

Auch bei Disposition eines stetigen Gefälles bei Durchstechung einer flachen Wasserscheide werden vor Feststellung des Specialplanes die Vorfluthverhältnisse der auf beiden Seiten des Höhenzuges liegenden Niederungen einer sorgfältigen Prüfung unterworfen werden müssen, um die Ueberzeugung der Unschädlichkeit zu erlangen, namentlich um vorhandenen gewerblichen Anlagen nicht das benöthigte Sammelwasser zu entziehen.

In Betreff der sonstigen, bei Feststellung des Specialplanes noch zu berücksichtigenden Nebenanlagen, in Betreff der öffentlichen Kommunikation, bestehender Etablissements, Be- und Entwässerungsanlagen u. s. w., so bestimmen sich dieselben lediglich aus den örtlichen Verhältnissen und werden hier nur erwähnt, um darauf hinzuweisen, daß sie wegen der Massendisposition nicht außer Acht gelassen werden dürfen, woraus bei der Ausführung leicht Verlegenheiten entstehen können.

Die Entwässerung des Planums selbst und der Böschungen wird je nach dem speciell angestrebten Zweck erreicht durch Steinrigolen, Sickerdolen, Faschienaden namentlich aber durch Drainagen, und diese Entwässerungsmethoden und ihre Anwendungsweise sollen seiner Zeit bei dem Kapitel über die Ausführungsarbeiten erörtert werden.

## Drittes Kapitel.

### Massen-Ermittelungen.

#### 12. Erdberechnungsmethoden.

Wenn schon bei vereinzelt kleineren Arbeiten es keinen Schwierigkeiten unterliegt, den körperlichen Inhalt der zu bewegenden Erdmassen auf stereometrischem Wege in aller Schärfe zu ermitteln, und es dazu hier keiner weiteren Anweisung bedarf, so würde für große Anlagen von umfassender Ausdehnung dieser Weg einen größeren Zeit- und Arbeitsaufwand erfordern, als dafür gewöhnlich zur Verfügung steht; und es muß deshalb daran gedacht werden, den Gang der Ermittlungen zu vereinfachen und durch Anwendung geeigneter Hilfsmittel die Arbeit zu erleichtern und zu beschleunigen.

Die Aufgabe ist nicht schwierig, weil gerade bei größeren Arbeiten dieser Art gewisse Formen und Maße durchgreifen, aus welchen für die Berechnung konstante Faktoren abgeleitet werden können. Mit Hilfe derselben wird das Geschäft der Raumermittlung schon sehr erleichtert, dasselbe kann aber noch erheblich vereinfacht werden, wenn diese Faktoren so konstruirt und in Tafeln zusammengestellt sind, daß durch bloßes Ablesen oder einfache Multiplikation mit den veränderlichen Größen der körperliche Inhalt in den üblichen Einheitsmaßen ausgedrückt gefunden wird.

Solche Hülftafeln sind in mannigfacher Art und Form bearbeitet worden; die meisten derselben beschränken sich mit Recht auf bestimmte Anlagen mit feststehenden Abmessungen und Böschungsanlagen und sind daher nicht allgemein anwendbar, wenn dabei auch die am häufigsten vorkommenden Formen berücksichtigt sind. Es ist die Bestimmung der Kronenbreite und des Profiles jedoch eine



bei jeder neuen Anlage so spezifische Sache, daß sich die Rechnung einer neuen Tabelle, welche höchstens 10—14 Tage Arbeit eines gewandten Calculators erfordert, stets empfiehlt und die unten gegebene derartige Zusammenstellung nur als Muster dienen soll und zum Gebrauch bei generellen Arbeiten, oder Arbeiten in ganz ähnlichem Terrain.

Unter der Voraussetzung bestimmter Sohlenbreiten der Einschnitte oder Kronenbreiten der Aufträge sowie der Böschungsverhältnisse, sind die Tiefen der ersteren oder die Höhen der letzteren die einzigen veränderlichen Größen, welche bei der Raumberechnung in Betracht kommen; und werden daher für die verschiedenen Kombinationen der wechselnden Höhen oder Tiefen die körperlichen Inhalte, den Normalprofilen entsprechend, berechnet, so bedarf es allerdings nur eines Aufsuchens der begrenzenden Höhen oder Tiefen des Körpers, um dessen Inhalt aus der betreffenden Tabelle finden zu können.

In Betreff der Richtigkeit solcher, nur aus den Höhen- (oder Tiefen-) Breiten und Böschungsneigungen ermittelten Körperinhalte, so ist dieselbe allerdings nur unter der Voraussetzung anzunehmen, daß die Oberfläche des natürlichen Bodens, welcher abgestochen oder beschüttet werden soll, der Länge nach zwischen zwei Ordinaten regelmässig ansteigt oder fällt, und in der Quere, rechtwinkelig auf der Längsachse kein Seitenabhang stattfindet. Beiden Bedingungen wird aber nur in sehr ebenen Gegenden entsprochen, und je größer die Abweichung von denselben sich darstellt, desto unrichtiger werden die unter ihrer Voraussetzung ermittelten Werthe. Um daher den Unebenheiten des Bodens auch hinsichtlich des Seitenabhanges gehörig Rechnung zu tragen, ist es nöthig, ausser den veränderlichen Höhen in der Achslinie auch noch die veränderlichen Seitenabhänge bei der Raumermittlung zu berücksichtigen.

