen das Gehwerk in die entgegengesetzte Richtung gedreht werden müsse und wie das denn überhaupt möglich sei.

33 Stundenrad (Zahnrad 11) / Zahnrad 15 bzw. 18 (8 Zähne) X Zahnrad 16 (192 Zähne) bzw. Zahnrad 19 (96 Zähne), das heisst: 3600 Sek. des Stundenrades / 8 X 192 = 86 400 Sek. = 24 Stunden 3600 Sek. des Stundenrades / 8 X 96 = 43 200 Sek. = 12 Stunden

34 12-Stundenrad (19) X Zahnrad 18 / Stundenrad (11) X Trommelrad 10 / Zahnrad 8 X Trommelrad 7 / Kronrad 5  
= 43 200 Sek. / 96 X 8 / 126 X 9 / 50 X 10 / 17 = 3.03 Sek. Pendelzeit.

35 Da sich just zum Zeitpunkt, da Andrea Adamina und Nina Luginbühl (September 2003) ihre Erkundung anfangen, das Viertelstundenschlagwerk dreht, setzen die beiden Schülerinnen hier an. Sie erkennen rasch, dass es durch die Noppen des Hauptrades ausgelöst wurde. Danach achten die Quartanerinnen auf die Verknüpfung des Werkes mit der Stundenschlagapparatur. Schliesslich kehren die Schülerinnen zum Gehwerk zurück und suchen von hier aus weiter.

36 Siehe Anhang A1, Seite 55f

37 Siehe Seite 20

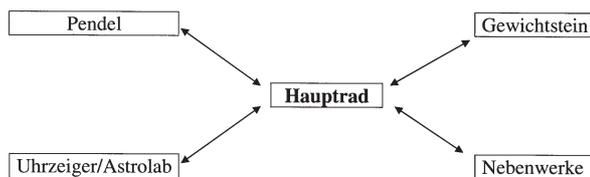
### e) Der Weg vom Hauptrad zu den anderen Bestandteilen der Uhr<sup>38</sup>

Es kann vorkommen, dass einem Schüler oder einer Schülerin gleich klar wird, dass das Hauptrad wichtig ist, dass der Erkundungsgang also hier ansetzen sollte. Das Hauptrad hat auf seiner Rückseite vier Noppen, die immer nach 15 Minuten ein Werk, welches das Viertelstundenschlagwerk sein muss, auslösen. 4 X 15 Minuten ergibt eine Stunde. Das Hauptrad kann so als Stundenrad identifiziert werden.<sup>39</sup>

Von hier aus lassen sich die weiteren Verhältnisse der Zahnräder vom Hauptrad vorwärts zu den Stundenweisern oder zurück zum Pendel ausrechnen. Von hier aus lässt sich auch die Kordel, die zum energiespendenden Gewichtstein führt, verfolgen. Schliesslich gibt das Hauptrad Auskünfte über die Auslösemechanismen der weiteren Werke (Viertelstundenschlagwerk, Bärenspiel, Hahnschrei etc.)

Fazit:

Jeder der von den Lernenden beschrittenen Wege<sup>40</sup> führte direkt zum Hauptrad und zur Erkenntnis, dass diesem eine absolut herausragende Bedeutung zukommen müsse.



Das Hauptrad ist die Stelle, an der sich die fünf Erkenntniswege kreuzen; es ist das Zentrum der Uhr, die Scharnierstelle der einzelnen Uhrbereiche: vom Hauptrad aus führt der Weg zu den Stundenziffern, von hier aus auch zurück zum Pendel, wieder von hier, vom Hauptrad aus, führt er zu den Gewichtsteinen.

Auch wenn alle fünf Möglichkeiten auf den ersten Blick als gleichwertig erscheinen, sind wir geneigt, Weg b, der vom Zifferblatt an der Aussenfassade ausgeht, den Vorzug zu geben. Wir haben nämlich gesehen, dass die Umdrehung der Stunden- bzw. der Minutenweiser die einzig verlässliche Basis für weitere Berechnungen ist. Nur wenn wir hier

ansetzen, lässt sich die Umdrehungszeit des Hauptrades mathematisch einwandfrei berechnen. Jeder andere Weg war auf Schätzungen angewiesen und überzeugte deshalb weniger.

Dass sich Weg b als die überzeugendste Variante ergibt, bestätigt auch die Grundbewegung des Lehrstückes: Motto war immer die Bewegung von Aussen nach Innen, von der Fassadenbetrachtung zur Enträtselung des Apparats in der Uhrenkammer.<sup>41</sup>

<sup>38</sup> Kavita Zainuddin und Laura Schenkel, September 2003.

<sup>39</sup> Auch Niklaus Grossen wählt im Durchgang 2002 diesen Weg und kommt rasch und elegant zur Einsicht, dass das Hauptrad ein Stundenrad sein muss.

Es gab übrigens Lernende, die auf andere, äusserst originelle Art herausfanden, dass sich das Hauptrad einmal in der Stunde um die eigene Achse drehen müsse: David Ganz, September 2003, legte zum Beispiel ein Steinchen auf eines der 30-er-Rädchen der Hauptradachse und beobachtete, wie sich dieses Rädchen drehte: Nach 15 Minuten hatte sich das Steinchen um ein Viertel, nach 30 Minuten um die Hälfte des Zahnradumfangs weiterbewegt. Das 30-er-Rädchen musste also ein Stundenrädchen sein. Vom da aus war der Weg zur Erkenntnis, dass das Hauptrad ebenfalls eine Drehdauer von einer Stunde hat, nicht mehr weit.

Bei einem Durchgang des Lehrstückes im Jahr 2002 kam eine Schülerin auf folgende verblüffend genaue Schätzung: Es braucht ca. 20 Knackgeräusche, damit sich das Hauptrad um einen Zahn weiterbewegt. Von einem Knackgeräusch zum nächsten verstreichen ca. 1,5 Sekunden. Wenn das Hauptrad 126 Zähne hat, so braucht es ungefähr 3780 Sekunden, bis es sich einmal umgedreht hat, was eine gute Annäherung an die 3600 Sekunden einer Stunde bedeutet.

<sup>40</sup> Die Varianten a bis e wurden hier in idealtypischer Manier skizziert. Es versteht sich von selbst, dass die Suchwege selten so linear verlaufen. Häufig kann man beobachten, dass die Lernenden Einzelbeobachtungen machen, die sie zuerst nicht miteinander verknüpfen können. Sie sehen zum Beispiel, dass es Gewichtsteine und dass es ein Pendel hat, aber sie erkennen nicht, wie diese zwei Elemente zusammenhängen. Oder sie beobachten den Ablauf eines Nebenwerks, beobachten dann das Tickgeräusch beim Kronenrad und als drittes die Zuglast einer Gewichtskordel, ohne all diese Teile in eine sinnvolle Reihenfolge bringen zu können. Das kann am Anfang einige Unsicherheit oder gar Hilflosigkeit auslösen. – Erst mit der Zeit werden einzelne Zusammenhänge sichtbar, z.B. zwischen Pendelbewegung, Tickgeräusch und langsamem Vorwärtsrücken der Zahnräder. Mosaiksteinchen, die anfänglich isoliert wirkten, setzen sich langsam zu einem Bild zusammen.

<sup>41</sup> Siehe Seite 9 (siehe auch Seiten 5, 19)

## 8. Szene: Reflexion, Expertenbegegnung

Ort: Zytglogge / Zeitbedarf: 2 Lektionen (spätnachmittags)

Kurzbeschreibung: Begegnung mit Zytglogge-Spezialisten;  
 a) mit einer Stewardess von Bern Tourismus (offizielle Führung miterleben; diese beurteilen)  
 b) mit dem Turmwart Markus Marti; sich das noch Unverständene von ihm erklären lassen. Sein Experten-Urteil zu den Kleingruppenberichten entgegen nehmen.

### Beschreibung

Nach der anstrengenden letzten Szene und der kräfteaufwendenden Erstellung des Berichts folgt eine eher entlastende und für die Lernenden attraktive Phase: Wir gucken einem Steward von Bern Tourismus bei einer Führung über die Schulter und achten darauf, welche Schwerpunkte der professionell geschulte Guide setzt. Im Anschluss daran wird über die Qualität der Führung diskutiert.

Es folgt dann ein Höhepunkt des Lehrstücks: die Begegnung mit dem besten Kenner des Uhrwerks überhaupt, mit dem Turmwart und Zytglogge-Richter Markus Marti. Herr Marti hat vorgängig Einblick gehabt in die Berichte der Schülerinnen und Schüler und spricht zu uns als die kleinen Spezialisten des Uhrwerks, die wir mittlerweile geworden sind. Er greift einzelne Aspekte aus den Berichten heraus, berichtigt, ergänzt das eine oder andere, erzählt uns weiteres Interessantes aus der Geschichte des Uhrwerks und zeigt uns schliesslich, auf welche Weise dieses aufgezogen wird. Denn nebst der Wartung des Uhrwerks ist Markus Marti auch für das «alltägliche» Aufziehen der Gewichtssteine verantwortlich.

### Begründung /Absicht

Die Begegnungen haben einerseits die Funktion einer Entlastung, andererseits jene einer Variation des Themas «Führung bzw. Beschrieb des Uhrwerks».

Die Lernenden sind zu eigentlichen Spezialisten mutiert und begegnen nun ihrerseits professionell geschulten Spezialisten. Sie nehmen Bezug auf ihre eigenen Kurzreferate und auf den verfassten Bericht und denken den Uhrmechanismus noch einmal durch. Die Kenntnisse vertiefen sich weiter; das Uhrwerk gewinnt immer mehr an Plastizität.

Die Begegnung mit Herrn Marti kann auch als eine eigentliche Belohnung für die grosse Arbeit, welche die Lernenden im Lehrstück bisher geleistet haben, aufgefasst werden. Zudem können die Schülerinnen und Schüler dem Spe-

zialisten Fragen zum Uhrwerk stellen, die bis dahin noch offen geblieben sind.

Ferner bereitet die Teilnahme an einer offiziellen Führung und die Begegnung mit Herrn Marti auf die letzte Aktivität des Lehrstücks vor: die Planung einer eigenen Führung für die Eltern.

### Unterrichtserfahrung

Die Lernenden haben motiviert an der Führung von Bern Tourismus teilgenommen.<sup>42</sup> Diese hat in der darauf folgenden Auswertung zu heftigen und auch kontroversen Voten, insgesamt also zu einem angeregten Fachgespräch geführt.

Zur Begegnung mit dem Turmwart Markus Marti liegen noch keine direkten Unterrichtserfahrungen vor.<sup>43</sup> Dieses Lehrstück-Element wurde erst nach der letzten Durchführung im Herbst 2003 ins Konzept aufgenommen.

<sup>42</sup> Die Rede ist hier vom Durchlauf im Sept. 2003.

<sup>43</sup> Dass dieser Schritt ganz sicher sinnvoll und gewinnbringend ist, geht doch auch auf eine entsprechende Erfahrung zurück: Das Lehrstück wurde einmal im Jahr 2001 anlässlich eines Lehrertreffens vorgestellt, und der eingeladene Spezialist Markus Marti sorgte mit seinem eindrücklichen Referat für einen krönenden Abschluss des Anlasses.

## 9. Szene: Ergebnisse anwenden («verantworten»)

Ort: Klassenzimmer / Zeitbedarf: 1– 2 Lektionen

Kurzbeschreibung: Überarbeitung der Kleingruppenberichte, Ergänzungen dazu; Vorbereitung einer Uhrwerk-Führung mit den Eltern

### Beschreibung

Die korrigierten Berichte werden ausgehändigt. Hier sind nun, bei Bedarf, Überarbeitungen im Sinn von Berichtigungen oder Ergänzungen möglich.

Es folgt ein neuer Auftrag: Ausgehend von ihren Kenntnissen und in Anlehnung, oder, je nachdem, in Abweichung an die erlebten Führungen, bereiten die Lernenden in grösseren Gruppen eine optimale Zytglogge-Führung für die Eltern, Geschwister und Freunde vor. Zielsetzung ist es, den Gästen die Funktionsweise des Uhrwerks möglichst anschaulich und einsichtig darzustellen. Die Führung berücksichtigt natürlich auch die Schaelemente der Ostfassade; denkbar sind zudem Ausführungen zur Geschichte des Turmes.

Die Gruppen konzipieren die Führung zusammen und teilen die Referatsteile unter sich auf, denn es sollen alle zum Sprechen kommen. Im Vorfeld machen sie einen Probelauf und integrieren allfällige Optimierungsvorschläge von Kolleginnen und Kollegen.

### Begründung

Im Sinne einer Repetition der erworbenen Kenntnisse wird eine bereits einmal vollzogene Tätigkeit (Kurzreferate der Gruppen in Szenen 5 und 6) noch einmal durchgeführt. Dabei wird das frühere Produkt überarbeitet und verbessert. Neue Erkenntnisse und die Erfahrungen, die anlässlich der Führung mit dem Guide von Bern-Tourismus oder mit Markus Marti gemacht wurden, können eingebaut werden. Jetzt, da die Kenntnisse vertieft, das Uhrwerk verstanden ist, suchen die Schülerinnen und Schüler in einer synthetisierenden Denkleistung noch einmal nach dem optimalen, für Laien besten Weg, das Uhrwerk zu beschreiben. Bisher entworfene Lösungen werden ein letztes Mal diskutiert und optimiert.

Soll bei dieser wiederholten Tätigkeit die Motivation der Lernenden nicht schwinden, muss die geplante Führung eine reale sein: Eltern und andere Gäste werden eingeladen, und sie freuen sich auf eine gute Erklärung des Uhrwerks.

Nützlich und für die Schülerinnen und Schüler wertvoll ist hier auch das Diskutieren von Kriterien eines guten Vortrags: Wie muss dieser aufgebaut sein? Was alles ist zumutbar und kann von einem Laien nachvollzogen werden? Wie muss erklärt werden? Wie veranschaulicht man kompliziertere Erklärungen am Objekt? Wie muss rhythmisiert werden? Wie stellt man sich vor den Zuhörern hin? Und nimmt man diese beim Sprechen wirklich wahr? Welches Sprechtempo wählt man; sind Pausen nötig? Wird auch Raum für Fragen gegeben?

### Unterrichtserfahrungen

Es wurden bezüglich dieser Szene keine Unterrichtserfahrungen gemacht. Beim letzten Durchgang im Jahre 2003 wurde der Vorbereitung der Führung zu wenig Beachtung geschenkt, was sich dann auch schmerzlich zeigte: Die Schülerreferate wiesen deutliche Mängel auf.

## 10. und letzte Szene: Führungen

Ort: Zytglogge / Zeitbedarf: ca. 1 Lektion (verteilt auf mehrere Gruppen)

Kurzbeschreibung: Abschluss: Schülerinnen und Schüler gestalten eine Führung oder mehrere Führungen durch den Zytglogge für geladene Gäste

### Beschreibung

Die Familien und Freunde sind vorgängig angeschrieben worden und haben sich für diesen Abschlussanlass angemeldet. Die Führungen sind so gestaltet, dass jede Schülerin bzw. jeder Schüler einen Teil übernimmt. In der Stube über der Uhrenkammer werden die Zytglogge-Berichte der einzelnen Gruppen und die Arbeiten, die während der gestalterischen Phase entstanden sind (Szene 2) zur Ansicht aufgelegt. Dort kann auch, falls der Turmwart es erlaubt, ein einfaches Aperitif serviert werden, damit der feierliche Charakter dieses Anlasses als offizieller Abschluss des Projektes unterstrichen wird.

### Begründung

Der Zytglogge ist nun, zum Schluss, ganz in der Hand der Schülerinnen und Schüler. Die Jugendlichen übernehmen die Verantwortung für den Anlass. Sie können ihre Kenntnisse anwenden und dabei zeigen, dass sie die komplizierte Apparatur verstanden haben.

Interessierte Leute erhalten einen Einblick in eines der grossartigsten Objekte der Berner Kulturgeschichte. Sie sehen auch in die Tätigkeiten und in die Produkte des Lehrstücks hinein, können Fragen dazu stellen und ihrer Meinung Ausdruck geben.

### Unterrichtserfahrungen

Diese das Lehrstück abschliessende Einheit wurde bisher erst einmal, durchgespielt. Die referierende Gruppe hatte die Führung in verschiedene Einheiten portioniert und diese unter sich aufgeteilt. Es fing mit einigen Erklärungen vor dem Turm an (Ostfassade), und dann ging es, der Grundbewegung des Lehrstückes gemäss, in die Uhrkammer, wo zuerst das Hauptrad als Stundenrad identifiziert wurde. Die Referierenden zeigten dann, auf welche Weise die Zeiger der Uhren an der Ostfassade angetrieben wurden, kamen auf die Gewichtsteine, den Antrieb des Ganzen, und schliesslich auf die Pendeleinrichtung zu sprechen. Auf die genauen Zahnradverhältnisse wurde dabei leider nicht eingegangen. Mehr Wert legte die referierende Gruppe auf die darauf folgende Erklärung der Nebensysteme, wobei der Vortrag so konzipiert war,

dass die Eltern nach den Erklärungen die Auslöseprozesse beobachten konnten. Schön arbeiteten die Vortragenden heraus, dass die Nebenwerke immer nach dem gleichen System der Noppen-Auslösung, der Entriegelung und des abschliessenden Einrastens funktionieren. So wurde den Gästen der Zusammenhang von Viertelstunden- und Stundenschlagwerk bewusst gemacht, und sie konnten auch nachvollziehen, weshalb das Gehwerk mit drei kleinen Zäpfen (dreimalige Auslösung des Hahnschreis) und einer grösseren Noppe (Auslösung des Bärenspiels) versehen ist. Als Abschluss der Führung wurde ein Ausflug in den oberen Bereich des Turmes unternommen: An den Modellen zur Baugeschichte wurden historische Fakten erklärt, und oben im Turm konnten die Gäste, als Höhepunkt und Abschluss der Führung, einen Blick von den zwei Fenstern auf das Dächermeer der Altstadt werfen.

Obwohl die Führung in Sachen Diktion und Erklärungslogik Mängel aufwies, war sie für alle Beteiligten von einem sehr schönen Erfolg gekrönt. Die Zuhörerschaft war dankbar und zeigte sehr grosses Interesse. Gross war die Aufmerksamkeit vor allem auch gegenüber den aufgelegten Berichten. Zudem bot der Anlass Raum für zahlreiche Gespräche zwischen Eltern, Schülern und den beiden Lehrpersonen.

Das Zytglogge-Lehrstück wurde bisher immer als Sonderwochen-Programm durchgespielt. Die Lernenden setzten sich jeweils eine ganze Woche lang mit dem Uhrwerk auseinander. Natürlich birgt die Beschäftigung einer ganzen Klasse mit einem einzigen Apparat infrastrukturelle und didaktische Schwierigkeiten: So ist die Uhrkammer klein; es ist unmöglich, dass hier über 20 Schülerinnen und Schüler produktiv arbeiten. Wollte man jede Phase mit allen im Turm verbringen, ergäben sich Wartephase, und die Lernenden würden mit der Zeit unaufmerksam.

Deshalb drängt es sich auf, die Klasse aufzuteilen und verschiedene Tätigkeiten nebeneinander zu legen. Das bedingt, dass einzelne Teile und Szenen des Lehrstücks, die vorher in linear strengem Nacheinander dargestellt worden sind, zeitlich überlagert oder gar in einer anderen Reihenfolge gebracht werden.<sup>1</sup> Auch müssen, wenn sich für die eine Klassenhälfte eine Leerphase ergibt, Zusatz- oder Zwischenbeschäftigungen ins Auge gefasst und geplant werden.<sup>2</sup>

Im Folgenden sollen ein paar solche alternative Arbeitsmöglichkeiten kurz angesprochen und beschrieben werden:

## Die Geschichte des Zytglogge

Ein Stockwerk über der Uhrkammer befindet sich ein größerer Raum mit einer Tischreihe, an der eine halbe Klasse beschäftigt werden kann, während die andere Hälfte am Uhrwerk arbeitet. Hier könnten einzelne Arbeitsgruppen die historische Entwicklung des Zytglogge aufarbeiten und diese in ihren Bericht einfügen.<sup>3</sup> Äusserst dienlich sind dazu auch die 6 architektonischen Modelle zur Baugeschichte des Zytglogge von 1220 bis 1770, welche die einzelnen Entstehungsetappen und die Umgebung des Turmes sehr anschaulich illustrieren. Ausgestellt sind diese ein Stockwerk höher, unmittelbar unter dem Dachstuhl.

