

Das XVI. Capitel.

Von dem Widerstand oder Friction der Maschinen,
und was Friction sey.

§. 215.

Durch dem Widerstand, lateinisch *Frictio* genannt, wird verstanden, wenn bey der Bewegung die Maschinen sich mit einigen Theilen gegeneinander reiben, und ihre Flächen, Wellen oder Zapffen auf einander schleiffen, rutschen und zwingen müssen, aber wegen ihrer Ungleichheit, da die erhobenen Theilgen in die Vertieffung der andern fallen, sich gegeneinander stemmen, und also mit Erhebung der aufliegenden Last zugleich müssen herausgehoben werden, worzu eine a parte Kraft gehöret, welche sonst zur Bewegung der Last könnte angewendet werden.

Je schwehret aber die Last auf den Flächen und Zapffen ist, je mehr werden die Theile auf- und ineinander gepresset, so daß destomehr Kraft erfordert wird, solche voneinander zu sondern, also daß folget:

Je rauher und ungleicher die Flächen, je grösser die Friction oder Widerstand, und je grösser die Last, je stärker auch gleichfalls die Friction, und also auch im Gegentheil, je leichter die Last und je glätter die Flächen, je leichter und auch weniger Friction hat die Machine.

§. 216.

Weil die Friction geschieht, wenn zwey Flächen so auf- oder übereinander bewegt werden, es sey nun solche eine ebene Fläche, oder eine runde Walze oder Zapffen in einem runden Lager, oder es sey eine ebene Fläche und runde Fläche gegeneinander, so ist zu wissen:

Ob eine kleine und schmable, oder eine breite und grosse Fläche, die mit einerley Last beschwehret sind, mehr Friction mache?

Oder:

Ob ein dicker oder dünner Cylinder oder Zapffen mehr Friction habe?

Der Herr *Amontons*, der sich besonders angelegen seyn lassen diese Sache fundamental zu untersuchen, davon einiges zu finden ist in denen *Memoires de l'Academie Royale des sciences Anno 1699. p. 260. sqq.* behauptet, daß es einerley, die Fläche sey breit oder schmahel, der Cylinder sey dicke oder dünne, und komme es nur auf die darauf liegende Last an, mit welcher auch die Friction vermehret werde, welches ihm aber Herr *L. C. Sturm* in *Observationibus circa frictionem Machinarum*, die den *Miscellanibus Berolinesibus pag. 294. sqq.* einverleibet sind, nicht billiget, sondern als einen Fehler ausleget, und einwendet: wenn dieses wahr wäre, so müste eine Mühl-Welle von 1650 Pfund schwehret, auf einem Zapffen von 6 Zoll, eben so leichte sich bewegen, als auf einem Zapffen von 3 Zoll, und derowegen ziehet er des *Amontons* Experimenta in Zweifel, und meynet, er habe nicht alle Umstände genugsam erwogen, weist auch wie er hätte verfahren sollen. Ob nun schon wegen unterschiedener Rauhgkeit einiger Unterscheid sich bey grossen und kleinen Flächen findet, so fehlet solches doch gar selten, und bleibet inzwischen des *Amontons* Experiment in seinem Werth. Was aber die Mühl-Welle anlanget, die Herr *Sturm* in contrarium anführet, so schicket sich solches hieher gar nicht, weil *Amontons*

Rede

Nede nur von einer Fläche ist, die ebenfalls auf dieser Fläche bewegt wird, oder da die bewege-
 gende Kraft nicht weiter vom Centro des Zapffens stehet, als die äusserliche Fläche oder
 Peripherie des Zapffens ist, dahingegen die Welle mit ihrem Zapffen durchs Rad gleichsam
 als durch einen Hebel oder weiten Abstand, bewegt wird; weil nun bey einem kleinen Zapffen
 die Friction dem Centro, oder der Achse näher, und von der Kraft weiter entfernt wird,
 als bey einem grossen Zapffen, so muß folgen, daß ein kleiner Zapffen der Kraft nicht so viel
 Gewalt raubet, als ein grosser oder dicker, und zwar nicht in Ansehung der Stärke des Zapf-
 fens, sondern in Ansehung des Abstandes oder Abwage der Kraft von dem Zapffen. Da-
 mit aber die Sache kurz wird, will alsobald Maschinen und Exempel zeigen.