Es ist daher üblich, bei den Körperberechnungen der Auf- und Abträge die Querprofile für jede Ordinate aufzutragen, den Flächeninhalt derselben zu berechnen und aus der Verbindung des letzteren mit der Entfernung der Querprofile von einander den körperlichen Inhalt zu ermitteln. Abgesehen aber davon, daß die Flächenberechnung vieler Hunderte ja Tausende von Querprofilen auf geneigten Grundlinien eine sehr mühsame und zeitraubende Arbeit ist, so wird die eigentliche Körperberechnung noch dadurch erschwert, daß, ohne die Richtigkeit derselben zu gefährden, der Inhalt dieser Querprofile nicht unmittelbar in Rechnung gestellt werden darf. Wenngleich es ziemlich allgemeiner Gebrauch ist, das arithmetische Mittel des Inhalts zweier auf einander folgenden Querschnitte als den eines mittleren, durch den Schwerpunkt des zwischenliegenden Körpers gelegten Querprofiles zu behandeln, so ergibt sich doch aus einfacher Prüfung und Vergleichung, daß das Verfahren kein richtiges ist und falsche Resultate geben muß.

Es giebt zwar einen Weg aus dem Flächeninhalte der Querprofile den Körperinhalt richtig zu berechnen, durch denselben wird aber der Inhalt desjenigen Querschnitts gefunden, in welchem der Schwerpunkt des Körpers liegt, und welcher mit der Länge desselben multiplicirt seinen kubischen Inhalt giebt.

Sind die Flächeninhalte dreier,  $l'$  und  $l''$  von einander entfernt liegenden Querschnitte eines Körpers  $q$   $q'$  und  $q''$  bekannt, so ist der zwischen  $q$  und  $q''$  liegende Inhalt desselben

$$k = \frac{1}{6} (l' + l'') \cdot [2(q + q' + q'') + \frac{l'}{l''} (q' - q) + \frac{l''}{l'} (q' - q'')].$$

Dieser Ausdruck ist allgemein und auch für Körper mit gebogenen Oberflächen zu benützen, wenn die Querprofile nicht allzusehr in der Form von einander abweichen. Für den Gebrauch bei umfassenden Arbeiten ist derselbe aber wenig



geeignet und wird daher nur angewendet, wenn einzelne Körper berechnet werden müssen, deren Form aus keinem bestimmten Gesetze folgt.

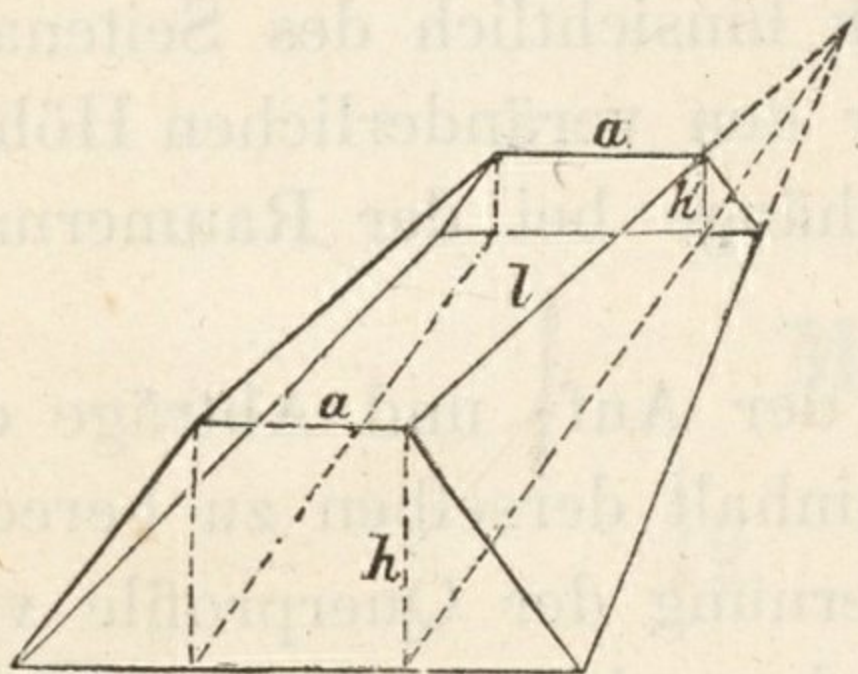
Vereinfacht wird der Ausdruck, wenn die Entfernungen der Querschnitte also  $l' = l''$  genommen werden und die Summe mit  $l$  bezeichnet wird. Es ist dann

$$k = \frac{1}{6} l (q + 4q' + q'').$$

Aber selbst in dieser Vereinfachung bleibt die Operation weitläufig und gestattet keine Anwendung von Hülftafeln, weshalb dieselbe bei umfangreichen Arbeiten nicht füglich zur Anwendung gebracht werden kann und sich nur bei Berechnungen für Körper in aufsergewöhnlichen Formen empfiehlt, und man möge sich ja hüten hierin zu minutiöse zu sein, da der gefundene Genauigkeitsgrad — ganz weitläufige Operationen ausgeschlossen — immer noch ein sehr geringer und in keinem Verhältnisse zur aufgewendeten Mühe stehender zu nennen ist. —

Wird auf Körper von aufsergewöhnlichen Formen nicht Rücksicht genommen und eine allgemein anwendbare Berechnungsart für diejenigen Formen gesucht, wie solche bei den Erdarbeiten fast durchgängig vorzukommen pflegen, so können in ziemlich einfacher Art noch ganz richtige Resultate erlangt werden.

