

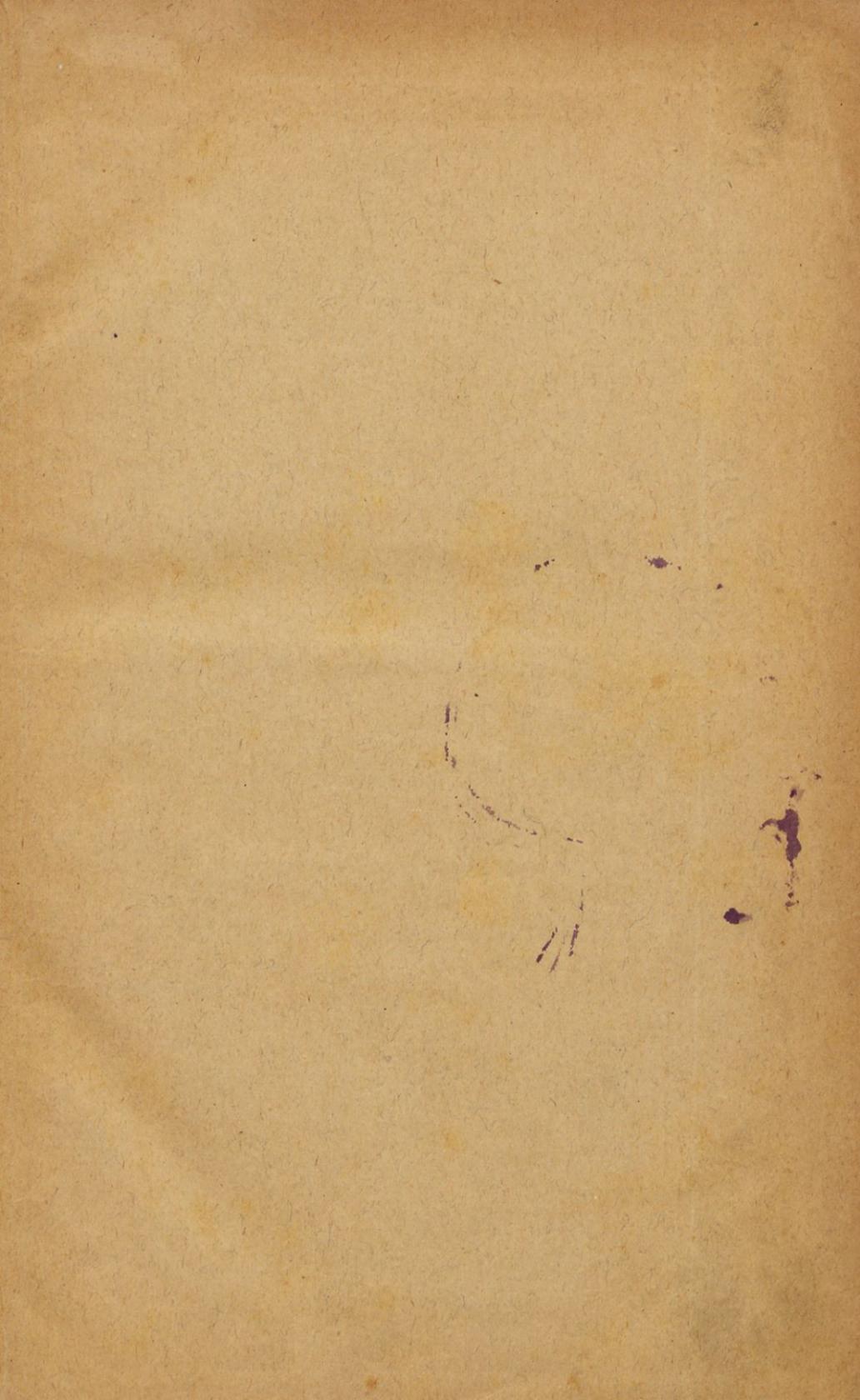
*Q*  
N<sup>3</sup>/13

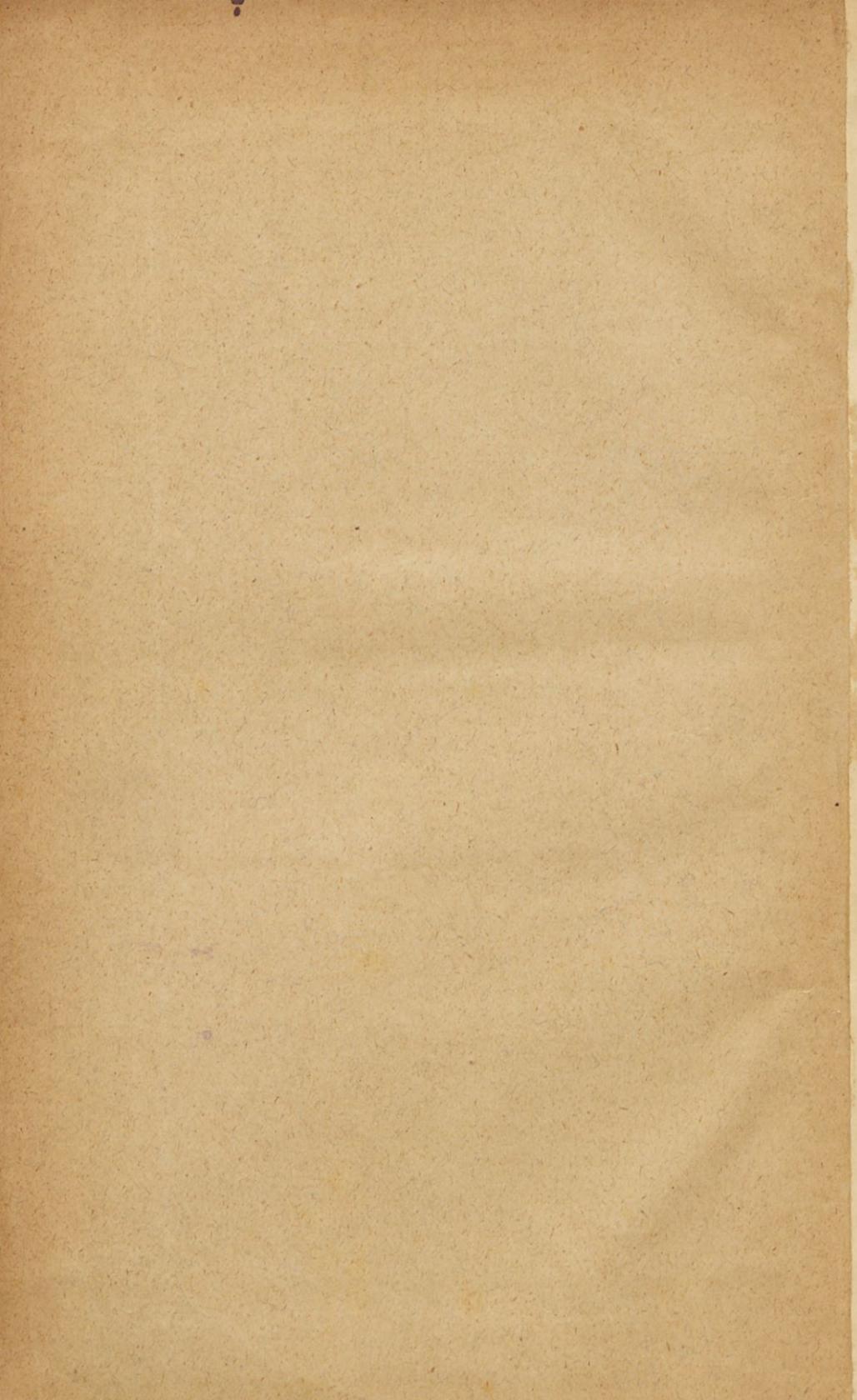
*Chro*  
**PAUL CIESLAR'S**  
Buchhandlung und Antiquariat  
GRAZ,

**29 Herrengasse 29.**

Grosses Lager von antiquarischen und auch neuen Büchern aller Wissenschaften, Jugendschriften, Schulbüchern, classischen Werken etc. Einzelne brauchbare Bücher, sowie ganze Bibliotheken werden stets angekauft und auch eingetauscht. Aufträge von Ausserhalb werden prompt und zu den billigsten Preisen erledigt sowie Auskünfte auf dem Gebiete des Buchhandels bereitwilligst ertheilt.

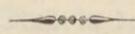
Lager-Cataloge stehen jederzeit gratis zu Diensten.





*Umschlag*  
*immerig*

**Lehrbuch**  
der  
**Arithmetik und Algebra**  
nebst einer  
**Aufgaben-Sammlung**  
für die  
**oberen Classen der Mittelschulen.**



Von  
**Dr. Franz Ritter von Močnik.**

**Zweiundzwanzigste unveränderte Auflage.**

Approbiert mit h. Erlaß des k. k. Ministeriums für Cultus und Unterricht vom  
13. Februar 1890, B. 2650.



Preis broschirt 1 fl. 60 kr., gebunden 1 fl. 85 kr.

**Wien.**  
Druck und Verlag von Carl Gerold's Sohn.  
1890.

579098

Vertrag

Vertrag über die

...

Vertrag über die

...

...

Das Recht der Übersetzung behält sich der Verfasser vor.

...

...

19.09.2006



D200616793

...

...

...

...

## Aus den Vorreden zu den früheren Auflagen.

Bezüglich der Gliederung des Inhaltes war ich von dem Streben geleitet, die organische Entwicklung des Zahlenbegriffes und die dadurch bedingte fortschreitende Erweiterung der Operationsbegriffe dem Schüler zu möglichst klarem Bewusstsein zu bringen. Indem naturgemäß zuerst die niederen Rechnungsarten mit absoluten ganzen Zahlen behandelt werden, wird, damit die inversen Operationen, die Subtraction und die Division, unter allen Umständen ausgeführt werden können, auf die Nothwendigkeit hingewiesen, die algebraischen, gebrochenen und irrationalen Zahlen in die Rechnung einzuführen. Ebenso eröffnet bei den höheren Rechnungsarten die Radicierung, indem sie in der Reihe der ganzen, gebrochenen und irrationalen algebraischen Zahlen nicht immer ausführbar erscheint, das neue Gebiet der imaginären Zahlen. Jede neue Zahlenform tritt dabei als eine höhere Stufe in der Erweiterung des Zahlengebietes auf, so zwar, daß der auf ihr gewonnene Begriff alle vorhergehenden in sich umfaßt.

Mit der fortschreitenden Entwicklung des Zahlenbegriffes müssen auch die Begriffe der Operationen allmählich erweitert werden, so daß sie auch auf die neue Zahlenform anwendbar werden und daß stets in der neuen Definition die früheren als besondere Fälle enthalten sind. Zugleich muß jedesmal nachgewiesen werden, daß die Lehrsätze, welche für die früheren Zahlen abgeleitet wurden, auch für die neue Zahlenform gültig sind, wodurch denselben eine immer ausgedehntere Anwendbarkeit gesichert wird.

Sowie im ganzen, ist auch im einzelnen auf eine organische Gliederung des Stoffes Bedacht genommen worden. Bei jeder neuen Operation wurden zuerst die Verbindungen der neuen Rechnungsform mit sich selbst und mit der entgegengesetzten Operation derselben Stufe, wenn diese schon vorgekommen ist, sodann die Verbindungen der neuen Operation mit den Operationen der niedrigeren Stufen in Untersuchung gezogen. Die einzelnen Lehrsätze wurden dabei so geordnet, daß Zusammengehöriges in natürlicher Aufeinanderfolge zusammengestellt erscheint, und daß die Analogie der gleichartigen Sätze auf den verschiedenen Rechnungsstufen leicht überblickt werden kann.

Die Erklärung der irrationalen Zahlen, welche früher der Lehre von den Wurzeln eingefügt war, wurde hier passender schon bei den Verhältnissen incommensurabler Größen, wo die neue Zahlenform zum erstenmale auftritt, aufgenommen. Für diese geänderte Stellung waren einige vorbereitende Sätze über die unendlich großen und die unendlich kleinen Größen, sowie über die

Grenzen der Veränderlichen erforderlich, welche sich übrigens auch in der Geometrie vortheilhaft verwerten lassen, um dort die Messung des Kreises und der krummflächigen Körper unter Zugrundelegung des Grenzbegriffes ebenso streng als mittelst der üblichen indirecten Beweise, aber mit weit größerer Kürze zu erledigen.

Die imaginären und complexen Zahlen sind bei der Lehre von den Wurzelgrößen nur formal behandelt worden, während die geometrische Darstellung dieser Zahlen und der algebraischen Operationen mit denselben am Schlusse des theoretischen Theiles den Gegenstand eines besonderen Anhanges bildet.

Die dem Buche beigegebene Aufgaben-Sammlung wurde bedeutend vermehrt und nach den fortschreitenden Stufen des Unterrichtes systematisch geordnet. Wir besitzen zwar für die allgemeine Arithmetik sehr wertvolle Beispiel-Sammlungen; wenn ich gleichwohl meinem Lehrbuche auch Übungs-Aufgaben beifüge, so geschieht es in der Überzeugung, dass eine Sammlung von Aufgaben, die sich genau an den Stufengang des Lehrbuches anschließt, ganz besonders geeignet erscheint, den Unterricht zu fördern, indem sie dem Schüler die Möglichkeit und die beste Gelegenheit bietet, die erkannten theoretischen Lehren Schritt für Schritt sofort an passenden Beispielen zur Übung und Anwendung zu bringen.