Die Modelle zeigen eindrücklich, wie der Funktionswechsel des Gebäudes vom militärischen Wehrmonument über ein Gefängnis zum Uhrturm eine zunehmende Verfeinerung bzw. Verschnörkelung der äusseren Form nach sich gezogen hat.

## Aufteilung der Erkundungsaufgaben: Untersuchung der Nebenwerke

Damit sich nicht alle gleichzeitig mit dem Gehwerk beschäftigen müssen, könnten einzelne Gruppen das eine oder andere Nebenwerk genauer unter die Lupe nehmen: Viertelstunden-, Stundenschlagwerk, Bärenspiel, Hahn-

schrei. – Diese Werke weisen eine komplizierte Apparatur mit Achsen, Antriebsseil, Zahnradübersetzungen, Auslöse-, Steuerungs- und Arretierhebeln auf und verdienen, weil jedes einzelne ein Juwel ist, die Aufmerksamkeit der Lernenden.<sup>4</sup> So könnten die Gruppen eine Art Spezialistenfunktion für eines der Werke übernehmen und ihre Kenntnisse den Kolleginnen und Kollegen weitergeben.

## Beschreib-Übung: das Uhrwerk in Bewegung

Immer zur runden Stunde gerät das Uhrwerk in Bewegung. Die Übergänge vom beruhigend-regelmässigen Ticken des Pendels zum scheinbar chaotischen Losrattern der diversen Nebenwerke, dann wieder zum schlagartigen Abbruch dieses geräuschhaften Prozesses durch die Arretierung, eignen sich als visuelle oder akustische Vorlage für eine sprachliche Beschreib-Übung.

Der Wechsel von «ruhig» zu «bewegt», die verschiedenen Schlag-, Ratter- und Schleifgeräusche bedingen ein reiches Vokabular und fordern dadurch die Lernenden sprachlich heraus. Es ist spannend zu sehen, welche Worte und Formulierungen den jungen Leuten in den Sinn kommen, wenn sie die einzelnen Bestandteile und die ablaufenden Mechanismen darzustellen versuchen. Am besten gelingen jene Beschriebe, in denen der Wechsel von «ruhig tickend» zu «wild sich entladend» in den Duktus der Beschreibung hereingenommen wird, in welchen sich also die Dynamik des Apparates syntaktisch und klanglich widerspiegelt. Etwa durch Onomatopoeie, durch Metaphern und Vergleiche.<sup>5</sup>

Die Texte müssen deshalb unbedingt auch vorgelesen werden.

1 Die Physik-Einheit über die Pendelgesetze und die Zahnradübersetzungen (siehe Szene 3) kann für die eine Hälfte der Klasse, wie beschrieben, dem erforschenden Teil (Szene 4) vorgezogen, für die andere Halbklassse nachträglich angeboten werden.

2 Die optimale Unterrichtsform ist das Teamteaching.

3 Literatur hierzu: Bellwald 1984: 2 ff / ders. 1983: 28 ff / Hofer 1983: 15 ff

4 Siehe im Anhang (A1 / Seite 55ff) unseren Versuch, das Viertelstunden- und Stundenschlagwerk etwas genauer zu beschreiben.

5 Die Übung ist anlässlich des letzten Durchspiels des Lehrstückes im September 2003 eingesetzt worden. Gearbeitet wurde im Schulzimmer, mit Hilfe einer Video-Aufnahme. Es sind einzelne sehr gute Texte herausgekommen. Der benutzte Wortschatz war, der Akustik des Uhrwerks entsprechend, breit. - Näheres dazu: siehe Anhang A15, Seite 75f

Denkbar sind ebenfalls kleine Stilübungen zu Einzelteilen oder -aspekten der Uhr. Z.B.: «Das Hauptrad mit der entsprechenden Seiltrommel so genau wie möglich beschreiben» / «Die mechanische Auslösung des Viertelstundenschlagwerks sprachlich genau wiedergeben» / «Die Übertragung der Pendelbewegung auf das Kronrad darstellen» etc.

### **Das Uhrwerk im Geiste zerlegen**

Das Uhrwerk im Geiste demontieren<sup>6</sup> und es wieder zusammensetzen. Als Vorlage, oder als Kontrollzeichnung am Schluss, kann eine Skizze der mechanischen Uhr aus Meyers-Enzyklopädie dienen.<sup>7</sup>

J. Brunner hat einmal das entdeckende Lernen, also die für das Zytglogge-Lehrstück konstitutive Tätigkeit, als ein «Neuarrangieren von Material» definiert, welches uns ermögliche, «über das so zusammengetragene Material hinaus zu neuen, reflektierten Einsichten zu gelangen.»<sup>8</sup>

### **Exkursion in ein Uhrenmuseum**

Interessant wäre der Besuch eines Uhrenmuseums in La Chaux-de-Fonds oder in Oberhofen. Wenn dieser Besuch gegen Schluss der Lehrstücktätigkeit erfolgt, kann der Transfer auf andere Exempla der mechanischen Uhr erfolgen.

Bereits ein Blick in die alte Pendule des Lehrerzimmers unserer Schule zeigt, wie hoch der Transferwert des Wissens ist, das während des Lehrstücks erworben wird: Die Übertragung gelingt ohne Schwierigkeiten. Die Bestandteile der Pendule werden sofort erkannt:

- das Pendel als Hemmung
- Zahnradübersetzungen zur Regulierung der Umdrehgeschwindigkeit des Stunden- bzw. des Minutenrades
- die Gewichtssteine als Antrieb.

Auch der Blick in eine kleine mechanische Armbanduhr bietet keine Probleme mehr. Hier muss der Antrieb durch eine gespannte Feder und die Hemmung durch ein hin- und herschwingendes kleines Foliot geleistet werden.

### **Lernkontrolle zum Uhrwerk, zum Pendel und zu den Zahnradübersetzungen**

Im Verlauf des Lehrstückes werden relevante Erkenntnisse in der Mechanik gewonnen. Es ist durchaus möglich, diese in einer Lernkontrolle zu prüfen.

Im Folgenden werden Beispielfragen gezeigt. Natürlich wird man eine Auswahl treffen müssen.

Als Vorbereitung dürfen sich die Schülerinnen und Schüler einen «Spickzettel» in Form eines beschriebenen A4-Blattes machen.

<sup>6</sup> *Wie viele Einzelteile haben wir? – Diese Einzelteile zeichnen!*

<sup>7</sup> *Siehe hierzu Anhang A 16, Seite 76*

<sup>8</sup> *Brunner J. «Der Akt der Entdeckung. In: Neber, H. (Hrsg): Entdeckendes Lernen, Weinheim 1981, S. 15-29*

*Dass das Pendel für eine Hin- und Herbewegung 3.03 Sec. braucht, kann man schlecht messen. Führe deshalb den mathematischen Beweis durch, der zu dieser präzisen Zeitangabe des Pendelschlags führt.*

*Beschreibe, auf welche Weise das Viertelstundenschlagwerk und das Stundenschlagwerk ausgelöst werden.*

*Gibt es eine Erklärung, weshalb das Uhrwerk in Bewegung bleibt? Welche Faktoren sind für das erstaunliche Phänomen verantwortlich, dass das Pendel nicht plötzlich still steht?*

*Wir haben an der Aussenfassade zwei Zifferblätter, eines mit einer 12-Std.-, ein anderes mit einer 24-Std.-Einteilung. Beschreibe, wie die Zeiger dieser Uhren genau angetrieben werden.*

*Erkläre die Funktion des Pendels. Was genau würde passieren, wenn es nicht da wäre?*

*Du hast hier die Skizze<sup>9</sup> einer mechanischen Uhr in viel kleinerem Format: Es wurden einzelne Elemente des Uhrwerks auseinander genommen.*

- a) *Welche Teile des Zytglogge-Uhrwerks erkennst du im gezeichneten Modell wieder und welche Funktion haben diese Teile?*
- b) *Welche Unterschiede siehst du zur Fabrikationsweise der Zytglogge-Uhr?*

*Die Pendellänge des Zytglogge-Uhrwerks beträgt 2.5 m. Was würde passieren, wenn man:*

- a) *die Länge des Pendels auf 1.5 m reduzieren würde,*
- b) *ein anderes Gewicht anhängen würde, das doppelt so schwer ist?*

*Würde dadurch die Zeitmessung verändert? – Wenn ja, könntest du das bemessen?*

*Zeige, dass die Uhr im Sommer und Winter nicht gleich eingestellt sein kann.*

*Was muss man verändern, damit sie in beiden Jahreszeiten etwa gleich schnell ist?*

*Das Gehwerk dreht sich, wie wir es wissen, in der Stunde einmal um die eigene Achse. Die Stundenzeiger an der Ostfassade in 12 Std. bzw. in 24 Std. einmal.*

- a) *Durch welche Zahnrad-Übersetzung wird das bewirkt?*
- b) *Hätte der Uhrbauer eine andere Übersetzung wählen können? – Gib ein Beispiel dazu!*
- c) *Weshalb hat sich Kasper Brunner wohl für diese (Antwort a!) entschieden?*

### **Dem gestalterischen Moment mehr Gewicht geben**

Es ist durchaus möglich, das Projekt nicht mit dem Bericht abzuschliessen, sondern am Schluss noch einmal ein gestalterisches Produkt zu initiieren: z.B. einen dokumentarischen oder einen ästhetisch-künstlerischen Film zu drehen.<sup>10</sup>

Versucht werden kann auch eine gestalterische Umsetzung der Zahlenverhältnisse im Uhrwerk, wie sie etwa Paul Klee in seiner freien geometrischen Ästhetik anhand anderer Objekte gemacht hat. Paul Klee hat sich nämlich wiederholt mit mathematisch-geometrischen Fragen beschäftigt, dies sowohl in seiner künstlerischen Tätigkeit wie auch in seinen Schriften. Es war ein Versuch, logische und rationale Kräfte gestalterisch «durchzubilden». Klee realisierte diese Versuche in den meisten Fällen als Serien von zeichnerischen Variationen, die er zum Teil mit Lineal und Zirkel, aber auch von freier Hand ausführte. Die geometrischen Verhältnisse der Zeichnungen basierten meist auf Modellen, welche Klee aus Holzstäben und Gummibändern herstellte. Sie konnten aber auch auf den Proportionen vorgefundener Situationen, wie etwa die seines Atelierraumes basieren.

Die Zahnräder des Zytglogge, genauer gesagt die Verhältnisse der Zähne bzw. die verschiedenen Drehgeschwindigkeiten der Räder, bieten sich an, im Sinn von Klee visualisiert zu werden. Aus den im Zytglogge gegebenen Proportionen lassen sich, ganz nach Klee, mit Spiegelungen, Drehungen, Multiplikationen des Motivs verschiedene Varianten solcher Visualisierungen finden. Im Anhang befinden sich ein paar Skizzen, welche uns der Berner Künstler Laurent Schmid zu dieser Idee geliefert hat.<sup>11</sup>

*10 Ein solches Produkt entstand anlässlich eines Lehrerfortbildungskurses der Schulwarte im Juli 2001 und kann bei den Autoren angefordert werden.*

*11 Siehe Anhang A18, Seite 78*

# Schlussbemerkungen

Im Sinne eines Nachwortes soll noch einmal auf die wichtigsten Komponenten des Zytglogge-Lehrstückes hingewiesen werden.

## Der Gegenstand

Können sich junge Gymnasiastinnen und Gymnasiasten, die in unserer schnelllebig modernen Welt aufwachsen, eine ganze Woche mit nur einem Gegenstand beschäftigen?

Anfänglich zweifelten wir an unserer Absicht, das Zytglogge-Uhrwerk zum einzigen Thema einer ganzen Sonderwoche zu machen, denn wir konnten es uns nicht vorstellen, dass Jugendliche über eine so lange Zeit buchstäblich «bei der Stange» gehalten werden konnten.

Unsere Erfahrungen haben wiederholt gezeigt, dass diese Befürchtungen unbegründet waren. Die Lernenden liessen sich schnell vom Gegenstand faszinieren. Sättigung oder gar Langeweile kamen nie auf. Das spricht für das Zytglogge-Uhrwerk als Unterrichtsgegenstand. Es interessiert die Leute, auch die jungen, ja es begeistert sie z.T. sogar.<sup>1</sup> Das Uhrwerk gibt bei allem Widerstand, den es dem Erkenntnisprozess entgegenbringt, seine Geheimnisse doch nach und nach preis. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass man sich mit ihm beschäftigt, und zwar in intensiver Art: Je grösser die Lernanstrengung ist, umso reicher die Ausbeute. Nicht nur rascher Konsum, sondern auch das hartnäckige Ringen um eine komplizierte Problemlösung kann Genuss und Freude bereiten. Will man das Zytglogge-Uhrwerk verstehen, empfiehlt es sich, um Nadolny zu zitieren, «die Langsamkeit zu entdecken».<sup>2</sup> Nicht beim ersten raschen Blick, sondern beim zweiten, ja vielleicht erst beim dritten Blick eröffnet sich uns die faszinierende Welt dieses Apparates.<sup>3</sup>

## Die Methode

Wichtig ist das didaktische Prinzip des erkundend-erforschenden Arbeitens am Gegenstand. Die Lust auf Entdeckungen, die in jedem Menschen vorhanden ist, wird geweckt. Ihr wird Raum gegeben.

Lernen ist ja nie eine rezeptive Tätigkeit, sondern bedingt immer den Akt des Selbertuns. Die Schülerinnen und Schüler übernehmen dabei die Verantwortung für ihren Lernprozess. Das motiviert sie. Deshalb ist es wichtig, dass die Lehrpersonen auf jegliches Dozieren verzichten und den Lernenden nicht, wie das im Normalunterricht oft der Fall ist, didaktisch präpariertes Wissen zur Aufnahme vorlegen.

Die Gymnasiastinnen und Gymnasiasten ringen selbst um das Verständnis des Gegenstandes. Sie begreifen ihn und eignen sich ihn dadurch selbst an. Das kann nur im direkten Kontakt mit ihm geschehen. Mit anderen Worten: Die Schülerinnen lernen, Fragen an ihn zu stellen und diese durch genaues Beobachten und Folgern selbst zu beantworten. Hypothesen werden formuliert, Problemlösungen entworfen, Strategien geplant und verfolgt. Gewisse führen zum Ziel, andere nicht.

Durch diese Selbsttätigkeit gehen die Schüler von ihrem Vorwissen aus und bauen dieses durch «Reibung am realen Gegenstand» um und aus. Bekanntes wird mit Neuem verknüpft. Gelernt wird hier beim Gehen. Und mit jeder neuen Erkenntnis müssen die Strategien wieder geprüft und angepasst werden.

Mit einem Wort: Das Uhrwerk macht die Lernenden lebendig; und diese hauchen ihrerseits der technischen Apparatur durch ihr kreatives Tun und durch ihr konstruktives Denken Leben ein. – Nicht selten haben wir erlebt, dass die Jugendlichen in ihrer erforschenden Tätigkeit ganz aufgingen, kaum mehr zu bremsen waren und, Angesichts dieser «Zeitmaschine», die Zeit völlig aus den Augen verloren. Etliche vergassen sogar, dass es während des Unterrichts auch Pausen geben würde.

- <sup>1</sup> September 2003: Christine Riniker und Deborah Zulian sind mit wachsender Einsicht immer mehr über die Genialität des Uhrmachers verblüfft. «Der muss ja das alles im Voraus ausgerechnet haben? Wie konnte er das nur alles im Kopf haben? Und das 1530! Hat er sich ein Modell gemacht?» – Und sofort stellt sich auch ein biografisches Interesse ein: «Was war das für ein Mann, der vor fast 500 Jahre so geniale Gedankengänge machen konnte? Was hatte er für einen Charakter, und wie lebte er?» Siehe hierzu Anhang A 17, Seite 77. Oder Valery Knoll und Lucia Kräuchi: «Immer noch bewundern wir Kaspar Brunner, welcher ohne moderne Hilfsmittel dies Uhrwerk gebaut hat. Wir können uns nicht erklären, wie es machbar war.» (Bericht, Seite 8)
- <sup>2</sup> Vergl. Sten Nadolny: *Die Entdeckung der Langsamkeit*, München, 1983
- <sup>3</sup> Auch hier ein Bezug zum Leitbild des Gymnasiums Muristalden. Siehe den Passus «Das Lesen, auch von Bildern»: «Der erste Blick aufs Bild verrät mir nichts: Formen, Farben, beliebig; ein Einerlei. Ich bleibe auf Distanz. Das Bild, dem ich Zeit gebe (...), indem ich arbeite an ihm, wird Gestalt, fängt an zu sprechen.»

Was die Schülerinnen und Schüler motiviert und stärkt: Sie erfahren, dass nur sie es sind, die sich im Erkenntnisprozess weiterbringen. Und am Schluss wissen sie, dass sie die Erkenntnisse über das Uhrwerk selbst erworben haben.

Gewinnbringend ist auch eine andere Tätigkeit: der kollegiale Austausch unter den Lernenden. Wenn die Lernenden sich beim Erforschen und Entdecken gewissermaßen selbst lehren müssen, gerät das Erworbenene kaum in Vergessenheit.<sup>4</sup>

### Die Lehrpersonen

Die Lehrpersonen müssen bei ihrer Vorbereitung den Erkundungsgang selbst vollzogen haben, damit sie auf die Schwierigkeiten der Lernenden adäquat eingehen können. Sie unterstützen das explorierende Tun der Lernenden am besten, wenn sie selbst auch neugierig und explorativ sind. Die Entdeckerfreude der Lehrenden fördert die Entdeckerfreude der Lernenden. Dabei verlagert sich die Neugier auch stark auf den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler. Jeder Durchgang des Lehrstücks zeigte uns, wie spannend die Denkwege sind, welche die Lernenden, Entdeckenden, wählen. – Wo bleiben sie stecken, wie manövrieren sie sich aus einer Sackgasse, wann und auf welche Weise vollziehen sich ihre Schlüsselerlebnisse mit dem Unterrichtsgegenstand?

### Die Lehrstück-Arbeit als Prozess

Das hier vorgelegte Lehrstück soll keine definitive Form zeigen. Und es wird sie auch nie zeigen. Unterricht, auch jener mit und an Lehrstücken, kann nicht in einen fixen, immerzu gleich gefügten Ablauf gebracht werden.

Das Faszinierende am didaktischen Ansatz der Lehrkunst ist das nie erlahmende Suchen nach der angemessenen Form. Es ist also ein Wesensmerkmal der Lehrkunst, dass sich die Lehrstücke, mit welchen sie sich beschäftigt, immer wieder verändern.

So erging (und ergeht) es uns etwa wie Friedrich Dürrenmatt bei den Neuinszenierungen seiner Theaterwerke: Jede führte zu einer grundlegenden Überarbeitung des Stückes.<sup>5</sup>

Anders können wir uns die weitere Arbeit an diesem Zytglogge-Lehrstück nicht vorstellen: Das Prozesshafte wird bleiben. Jeder Durchgang birgt die Chance und das Potenzial zu neuer Kreation. Und so wird es, weil didaktische Arbeit immer nur Vorläufiges erreicht und ihr der Wunsch nach Optimierung inhärent ist, immer neue Fassungen dieses Lehrstückes geben.

4 Das zeigte sich etwa beim letzten Durchlauf des Lehrstückes im Herbst 2003, als die Lernenden erst mehrere Wochen nach dem eigentlichen Abschluss der Sonderwoche den Auftrag erhielten, die in Szene 10 vorgesehene Führung für die Eltern (siehe Seite 47) vorzubereiten. – Die Kenntnisse waren in ganz erstaunlicher Weise noch da und konnten sehr leicht abgerufen werden.