Die am gewöhnlichsten vorkommende Form der Erdarbeiten ist diejenige, bei welcher der Querschnitt sowohl für die Einschnitte als für die Aufträge ein Trapez darstellt, welches nach gewissen Gesetzen gebildet wird und daher eine gleichartige Berechnungsweise des zugehörigen Körpers gestattet.



Bei Voraussetzung einer gleichbleibenden Kronen- oder Sohlenbreite  $a$  und Böschungsneigung  $\frac{1}{n}$  eines Körpers von der Länge  $l$ , erscheint der kubische Inhalt desselben auf der Quere nach ebenem Terrain von den Höhen  $h$  und  $h'$  der begrenzten Querschnitte abhängig.

Jeder so gestaltete Körper läßt sich nach der nebenstehenden Figur in drei Theile zerlegen, den mittleren, welcher einen abgekürzten Keil, und zwei gleiche Seitenkörper, von welchen jeder eine abgekürzte dreiseitige Pyramide bildet.

Der Inhalt des Mittelkörpers ist danach

$$a l \left[ \frac{h + h'}{2} \right]$$

der der beiden Seitenkörper

$$\frac{n \cdot l}{3 (h - h')} \cdot [h^3 - h'^3]$$

Da es sich, um die Ausdrücke allgemein für jede beliebige Länge, Breite und Böschungsneigung anwenden zu können, zunächst nur um die Erlangung von Verhältniszahlen handelt, so kann die Breite = 1 Fufs, die Böschung 1 füßig, also  $\frac{1}{n} = 1$ , und die Länge  $l = 1$  Ruthe = 12 Fufs angenommen werden. Die Verhältniszahlen des Inhalts des Körpers sind dann, in Schachtruthen zu 144 Kubikfuß ausgedrückt,

$$\text{für den Mittelkörper } a = \frac{h + h'}{24}$$

$$\text{für die beiden Seitenkörper } b = \frac{h^3 - h'^3}{36 (h - h')}$$

Werden nun diese Verhältniszahlen für alle Kombinationen zwischen  $h$  und  $h'$  bis



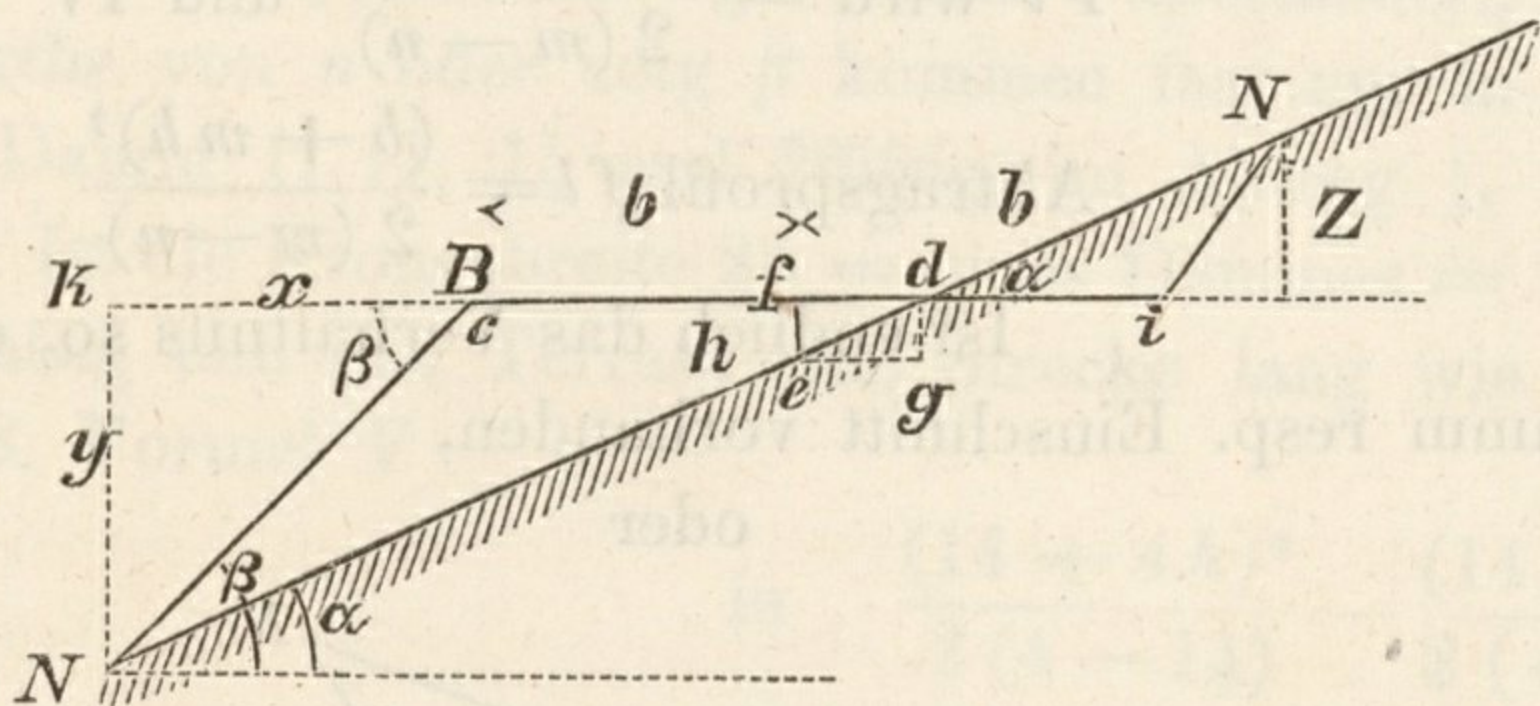
zu einer gewissen Grenze berechnet und in einer Tafel zusammengestellt, so kann mit Hülfe derselben der kubische Inhalt des Körpers leicht in Schachtruthen gefunden werden, wenn man die Verhältniszahl