Experiment mit dem Brete.

§. 215.

Der Herr *Amontons*, und aus diesen Herr *L. C. Sturm* in obangezogenen *Miscel-
 laneis Berolinensibus*, setzet zur Probe die *I. Figur Tab. XXX.* Er nimmet ein ge-
 hobeltes Bret *A* etliche Ellen lang, und 1 oder 2 Fuß breit, leget solches auf ein ander glei-
 ches Bret oder Tisch, setzet auf solches 1, 2, 3, mehr oder weniger Centner, und befindet, daß
 er allezeit das Drittel zum Gegen-Gewichte *C* mußte anhängen, wenn es an einer Schnur,
 die über die Rolle *D* gieng, auf dem Bret oder Tafel *B* sollte fortziehen. Ferner nahm
 er ein Bret, das nur den viertel Theil so breit war, als *E*, und setzte eben diese Gewichte nach-
 einander auf, und befand, daß er ebenfalls ein Drittel in *G* anhängen mußte. Hierauf
 nahm er eine ganz kleine und schmable Leiste *H*, und legte das Bret *A* mit den Gewichten
 darauf, es mußte aber ebenfalls ein Drittel seyn zu dem Gewichte *F*, wenn es das Bret *H*
 und *K* mit dem Gewichte *F* sollte fortziehen. Daraus schliesset nun *Amontons*, daß
 die Friction sich verhalte gegen die Last wie 1 zu 3, als wenn 30 Pfund aufliegen, 10 Pfund,
 wenn 60 Pfund, 20 Pfund, wenn 300 Pfund, 100 Pfund solches zu bewegen nöthig sey,
 die Fläche sey breit oder lang, klein oder schmah. Ich habe dieses Experiment selbst nach-
 gemachet, und mehrentheils bey vieler Veränderung kaum ein halb oder ganz Pfund Diffe-
 renz gefunden.

Experiment mit der Walze oder Zapffen.

§. 216.

Also ist auch die Friction beschaffen bey einem Zapffen oder Welle, sie sey dick oder dün-
 ne, dieses widerspricht Herr *Sturm* wie schon oben gedacht, allein es scheint aus dem Exempel
 des Mühl-Rades, daß Herr *Sturm* sich keinen rechten Concept von der Sache gemacht,
 ob er schon unten anführet eine solche Probe gemacht zu haben. *Amontons* Meinung muß
 also verstanden werden, wie ich durch die Machine *Fig. II.* gezeiget, nemlich in dem Gestek-
 le *A B* sind zwey Zapffen-Lager *C D*, darinnen lieget ein Cylinder oder Welle *E*,
 durchaus von einer Dicke etwa von 3 Zoll im Diametro, an solchen hängen an einer subti-
 len Schnur die um die Welle gehet, zwey gleich-schwehre Gewichte, etwa 30, 60 oder mehr
 Pfund schwehr, soll nun das eine Gewichte die Welle mit dem andern Gewichte bewegen, so
 muß gleichfalls $\frac{1}{3}$ demselben bengelegt werden; als ich habe genommen auf jede Seite 30
 Pfund, und zum Uber-Gewichte $10\frac{1}{2}$ Pfund anhängen müssen, habe ich auf jede Seite 60
 Pfund genommen, habe ich anfangs 21, hernach (vielleicht weil der Cylinder glätter wor-
 den) nur 20 Pfund gebrauchet. Gleichwie sich mit dem Cylinder von 3 Zoll verhalten
 hat, also hat sich auch befunden mit dem Cylinder *G Fig. III.* von 6 Zoll im Diametro.
 Denselben aber zu appliciren werden in der Stellage *Fig. II.* die Zapffen-Lager *C D* her-
 ausge-

ausgenommen, und zwey andere, wie *Fig. IV.* zu sehen, eingesetzt, und ist bey unterschiedlichen Proben befunden worden, daß $\frac{1}{3}$ der Last bisweilen 1 Pfund mehr oder weniger die Kraft lebendig gemachet hat. Bleibet es also darbey, daß die Friction einerley, die Fläche sey schmahl oder breit, der Zapffen dicke oder dünne, (doch nach vorhergehender Art, wie des *Amontons* Meynung gewesen) und vermehret sich solche nur nach der Last. Allein es ist hierauf kein Universal-Schluß und Satz zu machen, daß man also bey jeder Machine $\frac{1}{3}$ der Last zum Über-Gewicht wegen der Friction nöthig hätte.