## Vorwort zur einundzwanzigsten Auflage.

Die vorliegende Auflage unterscheidet sich von den zwei vorhergehenden hauptsächlich nur durch die geänderte Anordnung des Lehrstoffes, welche hier mit genauer Beachtung des neuen Lehrplanes für Gymnasien getroffen wurde und welche mit sehr geringen Ausnahmen auch dem Normal-Lehrplane für Realschulen entspricht.

Neu aufgenommen wurde bei den höheren Gleichungen, die sich auf quadratische zurückführen lassen, die vollständige Auflösung der binomischen Gleichungen dritten und vierten Grades, bei den Lebensversicherungs-Rechnungen die Bestimmung der Prämienreserve, und im Anhange die Lehre von den höheren numerischen Gleichungen. Ferner ist die Moivre'sche Formel auch in ihrer Geltung für das Radicieren aus einer complexen Zahl dargestellt und dabei die Vieldeutigkeit einer Wurzelgröße nachgewiesen worden.

Graz, im Juli 1885.

Der Verfasser.

# Inhalts-Verzeichnis.

Einleitung . . . . .	Seite 1
----------------------	------------

## Erster Abschnitt.

### Addition und Subtraction.

I. Addition mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	4
II. Subtraction mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	6
III. Erweiterung des Zahlgebietes durch die Subtraction . . . . .	11
1. Negative Zahlen . . . . .	11
2. Addition und Subtraction mit algebraischen ganzen Zahlen . . . . .	13

## Zweiter Abschnitt.

### Multiplication und Division.

I. Multiplication mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	16
II. Division mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	21
III. Multiplication und Division mit algebraischen ganzen Zahlen . . . . .	28
IV. Zahlensysteme . . . . .	29
V. Theilbarkeit der Zahlen . . . . .	33
VI. Erweiterung des Zahlgebietes durch die Division als Theilung . . . . .	44
Gebrochene Zahlen . . . . .	44
1. Gemeine Brüche . . . . .	45
2. Decimalbrüche . . . . .	49
VII. Unendlich große und unendlich kleine Zahlen und Grenzwerte der Veränderlichen . . . . .	58
VIII. Verhältnisse und Proportionen . . . . .	61
1. Verhältnisse . . . . .	61
2. Erweiterung des Zahlgebietes durch die Division als Messung . . . . .	63
Irrationale Zahlen . . . . .	63
3. Proportionen . . . . .	64
4. Anwendung der Proportionen . . . . .	69

## Dritter Abschnitt.

### Gleichungen des ersten Grades . . . . .

I. Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten . . . . .	75
II. Gleichungen des ersten Grades mit mehreren Unbekannten . . . . .	77
III. Anwendung der Gleichungen des ersten Grades . . . . .	81

## Vierter Abschnitt.

## Potenzieren, Radicieren und Logarithmieren.

	Seite
I. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten . . . . .	85
II. Wurzeln mit positiven ganzen Exponenten . . . . .	88
III. Potenzen und Wurzeln mit negativen und gebrochenen Exponenten . . . . .	98
IV. Erweiterung des Zahlengebietes durch das Radicieren . . . . .	101
Imaginäre und complexe Zahlen . . . . .	101
V. Quadrieren und Cubieren, Ausziehen der Quadrat- und Cubikwurzel . . . . .	104
VI. Logarithmen . . . . .	115

## Fünfter Abschnitt.

## Gleichungen des zweiten Grades . . . . . 127

I. Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten . . . . .	128
II. Höhere und Exponentialgleichungen, welche sich auf quadratische Gleichungen zurückführen lassen . . . . .	133
III. Quadratische Gleichungen mit mehreren Unbekannten . . . . .	138

## Sechster Abschnitt.

## Unbestimmte Gleichungen.

I. Unbestimmte Gleichungen des ersten Grades . . . . .	141
II. Unbestimmte Gleichungen des zweiten Grades . . . . .	148

## Siebenter Abschnitt.

Reihenbrüche . . . . .	151
------------------------	-----

## Achter Abschnitt.

## Progressionen. ¶

I. Arithmetische Progressionen . . . . .	159
II. Geometrische Progressionen . . . . .	161
III. Zinseszins- und Rentenrechnung . . . . .	165

## Neunter Abschnitt.

## Combinationslehre.

I. Permutationen, Combinationen und Variationen . . . . .	171
II. Binomischer Lehrsatz . . . . .	178
III. Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	184

## Anhang.

I. Höhere numerische Gleichungen . . . . .	198
II. Geometrische Darstellung der imaginären und der complexen Zahlen . . . . .	207

## Aufgaben-Sammlung.

I. Addition und Subtraction.	
1. Addition mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	215
2. Subtraction mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	215
3. Addition und Subtraction mit algebraischen ganzen Zahlen . . . . .	217

II. Multiplication und Division.	Seite
1. Multiplication mit absoluten ganzen Zahlen . . . . .	217
2. Division mit absoluten ganzen Zahlen. . . . .	220
3. Multiplication und Division mit algebraischen ganzen Zahlen . . . . .	223
4. Zahlensysteme . . . . .	224
5. Theilbarkeit der Zahlen . . . . .	225
6. Gebrochene Zahlen . . . . .	227
7. Verhältnisse und Proportionen mit Anwendungen . . . . .	235
III. Gleichungen des ersten Grades.	
1. Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten . . . . .	242
2. Gleichungen des ersten Grades mit mehreren Unbekannten . . . . .	243
3. Anwendung der Gleichungen des ersten Grades. . . . .	245
IV. Potenzieren, Radicieren und Logarithmieren.	
1. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten . . . . .	254
2. Wurzeln mit positiven ganzen Exponenten . . . . .	255
3. Potenzen und Wurzeln mit negativen und gebrochenen Exponenten . . . . .	261
4. Imaginäre und complexe Zahlen . . . . .	263
5. Quadrieren und Cubieren, Ausziehen der Quadrat- und Cubikwurzel . . . . .	265
6. Logarithmen . . . . .	268
V. Gleichungen des zweiten Grades.	
1. Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten . . . . .	271
2. Höhere Gleichungen, die sich auf quadratische zurückführen lassen . . . . .	277
3. Quadratische Gleichungen mit mehreren Unbekannten . . . . .	279
VI. Unbestimmte Gleichungen.	
1. Unbestimmte Gleichungen des ersten Grades . . . . .	284
2. Unbestimmte Gleichungen des zweiten Grades . . . . .	286
VII. Kettenbrüche . . . . .	288
VIII. Progressionen.	
1. Arithmetische Progressionen . . . . .	290
2. Geometrische Progressionen . . . . .	293
3. Zinseszins- und Rentenrechnung . . . . .	296
IX. Combinationslehre.	
1. Permutationen, Combinationen und Variationen . . . . .	302
2. Potenzen von Binomen . . . . .	304
3. Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	304
X. Höhere numerische Gleichungen . . . . .	308



217	1. Multiplikation mit absoluten ganzen Zahlen
217	2. Division mit absoluten ganzen Zahlen
218	3. Multiplikation und Division mit absoluten ganzen Zahlen
218	4. Zerlegung in Primfaktoren
218	5. Teilbarkeit der Zahlen
217	6. Größter gemeinsamer Theiler
218	7. Bestimmtheits- und Kongruenztheorie
218	III. Gleichungen des ersten Grades
218	1. Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten
218	2. Gleichungen des ersten Grades mit mehreren Unbekannten
218	3. Anwendung der Gleichungen des ersten Grades
218	IV. Potenzen, Radizieren und Logarithmen
218	1. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten
218	2. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten
218	3. Potenzen und Brüche mit negativen und gebrochenen Exponenten
218	4. Potenzen und komplexe Potenzen
218	5. Radizieren und Logarithmen des Nenners und Endbrüche
218	6. Logarithmen
218	V. Gleichungen des zweiten Grades
218	1. Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten
218	2. Höhere Gleichungen, die sich auf quadratische zurückführen lassen
218	3. Diophantische Gleichungen mit mehreren Unbekannten
218	VI. Unbestimmte Gleichungen
218	1. Unbestimmte Gleichungen des ersten Grades
218	2. Unbestimmte Gleichungen des zweiten Grades
218	VII. Kettenbrüche
218	VIII. Progressionen
218	1. Arithmetische Progressionen
218	2. Geometrische Progressionen
218	3. Mischungs- und Mischungsrechnung
218	IX. Combinatorial: etc.
218	1. Permutationen, Combinationen und Variationen
218	2. Potenzen von Binomen
218	3. Binomialentwicklung
218	X. Höhere numerische Gleichungen

# Einleitung.

---

§. 1. Jedes Object, das aus Theilen derselben Art besteht oder aus solchen bestehend gedacht werden kann, wird Größe genannt. Jede Größe ist einer Vermehrung oder Verminderung fähig. Die Wissenschaft von den Größen heißt Mathematik.

Die Menge der in einer Größe enthaltenen gleichartigen Theile nennt man die Quantität der Größe. Um eine Größe in Beziehung auf ihre Quantität zu bestimmen, nimmt man eine bekannte Größe derselben Art als Einheit an und untersucht, wie oft dieselbe in der zu bestimmenden Größe enthalten ist. Der Ausdruck, welcher dieses angibt, heißt Zahl. Insofern eine Größe durch eine Zahl ausgedrückt wird, nennt man sie eine Zahlgröße.

Jener Theil der Mathematik, welcher sich mit der Untersuchung der Zahlgrößen beschäftigt, heißt Arithmetik.

§. 2. Jede Zahlenbildung beginnt mit dem Setzen der Einheit. Indem man zu der Einheit noch eine Einheit, zu der dadurch gebildeten Zahl wieder eine Einheit und so fort hinzusetzt, erhält man die Reihe der natürlichen Zahlen.

Man kann die natürliche Zahlenreihe bildlich darstellen, indem man auf eine gerade Linie von dem Punkte 0 aus nach einer bestimmten Richtung gleiche Strecken aufträgt; die Endpunkte dieser Strecken versinnlichen die auf einander folgenden Zahlen.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9



Eine solche Linie soll Zahlenlinie heißen.

Wir werden später, so wie in dem Gebiete der Zahlen neue Zahlenformen auftreten werden, auch an der Zahlenlinie das angefangene Bild entsprechend vervollständigen.

Die Einheit selbst, sowie jede durch wiederholtes Setzen derselben gebildete Zahl wird eine ganze Zahl genannt. Um anzugeben, dass keine Einheit gesetzt sei, bedient man sich des Ausdruckes Null (0). Die Null ist daher als der Ausgangspunkt jeder Zahlenbildung zu betrachten.

In der natürlichen Zahlenreihe entsteht jede Zahl aus der vorhergehenden durch Hinzufügen einer Einheit, und aus der folgenden durch Wegnehmen einer Einheit. Durch das Hinzufügen, bezüglich Wegnehmen einer Einheit von einer Zahl zur andern fortschreiten, heißt zählen; das erstere vorwärtszählen, das letztere rückwärtszählen. Jenes kann an der natürlichen Zahlenreihe ohne Ende fortgesetzt werden, dieses nur, bis auch die erste Einheit weggenommen und man zur Null gelangt ist.

§. 3. Zahlen, welche eine bestimmte Menge von Einheiten ausdrücken, heißen besondere Zahlen; sie werden durch Ziffern bezeichnet. Zahlen, welche irgend eine Menge von Einheiten darstellen, heißen allgemeine Zahlen; sie werden durch Buchstaben ausgedrückt. Zahlen, welche erst bestimmt werden sollen und daher noch unbekannt sind, bezeichnet man gewöhnlich mit den letzten Buchstaben des Alphabetes.

Je nachdem die Arithmetik nur besondere oder auch allgemeine Zahlen in Betrachtung zieht, heißt sie die besondere oder die allgemeine Arithmetik.

§. 4. Wird beim Zählen die Art der Einheit ganz unberücksichtigt gelassen, so heißen die dadurch gebildeten Zahlen reine oder unbenannte Zahlen; wird aber beim Zählen auch die Art der Einheit ausgedrückt, so entstehen benannte Zahlen. Man erhält demnach durch  $a$  maliges Setzen der unbenannten Einheit die unbenannte Zahl  $a$ , durch  $a$  maliges Setzen einer benannten Einheit  $E$  die benannte Zahl  $aE$ , in welcher  $E$  die Benennung heißt.

§. 5. Zwei Zahlen (überhaupt zwei Größen), welche dieselbe Menge von Einheiten enthalten, heißen einander gleich. Um anzuzeigen, daß  $a$  und  $b$  gleich sind, schreibt man  $a = b$ ; in diesem Falle ist immer auch  $b = a$ . Ein Ausdruck von der Form  $a = b$  heißt eine Gleichung;  $b = a$  ist die Umkehrung der Gleichung  $a = b$ .

Zwei Zahlen (überhaupt zwei Größen), welche nicht dieselbe Menge von Einheiten enthalten, heißen ungleich, und zwar heißt diejenige, zu der noch etwas hinzugesetzt werden muß, um die andere hervorzubringen, die kleinere, die andere die größere. Daß  $a$  größer als  $b$  ist, drückt man durch  $a > b$  aus; in diesem Falle ist auch  $b$  kleiner als  $a$ , was durch  $b < a$  bezeichnet wird. Ausdrücke von der Form  $a > b$  oder  $b < a$  nennt man Ungleichungen.

Bezeichnen  $a$  und  $b$  zwei beliebige Zahlen (oder Größen), so muß entweder  $a > b$ , oder  $a = b$ , oder  $a < b$  sein, wofür man auch schreibt  $a \gtrless b$ .