für den Mittelkörper mit der Breite in Fulsen,

für die Seitenkörper mit dem Nenner  $n$  der Böschungsneigung  $\frac{1}{n}$

und die Summe beider in der Länge des Körpers  $l$  in Ruthen ausgedrückt, multiplicirt.

Die auf solchem Wege gefundenen Massen sind aber nur unter der vorerwähnten Voraussetzung richtig, daß die Oberfläche des betreffenden Terrains keinen bedeutenden Seitenabhang besitzt. Wenn dies der Fall ist, bedarf das Ergebnis einer Korrektur.



Ist  $NN$  die Neigungslinie eines Terrainabschnittes mit dem Neigungs-Winkel  $\alpha$  gegen die Horizontale;  $NB$  die Neigung der Bahnböschung mit dem Winkel  $\beta$  gegen die Horizontale  $b = b =$  der halben Kronenbreite (in Abträgen die Grabenbreite und Wasserbän-

kets mit gerechnet) und  $fe = \pm h$  die Auftrags- resp. die Abtragshöhe, so ist:

$$eg : dg = 1 : tg \alpha, \text{ und da } eg = fd \text{ und } dg = fe$$

$$fd : h = 1 : tg \alpha$$

$$\frac{h}{tg \alpha} = fd = h \cdot \cotg \alpha$$

demnach ist

$$cd = b + h \cotg \alpha$$

$$di = b - h \cotg \alpha$$

oder wenn der Ausdruck  $\cotg \alpha$ , welcher also eine Verhältniszahl bedeutet, mit  $m$  bezeichnet wird:

$$cd = b + hm; di = b - hm$$

Nun ist ferner

$$fd : fe = kd : kN$$

oder

$$h \cdot m : h = (b + hm + x) : y$$

und da

$$x : y = 1 : tg \beta, \text{ also } x = \frac{y}{tg \beta}$$

$$x = y \cotg \beta; \text{ nennt man nun wieder } \cotg \beta = n$$

so wird

$$hm : h = (b + hm + yn) : y$$

$$yhm = hb + h^2 m + hyn$$

$$y(hm - hn) = \frac{hb + h^2 m}{h(m - n)}$$

und

$$y = \frac{b + hm}{m - n}$$

Die Fläche  $cdN$  mit der Basis  $cd = b + hm$  und der Höhe  $y$  wird also

$$I \quad Fl = \frac{(b + hm)^2}{2 \cdot (m - n)}$$

Die Querschnittsfläche des Abtrages  $diN = fl$  findet sich dagegen durch Ermittlung der Höhe  $z$ .