Man hat bey der Friction in acht zu nehmen

1. Die Materie der Flächen.
2. Die Rauigkeit oder Ungleichheit der Flächen.
3. Die Figur so die rauhen Theile haben, und ihre Tieffe und Höhe.
4. Die Bewegungs-Linie (*Linea directionis*) wie solche gegen die zu bewegende Fläche geführt wird.

§. 217.

1. Was die Materie anbetrifft, ist es eine ausgemachte Sache, daß ie härter solche ist, ie glätter selbige sich arbeiten lässet; weil aber die Glätte ein Mittel wider die Friction, so folget: **Daß ie härter die Materie, ie weniger Friction.** Inzwischen aber hat ein rauhes Eisen mehr Friction als ein glattes Holz, deswegen auch nicht bloß auf die Materie, sondern auf dessen Zurichtung und Politur zu sehen.

§. 218.

2. Bey der Rauigkeit der Ungleichheit derer Flächen ist gleichfalls ein grosser Unterschied, und werden rauhe Breter, wie sie von der Schneide-Mühle kommen, fast die Helffte der Last zur Friction haben, und wenn die Höhen und Tieffen auf denen Flächen sehr gähe sind, als *Fig. I. Tab. XXXI.* in der Linie *a b*, so muß es freylich viel mehr Widerstand verursachen, als in der *Figur B*, da die Erhöhungen *b c* viel flacher sind; denn gleichwie eine Last leichter über einen kleinen und flachen Hügel oder *Planum inclinatum* zu bringen, als über einen hohen und jähen Berg, also auch bey denen Flächen *B*, vor denen Flächen *A*, also daß man

§. 219.

3. Die Tieffen und die Figur auch in Obacht zu nehmen hat, und zwar die Tieffen und Höhen mehr nach ihrer Figur und Fläche; denn es kan ein Loch von 4 Zoll tieff, nicht so viel Friction haben, als eines von 1 Zoll, nemlich, wenn dieses enge, und sein *Planum* sehr schreg, das Loch aber von 4 Zoll sehr weit und flach. Also wird die Rundung des Rads *A* *Fig. V. Tabula XXXI.* viel leichter aus dem Loche *C* heraus zu bringen seyn, als das Rad *B* aus *D*, obgleich beyde Löcher einerley Tieffe und Weite seyn, wie solches unten soll erwiesen werden. Und also: Je tieffer und höher und ie spiziger die rauhen Theile der Flächen gegeneinander sind, ie grösser die Friction, zumahlen wenn solche gar perpendicular fallen, wie *Fig. I. Tab. XXXI.* unter *D* zu sehen, da die vorstehende Theile zwar nicht hoch, aber wegen ihren fast perpendicularen Gegenstand, in horizontaler Linie, wenn *D* gegen *E* soll gezogen werden, nicht zu separiren seyn, es wäre denn, daß solche Spizen durch Gewalt endlich niedergedrückt oder gar weggerissen würden, worzu nach Beschaffenheit der Materie wohl zwanzigmahl mehr Kraft als zur Last erfordert wird, oder daß die Linie der Bewegung also geführt wird, daß sie die Last zugleich aus dem Tiefen heraus heben hilft, zu dem Ende hat man

§. 220.

§. 221.