5 Das ist der Grund, weshalb es bei Texten Dürrenmatts oft so viele Varianten gibt. Z.B. «Die Panne».

## Verwendete Literatur

- Bellwald, Ueli. Ergebnisse der baugeschichtlichen Untersuchungen. Aus «zytglogge. Der Wehrturm, der zum Denkmal wurde. Ein Bericht zum Abschluss der Restaurierung 1981-1983», Bern 1983
- Bellwald, Ueli. Der Zytglogge in Bern. Herausgegeben von der Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte, Bern 1984
- Fraser, T. Julius. Die Zeit. Auf den Spuren eines vertrauten und doch fremden Phänomens, München 1991
- Cipolla, Carlo M. Gezählte Zeit, Bologna, 1981, - deutsche Ausgabe bei Klaus Wagenbach, Berlin 1999
- Hasler AG (Hg.). Das Uhrwerk des Zeitglockenturmes, Bern 1958
- Hofer, Paul. Der Zeitglockenturm in Stadtbild und Stadtgeschichte. Aus «zytglogge. Der Wehrturm, der zum Denkmal wurde. Ein Bericht zum Abschluss der Restaurierung 1981-1983», Bern 1983
- Kindler, Fintal. Uhren, Geschichte der Zeitmessung, Einsiedeln 1905; in Leipzig nachgedruckt
- Leu, E. z'Bärn bim Zytglogge. Bern 1982
- Marti, Markus. Das Uhrenwerk. Aus «zytglogge. Der Wehrturm, der zum Denkmal wurde. Ein Bericht zum Abschluss der Restaurierung 1981-1983», Bern 1983
- Marti, Markus. Wie funktioniert die astronomische Uhr am Zytglogge in Bern? Separatdruck aus ORION 200, Februar 1984
- Marti, Markus. Zytglogge Bern. Eine kleine Chronik der Zeitmessung, Bern 2005
- Müller, Hans und Adamina, Marco: «Der Zugang über Experimente und Erprobungen». Berner Lehrmittelverlag, Bern, 2000 (Broschüre zum Unterrichtswerk: «Lernwelten Natur – Mensch – Mitwelt»; gleicher Verlag, gleiches Erscheinungsjahr)
- Schukowski, Manfred. Die astronomische Uhr am Berner Zytglogge. In: Astronomie+Raumfahrt 36, 1992 (2)

### Dank an:

Hans Christoph Berg und Hans Ulrich Küng für die umsichtige und geduldige, immerzu anregende Begleitung unseres Prozesses

Alle Schülerinnen und Schülern für das bereitwillige Einsteigen in das Projekt

Markus Marti für die sehr nützlichen Hinweise und für die vielen organisatorischen Hilfestellungen

Laurent Schmid für sein Engagement in der frühen Konzeptphase

Walter Staub für seine grosszügige Unterstützung des Lehrkunst-Ansatzes im Fortbildungsprogramm des Gymnasiums Muristalden

Weitere Kolleginnen und Kollegen, die das Entstehen des Lehrstücks mitverfolgt und uns durch Tipps und andere Tätigkeiten, etwa Gegenlesungen und Feedbacks, weiter gebracht haben

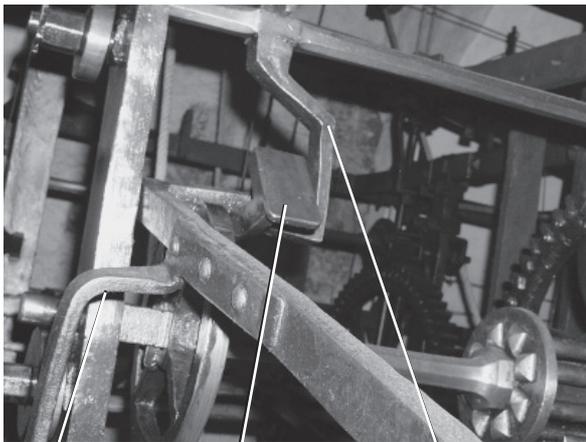
Bern Tourismus für das Entgegenkommen bei unseren Turmreservierungen.

# Anhang

## A1: Die Nebenwerke / das mechanische Prinzip

### Das Viertelstundenschlagwerk

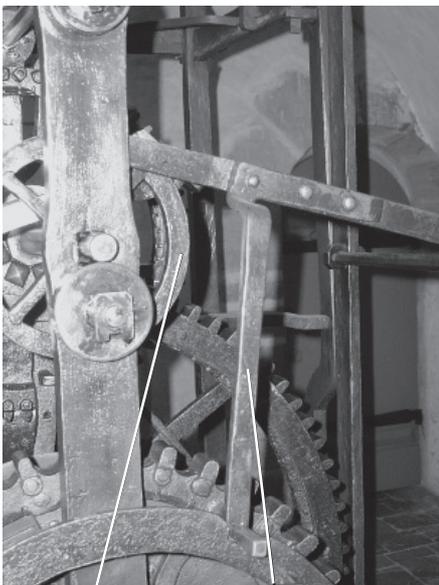
(Gesamtsicht Seite 16)



Fallhebel

Sperrarm

Ende des  
Auslösehebels

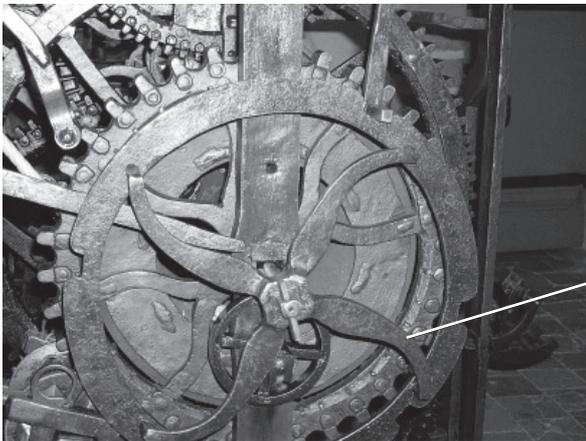


Herzrad

Fallhebel

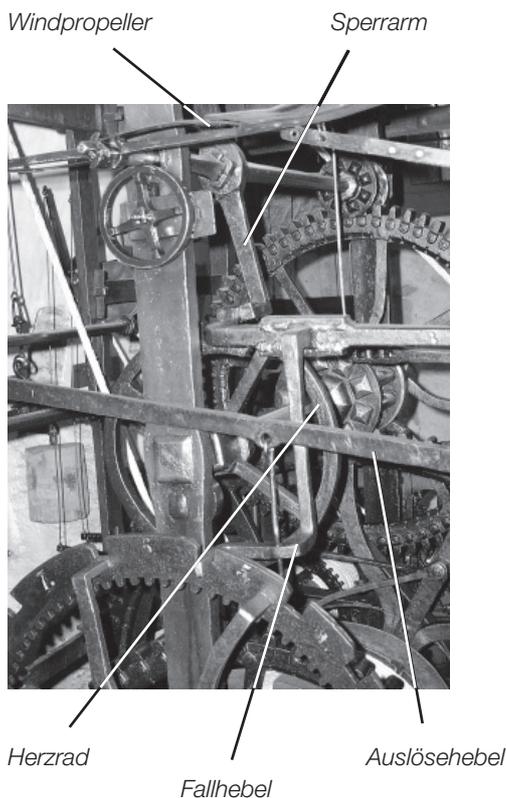
Das Viertelstundenschlagwerk besteht aus verschiedenen ineinandergreifenden Zahnrädern und aus drei Achsen. Die untere Achse ist mit einer Seiltrommel ausgestattet und mündet im so genannten Schlussrad, einem das Werk abschliessenden Rad am äusseren Rand des Uhrgehäuses. Die andere Seite dieser Achse wird mit einem grossen Rad, dem grössten dieses Werkes, abgeschlossen, welches fast im Zentrum des Uhrgehäuses liegt. Sobald das Werk in Bewegung ist, gibt dieses Rad den Impuls für das Schlagen der Viertelstundenglocke im Turm ab. Dabei wird eine gegenüber dem Rad nordwärts liegende Einzelstange je nach Anzahl Glockenschläge ein bis viermal nach oben gedrückt und löst via einen Drahtzug, der nach oben in den Turmschaft verläuft, das Schlagen der Glocke aus.

Die mittlere Achse des Viertelstundenschlagwerks, die durch eine Zahnradübertragung mit der unteren verbunden ist, enthält ein mit einer grösseren Kerbe versehenes kleineres Rad, das so genannte Herzrad. Die oberste Achse mündet, an der äusseren Seite des Uhrgehäuses, in ein optisch auffälliges Propellerrad. Fix mit dieser Achse verbunden ist der Sperrarm, der vom Fallhebel aufgehalten wird. Letzterer ruht, wenn das Werk nicht in Bewegung ist, oben in der Kerbe des Herzrades und unten in der Kerbe des Schlussrades. An der alle Viertelstunden stattfindenden Auslösung des Werkes sind drei physisch voneinander getrennte Elemente verantwortlich: der Auslösehebel, der Sperrarm und der Fallhebel. Dabei wird der Auslösehebel an seinem unteren Ende von einer der vier Noppen an der Rückseite des Stundenrades nach oben gedrückt, bis er den Fallhebel aus den Kerben des Herzrades und des Schlussrades hebt. Zuerst dreht sich, nur ganz kurz, die obere Achse des Sperrarms, was ein rasches Schnurren des Propellers verursacht. Man nennt diesen Vorgang, der dem Auslösen des Werkes vorausgeht, die «Warnung». Die Sperrarm-Achse kann sich aber nicht weiterdrehen, weil der Sperrarm vom oberen Ende des Auslösehebels aufgehalten wird. Man merkt aber, dass das Werk in Lauerstellung ist und jeden Moment in Bewegung geraten kann. Dies geschieht, wenn das untere Ende des Auslösehebels die Stundenradnuppe passiert und der ganze Hebel, brüsk und laut knackend, nach unten fällt. Als bald ist der Sperrarm freigegeben, er dreht sich, und mit ihm auch der Propeller, der durch die Erzeugung von Luftwiderstand eine bremsende Funktion hat. Vom Zugseil angetrieben, setzt sich das ganze Viertelstundenschlagwerk in Bewegung, und zwar für die Dauer, die der Fallhebel benötigt, um in die nächste Kerbe des Schlussrades zu fallen.



Automatisch ist auch das Herzrad blockiert, nämlich durch den oberen Teil des in die Kerbe fallenden Fallhebels. Die Schlagwerkapparatur steht erneut still. Wir sind nun wieder in der Ausgangslage, und es dauert eine Viertelstunde, bis sich das Werk wieder bewegen wird.

Schlussrad



### Das Stundenschlagwerk

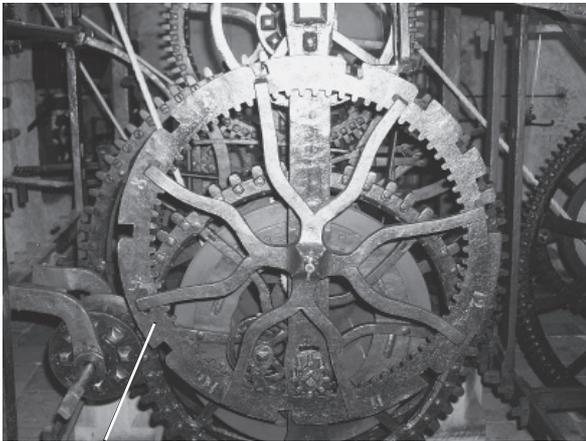
(Gesamtsicht Seite 16)

Das Stundenschlagwerk ist ähnlich aufgebaut wie das Viertelstundenschlagwerk: Radachse mit Seiltrommel und Gewichtsstein, in Schlussrad (unten) und Herzrad (oben) verkeilte Arretierstange (Fallhebel), Sperrarm an der oberen Achse, Auslösehebel, Windpropeller als Bremsinstrument. Natürlich finden sich am Schlussrad dieses Werkes zwischen den einzelnen Verankerungen für den Fallhebel nicht vier, sondern zwölf Abstände<sup>1</sup>, über welche dieser jeweils gleiten kann.

Wie beim Viertelstundenapparat vergrößern sich auch da die Abstände, so dass sich das Werk für die ersten Glockenschläge kurz, für die letzten lange dreht. In einem halben Tag (12 Stunden) hat das Stundenwerk also 78 Schläge auszuführen.

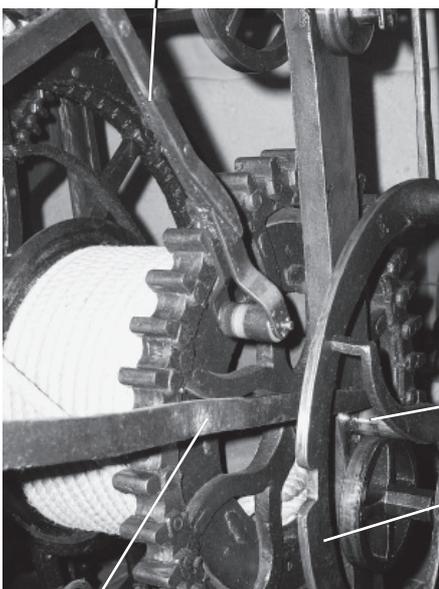
Interessant am Stundenschlagwerk ist die Tatsache, dass dieses nicht durch das Hauptrad (Stundenrad) des Gehwerks, sondern durch das Viertelstundenschlagwerk ausgelöst wird. Letzteres dreht sich ja, bei seinen kurzen viertelstündlichen Einsätzen, einmal in der Stunde um die eigene Achse, so dass eine am Viertelstunden-Schlussrad befestigte Noppe den Stundenschlag-Apparat kurz deblockieren kann. Dabei läuft, analog zum Viertelstundenschlagwerk, ein Auslösehebel über die Noppe und wird dabei nach oben gedrückt.

<sup>1</sup> Genau genommen sind es deren elf! – Erst durch die Beobachtung eines Schülers (Christoph Ischi, Durchgang von September 2003) sind wir darauf gestossen, dass es keinen Radabstand für den Ein-Uhr-Schlag gibt. Der Quartaner fragte sich, ob es denn im Zytglogge nie Ein-Uhr schlage... – Erklärung: Beim Ein-Uhr-Schlag wird der Fallhebel nur kurz angehoben, was bereits einen einzelnen Glockenschlag auszulösen vermag.



Schlussrad

Löst die Bewegung  
der Sanduhr aus



Auslösehebel

Damit hebt der Auslösehebel den Fallhebel aus den Kerben von Schluss- und Herzrad, was den Sperrarm befreit.<sup>2</sup> Dies ermöglicht das In-Bewegung-Kommen des ganzen Stundenschlagwerkes. – Da alle Nebenwerke, also auch das Stundenwerk, durch einen Gewichtstein in Bewegung gesetzt werden, muss der Turmwart beim täglichen Aufziehen der Uhr nicht nur den Hauptgewichtstein für das Gehwerk, sondern auch alle Gewichtsteine der einzelnen Schlagwerke (Viertelstunden-, Stundenwerk) und Spielwerke (Hahnkrähen, Bärenparade) aufziehen.

Wie das Viertelstundenschlagwerk für die Auslösung des Stundenschlagwerks verantwortlich ist, setzt letzteres nun auch seinerseits andere Mechanismen in Bewegung. Der nach oben gedrückte Auslösehebel stößt eine über ihm liegende Stange hoch, an der ein Zugdraht hängt, der, unter der Kammerdecke verlaufend, zum Figurenspiel in der nordöstlichen Ecke der Uhrkammer führt. Wenn man überlegt, welche Bewegung sich im Spielerker beim Stundenwechsel nur einmal vollzieht, so muss dieser von der Auf- und Ab-Bewegung der Querstange gezogene Draht für die Sanduhr-Umdrehung von Chronos verantwortlich sein. Gleichzeitig löst das Stundenwerk das Schlagen der Glocken im Turmdach und die Hammerbewegungen des Glockenschlägers Hans von Tann aus.

Das erfolgt durch einen Hebel, der am Hinterrad des Werks angebracht ist. Dieser Hebel bewegt sich während der Drehbewegung des Hinterrades auf und ab und zieht dabei an einem Draht, welcher die effektiven Glockenschläge wie auch die fingierten Hammerschläge von Tanns auslöst. Schliesslich verlaufen vom Stundenrad aus zwei weitere Drähte zum Spielerker. Der eine ist für die Kopfdrehungen des Löwen verantwortlich. Der andere erfüllt eine Doppelfunktion: Er löst sowohl die Mundbewegungen des Chronos beim Zählen wie auch dessen jeweiliges Anheben des Zepters aus.

Noppe

Schlussrad des  
Viertelstundenschlagwerks

<sup>2</sup> Im Gegensatz zum Viertelstundenschlagwerk und zur Bärenparade erfolgt die Auslösung des Stundenschlagwerks sofort, d.h. ohne vorangegangene «Warnung».

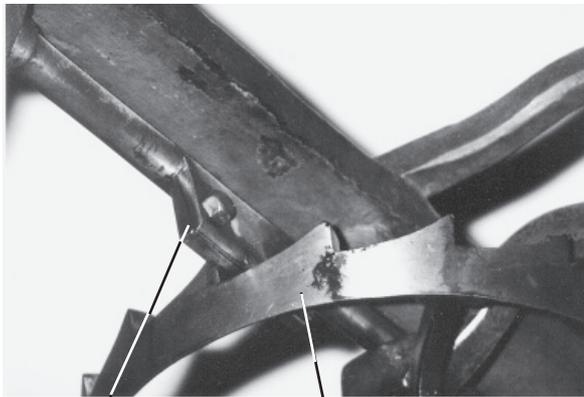
Die Beobachtung des Viertelstunden-, des Stunden-schlagwerks und der anderen Werke (Spielwerke)<sup>3</sup> zeigt, dass der Uhrmacher Kaspar Brunner das immer gleiche mechanische Prinzip angewendet hat: Das sich langsam drehende Rad eines Werks hebt durch Noppen einen Auslösehebel hoch, was die Verriegelungsapparatur eines von einer Kordel gezogenen Nebenwerkes aufhebt. Sobald der Sperrarm freigegeben ist, dreht sich das Werk. Es betreibt und steuert nun für die Dauer seines In-Bewegung-Seins irgend einen weiteren Mechanismus (Stundenschlag, Drehparade, Hahnschrei etc.).

Während dieser Zeitspanne schleift der Fallhebel über den äussersten Metallring des Schlussrades, und zwar bis zur nächsten Einkerbung, in welche der Hebel einrastet. Weil oben beim Herzrad das Gleiche passiert, ist das Werk sofort wieder verriegelt. – So lange, bis die nächste Auslösung ansteht und die nächste Noppe des sich immerzu weiter drehenden Hauptrades den Auslösehebel erneut in die Höhe drückt. Die Lücke von der einen zur anderen Einkerbung ist für die Dauer eines Mechanismus ausschlaggebend. Ist die Lücke kurz, so dreht sich das Rad bzw. das ganze Werk nur kurz, bis es wieder blockiert ist. Ist die Lücke grösser, macht das Rad eine längere Drehbewegung: Der vom Werk angetriebene Mechanismus läuft entsprechend länger.<sup>4</sup>

3 Die Spielwerke sind analog zum Viertelstundenschlagwerk konstruiert. So kann man etwa das Prinzip der Warnung auch bei der Bärenparade beobachten.

4 Es ist auch wieder Christoph Ischi gewesen, der entdeckt hat, dass die Werke nach dem immer gleichen Prinzip funktionieren. «Alle haben sie Zugseile, die über der Trommel eines Steerrades gewickelt sind. Also müssen sie alle ähnlich funktionieren» (mündliche Aussage September 2003).

