

Der

Einfluss der Naturwissenschaften

auf die Ingenieur-Baukunst.

Von

FRANZ RŽIHA,

Oberingenieur.

Vortrag, gehalten am 27. Februar 1878.

I. Die Zeit der ältesten Culturvölker.

Als der historisch älteste Mathematiker, den die Geschichte nennt, der Ionier Thales von Milet (geboren um 640 v. Chr.) nach Aegypten ging, um mit den dortigen Priestern die Wissenschaften jener Zeit zu pflegen, da zeigten ihm dieselben als Merkwürdigkeit ein Verfahren, die Höhe einer Pyramide zu bestimmen, ohne dass sie dieselbe abzumessen brauchten. Sie steckten einen Stab in die Erde, warteten ab, bis sein Schatten ebenso lang sei wie er selbst und fixirten in diesem Momente den Schatten der Pyramidenspitze nun schlossen sie: weil der Stabschatten so gross ist wie der Stab hoch ist, so muss auch die Pyramidenhöhe so gross sein, wie ihr Schatten lang ist.

Hieraus können wir entnehmen, wie zu jener Zeit der Stand der Geometrie ein so tiefer noch war, dass die Bauten vor dieser Zeit jeder wissenschaftlichen Richtung entbehrten, sich vielmehr ganz auf die Empirie stützten.

Halten wir aber Umschau nach diesen Bauten, so müssen wir über dieselben dennoch füglich staunen. Ich erinnere hier nur erstens an die Pyramiden, besonders an die des Chufu, deren Erbauungszeit circa

2700 v. Chr. fällt; dieses Bauwerk hat eine quadratische Basis von 470 Fuss Seite und eine Höhe von 483·7 Fuss, es ist also höher als unser Stephansthurm und sein kubischer Inhalt misst drei Viertel der Erd- und Felsgrabungen der ganzen Semmeringbahn. Ich erinnere zweitens an die Bauten zu Theben, der Hekatompylos des Homer, eine Stadt von fünf deutschen Meilen Umfang, deren Blüthezeit um 1700 v. Chr. angenommen wird. Vor Allem aber erinnere ich endlich auch drittens an die Bauten von Babylon, dessen Blüthezeit gemeinhin auf 1500 v. Chr. geschätzt wird. Die Stadt hielt zwölf deutsche Meilen im Umfange und war von einer dreifachen Mauer umgeben, deren äusserste mit 400 Thürmen geschmückt war und ein Quadrat von drei deutschen Meilen Seite bildete; diese Mauer war 300 Fuss hoch und 75 Fuss breit, so dass auf ihr sechs Wagen nebeneinander verkehren konnten; ihr Inhalt ist gleich der Kubatur von 21 Gotthardbahnen. Im Bereiche dieser Mauer lag die Stadt mit der Burg, dem Balsthurme, der ein Drittel des Kubikinhaltes der Erd- und Felsenbewegung der ganzen Brennerbahn hielt; den hängenden Gärten der Semiramis, dem Stollen des Nimrud und der Brücke über und dem Tunnel unter dem Euphrat.

Aber nicht allein in diesen Massenanhäufungen gipfelte die Baukunst jener Tage, sondern auch in der Herstellung von einzelnen Kraftstücken, welche uns füglich zur grössten Aufmerksamkeit drängen. Ich erinnere auch hier wieder nur an die zu Theben aufgefundenen, zu 825 Centner Schwere berechneten

Steinbalken und an die zu 615 Centner Schwere berechneten Deckenplatten, welche auf 80 Fuss hohen Säulen lagern; ich erinnere an die Stierbilder zu Niveh, welche jedes auf 1000 Centner Gewicht geschätzt werden; ich erinnere daran, dass Herodot von 30 Fuss langen und $6\frac{1}{2}$ Fuss im Quadrat messenden Steinen spricht, welche zur Chufu-Pyramide verwendet wurden, Steine, die also circa 1800 Centner schwer sein mussten; ich erinnere an die auf 5940 Centner Gewicht geschätzten Obeliskten zu Karnak, und endlich an jene Steinblöcke zu Heliopolis, welche Fiedler auf 7200 Centner Schwere schätzt.

Anbetrachts dieser Thatsachen, welche unwiderlegbar von einer immensen Entfaltung der Technik zu einer Zeit Zeugnis legen, in der die technischen Wissenschaften, die technischen Realien noch völlig schlummerten, wirft sich nun zunächst die Frage nach den Mitteln auf, mit denen die Alten jene Lasten fortbewegten und hoben. Wir können uns in dieser Richtung auf die spärlichen Texte bei Herodot, Strabo, Plinius und Vitruv, vornehmlich aber auf die archäologischen Untersuchungen stützen, welche uns Layard, Wilkinson, James, Champollion, Fiedler, Winkelmann und Lepsius gegeben haben, am meisten aber aus unseren gegenwärtigen fortgeschrittenen Erfahrungen rückwärts auf jene Zeit schliessen. Hiernach ist es ganz unzweifelhaft, dass jene Technik über einen uns nicht mehr gestatteten Aufwand von Menschenkraft und Zeit und ganz über dieselben einfachen

Maschinen verfügen können musste, die wir heute besitzen; dass jene Technik ferner schon die Verminderung der Reibung empirisch kannte und dass sie zu ihrer Action ganz enormer, heute nicht mehr statthafter Vorbereitungen bedurfte. Alle diese Annahmen sind geschichtlich und archäologisch bestätigt. Wir wissen aus Herodot, dass zum Zwecke des Baues der Chufu-Pyramide ein fünf Stadien (circa 3000 Fuss) langer, 60 Fuss breiter, theilweise 48 Fuss hoch aufgemauerter, mit glatten Platten belegter Zufuhrweg für die Steine eigens gebaut wurde, dass dieser Wegebau allein zehn Jahre dauerte und jedes Jahr 100.000 Sklaven daran wirkten; wir wissen, dass der Pyramidenbau selbst zwanzig Jahre dauerte und dass jedes Jahr 366.000 Menschen dabei beschäftigt waren; wir wissen, dass der König Amasis aus Elefantina ein aus einem Stein ausgehauenes Haus herbeischleppen liess, an welchem Transporte 2000 Männer durch drei Jahre wirkten; wir wissen ferner aus alten Fresken, wie die Transporte vor sich gingen, wie die gleitende Reibung in rollende verwandelt wurde und wie zur Verminderung der Reibung Schmiermittel angewendet wurden.

Die Alten kannten also und mussten unsere einfachen Maschinen: die schiefe Ebene und den Hebel und deren Potenzen, Keil und Schraube, respective Rolle und Winde, gekannt haben, ja wir dürfen annehmen, dass ihnen Hebezeuge und Krahnne bekannt waren; gezahnte Stangen und Zahnrad besaßen sie nachrichtlich schon in Form von Wagenwinden.

Aber diese, im Wege einer unbezeichnenbar langen Zeit, bei dem kleinen Steine angefangene Empirie entbehrte noch aller mathematischen Unterlage; der Effect konnte also nur im Wege des Probirens und nur hinterher erzielt werden, er hatte also auch keine national-ökonomische, berechnende Basis, ohne welche heute kein Ingenieurzweig arbeiten kann. Aber auch selbst die rohe Empirie dieser Leistungen scheint weitergehend als sie wirklich ist, denn mit denselben einfachen Maschinen und nur mit Menschenkraft oder thierischer Kraft haben wir in allen folgenden Jahrhunderten eben so grosse, ja auch grössere einzelne Krafterleistungen ausgeübt, wie die Alten. Ich will hier nur der 1585 durch Fontana bewerkstelligten Aufstellung des 10.000 Centner schweren Vatikan-Obeliskes, des 1769 durch den Baumeister Karburi bewerkstelligten Transportes des 24.340 Centner schweren finnländischen Granitblockes zum Gestelle des Monumentes Peter des Grossen, ferner der Aufstellung der 17.350 Centner schweren Alexanderssäule zu Petersburg, der 1830 vorgenommenen Aufstellung des 4620 Centner schweren Obeliskes von Luxor, endlich nur noch der Verschiebung der Stadelauer Donaubrücke von 41.400 Centner Schwere gedenken, welche Verschiebung bekanntlich nur durch zwanzig Arbeiter, die an Krahen wirkten, mit einer täglichen Vorrückungsgeschwindigkeit von circa eilf Metern bewerkstelliget wurde.

Die Bauten der ältesten Culturvölker kennzeichnen sich also durch eine mit dem socialen Mittel der Sklaven-

arbeit ausgeführte und mit diesem Mittel geradezu prunkende Massenanhäufung; durch die Anwesenheit eines ganz empirisch gewonnenen hohen Grades der Technik; aber sie kennzeichnen sich auch durch die Anwesenheit roher, einfachster, eckiger Formen. Und in letzterem Momente verräth sich auch noch die gänzliche Abwesenheit der formbildenden Wissenschaften.

II. Die Zeit der Griechen und der Römer.

Durch Nichts lässt sich der Einfluss der realen Wissenschaften auf die Baukunst plastischer kennzeichnen, als durch eine Betrachtung der Entwicklung der antiken, der griechischen Baukunst.

In der heroischen Zeit, die wir bis um 1100 v. Chr. rechnen, ist noch ganz der alte, vorhin gekennzeichnete Stand der Baukunst, den wir auch jenen der pelasgischen Periode nennen, vorhanden; in der altdorischen Periode, die wir etwa von 1100 bis 500 v. Chr. rechnen, erscheint im Sonnenglanze der erwachenden Realien die Form, und in der Perikleischen Zeit, die wir zwischen 500 und 300 v. Chr. annehmen, erscheint die vollendete Form, die ihre physische Unterlage im Wege der Verfolgung der realen Wissenschaft fand, eine Verfolgung, die indess durch die culturell gehobene Phantasie in der Bewältigung der Formen weitaus rascher vorschritt, als in der Auffindung der Gesetze dieser Formen. Diese Formen wurden der erwachenden Cultur, welche sich vermöge der gehobenen Phantasie zunächst auf die

Durchbildung der Kunst warf, lediglich durch die älteste aller Naturwissenschaften, nämlich durch die Astronomie, allerdings zunächst indirect geboten, weil sie direct im Wege der Mathematik zu Zwecken der Astronomie gezeugt wurden.

Man braucht nur auf die astronomisch-mathematischen Arbeiten des Ahnen Pythagoras (570—471), des Hippokrates (450) und des Plato (429—347) hinzuweisen, um den mathematischen Formenreichthum zu erkennen, über den schon Aristoteles (384—322), der Stifter der Alexandrinischen Schule, gebot; man braucht nur der astronomisch-mathematischen Arbeiten eines Euklid (308), eines Archimedes (287—212) und eines Heron (210) zu gedenken, welche die erste Epoche der Alexandrinischen Schule bilden, und nur zu gedenken der Arbeiten des Vertreters der zweiten Epoche dieser Schule, des Claudius Ptolomäus (125): um in den nunmehr der Kunst durch die Realien in den Elementen der Gleichungen, der Kegelschnitte und der ebenen und sphärischen Geometrie dargereichten mannigfachen Linien und Flächen jene graphischen Ausgangsstellen erkennen zu können, welche die Baukunst jener Zeiten zu schaffen vermochte. So sehen wir also in der dorischen Epoche jene Scheidung in der Baukunst sich fortan für alle Zeiten vollziehen, welche wir in den zwei Gruppen Architektur und Nützlichkeitsbauten (jetzt Ingenieurbauten) erkennen.

Diese Scheidung ist jedoch niemals eine isolirende gewesen, weil die Concentrationsstätte alles Ingenieur-

baues, der Brückenbau, vermöge der Gebundenheit an die Bogenwölbung sich niemals von den Bedingungen der Form loslösen kann. Im Gegentheile ist das Moment der Wölbung auf alle Ingenieurbauten von so hervorragendem, so tief einschneidendem Wirken, dass wir ein selbstständiges Auftreten des Ingenieurbauwes erst seit der Einführung dieses technischen Momentes der Wölbung, respective des Steinschnittes, also erst seit dem Aufblühen römischer Baukunst datiren können.

Die Ingenieurbauten der Griechen sind deshalb weit untergeordneter als jene der Römer, denn erst der durch die Astronomie im Wege der Mathematik und Geometrie gewonnene Formenreichthum der Linien, Flächen und Körper, befähigte zu jenem Aufblühen, welches die Ingenieurbauten der römischen Culturepoche kennzeichnet.

Zu dem Erwachen der Ingenieurbauten zur Zeit der Griechen (hier also noch durch die eckigen Formen beschränkt) und zu dem Aufschwunge dieses Theiles der Baukunst zur Zeit der Römer haben aber auch andere Umstände wesentlich beigetragen. Vor Allem die veränderten socialen Verhältnisse. Dieselben zwangen den wirthschaftlichen Werth der menschlichen Arbeit zum Hervortreten und die Sklavenarbeit wurde national-ökonomischen Zwecken nach und nach zugewendet und dies immer umsomehr, je höher die Cultur stieg, je mehr die Kunst im Schönbaue wuchs und das prunkende Massenanhäufen verwarf. Zwei andere Umstände lagen aber im Einwirken neu aufkeimender Naturwissenschaften

der der erwachenden Physik und Medicin. Die erstere, gezeugt durch die Reflexionen der Mechanik des Himmels auf irdische Dinge und geleitet durch die aufdämmernde Erkenntniss eines mathematischen Zusammenhanges physikalischer Erscheinungen, hatte den Denkern eine mathematische Gesetzmässigkeit eingegeben, welche vorläufig primitiv auf die Bauconstructionen des Ingenieurs wirkte; ich sage primitiv, weil der Baumeister, dem nun ein gewölbter Bogen nicht hielt oder dem ein Pfeiler oder dem eine Mauer umgeworfen wurde, schon daran denken musste, dass mathematisch erweisbare Gründe für diese Bewegungserscheinungen vorhanden sein mussten.