§. 6. Von gegebenen Zahlen durch vorgeschriebene Verbindung derselben zu einer andern gesuchten Zahl übergehen und letztere dadurch bestimmen, heißt rechnen. Die Zahl, zu welcher man durch das Rechnen gelangt, heißt das Resultat der Rechnung. Jede Darstellung einer Rechnung in Zeichen heißt eine Formel. Jede Rechenvorschrift, für welche eine besondere Bezeichnung eingeführt ist, heißt eine Operation.

In eine Zahlenverbindung an die Stelle der allgemeinen Zahlen (Buchstaben) besondere Zahlenwerte setzen und mit diesen die vorgeschriebenen Rechnungen ausführen, heißt substituieren.

Das Zählen ist die einfachste Art des Rechnens; alle anderen Rechnungsoperationen können daraus abgeleitet werden.

Das Fortschreiten in der natürlichen Zahlenreihe von einer gegebenen Zahl aus um eine gegebene Zahl von Einheiten heißt die Addition; die Umkehrung dieser Operation die Subtraction. Die Addition gleicher Zahlen heißt Multiplication, und die Umkehrung derselben Division. Die Multiplication gleicher Zahlen führt auf Zahlen höheren Ranges; die Rechnung, durch welche diese gefunden werden, heißt die Potenzierung, aus deren Umkehrung sich die Radicierung (das Wurzelausziehen) und die Logarithmierung ergeben.

Die Gesetze der hier angedeuteten Operationen zu untersuchen, bildet die Hauptaufgabe der Arithmetik. Die Lehre über die Anwendung dieser Gesetze auf die Lösung von Aufgaben, indem man die Beziehungen zwischen den unbekanntem und bekannten Zahlen durch Gleichungen ausdrückt und aus diesen die Werte für die unbekanntem Zahlen sucht, heißt Algebra.

Häufig werden diese beiden Theile der Mathematik als Ganzes mit dem gemeinschaftlichen Namen allgemeine Arithmetik bezeichnet.

§. 7. Die Mathematik stützt ihre Lehren auf gewisse Sätze, die man unmittelbar als wahr anerkennt, die daher nicht bewiesen zu werden brauchen, aber auch nicht bewiesen werden können. Solche Grundwahrheiten werden Grundsätze (Axiome) genannt.

Sätze, deren Richtigkeit erst aus anderen, bereits als wahr anerkannten Sätzen hergeleitet werden muss, heißen Lehrsätze; diese müssen bewiesen werden.

§. 8. Allgemeine mathematische Grundsätze. *Axiome*

1. Jede Größe ist sich selbst gleich.
2. Sind zwei Größen einer dritten gleich, so sind sie auch unter einander gleich.
3. Werden mit gleichen Größen gleiche Veränderungen vorgenommen, so erhält man gleiche Größen.
4. Das Ganze ist gleich allen seinen Theilen zusammengenommen.
5. Das Ganze ist größer als ein Theil desselben.

6. *Wäre ein Körper = einem 2. ein 2. Körper größer  
(kleiner als der 1. Theil) so wäre ein 2. Körper größer  
(kleiner als der 1. Theil) als 3.*

## Erster Abschnitt.

### Addition und Subtraction.

#### I. Addition mit absoluten ganzen Zahlen.

§. 9. 1. Zu einer Zahl  $a$  eine Zahl  $b$  addieren heißt, eine Zahl  $c$  suchen, welche so viele Einheiten enthält, als  $a$  und  $b$  zusammen. Man schreibt  $a + b = c$  und nennt  $a$  und  $b$  die Summanden und  $a + b$  die Summe;  $c$  heißt der Wert der Summe.

Um anzuzeigen, daß eine Zahlenform oder Zahlenverbindung als ein Ganzes, als eine einzige Zahl angesehen werden soll, schließt man dieselbe zwischen Klammern ein.

Der Wert der Summe  $a + b$  kann hiernach auch durch den eingeklammerten Ausdruck  $(a + b)$  dargestellt werden.

Um die Addition zweier Zahlen  $a$  und  $b$  auszuführen, schreitet man in der Zahlenreihe von  $a$  ausgehend um so viele Einheiten vorwärts, als ihrer  $b$  enthält; die Zahl, zu der man dadurch gelangt, ist die gesuchte Summe.

Folgesatz. Ist ein Summand 0, so ist die Summe dem andern Summanden gleich.

$$0 + a = a, \quad a + 0 = a, \quad 0 + 0 = 0.$$

2. Unter der Summe mehrerer Zahlen versteht man die Summe, welche erhalten wird, indem man zu der Summe der beiden ersten Zahlen die dritte, zu der neuen Summe die vierte Zahl, u. s. w. addiert. Es ist demnach

$$a + b + c = (a + b) + c,$$

$$a + b + c + d = [(a + b) + c] + d, \text{ u. s. f.}$$

§. 10. Eine Summe, welche entsteht, indem man dieselbe allgemeine Zahl öfters als Summand setzt, wird abgekürzt dadurch bezeichnet, daß man die allgemeine Zahl nur einmal anschreibt und vor dieselbe die Zahl setzt, welche anzeigt, wie vielmal die allgemeine Zahl als Summand vorkommt; z. B.

$$a + a + a + a + a = 5a.$$

In dem Ausdrucke  $5a$  heißt dann  $a$  die Hauptgröße und  $5$  der Coefficient.

Der Coefficient kann auch eine allgemeine Zahl sein; z. B.

$$ma = a + a + a + a + \dots (m \text{ mal}).$$

Ausdrücke, welche dieselbe Hauptgröße haben, heißen gleichnamig, z. B.  $5a$  und  $6a$ ,  $3x$  und  $x$ . Ausdrücke, welche verschiedene Hauptgrößen haben, heißen ungleichnamig, z. B.  $3a$  und  $7b$ ,  $5x$  und  $5y$ .

§. 11. Eine Summe bleibt unverändert, wenn man die Summanden unter einander vertauscht. (Das Commutationsgesetz der Addition.)

$$a + b + c = a + c + b = b + a + c = b + c + a = \dots$$

Dem die Zahl der in den Summanden enthaltenen Einheiten bleibt dieselbe, in welcher Reihenfolge sie auch vorkommen mögen; es muß daher auch der Wert der Summe derselbe bleiben.

Verbindung der Addition mit sich selbst.

§. 12. 1. Zu einer Summe wird eine Zahl addiert, indem man sie zu einem der Summanden addiert.

$$(a + b) + c = (a + c) + b = a + (b + c).$$

2. Zu einer Zahl wird eine Summe addiert, indem man die Summanden einzeln addiert.

$$a + (b + c) = (a + b) + c = (a + c) + b.$$

(Die Richtigkeit dieser zwei Sätze, welche die Associationsgesetze der Addition bilden, folgt unmittelbar aus dem Commutationsgesetz in §. 11.)

§. 13. Gleichnamige Ausdrücke werden addiert, indem man ihre Coefficienten addiert und die erhaltene Summe als Coefficienten vor die gemeinsame Hauptgröße setzt.

$$ma + na = (m + n)a.$$

$$\text{Beweis. } ma = a + a + a + \dots \text{ (m mal),}$$

$$na = a + a + a + \dots \text{ (n mal),}$$

$$\text{daher } ma + na = a + a + a + \dots \text{ (m + n) mal} = (m + n)a.$$

$$\text{z. B. } 3a + 4a = (3 + 4)a = 7a.$$

Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Addition.

§. 14. 1. Gleiches zu Gleichem addiert gibt Gleiches.

$$\text{Ist } a = b \text{ und } c = d, \text{ so ist } a + c = b + d.$$

Folgt unmittelbar aus §. 8, 3.

2. Gleiches zu Ungleichem addiert gibt Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

$$\text{Ist } a > b \text{ und } c = d, \text{ so ist } a + c > b + d.$$

Beweis. Es sei  $w$  die Zahl, welche man zu  $b$  addieren muß, um  $a$  zu erhalten, also  $a = b + w$ , so ist nach 1.  $a + c = b + w + d$ . Nun ist  $b + w + d > b + d$  (§. 8, 5), folglich auch  $a + c > b + d$ .

3. Ungleiches zu Ungleichem mit demselben Ungleichheitszeichen addiert gibt Ungleiches mit eben so gestelltem Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und  $c > d$ , so ist  $a + c > b + d$ .

**Beweis.** Es sei  $c = d + w$ , so hat man nach 2.  $a + c > b + d + w$ . Nun ist  $b + d + w > b + d$  (§. 8, 5), folglich um so mehr  $a + c > b + d$ .

## II. Subtraction mit absoluten ganzen Zahlen.

§. 15. Von einer Zahl  $a$  eine Zahl  $b$  subtrahieren heißt, aus  $a$  als der Summe zweier Zahlen und  $b$  als dem einen Summanden den andern Summanden  $c$  suchen. Man schreibt  $a - b = c$  und nennt  $a$  den Minuend,  $b$  den Subtrahend und  $a - b$  die Differenz;  $c$  oder auch der eingeklammerte Ausdruck  $(a - b)$  heißt der Wert der Differenz (Rest).

Eine Differenz ist also ein Ausdruck für diejenige Zahl, zu welcher der Subtrahend addiert den Minuend gibt; oder es ist

$$(a - b) + b = a.$$

Um die Subtraction zweier Zahlen  $a$  und  $b$  auszuführen, schreitet man in der Zahlenreihe vom Minuend  $a$  aus um so viele Einheiten zurück, wie der Subtrahend  $b$  anzeigt; die Zahl, zu welcher man dadurch gelangt, ist die gesuchte Differenz.

Die Subtraction kann an der natürlichen Zahlenreihe nur dann ausgeführt werden, wenn der Subtrahend nicht größer als der Minuend ist, indem man sonst, weil die natürliche Zahlenreihe rückwärts mit 0 abbricht, vom Minuend nicht um so viele Einheiten zurückschreiten könnte, wie der Subtrahend anzeigt.

Bei den folgenden Sätzen werden wir daher vorläufig voraussetzen, daß die Subtrahenden der vorkommenden Differenzen nicht größer als ihre Minuenden sind.

§. 16. Aus dem Begriffe der Subtraction ergeben sich nachstehende

**Folgesätze.** 1. Addiert man zu der Differenz zweier Zahlen den Subtrahend, so erhält man den Minuend.

$$(a - b) + b = a; \quad b + (a - b) = a.$$

2. Subtrahiert man von der Summe zweier Zahlen den einen Summanden, so erhält man den zweiten Summanden.

$$(a + b) - a = b; \quad (a + b) - b = a.$$

3. Eine Zahl bleibt unverändert, wenn man dieselbe Zahl zu ihr addiert und von ihr subtrahiert.

$$a = (a + b) - b; \quad a = (a - b) + b.$$

Die Addition und die Subtraction sind demnach einander entgegengesetzt; letztere ist eine inverse Operation der ersteren. In der commutativen Eigenschaft der Addition liegt der Grund, daß es zu derselben nur eine inverse Operation gibt; es ist gleichviel, ob der erste oder der zweite Summand gesucht wird, da man beide unter sich vertauschen kann.

4. Ist der Subtrahend dem Minuend gleich, so ist die Differenz gleich Null.

$$a - a = 0.$$

5. Ist der Subtrahend 0, so ist die Differenz dem Minuend gleich.

$$a - 0 = a, \quad 0 - 0 = 0.$$

Verbindung der Subtraction mit sich selbst und mit der Addition.

§. 17. Von einer Summe wird eine Zahl subtrahiert, indem man sie von einem der Summanden subtrahiert.

$$(a + b) - c = (a - c) + b = a + (b - c).$$

Beweis. a) Soll  $(a - c) + b$  die richtige Differenz der Zahlen  $a + b$  und  $c$  sein, so muß man, wenn man zu ihr den Subtrahend  $c$  addiert, den Minuend  $a + b$  erhalten (§. 15). Nun ist wirklich

$\{(a - c) + b\} + c = \{(a - c) + c\} + b$  (§. 12, 1)  $= a + b$  (§. 16, 1), also  $(a - c) + b$  eine richtige Lösung der Aufgabe.

b) Ebenso ist

$\{a + (b - c)\} + c = a + \{(b - c) + c\}$  (§. 12, 1)  $= a + b$  (§. 16, 1), also ist auch die zweite Form  $a + (b - c)$  der Differenz richtig.

Folgesatz. Soll zu einer Zahl eine zweite addiert und eine dritte davon subtrahiert werden, so ist es für das Resultat gleichgültig, in welcher Reihenfolge man addiert oder subtrahiert.

§. 18. Zu einer Differenz wird eine Zahl addiert, indem man sie zu dem Minuend addiert oder von dem Subtrahend subtrahiert.

$$(a - b) + c = (a + c) - b = a - (b - c).$$

Beweis. Daß  $(a - b) + c = (a + c) - b$  ist, ergibt sich aus §. 17, Folgesatz. Aus der Erklärung einer Differenz (§. 15) läßt sich ferner folgern, daß auch  $a - (b - c) = (a - b) + c$  ist; denn

$$\begin{aligned} [(a - b) + c] + (b - c) &= (a - b) + [c + (b - c)] \quad (\S. 12, 1) \\ &= (a - b) + b \quad (\S. 16, 1) = a. \end{aligned}$$

§. 19. Von einer Differenz wird eine Zahl subtrahiert, indem man sie von dem Minuend subtrahiert oder zu dem Subtrahend addiert.

$$(a - b) - c = (a - c) - b = a - (b + c).$$

Beweis. Sowohl  $(a - c) - b$  als  $a - (b + c)$  entspricht der in §. 15 für die Differenz aufgestellten Erklärung. Denn es ist

$\{(a - c) - b\} + c = \{(a - c) + c\} - b$  (§. 18)  $= a - b$  (§. 16, 1);  
und ebenso

$$\{a - (b + c)\} + c = a - \{(b + c) - c\} \text{ (§. 18) } = a - b \text{ (§. 16, 2).}$$

**Folgesatz.** Sollen von einer Zahl zwei Zahlen subtrahiert werden, so darf man entweder dieselben einzeln in beliebiger Reihenfolge, oder auch sogleich ihre Summe subtrahieren. *Lib*

§. 20. 1. Von einer Zahl wird eine Summe subtrahiert, indem man die Summanden einzeln subtrahiert.

$$a - (b + c) = (a - b) - c = (a - c) - b.$$

Ergibt sich durch Umkehrung der in §. 19 bewiesenen Gleichungen.