## A2: Weitere Erklärungen zum Pendel



Metallflügel

Kronrad

Durch genaues Hinblicken erkennt man, dass das Pendel vom Kronrad stets einen kleinen Stoss erhält und so seine Schwingung aufrechterhalten kann. Das letztlich vom Gehwerk und dessen grossem Gewichtstein angetriebene Kronrad wird also durch die Metallflügel nicht nur gehemmt, sondern übt auch eine anstossende Kraft auf das Pendel aus. Dabei geben die Metallflügelchen durch ihr regelmässiges Hin- und Herwippen das Zahnrad immer um einen kleinen Weg frei. – Das ist wohl auch der Grund, weshalb die Franzosen in der Fachliteratur nicht von «Hemmung», sondern von «échappement» sprechen. – Mit anderen Worten: Dem einen Kronrad-Zahn stellt sich auf seinem Weg zuerst der eine Metallflügel entgegen. Durch die Zugkraft des Kronrades wird der Metallflügel weggedrängt, bis das Rad um eine ganz kleine Drehung vorbeikann; es wird auf der Gegenseite sofort vom anderen Metallflügel aufgehalten, bis dieser zweite Flügel auch wieder weggeschoben wird, worauf das Rad wieder vom ersten Metallflügel aufgehalten wird. Und so weiter.

Die oben erwähnte Zugkraft des Kronrades ist der Grund, weshalb das Pendel nicht zum Stillstand kommt. Auf der einen Seite ersetzt sie dasjenige an Energie, was das Pendel durch Reibung und Luftwiderstand bei jeder Schwingung einbüsst. Auf der anderen Seite, und das ist weit wichtiger, muss die Zugkraft des Kronrades die zum Stillstand neigende Schwerkraft des Pendelgewichts kompensieren.<sup>5</sup>

Da das Hin und Her der das Kronrad aufhaltenden und loslassenden Metallflügel durch die Pendelbewegung verursacht wird, reguliert diese, wie bereits erwähnt, die stossweise Drehbewegung des Kronrades in absoluter Regelmässigkeit.

<sup>5</sup> Würde das Pendel durch die Zugkraft des Kronrades nicht immer wieder etwas angetrieben, so zöge die Schwerkraft das Pendelgewicht unweigerlich in die Senkrechte, was, zusammen mit der Reibung, einen Stillstand der Uhr bewirken würde.

### A3: Kulturgeschichtliches zum Pendel

Entscheidend für die Erfindung der mechanischen Räderuhr ist die Erfindung der Hemmung. Früher behalf man sich mit dem Waagbalken oder mit dem Foliot. Ursprünglich wurde das Zytglogge-Uhrwerk mittels eines solchen Foliot<sup>6</sup> in konstanter Umdrehung gehalten. Kaspar Brunners Werk von 1530 dürfte eine Spindelhemmung mit Waagbalken aufgewiesen haben.<sup>7</sup>

Ein Blick in die Kulturgeschichte zeigt, dass man das Pendel im Zytglogge-Turm später eingebaut haben muss, denn Galilei entdeckte das Pendelgesetz erst 1571, also vierzig Jahre nach der Fertigstellung der Uhr Brunners. Und es sollten noch einmal hundert Jahre verstreichen, bis dieser präzise Zeitschritt die genaue Regulierung der Räderuhr ermöglichte. 1650 kam nämlich der holländische Horlogier Christian Huygens auf die Idee, das von Galilei entdeckte Prinzip des Pendels auf die Uhren zu übertragen.<sup>8</sup>

In der Geschichte der Uhrmacherskunst stellt das Pendel ganz allgemein einen entscheidenden Fortschritt dar, erlaubte es doch den seit Jahrhunderten durch eine Vielzahl von Forschungen und Experimenten ersehnten Schritt zur Präzision.<sup>9</sup> – So auch beim Zytglogge. Die früheren Hemmungssysteme waren nie ganz genau. Schon die immer grösser werdende Seillänge, die sich durch das Absinken des Gewichtsteines ergab, bewirkte wegen des zunehmenden Zuges auf das Gehwerk eine schnellere Drehung desselben. Und der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit führte zu einer zusätzlichen Ungenauigkeit.

Weil das Pendel Huygens' viel genauer war als die anderen Regelungssysteme, wurden alle grossen mechanischen Uhren dieser Zeit umgerüstet. Markus Marti nimmt an, dass dies beim Zytglogge im Jahr 1712 erfolgte, anlässlich der grossen Renovation von Mathys Blaser.<sup>10</sup> Die Uhr war damals über Jahre stillgestanden. Dank des justierenden Pendels wurde sie nicht nur wieder funktionsfähig gemacht, sondern machte einen Qualitätssprung in Sachen Präzision.

Das alte<sup>11</sup> und das neue System<sup>12</sup> zur Zeitmessung am Zytglogge liegen in zwei verschiedenen naturwissenschaftlichen Welten!

Somit kann auch am Beispiel des Zytglogge demonstriert werden, dass die kulturgeschichtliche Entwicklung des Uhrenbaus ein Kampf um Präzision gewesen ist, der mit der Erfindung des Pendels durch Galilei und dessen Integration in die Uhrmechanik durch Christian Huygens sein Ende findet. Die Hemmung ist, wie u.a. Kindler<sup>13</sup> bemerkt, der wichtigste Bestandteil der Räderuhr überhaupt!

6 Siehe Kindler 1905: 28f

7 Marti 1983: 57

8 Fintan Kindler geht davon aus, dass bereits Galilei die Idee hatte, das Pendelprinzip für die mechanische Uhr fruchtbar zu machen, dass aber seine Pläne in Vergessenheit gerieten, so dass Huygens die Erfindung der Pendeluhr hundert Jahre später ein zweites Mal machen konnte. (Kindler 1905: 95 ff)

9 Cipolla 1981: 68

10 Marti 1983: 57/ Marti 2005: 39

11 ab 1405, dem ersten Nachweis, dass im Zytglogge eine Uhr eingebaut wurde (siehe Marti 1983: S56). Die ersten Foliot-Uhren entstanden bereits ab 1300.

12 kulturhistorisch ca. ab 1650; im Zytglogge ab 1712

13 Kindler 1905: 29

## A4: Zahnradübersetzungen (Theorie)

Treffen zwei ungleiche Zahnräder zusammen, so dreht sich jenes mit weniger Zähnen in kürzerer Zeit um seine Achse als jenes mit mehr Zähnen, und zwar nach Proportion des Zahnverhältnisses beider Räder. Denn nach der Umdrehung eines grösseren Zahnrades (sagen wir ihm G) haben sich beide Zahnräder um die Zähnezahl (G) weitergedreht. Ein kleineres Zahnrad (sagen wir ihm K) dreht sich im Verhältnis «Zähnezahl G / Zähnezahl K» mal um seine Achse.

$$\text{D.h. } \underline{\underline{\text{Umdrehungszeit}_K}} = \frac{\text{Umdrehungszeit}_G}{\frac{\text{Zähnezahl}_G}{\text{Zähnezahl}_K}} = \underline{\underline{\text{Umdrehungszeit}_G \cdot \frac{\text{Zähnezahl}_K}{\text{Zähnezahl}_G}}}$$

Übertragen auf die 12-Stundenachse des oberen Zeigers des Zytglogge:

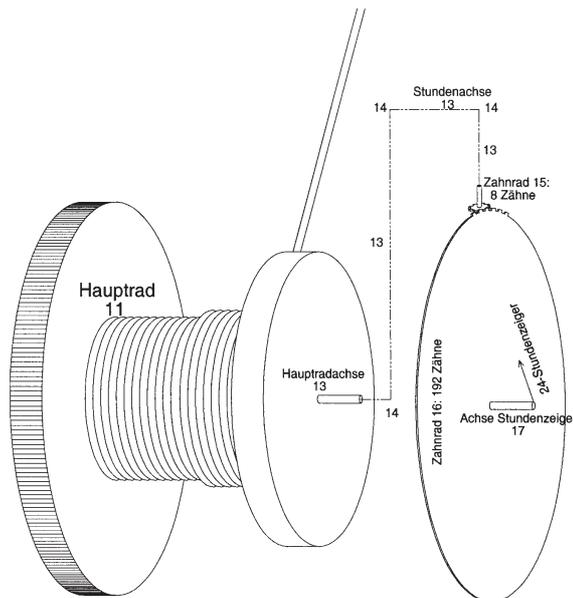
$$\text{Umdrehungszeit}_K = 12 \text{ Stunden} \cdot \frac{8}{96} = 1 \text{ Stunde}$$

Übertragen auf die 24-Stundenachse des unteren Zeigers des Zytglogge:

$$\text{Umdrehungszeit}_K = 24 \text{ Stunden} \cdot \frac{8}{192} = 1 \text{ Stunde}$$

## A5: Vom Stundenrad zu den Uhrzeigern: das Zeigerwerk

Wir sind bei unserem bisherigen Erkenntnisgang, von den Zeigern der Ostfassade ausgehend, rückwärts zum Hauptrad gegangen. Beginnen wir einmal mit dem Hauptrad:



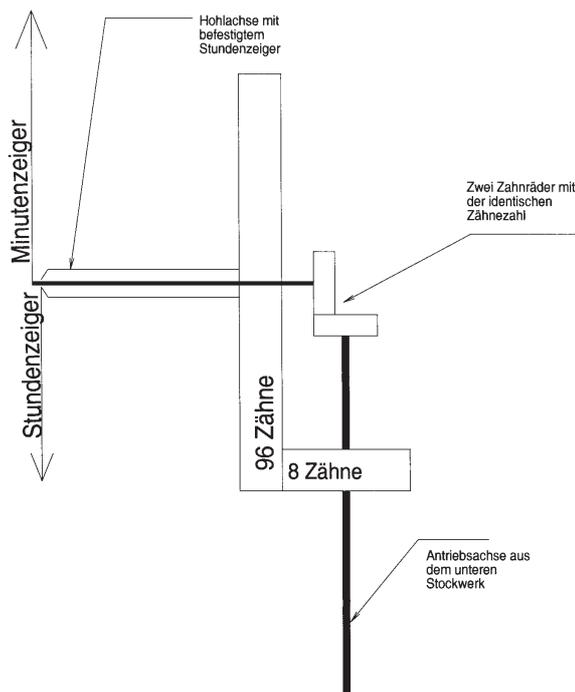
Dieses dreht sich in der Stunde einmal. Seine Achse ist fix mit einem 8-er-Zahnrad verbunden, das sich also auch einmal in der Stunde umdreht. Dieses 8-er-Rädchen treibt ein riesiges, genauer gesagt ein 192 Zähne zählendes Rad an, das sich im Verhältnis  $192 / 8$ , d.h. 24 X langsamer dreht. Während sich also das 8-er-Rad in der Stunde einmal dreht, so dreht sich das 192-er-Rad mit seiner Achse, der Achse des unteren Uhrzeigers, einmal in 24 Stunden.

Das gleiche Prinzip lässt sich auf die obere Uhr mit dem 12-Stunden-Zifferblatt anwenden:

Da an dessen Zeiger-Achse ein 96 Zähne zählendes Rad angebracht ist, welches ebenfalls von einem 8-er-Stundenrad angetrieben wird, ergibt sich das Verhältnis  $96 / 8 = 12$  Stunden.

Genau gleich sieht die Übersetzung für die Zeiger des dritten Zifferblattes, jenes an der Westfassade, aus. Die Achse des Hauptrades weist eine Verlängerung auf, die sich auf der Höhe der Pendelkugel bis an die Innenseite der Westwand hinzieht, wo sie, um der Wand entlang nach oben verlaufen zu können, zuerst in eine Vertikale, bei den Uhrzeigern oben wieder in die Horizontale umgebrochen wird.<sup>14</sup>

Komplizierend kommt bei den Zeigern der beiden oberen Zifferblätter, jenes der Ostfassade und jenes der Westfassade, hinzu, dass dort sowohl ein 12-Stundenzeiger wie auch ein Minutenzeiger angebracht ist. Im Detail funktioniert das Zeigerwerk folgendermassen:



Die Stundenachse mündet, nachdem sie durch eine hohle Achse nach Aussen geführt wurde, in die Achse des Minutenzeigers. Dieser dreht sich also in der Stunde ebenfalls einmal. Die hohle Achse ihrerseits bedient den Stundenzeiger. An der Innenwand des Turmes ist sie fest mit einem 96-er-Zahnrad verbunden, das bei der zweiten Brechung der Stundenachse, jene in die Horizontale, durch ein 8-er-Zahnrad angetrieben wird, so dass sie sich im Verhältnis  $96/8$  langsamer dreht: in 12-Stunden also bloss einmal.

Diese raffinierte Konstruktion ist sowohl an der Ost- wie an der Westseite anzutreffen.

<sup>14</sup> Das wiederum unübersetzt, also anhand paarweise angeordneter 30-er-Rädchen.

## A6: Auflösung der Zahlenverhältnisse 1

Die Berechnung der Übersetzung vom Hauptrad/Stundenrad zum Zeigerwerk, das System A<sup>15</sup>, ist einfacher als die Analyse der Übersetzungen vom Hauptrad zum Pendel (unser System B<sup>16</sup>). Auch wenn sich Lernende wegen des Knackgeräusches und wegen der Pendelbewegung meistens zuerst mit dem System B) beschäftigen, wäre eigentlich eine anfängliche Auflösung von System A) für den Erkenntnisfortschritt günstiger.

Ideal wäre demnach ein Verstehensprozess, der, wie im Folgenden gezeigt, vom Verständnis des Systems A zum allmählichen Enträtseln des Systems B (siehe A7) führen würde.

### **Modellhaftes Durchführen des ersten Schrittes: die Auflösung der Zahlenverhältnisse im System A vom Stundenrad zum Zeigerwerk:**

Die Achse des Stundenrads (Zahnrad 11)<sup>17</sup> wird durch eine dreifache Übertragung von 30-er-Zahnradern in eine Vertikale gedreht, die das Antreiben der Stundenzeiger der oberen wie der unteren Uhr möglich macht. Da sich die Achse trotz dieser Dreifach-Übertragung nach wie vor immer noch gleich, nämlich in einer Stunde einmal, dreht, fallen die drei 30-er-Zahnradpaare nicht ins Gewicht und können bei den weiteren Berechnungen vernachlässigt werden. Die vertikal verlaufende Stundenachse mündet in ein 8-er-Zahnrad (Zahnrad 15), das seinerseits ein 192-er-Zahnrad (Zahnrad 16) antreibt, dessen Achse den 24-Stunden-Zeiger der unteren Uhr bildet. Bei diesem 192-er-Zahnrad handelt es sich also um das Tagesrad, wie es auch die Berechnung des Zahlenverhältnisses der Zähne beweist:

8 Zähne (des Zahnrads 15) X 24 Stunden ergibt die 192 Zähne des Tagesrades (Zahnrad 16):  $8 \times 24 = 192$ .

Das gleiche Prinzip lässt sich auf die obere Uhr mit dem 12-Stunden-Zifferblatt anwenden:

8 Zähne (Zahnrad 18) X 12 Stunden ergibt die 96 Zähne des Halbtagesrades (Zahnrad 19):  $8 \times 12 = 96$ .

In Zeiteinheiten (= Umdrehzeit der Achsen!) berechnet heisst das:

Das Stundenrad (Zahnrad 11, 126 Zähne) dreht sich in einer Stunde einmal.

Zahnrad 15 bzw. 18 (8 Zähne) dreht sich ebenfalls in einer Stunde einmal.

Das Tagesrad (Zahnrad 16, 192 Zähne) dreht sich, wie wir von unseren Beobachtungen der Ostfassade wissen, in 24 Stunden einmal. Der Vorgang vom Stundenrad zum Tagesrad (Zahnrad 16) kann nach folgender Formel nachvollzogen werden:

Stundenrad (Zahnrad 11) / Zahnrad 15 (8 Zähne) X Zahnrad 16 (192 Zähne) bzw. Zahnrad 19 (96 Zähne), das heisst:  
 – 1 Stunde des Stundenrades /  $8 \times 192 = 24$  Stunden  
 – 1 Stunde des Stundenrades /  $8 \times 96 = 12$  Stunden

In Sekunden berechnet:

– 3600 Sek. des Stundenrades /  $8 \times 192$   
 = 86 400 Sek. = 24 Stunden  
 – 3600 Sek. des Stundenrades /  $8 \times 96$   
 = 43 200 Sek. = 12 Stunden

<sup>15</sup> Siehe Seite 20.

<sup>16</sup> ebenda

<sup>17</sup> Für die ab hier verwendete Nummerierung der Zahnräder: siehe Grundskizze im Fliesstext, Seite 21.

## A7: Auflösung der Zahlenverhältnisse 2

### Modellhaftes Durchführen des zweiten Schrittes: die Auflösung der Zahlenverhältnisse im System B vom Stundenrad zurück zum Pendel

Ausgerechnet werden kann, über die Zahlenverhältnisse der verschiedenen Zahnräder vom Stundenrad bis zum letzten Zahnrad (Kronrad – 5), auch die Anzahl Doppelschwingungen des Pendels pro Stunde:

$$126 / 9 \times 50 / 10 \times 17 = 1190$$

Beweis:

$$\begin{aligned} \text{Anzahl Schwingungen pro Stunde} &= \frac{1 \text{ Stunde}}{\text{Zeit pro Schwingung}} = \frac{3600}{3.03} = \\ &= \frac{3600}{3600 \cdot 9 \cdot 10 / (126 \cdot 50 \cdot 17)} = \frac{126 \cdot 50 \cdot 17}{9 \cdot 10} = 1190 \end{aligned}$$

Hier wird ersichtlich, was das Zähneverhältnis mit dem Verhältnis der Anzahl der Zahnradumdrehungen zu tun hat (siehe auch A4!). Das kleinere Rad führt um den entsprechenden Faktor mehr Umdrehungen durch. Und das Pendel selbst wirkt zuletzt wie ein Zahnrad mit nur einem Zahn. Dies entspricht genau den 1190 Pendelschlägen, die sich über die direkte Berechnung ( $3600 / 3.0253$ ) ergeben.

## A8: Die Ostfassade (Lehrervortrag / Beschrieb)

Lehrervortrag vor dem Zytglogge (zu Szene 2). Je nach Interesse und Zielsetzung kann dieser Vortrag auch gekürzt werden.

### Überblick

*Die Ostfassade ist, nach den westlichen Stadterweiterungen, gegen das Stadtzentrum gerichtet und erhält dadurch einen repräsentativen Charakter. So erstaunt es nicht, dass sie besonders ausgestaltet und geschmückt wurde.*

*Das heutige Gesicht der Fassade rührt von der Restaurierung von 1981 bis 83. Wir haben eine Verbindung von spätbarockem Rokoko, also der Zeit, in welcher der Turm sein jetziges Baukleid erhielt, mit neuentdeckten Teilen älterer Zustände.*

Wir können fünf wesentliche Elemente sehen:

- Links unten das Astrolabium, das wiederum mehrere Teile aufweist (24-Stundenuhr, Planisphärium, Temporalstundenangabe)
- Rechts unten den Spielerker mit verschiedenen mythologischen und symbolträchtigen Figuren
- Im mittleren Teil das monumentale Zifferblatt mit der 12-Stundenuhr
- Die an der Fassade angebrachten Malereien
- Im Dachstock das Glockenspiel mit dem Schläger Hans von Tann

### Das Astrolabium:



Das Astrolabium stellt auf mechanische Weise die Bewegung der Gestirne nach. Auf die Fassadenwand gemalt ist das Planisphärium mit blauem Himmel, dunkelblauer Dämmerungszone und schwarzer Nachtscheibe. In Gold sind die Wendekreise, die Horizont- und Dämmerlinie sowie die arabisch geschriebenen Temporalstunden zu sehen. Die Temporalstunden teilen den Tag von Sonnenaufgang bis -untergang in 12 Teile. Im Winter sind die Temporalstunden also kürzer als im Sommer. Das Planisphärium zeigt im Sommer einen hohen, im Winter einen tiefen Sonnenstand.