Die zweite genannte Naturwissenschaft, die Medicin, hatte andererseits die Nothwendigkeit von Ingenieurbauten zu sanitären Zwecken erkennen gelehrt. Seit die Priester der Aegypter, der Juden (die Leviten), der Inder (ich erinnere nur an das Sanskritwerk des Susrutas: die Agur-Vexa) und der Griechen (Asklepiaden) die Wissenschaft der Medicin pflögten, war ein gewisser Erfahrung- und Anschauungsstoff in dieser Naturwissenschaft gestaltet worden, welcher zur Zeit der griechischen Aufklärung in den Rahmen einer selbstständigen Disciplin trat, wenn er auch noch individuell geübt wurde von den Trägern aller Wissenschaft jener Zeiten, den Astronomen. Erst der Grieche Hippokrates (450) machte sich frei von dem diesfälligen Priesterglauben und erst Philinius (280 v. Chr.) hatte sich mit seiner ersten „empirischen“ Schule, jener der „dogmatischen“

entgegenstellen gekonnt. Und wenn wir nun noch erwähnen, dass erst der Methodiker Themison (63 v. Chr.) gemeinsame Ursachen für die Krankheiten annahm und dass erst der „Pneumatiker“ Athenäus (90 n. Chr.) die Schule der Pneumatiker, das ist jene medicinische Schule schuf, die den Einfluss der Luft auf den Körper lehrte und einräumte: so erkennen wir sofort, dass erst zur Zeit der Römer jene Kategorie der Ingenieurbauten principiell aufzutreten vermochte, die wir heute die „sanitären Anlagen“ nennen und die sich in der Herstellung der Anlage von Städten und befestigten Lagern, und in der Anlage von Bädern, Wasserleitungen und Unraths-Kanälen (Kloaken) ausdrücken. Rechnen wir nun noch schliesslich hinzu, dass die staatenbildende Tendenz der Römer einen vervollkommneteren Verkehr zu Lande geradezu bedingte: so wird uns aus allem Diesem klar werden, dass die Ingenieurbauten der Römer weitaus quantitativ und qualitativ (letzteres auch schon, weil fortgeschrittener im Wissen) bedeutender waren, als jene der Griechen.

In der That wissen wir von den Ingenieurbauten der Griechen vorzugsweise auch nur einzelne Hafengebauten, obenan jene des Hafens von Massilia (Marseille), dann den 500 Fuss hohen Leuchtthurm auf Pharos (eines der sieben Weltwunder) und den Stollen auf Samos (circa 1300 Meter lang) zu nennen. Weit mehr muss aber, selbst nur um zu kennzeichnen, von den Römern genannt werden. Denn hier sind es die nach Tausenden von Meilen, selbst über die Alpen sich hinstreckenden

Strassen, ferner die hervorragenden städtischen und Strassenbrücken; dann die grossen Flussbrücken (ich nenne nur die berühmten Tiberbrücken, die Werke der Meister Vulvius [139 v. Chr.] bis Cestius Gallus [364 n. Chr.] und die beiden grossen Flussbrücken über den Rhein bei Mainz und über die Donau bei Turn-Severin); des Weiteren die Arkaden der Wasserleitungen zu Rom wie in den Städten Galliens, dann die grossen Kloaken; des Weiteren die bedeutsamen Anlagen von Städten und Lagern (ich nenne hier nur Carnuntum bei Wien); ferner die grossen Stollenanlagen zum Zwecke der Entwässerung von Landseen, z. B. die Stollen für die Ableitung des Albaner-Sees und des Fucini'schen Sees; endlich die bedeutsamen Stollenbauten zum Zwecke der Zuleitung von Trinkwasser und Nutzwasser (z. B. die Stollen in der Virgo, Antibes und in der Diocletianischen Leitung): welche Bauten alle zusammengenommen von dem enormen Aufschwunge jener Ingenieurbauten Zeugnis ablegen, die zur Zeit der Römer als Culturmomente ersten Grades wirkten.

Aber alle diese Bauten entbehrten ebenfalls noch des wissenschaftlichen Bewusstseins bei ihrer Schaffung; sie waren nichts als Zeugnisse hochentfalteter Empirie und lahmten noch an der Unkenntniss der Naturwissenschaften, an der Scheiterung der Mittel, die diese uns heute bieten. So wichen, und dies ist kennzeichnend, die Römer auch gewissen Schwierigkeiten aus: sie gruben keine grossen Wasserversorgungsquellen künstlich; sie scheuten in den Alpen das feste Granitgestein des heutigen

St. Gotthardweges ebenso wie die Beseitigung der Felsenmassen in der heutigen Viamala, und sie gaben das schmächliche Gefälle ihrer Strassen auf, sobald sie in die Felsenberge der Alpen traten, nur um an Bewegungsmasse der Felsen sparen zu können.

So kennzeichnet sich die Periode der Ingenieurbauten zur Zeit der Griechen und Römer dadurch, dass durch das Fallenlassen der Prunksucht mit nutzloser Massenanhäufung die Sklavenarbeit zu national-ökonomischem Zwecke principiell verwendet wurde, dass der durch die Astronomie im Wege der Mathematik und Geometrie geschaffene Formenreichtum sich nutzbringend erwies, und dass in dieser Bauperiode die Aufdämmerung der Naturwissenschaften, namentlich der Medicin, Physik und Hydraulik sich geltend machte: dass aber noch immer der Factor des wissenschaftlichen Vorausberechnens den Werken fehlte, also immer nur noch der Empirismus allein glänzte.

III. Das Mittelalter.

Der Geist der christlichen Religion hatte die Brüderlichkeit aller Menschen ausgesprochen und in Folge dessen die ganzen socialen Verhältnisse der civilisirten Welt umgestaltet. Diese gewaltige und einschneidende Umgestaltung benötigte aber auch Zeit und Mittel, und so sehen wir das ganze Mittelalter hindurch den socialen Process der Staatenbildung sich vollziehen, die menschliche Arbeit nach und nach frei werden und sehen jenes kriegerische Kommen und Gehen und Ringen,

das um den Glauben und um die Ideale zu einer Zeit noch geführt werden musste, in der die Wissenschaft noch nicht stark genug war, den Völkern im Wege der Aufklärung edlen Charakter und Ehre einzuimpfen.

Es ist daher auch nur ein Verkennen des Weges, den die Wissenschaft machen musste, wenn man die Zeit des Mittelalters als die Zeit der Stumpfheit hinstellt. Im Gegentheile bietet die Geschichte der obersten aller Naturwissenschaften, die der Astronomie, den leitenden Faden im Erkennen eines unausgesetzten Ringens um Aufklärung und kein einziges Jahrhundert ist im Mittelalter vorhanden, in welchem dieses Ringen nicht ersichtlich wäre. Denn die Ideen über die Drehung der Erde lebten immer fort seit Pythagoras. Sein Schüler Phylolaus im sechsten Jahrhundert vor Christi, Seleucus der Babylonier, Aristarch von Samos im dritten Jahrhunderte vor Christi und der Inder Arjabatta lehrten sie schon, konnten sie aber noch nicht beweisen und stürzten deshalb im geistigen Kampfe mit den Priestern und Brahminen; denn schon der Stoiker Kleauthes klagte Aristarch der Gotteslästerung an, weil er mit seiner irren Lehre die Ruhe der Venus und der Laren störe. Damit aber diese alten, richtigen Ahnungen über eine Drehung der Erde zur „Wissenschaft“ gelangen konnten, bedurfte es eines schweren, zeitraubenden Ganges; es mussten zuvor die Hilfswissenschaften, die Mathematik und Geometrie, geschaffen werden. Und dieses Schaffen können wir in den Klostermauern St. Benedicts und St. Roberts von Cisteaux, an einzelnen

Fürstenhöfen und in den hohen Schulen finden, als deren vorderste im fünften Jahrhundert Bologna, im sechsten Toulouse, im siebenten Cambridge, im achten Padua, Paris und Pavia, im zwölften Salerno (1150), im dreizehnten Salamanca (1250) und die Sorbonne (1253), im vierzehnten die deutschen Universitäten zu Prag (1348), Heidelberg (1356) und Wien (1365) gestiftet worden waren. Ich will, um dies speciell zu bekräftigen, nur hinweisen auf die mathematisch-astronomischen Leistungen des Römers Boethius (510), des Consuls Theodorichs (des Dietrich von Bern im Nibelungenliede), auf jene der ganzen arabischen Schule, auf die des Engländers Beda (671—735), auf jene des Benedictinermönches Gerbert († 1003), des nachmaligen Papstes Sylvester II., welcher die Lehre von den Dreiecken und den Gleichungen zweiten Grades hinstellte; ich will weiters nur des Mönches Adelhard, des Mönches Gerard von Cremona (1114—1187) und des Pisaners Bonacci (Anfangs 1300) gedenken, will der mathematischen Leistungen des Grafen von Bollstädt, des grossen Regensburger Bischofs Albertus Magnus (1193—1280) und des irischen Benedictiners Roger Bacon (1214—1292) erwähnen, will der beiden berühmten Wiener Professoren Georg Purbach (1423 bis 1461) und dessen Schülers Regiomontanus, des Königsbergers Johann Müller und nachmaligen Regensburger Bischofs (1436—1476) und schliesslich nur noch des Bologneser Professors Scipio-Ferro (1496—1525) gedenken: um darzuthun, wie die geistige Arbeit auf

dem Gebiete der Mathematik und Geometrie zu Zwecken der Astronomie niemals ausgesetzt wurde vom Geiste der Menschheit, um endlich jene Stufe erreichen zu können, die durch den Namen Nikolaus Copernicus (1473—1543) gekennzeichnet ist.

Während dieser ungeheuren geistigen Arbeit von etwa tausend Jahren Dauer, einer Arbeit, die nur als Folge eines unausgesetzten Zeugens grosser Genies seitens des Weltengeistes geleistet werden konnte und die zugleich alles andere Denken der Menschheit mathematisch schulte; während dieser Arbeit, deren sich die Menschheit unterziehen musste, weil sie in Plötzlichkeit nie gestaltet werden konnte, gelang es auch der Menschheit, die Cultur physisch zu verbreiten. Die Kreuzzüge (1096 bis 1291) hatten Orient und Occident verbunden; die Venetianer, Pisaner und Genuesen, die Hansa und die deutschen Ritter hatten ein internationales mercantiles Leben geschaffen, das Marco Polo bis ins centrale Asien trug; die Erfindung der Geschütze hatte den Feudalismus angegriffen und die Raubnester niedergelegt, und der Luxus hatte gelernt, dass man Gold, Silber und Metall auch aus der Tiefe der Erde holen könne: aber alle die hierdurch gewordene Regsamkeit beschränkte sich im Grossen auf den Verkehr zu Schiffe und nur im Kleinen vertheilte er sich zu Lande. Die Ingenieurbauten im ganzen Mittelalter sind daher bedeutungslos, und zwar qualitativ wie quantitativ. Im fünften Jahrhunderte sehen wir nur ein grösseres Werk, den Aquäduct zu Spaleto, im neunten erst ein zweites, die Mainzer Brücke

(durch Karl den Grossen) erstehen; im zehnten Jahrhunderte werden die steinernen Brücken zu Koesen und Bingen, im eilften die zu Fulda, im zwölften die ersten steinernen Brücken zu Würzburg, Dresden, Regensburg, Prag, London und Florenz gebaut; im selben zwölften Jahrhunderte regt sich die Schule der Brückenbauer durch die Frères du pont in dem Werke zu Avignon; im dreizehnten Jahrhunderte erscheinen die beiden Rhônebrücken zu Lyon und zwei neue Werke zu Florenz; im vierzehnten Jahrhunderte sehen wir die steinernen Brücken zu Coblenz und Verona, den Ponte a la Caraja zu Florenz, die Ceretbrücke über den Tech, die Tessinbrücke zu Pavia und die Carlsbrücke zu Prag entstehen; im fünfzehnten Jahrhundert erscheinen dann unter den grossen, nennenswerthen Flussbrücken nur noch die Brücke zu Verdun, die Notre-Dame-Brücke zu Paris, die alte Fleischerbrücke zu Nürnberg und die berühmte Vieille-Brioude-Brücke über den Allier: im Ganzen also innerhalb der Zeit vom Beginn der Kreuzzüge bis zur Entdeckung von Amerika (1096 bis 1492) nur neunzehn grössere Flussbrücken. Diese Brücken dienten auch nur der festen Verbindung kümmerlicher Wege, die zu den Flussufern führten; ein eigentlicher Wegebau hatte (mit geringen Ausnahmen in Frankreich) gar nicht statt, im Gegentheile waren überall die Römerstrassen verfallen und zeigte die ausserordentliche Schmalheit der Brücken im Mittelalter (10 bis 15 Fuss) den Charakter des Verkehrs zu Pferde. Indess hatten die zuvörderst in Empirie aufkeimenden Naturwissenschaften doch schon im Mittelalter zwei neue

Gattungen von Ingenieurbauten entstehen gemacht: nämlich den veränderten Kriegsbau und die beginnende Canalschiffahrt. Der erstere war eine Folge des durch die alchymistische Wissenschaft gewonnenen Schiesspulvers, das, wenn auch schon den alten Culturvölkern bekannt, durch die Gewinnung des Salpeters (welche der arabische Alchymist Geber erst im achten Jahrhunderte lehrte) doch in Massenerzeugung erst ein Kind des Mittelalters ist. Das Geschütz hatte also eine gänzliche Veränderung im Baue fester Plätze hervorgerufen und dieser Burgenbau war das ganze Mittelalter hindurch in Händen von reinsten Empirikern, den „Pixonmajstern“. Erst den beiden grossen Meistern Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) und Albrecht Dürer (1471 bis 1528) war es vorbehalten vermöge ihrer bedeutsamen Kenntniss in der Geometrie, die Handhabung der Formen auf diesen neuen Zweig der Ingenieurbaukunst zu übertragen.