4. Die Bewegungs-Linie zu observiren hat, weil sie die Friction vermehren und vermindern kan. Vermehren kan solche Bewegung die Friction, wenn die Kraft von der Linie nicht so horizontal mit dem Plano gehet. Als wenn man *Figura II. Tabula XXXI.* die Kraft an die Linie *a b* in *b* appliciret, so wird die Kraft das Rad *A* zwar wohl auf der Linie *c d* fortziehen, aber auch zugleich auf die Fläche *c d* auf- oder unter sich drücken, und verursachen, daß mehr Kraft seyn muß, als wenn solche an die Linie oder Schnur *a e*, welche mit *c d* parallel stehet, appliciret würde. Also auch bey *Figura III.* wird das Rad mit einer Last leichter über die Fläche *d f* hinauf zu bringen seyn, wenn die Kraft nach der Linie *a c* als nach *a b* bewegt wird, weil *a c* mit *d f* parallel oder noch höher stehet, *a b* aber wider die Fläche *d f* strebet, (welche iezo vor be- fandt anzunehmen, unten aber erwiesen werden soll.)

§. 222.

Dergleichen geschiehet auch bey denen Zähnen und Getrieben, als *Fig. X. Tab. XXX.* ist ein Stück eines Rades, so mit seinen Zähnen in die Stange *A* eingreiffet, weil nun der Zahn *b* fast perpendicular auf die Rundung des Zahns der Stange *C* zu stehen kommt, wie die Linie *b c* weiset, so ist die Friction oder Widerstand fast unüberwindlich, wenn nicht der andere Zahn in *d* dem Zahn *e*, und also auch den Zahn *b c* mit fortschiebet, welches doch ohne starke Friction nicht abgehen kan. *Uetne Fig. XI.* stehet der Zahn *a* noch perpendicularer, und muß, wenn er durch Gewalt die Stange fortreiben soll, einer von beyden wegspringen oder brechen. Und diese letzte Art der Friction ist die aller- stärkste.

§. 223.

Es leidet auch die Regel von Größe der Flächen eine starke Ausnahme, denn weil die widerstrebende Theile *Fig. I. Tab. XXXI.* sollen niedergerissen oder weggebrochen werden, so wird ieder leicht begreifen, daß eine große Fläche mehr solche Hacken und Spitzen habe, als ein klein Stück, und also auf einmahl viel zu zerbrechen, mehr Gewalt erfordert wird als zu wenigen. Doch gilt solches von den großen und kleinen Flächen nicht länger, als die Machine noch auf ihrem ersten Ort stehet, da noch aller Widerstand unter ihr gang ist, so bald aber solche fortgezogen wird, hat es nur vor sich die Spitze zu zerbrechen, und hindert als- denn nichts, das Planum sey 1 oder 50 Ellen lang. Aber mit der Breite hat es schon eine andere Beschaffenheit, denn je breiter, je mehr muß es demoliren, und aus solchem Funda- ment folget, daß an einer Schleiffe die über kleine Hügel, Steine oder harten Roth, der durch die Schleiffe auf die Seite mit Gewalt muß getrieben werden, die schmahlen und langen Ruffen besser, als die kurzen und breiten seyn, weil die schmahlen nicht zu viel auf die Seite zu schaffen oder wegzustossen haben, die Länge aber verursacht, daß es sich nicht in kleine Lö- cher hinein stemmen und stellen kan. Wenn aber die Machine keinen perpendicularen Widerstand hat, noch die Hübel oder Buckel, und was im Wege oder darunter stehet, weg- arbeiten darff, sondern nur darüber hinsteigen und rutschen kan, so ist wegen Größe der Fläche, sie sey groß oder klein, einerley Kraft, und also nur nach der Last vonnöthen.

§. 224.

Weil sich dieses viele nicht einbilden können, so will ich solches durch etliche Figuren und Experimente erklären. *Fig. XIII. Tab. XXX.* ist ein Wagen mit vier Rädern vorgestelllet, welche vier Räder in vier gleich-ähnlichen Tiefungen oder Höhern stehen, mitten auf dem Wagen liegen vier Tafeln, jede eines Centners schweyr, den Wagen mit allen vier

Pars Generalis. C c Rä-

Rädern aus den Löchern durch die Schnur $a b$ zu ziehen, wird eben so schwer seyn, als wenn die vier Centner alleine auf den zwey Förder-Rädern $c d$, oder auf den zwey-Hinter-Rädern $e f$ alleine liegen, und auf dem andern nichts, ja es würde eben die Krafft brauchen, wenn die Last aller vier Centner auf einem Rad alleine liegen könnte.