2. Zu einer Zahl wird eine Differenz addiert, indem man den Minuend addiert und den Subtrahend subtrahiert.

$$a + (b - c) = (a + b) - c = (a - c) + b.$$

Folgt durch Umkehrung der Gleichungen in §. 17.

3. Von einer Zahl wird eine Differenz subtrahiert, indem man den Minuend subtrahiert und den Subtrahend addiert.

$$a - (b - c) = (a - b) + c = (a + c) - b.$$

Ergibt sich durch Umkehrung aus §. 18.

§. 21. 1. Eine Summe bleibt unverändert, wenn man zu dem einen Summanden eine Zahl addiert und von dem andern Summanden dieselbe Zahl subtrahiert.

Es ist

$$a + b = a + \{(b - c) + c\} \text{ (§. 16, 3) } = (a + c) + (b - c) \text{ (§. 12, 2);}$$

$$a + b = a + \{(b + c) - c\} \text{ (§. 16, 3) } = (a - c) + (b + c) \text{ (§. 20, 2).}$$

2. Eine Differenz bleibt unverändert, wenn man zu dem Minuend und dem Subtrahend dieselbe Zahl addiert oder von beiden dieselbe Zahl subtrahiert.

Es ist

$$a - b = a - \{(b + c) - c\} \text{ (§. 16, 3) } = (a + c) - (b + c) \text{ (§. 20, 3);}$$

$$a - b = a - \{(b - c) + c\} \text{ (§. 16, 3) } = (a - c) - (b - c) \text{ (§. 20, 1).}$$

§. 22. Gleichnamige Ausdrücke werden subtrahiert, indem man die Coefficienten subtrahiert und die erhaltene Differenz als Coefficienten vor die gemeinsame Hauptgröße setzt.

$$ma - na = (m - n)a.$$

**Beweis.**  $ma = a + a + a + \dots$  (mmal)

$$na = a + a + a + \dots$$
 (nmal)

daher  $ma - na = a + a + a + \dots$  (m - n)mal  $= (m - n)a.$

z. B.  $5a - 2a = (5 - 2)a = 3a.$

§. 23. Sollen in einer durch die Zeichen + und - vorgeschriebenen Verbindung von Zahlen die dadurch angezeigten Operationen in der Reihen-

folge, wie diese Zahlen mit ihren Zeichen von links nach rechts vorkommen, vollzogen werden, so kann man, ohne der Bestimmtheit dadurch Abbruch zu thun, die Klammern weglassen. Hiernach kann man

$$\begin{aligned} [(a + b) + c] + d &= a + b + c + d, \\ [(a - b) + c] - d &= a - b + c - d, \\ [(a - b) - c] - d &= a - b - c - d \text{ setzen.} \end{aligned}$$

Ein Zahlenausdruck, welcher mehrere durch Addition und Subtraction verbundene Bestandtheile enthält, heißt ein mehrgliedriger Ausdruck oder ein Polynom. Die einzelnen Bestandtheile heißen Glieder, und zwar die mit dem Zeichen + versehenen die additiven, die mit dem Zeichen — versehenen die subtractiven Glieder des Ausdruckes. Das mit keinem Zeichen versehene erste Glied wird als additiv angesehen.

Ein zweigliedriger Ausdruck wird insbesondere ein Binom, ein dreigliedriger ein Trinom genannt. Ein Ausdruck, welcher nur ein Glied enthält, heißt ein eingliedriger Ausdruck oder ein Monom.

**Folgsätze.** 1. In einem mehrgliedrigen Ausdrucke ist die Reihenfolge der additiven und subtractiven Glieder ganz willkürlich.

Folgt aus §. 11, §. 17, Folges., und §. 19, Folges.

2. Jeder mehrgliedrige Ausdruck läßt sich in eine Differenz verwandeln, deren Minuend die Summe aller additiven, und deren Subtrahend die Summe aller subtractiven Glieder ist.

$$\begin{aligned} a + b - c + d - e &= a + b + d - c - e \\ &= (a + b + d) - (c + e) \text{ (§. 19, Folges.).} \end{aligned}$$

§. 24. 1. Zu einer Zahl wird ein mehrgliedriger Ausdruck addiert, indem man die Glieder desselben einzeln zu der Zahl addiert oder von ihr subtrahiert, je nachdem sie in dem Ausdrucke additiv oder subtractiv vorkommen.

$$a + (b - c - d + e - f) = a + b - c - d + e - f.$$

$$\begin{aligned} \text{Beweis. } a + (b - c - d + e - f) &= a + [(b + e) - (c + d + f)] \text{ (§. 23, Folges. 2)} \\ &= [a + (b + e)] - (c + d + f) \text{ (§. 20, 2)} \\ &= a + b + e - c - d - f \text{ (§. 12, 2, und §. 20, 1)} \\ &= a + b - c - d + e - f \text{ (§. 23, Folges. 1).} \end{aligned}$$

2. Von einer Zahl wird ein mehrgliedriger Ausdruck subtrahiert, indem man die Glieder desselben einzeln von der Zahl subtrahiert oder zu ihr addiert, je nachdem sie in dem Ausdrucke additiv oder subtractiv vorkommen.

$$a - (b - c - d + e - f) = a - b + c + d - e + f.$$

Der Beweis wird ähnlich, wie bei dem vorhergehenden Satze, geführt.

§. 25. 1. Jeder mit Klammern eingeschlossene Ausdruck kann ohne Klammern dargestellt werden, indem man, wenn vor der Klammer das Zeichen + steht, die Klammern ohne alle weitere Veränderung wegläßt, dagegen, wenn vor der Klammer das Zeichen - steht, allen Gliedern, die eingeschlossen waren, die entgegengesetzten Zeichen gibt.

Man nennt diese Umformung das Auflösen der Klammern.

$$\begin{aligned} \text{Z. B.} \quad & a - [2b + (3c - 4d)] \\ & = a - [2b + 3c - 4d] \\ & = a - 2b - 3c + 4d. \end{aligned}$$

2. Umgekehrt können in jedem mehrgliedrigen Ausdruck mehrere Glieder in eine Klammer gesetzt werden, indem man, wenn die Klammer nach dem Zeichen + beginnt, alle Glieder mit unveränderten Zeichen innerhalb derselben folgen läßt, dagegen, wenn die Klammer nach dem Zeichen - beginnt, jedem der eingeschlossenen Glieder das entgegengesetzte Zeichen gibt.

3. Ein mehrgliedriger Ausdruck, in welchem gleichnamige Zahlen vorkommen, wird auf einen einfacheren Ausdruck reducirt, indem man zuerst die additiven, dann die subtractiven gleichnamigen Zahlen addirt und die zweite Summe von der ersten subtrahirt. Z. B.

$$\begin{aligned} 6a - 5a + 3a + 8a + 2a &= (6a + 8a) - (5a + 3a + 2a) \\ &= 14a - 10a = 4a. \end{aligned}$$

### Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Subtraction.

§. 26. 1. Gleiches von Gleichem subtrahirt gibt Gleiches.

Ist  $a = b$  und  $c = d$ , so ist  $a - c = b - d$ .

Folgt unmittelbar aus §. 8, 3.

2. Gleiches von Ungleichem subtrahirt gibt Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und  $c = d$ , so ist  $a - c > b - d$ .

Beweis. Wäre nicht  $a - c > b - d$ , so müßte  $a - c \leq b - d$  sein; dann wäre bezüglich auch  $(a - c) + c \leq (b - d) + d$  (§. 14, 1 und 2), daher  $a \leq b$  (§. 16, 1), was gegen die Voraussetzung ist.

3. Ungleiches von Gleichem subtrahirt gibt Ungleiches mit entgegengesetztem Ungleichheitszeichen. *Das Vorzeichen*

Ist  $a = b$  und  $c > d$ , so ist  $a - c < b - d$ .

Beweis. Wäre  $a - c \geq b - d$ , so müßte in beiden Fällen  $(a - c) + c > (b - d) + d$  (§. 14, 2 und 3), daher  $a > b$  (§. 16, 1) sein, was gegen die Voraussetzung ist.

4. Ungleiches von Ungleichem bei entgegengesetzten Ungleichheitszeichen subtrahirt gibt Ungleiches mit dem Ungleichheitszeichen des Minuends.

Ist  $a > b$  und  $c < d$ , so ist  $a - c > b - d$ .

**Beweis.** Wäre  $a - c \leq b - d$ , so müßte in beiden Fällen  $(a - c) + c < (b - d) + d$  (§. 14, 2 und 3), daher  $a < b$  (§. 16, 1) sein, was gegen die Voraussetzung ist.

### III. Erweiterung des Zahlgebietes durch die Subtraction.

#### 1. Negative Zahlen.

§. 27. Bisher wurde (§. 15) bei jeder Differenz  $a - b$  die Voraussetzung gemacht, daß der Subtrahend  $b$  nicht größer als der Minuend  $a$  ist. Ist  $b > a$ , so ist die gesuchte Differenz  $a - b$  in der Reihe der natürlichen Zahlen nicht zu finden; die Subtraction ist in diesem Zahlgebiete unmöglich. Soll die Subtraction für ganz beliebige Werte des Minuends und des Subtrahends möglich gemacht werden, so sind wir genöthigt, unser Zahlgebiet zu erweitern und in dasselbe  $a - b$  für den Fall, daß  $b > a$  ist, als eine neue Zahlenform aufzunehmen. Dieser neuen Zahlenform werden wir eine solche Bedeutung geben, daß die Gesetze, welche bei der Subtraction für die als natürliche Zahlen vorausgesetzten Differenzen entwickelt wurden, auch für die neu eingeführten Zahlen ihre Giltigkeit behalten. (Princip der Erhaltung der Operationsgesetze.)

Wendet man auf die Differenz  $a - b$ , wo  $b = a + n$  sei, den Satz in §. 20, 1, an, so erhält man

$$a - b = a - (a + n) = (a - a) - n = 0 - n,$$

oder, wenn man die neue Differenz  $0 - n$  durch  $-n$  ausdrückt,

$$a - b = -n.$$

Die mit dem Vorzeichen  $-$  versehene Zahl  $-n$  nennt man eine negative Zahl. Im Gegensatz zu den negativen Zahlen werden dann die bisherigen Zahlen der natürlichen Zahlenreihe positive Zahlen genannt und als solche mit dem Vorzeichen  $+$  versehen.

Die Bedeutung einer negativen Zahl ergibt sich aus der Gleichung  $0 - n = -n$ , aus welcher nach dem allgemeinen Begriffe einer Differenz

$$(-n) + n = 0$$

folgt (§. 15). Eine negative Zahl  $-n$  bedeutet also eine Zahl, welche mit der natürlichen (positiven) Zahl  $n$  durch die Addition verbunden 0 gibt. Da sich hiernach die Zahlen  $+n$  und  $-n$  in ihrer Vereinigung durch die Addition gegenseitig aufheben, heißen sie einander entgegengesetzt.

Um die positiven und die negativen Zahlen an einer einzigen Zahlenreihe darzustellen, braucht man nur die ursprüngliche Reihe der Zahlen, welche von 0 aus durch das Vorwärtszählen gebildet wurden, so zu erweitern, daß



einen und in dem entgegengesetzten Sinne gezählt werden können, so daß gleichviel von beiden Zählungen 0 gibt, heißen entgegengesetzte Größen. In der Mathematik bezeichnet man die eine von zwei entgegengesetzten Größen, gleichviel welche, aber consequent, mit +, die andere mit —.

Hätte man z. B. die Zeit, wann ein Ereignis C stattfand, aus folgender Angabe zu rechnen: a Jahre nach Christo fand ein Ereignis A statt, b Jahre später ein Ereignis B und c Jahre früher als B das Ereignis C; so wäre der gesuchte Zeitpunkt  $x = a + b - c$ . Räte nach Einsetzung der Werte für a, b, c ein Resultat  $-n$  zum Vorschein, so hieße dies: das Ereignis C fand n Jahre vor Christo statt.

Allgemein: Ein negativer Wert  $-n$  für eine gesuchte Größe  $x$  bedeutet stets, daß die Größe gemessen wird durch n Einheiten, aber in einem Sinne, welcher dem ursprünglich in die Rechnung eingeführten entgegengesetzt ist.

## 2. Addition und Subtraction mit algebraischen ganzen Zahlen.

§. 30. Der durch die Aufnahme der negativen Zahlen erweiterte Zahlbegriff hat zur Folge, daß auch die Begriffe der Operationen angemessen erweitert werden müssen, damit sie auch auf algebraische Zahlen anwendbar werden.

Zwei algebraische Zahlen addieren heißt diejenige Zahl suchen, welche so viele positive und so viele negative Einheiten enthält, als die beiden Summanden zusammen. Dieser Erklärung gemäß muß die in §. 9, 1, für die Ausführung der Addition gegebene Vorschrift bei algebraischen Zahlen dahin erweitert werden, daß man in der Zahlenreihe vom ersten Summand aus in derjenigen Richtung, welche das Vorzeichen des zweiten Summands angibt, um so viele Einheiten fortschreitet, wie der absolute Wert dieses zweiten Summands anzeigt.