Was nun die zweitgenannte, im Mittelalter neu aufgetretene Gattung von Ingenieurbauten, die Kanalbauten, betrifft, so wurden die ersten Kanäle in Europa zunächst zu Zwecken der Berieselung, welche zwar schon die alten Culturvölker, namentlich die Aegypter und die Assyrier gekannt hatten, deren Nutzen aber nun aus einer neuartigen Betrachtung der Natur entstand, errichtet, und geschah dies zuerst in der lombardischen Ebene und im elften Jahrhunderte. Diese Berieselungskanäle lenkten aber indirect auf die Errichtung von künstlicher Schiffahrt hin und dies um so mehr, als die

Interessen der Hansastädte alsbald künstliche Schifffahrtswege, welche überhaupt im Stadtgebiete von Venedig am lebhaftesten zum Ausdruck gekommen waren, geschaffen hatten. Als erste derartige künstliche Schifffahrtswege müssen der Kuhgraben, den die Hansastadt Bremen im Jahre 1288 aus der Wümme bei Lilienthal nach dem Stadtgebiete grub und der in den Jahren 1390 bis 1398 erbaute Steknitzer Kanal bezeichnet werden, welcher letzteren die Lübecker Kaufleute zur Verbindung mit der Elbe anlegen liessen. Mit diesen Anregungen und Beispielen war vermöge der seit Archimedes keimenden naturwissenschaftlichen Disciplin der Hydraulik ein ganz neues Feld für den Massentransport erwachsen, und ist es im Ausgange des Mittelalters der Ingenieur Leonardo da Vinci — der Meister — welcher den Mailänder Kanal 1492—1493 erbaute und 1497 durch die Erfindung der Kammerschleussen das Mittel schuf, die Gefälle stufenförmig zu überwinden. Mit dieser, den eigentlichen Kanalbau erst ermöglichenden hochwichtigen Erfindung konnte Leonardo da Vinci 1499 sofort an den Kanalbau von Marsale schreiten und so das Mittelalter mit einer ungemein wichtigen Neuerung im Gebiete des Ingenieurbaues schliessen. —

Aber alle diese Ingenieurbauten des Mittelalters: die Brückenbauten, die Bauten schussfester Burgen und Stadtmauern und die Grabung von Canälen: waren ebenfalls wieder nichts Anderes als der Ausfluss lediglicher Erfahrung; erst gegen Ende des Mittelalters erkennen wir den maassgebenden Einfluss mathematischen Denkens,

mathematischer Naturbetrachtung und die Einwirkung des durch die Entwicklung der Geometrie und Astronomie gezeugten Formenreichthums, der übrigens in den Kirchenbauten der ganzen romanischen und der gothischen Zeit so praktisch und im Sinne der Kunst so potenzirt vor die Augen geführt wurde, dass seine Handhabung immer der Initiative der Kunst zugeschrieben werden muss. Indess darf hier nicht übersehen werden, dass jene Entwicklung der Naturwissenschaften, eine Entwicklung, die zuvörderst allerdings nur eine scharfe Beobachtung der Natur war, einen selbstständigen, und sehr wichtigen Einfluss auf die Ingenieurbaukunst übte, nämlich den auf den Brückenbau. Die Beobachtung der Hochwässer und der Eisverhältnisse eines Flusses hatte unwillkürlich den Brückenbau, besser gesagt die Construction der Brücken beeinflusst. Man hatte im Segmente, welches schon zu Koesen Ende des zehnten Jahrhunderts und im Korbbogen, der schon 1351 bei der Florenzer Trinitatisbrücke auftritt, eine im Zusammenhalte mit dem Strassengefälle vortheilhaftere Constructionsform erkannt und dieselbe im Wege der Empirie im Mittelalter derart ausgebildet, dass man in Erkennung der Wichtigkeit der Grösse der Durchflussöffnung zu immer grösseren Spannweiten überging. So sei hier über das empirische Wachsen der Spannweite nur bemerkt, dass dieselbe im Jahre 1119 bei der Construction der Dresdener Elbebrücke 19 Meter, im Jahre 1178 bei der Avignoner Brücke bereits 33 Meter, im Jahre 1336 bei der Ceretbrücke schon 45 Meter, und im Jahre 1454 bei

der berühmten Vieille-Brioude-Brücke schon 54·2 Meter betrug. Mit diesen vergrößerten Spannweiten hatten neue empirische Werthe für die Stärken der Bogenwiderlager und der Gewölbe gewonnen werden müssen und wir sehen bei dem letztgenannten Brückenwerke der Meister Grenie und Estone bereits diesfällige Erkenntnisse auftreten, die einen wichtigen Uebergang der Ingenieurbaukunst aus der Zeit des Mittelalters in jene des Cinque-Cento verkünden, Erkenntnisse, welche wir als die Aufdämmerung einer Wissenschaft der Ingenieure bezeichnen müssen.

Charakterisiren wir nun noch zum Schlusse dieses Capitels den Stand der Ingenieurbaukunst zur Zeit des Mittelalters, so sehen wir, wie der Erfahrungsstoff ein geringer war, wie immer die Empirie bei der Hinstellung dieses Stoffes noch gänzlich vorwaltet, wie sogar die Technik der Profanwerke gegenüber jener bei den Werken der Kunst (die über eine hochentfaltete zunftgemässe Uebung der Steinmetz-Bruderschaft, obenan bei den himmelanstrebenden klassischen Werken der Gothik gebot) zurücktrat — wie aber auch das Weiterkeimen der allgemeinen Naturwissenschaften schon bedeutsamen Einfluss nahm.

IV. Die Zeit des Cinque-Cento.

Die zwei Humboldte des Mittelalters, Albertus Magnus — dem das deutsche Volk noch kein Denkmal setzte — und Roger Bacon hatten im dreizehnten Jahrhunderte Das gesammelt, was die Menschheit seit dem

klassischen Dreigestirn Aristoteles, Archimedes und Ptolomäus an geistigem Vermögen, Stufe um Stufe aufsteigend errungen hatte. Anfänglich im Trivium und Quadrivium der Klosterschulen der Benedictiner und der Cistercienser war dieses geistige Vermögen, die „Aufklärung der Menschheit“ als Kind zärtlich geführt worden von den Mönchen, wie durch eine Mutter; später hatten die hohen Schulen des Mittelalters, obenan Bologna, Salamanca und die Sorbonne, zuletzt die deutschen Universitäten das Jünglingsalter dieser Aufklärung so weit gestärkt, dass der Geist der Freiheit des Denkens und des Wollens unwiderruflich lebendig wurde für alle Zeit des Kommens. Das aber, was die Seele der Menschheit dachte, fühlte und wollte, musste ihr Körper nach und nach physisch auch gestalten lernen. Und so sehen wir neben den Fahrten nach jenen drei grossen Idealen des Mittelalters: der Befreiung des Grabes Christi aus den Händen der Heiden, nach der der „hohen Minne“, die noch im Theuerdank klingt, und nach den Krönungen zu Rom alles Fahrten, welche das edle deutsche und fränkische Ritterthum gezeugt haben, auch ein Erwachen der Beobachtung der Natur, ein Aufblühen des deutschen Städtewesens, des bürgerlichen Gewerbes und des Handels, ein Streben nach Durchschiffung des Oceans, ein Erblühen des Bergbaues und der Maschinenlehre: kurz gesagt, neben jenem Ausbau der Ideale auch das Erwachen für das Reale entstehen, welches Erwachen in der successiven Abstossung der Askese, dieses wesentlichen Kriteriums des Mittelalters, ihren äusseren Ausdruck findet.

Dieses allgemeine Erwachen der Neigung für die Realien war durch die drei grossen Erfindungen des Mittelalters: 1. den verbesserten Compass (circa 1300), 2. die Erfindung, respective Verbreitung der Geschütze (circa 1350), und die Erfindung des Buchdruckes (circa 1450) überhaupt erst ermöglicht worden; denn diese drei Erfindungen hatten eine terrestrische, sociale und geistige Universalität geschaffen und gleichsam mechanisch die Schleussenthore geöffnet, durch welche der Aufstau des menschlichen Wissens und Denkens sich aus den engen Klostermauern und den für so viel Wissen zu eng gewordenen Sälen der Universitäten breit ergiessen und alle geistigen Wohnstätten der Menschen berieseln, befruchten konnte.

Und so hatte dieses Erwachen des Menscheingeistes am Schlusse des Mittelalters eine Reihe grosser, edler Männergestalten gezeugt, welche durch ihr Denken und Leisten der ganzen Cultur für immerwährende Zeiten ihrer physischen Existenz unsagbare Dienste übten.

Auf dem Gebiete der Realien war obenan Copernicus (1473—1543) mit dem Schwergewichte seiner Denkkraft erschienen, welche die Starrheit der Papatetiker untergrub und die ganze Quadriga der Cultur: das Empfinden, Denken, Können und Wollen der Menschheit in Bewegung setzte mit seiner mathematisch volljährig gewordenen Behauptung von der Drehung der Erde. Neben der Poesie, getragen durch Hanns Sachs (1494—1576) und Bernardo Tasso (1493—1596), dem Vater Torquato's; neben der Kunst, getragen

durch Leonardo da Vinci (1452—1519), Peter Vischer (1460—1529), Albrecht Dürer (1471—1528), Buonarrotti (1474—1564) und Raphael Sanzio (1483 bis 1520); und neben der religiösen Duldsamkeit, getragen durch Martin Luther (1483—1546), war auch das Recht, getragen durch unseren grossen Kaiser Maximilian (1459—1519), den Freund des Bürgerthums, und die Kenntniss neuer Welten entstanden, die Martin Behaim (1459—1507), Columbus (1436 bis 1506) und Vasco de Gama (1469—1524) ihren Mitmenschen reichten. Die Zeit der Wiedergeburt der Menschheit, die Renaissance, die Zeit des Cinque-Cento, war gekommen, und sie gravitirte auch sofort neben dem Aufblühen der Gewerbe und des Handels, getragen durch die Welser und die Fugger, in dem Erlühen derjenigen Realien, die auf die Ingenieurbaukunst so erfolgreich reagirten.

In der Mathematik erschien sofort Cardanus (1501—1575) und Vieta, der 1540 die Buchstabenrechnung zuerst lehrte und damit den Mechanismus der Mathematik unsagbar hob; und auf dem Gebiete des Bergbaues und seiner Wissenschaft schlugen die vier Urstämme Agricola 1530, Ettenhart 1556, Mathesius 1562 und Lazarus Erker 1574 ihre Wurzeln. Die Ingenieurbaukunst erschien durch diesen Einfluss der Realien sofort bleibend auf dem Gebiete des Strassenbaues, des Kanalbaues und des Kriegsbaues.

Heinrich IV. (1533—1610) schuf in Frankreich den planmässigen Strassenbau und seine corpsmässige

Leitung; Leonardo da Vinci projectirte 1516 den ersten Kanal für Frankreich, den von Romortin; zu Paris, Toulouse und gegen Ende des sechzehnten Jahrhunderts zu Venedig am Rialto und zu Nürnberg erschienen verfeinerte Brückenformen; obenan aber schufen die drei Kriegsbaumeister Leonardo da Vinci, Tartaglia und Albrecht Dürer die neue geometrische Schule von Massenbauten. Aber alle diese Bemühungen im Ingenieurbaue waren noch immer rein empirischer Natur, nur die verfeinerte Handhabung der Geometrie, die sich in dem Werke des unsterblichen Meisters Dürer in seinem „Underricht von Befestigung der Stett, Schloz vnd Flecken,“ Nürnberg 1527 kennzeichnet, bildet den Uebergang zur wissenschaftlichen Behandlung des Ingenieurbaues. Man warnämlich bis dahin noch nicht in diejenige Erkenntniss mathematischer Gesetzmässigkeit physikalischer Erscheinungen gelangt, welche nur im Wege mathematisch geschulter Beobachtung erzielbar sein konnte.

Da erschien Galileo Galilei, der Vater der Naturwissenschaften und zugleich der Vater der Ingenieurwissenschaften.

Zur Zeit seines Auftretens (1564—1642) glich die Erscheinung der Cultur einer Wage. In der einen Schale lag das starre Dogma und das Bleigewicht der Inquisition, in der anderen die Wissenschaft und die Duldsamkeit, beide hineingelegt von katholischen Priestern, von Copernicus und von Martin Luther. Und nun sandte Gott sein Werkzeug Galilei, und das

Zünglein der Wage neigte sich für immerdar zur Wissenschaft.

Es sind zwei beachtenswerthe Thatsachen, dass Galilei, der als ehrwürdiger Greis mit der Kirche in so trüben Conflict gerieth, als erste wissenschaftliche Entdeckung sofort den Kern alles physikalischen Wissens, den Zeitmesser Pendel, und dass er die Anfänge des Pendelgesetzes im Hause Gottes, im Dome zu Pisa fand, wo er, statt zu beten, die Schwingungen der Ampel studirte. Schon 1589 Professor zu Pisa, hat uns Galilei während seines an geistigen Thaten reichen Lebens den tiefen Schacht gegraben zur Fundstelle der Naturwissenschaften. Bis zu seiner Zeit waren die Naturwissenschaften noch todter, oberflächlicher Empirismus; es fehlte ihnen noch die Seele: die mathematische Erkenntniss der physischen Gesetze. Und dieser mathematischen Auffassung der Naturwissenschaften brach Galilei, gestützt auf seine Vorläufer in der Mathematik, obenan auf Cardanus, Stevinus und Copernicus, die Bahn.

Er wirkte in vier grossen Richtungen.

Erstens durch seine hochbedeutsamen physikalisch-technischen Erfindungen. Er lieferte uns unabhängig von Lipenshey und Metius und wenn auch ein Jahr später (1609) als diese, selbstständig das Fernrohr und wesentlich die Verbesserung desselben, und er schuf das Mikroskop, den Proportionalzirkel, die Senkwage und das Thermometer, letzteres allerdings nur im Grundplane geistigen Wissens.