§. 225.

Die Sache auf dem Pappier noch deutlicher zu machen, so betrachte die *VI. Figur Tab. XXXI.* allda sind erstlich zwey Plana inclinata A und B , auf ieden steht eine Last a von 2 Pfund mit b einem Gegen-Gewichte von 1 Pfund in æquilibrio, gleich wie sich die Perpendicular-Linie C des Plani gegen die Länge der Fläche $d e$ verhält, nemlich wie 1 zu 2, also auch brauchen iede 2 Pfund auf den beyden Planis A und B , jedes 1 Pfund Gegen-Gewichte, alle beyde aber 2 Pfund, eben als wenn alle 4 Pfund zusammen auf einem Wagen des Plani C geleyet werden, da ebenfalls auch nur 2 Pfund zum Gegen-Gewicht nöthig sind, ohneracht C nur ein Berg und Wagen ist, hingegen $A B$ zwey Berge und zwey Wagen hat. Ja eben dieses werden thun die 2 Pfund Gegen-Gewicht iede Last von 2 Pfund auf zweyen besondern Planis inclinatis, oder Bergett, wie uns solches hier vorstellen können D und E , in æquilibrio zu erhalten, da nicht mehr nöthig ist als 2 Pfund, als wie bey C , ohnerachtet hier zwey, dorten aber nur ein Berg ist. Also wie es nun hier ausgemachet und demonstret worden, daß es einerley Krafft erfordert, die Last sey in vielen Theilen und stehe über vielen Bergen oder Planis, oder die Last sey in einem Stück und stehe nur auf einem Berge, so folget, daß dennoch die Friction einerley bleibet, das Planum sey klein oder groß.

§. 226.

Da vorhero gedacht worden, daß ein grosses Rad A *Fig. V. Tab. XXXI.* leichter als ein kleines aus einem Loche von einerley Grösse herauszubringen, so ist nun zu erweisen: **Ob grosse oder kleine Räder besser, und welche die meiste Friction haben?**

Von der Friction der Räder.

§. 227.

Die Friction der Räder ist zweyerley, theils an den Achsen, theils auf dem Boden, oder der Fläche, darauf sie gehen.

Was erstlich den Boden anbetrifft, so entstehet die Friction theils von denen Bergen, theils von kleinen Hügeln, Steinen und Löchern. Was die gangen Berge anbetrifft, gehöret solches ad Planum inclinatum, aber wegen der ganz kleinen Hügel, mittelmäßigen Steinen und dergleichen Löchern ist hier zu handeln.

Als *Fig. V. Tab. XXXI.* steht jedes Rad auf einem Loch von gleicher Weite und Tieffe mit dem andern, es weiset aber gleich der Augenschein und Vernunft, daß das kleine Rad B tieffer drinnen stehen muß, als das grosse Rad A , und je tieffer es im Loche steht, je schwerer es heraus zu bringen. Das grosse aber wegen seiner Grösse nur um ein wenig, denn bey B die Linie $a b$ die Helffte vom Radio $k m$, bey A aber die Linie $c d$ nur den vierdten Theil vom Radio $g n$ beträgt. Nun hat das grosse Rad nicht nur den Vortheil, daß es nicht tieff steckt, sondern auch, daß es leichter heraus zu bringen, wegen des Abstands oder der Abwage.

Die Sache etwas deutlicher zu machen, will solches durch den Hebel erklären, und zwar durch die Figuren E und F bey *Fig. V.* allda müssen bey E die Linien $e f g$, und bey