Es ist nämlich

$$b + hm : y = a - hm : z$$

$$b + hm : \frac{b + hm}{m - n} = a - hm : z$$

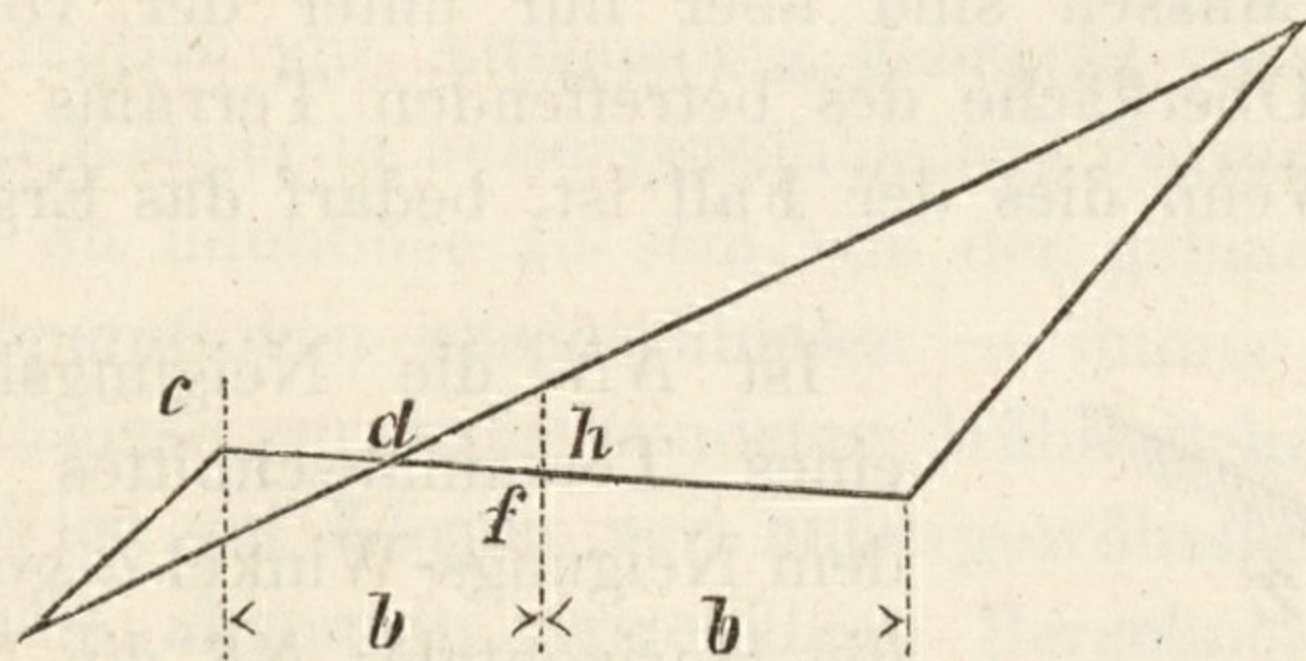


und hieraus schliesslich, da  $fl = \frac{b - hm}{2} \cdot z$

$$\text{II} \quad fl = \frac{(b + hm)^2}{2(m-n)}$$

Beide Gleichungen sind nur richtig so lange die halbe Bahnkronenbreite  $b > mh$ .

Liegt, wie folgende Figur zeigt, der grössere Theil des Profils im Abtragen, so ist  $cd$  nicht  $= b + hm$ , sondern  $= b - hm$

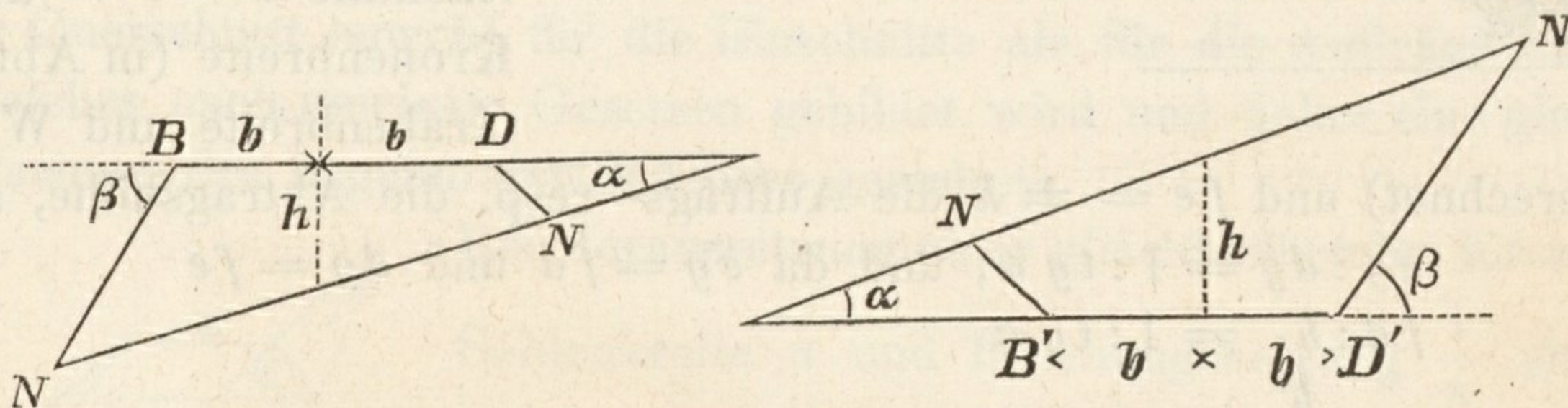


und die Gleichung wechselt eben das Vorzeichen, d. h. III das Dammprofil

$$Fl \text{ wird } = \frac{(b - mh)^2}{2(m-n)}$$

$$\text{Abtragsprofil } fl = \frac{(b + mh)^2}{2(m-n)}$$

Ist endlich das Verhältniss so, dass kein Anschnitt, sondern reiner Damm resp. Einschnitt vorhanden, also oder



also  $b < mh$

dann treten  $Fl$  und  $fl$  mit  $\pm$  zusammen, wenn das ganze Auftrags- resp. Abtragsprofil bezeichnet werden soll, mithin

$$\text{V der Damm } NNDB = \frac{(b + mh)^2}{2(m-n)} - \frac{(b - mh)^2}{2(m+n)}$$

$$\text{und VI der Abtrag } N'N'D'B' = \frac{(b + mh)^2}{2(m-n)} - \frac{(b - mh)^2}{2(m+n)}$$