Zweitens schuf Galilei das mathematische Gebäude der heutigen Physik; denn er lehrte die mathematischen Fundamente der Pendelgesetze, der Fallbewegung, des Stosses, des Wurfes, des Schwerpunktes und des Schwimmens und er lehrte die mathematische Beobachtung des Schalles, des Lichtes, der Schmelzung, des Magnetes und des Luftdruckes, letztere allerdings noch vor seinem Schüler Torricelli (1608—1647) in der Form des „Horror vacui.“

Drittens schuf Galilei das heutige Gebäude der beobachtenden Astronomie, denn er war es, welcher zum ersten Male als sterblicher Mensch sich die Gestirne des Himmels durch das Fernrohr nahe rückte, welcher mit leiblichen Augen sah, was Copernicus durch das Calcul lehrte; seine Saturnringe und Jupitertrabanten, seine Untersuchungen des Mondes und der Sonne und alle seine übrigen grossen astronomischen Entdeckungen waren das Bindeglied zwischen Copernicus und Kepler, und mit diesen beiden Namen vereint glänzt der des Galilei im Dreigestirne der Schöpfer der Aristokratin unter den Naturwissenschaften, der Astronomie.

Viertens aber schuf, und dies ist für das vorliegende Thema das Wichtigste, Galilei die Ingenieurwissenschaft; denn er war der erste, der die Gesetze der Mechanik des Himmels auf die Mechanik der Erdenkörper übertrug, der die Gesetze der Ruhe der irdischen Körper fand, der die Mechanik und Statik durch sein weltberühmtes Buch „Dialogi interno alle duo nuove

scienze“ unterschied, der also die Baumechanik schuf und damit erst die mathematische Kunst, zu bauen. Seit Galilei also, der uns die Gesetze des Hebels und der schiefen Ebene und die Potenzen derselben, die einfachen Maschinen überhaupt in der neuen mathematischen Form zuerst lehrte, der zuerst die Gesetze der Kettenlinie, also die Ausgänge zur Theorie der Wölbungen lehrte, der zuerst die Lehre vom Parallelogramm der Kräfte aussprach und der die ersten Berechnungsversuche über die Festigkeit und über die Tragkraft der Balken lehrte: seit Galilei also erst wird im Bauwesen mathematisch constrüirt.

Der grosse Galilei streifte also die Schule des Empirismus ab, lehrte uns ein Ingenieurwerk vorher zu berechnen, also den Erfolg im voraus, nicht hinterher zu erringen, wie letzteres die Schule des reinen Empirismus bislang noch hatte thun müssen. Seit wir aber unsere Constructionen vorher berechnen können, vermögen wir aber auch die Bedingungen der nunmehrigen socialen Verhältnisse, die der Concurrenz der Werke untereinander, zu erfüllen. Denn wir wissen nunmehr die technische Haltbarkeit und den Massenaufwand eines Bauwerkes mathematisch genau vorher zu bestimmen und haben nur noch nöthig, diese Massen mit ihrem Einheitspreise und mit der Berücksichtigung der Orts- und Zeitverhältnisse zu multipliciren, um den zweiten Factor der Concurrenz, den Kostenbetrag eines Werkes, zum Ausdrucke bringen zu können.

Die Constructionsrechnung ruht auf festen, wissenschaftlich unfehlbaren Gesetzen, die Geldberechnung ist dagegen ein individueller, daher fehlbarer Erfahrungsfactor und wohl zu trennen von dem wissenschaftlichen.

So ist also mit dem Hinblicke auf die Leistungen des grossen Galilei (dessen Bild und Wahrspruch: „E pur si muove“ mit grossem Verständnisse als Siegelbild des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins erwählt wurde), allein schon der innigste Zusammenhang der Naturwissenschaften mit den Ingenieurwissenschaften erwiesen und dargethan, dass dieser Zusammenhang den Grad innigster Wahlverwandtschaft bedeutet.

Nicht nur, dass viele Disciplinen der Ingenieurwissenschaft direct ein Kind einzelner Disciplinen der grossen Naturwissenschaft sind, ist die Ingenieurwissenschaft in sehr vielen Dingen Nichts, als eine angewandte Naturwissenschaft, in vielen Dingen aber sogar eine selbstständige Naturwissenschaft, in allen Dingen aber, wie wir unten bemerken werden, unstreitig die eifrigste Beförderin aller Naturwissenschaften. Ich erwähne in der erstgenannten Beziehung nur, dass die Seele aller Ingenieurwissenschaft: der mathematische Calcul ein Kind der Astronomie ist; in der zweiten, dass der Körper der Ingenieurwissenschaft, die Bauerscheinung eine künstliche physikalische Erscheinung, also angewandte Physik ist, und dass in der drittgenannten Beziehung die Ingenieurlehren der

Hydraulik und der Festigkeit der Körper selbstständige Naturwissenschaften ersten Ranges sind.

Die neue Bahn, welche der grosse Galilei für die Ingenieurbaukunst, die Baukunst national-ökonomischer Werke geschaffen hatte, hätte indess nicht zur allgemeinen Geltung gelangen können, wenn ihre physische Eröffnung nicht gleichzeitig durch eine jener grossen universalen Erfindungen ermöglicht worden wäre, welche die culturelle Welt immer in ein neues verändertes Gefüge gebracht haben; ich meine die Erfindung des Gesteinsprengens durch M. Weigel im Jahre 1613, eine Erfindung, die merkwürdiger Weise von den Culturhistorikern noch zur Gänze ignoriert wird, und die doch die eigentliche Segnung der Erfindung des Schiesspulvers involvirt. Denn erst seit Weigel beherrschen wir das feste Felsgestein, an dem in allen früheren Jahrhunderten und Jahrtausenden die Menschen als Sklaven, Soldaten und später als zünftige Werkleute geduldig und nahezu ohnmächtig meisselten und dürftig mit Feuer brannten. Was Galilei der Ingenieurbaukunst auf geistigem, das hat Weigel, der schlichte Freiburger Oberbergmeister, auf physischem Terrain geleistet, und beide Leistungen combinirten sich sofort derartig, dass mit dem historischen Beginne dieser Combination auch allsogleich das historische Erwachen der Ingenieurbaukunst erkennbar ist, dass also auch hier wieder eine Naturwissenschaft, die Chemie (die Mutterstätte der Beschaffung des Sprengpulvers) aussergewöhnlich auf die Ingenieurbaukunst eingewirkt hat.

Unter den Ingenieurwerken, die sofort nach den Erscheinungen von Galilei und von Weigel historisch auftraten, will ich nur wenige herausgreifen. Vor Allem ist das Werk zu Pisa (1606—1613), der Aquäduct zu nennen, der als Vorläufer für die mathematische Behandlung der fünf berühmten, zwischen 1618 und 1639 erbauten Brücken galt, welche fünf Brücken (St. Michel, Tournelle, Charles, St. Marie, au Change) die Ausgangsstellen der wissenschaftlichen Brückenbauschule von Frankreich, diese für alle Folgezeiten tonangebende und nachgeahmte Schule bilden.

Als erster mit den Elementen der Hydraulik construirter Kanalbau, welche Elemente zu Ende des sechzehnten Jahrhunderts der Vorläufer Galilei's, der vorgenannte Stevinus, der holländische Wasserbau-inspector Moritzens von Nassau zuerst gelehrt hatte, erscheint der Kanalbau zwischen der Seine und der Loire (1606—1642), ein Bau, der sich schon auf die Empirie Leonardo da Vinci's und auf jene der Meister des Rüdersdorfer und Lychener Kanales (die unter dem Brandenburger Joachim II. 1535—1571 gebaut wurden), so wie auch auf die des Meisters des Eldener Kanales stützen konnte, .welch' letzterer zur Verbindung der Elde mit der Elbe schon 1568—1576 gebaut worden war.

Nun griff der weit ausblickende Staatsmann Colbert (1619 — †1683) mit der Decretirung grosser Ingenieurwerke ein. Der Bau des zweiten französischen Kanales, des von Languedoc (1666—1680) documentirte

im geistigen Ausflusse der Leistungen des Ingenieurs Riquet, obenan vermöge jener des ersten mit Pulver gesprengten Tunnels, dem von Malpas, das Moment der Unerschrockenheit vor technischen Hindernissen, und gestählt wurde diese Unerschrockenheit durch die Trouontaine'sche Stiftung der Pariser Ingenieurschule (1747), der ein Perronet vorstand, und die 1755 den in allen fünf Welttheilen bekannten Titel der *École des ponts et chaussées* annahm, eine Schule, welche die Entstehung unserer gegenwärtigen, technischen Hochschulen inaugurierte.

Nunmehr war sowohl für die theoretische Richtung, als für die praktische Leistungsfähigkeit der Ingenieurbaukunst die Bahn völlig gebrochen. Wir sehen 1696 im Albula-Passe durch die Sprengung des Bergüner Steines, 1707 durch die Sprengung des Urner Loches am Saumpfade über den St. Gotthard, 1736 durch die Felsensprengungen an der Schweizer Strasse nach dem Bade Leuk, und 1738 durch die ersten Felsensprengungen in der Via-mala die Richtung des modernen Strassenbaues eröffnet; wir sehen nach den Grundsätzen Vauban's im achtzehnten Jahrhunderte neue, grossartige Festungsbauten entstehen; wir sehen zu Ende des siebenzehnten Jahrhunderts, obenan durch die Sprengungen im Binger Loche des Rheines eine neue Aera der Flussbauten entstehen; wir sehen im achtzehnten Jahrhunderte neue Hafen- und Dockanlagen errichtet, und wir bemerken beim selben Jahrhundert einen bedeutsamen Aufschwung des Kanalbaues. In letzterer Richtung sei nur noch

bemerkt, dass 1770 am Givors-Kanale und 1782 am Kanale von St. Quentin, 1755 am Mersey-Kanale, 1758 am Bridgewater-Kanale und 1766 am Greattrunk-Kanale, 1739 am Ladoga-Kanale, in Deutschland aber allein im achtzehnten Jahrhunderte schon am dreizehnten Schifffahrtskanale gebaut wurde.

V. Die „Neue Zeit“.

Die von Galilei geschaffene, theoretische Richtung der Ingenieurbaukunst hatte im achtzehnten Jahrhunderte theils auf der hohen Schule zu Paris, theils durch die umfänglichen national-ökonomischen Bauten im civilisirten Europa und theils durch den nunmehr eingetretenen enormen Aufschwung der Naturwissenschaften, welche 1713 durch Darby den Process des Eisenschmelzens mittelst Coaks, 1778 die vollendete Dampfmaschine durch Watt, und 1809 den elektrischen Telegraph durch Sömmering gezeugt hatten, eine solche Kräftigung erfahren, dass die zu Ende des achtzehnten Jahrhunderts gebildete Genossenschaft der Ingenieure ohne Zagen an jene grossen, civilisatorischen Aufgaben zu schreiten vermochte, welche die Cultur des neunzehnten Jahrhunderts gleich im Beginn seines Erscheinens heroisch forderte. Diese specielle Forderung bestand in grossartigen Festungsbauten, Docks- und Hafenanlagen, in weitgreifenden Verbesserungen der Flussschiffahrt, in immer grossartiger sich gestaltenden Kanalbauten, vornehmlich aber in der Errichtung der heutigen Alpen-

strassen. In keiner Culturzeit, auch nicht zur Römerzeit, waren die Alpen in dem Sinne fahrbar gemacht worden, wie wir ihn heute mit dem Begriffe einer chausvirten Alpenstrasse kennzeichnen; denn die Kelten wie die Römer waren dem festen Felsgestein dort ausgewichen, wo grosse Felsenmassen zur Herstellung eines sanften und gleichmässigen Anstieges überwunden werden mussten. Die Römer selbst handhabten noch nicht unsere theoretisch fixirte Serpentinirung der Alpenstrassen, auch an den schweren Felsenpartien nicht die Gleichhaltung des sanften Gefälles, endlich auch nicht an schwierigen Partien die Breite unserer Wege. Selbst ihre Alpenstrassen waren mit geringer Ausnahme und im Felsenterrain überall nur schmal und sehr steil, oft wie 1 : 6.

Im Mittelalter waren aber auch diese Alpenwege verfallen, besonders die der Schweiz, und nur der Semmering- und der Brenner-Weg erfreuten sich einiger Beachtung, namentlich aber der letztere, der bekanntlich der frequenteste unter den Kaiserwegen war. Erst im Jahre 1728 wurde der Semmering-Weg nothdürftig fahrbar gemacht, wie dies heute noch die alte, nunmehr verlassene Semmering-Strasse zeigt; und erst im Jahre 1772 ging man am Brenner daran, die schlechtesten Wegepartien durch Umlegung und Beschotterung zu verbessern, eine „Verbesserung“, die jedoch nur zu jener Zeit so genannt werden durfte. Beide diese Alpenwege boten indess wegen ihrer sanften Berggehänge und Joche keine auffälligen technischen Schwierigkeiten. Da trat nun eine grosse neue Epoche im Strassenbaue durch die Forderungen

Napoleons I. ein. Dieser hatte soeben die furchtbaren Schäden erfahren, welche seinem Heere durch ungebahnte Alpenübergänge zugefügt worden waren und decretirte er deshalb einen, im Sinne der vorgeschrittenen Naturwissenschaften, namentlich im Sinne einer wissenschaftlichen Ausbeute des Gesetzes der schiefen Ebene und des praktisch erzielbaren Minimums der Reibung, gehaltenen, sogenannten modernen Strassenbau über den Simplon. Die Ingenieure jener Zeit erschraaken noch über diese Forderung Napoleons, aber das Machtgebot übertönte alle Bedenken, und es war gut, dass es so gekommen; denn ohne dieses Machtgebot hätten wir wohl noch länger warten müssen, um zu erkennen, dass die Wissenschaft bereits stark genug geworden war, solche technische Aufgaben zu lösen. So folgten nunmehr der Strasse über den Simplon (1801—1807), unter anderen diejenigen über den Mont-Cenis (1803—1810), den Splügen (1818—1824), den Bernhardin (1819—1823), das Stilfser Joch (1820—1824) und den St. Gotthard (1820 bis 1830). Gerade aber diese Strassenbauten über die Alpen und dann noch jener Riesenbau, der zwischen 1810—1832 im Terraine Schwedens ausgeführt wurde; der Gota-Kanal; gerade diese Bauten hatten die Lehren der Tracirung, der kühnsten Brückenbauten der schwierigsten Mauerbauten und der rationellen Bewegung überaus grosser Erd- und namentlich Felsenmassen zu einem solchen wissenschaftlichen Aufschwunge gebracht, dass Stephenson, als er 1819 mit seinen eisernen Pferden, den berühmten „Iron horses“ die

Killingworther Strecke auf- und niederhumpelte, keine Schranke im Reiche der Bautechnik mehr fand.