Über dem auf die Fassade gemalten Planisphärium bewegt sich die so genannte Rete, eine spinnennetzartig ausgeschnittene Scheibe, die den Sternenhimmel darstellt. Die Rete wird vom Datumsring und dem Tierkreisring umfasst. Über dem Datumsring zeigt eine Wechseltafel die jeweiligen Wochentage an. Ein äusserer Zifferkranz mit einer 24-Stunden-Einteilung umrahmt den eben beschriebenen mechanischen Teil. Die Stunden werden durch eine goldene Hand, die ausserhalb des Datumsrings kreist, angezeigt. Auf dem Stundenzeiger befestigt ist eine Sonne, die den Stand im Tierkreis angibt und diesen im Jahr einmal umläuft. Die Sonne überschreitet bei ihrem täglichen Umlauf die Horizont- und Dämmerlinie und gibt dadurch die Dämmerungszeit des Sonnenaufgangs und -untergangs an.

Auf der gegenüberliegenden Seite der Stundenhand finden wir eine weitere Sonne. Mit einem verlängerten Strahl zeigt sie auf den Datumsring und markiert so den Tag und den Monat.

Der Mondzeiger zieht am inneren Rand der Tierkreisscheibe seine Monatsbahn. Seine aus einer goldenen und einer schwarzen Hälfte bestehende Kugelform gibt, indem sich diese um die eigene Achse dreht, die tatsächliche Mondphase an.

Die goldene Hand markiert auf dem äusseren 24-Stundenzifferblatt die mittlere Ortszeit.<sup>18</sup> Bis auf kleine Schwankungen (Zeitgleichung) erreicht die Sonne um 12 Uhr ihren Höchststand. Die mittlere Ortszeit geht im Sommer der aktuellen MEZ um ca. 1½ Stunde hintendrein.

Auf dem inneren Sternzeichenring weisen Sonne und Mond darauf hin, in welchem Sternzeichen sie gerade stehen. Dabei zeigt der Mond die aktuelle Mondphase.<sup>19</sup>



### **Der Spielerker**

Chronos, der Gott der Zeit, sitzt im Zentrum, in der rechten Hand hält er eine Sanduhr, in der linken ein Zepter. Er zählt, wenn die Glockenschläge zu hören sind, jeweils die Stunden. Eine sich im Kreis drehende Parade von Bären und anderen Figuren umringt ihn. Diese symbolisiert die Stadtwache, welche ihre Runden dreht und für die Sicherheit der Bewohner sorgt. Wir erkennen den Kommandanten auf einem Schimmel, einen Trommler, einen Pfeifer, einen Läufer mit umgürteter Tasche. Einer der Bären trägt eine Krone, was die städtische Macht repräsentieren soll.

<sup>18</sup> Die mittlere Ortszeit, auch mittlere Sonnenzeit genannt, entspricht dem Stand der Sonne am Orte, wo wir uns aufhalten. Da sich die Erde von Osten nach Westen dreht, steht die Sonne in Greenwich, dem Mess-Ort für die Weltzeit oder die Greenwich Mean Time (GMT), ca. 0.5 Stunden später im Zenith als bei uns. Für die bei uns gültigen mitteleuropäischen Zeit (MEZ) wird gemäss der Zeitzoneneinteilung der Weltzeit eine Stunde dazugezählt (MEZ = GMT + 1). Im Winter erreicht daher die Sonne bei uns um 12.30 (MEZ) ihren Höchststand. Im Sommer kommt durch das Umstellen auf die Sommerzeit eine weitere Stunde dazu und nun gilt bei 12 Uhr mittlerer Ortszeit eine mitteleuropäische Zeit (MEZ) von 13.30. Laut mittlerer Ortszeit ist es also bei uns später Mittag.

<sup>19</sup> Weiteres zum Astrolabium, siehe Anhang A9, Seite 68

Über Chronos sitzt ein Narr, der, um den Stundenwechsel zu markieren, wechselweise an zwei Glöckchen zieht. Links von Chronos schlägt ein Hahn mit seinen Flügeln. Zum Stundenwechsel lässt er dreimal sein lautes Krächzen ertönen. Damit wird das etwa dreieinhalb Minuten dauernde Figurespiel jeweils eröffnet und abgeschlossen.

Man sagt, dass der erste Hahnschrei uns in Erinnerung rufe, dass wieder eine Stunde in unserem Leben vergangen sei, dass der mittlere Schrei den Stundenwechsel markiere, während uns der dritte Hahnschrei darauf aufmerksam mache, dass bereits wieder eine Stunde in unserem Leben angebrochen sei. Rechts von Chronos steht ein majestätischer Löwe, der durch Kopfdrehungen ebenfalls jeweils die Stunden zählt.

### **Das 12-Stunden-Zifferblatt**

Will man sich nach der Zeit erkundigen, wird man sich an dieser oberen Uhr, und weniger an der 24-er-Anzeige des unteren Zifferblattes, orientieren. Da es anlässlich des Sommer- und Winterzeitwechsels immer nachgestellt wird, ergibt sich gegenüber der unteren Zeitanzeige beim 24-Stunden-Zifferblatt eine beträchtliche Zeitdifferenz. Diese erklärt sich auch aus dem Umstand, dass die obere Uhr die Mitteleuropäische Zeit (MEZ) und die untere Uhr die Temporalzeit (die Berner Lokalzeit) anzeigt.

Der Minuten- und Stundenzeiger dieser Uhr werden uns, wenn wir das Uhrwerk zu verstehen versuchen, noch beschäftigen.

### **Die Malereien**

Die Fragmente links unten stellen symbolisch die Himmelsrichtungen dar. Über der Uhr befindet sich ein Fries mit 5 antiken Gottheiten. Jede repräsentiert einen Planeten und damit einen Wochentag:

Von links nach rechts sind das:

- Saturn mit Sichel und Keule für den Samstag (franz.<sup>20</sup> samedi)
- Jupiter mit Blitzbündel für den Donnerstag (jeudi)
- Mars mit Schwert und Schild für den Dienstag (mardi)
- Venus mit ihrem Sohn Cupido für den Freitag (vendredi)
- Merkur mit Stab und Beutel für den Mittwoch (mercredi).

Nicht figürlich dargestellt sind der Sonntag und Montag, weil sie als Sonne und Mond in der Mechanik bereits enthalten sind.

Unterhalb der grossen Uhr steht eine Büste von Städtegründer Herzog V. von Zähringen.

### **Der Dachteil**

Im Dachteil erkennt man den bärtigen Stundenschläger Hans von Tann. Zu jedem Stundenwechsel bewegt er sich in der Anzahl der zu schlagenden Stunden gegen die Glocke. Da er in der Hand einen grossen Hammer hält, hat man, wenn man vom Strassenrand her hinaufschaut, den Eindruck, er schlage damit an die Glocke.

Dieser Stundenschläger ist eine saganumwobene Figur; es kursieren deshalb einige Geschichten über ihn.<sup>21</sup>

<sup>20</sup> An den französischen Tagesnamen werden die etymologischen Zusammenhänge mit den römischen Gottheiten besser sichtbar.

<sup>21</sup> Z.B.: Meier-Nobs Ursula. Hasefritz u Matten-Edi. Buchverlag Fischer, Münsingen

## A9: Erklärungen zum Astrolabium

Schon in früher Zeit bildeten die Gestirne für den Menschen eine Möglichkeit, sich im kontinuierlich ablaufenden Zeitfluss zu orientieren. So ist es nicht verwunderlich, dass hier, an der Fassade eines die Zeit angegebenden Turmes, der Lauf der Gestirne als Astrolabiumskonstruktion wiederzufinden ist.

Ein Astrolabium wurde bereits im 13. Jahrhundert im Turm des Zytglogge eingebaut. Zu dieser Zeit dachte man sich die Erde als ruhende Scheibe im Zentrum des Universums. Die Sterne umkreisen dabei die Erde in ewig gleicher Anordnung<sup>22</sup>, woraus sich der Sterntag ergibt. Um Ordnung zu schaffen, sind Gruppen von Sternen zu Sternbildern zusammengefasst. Beim Beobachten der Sonne stellt man fest, dass sie der Sternbewegung ein wenig hintennach hinkt. Ein Sonnentag ist daher etwas länger als ein Sterntag (ca. 4 Minuten). Die Sonne wandert durch die bekannten 12 Sternzeichen und legt so die Dauer eines Jahres fest.

Ausgeprägter ist die Verlangsamung des Mondes, der in ca. 27.3 Tagen (siderische Umlaufzeit) die 12 Sternzeichen durchläuft. Die Zeitdauer von Neumond bis Neumond beträgt dagegen ca. 29.5 Tage (synodische Mondzeit).

Die entsprechenden Informationen können alle dem Astrolabium entnommen werden:

- Die goldene Hand zeigt auf dem äusseren 24-Stundenzifferblatt die mittlere Ortszeit an. Bis auf kleine Schwankungen (Zeitgleichung) erreicht die Sonne um 12 Uhr ihren Höchststand. Die mittlere Ortszeit folgt der aktuellen MEZ bei Sommerzeit mit einem zeitlichen Abstand von ca. 1 Stunde und 30 Minuten.
- Die der goldenen Hand diametral gegenüberliegende Sonne zeigt mit einem Sonnenstrahl auf das aktuelle Datum.
- Auf dem inneren Sternzeichenring zeigen Sonne und Mond an, in welchem Sternzeichen sie gerade stehen. Dabei kann am Mond die aktuelle Mondphase abgelesen werden.

Obwohl in diesem Lehrstück das Uhrwerk im Zentrum steht, sollte dem Astrolabium ein gebührender Platz zugestanden werden.

Als ideale Vorbereitung kann das Lehrstück «Himmelskunde» verwendet werden. Dieses wird in der Dissertation von Ueli Aeschlimann<sup>23</sup> «Mit Wagenschein zur Lehrkunst» ausführlich behandelt. Für die Durchführung wäre eine Projektwoche vorzusehen, die der Lehrinheit über den «Zytglogge» vorangehen müsste.

Als verkürzte Version könnte die Inszenierung im Mai 1990 mit einer 7. Klasse an der Ecole de l' Humanité von Daniel Ahrens und Ueli Aeschlimann dienen.<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Man erkennt hier das ptolemäische Weltbild, das während der Erbauungszeit des Astrolabiums allgemein gültig war.

<sup>23</sup> <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2000/0391>, S. 121 – 193 (15.12.2002)

<sup>24</sup> ebenda, Seiten 164-166

## A10: Genaueres zum zeichnerischen Auftrag (Szene 2, Phase d)

Sich dem Uhrwerk zeichnerisch annähern

Material:

Sitzgelegenheiten, Unterlagen, Papier weiss A3/A2, Bleistift, Kohle, Pastell (farbig) Lappen, Knetgummis, Klebeband, Bildmaterial

### a) Erster Schritt als Einstieg:

Innerhalb kurzer Zeit (5' – 10') mit Bleistift den visuellen Eindruck des ganzen Uhrwerks festhalten. (A3, Bleistift)  
Auf folgende Fragen hinweisen:

- Wie soll gewichtet werden?
- Wie viel Naturalismus ist nötig?
- Sicht? Standpunkt des Zeichners?

Gemeinsam betrachten und besprechen: Was wurde dargestellt?

- Visueller Eindruck des ganzen Uhrwerks
- Elemente (müssen alle dargestellt werden..?), wie kann, soll abstrahiert, vereinfacht werden? Hierarchie, Gewichtung der Elemente, Bereiche?
- Raum, räuml. Ausdehnung (Hell-Dunkel, Schärfe-Unschärfe, Überschneidungen...)
- Bewegung bzw. Faktor Zeit (verwendete Möglichkeiten...)
- Funktion (z.B. gemeinsame Achsen, Partien des Geräts...) (Farbe, Schemata)
- Schematische, erklärende Elemente (Beschriftung, Schemata, Codes)

Was wurde wo/wie erreicht, was ist nicht sehr gut geraten?

Lösungsansätze (Einsatz von Farben, Hell-Dunkel, Schärfe-Unschärfe...)

Welche Sicht ist von Vorteil? Weshalb?

Dokumente zum Thema «Bewegung in der Bildenden Kunst» zeigen.<sup>25</sup>

### b) Zweiter Schritt als Hauptteil:

Mit Kohle, Pastellkreiden (Hinweis bereits geben: Zusammenfassen bestehender Funktionsbereiche, zusammenhängender Teile) auf A2 die Uhr so zeichnen, dass unser visueller Eindruck und unser Wissen der Funktionsweise dargestellt wird (auf den eben gemachten Erfahrungen aufbauend). Zeit: ½ h, alle Schritte auf demselben Blatt.

Mit visuellem (Gesamt-)Eindruck beginnen

Weiteres anfügen: Funktion, Zusammenhänge, Raum, Zeit, Hierarchie...

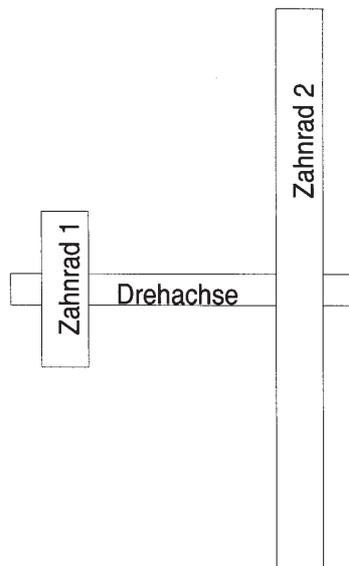
Ohne Zwischenhalt fertig arbeiten lassen.

Zum Schluss gemeinsam betrachten und (falls nötig) besprechen, Kommentare... Blick auf Tinguely: Wie hat es Tinguely gemacht, der den umgekehrten Weg gehen musste? Zuerst brauchbare Ideen entwickeln, diese ausbauen und überprüfen (teilweise auch in Zeichnungen). Und zum Schluss die Zeichnung auch als Erinnerungshilfe einsetzen.

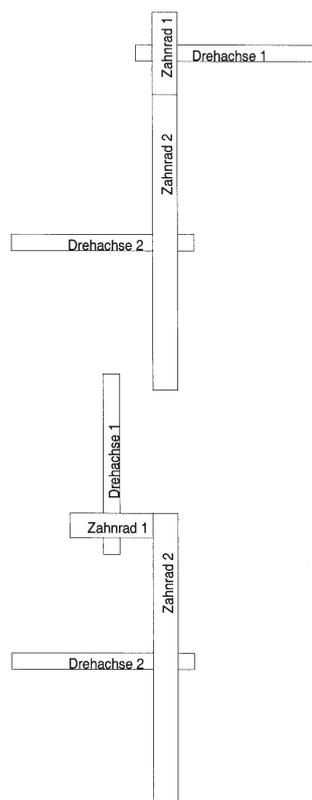
<sup>25</sup> Velasquez (Die Fabel der Arachne / Die Teppichknüpferinnen, 1657, 220x289) und, von der Fotografie beeinflusst, Giacomo Balla (Dynamismus eines Hundes an der Leine, 1912, 90,8x110): Es sind das die zwei häufigsten Formen der Bewegungsdarstellung.

## A11: Zahnradverbindungen (Theorie)

Zwei Zahnräder können auf zwei verschiedene Arten verbunden sein:



1. Als Räder, die mit der gleichen Drehachse verknüpft sind. Sie weisen somit die gleiche Umdrehungszeit auf.



2. Als ineinander greifende Zahnräder mit verschiedenen Drehachsen (auch als Zahnradpaar bezeichnet), wobei die Drehachsen, wie beide Skizzen zeigen, entweder parallel oder senkrecht zueinander liegen können.

In diesen beiden Fällen wird das Zahnrad 1 und das Zahnrad 2 *um genau gleich* viele Zähne weiterbewegt, was zur Folge hat, dass sich das kleine Rad schneller bewegt als das grosse.



Umdrehungszeiten bei einem Zahnradpaar definieren:

Wie können wir aus der Zeit für eine Umdrehung von Zahnrad 1 die Umdrehungszeit von Zahnrad 2 berechnen, wenn wir die Anzahl Zähne der Zahnräder kennen?

Im nun Folgenden werden die Umdrehungszeiten der zwei Zahnräder in Beziehung zu den Zähnezahlen gesetzt.

Bei der Berechnung müssen die Begriffe Zähnezahl und Umdrehungszeit der beiden Zahnräder unterschieden werden. Dazu führen wir folgende Bezeichnungen ein.

Zahnrad 1:  
Zähnezahl\_1, Umdrehungszeit\_1

Zahnrad 2:  
Zähnezahl\_2, Umdrehungszeit\_2

Betrachten wir zunächst als Beispiel das oben abgebildete Zahnradpaar (Zähnezahl\_1 = 50, Zähnezahl\_2 = 10) mit einer Umdrehungszeit\_1 = 100 Sekunden.

Wie gross muss unter diesen Voraussetzungen die Umdrehungszeit\_2 sein ?

Erwartungsgemäss ist sie kleiner als Umdrehungszeit\_1.

Beide Zahnräder drehen sich stets um gleich viele Zähne weiter. Nach einer Umdrehung von Zahnrad 1 haben sich also beide Zahnräder um 50 Zähne weitergedreht.

Da das Zahnrad 2 nur 10 Zähne besitzt, dreht es sich in dieser Zeit  $\frac{50}{10}$  – mal = 5 – mal.

Für eine einzige Umdrehung braucht demnach das Zahnrad2 5-mal weniger Zeit.

$$\text{D.h. Umdrehungszeit}_2 = \frac{\text{Umdrehungszeit}_1}{5} = \frac{100 \text{ Sekunden}}{5} = 20 \text{ Sekunden}$$

Allgemein gilt:

Nach einer Umdrehung von Zahnrad1 haben sich beide Zahnräder um Zähnezahl\_1 Zähne weitergedreht.

Da das Zahnrad2 Zähnezahl\_2 Zähne besitzt, dreht es sich in dieser Zeit  $\frac{\text{Zähnezahl}_1}{\text{Zähnezahl}_2}$  – mal.

$$\text{D.h. } \underline{\underline{\text{Umdrehungszeit}_2}} = \frac{\text{Umdrehungszeit}_1}{\frac{\text{Zähnezahl}_1}{\text{Zähnezahl}_2}} = \underline{\underline{\text{Umdrehungszeit}_1 \cdot \frac{\text{Zähnezahl}_2}{\text{Zähnezahl}_1}}}$$

## A12: Unterrichtsprotokoll einer Unterrichtseinheit zum Pendelgesetz

Zur Einleitung zeigen wir den Schülerinnen und Schülern ein Demonstrationsobjekt aus Holz. Dieses besteht aus einem Pendel, einem Gewichtsstein und einer Hemmung und bewegt sich im Takt des Pendels.

Nach einem historischen Hinweis auf Galileo Galilei, welcher sich mit dem Pendel beschäftigt hat, wird nach den Grössen gefragt, die das Pendel beeinflussen.

Genannt werden: Reibung, Luftwiderstand, Pendellänge, Pendelgewicht und Pendelausschlag.

Wir diskutieren, welche Einflussgrössen sich gezielt untersuchen lassen und einigen uns darauf, den Einfluss der Reibung (inklusive Luftwiderstand) zu vernachlässigen.

Es werden fünf Arbeitsgruppen gebildet, die Schnüre erhalten (Schnurlängen pro Gruppe: 2 m, 1 m, 0.5 m, 0.4 m und 0.25 m). Die Gruppen werden zudem mit Stativen für das Aufhängen der Pendel ausgerüstet. Die grossen Pendel werden an der Decke befestigt.

Auftrag an die Gruppen: pro Versuch entweder die Grössen, den Ausschlag oder das Gewicht variieren und die Zeit messen, die das Pendel für einen einfachen Ausschlag benötigt (Zeit, die das Pendel für die Bewegung von links nach rechts braucht).<sup>26</sup>

Natürlich stellt sich das Problem der Messgenauigkeit. Insbesondere bei kurzer Schnurlänge ist die Pendelzeit sehr kurz. Wir unterbrechen das Experimentieren und fragen die Klasse, wie das Messergebnis verbessert werden kann. Nach einigem Überlegen entscheiden wir uns dafür, die Zeit für mehrere Pendelschläge zu messen und durch entsprechendes Teilen den Messfehler zu verkleinern.

Bald einmal stellen die Gruppen fest, dass das Gewicht und der Ausschlag, wenn er nicht zu gross ist, die Pendelzeit kaum beeinflussen.