Will man möglichst genau rechnen, so bestimmt man die Erdkörper aus 3 aufeinander folgenden Profilen  $F, F_1, F_2$ , welche in Entfernungen  $l_1, l_2$ , die zusammen  $= l$  sind, von einander abliegen, nach der bekannten Formel

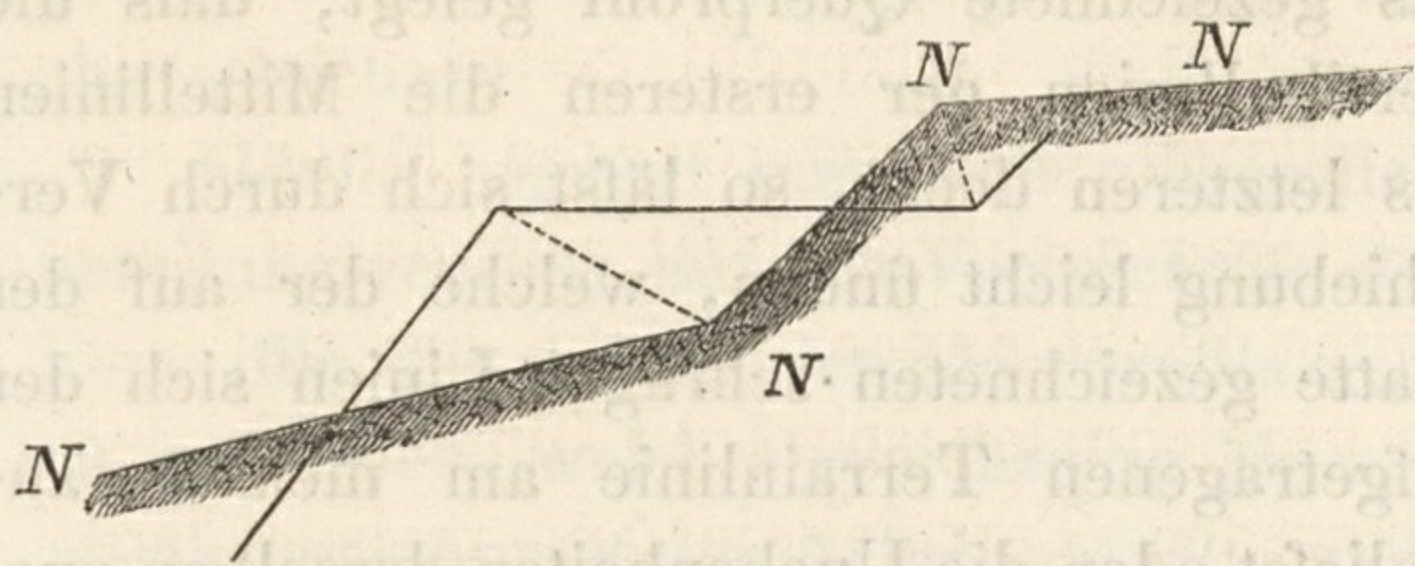
$$\begin{aligned} \text{der Inhalt } J &= \frac{l_1 + l_2}{2 \cdot 3} \left( 2(F + F_1 + F_2) + \frac{l_2}{l_1} (F_1 - F) + \frac{l_1}{l_2} (F_2 - F_1) \right) \\ &= \frac{l}{6} \left( F + 4F_1 + F_2 + \left[ \frac{F_1 + F}{l_1} + \frac{F_2 - F_1}{l_2} \right] (l_2 - l_1) \right) \end{aligned}$$

und wenn die Profilstände  $l_1$  und  $l_2$  gleich gross sind, also jeder  $= \frac{l}{2}$

$$J = \frac{l}{6} (F + 4F_1 + F_2)$$

In der gewöhnlichen Praxis dagegen mittelt man in der Regel nur die zwei nächsten an einander liegenden Profile  $\frac{F + F_1}{2} \cdot l = J$ , und es ist dies auch in Anbetracht der vielen Terrain-Unregelmässigkeiten und unberücksichtigten Zwischenprofile, welche die oben berechneten Körper alteriren, meistens genau genug für die Praxis der Verdingung und Bau-Ausführung. Ist das Querprofil ein gebrochenes, z. B.  $NNNN$  in der nebenstehenden Figur (S. 33.), so muss es aufgetragen und Auf- und Abtragskörper aus den betreffenden Dreiecken und zugehörigen Höhen berech-





net werden; liegt Damm oder Abtrag aber ganz auf oder unter dem gebrochenen Profil, so kann man auch den Winkel  $\alpha$  aus einer Verwandlung der Figuren finden.