Diese Technik, oder richtiger gesagt diese Vereinigung von Theorie und Praxis, also diese exacte Ingenieurwissenschaft war in den Dreissiger Jahren des gegenwärtigen Jahrhunderts nun schon so hoch ausgebildet, dass die Aufgaben des Eisenbahnbaues, diese Riesenaufgaben der Cultur an die reine Wissenschaft wie an die Uebung derselben ohne irgend ein Bedenken gestellt werden konnten. Im Gegentheile ist uns Ingenieuren heute keine Aufgabe mehr zu gross, und besteht das Glück des einzelnen Ingenieurs lediglich darin, dass ihm möglichst grosse, kühne Aufgaben gestellt werden; gelöst werden sie von ihm im Bunde der Genossenschaft ja alle!

So sind wir in die Zeit eingetreten, wo das Wissen der Genossenschaft der Ingenieure zu gross für den einzelnen Mann geworden ist, und wo die Theilung der Arbeit wenigstens in den Hauptgruppen unausweichlich geworden ist. So unterscheiden wir gegenwärtig im Ingenieurbauwesen drei Hauptgruppen, nämlich:

1. die der Kriegsbaukunst,
2. die des Städtebaues und
3. die des Verkehrsbaues.

Die erste Gruppe umfasst alle Fortificationsbauten; die zweite die Anlagen neuer Städte oder Stadttheile, die Anlagen von Kloaken, von Wasserleitungen, von Beleuchtungseinrichtungen, von städtischen Strassen und von öffentlichen national-ökonomischen Gebäuden, wie: Markthallen, Viehhallen etc.; die dritte Gruppe

umfasst: a) den Strassenbau, b) den Bau schiffbarer Kanäle, c) den Flussbau (Sicherung und Verbesserung der Schifffahrt), d) den Hafenbau (Leuchtthürme, Schiffdocks, Waarendocks und directe Hafenbauten), und e) den Eisenbahnbau mit seinen sechs grossen Unterabtheilungen: 1. Vorarbeiten, 2. Erd- und Felsenbau, 3. Mauer- und Brückenbau, 4. Tunnelbau, 5. Oberbau und 6. Bahnhofbau. Hieraus ist der riesige Umfang unserer Disciplinen am besten erkennbar und demnach auch für die Zwecke des vorliegenden Themas zweierlei ersichtlich, nämlich: a) das überaus grosse Wirkungsfeld der Naturwissenschaften auf die Ingenieurbaukunst und b) das überaus grosse Feld der Reciprocität der Ingenieurwissenschaften zu den Naturwissenschaften.

Um nun den Einfluss, wenn auch bei der überaus grossen Fülle des Stoffes nur skizzenhaft vorführen zu können, den die Naturwissenschaften auf die Ingenieurwissenschaften in der gegenwärtigen Zeit üben, sei hier jener Weg gewählt, welcher die hauptsächlichsten Naturwissenschaften durchgeht.

I. Die Astronomie.

Diese Aristokratin unter den Naturwissenschaften wirkt auf unsere Disciplinen in mehrfacher Weise ein.

1. *Durchbildung der Mathematik.*

Wenn man einfach die Namen Galilei, Kepler, Des Cartes (Cartesius) und Newton nennt; wenn man des grossen Leibnitz, der die Differential- und

Integralrechnung schuf, der Namen Napier und Brigg, welche 1616 die Logarithmen ersannen, und der drei schweizerischen Mathematiker Bernoulli's gedenkt, die zwischen 1654 und 1759 den höheren Calcul ausbildeten; wenn man endlich die Namen Herschel, Laplace, Euler und Gauss hervorhebt: so sind seit der Zeit des Galilei Astronomen genug genannt, um jenen Aufbau der Mathematik zu kennzeichnen, ohne dem unsere heutige Ingenieurwissenschaft geradezu undenkbar wäre. Allein schon hier sei auch der Gegenleistungen gedacht, welche die Genossenschaft der Bauingenieure durch die Ausbildung der Mathematik für ihre speciellen Zwecke der Mutter Astronomie zurückgaben; ich will hier nur der französischen Schule, repräsentirt durch Perronet, Poncelet, Prony, Gauthier und Moseley gedenken und noch aus der deutschen Schule darauf hinweisen, dass dieselbe eine Reihe der hervorragendsten, der glänzendsten Namen und unter den Lebenden zwei zählt, die ich hier nicht übersehen darf, nämlich die Namen Dr. Hermann Scheffler und Dr. Adam Freiherr von Burg, der Nestor der österreichischen Ingenieure, jener Präses dieses ansehnlichen Vereines, vor dessen geistigen Leistungen besonders die lebende österreichische Generation der Ingenieure sich dankend beugt.

2. Einfluss der Mechanik des Himmels.

Die vier grossen Astronomen: Copernicus (1473 bis 1543) vermöge der Speculation, Tycho de Brahe (1546 — 1601) vermöge rectificirender Beobachtung,

Galileo Galilei (1564—1642) vermöge der genauen optischen Beobachtung, und Kepler (1571—1630) vermöge der Auffindung der Gesetze haben die Mechanik des Himmels derart mathematisch ausgebaut, dass, wie wir schon früher erkannten, die Mechanik terrestrischer Körper, also auch die Bedingungen des Gleichgewichtszustandes: die Statik geschaffen werden konnte. Cardanus aus Parma, der Mann, welcher sich schon durch die Lösung kubischer Gleichungen ausserordentliche Verdienste gesammelt hatte, war der Erste, welcher sich 1545 mit der mathematischen Behandlung der schiefen Ebene befasste, und Stevinus, der schon mehrgenannte, holländische Ingenieur, der Zweite. Auf diese Leistungen baute Galilei in einer Weise, dass er schon 1638 das Gesetz von dem Parallelogramm der Kräfte, wie wir schon oben sagten, aussprach, und Newton 1668 es mathematisch erwies. Hiermit waren, besonders seit die Leistungen von Huyghens hinzutraten, jene Elemente gegeben, aus denen sich unsere Baumechanik, dieses Kind der Astronomie und Physik herausbilden konnte, eine Disciplin, welche die Kernwissenschaft der Ingenieurbaukunst darstellt.

3. Die Erfindung des Fernrohres.

Als die Holländer Lipenshey und Metius jeder für sich allein im Herbste 1608 das Fernrohr erfunden hatten, und Galilei 1609, davon nur hörend, ebenfalls selbstständig das Fernrohr erfunden, und Kepler dies Instrument 1610 wesentlich verbessert hatte, da bot

sich durch die Zwecke der Astronomie eines der wesentlichsten Mittel für die Hebung der Ingenieurbaukunst auf die heutige Höhe, nämlich das Mittel der mit Fernrohren versehenen Messinstrumente. Der Portugiese Nunnez hatte schon 1542 den Nonius, und Peter Vernerius 1631 dessen Verbesserung für astronomische Zwecke eingeführt; Morin aber hatte 1634 die Verbindung des Fernrohres mit einem Winkelmessinstrument ersonnen. Pierre-Picard führte, wieder für astronomische Zwecke, 1669 das Fadenkreuz und Auzout 1868 die Mikrometerschraube hinzu, so dass, als die Ingenieurbauten im achtzehnten Jahrhunderte begannen und im neunzehnten sehr umfänglich sich gestalteten, ihnen schon von den Astronomen jene Instrumente dargereicht werden konnten, die wir Nivellirinstrument und Winkelinstrumente nennen, Instrumente, welche heute zum Repetitionstheodoliten und zum Tacheometer ausgebildet sind, und ohne die wir kein, den heutigen wissenschaftlichen und socialen Anforderungen entsprechendes Bauproject, und überhaupt gar keine solche Bauausführung vornehmen könnten.

4. Die Gradmessungen.

Bekanntlich hatten in primitiver Weise schon die Alten und mit einem gewissen Grade von Schärfe schon im neunten Jahrhunderte die arabischen Astronomen Gradmessungen vorgenommen; die eigentliche Aera dieser Messungen beginnt jedoch erst mit Jean Fernel im Jahre 1525. Da trat, um ein grösseres Maass von

Genauigkeit zu erzielen, der Holländer Willebrord Snellius im Jahre 1615, also zur selben Zeit, in welcher die Ingenieurwissenschaft durch Galilei erwachte, und die umfängliche Baupraxis durch Martin Weigel's Sprengprocess physisch ermöglicht worden war, mit seinem Systeme der Triangulation auf, und durch dieses Princip war der Ingenieurbaukunst ein neues Stück ihres Lebens gegeben worden; denn von nun ab war das Mittel vorhanden, genaueste und umfänglichste Kartirungen und Achsenfestlegungen für Zwecke von Ingenieurbauten vornehmen zu können, ohne welche unsere Wissenschaft füglich hilflos sein würde. Rechnet man noch jenen Einfluss hinzu, welchen die Gradmessungen auf die Ausbildung der sogenannten höheren Geodäsie genommen, und den sie auf die niedere Geodäsie vermöge der Sorgfalt bei den Basismessungen und bei den Präcisionsnivellements und der gerade hierdurch entstandenen Bereicherung an Messinstrumenten ausgeübt haben, so ist die enorm wichtige Einwirkung der Astronomie auf die Ingenieurbaukunst auch hier wieder zu erkennen.

Beachtet man nun noch, dass die Präcisionsnivellements, die Entwicklung der höheren Geodäsie und die Verfeinerung der Arbeit mit Winkelmessinstrumenten auf die Achsenfestlegungen und die Höhenlegungen unserer langen Alpentunnel's einen ganz directen Einfluss genommen haben: so erhellt aus all Dem, dass die erste und oberste aller Naturwissenschaften, die Astronomie, auf die Ingenieurbaukunst direct wie in-

direct einen so bedeutsamen Einfluss ausgeübt hat, dass wir diese letztere Disciplin geradezu als eine Tochter jener grossen Wissenschaft bezeichnen dürfen.

II. Die Physik.

Die Einwirkungen der Naturwissenschaft der Physik auf die Ingenieurbaukunst sind derartig zahlreich und umfangreich, dass es geradezu unmöglich ist, dieselben hier sämmtlich und auch nur annähernd specialisirt vorführen zu können. Ich muss mich deshalb nur mit einigen Punctionen begnügen.

1. *Das Pendel.*

Seit das Loth in der Astronomie schon von den Arabern gebraucht, und seit es im fünfzehnten Jahrhundert durch den Wiener Professor Purbach als astronomisches Beobachtungsmittel allgemein eingeführt wurde, besonders aber seit, ich möchte sagen, die Seele des Pendels durch Galilei 1602 entdeckt wurde, und seit es 1655 durch Huyghens für die Regulirung der Uhren eingeführt, es als Compensationspendel 1726 durch Harrison gestaltet, vornehmlich aber seit es durch Foucault (1819—1868) zu seinem klassischen Beweise für die Drehung der Erde verwendet wird, hat das Pendel eine immer verfeinerte Anwendung im Bauwesen und insbesondere in den letzten Jahrzehnten der Tunnelbau grossen Nutzen durch die letztgenannte feinere Behandlung des Pendels erfahren. Hier nämlich, bei den Bestimmungen der Achse des Tunnelbaues, dann, wenn diese durch die Schächte vermittelt fein

construirter und sorgfältigst aufgehängter Pendel in die Tiefe übertragen werden muss.

2. *Der Magnet.*

Bis vor etwa zwanzig Jahren wurde die Boussole als Winkelmessinstrument für Zwecke der Kartirungen noch des Oefteren, und für Zwecke unterirdischer Messungen fast ausschliesslich im Rahmen der Ingenieurbaukunst verwendet. Seit der Verallgemeinerung und der Vervollkommnung der Theodoliten hat dieser Gebrauch allerdings aufgehört, allein es wird die Magnetnadel neuestens öfters als Hilfsinstrument bei unterirdischen Messungen nach der Methode des Harzer Bergrathes und Professors Borchers verwendet, der sie in äusserst sinnreicher Weise benützt, um die Achsenlage der Stollen kurz vor dem zu effectuierenden Durchschläge derselben nach der Methode der sogenannten „magnetischen Durchschläge“ festzulegen.

3. *Die Elektrizität.*

Der wissenschaftliche Ausbau der Elektrizität hat im Ingenieurbauwesen besonders zu drei wichtigen Anwendungen geführt, nämlich:

a) zur Verwendung des electro-magnetischen Telegraphen für Bauzwecke, z. B. für Verständigungen bei der Förderung der Massen, bei Tunnelbauten etc.;

b) zur Verwendung des sogenannten elektrischen Lichtes bei Nacharbeiten und bei Tunnelbauten, und

c) zur elektrischen Zündung der Sprengschüsse.