Die einzelnen Messergebnisse werden aufgeschrieben:

Länge	2 m	1 m	0.5 m	0.4 m	0.25 m
Zeit für links nach rechts	1.45 Sek	1.015 Sek	0.7 Sek	0.675 Sek	0.5 Sek

Qualitativ ist klar, dass eine grössere Pendellänge eine grössere Pendelzeit bedeutet.

Dies wurde auch in den Gruppen bemerkt, welche zusätzlich die Pendellänge variierten, beispielsweise durch Aufwickeln auf eine Metallstange.

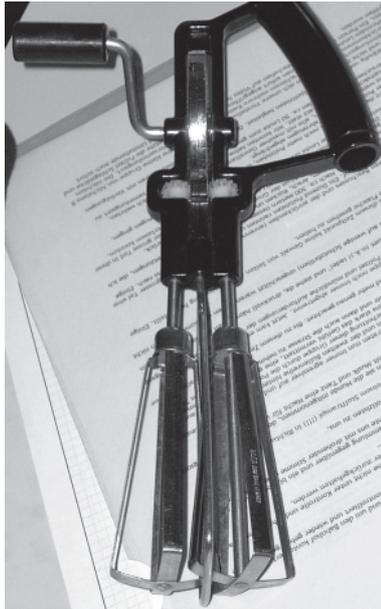
Nun lassen wir die Lernenden nach einer Berechnungsformel suchen. Zuerst wird mit den Grundoperationen experimentiert, und es entstehen Terme, die in der Regel mit einem Resultat auf der Tabelle übereinstimmen.

Wir finden schliesslich heraus, dass man entweder die Zeit quadriert, um die Pendellänge zu erhalten, oder die Wurzel aus der Pendellänge berechnet, um die Zeit zu eruieren.

<sup>26</sup> Hinweis zur Wahl der Schnurlängen: Man erhält ziemlich genau die Zeit in Sekunden eines Einzelschlages, wenn man aus der Pendellänge in Metern die Wurzel zieht. Bei einem Doppelschlag ist wegen des Faktors 2 der Zusammenhang schwieriger zu erraten.

## A13: Zahnradverbindungen von Alltagsgegenständen

Als Vorübung zu den Zahnradverbindungen (siehe A 11) untersuchen die Schülerinnen und Schüler die Funktionsweise einiger Alltagsgegenstände. Dadurch wird die Tätigkeit des experimentellen Erkundens, wie sie bei der Enträtselung des Uhrwerks eingesetzt wird, spielerisch vorbereitet und geschult.



Im Folgenden sind die Beobachtungen aus zwei Arbeiten (Quarta, Durchlauf Sept. 2003) im Originalton wiedergegeben.

### Schwingbesen

«Er besteht aus einem grossen Zahnrad, zwei kleinen Zahnrädern, zwei Schwingbesen und einer Kurbel. Das grosse Zahnrad wird durch die Kurbel angetrieben, welches dann zwei kleinere Zahnräder antreibt. Die wiederum treiben die zwei Schwingbesen an. Das grössere Zahnrad dreht schneller als die kleineren.»

(Andrea Adamina und Nina Luginbühl)

»Funktion: Schlägt Nidel

Bauteile: 3 Zahnräder

2 Zahnräder werden durch 1 grosses angetrieben»

(Kavita Zainuddin)



### Mixer

«Dieser Mixer wird durch acht kleine Zahnräder angetrieben. Am Rand des Deckels sind kleine Zacken, welche die Zahnräder drehen. Wenn man beim zugeordneten Deckel schwingt, fängt alles an zu drehen und dadurch auch die Besen unten.»

(Andrea Adamina und Nina Luginbühl)

«Funktion: schlägt Nidel

Bauteile: Hat zwei mal so viele Zahnräder wie der vorherige Nidelschwinger und ist deswegen 2 mal so schnell.»

(Kavita Zainuddin)



### Musikdose

«Der Ausziehmotor bewegt die Musiktrommel. Diese hat Zähne und betätigt dann den Metallkamm. An der Musiktrommel befindet sich ein Zahnrad, das zu einem anderen Zahnrad mit Propeller führt. Diese gleicht die Geschwindigkeit des Aufziehmotors aus.»

(Andrea Adamina und Nina Luginbühl)

«Funktion: macht Musik

Bauteile: Zahnradli, Spirale»

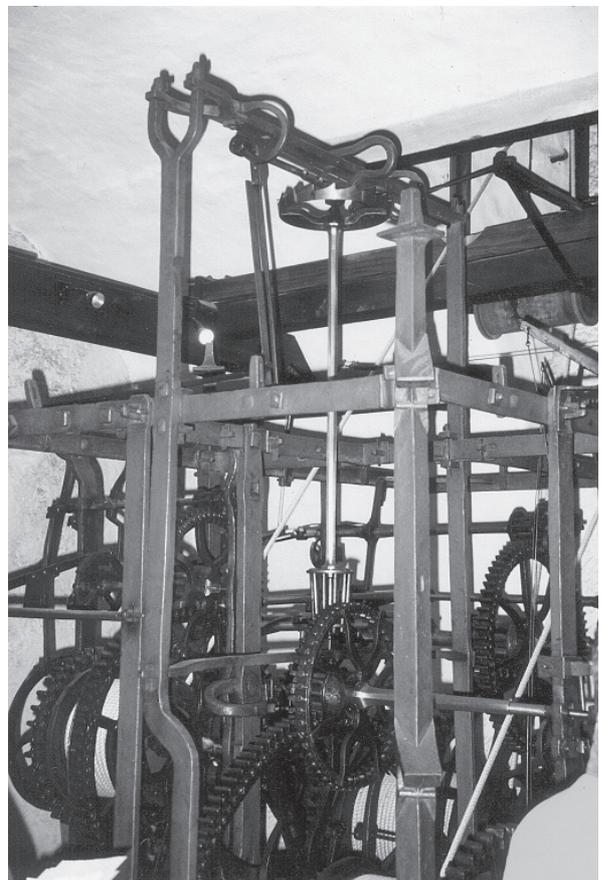
(Kavita Zainuddin)

## A14: Einladung Schlussanlass

### **Anschluss-Anlass an die Sonderwoche zum Zytglogge-Uhrwerk**

Das Uhrwerk des Zytglogge stammt aus dem Jahre 1530 und funktioniert noch heute einwandfrei. Ein Wunder nicht nur der schweizerischen Uhrmachergeschichte, sondern der europäischen Technikgeschichte!

Wie am Elternabend angekündigt, erklären Schülerinnen und Schüler der Quarta a am Dienstag, den 11. November 2003, von 18.15 bis 19.00 Uhr, interessierten Gästen, wie dieses Uhrwerk funktioniert. Besammlung: 18.15 Uhr vor dem Zytglogge.



Eltern und Geschwister sind herzlich eingeladen!

Im Namen der Klasse grüssen freundlich  
Bertrand Knobel und Peter Vogel

\* \* \* \* \*

Bitte Talon ausfüllen und bis spätestens Freitag, den 7. Oktober 2003, in der Schule abgeben. Danke!

Name: ..... / Anzahl Personen: .....

Wir nehmen am Anlass teil / Wir nehmen nicht teil:

## A 15: Sprachliche Annäherungen

Die jungen Leute verwendeten anlässlich des letzten Durchgangs des Lehrstückes im Herbst 2003 folgende Begriffe und Formulierungen für die Bestandteile des Uhrwerks und für die einzelnen Mechanismen:

Zum Tickgeräusch:

- «Das Pendel schlägt, als würde jemand mit dem Hammer einen Nagel einschlagen»
- «Man hört nur das dominierende Tick-Tack-Geräusch»
- «... wie ein Störenfried, der immerzu seinen Lärm verbreitet»
- «Tick-Tack: Das Pendel schlägt den Takt. Die Zahnräder gehorchen auf jede Bewegung»
- «Das Pendel bewegt sich gegen links, dann gegen rechts, wieder gegen links..»
- «Das beruhigende Tick-Tack des Pendels ist zu vernehmen; es scheint, als würde es bis in alle Ewigkeit so weiter-schwingen»
- «Man spürt eine Spannung, die sich in jedem Moment entladen kann»

Zur Geräuschkulisse der plötzlich abspulenden Nebenwerke:

- «Klick, ein Arretierer hat sich vom Rad gelöst, und alles tönt wirr durcheinander»
- «Zack, der Hebel fällt, die Verriegelung ist gelöst»
- «plötzlich rotiert ein Propeller»
- «es beginnt ein lautes, ohrenbetäubendes Spiel»
- «alle Zahnräder fangen an, sich um die eigene Achse zu drehen»
- «Alles kommt in Bewegung und gibt knarrende Geräusche von sich. Besonders die Metallpropeller mit ihren heftigen knatternden Umdrehungen»
- «... alles tickt und klickt; es kracht, rasselt, rastert, klappert, surrt, klingelt und knackt überall»
- «..viele Geräusche, als wollten sie sich gegenseitig übertönen»
- «eine Art Trommelwirbel aus Metall»
- «Weiss man nichts, so erschrickt man fürchterlich»
- «Lautes Eisenwirrwar» (...) «das wilde Bild der Räder, Propeller und Zacken»
- «ein Scheppern, als sei plötzlich die Hölle los» (...) «die Räder scheinen, der Reihe nach, den Soloauftritt zu genies-sen»
- «Eisen schlägt auf Eisen»
- «Rrrrr, man hört ein lautes Surren»
- «heftiges Gedrehe der vielen Zahnräder» (...) «sich abwickelnde Seile»
- «So, wie ein schrottgefüllter Müllcontainer von einer langen Treppe fallen würde.»
- «Es tönt und rasselt, als fahre gerade ein Panzer vorbei»
- «Die Zahnräder beginnen, ihre ganze Kraft zu entfalten und übertragen sie auf Stangen, Gewichte und weitere Zahnräder» (...) «das Ganze tönt wie auf einem Güterbahnhof»
- «alles tönt auf einmal»
- «Hier ein Zahnrad, das rattert, dort eine Achse, die sich dreht»
- «Räder drehen sich, es scheinen immer mehr zu werden, immer mehr Räder, die sich wie verrückt drehen, als hätten sie sich angesteckt»
- «ein Drehen und Scheppern»
- «einige Räder halten an, aber andere fangen an – der Spuk ist noch nicht vorbei – und übertönen die vorderen»
- «In diesem Moment kann man sich nicht vorstellen, dass dieses Werk, dieser Apparat, ansonsten so gut funktioniert und so verlässlich arbeitet.»
- «Ich schaue zufällig auf das Pendel und bin erstaunt, dass es trotz dieses Wirrwarrs immer noch im gleichen Takt weiterschwingt und nicht aus der Ruhe gekommen ist»
- «... das Pendel läuft unbeeindruckt vom Geschehen weiter und weiter in seinem eigenen Rhythmus»
- «Im Turm hört man, ganz sanft, das regelmässige Schlagen der Glocken, als würden diese dem ganzen Geräuschewirrwar den Takt geben»
- «... aus der Ferne Glockenschläge...»

Zurück zum gleichförmigen Tickgeräusch nach Beendigung der Nebenwerk-Bewegungen:

- «...das Uhrwerk beendet seinen Krach wie eine stoppende alte Lokomotive»
- «...Da, ein letzter Schlag, der sich anhört, wie wenn zwei eiserne Teile aufeinanderschlagen würden...» (...) «ein Klackgeräusch»
- «Päng, der Riegel hat eingerastet»
- «ein lautes Ratsch beendet den Vorgang»
- «die Metallpropeller drehen sich noch aus» (...) «ein letztes Schnippen»
- «Es kehrt wieder Ruhe ein»
- «...am Schluss pendelt das Pendel wieder in seine Gewohnheit zurück» (...) «Nun steht es wieder im Mittelpunkt»
- «Mit regelmässigem Pendelschlag wird alles wieder klar»

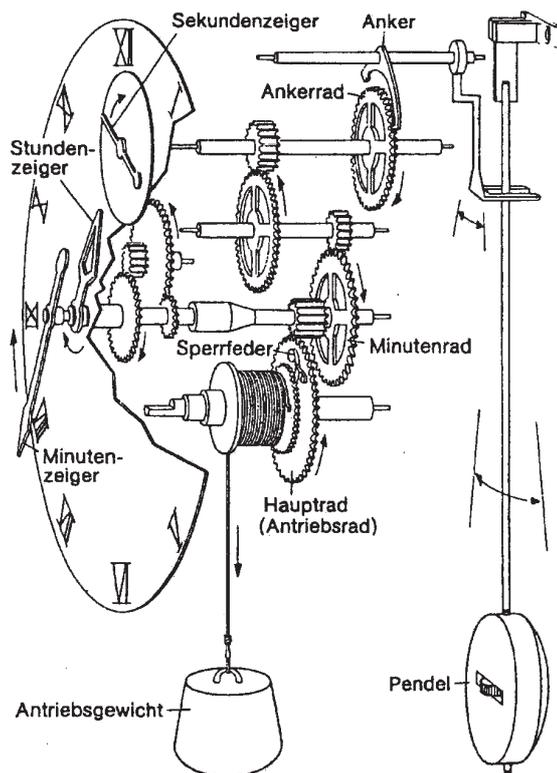
Spezielles:

- «Die Schläge erinnern mich an den Tod – ‚tick‘, jetzt stirbt ein Mensch, ‚tick‘, noch mal einer. Ich überlege mir auch, dass vielleicht dann, wenn ich sterbe, einer die Schläge zählt»

Von den Schülerinnen und Schülern eingesetztes Vokabular für einzelne Bestandteile der Uhr:

- «eine grosse Kugel aus Eisen, die an einem langen Stab befestigt ist»
- «Räder, Zahnräder (mit spitzigen und eckigen Zähnen), kantige Stangen, Achsen, Arretierungen, Hebel, Windklappen, Luftflügel, ventilatorähnliche Luftmühlen, Luftbremsen, Ventilatoren, Spulen, Ketten, Drähte, Seile, Rotoren, Propeller, Riegel, Verriegelungen, Noppen, Drehzahlregulatoren, Metallgehäuse»

## A16: Bestandteile der mechanischen Uhr



In der wissenschaftlichen Literatur werden die Bestandteile der Uhr auf folgende Weise definiert:

- Antrieb
- Räderwerk
- Zeigerwerk (zuweilen mit einem Schlagwerk gekoppelt)
- Schwingungssystem (Hemmung bzw. Regulierung)

(Quelle: Brockhaus. Die Enzyklopädie in 24 Bänden, Bd. 22, S. 614)

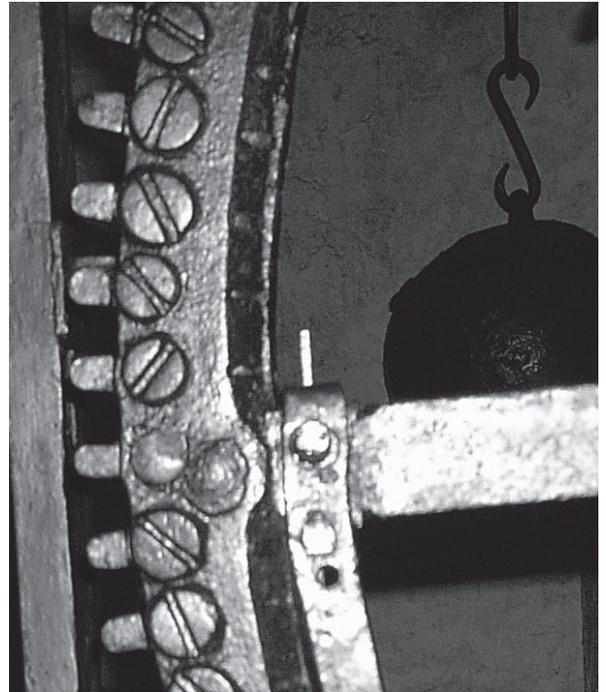
## A 17: Biografisches zu Kaspar Brunner

Genauerer dazu: siehe Leu 1982: 4f

Kaspar<sup>27</sup> Brunner stammte aus Nürnberg und stellte als Büchsenmacher ursprünglich Feuerwaffen her. Als wandernder Handwerker nahm er verschiedene Aufträge im süddeutschen Raum und im Gebiet der heutigen Schweiz an. 1527 legte er dem Rat der Stadt Bern einen ausführlichen Plan zur Reparatur des defekten Zytglogge-Uhrspiels vor. Nachdem das Projekt gutgeheissen und die finanziellen Abmachungen getroffen worden waren, arbeitete Brunner drei Jahre lang im Turm an der Uhr. Wo sich seine offene Feuerstelle befand, ist noch heute gut sichtbar, nämlich in der südwestlichen Ecke der Uhrenkammer. Das Werk Brunners wurde im Jahre 1530 fertig gestellt und galt schon zu seiner Zeit als ein Weltwunder. Es erregte weit über die Stadt- und Landesgrenzen hinaus wachsendes Staunen und Interesse.

Als Anerkennung wurde Kaspar Brunner in die renommierte «Gesellschaft der Schmieden» aufgenommen. 1537 ernannte ihn die Stadt zum offiziellen Büchsenmeister. Als Nebenbeschäftigung wartete er das Zytglogge-Uhrwerk, zog täglich die Steine hoch und richtete die Uhr, deren tägliche Abweichung wegen des noch fehlenden Pendels beträchtlich war. Im Jahr 1541 heiratete er Anna von Graffenried, eine Bernerin aus adeligem Geschlecht. Bald darauf sagte er sich von seinen Stadtdiensten los; sehr zum Bedauern der bernischen Behörden. Als genialer Handwerker und «Tüftler» suchte er immer neue Herausforderungen. So erwarb er sich auch auf seinem ursprünglichen Gebiet, der Herstellung von Handfeuerwaffen und dem Büchsengiessen, viel Ruhm. Interessiert war er auch an der Entwicklung verschiedener Schiess- und Feuerpulver und bescherte der Stadt Bern das erste grosse Feuerwerk seiner Geschichte: Am 1. November 1554 kam er mit seiner Frau hoch zu Ross in die Zytglogge-Stadt zurück und veranstaltete auf dem Breitfeld ein für damalige Dimensionen gigantisches «Lustfeuerwerk». Zum ersten Mal bekamen die verdutzten Bernerinnen und Berner Räder, Windmühlen, Kugeln und Spiralen in Form eines Farbenfeuers im Himmel zu sehen.

Kaspar Brunner starb im Oktober des Jahres 1561. In seinem Testament begünstigte er die armen Bewohner Berns, was auf eindruckliche Weise zeigt, dass er der Stadt bis zu seinem Tode eng verbunden blieb.

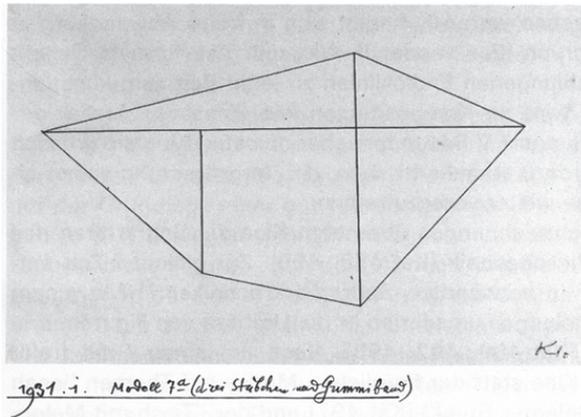


Kaspar Brunner, so gewinnt man bei der Betrachtung seines Uhrwerks den Eindruck, hat für die Ewigkeit gebaut. Obiges Bild stellt die Robustheit seiner Konstruktion noch einmal unter Beweis: Die geschmiedeten harten Zähne sind einzeln eingesetzt und mit Schrauben und Keilen befestigt. So genügt es bei Uhrwerk-Renovationen, bloss die im Laufe der Jahrzehnte abgewetzten Zähne zu ersetzen. – Man erkennt da den Schlosser und Büchsenmacher! Wie wäre es anders möglich gewesen, dass Brunners Uhrwerk bis auf den heutigen Tag einwandfrei funktionieren konnte?