Um die eben berechneten Formeln für den Gebrauch möglichst handlich zu machen, berechnet man sich eine Tabelle des Werthes  $m$  oder  $\cotg \alpha$  von Grad zu Grad, wobei man nicht weiter als von 4 bis zu 30 Grad zu gehen braucht, da Böschungen unter 4 Grad oder  $\frac{1}{20}$  fast gar keinen Einfluss auf das Resultat haben, solche von mehr als 30 Grad oder über  $1\frac{1}{2}$ fache Anlage schon Futtermauern und Stützmauern erfordern. Die Werthe von  $n$  oder  $\cotg \beta$  kommen fast nur in 5 bis 6 Abweichungen vor, d. i. im Damm 1,  $1\frac{1}{4}$ ,  $1\frac{1}{2}$  und 2füßsig, im Abtrag  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , 1,  $1\frac{1}{4}$  und  $1\frac{1}{2}$ füßsig.

Ist die Kronenbreite  $2b =$  eines Dammes  $= 28$  Fufs, die Böschungen desselben  $1\frac{1}{2}$ füßsig und das Terrain eine Strecke lang wie 1:4 geneigt, so verwandelt sich z. B. Formel V

$$\text{in } \frac{(14 + 4h)^2}{2(4 - 1\frac{1}{2})} - \frac{(14 - 4h)^2}{2(4 + 1\frac{1}{2})} \\ = \frac{(14 + 4h)^2}{5} - \frac{(14 - 4h)^2}{11}$$

wenn die Dammhöhe beispielsweise 6 Fufs, so ist das Profil

$$Fl = \frac{1444}{5} - \frac{100}{11} = \text{rund } 279,7 \text{ □Fufs.}$$

Wäre  $m = 20$ , so daß also das Terrain wie 1:20 fällt, so wird

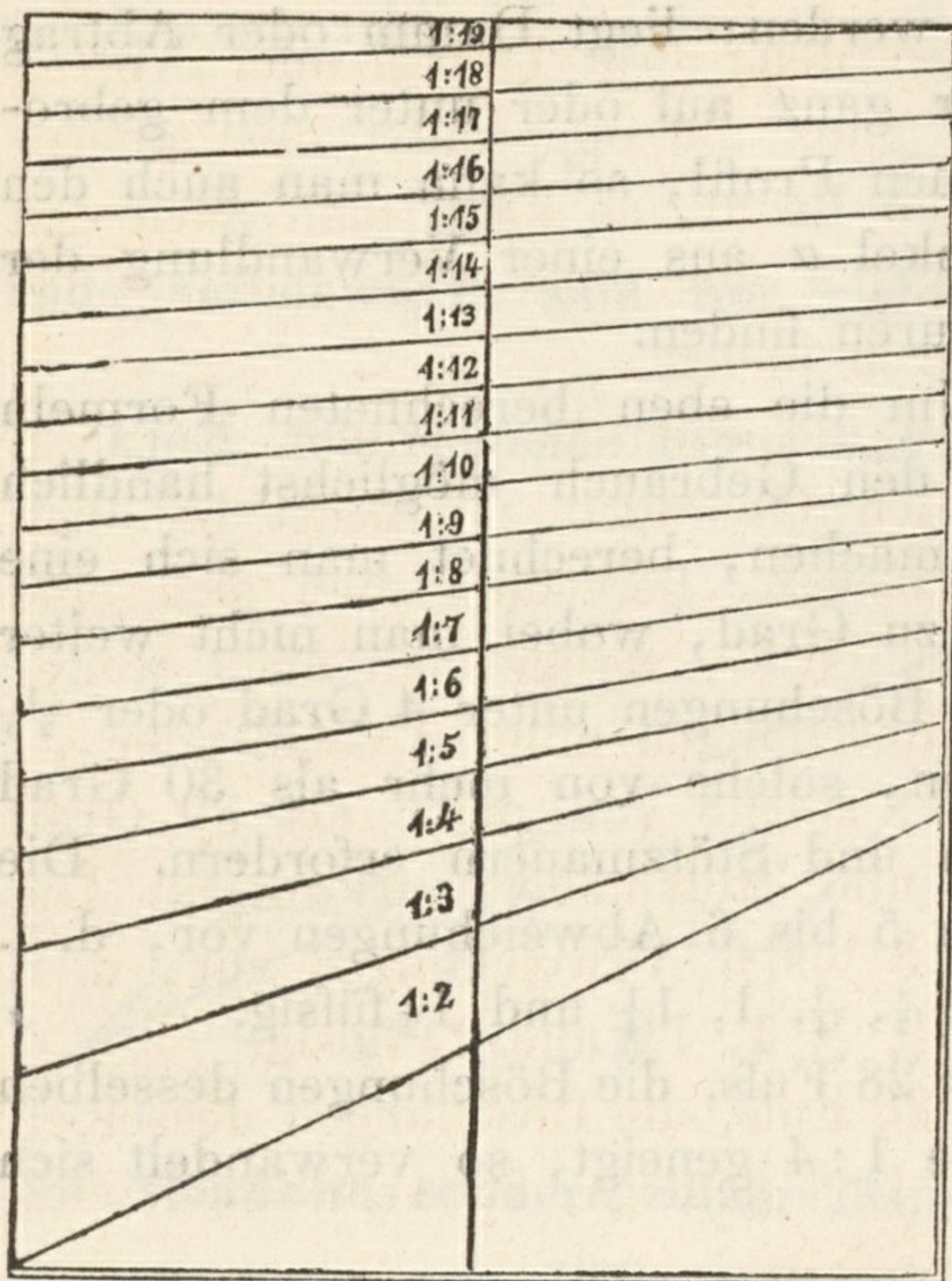
$$Fl = \frac{(14 + 20h)^2}{2(20 - 1\frac{1}{2})} - \frac{(14 - 20h)^2}{2(20 + 1\frac{1}{2})} = 224 \text{ □Fufs}$$