Diese letztere Verwendung des elektrischen Funkens ist dermalen die wichtigste unter den drei genannten Verwendungsarten. Im Jahre 1823 hat Harris die ersten Versuche gemacht, den elektrischen Funken zur Zündung der Sprengladungen anzuwenden; ihm folgten 1831 Shaw, 1843 Thomson, dann der Hannoveraner Ruhmkorff, 1846 Schmidhuber, Mahner und Varrentrap, dann der bekannte österreichische Genieofficier Baron Ebner, dann der braunschweigische Mechaniker Bornhard, der österreichische Genieofficier Eduard Ržiha, dann der Verfasser dieses Artikels, und neuestens der Ingenieur Abegg. Diese stetig anwachsenden Verfeinerungen in der elektrischen Zündungsweise der Sprengladungen verfolgen dreierlei Zwecke, nämlich *a*) die gleichzeitige Zündung, vieler einzelner Ladungen mit einem Male, *b*) die Möglichkeit präziser Zündungen sehr grosser (Minen-) Ladungen aus grosser Entfernung, und *c*) die Entzündung von Minen unter Wasser. Der erstgenannte Zweck umfasst die Vergrösserung des einzelnen Sprengkörpers, weil es theoretisch sofort erhellt, dass die gleichzeitig eintretende Erschütterung des Gesteines die Sprengwirkung erhöht (erfahrungsgemäss etwa 15 bis 20 Procent). Der zweite Zweck (wesentlich cultivirt von den Militäringenieuren) gestattet die Vornahme grosser Sprengungen, und ich erinnere hier nur an die New-Yorker Hell-gate-Sprengung vom vorigen Jahre. Der dritte Zweck verfolgt die grössere Sicherheit einer Zündung.

4. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Diese physikalische Disciplin spielt im Ingenieurwesen eine sehr bedeutende Rolle seitdem wir die Verwendung des Eisens, Stahles etc. in der Ingenieurbaukunst im ausgedehntesten Maasse betreiben. Ich erinnere hier nur an die Berücksichtigungen, Vorkehrungen und Apparate, welche diesfalls bei der Legung der Eisenbahnschienengeleise und bei dem Baue der eisernen, respective stählernen Brücken auftreten. Hieher gehört auch die physikalische Erwägung der zweckmässigsten Verbindungen zwischen Stein und Eisen, die Beachtung der Frostwirkungen auf die Bauconstructionen etc.

5. Die Reibung.

Als physikalische Erscheinung betrachtet, hat das Wesen der Reibung einen geradezu imponirenden Einfluss auf die Ingenieurbaukunst geübt. Denn einmal basiren alle unsere Constructionen, sagen wir die gesammten Lehrsätze in der Baumechanik, entweder auf die directe Unterstützung des Schwerpunktes eines einzelnen Körpers, oder auf die Reflexionen über die Reibung der Körper untereinander, und das anderemal ist die Ausbeute des Gesetzes der Reibung die Concentrationsstelle des Wesens aller Verkehrsbauten. In letzterer Beziehung sei nur Das erwähnt, dass, weil wir das Schwergewicht aus der Natur niemals eliminiren können, unser ganzes Streben im Verbessern des Verkehres, also im Erzeugen eines Maximum von „bewegter“ Masse innerhalb eines

Minimums von Zeit nur in der Multiplication des Principes der Verwendung der schiefen Ebene mit dem Principe minimaler Reibung gipfelt. Wir müssen, weil wir das Schwergewicht nicht aus der Natur herausstossen können, dasselbe, wenn ich mich so ausdrücken darf, umgehen, und zwar im Wege der Wissenschaft, die hier obenan die drei grossen Naturforscher und Mathematiker Stevinus, Galilei und Coulomb schufen, umgehen. Unsere Eisenbahnen sind ja gegenwärtig die höchste, bislang errungene Potenz dieser Umgehung, indem wir den horizontalen oder thunlichst sanft ansteigenden, thunlichst glatten Weg, gepaart mit einem Minimum an rollender Reibung wählen — oder indem wir bei Opferung von Zeit als Gegensatz ein Maximum von Reibung z. B. in der Zahnradbahn wählen, um ein grösseres Haftungsvermögen für gebotene Maximalsteigungen zu gewinnen.

So dient uns also die mathematisch-physikalische Erkenntniss des Gesetzes der Reibung nicht nur zur Conception von culturellen Ingenieurbauten, sondern auch, wie oben angedeutet, zur Schaffung einzelner Disciplinen: so der Baumechanik, der Hydraulik (wegen des Einflusses der Reibung des Wassers an den Wänden behufs Rectification der Bewegungen) und so der Theorie der Stützmauern, der Erdböschungen (wegen der Cohäsion der Erdarten) etc.

Zu gedenken ist hier auch der Specialverwerthung der Gesetze der Reibung zu Zwecken der Rammung der Pfähle, der Eintreibung der sogenannten Getriebepfähle

im Tunnelbaue, der Caissonversenkung bei Fundirungen, des Besatzes bei der Ladung der Sprengschüsse, bei den Bremsmaschinen im Erd- und Tunnelbaue, und bei der Construirung aller Baumaschinen überhaupt.

6. *Das Fallgesetz.*

Dieses, zum ersten Male von Galilei 1602 mathematisch gehandhabte und von Atwood 1784 geradezu verfeinerte Gesetz, hat auf das Wesen der Ingenieurbauctionen einen ganz immensen Einfluss geübt, indem darnach alle jene Bauconstructions mathematisch behandelt werden müssen, welche einen Anprall, einen Stoss auszuhalten haben. Indirect beeinflusst dieses Gesetz das Ingenieurbauwesen sehr wesentlich auch durch jene mechanischen Hilfsmittel, bei denen wir das Moment der sogenannten lebendigen Kraft in Rechnung zu ziehen haben, so beispielsweise bei der Wirkung des Rammhäres.

7. *Die Lehre vom Schalle und vom Lichte.*

Neuestens ist die Lehre vom Schalle durch den Ingenieur Steiner in Wien zur Messung des Kräftespieles in den Constructionstheilen eiserner Brücken vermöge der Fixirung der Schwingungen einer eingespannten Saite in sehr geistreicher Weise ausgenützt worden. Die Lehre vom Lichte ist beispielsweise schon von Gauss in seinem Heliotropen zu Zwecken von Winkelmessungen, später von Stummer zu Uebertragungszwecken von Bauachsen in die Tiefe verwendet worden und überhaupt zu Messungen für Bauzwecke

stetig in Gebrauch. Ich erinnere hier im Ganzen nur an die Bedeutung der Optik für Bauzwecke, repräsentirt durch den uns ganz unentbehrlichen Instrumentenbau für Vermessungen.

8. *Der Luftdruck.*

Seit Galilei, allerdings erst in der Form des Horror vacui, 1602, den Druck der Atmosphäre gemessen, vornehmlich aber, seit sein Schüler Toricelli 1643 ihn uns theoretisch begründet und Guericke ihn uns 1650 so eminent praktisch vorgeführt hat: ist aus der physikalischen Disciplin der Lehre vom Luftdrucke eine solche Fülle von theoretischen und praktischen Ergebnissen, allein für die Zwecke der Ingenieurbaukunst entstanden, dass es ganz unmöglich ist, derselben hier auch nur annähernd folgen zu können. Wir müssen sogar hier hervorheben, dass unser ganzes gegenwärtiges Gebäude der Ingenieurbaukunst wegen der an die Kenntniss und Handhabung des Gesetzes vom Luftdrucke gebundenen mechanischen Hilfsmittel haltlos wäre, ohne diese Disciplin. Ich will hier nur an die Pumpen, an die Manometer, an die Gebläse und Ventilatoren und an die Barometer (zu Höhenmessungen) erinnern: Vorrichtungen, Geräte und Instrumente, die uns für unsere Leistungen geradezu unentbehrlich sind.

9. *Das spezifische Gewicht.*

Wenn auch schon Archimedes 250 v. Chr. die Dichte der Körper gelehrt hat, so ist es doch wiederum erst Galilei (1602) gewesen, der die Lehre vom

specifischen Gewichte in diejenige mathematische Gestalt gebracht und jenen Weg der vergleichenden Wissenschaft eingeschlagen hat, ohne dessen Zielerreichung die Ingenieurbaukunst eines der wesentlichen Constructionsmittel entbehren müsste, eines Mittels, das wir bei jedem unserer Bauprojecte stetig zur Hand haben müssen, und ohne welches wir stündlich in die gewaltigsten Verlegenheiten gerathen würden.

10. Die Lehre von den Motoren.

Die Lehre von der Bewegung und dem Gleichgewichte der Gase und des Wassers sind die Grundfundamente unserer praktischen Mechanik und Hydraulik, und sie haben jene Mechanismen und Veranstaltungen herbeigeführt, welche durch die Erleichterung des Verkehrs und durch die Sanierungsanlagen der Städte ganz neue, culturelle Gebiete des Ingenieurwesens erschlossen haben; ich erinnere hier nur an die Institution der Eisenbahnen, der Kanäle, der Wasserzuleitungen und der Kanalisation der Städte. Hat so diese Wissenschaft der Motoren im Grossen ein unabsehbares Wirkungsterrain uns Bauingenieuren erschlossen, so ist es nicht minder der Fall im Detail. Ich erinnere hier vor Allem an die Dampfmaschine, diesen Segenbringer unseres Jahrhunderts, und an all' die maschinellen Vorkehrungen zur Ausnützung der Bewegung des Wassers, also an die zwei Gruppen von Grundapparaten, mit denen wir Ingenieure dermalen so Riesiges leisten, vermöge deren Handhabung wir vor keiner uns

gestellten Aufgabe zurückweichen, im Gegentheile durch welche wir uns derartig belebt und gekräftigt fühlen, dass wir geradezu Sehnsucht nach noch grösseren Aufgaben empfinden, dass wir wünschen, das culturale Bedürfniss möchte ebenso rasch einherschreiten, wie unser Können; denn gerade darin liegt ein ungeheurer Triumph unserer jungen Wissenschaft, der der Ingenieurbaukunst: dass wir weit mehr leisten könnten, als wir leisten dürfen. Diese Grundapparate nun, von denen ich soeben sprach, haben eine ausserordentliche Vervielfältigung durch die Speciallehre von den Motoren erfahren und ist hierdurch ganz ausserordentlich auf das Detail in der Ingenieurbaukunst eingewirkt worden. Ich will, um dies nur einigermassen illustriren zu können, nur auf folgende Punkte hinweisen:

1. Vor Allem will ich auf den immer nach vorwärts schreitenden Ausbau der Dampfmaschine hinweisen, der deshalb immer vorwärtsschreitet, weil deren Benützungsfeld zum Zwecke des Ersatzes der Muskelarbeit sich immer mehr erweitert und in unseren Tagen besonders auf das Gebiet der Baumaschinen übertragen wird, welches wir im nächsten Capitel zu berühren haben werden.

2. Die Ausnützung gespannter, anderer Gase, als jener des Wasserdampfes. Hieher gehört:

- a) die Benützung der Pulvergase zu Zwecken der Gesteinssprengung und neuestens der Einrammung von Pfählen. Der Chemiker van Helmont (1577 bis 1644) war der erste, welcher von einer Gasentwicklung

des entzündeten Pulvers sprach; ihm folgten mit mathematischen Betrachtungen Bayle im siebzehnten Jahrhundert, Newton (1643—1727) und Johann Bernoulli (1654—1705); nun schied sich die Forschung über die Sprengwirkung in zwei Gruppen, in jene der Betrachtungen der Wirkung des Pulvers bei Kriegsminen, dann in jene der Betrachtungen der Wirkung des Pulvers im Prozesse der sogenannten bergmännischen Sprengung des Gesteines. Die erste Gruppe der Forschungen hat seit Vauban, Bellidor, Megriny und le Febure glänzende Namen aufzuweisen. Die zweite Gruppe wissenschaftlichen Forschens wurde durch die Theorie Dr. Baaders im Jahre 1792 inaugurirt; 1813 folgten die Studien von Meinecke, 1836 jene von Piobert, und 1839 die von Casseaux über die Wirkungen entzündeten Pulvers (alle drei zunächst militärische Objecte betrachtend); 1846 traten dann Gätzschmann, 1854 Dr. Gurlt, dann Hagen und Becker, endlich 1861 der Verfasser dieses Artikels, und 1862 der k. k. Major Eduard Ržiha mit Theorien über die Sprengwirkung bergmännischer Ladungen auf, und seitdem ist, wie oben bemerkt, die Spannkraft der Gase des entzündeten Pulvers zuerst in Amerika von Shaw; später von Rieder in Augsburg auch zu Zwecken der Einrammung von Pfählen angewendet worden.

b) Benützung comprimirtter Luft. Die in der physikalischen Wissenschaft gewonnenen Einblicke in das mathematische Verhalten comprimirtter Luft gaben sehr bald Veranlassung; zunächst derartige gepresste Luft

als Zwischenmotor dort zu benutzen, wo Wasser oder Dampf oder Wind direct nicht verwendet, auch Transmission durch Seile, Achsen oder Räder nicht eingeführt werden konnte. Eine solche Gelegenheit bot der Bergbau, und speciell der Tunnelbau, sobald das Bedürfniss eintrat, die Bohrarbeit der Sprenglöcher durch Maschinen zu ersetzen. Der Engländer Brunton ist 1844 der Erste gewesen, welcher auf die Verwendung comprimirtter Luft zu Zwecken der Gesteinsbohrung und zugleich zu Zwecken der Grubenventilation hingewiesen hat. Ihm folgten Cavé 1851 und Bartlett 1854, letzterer schon in der Absicht, seine Apparate für die Bohrung durch den Mont-Cenis anzuwenden. Die verbesserten Mont-Cenis-Maschinen rühren von Sommeiller, Grandis und Grattoni (1857) unter Mitwirkung unseres Landsmannes, des Serainger Chefingenieurs Kraft, her; 1866 zählte man schon 91 Patente verschiedener Constructionen von Percussionsbohrmaschinen, und sind es gegenwärtig folgende Hauptsysteme, welche als Rivalen arbeiten: Sachs (1863), Bergström (1865), Dubois & François (1868), Burleigh (1869), Osterkamp (1869), Mac Kean (1872), dell' Aqua (1872), Ferroux (1873), Ingersoll (1873), Warrington (1873), Darlington (1873), Warsop (1873), Reynolds (1874), Waring (1874), Cromston (1875), Turretini (1875), Union-Drill (1875), Allison, Wood und Rand.

