



## Zehn Bücher über Architektur

(Buch 9 und 10)

**Vitruvius**

**Baden-Baden, 1959**

III. Kap. Die Grade und Kreislinie als Grundelemente der mechanischen Bewegung.

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80031](#)

### KAPITEL III.

## DIE GRADE UND KREISLINIE ALS GRUNDELEMENTE DER MECHANISCHEN BEWEGUNG.

1. Ueber die Hebwerke, *tractoriae*, habe ich das mir nötig Dünkende in Kürze berichtet. Zur Erzeugung<sup>1</sup> ihrer Bewegungen wie technischen Leistungen sind aber zwei unter sich verschiedene und an sich unähnliche, doch in der Wirkung sich ergänzende<sup>2</sup> und in ihrem Wesen gleiche Elemente erforderlich, nämlich der Begriff der graden Linie<sup>3</sup>, *porrectum*, den die Griechen *Eutheia* benennen und der des Kreises, *rotunditas*<sup>4</sup>, den man bei den Griechen *Kyklotē* heißt; wie man denn in Wahrheit ohne Mitwirkung der Funktion der Kreislinie keine geradlinige Kraftentfaltung noch ohne Beihülfe der geradgerichteten Linie durch Kreisdrehung für sich eine Last emporzuheben vermag. Dieses mechanische gesetzliche Verhältnis will ich zu erläutern suchen.

2. So pflegt man u. a. durch die Mitte der Rollen (als Bewegungspunkte) eines Flaschenzuges kleine Stangen<sup>5</sup>, *axiculi*, zu stecken und diese in

<sup>1</sup> *motus et virtus machinae*, die mechanische Bewegung und Kraftleistung einer Maschine.

<sup>2</sup> *congruentes*, im System sich ergänzende, muß füglich hier »sed« ergänzt werden.

<sup>3</sup> *principium porrectae lineae*, *εὐθεία*, die elementare Kraft der geraden Linie als Welle, Hebel.

<sup>4</sup> *principium rotunditatis*, *κυκλωτή*, die elementare Bewegung der Kreislinie, durch deren Umkreisung, Rotation, die Welle gedreht und die Hebelkraft zugleich entfaltet wird; eine treffliche Definition des Grundwesens der Mechanik, gleichwie man bis heute deren elementare Bewegungen aus den nämlichen Prinzipien ableitet, welche von Vitruv in den folgenden Definitionen an technischen Beispielen bekräftigt werden.

<sup>5</sup> *axiculi in orbiculo*, die kleinen Stangen, um welche die Rollen, Scheiben eines Flaschenzuges sich bewegen.

dessen Kloben einzufügen, worauf das um die Scheiben geschlungene Seil durch Anziehn in grader Richtung und jenes um den Haspel gewundene durch kreisförmige Drehung des Hebels den Aufzug der Lasten bewirkt. Gleicherweise werden auch die Enden der Zapfen der Haspel daselbst, *suculae cardines*, welche wagrecht, *orrecti*, in die Zapfenlager *chelonia*, eingelassen sind, verbunden mit den gradlinigen Hebestangen, (sobald letztere an den Enden eingesetzt und herumgedreht werden), durch die kreisförmige Bewegung des Dreheisens<sup>1</sup>, ebenfalls die Last emporheben. Hat man ferner zum Beispiele eine eiserne Hebelstange<sup>2</sup>, *vectis ferreus*, unter eine Last geschoben, welche eine große Anzahl von Menschenhänden nicht von der Stelle zu rücken imstande ist, so vermag, wenn man nahe, cito, am Wendepunkte der Last, *centrum*<sup>3</sup>, eine kleine feste Unterlage<sup>4</sup> *pressio*, welche die Griechen *Hypomochlion* benennen, legt, und hierauf die Zunge<sup>5</sup>, *lingua*, der Stange unter die Last einschiebt, das durch die Kraft eines einzigen Menschen niedergedrückte Ende des Hebels jene Last zu lüften. Taf. 65 Fig. III.