und da für  $m = \infty$  also die Horizontalebene und  $n = 1\frac{1}{2}$ ,  $fe = (28 + 1\frac{1}{2} \cdot 6) \cdot 6 = 222 \text{ □Fufs}$  ist, so beträgt die Differenz gegen die 20fache Terrainanlage nur 2 □Fufs oder noch nicht ganz 1 pCt. und wird daher in der Praxis außer Acht gelassen.

Der besprochene Seiten- und Querabhang des abzugrabenden oder zu beschützenden Terrains wird aus den aufgenommenen Querprofilen desselben bestimmt. Wenn auch diese Abhänge selten eine so vollkommen regelmäßige Form haben, um sie unmittelbar als gradlinig benutzen zu können, so läßt sich doch leicht daraus ein solches Profil konstruiren, durch welches die Unebenheiten des Terrains ausgeglichen werden und durch dessen Begrenzung der mittlere Abhang desselben repräsentirt wird. Am bequemsten für die Rechnung wird auch dieser Abhang durch das Verhältniß der Steigung zu einer horizontalen Basis ausgedrückt, wobei erstere als Einheit dient. Bei Entwicklung der Grundzüge für die Massenberechnung ist es schon als Erleichterungsmittel für den praktischen Gebrauch bezeichnet worden, diese Neigungen des Terrains in den Grenzen zwischen  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{1}{20}$  einzuschließen, so daß dieselben in 18 Verhältniszahlen sämmtlich gedacht werden können.

Ein in der Ausübung sehr bequemes und für den Zweck ausreichende Genauigkeit gewährendes Mittel, die profilmäßig aufgetragenen Terrainabhänge durch die sich denselben zunächst anschließenden Verhältniszahlen auszudrücken, besteht darin, diese 18 verschiedenen Neigungen auf eine durchsichtige Platte von Glas, Horn oder Pauspapier, in Bezug auf eine durchgehende Vertikallinie beizuschreiben, etwa nach umstehender Zeichnung.





Wird diese durchsichtige Platte so auf das gezeichnete Querprofil gelegt, daß die Vertikallinien der ersteren die Mittellinien des letzteren deckt, so läßt sich durch Verschiebung leicht finden, welche der auf der Platte gezeichneten schrägen Linien sich der aufgetragenen Terrainlinie am meisten anschließt oder die Unebenheiten derselben ausgleicht. Die einer solchen Linie entsprechende Verhältniszahl kann der des abfallenden Terrains gleichgesetzt und in Rechnung gestellt werden.

### 13. Ausführung der Erdberechnungen.

Um die Ordnung bei umfangreichen Arbeiten aufrecht zu erhalten, entwirft man sich zuerst ein Vorbereitungs-Register, in welchem man — nachdem vorher das Normalprofil entworfen, die Nummer der Baustation angibt, die Höhe des Terrains über dem Meeresspiegel resp. dem Normalhorizont, das Steigungsverhältniß der Bahnkrone, ausgedrückt in Zollen zur Längeneinheit von 10 R., die Höhendifferenz zwischen Planum und Bahnkrone, das Quergefälle. Einige Extrazeilen für abnormale Gräben, eine Kolonne zu Bemerkungen über ganz abnormale Querprofile, eine dergleichen zu Bemerkungen über Rampen und sonstige Seitenanlagen und eine über geognostische Unterscheidungen. Man kann demnach etwa folgende Form wählen.

#### Vorbereitungs-Register.

Stationsnummer	Terrainhöhe über dem Normalhorizont Fuß	Steigungsverhältniß		Höhen des		Quer- ge- fälle 1:	Es tritt hierzu ein Graben von		Aufsergewöhnliches Querprofil		Es sind noch zu berücksichtigen an Rampen etc.	Geognostische Bemerkungen	
		1:	pro 10 R. Fuße	Auf- tra- ges Fuß	Ab- tra- ges Fuß		Tiefe Fuß	Soh- len- breite Fuß	No- des Profil- heftes	Flä- chen- inhalt Q.-F.		Felsen steht an bei F. Tiefe	mit einem Strei- chen von
201	320,5	120	+1,0	16,2	—	0	—	—	—	—			
202	322,3	"	+1,0	15,4	—	0	—	—	—	—			
203	324,7	"	+1,0	15,0	—	0	—	—	36	425			
+5 203	323,1	"	+1,0	17,6	—	$\frac{1}{8}$	3	4	—	—			
204	329,0	$\infty$	—	11,7	—	$\frac{1}{8}$	3,2	4	—	—	12° lange Rampe mit 15' Kronen- breite jederseits		
205	330,6	"	—	13,3	—	$\frac{1}{10}$	3,4	4	—	—			