Eine andere Verwerthung der physikalischen Consequenzen der comprimirtten Luft hat im Ingenieurbauwesen

bekanntlich zu Zwecken der Fundirung ausgedehnt Platz gegriffen; wenn man nämlich die Luft in einer dem Wasser ausgesetzten Baugrube künstlich verdichtet, so kann man das Wasser noch in einer solchen Tiefe ferne halten, als der menschliche Organismus an Ueberdruck der Atmosphäre überhaupt noch verträgt; dieser Ueberdruck stellt sich im Maximum auf $3\frac{1}{3}$ Atmosphären, jedoch hier schon mit lebhafter Gefahr für die Gesundheit der Arbeiter. Hierauf würde man theoretisch in comprimierter Luft nur bis circa hundert Fuss unter dem Wasserspiegel arbeiten können; in der Praxis lässt sich dieses Maass jedoch dann überschreiten, wenn man dem Wasserandrang nicht direct ausgesetzt ist, z. B. bei Schachteufungen, wenn also ein Theil des Wasserdruckes durch die Reibung des zufließenden Wassers im Erdreiche absorbirt wird; in solcher Weise ist man in Bergwerken in schwimmendem Gebirge, z. B. auf der Haniel-Huysser'schen Grube (Rheinpreussen) im Rayon des Rheinwassers bereits bis auf 245 preuss. Fuss vorgedrungen. Die Fundirung von Pfeilern und Mauerwerk mit der sogenannten pneumatischen Methode beruht also auf dem Principe der Taucherglocke und es ist hier nicht uninteressant zu bemerken, dass die Taucherglocke durchaus keine Erfindung der Neuzeit ist, sondern schon lange vor Halley (1716) bekannt war. Man hat Grund anzunehmen, dass die Taucherglocke schon den alten Griechen bekannt war; im Mittelalter existirte sie schon 1350 nachweislich, indem die Chronik von Hohenembs aus diesem Jahre schon Zeichnungen der Taucher-

glocke mit dem Texte enthält, dass sie bereits von Alexander dem Grossen gebraucht worden sei.

Für neuere Ingenieurbauten ist die Taucherglocke allerdings erst seit Halley (1716) bekannt. Die Methode mit grösserem Ueberdrucke als dem einer Atmosphäre, also mit gepresster Luft, in grössere Tiefen zu Bauzwecken vorzudringen, rührt von dem berühmten französischen Ingenieur Coulomb her, dessen diesfälliger Akademiebericht aus dem Jahre 1778 datirt. Dann trat Lord Cochro ne 1831 mit einem Projecte, und nach ihm der Ingenieur Trieger 1839 mit der Methode praktisch im Bergbaue auf; im Brückenbau wurde der Vorschlag, Pfeiler mittelst Caissons (Luftkasten) pneumatisch zu senken, von dem deutschen Ingenieur Pfannmüller (1850) zuerst gemacht; ausgeführt wurde jedoch die erste Caissonfundirung im Rheine bei der Kehler Brücke (1859) durch den französischen Chefingenieur Fleur-St.-Denis.

3. Gepresstes Wasser. Comprimirtes Wasser als Transmission anzuwenden ist eine ganz neuerliche Verwerthung physikalischer Erscheinungen und gebührt dem Hamburger Ingenieur Brandt das Verdienst, diese Transmission für Zwecke der Bohrung des Sonnsteiner Tunnels im Salzkammergute zum ersten Male unter Mitwirkung der Bauunternehmung K. Freiherr von Schwarz praktisch ausgeführt zu haben; bemerkt sei, dass bei solchen Transmissionen anstandslos ein Druck von selbst hundertfünfzig Atmosphären gehandhabt werden kann, und dass sich eine merkliche Com-

primirung des Wassers selbst hiebei nicht ergeben hat.

11. Die Festigkeit der Materialien.

Die physikalische Untersuchung des Widerstandes der Baumaterialien, als des Holzes, Stahles, Eisens, der Steine, des Mörtels, Cementes, der Ziegel, des Betones etc. ist eine der Grundbedingungen derjenigen rechnungsgemässen Construction, die unsere heutigen Ingenieurbauten vor der des Alterthums so gewaltig auszeichnet; es ist also auch hier der hervorragende Einfluss der Naturwissenschaft auf die Ingenieurbaukunst unverkennbar.

In neuerer Zeit hat die diesfällige Untersuchung, gepaart mit mathematischer Behandlung derselben, sogar eine solche selbstständige Richtung angenommen, dass man füglich sagen kann, es ist diese Disciplin der Ingenieurbaukunst zugleich eine reine naturwissenschaftliche Disciplin. Noch möchte hieher gehörig zu bemerken sein, dass diese Disciplin in neuester Zeit zu einer scharfen, früher nicht gekannten Definition zwischen „Härte“ und „Festigkeit“ der Gesteine (Molekularwiderstand gegen Abschleif und gegen Zerschlagen) geführt hat, und dass sich lediglich auf diese naturwissenschaftliche Erkenntniss hin ein neues Bohrsystem, das des Ingenieurs Brandt, ausgebildet hat. Dieses System ist ein Drehbohrsystem und unterscheidet sich von dem Diamantbohren, welches rasche Rotation des Werkzeuges erheischt und das Gestein abschleift, dadurch,

dass es das Gestein langsam und unter grossem Drucke cylinderförmig durchsägt.

III. Die Mechanik.

Leonardo da Vinci — der Meister — hat schon gesagt: „Die Mechanik ist das Paradies der mathematischen Wissenschaft, weil man mit ihr zur Frucht des mathematischen Wissens gelangt“. Die Einwirkungen aber, welche die Mechanik, als Naturwissenschaft betrachtet, auf die Ingenieurbaukunst ausübt, sind nur wieder eine Folge dieser Frucht, und auch hier wieder ist die Zahl dieser Einwirkungen ganz bedeutend und es kann nur wieder, im Allgemeinen daran erinnert, beziehentlich hervorgehoben werden, dass der Wissenschaft der Mechanik ganze, das Wesen der gegenwärtigen Ingenieurbaukunst ebenfalls geradezu bedingende, neue Disciplinen entstammen und zwar vornehmlich die folgenden:

1. Die Lehre von den Bauconstructionen (die Baumechanik). Dieselbe lehrt uns a) die Theorie der Gewölbe, b) die Theorie der hölzernen und vornehmlich die der eisernen Brücken (Kettenbrücken, Bogenbrücken, Trägerbrücken), c) die Theorie der Pfeiler (steinerne, hölzerne, eiserne), d) die Theorie der Stützmauern, e) die Theorie der Dachconstructionen, f) die Theorie der gewöhnlichen Träger, der Eisenbahnschienen etc.

2. Die Hydraulik und Hydrostatik, oder die Theorie der Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen, und die Theorie des Gleichgewichtes des

Wassers. Aus den Lehren dieser Wissenschaften entspringen aber ganz ungemein wichtige Ingenieuranlagen; hier sei nur an unsere Donauregulirung, an die Wiener Herbeileitung des Hochquellwassers und an das Wiener Sperrschiff, ferner an die grossen, dem Wasserdruck ausgesetzten Dock- und Hafenanlagen im Allgemeinen, und noch an die riesigen holländischen Wasserbauten (Kanäle, Eindeichungen, Coupirungen, Entwässerungen etc.) erinnert.

3. Die Baumaschinen. Einer der wesentlichsten Unterschiede in der Behandlung unserer gegenwärtigen Ingenieurbauten gegen die früheren besteht in dem Gebrauche der Baumaschinen. Wir meinen hier nicht die Eingangs erwähnten, sogenannten einfachen Maschinen, welche zweifellos schon die Alten gekannt und benützt haben und welche auf die Ausnützung menschlicher und thierischer Muskelkraft, allenfalls auch auf die Kraft des fliessenden Wassers und des Windes basirt waren, sondern jene Baumaschinen, die auf den Motoren Dampf-Wasserdruck, Druck des entzündeten Pulvers etc.: kurz auf jenen Motoren beruhen, welche erst die neueren Naturwissenschaften entdeckt haben. Und dieser Einfluss der Naturwissenschaften auf die Ingenieurbaukunst ist in merito der grösste: denn er bietet überhaupt das Mittel der Existenz unserer gegenwärtigen Ingenieurbauten. Dieselben sind nämlich heute reine Wirthschaftsobjecte (und zwar solche, deren Ausdehnung mit der Cultur rascher wächst, als die Zahl der Menschen), und wiederum solche Wirthschaftsobjecte, die unter

gänzlich veränderten socialen Verhältnissen gegen die früheren entstehen müssen — die entstehen müssen a) in weit kürzerer Zeit, b) ohne Sklaven- und ohne Frohnarbeit und c) billiger, als frühere Werke, am billigsten aber an und für sich, weil sie der Concurrenz, diesem Salze unserer Zeit, unterliegen. Diese grosse culturelle Aufgabe, dieses Fundament unserer heutigen socialen, lehensfreien Zeit konnte einzig und allein nur gelöst, beziehentlich geschaffen werden durch die gegenwärtigen Baumaschinen, jener Maschinen, welche im Allgemeinen dermalen Dampf als primären Motor benützen. Wir unterscheiden als wichtigste insbesondere folgende Baumaschinen: a) die Dampftramme, b) den Dampfbagger, c) die Dampfhebemaschinen, d) die Dampfpumpen, und e) die Arbeitsmaschinen für Erd- und Tunnelbauten. Wie wichtig beispielsweise allein die Dampfbagger und die hiehergehörigen Excavateurs sind, haben wir direct in Wien bei dem Riesenbaue der Donau-Regulirung, vornehmlich aber bei der internationalen Schöpfung des Suez-Kanales erkannt und die wirthschaftliche Bedeutung dieser Apparate schon früher an hervorragenden, die materielle Existenz grosser Städte rettenden Arbeit erkennen können, so beispielsweise an der Regulirung des Clydeflusses. Im Jahre 1770 hatte das Clydefahrwasser nur drei Fuss Tiefgang bei Fluth; der 1798 eingeführte Watt'sche Dampfbagger brachte diese Tiefe schon auf sechs Fuss; heute gehen Schiffe von zweiundzwanzig Fuss Tiefgang im Fahrwasser ab und zu. Wie wichtig, um ein anderes Beispiel von Baumaschinen

noch kurz zu beleuchten, ist andererseits die Gesteins-„Bohrmaschine“ unter den Arbeitsmaschinen, jene Maschine, welche es uns allein ermöglicht hat, die Frage der Durchstechung der Alpen — diese culturell immens wichtige Frage — thatsächlich zu lösen. Die immer anwachsende Vervollkommnung der Arbeitsmaschinen im Erd- und Tunnelbaue, die nicht nur zum Bohren, sondern auch zum Teufen und Schrämen verwendet werden, hat bis jetzt vornehmlich aber nur zwei Zwecke erfüllt, nämlich die der Ersparung an Zeit und des Ersatzes der Muskelkraft. Die Fortschritte in den Naturwissenschaften, Fortschritte, welche auch direct von Ingenieuren herbeigeführt werden, bringen es aber mit sich, dass auch der dritte Zweck solcher Arbeitsmaschinen: die Verbilligerung der Arbeit allgemein erzielt werde, ein Zweck, der im Rahmen der Bohrmaschinen von Brandt wesentlich durch den Ersatz der comprimirtten Luft durch gepresstes Wasser, und durch Ergreifen des Drehbohrprincipes, statt des Percussionsprincipes befördert worden ist.

IV. Die Chemie.

Diese alte Naturwissenschaft wirkt direct und indirect als chemische Technologie und als Metallurgie ebenfalls ganz wesentlich auf die Ingenieurbaukunst ein.

1. Die reine Chemie liefert uns gegenwärtig die Untersuchungen a) über die Brauchbarkeit der Baumaterialien, wesentlich des Kalkes, Cementes, des Eisens, der Wetterbeständigkeit der Steine, Ziegel etc.; b) ferner

die Untersuchungen des Wassers, sei es als Trinkwasser, sei es als Rieselwasser, welche Untersuchungen die Conception in ganzen Bauprogrammen beeinflussen. Wie wichtig derlei Untersuchungen sind, mag nur das eine Beispiel zeigen, dass man sich je nach der Beschaffenheit des Wassers, beispielsweise zur Anlage einer Hochquellenleitung, eines Brunnensystems oder eines Flusswassersystemes bei der Versorgung einer Stadt mit Trinkwasser zu bedienen habe.

2. Chemische Technologie. In dieser Beziehung will ich nur der Sprengmittel Pulver und Dynamit und der fabrikmässigen Herstellung von Mörtel, Cementen und künstlichen Bausteinen (Ziegeleien etc.) für Ingenieurbauzwecke gedenken.

3. Metallurgie. Auch hier sei nur in Kürze der Einwirkungen gedacht, welche beispielsweise der Coakseisenprocess und der Bessemerprocess auf den Bau eiserner Brücken und auf die Herstellung der Oberbauschienen genommen haben, um darzuthun, wie die praktische Verfolgung der Ergebnisse der Naturwissenschaften geradezu die materielle Unterlage für gänzlich neue Richtungen im Ingenieurbauwesen gegeben haben, respective durch immerwährenden wissenschaftlichen Weiterbau (z. B. Bessemern) noch geben.

V. Die Geologie.

Gross ist der Einfluss auch dieser jungen Naturwissenschaft auf die Ingenieurbaukunst und zwar vornehmlich in den folgenden Richtungen:

1. Die Auffindung von Baumaterialien.

Die Wissenschaft der Geologie lehrt uns ungesäumt die für uns Ingenieure so ungemein wichtige Auffindung der geeigneten Bausteine, Kalke, Cemente, Thone (zu Ziegeln), Bausand etc. und sofort die generelle Beurtheilung dieser Materialien.