bey *F* die Linien *a g d* einen krummen Hebel vorstellen, da bey *E*, *e f* das kurze, und *f g* das lange Theil ist, bey *F* aber *a g* das kurze, und *g d* das lange Theil. Bey jenen verhält sich das kurze wie 1 zu 2, und bey diesen wie 1 zu 4, gleichwie bey denen beyden Rädern *B* die Linien *i a* und *a k*; und bey *A* die Linien *f e* und *e g*. Wenn nun *Fig. E* an das kurze Theil *e* 4 Pfund Last angehangen wird, so muß bey *g* 2 Pfund Gegen-Gewicht seyn, die 4 Pfund in æquilibrium zu erhalten. Sinegen bey *Fig. F*, wenn an das kurze Theil *a* 4 Pfund gehangen wird, brauchet es in *d* nur 1 Pfund, weil der Abstand wie 1 zu 4 ist. Also folget, daß wenn 4 Centner Last auf jedem Rade liegen, und die Achse beschwehren, bey dem kleinen 2 Centner Krafft, bey dem grossen aber nur einer nöthig ist, denn es einerley ist, die Last liege auf der Achse *g k*, oder hange unten in *f i*. Es ist aber hierbey noch zu mercken, daß weil die bewegende, als *m* und *e* über die Scheiben *n* und *f* nicht perpendicular gegen die dem Hebel *g* und *d*, oder gegen die Achsen *k* und *g* ziehen, noch ein mehreres Gewicht erfordert wird, wie schon oben bey dem Rad *Fig. III.* gesaget worden, und wovon ich unten noch ein mehres zeigen will.

§. 228.

Was die Friction der grossen und kleinen Räder wegen der Achsen anbetrifft, so kan die Friction einerley seyn, wenn nemlich die Dicke der Achse nach der Grösse des Rades proportioniret ist; als ein Rad von 4 Ellen, und eine Achse von 4 Zollen, wird gleiche Friction haben mit einem Rade von einer Elle, und einer Achse von einem Zolle, wenn es sonst nur gleich gearbeitet ist. Alleine wenn man einem kleinen Rade eine solche dicke Achse als einen grossen geben will, ist die Sache falsch, weil die Friction durch den weiten oder nahen Abstand des Radii oder Felge gleich als durch einen langen oder kurzen Arm des Hebels gemindert oder vermehret, und das Rad leichter oder schwerer umgedrehet wird.

§. 229.

Zur Erklärung sey hier die *VII.* und *VIII.* Figur Tab. XXX. da zwey Räder von gleicher Grösse aber ungleichen Achsen vorgestellt sind, als das Rad *A* verhält sich im Diametro gegen seine Achse wie 1 zu 2, und das Rad *B* verhält sich gegen die Achse wie 1 zu 8; da nun bey *A*, wenn die Last immediate um die Achse herum läge, und in *a* aufrethete, wie etwa *Fig. II.* gewiesen worden, noch ein Drittel Last nöthig wäre solche zu bewegen, so folget hier, daß wenn die Last aussen über das Rad gehangen wird, als *c d Fig. VII.* nur die Helffte zur Friction, nemlich $\frac{1}{2}$ der Last nöthig ist, weil der Abstand des Gewichtes oder Krafft um die Helffte weiter entfernt. Also auch am Rad *B* wird die Krafft in *b* um 8 Theile entfernt, und wenn sonst zur Friction bey 60 Pfund 20 Pfund nöthig, es hier nur $2\frac{1}{2}$ Pfund bedarf, weil die Krafft um 8 Theile entfernt ist, und auf solche Weise hat Herr *Sturm* recht, daß ein Mühl-Rad mit einem Zapffen von 3 Zoll leichter gehet, als eines mit einem Zapffen von 6 Zoll, es ist aber dieses *Amontons* Meinung nicht gewesen, wie *Fig. I.* und *II.* gewiesen worden. Also folget nun, daß weder auf die Grösse noch Kleinigkeit, noch auch auf die Dicke oder Dünne der Achse, sondern auf die Verhältniß, so Räder und Achsen gegeneinander haben, zu sehen; ferner, daß bey denen Flaschen-Zügen grosse Säben und dünne Nagel viel besser sind, und nicht so viel Friction machen.

§. 230.

Wie der Friction abzuhelffen, und was solche verhindert, ist theils anfangs, theils auch nachgehends stückweise erinnert worden.

Die vornehmste und beste Cur ist:

(1) Daß alle Flächen recht glatt polliret und harte seyn. Welches sich aber wegen der Materie und Kosten nicht allezeit thun läffet.

(2) Daß