Folgesätze. 1. Addition einer positiven Zahl ist Addition des absoluten Wertes derselben; Addition einer negativen Zahl ist Subtraction des absoluten Wertes derselben.

Bedeutet b eine absolute Zahl, so ist

$$a + (+b) = a + b, \quad a + (-b) = a - b.$$

2. Zwei gleich bezeichnete Zahlen werden addiert, indem man ihre absoluten Werte addiert und dieser Summe das gemeinsame Vorzeichen gibt.

$$(+a) + (+b) = +(a + b), \quad (-a) + (-b) = -(a + b).$$

3. Zwei ungleich bezeichnete Zahlen werden addiert, indem man den kleineren absoluten Wert von dem größeren subtrahiert und dieser Differenz das Vorzeichen des größeren absoluten Wertes gibt.

$$(+a) + (-b) = +(a - b), \text{ oder } = -(b - a),$$

$$(-a) + (+b) = -(a - b), \text{ oder } = +(b - a).$$

4. Zwei entgegengesetzte Zahlen geben zur Summe Null (heben sich gegenseitig auf).

$$(+a) + (-a) = 0, \quad (-a) + (+a) = 0.$$

§. 31. Für das Subtrahieren algebraischer Zahlen bleibt die in §. 15 aufgestellte allgemeine Erklärung unverändert gültig. Es darf nur die dort für die Ausführung der Subtraction gegebene Vorschrift bei algebraischen Zahlen dahin ausgedehnt werden, daß man in der Zahlenreihe vom Minuend aus in derjenigen Richtung, welche der durch das Vorzeichen des Subtrahends ausgedrückten entgegengesetzt ist, um so viele Einheiten fortschreitet, wie der absolute Wert des Subtrahends anzeigt.

Folgsätze. 1. Subtraction einer positiven Zahl ist Subtraction des absoluten Wertes derselben; Subtraction einer negativen Zahl ist Addition des absoluten Wertes derselben.

Bedeutet  $b$  eine absolute Zahl, so ist

$$a - (+b) = a - b, \quad a - (-b) = a + b.$$

2. Zwei algebraische Zahlen werden subtrahiert, indem man zum unveränderten Minuend den Subtrahend mit entgegengesetztem Vorzeichen addiert.

$$(+a) - (+b) = (+a) - b = (+a) + (-b) \quad (\text{§. 30, Folgsf. 1}),$$

$$(+a) - (-b) = (+a) + b = (+a) + (+b),$$

$$(-a) - (+b) = (-a) - b = (-a) + (-b),$$

$$(-a) - (-b) = (-a) + b = (-a) + (+b).$$

§. 32. Eine Summe, deren Summanden algebraische Zahlen sind, heißt eine algebraische Summe; z. B.

$$(+a) + (-b) + (-c) + (+d) + (-f).$$

Die Differenz je zweier algebraischer Zahlen kann als eine algebraische Summe dargestellt werden (§. 31, Folgsf. 2).

1. Jeder mehrgliedrige Ausdruck kann in eine algebraische Summe verwandelt werden, indem man die Rechnungszeichen als Vorzeichen betrachtet und dann die Zahlen als Summanden annimmt.

$$a - b - c + d = (+a) + (-b) + (-c) + (+d).$$

Folgt aus §. 30, Folgsf. 1.

2. Umgekehrt: Jede algebraische Summe kann in einen mehrgliedrigen Ausdruck verwandelt werden, indem man die Additionszeichen und die Klammern wegläßt und dann die Vorzeichen als Rechnungszeichen ansieht.

$$(+a) + (-b) + (-c) + (+d) = a - b - c + d.$$

3. Eine algebraische Summe bleibt unverändert, wenn man die Summanden unter einander vertauscht.

Folgt aus 2. und 1. mit Zuziehung des §. 23, Folgsf. 1.

§. 33. Man ist übereingekommen, bei algebraischen Summen die Additionszeichen und die Klammern für die einzelnen Summanden wegzulassen. In dieser Form unterscheidet sich eine algebraische Summe von einem mehrgliedrigen Ausdrucke nur dadurch, daß die Rechnungszeichen  $+$  und  $-$  des letzteren in der ersteren als Vorzeichen, d. i. die additiven und subtractiven Glieder des letzteren in der ersteren bezüglich als positive und negative Summanden zu betrachten sind. Auf den Wert beider hat diese verschiedene Bedeutung der Zeichen, wie aus §. 30, Folgesatz 1, erhellet, keinen Einfluß.

Daraus folgt mit Rücksicht auf §. 24, 1 und 2:

1. Zu einer Zahl wird eine algebraische Summe addiert, indem man ihre einzelnen Summanden mit unveränderten Vorzeichen zu der Zahl hinzufügt.

2. Von einer Zahl wird eine algebraische Summe subtrahiert, indem man ihre einzelnen Summanden mit entgegengesetzten Vorzeichen zu der Zahl hinzufügt.

§. 34. Alle für die absoluten Zahlen abgeleiteten Sätze über die Summen und Differenzen lassen sich schließlich auf das Commutationsgesetz der Addition (§. 11) zurückführen. Dieses Gesetz gilt aber (nach §. 32, 3) auch für algebraische Zahlen; folglich gelten alle bisher für die absoluten ganzen Zahlen erwiesenen Sätze auch für die algebraischen ganzen Zahlen.

*Zusätze.* 1. Die Ungleichheit zweier Zahlen (§. 5) muß nun dahin erklärt werden, daß von zwei Zahlen diejenige die kleinere ist, zu welcher man eine positive Zahl addieren muß, um die andere zu erhalten. Ist  $m > n$ , so ist  $-m < -n$ . Ferner ist allgemein  $+m > 0$ ,  $-m < 0$  und  $-m < +n$ .

2. Die vorstehende Erklärung muß man festhalten, wenn die Sätze über die Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Addition und Subtraction (§§. 14 und 26) auf algebraische Zahlen ausgedehnt werden sollen.

## Zweiter Abschnitt.

### Multiplikation und Division.

#### I. Multiplikation mit absoluten ganzen Zahlen.

§. 35. 1. Eine Zahl  $a$  mit einer Zahl  $b$  multiplicieren heißt,  $a$  so vielmal als Summand setzen, als  $b$  Einheiten enthält. Man nennt  $a$  den Multiplieand,  $b$  den Multiplikator und beide Factoren; die Zahl, welche man durch das Multiplizieren erhält, heißt das Product. Das Product ist demnach eine Summe gleicher Summanden; der Multiplieand ist einer dieser gleichen Summanden; der Multiplikator zeigt an, wie viele solche Summanden gesetzt werden sollen. Der Multiplieand kann eine benannte Zahl sein; der Multiplikator ist immer eine unbenannte Zahl. Das Product aus dem Multiplieand  $a$  und dem Multiplikator  $b$  bezeichnet man durch  $a \times b$ , oder  $a \cdot b$  (d. i.  $a$   $b$  mal), oder, wenn beide Factoren allgemeine Zahlen sind, auch bloß durch  $a b$ .

Das Product zweier ganzer Zahlen wird auch ein Vielfaches des Multiplieands genannt. Z. B.  $12 = 4 \cdot 3$ ; 12 ist das 3fache von 4.

Folgesätze. a) Ist der Multiplieand 1, so ist das Product dem Multiplikator gleich.

b) Ist der Multiplieand 0, so ist auch das Product 0.

$$a) 1 \cdot a = a,$$

$$b) 0 \cdot a = 0.$$

2. Unter dem Producte mehrerer Zahlen versteht man das Product, welches erhalten wird, indem man das Product der beiden ersten Zahlen mit der dritten, das neue Product mit der vierten Zahl, u. s. w. multipliciert. Hiernach ist

$$a \cdot b \cdot c = (a b) \cdot c,$$

$$a \cdot b \cdot c \cdot d = [(a b) \cdot c] \cdot d, \text{ u. s. w.}$$

§. 36. Ein Product, dessen Factoren einander gleich sind, wird abgekürzt dadurch bezeichnet, daß man nur einen Factor anschreibt und ihm rechts oben die Zahl beisetzt, welche anzeigt, wie vielmal derselbe vorkommt; z. B.:

$$a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot a = a^5.$$

Ein Product gleicher Factoren heißt eine Potenz; die Anzahl der gleichen Factoren heißt der Potenzexponent, auch bloß Exponent, und der Factor, der so vielmal vorkommt, als der Exponent anzeigt, die Basis oder Grundzahl. In der Potenz  $a^m$ , welche gelesen wird: „a zur mten“ (Potenz erhoben) oder „a mit m potenziert“, ist a die Basis, m der Exponent. Die zweite Potenz  $a^2$  nennt man insbesondere auch das Quadrat, die dritte  $a^3$  den Cubus von a.

Wenn in einem mehrgliedrigen Ausdrucke mehrere Potenzen derselben Basis vorkommen, so pflegt man wegen der leichteren Übersicht die einzelnen Glieder nach den Potenzexponenten zu ordnen, indem man entweder mit der höchsten Potenz anfängt und dann immer niedrigere Potenzen folgen lässt, oder indem man von der niedrigsten Potenz der gemeinsamen Basis zu immer höheren Potenzen übergeht. Im ersten Falle heißt der Ausdruck nach fallenden, im zweiten nach steigenden Potenzen der gemeinsamen Basis geordnet. So ist z. B. der Ausdruck

$$x^4 - 4x^3y + 6x^2y^2 - 4xy^3 + y^4$$

nach fallenden Potenzen von x, und zugleich nach steigenden Potenzen von y geordnet.

§. 37. Ein Product bleibt unverändert, wenn man die Factoren unter einander vertauscht. (Das Commutationsgesetz der Multiplication.)

Es sei a mit b zu multiplicieren. Bildet man b Reihen, deren jede a Einheiten enthält, nämlich

$$\begin{array}{r} 1 + 1 + 1 + 1 + \dots \text{ (a mal)} \\ + 1 + 1 + 1 + 1 + \dots \\ + 1 + 1 + 1 + 1 + \dots \\ + \dots \dots \dots \dots \dots \\ \text{(b mal),} \end{array}$$

so erhält man offenbar gleich viele Einheiten, ob man die Einheiten aller Horizontalreihen, oder die Einheiten aller Verticalreihen zählt. Im ersten Falle erhält man a b mal, also  $a \cdot b$ , im zweiten b a mal, also  $b \cdot a$ . Es ist daher

$$a \cdot b = b \cdot a.$$

Der Satz gilt auch für jede beliebige Zahl von Factoren. Da nämlich in dem Producte mehrerer Factoren je zwei auf einander folgende Factoren bei ungeänderter Stellung der übrigen vertauscht werden dürfen, so kann durch wiederholtes Vertauschen zweier solcher Factoren jeder Factor an jede vorgeschriebene Stelle gebracht werden. So ist z. B. für drei Factoren

$$a \cdot b \cdot c = a \cdot c \cdot b = c \cdot a \cdot b = c \cdot b \cdot a = b \cdot c \cdot a = b \cdot a \cdot c.$$

Hier wurde vorausgesetzt, daß die Factoren unbenannt sind. Ist der Multiplicand eine benannte Zahl  $aE$ , wo E die Benennung bezeichnet, so hat man  $aE \cdot b = (ab)E = (ba)E$ ; allein es ist auch  $bE \cdot a = (ba)E$ ,

folglich  $aE.b + bE.a$  (§. 8, 2). Man darf also auch in diesem Falle die Factoren verwechseln, sobald dabei die Benennung des Multiplicands auf den früheren Multiplicator, der nun als Multiplicand auftritt, übertragen wird. Z. B.:  $8 \text{ fl.} \times 5 = 5 \text{ fl.} \times 8 = 40 \text{ fl.}$

**Folgesatz.** Der Coefficient kann als Factor der Hauptgröße, vor welcher er steht, betrachtet werden.

$$3a = a + a + a = a.3 = 3.a.$$

**Zusatz.** Damit dem Commutationsgesetze der Multiplication allgemeine Giltigkeit gewahrt bleibe, muß man auch

$$1.a = a.1 \quad \text{und} \quad 0.a = a.0$$

annehmen dürfen. Dadurch erhalten dann auch die Ausdrücke  $a.1$  und  $a.0$ , welche nach der im §. 35 gegebenen Erklärung der Multiplication keinen Sinn haben, ihre ganz bestimmte Bedeutung. Es ist nämlich

$$a.1 = 1.a = a \quad \text{und} \quad a.0 = 0.a = 0; \text{ d. h.}$$

(a) Eine Zahl mit 1 multipliciert gibt sich selbst zum Producte.

(b) Eine Zahl mit 0 multipliciert gibt 0 zum Producte.

**Verbindung der Multiplication mit sich selbst.**

§. 38. 1. Ein Product wird mit einer Zahl multipliciert, indem man einen Factor mit ihr multipliciert.

$$(ab).c = (ac).b = a.(bc).$$

2. Eine Zahl wird mit einem Producte multipliciert, indem man sie mit dem einen Factor, und das erhaltene Product mit dem andern Factor multipliciert.

$$a.(bc) = (ab).c = (ac).b.$$

Diese zwei Sätze, welche die Associationsgesetze der Multiplication heißen, folgen unmittelbar aus dem in §. 37 erwiesenen Commutationsgesetze.