2. Die Kenntniss des Bauterrains. Der durch die Naturwissenschaft der Geologie gelehrte geistige Blick in das Innere der Berge und der Tiefen und auf das Aeussere der Gehänge ist uns bei unseren Bau-projecten und Bauausführungen deshalb unentbehrlich geworden, weil sich der ganze finanzielle Calcul unserer Wirthschaftsobjecte und die constructive Durchführung derselben in unterster Reihe auf seine Terrainverhältnisse stützt. Durch deren Kenntniss wissen wir beispielsweise ein rutschbares Gelände von festem Gehänge, einen schwierigen, kostspieligen Baugrund von einem günstigen, ein kostspieliges Tunnelbauterrain von einem billigeren zu unterscheiden, also einerseits die Existenzfrage des Ingenieurwerkes im Voraus zu beleuchten und andererseits die dem Baue zu ertheilenden Constructionen ebenso im Voraus zu disponiren. Beides aber sind absolut nothwendige Voraussichten für die Herstellung eines rationellen Concurränzwerkes. Die vorgeschrittene Wissenschaft der Geologie setzt uns sogar vermöge ihres wichtigen Arbeitsmittels der geologischen Karten in die Lage, jene Verhältnisse schon vom Bureau aus, noch ehe man die betreffende Gegend betreten hat, mit einer gewissen Sicherheit zu beurtheilen, unter allen

Umständen aber sind uns die unentbehrlichen geologischen Karten ein Führer der Gegend im Allgemeinen, also im Besonderen bei der Wahl eines speciellen Terrains.

3. Unterirdische Wasserzuflüsse. Unterirdische Wasserläufe haben nicht nur auf die Kosten eines Bauwerkes, so z. B. bei den Fundirungen, im Tunnelbaue, im Erdbaue etc., sondern auch auf die Disposition ganzer technischer Anlagen, so z. B. auf Projectirung von Wasserleitungen, Brunnen etc. einen so ungemein grossen, des Oefteren alleinigen Ausschlag, so dass die wissenschaftliche Abschätzung von derlei Wasserläufen häufig zu einem Ausgangspunkte unserer fachlichen Handlungen wird.

VI. Die Meteorologie.

Diese jüngste der Naturwissenschaften übt ebenfalls einen ganz ausserordentlich bedeutenden Einfluss auf die Ingenieurbaukunst aus, und seien hier ebenfalls nur die Hauptrichtungen derselben skizzirt.

1. Die Temperaturbeobachtungen. Dieselben äussern sich in den Fragen über die Ausdehnung der Constructionen und Constructionstheile durch die Wärme etc.; in den Fragen der Ventilation unterirdischer Bauwerke, als Tunnelbauten, Wasserbehälter, Wasserzuleitungskanäle etc.; in den Fragen des Wasserbaues oder der Ueberschreitung hoher Alpenpässe etc.; in den Fragen der Erwartung von Eisgängen, also der Beurtheilung von Bauzeit, von Gerüsten im Wasser etc.,

in den Fragen der Verdunstung von Wassermengen (Kanäle, Teiche etc.), und in den Fragen der Rectification unserer instrumentalen Beobachtungen.

2. Die Eisbildung. Als physikalische Erscheinung allein betrachtet, äussert die Eisbildung mannigfache Einflüsse direct auf die Construction unserer Werke, so z. B. auf die Formung und Zahl der Brückenpfeiler, auf die Construction von Baugerüsten und von Eiswehren, auf die constructiven Vorkehrungen gegen Frostwirkung im Erdbaue, auf die Entwässerung (beispielsweise der Brücken, der eisernen Röhren in Brückenpfeilern), auf die Verbindung zweierlei Baumaterialien u. s. w.

3. Der Schneefall. Die Schwierigkeiten der Unterhaltung des Verkehres auf Strassen und Eisenbahnen während des Schneefalles und die Beurtheilung des durch Schneefall auf unsere Constructionen (z. B. Dächer) ausgeübten Druckes, endlich die Beurtheilung der Mächtigkeit der Schneefälle im Hinblick auf plötzliche Schmelzung der Massen, also der rapiden Erzeugung von Wasser, veranlassen ebenso wichtige Erörterungen im Rahmen der Ingenieurbaukunst, wie beispielsweise die vom Schneefalle abhängige Wahl von Alpenübergängen im Allgemeinen, von unterirdischen oder offenen Uebergängen im Besonderen, von der Anbringung der Schneedämme, Schneewehren, von der Baudisposition gegen Lawinen, von der Construction der Zahnradbahnen, der Geleise etc. etc.: so dass die meteorologischen Daten über Schneefälle von uns Ingenieuren ganz ungemein geschätzt werden müssen.

4. Der Regen. Noch wichtiger ist für uns die Beobachtung der Regenmengen, weil deren Einfluss uns directer und öfter trifft. Der Factor der Regenmenge in Verbindung mit dem der Kenntniss des Niederschlagsgebietes sind thatsächlich von ganz eminentem Einflusse auf unsere Bauprojecte und Bauausführungen. Auch hier können wiederum nur diesfällige Andeutungen in Folgendem gegeben werden:

a) Die Durchflussweiten. Dieselben bestimmen sich nach den Durchflussquanten und deren Geschwindigkeiten, erstere aber aus der durch Beachtung der Verdunstung und Eindringung in den Boden rectificirten Niederschlagsmenge und aus der Grösse des Niederschlagsgebietes. Hienach werden die Durchflussweiten grosser und kleiner Brücken, Kanäle, Bachtunnels etc., vornehmlich aber auch die zu erwartenden Quantitäten von Speisewasser bei künstlicher Schiffahrt etc. bestimmt, und es mag hieraus die Wichtigkeit der Meteorologie für die Ingenieurbaukunst ganz besonders entnommen werden.

b) Die Quantitäten unterirdischer Zuflüsse. Die Geologie lehrt uns die technischen Bedingungen unterirdischer Zuflüsse, die Meteorologie aber in Verbindung mit der leicht erringbaren Kenntniss der Grösse des Niederschlagsgebietes die voraussichtlichen Quantitäten auch dieser Zuflüsse kennen; und wie wichtig hier die Meteorologie als Naturwissenschaft für unsere Entschliessungen und Vorkehrungen sich gestaltet, mag beispielsweise schon daraus hervorgehen,

dass wir zu einer Vorausbeurtheilung der Kosten und der maschinellen Vorkehrungen für die Bewältigung der unterirdischen Wässer in grossen Tunnelbauten, oder dass wir im Voraus zur Erkenntniss der Wasserquantitäten bei vorzunehmenden Brunnenanlagen (Bahnhöfen) und Beschaffungen von Speisewässern (Spülkanäle, Trinkwasserfrage für grosse Städte, Locomotiv-Wasserstationen, Fabrikanlagen etc.) genöthigt sind; dass also grosse Irrungen in dieser Hinsicht ganze Anlagen verloren machen, ganze Wirthschaftsobjecte concurrenzunfähig machen können.

c) Specielle Beobachtung von Hochwässern. Diese meteorologischen Beobachtungen sind für uns Ingenieure ebenfalls von der allergrössten Wichtigkeit, denn sie geben uns nicht nur Beispiele von der Grösse einer Wassermenge, sondern die Hochwassermarken speciell dienen auch zur Lösung der Frage, in welcher Höhe Strassen, Eisenbahnen, Gebäude etc. anzulegen sind.

5. Der Wind. Auch die meteorologischen Beobachtungen über die Richtung und die Stärke des Windes, respective der Stürme sind auf die Ingenieurbaukunst von ungemein wichtigem Einflusse; ich erinnere hier nur an die Construction der Leuchthürme, der Dächer, der grossen Thore (Locomotivschoppen, Schleussen etc.), der eisernen Brücken, besonders auch der eisernen Brückenpfeiler und der Hängebrücken; ferner an die Construction der von der Richtung des Windes und

seiner Stärke abhängigen Schneewehren (Schneedämme, Schneezäune, Schneewände, Schneemauern etc.) u. s. w.

VII. Die Botanik.

Unter den Naturwissenschaften hat auch die Botanik einen nennenswerthen Einfluss auf die Ingenieurbaukunst, hier allerdings als Theil der Landwirthschaft betrachtet. Die Botanik lehrt uns nämlich unsere Bauanlagen, namentlich unsere Erdböschungen richtig zu bepflanzen und dadurch haltbar zu machen; sie lehrt uns den Boden zu drainiren und die Erfahrungen dieser Drainage auf die Entwässerung namentlich unserer Erdwerke rationell anwenden; sie lehrt uns die Bedingungen der Ingenieuranlagen zur Berieselung grösserer Ländereien (Po-Ebene, Wiener Marchfeld etc.); sie lehrt uns aus dem Erscheinen bestimmter Pflanzen auf unterirdische Wasserläufe, auf nasses Terrain, auf gewisse Bodenarten schliessen, und sie lehrt uns endlich wieder aus dem Pflanzenwuchse auf klimatische Verhältnisse dort schätzungsweise vorzugehen, wo meteorologische Beobachtungen fehlen; ich erinnere hier nur an die Alpenbahnen, an die ausgeführte Pacific-Linie, an die Bahnprojecte im Kaukasus und im Hindukusch.

VIII. Die Medicin.

Auch endlich die Naturwissenschaft der modernen, vergleichenden Medicin äussert ganz gewaltigen Einfluss auf die Ingenieurbaukunst, insbesondere auf

den Städtebau, auf die Projectirung und Durchführung der sogenannten sanitären Anlagen.

Aber nicht nur auf die Fragen der Projectirung und Anordnung von städtischen Kanälen, der Beschaffung des Trinkwassers und auf die Fragen nach den Verkehrsanstalten zur Verbesserung der Wohnungen (Tramway's, Stadtbahnen etc.) hat die medicinische Wissenschaft wesentlichen directiven Einfluss, sondern sie äussert auch einen unmittelbaren Einfluss auf die Bauausführungen, wie dies unter Anderem die Arbeiten in comprimierter Luft, in unterirdischen Baulocalen und in ungesunden Baugegenden (Flussregulirungen etc.) beweisen.

VI. Schlussbemerkungen.

Uebersehen wir den ungemein reichen Stoff, welcher diesem vorliegenden Thema zur Verfügung stand, so lässt sich nunmehr an dieser Stelle die Wahrheit klar erkennen, dass dieser Stoff im Rahmen eines Vortrages, oder eines Aufsatzes, ganz unmöglich eingehend erschöpft, auch nicht einmal überall berührt zu werden vermochte. Eines aber erkennen wir gerade aus der Fülle dieses Stoffes, nämlich Das: dass die Naturwissenschaften einen ganz hervorragenden Einfluss auf die Ingenieurbaukunst genommen haben, einen Einfluss, der in gleicher Grösse kaum auf einem anderen Gebiete culturellen Wirkens wieder vorkommen dürfte. Insbesondere haben wir aber auch erkannt, wie die

Ingenieurbaukunst sich immer in demselben Maasse entfaltet, als es die Naturwissenschaften im Allgemeinen thaten; wie unser Bauwesen zur Zeit der Sklavenarbeit reine Empirie war, wie das Licht der Aufklärung zur Zeit der Zünfte einwirkte, wie aber einzig und allein die Naturwissenschaften mathematisch erstanden seit Galilei, auch unsere heutige Ingenieurbauwissenschaft ermöglicht haben, und wie erst durch diese Ermöglichung diejenige wesentliche Unterscheidung unserer Ingenieurbaukunst von der der alten Völker geschaffen werden konnte, welch' erstere das Werk im Voraus zur Gänze nach den heutigen socialen Bedingungen der Concurrenz, der Freiheit der Arbeit, erkennen lässt.

Der immer vorschreitende Ausbau der Naturwissenschaften ist daher ebenfalls in allen Dingen unserer Ingenieurwissenschaft aufklärend und vorwärtsdrängend.

Aber ein Anderes ist uns durch die Skizzirung der Stofffülle ebenfalls noch klar geworden, nämlich Das, dass unser Forschen im Fache, unsere Ingenieurbauwissenschaft, nicht nur von den Naturwissenschaften empfängt, sondern dass sie auch reichlich wiedergibt. Die Rückwirkungen unserer Erfahrungen haben ganz neue Gesichtspunkte in den Naturwissenschaften hervorgerufen, die Einwirkung unserer Bedürfnisse war des Oefteren eine geradezu schöpferische im Rahmen der Naturwissenschaften, und in einzelnen Disciplinen sind wir bis zu selbstständigen Gestaltungen der Naturwissenschaft aufgetreten. Ich erinnere in dieser dreifachen Beziehung, theils in Wiederholung des früher Gesagten,

hier nur an drei charakteristische Beweise für dieselben, erstens an die Rückwirkung der Erfahrungen beim Eisenbahnbaue auf die Geologie, zweitens an die Schaffung einzelner Zweige der Meteorologie durch den Wasserbau, wie der Physik (die Reibung, durch den Verkehrsbau), und drittens an die ganz selbstständigen Ingenieurforschungen über die Festigkeit der Baumaterialien.

Das Grösste aber, was die Ingenieurbaukunst der Naturwissenschaft zurückgegeben hat, ist das Moment des erleichterten Verkehrs, insbesondere das der Eisenbahnen. Mit diesem culturellen Untergrunde des Eisenbahnbaues haben wir die physikalische Möglichkeit geschaffen, den Menschen leichter zu dem Menschen zu bringen, und so das vergleichende Studium dadurch in einer früher niemals ermöglichten Weise gehoben.

So haben also wir Ingenieure thatsächlich am meisten die Natur-Wissenschaften gefördert unter allen Trägern der Wissenschaft überhaupt!

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1878

Band/Volume: [18](#)

Autor(en)/Author(s): Rziha Franz Ritter von

Artikel/Article: [Der Einfluss der Naturwissenschaften auf die Ingenieur-Baukunst. 477-546](#)