3. Diese Kraftwirkung wird aber dadurch erzeugt, daß der kürzere Teil, *brevior pars*, der Hebelstange an der Stelle, welche den Drehungspunkt bildet, unter die Last eingeschoben ist, während ihr von jenem Mittelpunkt weiter entferntes Ende, von dem aus die Last gehoben wird, mittels seiner Kreisbewegung durch den Druck weniger Hände das Gewicht der bedeutendsten Last aus seiner horizontalen Lage sich zu erheben<sup>6</sup>, *exanimare*, zwingt. In ähnlichem Sinne wird, nachdem die Spitze eines eisernen Hebels unter eine Last eingesetzt ist, ihr äußerstes Ende jedoch nicht nach unten<sup>7</sup> gedrückt, sondern in entgegengesetzter Richtung nach oben gehoben wird, die auf das Erdreich, *solo areae*, gestützte<sup>8</sup>, *fulta*, Hebelzunge selbst als Auflage dienen, während die Kante<sup>9</sup>, *angulus*, der Steinlast dagegen die Unterlage (für den Drehpunkt) bildet, so daß diese nichtsdestoweniger (durch den Druck nach aufwärts) die Kraft entfaltet die gleiche Gewichtsmasse, wenn auch minder leicht wie bei dem Druck nach abwärts<sup>10</sup>, *oppressio*, emporzurichten Fig. IV. Schiebt man hingegen

<sup>1</sup> *tornus*, Dreheisen, -hebel. Taf. 65, Fig. III, IV.

<sup>2</sup> *vectis ferreus*, eiserne Hebelstange.

<sup>3</sup> *centrum*, Drehungspunkt, Wendepunkt der Last (Bewegungspunkt).

<sup>4</sup> *pressio*, *όπομόχλιον*, Unterstützung, Unterlage.

<sup>5</sup> *lingua vectis*, Zunge, Ende der Stange in der Schnellwage. Taf. 65, Fig. V.

<sup>6</sup> *examinare*, bewegen, erheben.

<sup>7</sup> in *imum*, nach unten, *adversus in altitudinem extollere*, in entgegengesetzter Richtung nach oben drücken, heben.

<sup>8</sup> *fulcire*, stützen.

<sup>9</sup> *angulus*, Eckkante.

<sup>10</sup> *pressio*, Druck nach abwärts.

die vordere Spitze der Hebelstange weiter über die Unterlage, hypomochlion, selbst hinaus unter die Last, so daß das äußere Ende des Hebels näher als tunlich an den unterstützenden Wendepunkt gerückt ist, so vermag der Hebel die Masse nicht zu heben, was (wie wir oben erklärten) nur möglich ist, wenn man bei Abwägung des Hebeleinsatzes<sup>1</sup>, examinatio vectis, dem zum Herabdrücken<sup>2</sup>, deductio, bestimmten Ende keine größere Länge (als die der unter den Stein geschobenen Spitze) zugemessnen hat.

4. Dies mechanische Prinzip kann man aber auch bei jener Gattung von Wagen, die man Schnellwagen<sup>3</sup>, Staterae, heißt, wahrnehmen. Wird hier selbst nämlich die Schwere<sup>4</sup> (Gewicht), ansa, näher an das Ende des Wagbalkens<sup>5</sup>, caput scapi, woselbst die Wagschale, lancula, hängt und der Wendepunkt, centrum, der Wage sich befindet, gerückt, und schiebt man das Gegengewicht, aequipondium, nach der anderen Seite von einer Einkerbung, punctum (am Wagebalken), zur andern, möglichst weit bis zur äußersten Spitze desselben hin, so ist man imstande mit kleinerem, im Vergleiche zu der Belastung der Wage an Masse ungleichen, Gewichte infolge der vom Drehungspunkte, centrum, in wagrechter Richtung weiter entfernten Abstand des Wagebalkens, einer höchst bedeutsamen Last das Gleichgewicht zu halten. Auf diese Art zwingt auch die geringere Größe eines Gegengewichtes, indem dasselbe die gewaltigere Masse einer Last aus dem Schwerpunkt<sup>6</sup>, momentum, bei der Abwägung bringt, diese ohne Gewalt sich sanft in entgegengesetzter Richtung von unten nach oben zu erheben (Taf. 65, Fig. V, VI).

5. In diesem Sinne vermag ebenso der Steuermann<sup>7</sup>, selbst des größten Frachtschiffes<sup>8</sup>, der den Griff des Steuerruders<sup>9</sup>, hält, das die Griechen Oiax heißen, indem er durch Eingreifen mit einer Hand den

<sup>1</sup> examinatio vectis, richtige Abwägung der Stelle des Hebeleinsatzes.

<sup>2</sup> deductio, Herabführen, -drücken des Hebels.