§. 39. <sup>Mittel</sup> Potenzen derselben Basis werden multipliciert, indem man die gemeinsame Basis mit der Summe der Exponenten potenziert.

$$a^m.a^n = a^{m+n}.$$

**Beweis.**  $a^m.a^n = a.a.a\dots (m \text{ mal}) .a.a.a\dots (n \text{ mal})$   
 $= a.a.a\dots (m+n) \text{ mal} = a^{m+n}.$

**Verbindung der Multiplication mit der Addition und Subtraction.**

§. 40. 1. Eine Summe wird mit einer Zahl multipliciert, indem man jeden Summanden mit dieser Zahl multipliciert und die Theilproducte addiert.

$$(a + b).m = am + bm.$$

$$\begin{aligned} \text{Beweis. } (a + b) \cdot m &= (a + b) + (a + b) + (a + b) + \dots (m \text{ mal}) \\ &= a + a + a + \dots (m \text{ mal}) + b + b + b + \dots (m \text{ mal}) \quad (\S. 11) \\ &= am + bm. \end{aligned}$$

2. Umgekehrt: Zwei Producte, welche einen gemeinsamen Factor haben, werden addiert, indem man die Summe der nicht gemeinsamen Factoren mit dem gemeinsamen Factor multipliciert.

$$am + bm = (a + b) \cdot m.$$

§. 41. 1. Eine Differenz wird mit einer Zahl multipliciert, indem man den Minuend und den Subtrahend mit dieser Zahl multipliciert und das zweite Product vom ersten subtrahiert.

$$(a - b) \cdot m = am - bm.$$

Der Beweis wird ähnlich wie zu §. 40, 1 geführt.

2. Umgekehrt: Zwei Producte, welche einen gemeinsamen Factor haben, werden subtrahiert, indem man die Differenz der nicht gemeinsamen Factoren mit dem gemeinsamen Factor multipliciert.

$$am - bm = (a - b) \cdot m.$$

Die durch §. 40, 2 und §. 41, 2 ausgedrückten Operationen nennt man das Herausheben des gemeinsamen Factors.

§. 42. 1. Eine Zahl wird mit einer Summe multipliciert, indem man sie mit jedem Summanden multipliciert und die Theilproducte addiert.

$$a \cdot (m + n) = am + an.$$

$$\text{Beweis. } a \cdot (m + n) = (m + n) \cdot a \quad (\S. 37) = ma + na \quad (\S. 40, 1)$$

$$= am + an \quad (\S. 37).$$

2. Eine Zahl wird mit einer Differenz multipliciert, indem man sie mit dem Minuend und dem Subtrahend multipliciert und von dem ersten Producte das zweite subtrahiert.

$$a \cdot (m - n) = am - an.$$

Der Beweis ist dem vorigen analog.

Die in den §§. 40—42 angeführten Sätze heißen die Distributionsgesetze der Multiplication.

§. 43. 1. Ein mehrgliedriger Ausdruck wird mit einer Zahl multipliciert, indem man jedes Glied desselben mit dieser Zahl multipliciert und den einzelnen Producten die Zeichen der Glieder des Multiplicands gibt.

$$(a - b - c + d - e) \cdot f = af - bf - cf + df - ef.$$

Folgt aus §. 40, 1 und §. 41, 1.

2. Eine Zahl wird mit einem mehrgliedrigen Ausdruck multipliciert, indem man sie mit jedem Gliede desselben multipliciert und die einzelnen Producte additiv oder subtractiv zusammenstellt, je nachdem sie aus der Multiplication mit additiven oder subtractiven Gliedern hervorgehen.

$$a \cdot (b - c - d + e - f) = ab - ac - ad + ae - af.$$

Folgt aus §. 42.

3. Ein mehrgliedriger Ausdruck wird mit einem mehrgliedrigen Ausdrucke multipliciert, indem man den ganzen Multiplicand, d. i. jedes Glied desselben, mit jedem Gliede des Multiplicators multipliciert und die einzelnen Producte additiv oder subtractiv zusammenstellt, je nachdem die bezüglichen Factoren gleiche oder verschiedene Rechnungszeichen haben.

$$(a - b + c) \cdot (d - e - f) = ad - bd + cd - ae + be - ce - af + bf - cf.$$

Folgt aus 1 und 2.

§. 44. Bei mehrgliedrigen Ausdrücken, welche nach den Potenzen derselben Basis fortschreiten, erhält man, wenn dieselben gleichartig geordnet sind, durch die Multiplication des Multiplicands mit den einzelnen Gliedern des Multiplicators Theilproducte, welche ebenso geordnet sind. Man schreibt diese Theilproducte, um sie leichter zu reduciren, so an, daß ihre gleichnamigen Glieder unter einander zu stehen kommen. B. V.:

$$\begin{array}{r} 4a^2 - 3a - 4 \text{ Multiplicand} \\ 3a^2 - 7a + 5 \text{ Multiplicator} \\ \hline 12a^4 - 9a^3 - 12a^2 \\ - 28a^3 + 21a^2 + 28a \\ + 20a^2 - 15a - 20 \\ \hline 12a^4 - 37a^3 + 29a^2 + 13a - 20 \text{ Product.} \end{array}$$

Zusatz. Insbesondere erhält man:

1.  $(a + b)^2 = (a + b) \cdot (a + b) = a^2 + 2ab + b^2$ , und

2.  $(a - b)^2 = (a - b) \cdot (a - b) = a^2 - 2ab + b^2$ ; d. h.

Das Quadrat der Summe oder der Differenz zweier Zahlen ist gleich der Summe der Quadrate dieser Zahlen, bezüglich vermehrt oder vermindert um das doppelte Product derselben.

3.  $(a + b)(a - b) = a^2 - b^2$ ; d. h.

Das Product aus der Summe und der Differenz zweier Zahlen ist gleich der Differenz ihrer Quadrate.

4.  $(a^3 - ab + b^2)(a + b) = a^3 + b^3$ .

5.  $(a^2 + ab + b^2)(a - b) = a^3 - b^3$ .

6.  $(a^3 - a^2b + ab^2 - b^3)(a + b) = a^4 - b^4$ .

7.  $(a^3 + a^2b + ab^2 + b^3)(a - b) = a^4 - b^4$ .

§. 45. Aus den Sätzen der vorhergehenden Paragraphen lassen sich für die Bestimmung des Productes von irgend zwei Gliedern beliebiger Ausdrücke folgende Regeln zusammenfassen:

1. Rücksichtlich des Zeichens ist das Product zweier Glieder additiv oder subtractiv zu setzen, je nachdem diese Glieder gleiche oder verschiedene Rechnungszeichen haben.

2. Der Coefficient des Productes zweier Glieder ist das Product aus den Coefficienten dieser Glieder; denn

$$3a \cdot 4b = 3 \cdot a \cdot 4 \cdot b = 3 \cdot 4 \cdot a \cdot b = 12ab.$$

3. Die Hauptgröße des Productes zweier Glieder erhält man, indem man die Factoren, welche in den Hauptgrößen dieser Glieder vorkommen (in alphabetischer Ordnung) neben einander stellt.

**Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Multiplication.**

§. 46. 1. Gleiches mit Gleichem multipliciert gibt Gleiches.

Ist  $a = b$  und  $c = d$ , so ist  $ac = bd$  (§. 8, 3).

2. Gleiches mit Ungleichem multipliciert gibt Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a = b$  und  $c > d$ , so ist  $ac > bd$ .

**Beweis.** Es sei  $c = d + w$ , so ist (nach 1)  $ac = b(d + w)$ , oder  $ac = bd + bw$  (§. 42, 1). Nun ist  $bd + bw > bd$  (§. 8, 5), somit auch  $ac > bd$ .

3. Ungleiches mit Ungleichem bei demselben Ungleichheitszeichen multipliciert gibt Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und  $c > d$ , so ist  $ac > bd$ .

Der Beweis ist unter Zugziehung von 2 und §. 42, 1 dem vorigen ähnlich.

## II. Division mit absoluten ganzen Zahlen.

§. 47. Eine Zahl  $a$  durch eine Zahl  $b$  dividieren heißt, aus  $a$  als dem Producte zweier Zahlen und  $b$  als dem einen der Factoren den andern Factor suchen. Man nennt das gegebene Product  $a$  den Dividend, den gegebenen Factor  $b$  den Divisor, den gesuchten Factor den Quotienten, und bezeichnet den letzteren mit  $a : b$  oder  $\frac{a}{b}$ .

Ein Quotient ist also ein Ausdruck für diejenige Zahl, welche mit dem Divisor multipliciert den Dividend gibt; oder es ist

$$\frac{a}{b} \cdot b = a.$$

Die Division ist, wenn der Multiplicator als Divisor gegeben ist, im Begriffe wesentlich verschieden von der Division, in welcher der Multiplicand als Divisor gegeben ist. Im ersten Falle ist die Division ein Theilen, wobei der Theil gesucht wird, welcher so vielmal genommen, wie der Divisor anzeigt, den Dividend hervorbringt; der Divisor ist in diesem Falle eine unbekannte Zahl, der Dividend kann auch eine Benennung haben, welche dann auch der Quotient erhält. Z. B. 15 fl. : 3 = 5 fl. Im zweiten Falle ist die Division ein Messen (Verhältnis), wobei untersucht wird, wie vielmal der Divisor in dem Dividend enthalten ist; ist hier der Dividend benannt, so

muss auch der Divisor benannt, und zwar mit dem Dividend gleichnamig sein; der Quotient ist eine unbenannte Zahl. Z. B. 15 fl. : 3 fl. = 5.

Der Quotient, als reine Zahl betrachtet, ist jedoch bei gleichem Dividend und gleichem Divisor in beiden Fällen derselbe (§. 37), so dass man bei der Entwicklung der Divisionsgesetze diese beiden Arten der Division nicht weiter zu unterscheiden braucht.

Um die Division auszuführen, sucht man entweder in der Zahlenreihe diejenige Zahl auf, welche so vielmal gesetzt, wie der Divisor anzeigt, den Dividend gibt; oder man subtrahiert wiederholt den Divisor zuerst vom Dividend, dann von dem jedesmal erhaltenen Reste so oft als möglich; die Zahl, welche anzeigt, wie vielmal die Subtraction verrichtet werden kann, ist der Quotient. Die Division zweier Zahlen kann an der natürlichen Zahlenreihe nur dann ausgeführt werden, wenn der Dividend ein Vielfaches des Divisors (§. 35, 1) ist.

Wir werden daher bei den folgenden Sätzen vorläufig voraussetzen, dass die Dividenten der vorkommenden Quotienten Vielfache ihrer Divisoren sind.

§. 48. **Folgesätze.** 1. Multipliziert man den Quotienten zweier Zahlen mit dem Divisor, so erhält man den Dividend.

$$(a : b) \cdot b = a; \quad b \cdot (a : b) = a.$$

2. Dividirt man das Product zweier Zahlen durch den einen Factor, so erhält man den andern Factor.

$$ab : a = b; \quad ab : b = a.$$

3. Eine Zahl bleibt unverändert, wenn man sie mit einer Zahl multipliciert und durch dieselbe Zahl dividirt.

$$a = (ab) : b; \quad a = (a : b) \cdot b.$$

Die Multiplication und die Division sind demnach einander entgegengesetzt; letztere ist eine inverse Operation der ersteren, und zwar die einzige, da es wegen der Vertauschbarkeit zweier Factoren gleichgiltig ist, ob der erste Factor oder der zweite gesucht wird.

4. Jede Zahl durch sich selbst dividirt gibt 1 zum Quotienten.

$$a : a = 1; \quad \text{denn } 1 \cdot a = a.$$

5. Jede Zahl durch 1 dividirt gibt sich selbst zum Quotienten.

$$a : 1 = a; \quad 1 : 1 = 1.$$

6. Ein Quotient, dessen Dividend Null, und dessen Divisor von Null verschieden ist, ist gleich Null.

$$0 : a = 0; \quad \text{denn } 0 \cdot a = 0.$$

7. Ein Quotient, dessen Dividend von Null verschieden, und dessen Divisor Null ist, ist unmöglich.

$a : 0$  oder  $\frac{a}{0}$  ist, wenn  $a$  nicht Null ist, unmöglich; denn es gibt keine Zahl, welche mit 0 multipliciert, das Product  $a$  gibt.

8. Ein Quotient, dessen Dividend und Divisor Null sind, ist unbestimmt.

$0 : 0 = a$ , wo  $a$  eine beliebige Zahl bedeutet; denn  $a \cdot 0 = 0$ .  
Der Ausdruck  $\frac{0}{0}$  ist daher ein Symbol der Unbestimmtheit.

Verbindung der Division mit sich selbst und mit der Multiplication.

§. 49. Ein Product wird durch eine Zahl dividirt, indem man einen der Factoren durch sie dividirt.

$$\frac{ab}{c} = \frac{a}{c} \cdot b = a \cdot \frac{b}{c} \quad ab : c = a : c \cdot b = a \cdot b : c$$

**Beweis.** a) Ist  $\frac{a}{c} \cdot b$  der richtige Quotient der Zahlen  $ab$  und  $c$ , so muß er mit dem Divisor  $c$  multiplicirt, den Dividend  $ab$  geben (§. 47).  
Nun ist wirklich

$$\left\{ \frac{a}{c} \cdot b \right\} \cdot c = \left\{ \frac{a}{c} \cdot c \right\} \cdot b \quad (\S. 38, 1) = a \cdot b \quad (\S. 48, 1).$$

b) Ebenso ist auch  $a \cdot \frac{b}{c}$  ein richtiger Ausdruck für den Quotienten  $\frac{ab}{c}$ ; denn

$$\left\{ a \cdot \frac{b}{c} \right\} \cdot c = a \cdot \left\{ \frac{b}{c} \cdot c \right\} \quad (\S. 38, 1) = a \cdot b \quad (\S. 48, 1).$$

**Folgesatz.** Soll eine Zahl mit einer zweiten multiplicirt und durch eine dritte dividirt werden, so ist es gleichgiltig, in welcher Reihenfolge man multiplicirt und dividirt.