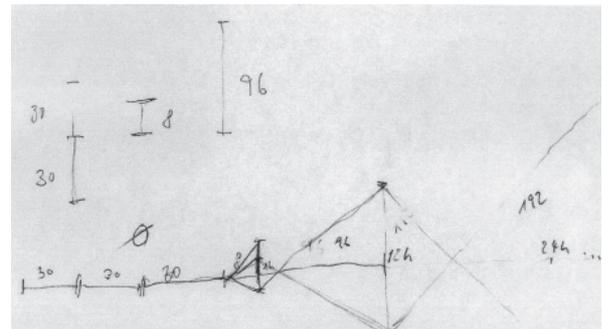
<sup>27</sup> In Quellen und in der Fachliteratur werden zum Teil auch andere Schreibungen verwendet, etwa: Caspar oder Kasper.

## A 18: Freie geometrische Ästhetik am Zytglogge-Uhrwerk

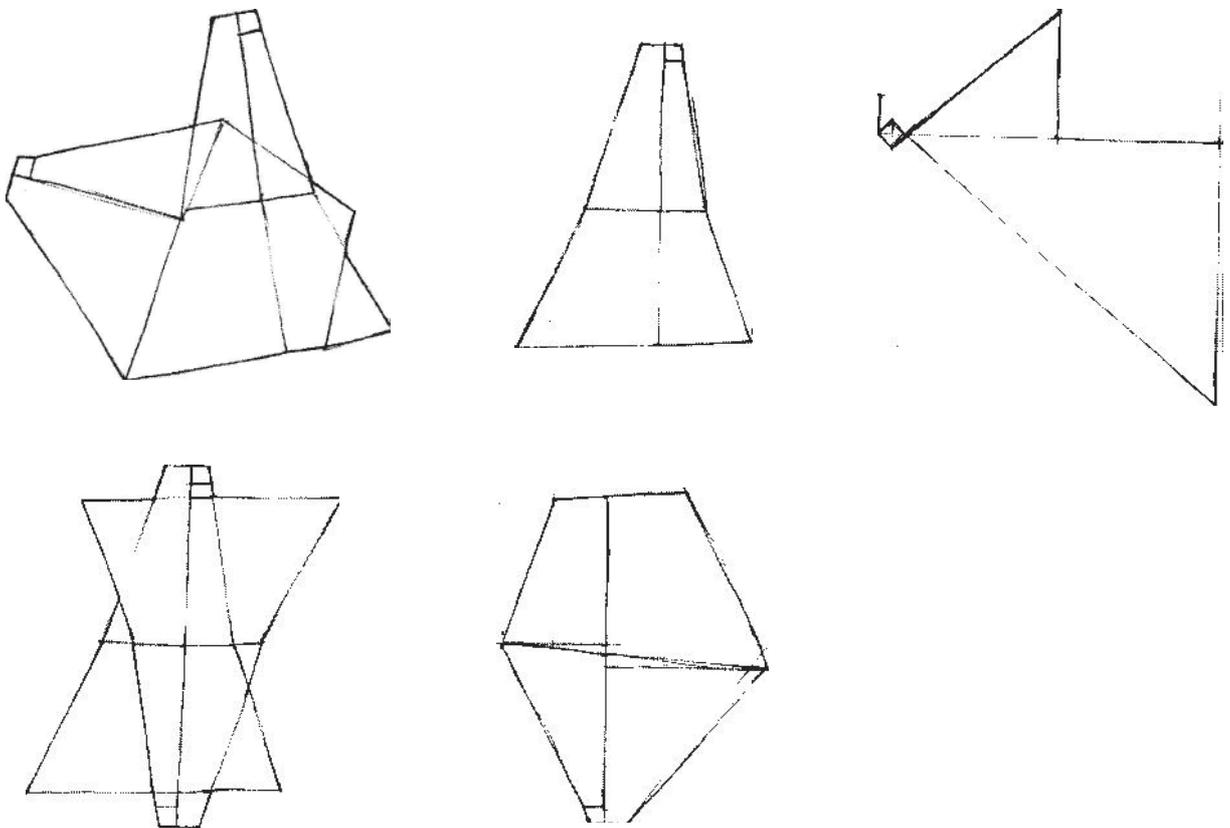
Zahlenverhältnisse visualisieren. Ein Beispiel von Paul Klee:



Laurent Schmid hat, ausgehend von diesem Visualisierungsansatz Paul Klees, versucht, die Zahlenverhältnisse des Zytglogge-Uhrwerks zu geometrisieren. Zuerst seine Grundskizze, in der wir die Zahlenverhältnisse des Zeigerwerks (30-er-, 8-er-Räder; 96-er-Halbtagesrad) erkennen:



Und nun verschiedene Darstellungsmöglichkeiten des immer gleichen Zahlenverhältnisses:



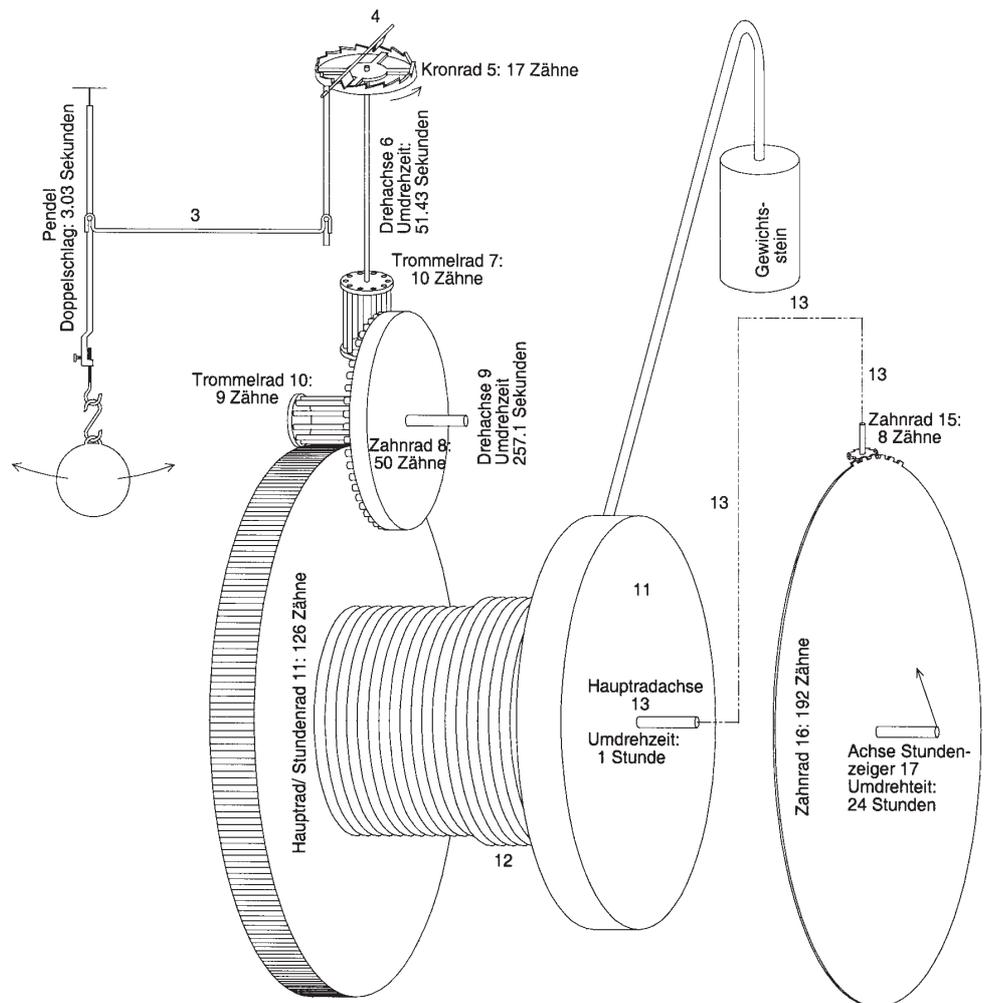
## A 19: Abstract: Wie funktioniert das Zytglogge-Uhrwerk? – Ein Kurzbeschrieb

Die Apparatur des Zytglogge besteht, vereinfacht gesagt, aus einem Hauptwerk, das in kontinuierlicher Bewegung ist und für die Zeitangabe an den Fassaden verantwortlich ist, und aus einem ganzen System von meist stillstehenden Nebenwerken, die verschiedene Funktionen, welche im Glockenschlag und an der Ostfassade hör- und sichtbar sind (Miertelstunden- und Stundenglockenschlag, Figurenspiele), auslösen.

### a) Das Hauptwerk

Das in einem grossen Metallgehäuse liegende Zytglogge-Uhrwerk besitzt als Antrieb einen Gewichtsstein (1), der an einem Seil befestigt ist. Beim Sinken dieses Steines wickelt sich das Seil langsam von der Walze (12) des Hauptrades (11) ab und treibt dieses kontinuierlich an. Das Hauptrad (11) seinerseits ist mit einem Räderwerk und mit den Zeigern dreier Zifferblätter<sup>28</sup> gekoppelt. Reguliert wird die Gangart des Werks durch eine Pendelvorrichtung. Das in absoluter Gleichmässigkeit hin- und herschwingende Pendel dient als Taktgeber der Uhr.

Im Detail sieht der Apparat folgendermassen aus:



<sup>28</sup> Zwei an der Ost-, eines an der Westfassade.  
– Auf obiger Skizze ist nur die Zeigerachse (17) der 24-Std-Uhr (16) der Ostfassade dargestellt.

Der Gewichtstein liefert die Energie für die Uhr. Mit Hilfe des Seiles setzt er das ganze Räderwerk in Bewegung. Die Kraft wird über das Haupttrad (11) auf ein Zahnradpaar (Trommelrad 10 / Zahnrad 8) übertragen und von dort via ein zweites Trommelrad (7) auf ein kronenähnliches Hemmrad 5 weitergeleitet. Der Gang des Uhrwerks wird durch das Zusammenspiel von Kronrad (5) und Arretierflügelchen (4) gehemmt und durch das Pendel gesteuert. Mit anderen Worten: Das Kronrad (5) kann sich nur dann weiterbewegen, wenn das Pendel eines der Arretierflügelchen in eine Position gebracht hat, welche das Kronrad für einen kurzen Moment freigibt. Zugleich greift nun aber das andere Flügelchen (4) in einen Zahnzwischenraum des Kronrades (5) und begrenzt den Drehgang des Kronrades auf einen halben Zahnabstand. Während das Pendel zurückschwingt, drückt das Kronrad auf das Arretierflügelchen und übt über die Querstange (3) eine Kraft auf das Pendel aus. Diesem wird dadurch jenes Energie-Quantum zugeführt, welches es bei jedem Hin- und Herschwingen durch Reibung und Luftwiderstand verliert. Da sich dieses Spiel bei jedem Pendelschlag wiederholt, bleibt die Uhr andauernd in Bewegung.

Das Kronrad (5), welches als Hemmrad der ganzen Apparatur dient, dreht sich also in absoluter Regelmässigkeit im Takt der Pendelschwingungen.

Diese Regelmässigkeit wird über die erwähnten Zahnräder bis aufs Haupttrad, und über dieses hinaus bis auf die Zeigerachsen der Fassadenuhren übertragen, was eine präzise Zeitangabe garantiert.

Die verschiedenen Übersetzungen im Räderwerk dienen dazu, die Pendeldauer (3,03 s) und die unterschiedlichen Drehgeschwindigkeiten der Uhrzeiger-Achsen<sup>29</sup> zu koordinieren.

Die Skizze auf Seite 79 macht diesen Zusammenhang deutlich, indem sie die verschiedenen Umdrehzeiten der einzelnen Räder aufzeigt. Fix über eine Achse laufende Räder<sup>30</sup> drehen sich gleich schnell. Beim Ineingreifen ungleich grosser Räder<sup>31</sup> drehen sich die kleineren schneller, die grösseren langsamer, und zwar im Verhältnis ihrer Zähnezahl.

So lassen sich die verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten wie folgt berechnen (die Berechnungen basieren auf der exakteren Pendeldauer von 3.0252 Sekunden):

$$\text{Pendeldauer (Doppelschlag)} = 3.03 \text{ Sekunden} \quad \underbrace{\cdot 17 \text{ (Kronrad 5: 17 Zähne)}}_{\Rightarrow}$$

$$\text{Umdrehzeit Drehachse 6} = 51.43 \text{ Sekunden} \quad \underbrace{\frac{50 \text{ (Zahnrad 8: 50 Zähne)}}{10 \text{ (Trommelrad 7: 10 Zähne)}}}_{\Rightarrow}$$

$$\text{Umdrehzeit Drehachse 9} = 257.1 \text{ Sekunden} \quad \underbrace{\frac{126 \text{ (Haupttrad 11: 126 Zähne)}}{9 \text{ (Trommelrad 10: 9 Zähne)}}}_{\Rightarrow}$$

$$\text{Umdrehzeit Haupttrad} = 3600 \text{ Sekunden} \quad \underbrace{\frac{192 \text{ (Zahnrad 16: 192 Zähne)}}{8 \text{ (Zahnrad 15: 8 Zähne)}}}_{\Rightarrow}$$

$$\text{Umdrehzeit 24-Stundenrad} = 86'400 \text{ Sekunden} \quad (86'4000 \text{ Sekunden} = 24 \text{ Stunden})$$

<sup>29</sup> Minuten- und 12-Stundenzeiger an den oberen Uhren / 24-Stundenzeiger an der unteren Uhr

<sup>30</sup> Rad 7 und Rad 5 / Rad 10 und Rad 8

<sup>31</sup> Zwischen Rad 7 und Rad 8 / zwischen Rad 10 und Rad 11 / zwischen Rad 15 und Rad 16

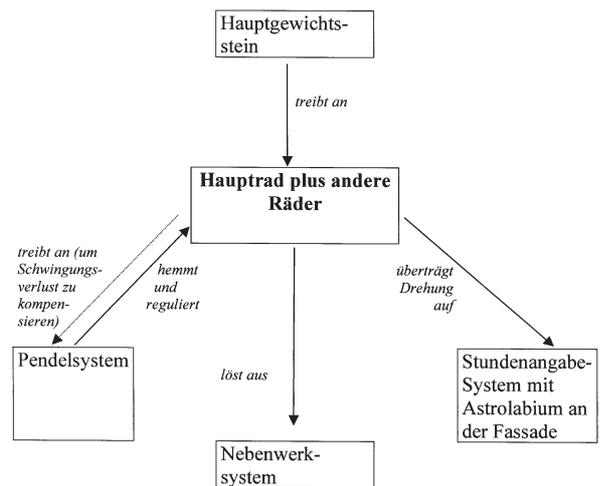
## b) Das System der Nebenwerke

Das Nebenwerkssystem besteht aus:

- einem durch das Haupttrad ausgelösten Viertelstundenschlagwerk (im Südwesten des Uhrkammer-Gehäuses)
- einem durch das Viertelstundenschlagwerk ausgelösten Stundenschlagwerk (im Nordwesten des Gehäuses)
- einem durch das Haupttrad ausgelösten kleinen Werk für den Hahnschrei im Nordosten des Gehäuses
- einem danebenliegenden anderen kleinen Werk zur Antreibung der Bärenparade.

Die Nebenwerke sind die meiste Zeit arretiert und setzen sich immer nur kurz in Bewegung. Dabei funktioniert das Deblocieren des einzelnen Werkes nach dem immer gleichen Prinzip: Das sich langsam drehende Haupttrad des Gehwerks (siehe Skizze S. 79, Rad 11) hebt durch eine Noppe einen in einer Kerbe des Schlussrades<sup>32</sup> ruhenden Auslösehebel hoch, was die Verriegelungsapparatur des Nebenwerkes auslöst<sup>33</sup>. Sobald der Sperrarm freigegeben ist, dreht sich das Werk, durch eine Kordel und einen separaten Gewichtsstein angetrieben. Es betreibt und steuert nun für die Dauer seines In-Bewegung-Seins irgend einen weiteren Mechanismus (je nach Werk: Stundenschlag, Drehparade, Hahnschrei etc.). Während dieser Zeitspanne gleitet ein Fallhebel über den äussersten Metallring des Schlussrades dieses Nebenwerkes, und zwar bis zur nächsten Einkerbung, in welche der Hebel einrastet. Sofort steht das Nebenwerk wieder still.

Betrachtet man nun die Zytglogge-Apparatur als ganze, so ergibt sich folgender Aufbau:



Das Schema macht deutlich, dass sämtliche Funktionen (Figurenspiele, Glockenschläge, Krähgeräusche, Stunden- und Minutenzeiger) zusammenhängen. Und wenn man bedenkt, dass ausgehend von der Tagesachse der unteren Uhr an der Ostfassade (Skizze S. 79, Achse 17) das ganze Astrolabium angetrieben wird<sup>34</sup>, so staunt man über das technische Meisterwerk, das im spätmittelalterlichen Bern entstanden ist. Und das umso mehr, als das Uhrwerk noch heute einwandfrei funktioniert.

<sup>32</sup> Als Schlussrad benannt wird das äusserste, ein Nebenwerk abschliessendes Rad. Jedes Schlussrad weist verschiedene Einkerbungen auf, in denen jeweils, wenn das Werk ruht, eine blockierende Stange sitzt.

<sup>33</sup> Eine Ausnahme bildet hier lediglich das Stundenschlagwerk, das nicht durch eine Noppe des Haupttrades, sondern durch das Viertelstundenschlagwerk deblockiert wird.

<sup>34</sup> Beschreibungen des Astrolabiums befinden sich bei: Markus Marti: «Wie funktioniert die astronomische Uhr am Zytglogge in Bern?» Separatdruck aus Orion 200, Februar 1984, Seiten 30 bis 35 / Manfred Schukowski. «Astronomie + Raumfahrt». Magazin 36/1999/ 2 / Seite 42f

# Zytglogge – das Lehrstück aus der Sicht eines Kursleiters

## Nachwort von Hans Ulrich Küng

Die vorliegende Publikation ist das Ergebnis eines Prozesses, der im September 1998 mit dem Start der 4. Gruppe der Berner Lehrkunstwerkstatt seinen Anfang nahm. Die Autoren Bertrand Knobel und Peter Vogel, Lehrer für Deutsch bzw. Physik am Gymnasium Muristalden, hatten sich – wie zwölf weitere Kolleginnen und Kollegen verschiedener Schweizer Gymnasien – für die Teilnahme an dieser Langzeit-Weiterbildung entschieden. Bis zum Mai 2001 fanden elf dreitägige Treffen<sup>1</sup> der Kursgruppe statt. In dieser Zeit wurde eine solide Basis für die Weiterentwicklung des Lehrstücks gelegt. Im Schuljahr 2002/03 nahm Bertrand Knobel nochmals an der Lehrkunstwerkstatt teil (jetzt in der 6. Gruppe), um die zwischenzeitlich gemachten Unterrichtserfahrungen auszuwerten und weitere Optimierungsschritte zu besprechen. Die jetzt vorliegende schriftliche Fassung des Lehrstücks entstand – als Synthese aus mehreren Teilen und Vorstufen – im Winter 2004/05, womit der lange Prozess aus intensiven Arbeitsphasen und längeren Ruhepausen seinen schönen Abschluss fand. Im Sommer und Herbst 2005 erfolgte der letzte redaktionelle Schliff und schliesslich die Arbeit am Layout, wofür Fritz Hänni vom IWB<sup>2</sup> grosser Dank gebührt.

Man mag sich fragen, weshalb dieser Weg so lang war: ganze 7 Jahre für die Entwicklung eines Lehrstücks bis hin zur Publikation – ist das typisch? Ich meine nein, denn ‚typische‘ Erfahrungswerte gibt es hier kaum. Jedes Lehrstück macht seinen eigenen Entwicklungsgang, der auch Unterbrüche einschliessen kann, oft einfach deshalb, weil über längere Zeit keine geeignete Klasse oder keine passenden Zeitgefässe für neue Unterrichtsdurchgänge zur Verfügung stehen. Und ohne die Erfahrungen aus dem konkreten Unterricht kann die Entwicklung nicht weiter gehen.