<sup>3</sup> statera, σταθμός, σταθμόν, Schnellwage, Hebelwage, d. h. Wage mit Wagbalken<sup>5</sup>, scapus, auf dem die <sup>4</sup> ansa, Schwere des Gewichts, pensio, durch Schiebung nach dessen Ende hin, caput scapi, bestimmt wurde; dieselbe wurde freihängend oder auch auf Ständer ruhend, hergestellt. Bei der älteren, trutina, ζυγός, Wage befand sich dagegen der Drehungspunkt, centrum, nebst ansa, in der Mitte des feststehenden Wagebalkens, an dessen Spitzen die auf beiderseitiges Gleichgewicht, aequipondium, berechneten Wagschalen, lanculae, τρύτανη, herabhängten. Taf. 65, Fig. V. VI.

<sup>4</sup> momentum, Schwerpunkt, Wende-, Ruhepunkt der Wage.

<sup>7</sup> gubernator, Steuermann.

<sup>8</sup> navis oneraria, Lastschiff.

<sup>9</sup> gubernaculum, ὄιαξ, Steuerruder.

Wendepunkt, momentum, des Steuers nach kunstgerechter Erfahrung bewegt, ein mit überaus schweren und unermeßlich vielen Waren sowie Lebensmitteln beladenes Fahrzeug zu wenden<sup>1</sup>. Anderseits besitzen die nur bis zum halben Mast<sup>2</sup>, malus, aufgehißten Segel<sup>3</sup>, vela pendentia, nicht die Kraft einen rascheren Lauf des Schiffes zu erzeugen, sind dagegen dessen Rähen<sup>4</sup>, antennae, bis zur obersten Spitze<sup>5</sup>, cacumen, des Mastes emporgezogen, so wird dasselbe in schnellem Laufe dahinschießen, da dann die Segel nicht nahe am Fuße des Mastbaumes<sup>6</sup>, prope calcem mali, welcher hier den Drehungspunkt darstellt, sondern an dessen Spitze angebracht sind und sonach diese in weitem Abstande von letzterem den Druck des Windes aufnehmen.

6. Gleichwie somit die unter eine Last geschobene Hebelstange, welche man in der Mitte niederpreßt, dem Drucke größeren Widerstand leistet und nicht leicht sich herabsenkt, bei dem Druck von der äußersten Spitze hingegen mit Leichtigkeit das Gewicht emporhebt, in ähnlichem Sinne besitzen auch die in der Mitte eines Mastbaumes aufgehißten Segel eine geringere Kraftwirkung, während jene, welche an der obersten Mastspitze befestigt sind, infolge ihres weiten Abstandes von dem Drehungspunkte<sup>7</sup> nicht nur bei heftigem Sturm, sondern selbst bei gemäßigter Brise<sup>8</sup> durch den Druck auf die Mastspitze<sup>9</sup>, cacumen, das Schiff zu beschleunigtem Laufe bringen. So treiben auch die an den Dollen<sup>10</sup> scalmis, mittels Riemengeflechts<sup>11</sup>, struppis, befestigten, durch Menschenhände nach vorn eingesetzt<sup>12</sup>, dann rückwärts gezogenen Ruder, wenn deren Ende genügend weit vom Drehungspunkt abstehn, mit der Arme Kraft bei heftigem Anschlage<sup>13</sup>, impulsu vehementi, das langgestreckte Schiff durch die schäumenden Meereswogen, während dessen Vorderbug, prora, zugleich die flüssigen Wellen durchschneidet.

<sup>1</sup> vertere, umwenden, -kehren.

<sup>2</sup> malus, Mast.

<sup>3</sup> velum pendens, aufgehißtes Segel.

<sup>4</sup> antenna, Rahe, Segelstange.

<sup>5</sup> cacumen, Spitze.

<sup>6</sup> calx mali, Fuß des Mastbaumes.

<sup>7</sup> longius discedentia a centro, in weiterem Abstand vom Drehungspunkte.

<sup>8</sup> flatus, leichter Wind.

<sup>9</sup> cacumen, prora, ὁπος, Spitze des Schiffes, Bugsriet, auch Mastspitze.

<sup>10</sup> scalmus, Dollen.

<sup>11</sup> struppis, Riemen, Geflecht.

<sup>12</sup> impellere et reducere remos, die Ruder nach vorn einsetzen und rückwärts ziehen.

<sup>13</sup> vehemens impulsus remiorum, der kräftige Einschlag, Einsatz des Ruders.