§. 50. Ein Quotient wird mit einer Zahl multiplicirt, indem man den Dividend mit ihr multiplicirt oder den Divisor durch sie dividirt.

$$\frac{a}{b} \cdot c = \frac{ac}{b} = \frac{a}{b : c}.$$

**Beweis.** Daß  $\frac{a}{b} \cdot c = \frac{ac}{b}$  ist, ergibt sich aus §. 49, Folges.

Aus der Erklärung eines Quotienten (§. 47) läßt sich ferner folgern, daß auch  $\frac{a}{b : c} = \frac{a}{b} \cdot c$  ist; denn

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{a}{b : c} \right\} \cdot (b : c) &= \frac{a}{b} \cdot \left\{ c \cdot (b : c) \right\} \quad (\S. 38, 1) \\ &= \frac{a}{b} \cdot b \quad (\S. 48, 1) = a. \end{aligned}$$

§. 51. Ein Quotient wird durch eine Zahl dividirt, indem man den Dividend durch sie dividirt, oder den Divisor mit ihr multiplicirt.

$$\frac{a}{b} : c = \frac{a : c}{b} = \frac{a}{b \cdot c}.$$

**Beweis.** Beide Formen des Quotienten entsprechen der in §. 47 aufgestellten Erklärung desselben. Denn es ist

$$\frac{a:c}{b} \cdot c = \frac{(a:c) \cdot c}{b} \quad (\S. 50) = \frac{a}{b} \quad (\S. 48, 1), \text{ und auch}$$

$$\frac{a}{bc} \cdot c = \frac{a}{bc:c} \quad (\S. 50) = \frac{a}{b} \quad (\S. 48, 2).$$

**Folgesatz.** Soll eine Zahl durch zwei Zahlen dividirt werden, so darf man entweder durch dieselben einzeln in beliebiger Reihenfolge, oder auch sogleich durch ihr Product dividieren.

**§. 52. 1.** Eine Zahl wird durch ein Product dividirt, indem man sie durch den einen Factor, und den erhaltenen Quotienten durch den andern Factor dividirt.

$$\frac{a}{bc} = \frac{a}{b} : c = \frac{a}{b} : b.$$

Ergibt sich durch Umkehrung der in §. 51 bewiesenen Gleichungen.

2. Eine Zahl wird mit einem Quotienten multiplicirt, indem man sie mit dem Dividend multiplicirt und durch den Divisor dividirt.

$$a \cdot \frac{b}{c} = \frac{ab}{c} = \frac{a}{c} \cdot b.$$

Folgt durch Umkehrung der Gleichungen in §. 49.

3. Eine Zahl wird durch einen Quotienten dividirt, indem man sie durch den Dividend dividirt und mit dem Divisor multiplicirt.

$$a : \frac{b}{c} = \frac{a}{b} \cdot c = \frac{ac}{b}.$$

Ergibt sich durch Umkehrung aus §. 50.

**§. 53. 1.** Ein Product bleibt unverändert, wenn man den einen Factor mit einer Zahl multiplicirt und den andern durch dieselbe Zahl dividirt.

$$ab = ac \cdot (b:c) = (a:c) \cdot bc.$$

Es ist

$$ab = a \cdot \{(b:c) \cdot c\} \quad (\S. 48, 3) = ac \cdot (b:c) \quad (\S. 38, 2);$$

$$ab = a \cdot \{(b \cdot c) : c\} \quad (\S. 48, 3) = (a:c) \cdot bc \quad (\S. 52, 2).$$

2. Ein Quotient bleibt unverändert, wenn man den Dividend und den Divisor mit derselben Zahl multiplicirt oder beide durch dieselbe Zahl dividirt.

$$\frac{a}{b} = \frac{ac}{bc} = \frac{a:b}{b:c}.$$

Es ist

$$\frac{a}{b} = \frac{a}{bc:c} \quad (\S. 48, 3) = \frac{ac}{bc} \quad (\S. 52, 3);$$

$$\frac{a}{b} = \frac{a}{(b:c) \cdot c} \quad (\S. 48, 3) = \frac{a:c}{b:c} \quad (\S. 52, 1).$$

Die voranstehenden Sätze über die Division §§. 49—53 sind ganz analog den Sätzen über die Subtraction §§. 17—21.

**§. 54.** Potenzen derselben Basis werden dividirt, indem man von dem Exponenten des Dividends den Exponenten des Divisors

subtrahiert und die gemeinsame Basis mit der Differenz der Exponenten potenziert.

$$a^m : a^n = a^{m-n}.$$

**Beweis.** Damit hier die Division nach §. 47 ausführbar sei, muß vorausgesetzt werden, daß  $n$  nicht größer als  $m$  sei. Man setze  $m = n + w$ , oder  $m - n = w$ , wo auch  $w = 0$  sein kann; dann ist

$$\begin{aligned} a^m : a^n &= a^{n+w} : a^n = a^n \cdot a^w : a^n \quad (\S. 39) \\ &= a^w \quad (\S. 48, 2) = a^{m-n}. \end{aligned}$$

**Zusatz.** Nach diesem Satze ist

$$a^{n+1} : a^n = a^1 \quad \text{und} \quad a^n : a^n = a^0.$$

Da aber die Ausdrücke  $a^1$  und  $a^0$  nach der im §. 36 gegebenen Erklärung einer Potenz keinen Sinn haben, so muß für dieselben, damit der obige Satz auch für die angeführten zwei Fälle Geltung behalte, erst die Bedeutung festgestellt werden. Nach den bisher entwickelten Divisionsgesetzen ist nun  $a^{n+1} : a^n = a$  und  $a^n : a^n = 1$ ; folglich ist  $a^1$  gleichbedeutend mit  $a$ , und  $a^0$  gleichbedeutend mit  $1$ .

a) Die erste Potenz einer Zahl ist dieser Zahl selbst gleich.

b) Die nullte Potenz einer Zahl ist gleich  $1$ .

### Verbindung der Division mit der Addition und Subtraction.

§. 55. 1. Eine Summe wird durch eine Zahl dividiert, indem man jeden Summanden durch sie dividiert und die so erhaltenen Theilquotienten addiert.

$$\frac{a+b}{m} = \frac{a}{m} + \frac{b}{m}.$$

**Beweis.**  $\left\{ \frac{a}{m} + \frac{b}{m} \right\} \cdot m = \frac{a}{m} \cdot m + \frac{b}{m} \cdot m \quad (\S. 40, 1) = a + b \quad (\S. 48, 1).$

2. Umgekehrt: Zwei Quotienten mit gleichem Divisor werden addiert, indem man die Summe ihrer Dividenden durch den gemeinsamen Divisor dividiert.

§. 56. 1. Eine Differenz wird durch eine Zahl dividiert, indem man den Minuend und den Subtrahend durch dieselbe dividiert und von dem ersten Quotienten den zweiten subtrahiert.

$$\frac{a-b}{m} = \frac{a}{m} - \frac{b}{m}.$$

**Beweis.**  $\left\{ \frac{a}{m} - \frac{b}{m} \right\} \cdot m = \frac{a}{m} \cdot m - \frac{b}{m} \cdot m \quad (\S. 41, 1) = a - b \quad (\S. 48, 1).$

2. Umgekehrt: Zwei Quotienten mit gleichem Divisor werden subtrahiert, indem man die Differenz ihrer Dividenden durch den gemeinsamen Divisor dividiert.

§. 57. Ein mehrgliedriger Ausdruck wird durch eine Zahl dividiert, indem man jedes Glied desselben durch diese Zahl dividiert und den einzelnen Quotienten die Rechnungszeichen der Glieder des Dividends gibt.

$$\frac{a - b - c + d - e}{m} = \frac{a}{m} - \frac{b}{m} - \frac{c}{m} + \frac{d}{m} - \frac{e}{m}.$$

Die Richtigkeit dieses Satzes ergibt sich aus §. 55, 1 und 56, 1.

§. 58. Es sei der Quotient  $\frac{A}{B}$ , wo A und B mehrgliedrige, und zwar gleichartig geordnete Ausdrücke bedeuten, zu entwickeln. Da der Dividend A das Product aus dem Divisor B und dem Quotienten ist, so ist nach §. 43, 3 und §. 44 das erste Glied in A das Product aus dem ersten Gliede in B und dem ersten Gliede im Quotienten. Man findet daher das erste Glied q des Quotienten, indem man das erste Glied des Dividends durch das erste Glied des Divisors dividirt, und es ist

$$\frac{A}{B} = q + x,$$

wo x den noch fehlenden Theil des Quotienten vorstellt. Zur Bestimmung von x hat man

$$x = \frac{A}{B} - q = \frac{A}{B} - \frac{Bq}{B} \text{ (§. 48, 3)} = \frac{A - Bq}{B} \text{ (§. 56, 2);}$$

daher ist

$$\frac{A}{B} = q + \frac{A - Bq}{B}.$$

Man erhält also den noch fehlenden Theil des Quotienten, indem man mit dem ersten Gliede des Quotienten den Divisor multipliciert, das erhaltene Product von dem Dividend subtrahiert und den Rest durch den Divisor dividirt.

Auf der wiederholten Anwendung der Formel  $\frac{A}{B} = q + \frac{A - Bq}{B}$  beruhet nun folgendes Verfahren für das Dividieren zweier mehrgliedriger Ausdrücke:

Man dividire, nachdem die Glieder des Dividends und des Divisors gleichartig geordnet wurden, das erste Glied des Dividends durch das erste Glied des Divisors; dadurch erhält man das erste Glied des Quotienten; mit diesem Theilquotienten multipliciere man den ganzen Divisor und subtrahiere das Product vom ganzen Dividend. Mit dem Reste verfähre man dann ebenso, wie mit dem ursprünglichen Dividend, um das zweite Glied des Quotienten zu erhalten, u. s. f.

$$\text{3. B.: } (3a^2 - 4ab - 4b^2) : (3a + 2b) = a - 2b$$

$$\begin{array}{r} 3a^2 + 2ab \\ - \quad - \\ \hline -6ab - 4b^2 \\ -6ab - 4b^2 \\ \hline + \quad + \\ \hline 0 \end{array}$$

**Zusatz.** Insbesondere erhält man:

$$(a^2 - b^2) : (a + b) = a - b, \text{ und}$$

$$(a^2 - b^2) : (a - b) = a + b; \text{ d. h.}$$

Die Differenz der Quadrate zweier Zahlen dividirt durch die Summe oder die Differenz dieser Zahlen gibt bezüglich die Differenz oder die Summe derselben Zahlen.

§. 59. Mit Rücksicht auf die vorhergehenden Sätze lassen sich zur Bestimmung des Quotienten zweier Glieder beliebiger Ausdrücke folgende Regeln zusammenstellen:

1. Bezüglich des Zeichens ist der Quotient zweier Glieder additiv oder subtractiv zu setzen, je nachdem die beiden Glieder gleiche oder verschiedene Rechnungszeichen haben. (Folgt aus §. 43 und §. 48, 2.)

2. Der Coefficient des Quotienten zweier Glieder ist der Quotient der Coefficienten dieser Glieder.

3. Die Hauptgröße des Quotienten zweier Glieder ist die Hauptgröße des Dividends nach Weglassung derjenigen Factoren, welche auch im Divisor vorkommen, und zwar in gleicher Anzahl, als sie im Divisor enthalten sind.

### Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Division.

§. 60. 1. Gleiches durch Gleiches dividirt gibt Gleiches.

Ist  $a = b$  und  $c = d$ , so ist  $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$  (§. 8, 3).

2. Ungleiches durch Gleiches dividirt gibt Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und  $c = d$ , so ist  $\frac{a}{c} > \frac{b}{d}$ .

**Beweis.** Wäre nicht  $\frac{a}{c} > \frac{b}{d}$ , so müßte  $\frac{a}{c} \leq \frac{b}{d}$  sein; dann wäre bezüglich auch  $\frac{a}{c} \cdot c \leq \frac{b}{d} \cdot d$  (§. 46, 1 und 2), daher  $a \leq b$  (§. 48, 1), was gegen die Voraussetzung ist.

3. Gleiches durch Ungleiches dividirt gibt Ungleiches mit entgegengesetztem Ungleichheitszeichen.

Ist  $a = b$  und  $c > d$ , so ist  $\frac{a}{c} < \frac{b}{d}$ .

**Beweis.** Wäre  $\frac{a}{c} \geq \frac{b}{d}$ , so müßte in beiden Fällen  $\frac{a}{c} \cdot c > \frac{b}{d} \cdot d$  (§. 46, 2 und 3), daher  $a > b$  (§. 48, 1) sein, was gegen die Voraussetzung ist.

4. Ungleiches durch Ungleiches mit entgegengesetztem Ungleichheitszeichen dividirt gibt Ungleiches mit dem ersten Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und  $c < d$ , so ist  $\frac{a}{c} > \frac{b}{d}$ .

**Beweis.** Wäre  $\frac{a}{c} \leq \frac{b}{d}$ , so müßte in beiden Fällen  $\frac{a}{c} \cdot c < \frac{b}{d} \cdot d$  (§. 46, 2 und 4), daher  $a < b$  (§. 48, 1) sein, was gegen die Voraussetzung ist.