## Zum Werdegang

In der ersten Kleingruppen-Sitzung mit Bertrand Knobel, Peter Vogel und dem Kunstlehrer Laurent Schmid im November 1998 geht es darum, das Feld möglicher Themen für ein Lehrstück-Projekt abzustecken. Die drei Kollegen haben den ausdrücklichen Wunsch, die Lehrkunstwerkstatt als Gelegenheit zu vertiefter kollegialer Zusammenarbeit zu nutzen und gemeinsam etwas Interdisziplinäres zu gestalten. Bertrand Knobel berichtet von einem gerade laufenden Wahlfach zum Thema «Technik als literarisches Motiv», und Laurent Schmid erzählt aus einem Kurs im Bildnerischen Gestalten über «Maschinen-Modelle». Peter Vogel, Physiklehrer mit Ingenieurs-Erfahrung, kann sich mit einem solchen thematischen Rahmen leicht anfreunden. Aber wie geht man ein solches Projekt konkret an? Gemäss Martin Wagenscheins didaktischen Grundsätzen braucht es einen «Leitgegenstand», von dem aus sich ein Thema im Unterricht entfalten lässt. Was könnte sich hier eignen? Es müsste ein Gegenstand sein, der den Schülerinnen und Schülern auch tatsächlich vor die Sinne treten kann, z.B. ein Bauwerk wie der Eiffelturm. Das Sammeln und Abwägen von Ideen ergibt vorläufig folgende Auswahl: die Bühne des Berner Stadttheaters (mit ihrer ganzen Technik), das Uhrwerk des Zytglogge, die imposante, bereits im 19. Jahrhundert konstruierte Jungfraubahn. Bis zur nächsten Sitzung soll ein Entscheid vorbereitet werden.

- <sup>1</sup> Während der drei Tage gibt es einen oder zwei Plenums-Halbtage und daneben Kleingruppen-Beratungen:  
– Im Plenum lernen die Teilnehmenden anhand von Lehrstück-Beispielen das Konzept der Lehrkunst-Didaktik kennen. Zudem präsentieren sie hier periodisch ihre eigenen Lehrstück-Ansätze und profitieren vom Mitdenken und von den Rückmeldungen der Kolleginnen und Kollegen.  
– In den Kleingruppen – bestehend aus der Kursleitung und den in einem Stück involvierten Lehrpersonen – wird die Entwicklung der Lehrstück-Projekte immer wieder im Detail besprochen, werden bisherige Unterrichtserfahrungen ausgewertet und weitere Schritte geplant. Die Kleingruppen stehen jederzeit für alle Kursteilnehmenden offen – auch die ‚Aussensicht‘ fachfremder Kolleginnen und Kollegen ist hier sehr erwünscht.
- <sup>2</sup> Institut für Weiterbildung der PHBern, seit dem 1. September 2005 Nachfolge-Institution der Zentralstelle für Lehrerinnen und Lehrerfortbildung des Kantons Bern.

Beim Treffen im Februar 1999 sind die Würfel bereits gefallen: Die drei Kollegen haben in der Zwischenzeit das Uhrwerk im Rahmen einer Führung besichtigt und sind derart beeindruckt von dieser Apparatur, die seit 450 Jahren die Uhrzeiger und Spielwerke des Zytglogge antreibt, dass die Alternativen ausgespielt sind. Gleichzeitig ist klar geworden, dass dem Entwickeln einer Unterrichtseinheit für Schüler das eigene Lernen voranzugehen hat: Die Lehrer müssen die Funktionsweise der Maschine zuerst für sich selbst enträtseln. Es wird vereinbart, dass sich die Gruppe inklusive Kursleiter beim nächsten Treffen im Mai gemeinsam dieser Aufgabe stellen wird.

Das heutige Gespräch umkreist auch schon weitere Fragen: Wie könnte die Beschäftigung mit dem Uhrwerk in ein Lehrstück eingebettet werden? Sollen die Geschichte und Funktion des ganzen Bauwerks, des Zytglogge-Turms, miteinbezogen werden? Gehören die philosophische Dimension der Zeit allgemein und die historische der Zeitmessung auch dazu? Welche Eigenaktivitäten von Schülerinnen und Schülern sind angesichts dieses Gegenstandes angebracht, welche Ziele sollen mit ihnen erreicht werden?

Im Mai lassen wir uns das Uhrwerk durch eine Angestellte von Bern Tourismus zeigen und erklären, so wie das üblicherweise für Touristengruppen gemacht wird. Doch wir wollen es genauer wissen und haben zusätzliche Zeit reserviert. Wir erkunden den Weg der mechanischen Bewegungen über Achsen und Räder vom Pendel bis zu den Zeigern der Uhr, zählen die Zähne der Zahnräder, messen die Schwingungsdauer des Pendels, und so fort. Die Kollegen haben den Eindruck, auf diese Art könnte es gelingen, das Uhrwerk zu verstehen. Und für eine Schulklasse sollte die Aufgabe auch zu meistern sein. «Wir können durch schlichtes Zählen an das Prinzip der Zeitmessung herankommen», meint etwa der Physiklehrer. Ferner erwarten wir, dass die Begeisterung, die wir fühlen, auch auf die Schülerinnen und Schüler überspringen könnte – und sich nutzen liesse als Antrieb für eigenständige Lernprozesse.

Die nächsten beiden Sitzungen im August und November 1999 dienen der Analyse unserer eigenen Erfahrungen mit dem Uhrwerk und der Planung einer ersten Unterrichtssequenz während einer Sonderwoche vor Weihnachten. Bertrand Knobel und Peter Vogel haben einen ersten Bericht mit Fotos und Skizzen über die eigenen Lernprozesse verfasst und ihre Unterrichtsplanung weitergeführt. Sicher beginnt eine Begegnung mit dem Zytglogge draussen, vor der Ostfassade, an der man die beiden Zifferblätter und verschiedene Spielwerke erkennen kann. Hauptaufgabe für die Schülerinnen und Schüler soll es jedoch sein, mög-

lichst selbständig das Uhrwerk im Innern zu enträtseln, es zu verstehen und anschliessend den eigenen Lernprozess und die Funktionsweise der Maschine zeichnerisch und sprachlich zu beschreiben.

Im November zeichnet sich ab, dass die für die erste Unterrichtserprobung ins Auge gefasste Sonderwoche nicht durchgeführt werden kann. Damit manifestiert sich eine Schwierigkeit, die beim Zytglogge-Projekt besonders ausgeprägt ist: Das Thema ist nicht normaler Teil des stundenplangebundenen Unterrichts, sondern muss seinen Platz in Sonderwochen finden, deren Durchführung wegen schwankender Anmeldezahlen unsicher ist. Es braucht aber zwingend Erprobungsphasen, um eine Lehrstück-Entwicklung voranzutreiben.

Glücklicherweise taucht im Februar 2000 eine Alternative auf: Anlässlich einer Weiterbildungswoche für deutsche Lehrkräfte finden Schulbesuche im Gymnasium Muristalden statt, und das Zytglogge-Team packt die Gelegenheit für ein einstündiges Sonderprogramm mit einer Schülergruppe und sieben deutschen Gästen. Die Zeit ist knapp, aber die Erfahrungen sind ermutigend für die Weiterarbeit.

Im Mai 2000 kommt das Zytglogge-Lehrstück in die ‚Werkstatt‘, d.h. es wird in seiner vorläufigen Form in einer Plenumsveranstaltung mit der ganzen Kursgruppe erprobt und anschliessend diskutiert. Natürlich trifft man sich in diesem Fall vor Ort. Die Lehrer führen ihre Kolleginnen und Kollegen so vor das Uhrwerk, wie sie es für ihre Klassen geplant haben. Die Lehrpersonen werden für einmal wieder zu Schülerinnen und Schülern, die jetzt diesem faszinierenden Gegenstand – meist tatsächlich zum ersten Mal – begegnen und versuchen, ihn zeichnend, zählend, genau beobachtend und sich untereinander austauschend zu entschlüsseln und zu begreifen. Danach trifft sich die ganze Gruppe wieder im Schulhaus und wertet die Erfahrungen aus, was den Lehrstück-Entwicklern wertvolle Rückmeldungen und Hinweise für die weitere Arbeit liefert.

Damit sind die typischen Hauptstationen der Lehrstück-Entwicklung an diesem Beispiel beschrieben. Die vier weiteren Kleingruppen-Sitzungen im Schuljahr 2000/01 dienen der Ausarbeitung und Gestaltung im Detail sowie der Besprechung des schriftlichen Berichts. Doch lässt sich, weil zu wenig Unterrichtserfahrung gesammelt werden konnte, die Arbeit bis zum Ende des Kurses im Sommer 2001 nicht wirklich abschliessen.

Laurent Schmid, der mitbeteiligte Kunstlehrer, verlässt das Gymnasium Muristalden im Sommer 2001 und steigt aus dem Projekt aus. Doch Bertrand Knobel und Peter Vogel sind vom Zytglogge-Uhrwerk weiterhin so fasziniert, dass sie – mit zeitweiligem Beizug einer andern Kunstlehrerin – für und durch den Unterricht mit zwei Quarta-Klassen (9. Schuljahr) im September 2002 und 2003 das Lehrstück weiter ausdifferenzieren, wovon der vorliegende Bericht nun ein eindrückliches Zeugnis ablegt. Ich finde ihr Engagement und ihre Ausdauer bewundernswert!

### Zum Lehrstück

Ob und inwiefern das Zytglogge-Lehrstück einem ‚lehrbuchmässigen‘ Lehrstück entspricht, soll hier nicht erörtert werden. Die Autoren gehen im Kapitel «Aufbauskizze des Lehrstücks ...» (S. 23 f.) selbst und kompetent auf den Ansatz der Lehrkunstdidaktik und auf die für die Lehrkunstdidaktische Methodentrias zentralen Begriffe exemplarisch, genetisch und dramaturgisch ein.

Ich möchte vielmehr ein paar Besonderheiten dieses Lehrstücks erwähnen:

- Speziell ist einmal die Fächer übergreifende Ausgestaltung, die von Beginn weg angestrebt wurde und auch tatsächlich gelungen ist. Beiträge der Fächer Deutsch, Physik und Gestalten wirken gleichberechtigt zusammen und spielen sowohl im Unterricht wie in den Schülerarbeiten ihre unverzichtbaren Rollen.
- Beeindruckend finde ich auch die Vielfältigkeit der Schüler-Aktivitäten. Sie reicht vom eigenen Enträtseln (dekonstruieren), über das gestalterische Darstellen, das genaue Beschreiben (neu konstruieren), das Erklären bzw. Vortragen gegenüber anderen, bis zur Prozessreflexion und dem Geben und Empfangen von Feedbacks! Und alle diese Aktivitäten sind auf ungezwungene Weise in ein gut gestaltetes Ganzes eingebunden.
- Die Dramaturgie des Lehrstücks (vgl. S. 24-28) nimmt in ihrer doppelten Gestalt von Pendelschlag und zirkularer

Vertiefung Bezug auf die beiden Grundbewegungen des Gegenstands, das Hin und Zurück des Pendels und die Kreisbewegungen von Zahnrädern und Zeigern der Uhren. Auch der vorliegende Bericht folgt in seinem Aufbau dem Prinzip der zirkularen Vertiefung.

- Bemerkenswert ist ferner sicherlich die im Bericht beschriebene Form der Beurteilung der Arbeiten von Schülerinnen und Schülern (7. Szene, S. 40). Diese überzeugende Kombination von kollegialem Feedback (durch Mitschüler!), Selbstbegutachtung und Lehrerbeurteilung ist mir bisher in Lehrstücken noch nicht begegnet.
- Schliesslich gefällt mir die an verschiedenen Stellen der Arbeit (insbesondere im Kapitel «Das Lehrstück in Szenen», S. 29 f.) angesprochene Einbettung des Lehrstücks in das schöne Leitmotiv des Gymnasiums Muristalden: «Wahrnehmen – Verstehen – Gestalten – Verantworten». Durch den hier beschriebenen Unterricht wird dieses Motiv auch tatsächlich im Schulalltag umgesetzt.
- Bleiben noch ein paar offene Fragen: Ist dieses Lehrstück auf andere Orte, Schulen und Lehrpersonen übertragbar? Lehrstücke verstehen sich ja auch als Vorlagen für den Unterricht anderer und andernorts. Der Gegenstand «Zytglogge-Uhrwerk» hat sich als schwierig erwiesen, weil er aus gebäudeschützerischen Gründen nicht frei zugänglich ist. Wäre der notwendige Zugang auch für andere Berner Schulklassen möglich, ohne die persönlichen Beziehungen zu den zuständigen Stellen, von denen die Lehrstück-Autoren profitieren konnten? Und wie wäre es in einer anderen Stadt? Könnte man ‚Ersatzobjekte‘ finden und das Lehrstück darauf anpassen? Ich bin in dieser Hinsicht zuversichtlich, denn fast in jeder Stadt gibt es irgendwo alte Uhrwerke. Oder man kann – wie es die Autoren als mögliche Ergänzung vorschlagen (vgl. S. 49) – ein Uhrenmuseum besuchen, in dem sich ähnliche Räderuhren, aus etwa der gleichen Epoche, untersuchen lassen. Und selbst eine alte Pendule aus Grossmutter Estrich könnte als Untersuchungsobjekt dienen. Denn man erkennt in jeder Räderuhr wieder die gleichen Prinzipien, die Kaspar Brunner bei der Konstruktion des Zytglogge-Uhrwerks verwirklicht hat.

### **Ausblick**

In diesem Sommer (2005) ist von Markus Marti eine neue Publikation mit dem Titel «600 Jahre Zytglogge Bern – Eine kleine Chronik der Zeitmessung»<sup>3</sup> erschienen. Das Jubiläum bezieht sich auf die im Jahr 1405 gegossene Stundenglocke, die ganz oben im Turm hängt. Das 40-seitige Bändchen enthält interessante Texte und zahlreiche schöne Farbbilder. Detaillierte und präzise Informationen über die Funktionsweise des Uhrwerks, wie sie der vorliegende Bericht enthält, will und kann es jedoch nicht bieten.

Der Zytglogge ist im laufenden Jahr auch in die Aktivitäten zum Einstein-Jahr einbezogen worden. Bern Tourismus bietet Führungen an zum Thema «600 Jahre Zytglogge – 100 Jahre Relativitätstheorie». Die zweistündigen Führungen beginnen im Zytglogge und enden im nahen Einstein-Haus mit einer Physik-Lektion zu den Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie. Im Zytglogge wird das Uhrwerk ‚traditionell‘ erklärt, mit ergänzenden Hinweisen auf Informationstafeln zur Geschichte der Zeitmessung und zur Relativität der Zeit – zu Themen also, die bei unserer Arbeit in der Lehrkunstwerkstatt auch zur Diskussion standen. Wie die Autoren in ihren «Schlussbemerkungen» schreiben (S. 53), sehen sie im vorgelegten Lehrstück keine definitive Form: «Jeder Durchgang birgt die Chance und das Potential zu neuer Kreation» – vielleicht sogar einmal zum Einstieg in die Relativitätstheorie ...

Hans Ulrich Küng  
Im Oktober 2005

## Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Ein frühes Zeugnis	2
Begründung: der Blick hinter die Fassade	3
Zielsetzung des Lehrstücks: die Funktionsweise der mechanischen Uhr Kaspar Brunners verstehen	6
Ein Wort zum Lehrstückbericht	8
Das Uhrwerk; Versuch einer Beschreibung	9
Der Weg von Aussen nach Innen: Hauptrad, Radübersetzungen, Gewichtssteine	9
Die Nebenwerke: Hahnschrei, Bärenspiel, Viertelstunden- und Stundenschlagwerk	13
Das Pendel	17
Zusammenfassung: die vier Hauptteile des Uhrwerks im Überblick	18
Das Hauptrad als Stundenrad: Übersetzungssystem der einzelnen Zahnräder	19
Vom Stundenrad zum Pendel: die Übersetzungsverhältnisse der Zahnräder im Innern der Uhr	20
Auflösung eines weiteren Rätsels: die Wochentag-Angabe	22
Aufbauskizze des Lehrstücks: der Weg von Aussen nach Innen und von Innen nach Aussen	23
Der Ansatz der Lehrkunst: exemplarisch – genetisch – dramaturgisch	23
Das Prinzip des Pendelschlags	25
Das Prinzip der kontinuierlichen (zirkularen) Vertiefung	28
Das Lehrstück in Szenen (Ort/Kurzbeschrieb/Beschreibung/Begründung-Absicht/Unterrichtserfahrungen)	29
1. Szene: Einleitung	29
2. Szene: Kontaktnahme; zeichnerische Annäherung («wahrnehmen»)	30
3. Szene: Theoretische Basis (Grundlagenarbeit)	33
4. Szene: Durcharbeiten; Erkenntnis («verstehen»)	34
5. Szene: Erkenntnisse diskutieren, sich versichern («verstehen und gestalten»)	38
6. Szene: Vorträge im Turm	39
7. Szene: Auswertung: Ergebnissicherung, Dokumentation	40
8. Szene: Reflexion: Expertenbegegnung	45
9. Szene: Ergebnisse anwenden («verantworten»)	46
10. und letzte Szene: Führungen	47
Ergänzungen, Varianten	48
Die Geschichte des Zytglogge	48
Aufteilung der Erkundungsaufgaben: Untersuchung der Nebenwerke	48
Beschreib-Übung: das Uhrwerk in Bewegung	48
Das Uhrwerk im Geiste zerlegen	49
Exkursion in ein Uhrenmuseum	49
Lernkontrolle zum Uhrwerk des Zytglogge, inkl. Pendelphänomen und Gesetze zu den Zahnradübersetzungen	49
Dem gestalterischen Moment mehr Gewicht geben	51
Schlussbemerkungen	52
Der Gegenstand	52
Die Methode	52
Die Lehrpersonen	53
Die Lehrstück-Arbeit als Prozess	53
Verwendete Literatur	54
Dank	54

Anhang	55
A1: Die Nebenwerke / das mechanische Prinzip	55
Das Viertelstundenschlagwerk	55
Das Stundenschlagwerk	56
A2: Weitere Erklärungen zum Pendel	59
A3: Kulturgeschichtliches zum Pendel	60
A4: Zahnradübersetzungen (Theorie)	61
A5: Vom Stundenrad zu den Uhrzeigern: das Zeigerwerk	62
A6: Auflösung der Zahlenverhältnisse 1	63
Modellhaftes Durchführen der ersten Schrittes: die Auflösung der Zahlenverhältnisse im System A vom Stundenrad zum Zeigerwerk	63
A7: Auflösung der Zahlenverhältnisse 2	64
Modellhaftes Durchführen des zweiten Schrittes: die Auflösung der Zahlenverhältnisse im System B vom Stundenrad zurück zum Pendel	64
A8: Die Ostfassade (Lehrervortrag / Beschrieb)	65
Überblick	65
Das Astrolabium	65
Der Spielerker	66
Das 12-Stunden-Zifferblatt	67
Die Malereien	67
Der Dachteil	67
A9: Erklärungen zum Astrolabium	68
A10: Genaueres zum zeichnerischen Auftrag (Szene 2, Phase d)	69
A11: Zahnradverbindungen (Theorie)	70
A12: Unterrichtsprotokoll einer Lehrinheit zum Pendelgesetz	72
A13: Zahnradverbindungen von Alltagsgegenständen	73
A14: Einladung Schlussanlass	74
A15: Sprachliche Annäherungen	75
Zum Tickgeräusch	75
Zur Geräuschkulisse der plötzlich abspulenden Nebenwerke	75
Zurück zum gleichförmigen Tickgeräusch nach Beendigung der Nebenwerk-Bewegungen	76
Spezielles	76
Von den Schülerinnen und Schülern eingesetztes Vokabular für einzelne Bestandteile der Uhr	76
A16: Bestandteile der mechanischen Uhr	76
A17: Biografisches zu Kaspar Brunner	77
A18: Freie geometrische Ästhetik am Zytglogge-Uhrwerk	78
A19: Abstract: Wie funktioniert das Zytglogge-Uhrwerk? – Ein Kurzbeschrieb	79
 Nachwort von Hans Ulrich Küng	 82
 Inhaltsverzeichnis	 86