7. Werden ebenso Lasten von bedeutendem Gewicht von sechs oder vier Trägern<sup>1</sup> an einem Tragbaum, phalanga, befördert, so suchen diese zunächst das Gleichgewicht im Mittel der Tragstange auf, damit die einzelnen Arbeiter<sup>2</sup>, operarii, nachdem so die Masse der Last in bestimmtem Verhältnisse verteilt wird, jeweilig das nämliche Gewicht auf der Schulter<sup>3</sup> tragen. Zu diesem Zwecke pflegt man auch den mittleren Teil der Tragstangen, woselbst die Riemen<sup>4</sup>, lora, der vier Träger eingehängt werden, mit Stiften abzugrenzen, damit erstere nicht weiter nach der einen oder andern Seite hin sich verschieben<sup>5</sup>. Werden nämlich die Riemen über den gleichen Abstand vom Mittelpunkt verrückt, so empfängt die diesem näher befindliche Stelle eine erhöhte Belastung, wie solches auch bei den Schnellwagen der Fall ist, sobald der Gewichtstein mit dem Zünglein<sup>6</sup>, examen, bis zum Ende der Wagestange<sup>7</sup>, ponderatio, hingeschoben wird.

8. Nach demselben Naturgesetze bewegen auch die Zugtiere<sup>8</sup>, sobald die Joche, juga, des Gespannes, subiugia, genau in der Mitte durch Riemen, lora (an der Deichsel), befestigt sind, gleichmäßig die Lastwagen von der Stelle, sind aber die Kräfte derselben gegenseitig ungleich, so daß das stärkere das schwächere überholt, so verlängert man durch Versetzung des Riemenswerkes eine Seite des Joches, wonach dem weniger kräftigen Tiere eine Erleichterung beim Ziehen gewährt wird. In analoger Weise muß hiernach bei Tragstangen und Jochen, wenn man daselbst das Riemenswerk nicht genau in der Mitte, sondern mehr nach einer Seite hin angebracht hat, die eine Seite um so viel kürzer erscheinen, als die andere an Länge gewinnt. Schlägt man somit mit den Abständen von dem Punkte, wo das Riemenswerk um das Joch geschlungen ist, (als Kreiszentrum) bis zu den beiderseitigen Enden des Joches je einen Bogen, so wird der größere Abstand eine weitere, der geringere eine engere Peripherie ergeben.

9. Gleichwie ferner die kleineren Räder eine stärkere Reibung<sup>9</sup>, duriores motus, besitzen und schwerfälliger sich fortbewegen, so wird auch

<sup>1</sup> phalangarius, Lastträger, phalanga, φαλαγγης, φαλαγγη, Tragstange, tetraphorus, von vier Trägern, hexaphorus, von sechs Trägern getragen.

<sup>2</sup> operarius, Arbeiter.

<sup>3</sup> collum, Nacken, Schulter.

<sup>4</sup> lorum, Riemen.

<sup>5</sup> labi, sich verschieben.

<sup>6</sup> examen, Zünglein der Wage.

<sup>7</sup> ponderatio, Wagestange.

<sup>8</sup> jumenta, in ein Joch, jugum, eingespannte Zugtiere, subjugium, Gespann.

<sup>9</sup> durior motus, größere Reibung, difficilior motus, schwerfällige Bewegung.

bei den Tragstangen wie Jochen der von dem Knotenpunkte bis Jochspitze weniger entfernte Teil, den Nacken eine schwerere Last aufbürden, wohingegen an der von der Mitte weiter befindlichen Stelle das Fortziehen wie Tragen der Lasten weit leichter zu bewältigen ist. Wie also bei den besagten Objekten die Entfaltung ihrer statischen Kraftwirkung, motus, auf der mechanischen Verbindung der geraden Linie und Kreislinie mit einem festen zentralen Drehungspunkte beruht, so vermögen auch die Karren<sup>1</sup>, Reisewagen, Schöpfräder, Seiltrommeln, Schnecken, Skorpionen, Balisten, Weinpressen und die anderen ähnlichen Maschinen einzig nach dem nämlichen, mechanischen Gesetze auf Grundlage der feststehenden geraden Linie (Hebel) und der sich um ihren Mittelpunkt drehenden Kreislinie (Rotation) die beabsichtigte Kraftbetätigung zu entfalten.

---

<sup>1</sup> plastrum, Lastwagen, Karren, rheda, Reisewagen, tympanum, Schöpfrad, rota, Seiltrommel, Welle, cochlea, Schnecke, scorpio, Skorpion, balista, Balisten, prelum, Weinpresse.