### III. Multiplication und Division mit algebraischen ganzen Zahlen.

§. 61. Ist der Multiplikator eine positive Zahl  $+n$ , also gleich der absoluten Zahl  $n$ , so ergibt sich schon aus der allgemeinen Erklärung der Multiplication in §. 35:

$$\begin{aligned} (+a) \cdot (+n) &= (+a) \cdot n = +a + a + a + \dots (n \text{ mal}) = +an, \text{ und} \\ (-a) \cdot (+n) &= (-a) \cdot n = -a - a - a - \dots (n \text{ mal}) = -an. \end{aligned}$$

Dagegen hat die Multiplication mit einem negativen Multiplikator  $-n$  nach der obigen Erklärung keinen Sinn. Damit auch eine solche Multiplication Bedeutung erhalte, darf man nur den durch die Formel  $a(m-n) = am - an$  ausgedrückten Satz, der in §. 42, 2 für  $m > n$  bewiesen wurde, auch dann als fortbestehend gelten lassen, wenn  $m = 0$  wird. Man erhält dann

$$\begin{aligned} (+a) \cdot (-n) &= (+a) \cdot (0 - n) = a \cdot 0 - an = 0 - an = -an, \text{ und} \\ (-a) \cdot (-n) &= (-a) \cdot (0 - n) = -a \cdot 0 - (-a \cdot n) = 0 - (-an) \\ &= 0 + an = +an. \end{aligned}$$

Mit einer negativen Zahl multiplicieren heißt demnach, das Entgegengesetzte des Multiplicands mit dem absoluten Werte des Multiplikators multiplicieren.

Die voranstehenden Ergebnisse

$$\begin{aligned} (+a) \cdot (+n) &= +an, & (-a) \cdot (+n) &= -an, \\ (-a) \cdot (-n) &= +an, & (+a) \cdot (-n) &= -an. \end{aligned}$$

kann man in den folgenden Satz zusammenfassen:

Zwei gleich bezeichnete Factoren geben ein positives, zwei ungleich bezeichnete Factoren geben ein negatives Product.

Folgesätze. 1. Das Product zweier algebraischer Zahlen bleibt ungeändert, wenn man dieselben unter einander vertauscht.

Es ist  $\pm a \cdot +b = \pm ab$ , und  $+b \cdot \pm a = \pm ba = \pm ab$  (§. 36); daher  $\pm a \cdot +b = +b \cdot \pm a$ . Ebenso folgt  $\pm a \cdot -b = -b \cdot \pm a$ .

2. Das Product von beliebig vielen positiven Zahlen ist positiv.

3. Das Product von lauter negativen Zahlen ist positiv, wenn die Anzahl der Factoren ein Vielfaches von 2 ist, sonst negativ.

§. 62. Für die Division algebraischer Zahlen gilt der Satz:

Der Quotient zweier algebraischer Zahlen ist positiv oder negativ, je nachdem dieselben gleiche oder verschiedene Vorzeichen haben.

$$\begin{aligned} (+a) : (+b) &= +q, & (-a) : (+b) &= -q, \\ (+a) : (-b) &= -q, & (-a) : (-b) &= +q, \end{aligned}$$

wo  $q$  den absoluten Wert des Quotienten darstellt.

**Beweis.** Ist der Dividend (das Product) positiv, so müssen, wie aus §. 61 folgt, der Divisor und der Quotient (die beiden Factoren) gleich bezeichnet sein; also ist  $(+ a) : (+ b) = + q$  und  $(+ a) : (- b) = - q$ .

Ist der Dividend negativ, so müssen Divisor und Quotient verschiedene Vorzeichen haben; also ist  $(- a) : (+ b) = - q$  und  $(- a) : (- b) = + q$ .

§. 63. Alle für die Producte und Quotienten absoluter Zahlen erwiesenen Sätze lassen sich aus den Commutationsgesetzen

$$a + b = b + a \text{ (§. 11) und}$$

$$a \cdot b = b \cdot a \text{ (§. 37),}$$

wo  $a$  und  $b$  absolute ganze Zahlen bedeuten, durch bloße Umformungen herleiten. Da nun diese zwei Gesetze auch für algebraische Zahlen richtig sind (§. 32, 3 und §. 61, Folges. 1), so gelten alle für absolute ganze Zahlen bewiesenen Sätze über die Producte und Quotienten auch für algebraische ganze Zahlen.

Insbondere gelten die Sätze über die Multiplication und Division mehrgliedriger Ausdrücke (§§. 43—45 und 57—59) auch für algebraische Summen; nur müssen die additiven und subtractiven Glieder (mit Rücksicht auf §. 33) hier als positive und negative Summanden betrachtet werden.

In Beziehung auf die Sätze über die Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen (§. 46 und 60) gilt die in §. 34, Zuf. 2, gemachte Bemerkung.

## IV. Zahlensysteme.

### Zahlensysteme überhaupt.

§. 64. Unter einem Zahlensystem versteht man eine solche Darstellung der besonderen Zahlen, mittelst welcher nach einem bestimmten Gesetze durch verhältnismäßig wenige Zahlwörter und Zahlzeichen jede beliebig große Zahl ausgedrückt werden kann.

Um ein Zahlensystem zu bilden, zählt man in der natürlichen Zahlenreihe nur bis zu einer bestimmten, jedoch 1 überschreitenden Zahl  $b$ , welche man noch unmittelbar auffassen will, und welche die Grundzahl oder Basis des Zahlensystems heißt. Betrachtet man diese als eine neue Einheit und kommt dann beim weiteren Zählen auf eine Zahl, welche diese neue Einheit so vielmal enthält, wie die Basis anzeigt, also auf die Zahl  $b \cdot b = b^2$ , so sieht man diese wieder als eine neue Einheit oder als Einheit der nächst höheren Ordnung an. Gelangt man bei fortgesetztem Zählen zu einer Zahl, welche die höhere Einheit  $b^2$  so vielmal enthält, wie  $b$  anzeigt, also zu der Zahl  $b^2 \cdot b = b^3$ , so wird diese als Einheit einer noch höheren Ordnung angesehen. Durch Fortsetzung dieses Vorganges kann man neue Einheiten immer höherer Ordnung bilden.

Die auf einander folgenden Einheiten  $b, b^2, b^3 \dots$  erscheinen als Potenzen der Basis  $b$  und heißen, den Exponenten derselben gemäß, Einheiten der ersten, zweiten, dritten, .... Ordnung, oder auch des ersten, zweiten, dritten, ... Ranges, zum Unterschiede von der ursprünglichen Einheit, die man, weil  $1 = b^0$  (S. 54, Zus.) ist, auch Einheit des nullten Ranges nennen kann.

§. 65. Jede Zahl kann als eine Summe von Theilen dargestellt werden, deren jeder die Einheit eines bestimmten Ranges, versehen mit einem Coefficienten, welcher kleiner als die Basis ist, enthält.

Beweis. Ist  $b^n$  die höchste Einheit, welche in der ganzen Zahl  $N$  vorkommt, so kann man

$$N = a_n b^n + N_1$$

setzen, wo  $a_n < b$  und  $N_1 < b^n$  sein muß. Ebenso kann man weiter setzen:

$$N_1 = a_{n-1} b^{n-1} + N_2, \text{ wo } a_{n-1} < b, N_2 < b^{n-1};$$

$$N_2 = a_{n-2} b^{n-2} + N_3, \text{ wo } a_{n-2} < b, N_3 < b^{n-2};$$

.....

$$N_{n-2} = a_2 b^2 + N_{n-1}, \text{ wo } a_2 < b, N_{n-1} < b^2;$$

$$N_{n-1} = a_1 b + a_0, \text{ wo } a_1 < b, a_0 < b.$$

Substituiert man nach und nach die Werte von  $N_1, N_2, \dots, N_{n-2}, N_{n-1}$  in  $N$ , so erhält man

$$N = a_n b^n + a_{n-1} b^{n-1} + a_{n-2} b^{n-2} + \dots + a_2 b^2 + a_1 b + a_0,$$
 wobei übrigens von den Coefficienten  $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0$  einige oder auch alle 0 sein können.

Dieser Ausdruck ist daher die allgemeine Form für jede beliebige ganze Zahl in dem Zahlensysteme, dessen Basis  $b$  ist.

Um nun in diesem Systeme alle beliebigen ganzen Zahlen zu benennen, genügt es, bloß denjenigen Zahlen, welche kleiner als  $b$  sind, sowie den auf einander folgenden Potenzen von  $b$  besondere Namen zu geben. Um in diesem Systeme alle beliebigen Zahlen schriftlich darzustellen, bedarf es nur besonderer Zeichen (Ziffern) für die Zahlen, welche kleiner als  $b$  sind, und des Zeichens 0 für das Nichtvorhandensein einer bestimmten Potenz von  $b$ , somit zusammen so vieler Ziffern, wie die Basis  $b$  anzeigt.

Da man jede ganze Zahl, die größer als 1 ist, als Basis eines Zahlensystems wählen kann, so lassen sich unzählig viele verschiedene Zahlensysteme herstellen.

#### Dekadisches Zahlensystem.

§. 66. Das gegenwärtig allgemein gebräuchliche Zahlensystem ist das dekadische, dessen Basis zehn (deka) ist.

In diesem drückt man die ersten neun Zahlen, Einer, mit den bekannten Zahlwörtern eins, zwei, drei, vier, fünf, sechs, sieben, acht, neun aus und nennt die Einheit des ersten, zweiten, dritten, vierten, ... Ranges bezüglich einen Zehner, einen Hunderter, einen Tausender, einen Zehntausender, ... Verbindet man mit jenen Zahlwörtern die Benennungen der aufeinander folgenden dekadischen Einheiten, so kann dadurch jede beliebig große Zahl benannt werden.

Um die dekadischen Zahlen schriftlich darzustellen, genügen die Ziffern für die ersten neun Zahlen: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, zu denen noch die 0 kommt.

Bezeichnet man mit  $a, b, c, \dots, p, q, r$  irgend eine der Zahlen 0, 1, 2, ... 8, 9, so ist der Ausdruck

$$r \cdot 10^n + q \cdot 10^{n-1} + p \cdot 10^{n-2} + \dots + c \cdot 10^2 + b \cdot 10 + a$$

die allgemeine Form einer dekadischen ganzen Zahl. Man kürzt aber diese Form dahin ab, daß man die Additionszeichen und die dekadischen Einheiten  $10, 10^2, 10^3, \dots$  wegläßt und nur die Coefficienten (Ziffern) anschreibt, und jeder Ziffer einen zehnfachen Wert anweist, wenn man sie in die nächste Rangstelle nach links versetzt. In diesem Sinne ist z. B.

$$\begin{aligned} 35684 &= 3 \cdot 10^4 + 5 \cdot 10^3 + 6 \cdot 10^2 + 8 \cdot 10 + 4, \text{ oder} \\ &= 30000 + 5000 + 600 + 80 + 4. \end{aligned}$$

§. 67. Bei jeder Ziffer einer nach der angegebenen Schreibweise ausgedrückten dekadischen Zahl muß man außer dem eigentlichen Zifferwerte auch den Stellenwert oder Rang berücksichtigen. Der Rang einer Ziffer wird durch den Exponenten derjenigen Potenz von 10 bestimmt, welche die dekadische Einheit jener Stelle ist; man kann daher diesen Exponenten von 10 den Rangexponenten der Ziffer nennen. Z. B. in 35684 hat die Ziffer 6 den Rangexponenten 2, die höchste Ziffer 3 den Rangexponenten 4.

Folgesätze. 1. Der Rangexponent der höchsten Ziffer einer dekadischen ganzen Zahl ist um 1 kleiner als die Anzahl der Ziffern.

2. Bedeutet  $N$  eine dekadische ganze Zahl, deren höchste Ziffer den Rangexponenten  $n$  hat, also eine  $(n + 1)$  ziffrige ganze Zahl, so ist

$$N \geq 10^n \text{ und } N < 10^{n+1}.$$

§. 68. Die bekannten Vorschriften für das Rechnen mit dekadischen ganzen Zahlen beruhen auf den Sätzen, welche für das Rechnen mit mehrgliedrigen Ausdrücken, die nach den Potenzen derselben Basis geordnet sind, gelten, wobei jedoch wegen der einfacheren Darstellung der dekadischen Zahlen durch neben einander geschriebene Ziffern auf den Rang dieser Ziffern stets Rücksicht genommen werden muß.

### Transformation der Zahlen aus einem Zahlensysteme in ein anderes.

§. 69. Die beim Schreiben dekadischer Zahlen eingeführte Abkürzung tritt in entsprechender Weise auch beim Aufschreiben der Zahlen in einem nicht-

dekadischen Zahlensysteme ein. So bedeutet 5342, im Systeme der Grundzahl 6 geschrieben, was wir durch 5342 [6] ausdrücken wollen,

$$5 \cdot 6^3 + 3 \cdot 6^2 + 4 \cdot 6 + 2.$$

Auch die Rechnungsoperationen mit nichtdekadischen Zahlen werden nach den gleichen Gesetzen, wie die mit dekadischen Zahlen, ausgeführt.

**Aufgaben.** 1. Eine in einem nichtdekadischen Zahlensysteme geschriebene Zahl in das dekadische Zahlensystem zu übertragen.

Man bilde die auf einander folgenden Einheiten des gegebenen Systems, multipliciere jede derselben mit der Ziffer des betreffenden Ranges und addiere die Producte.

Ist z. B. 32013 [4] in das dekadische Zahlensystem zu übertragen, so hat man

$4^0 = 1$	$3 \cdot 256 = 768$
$4^1 = 4$	$2 \cdot 64 = 128$
$4^2 = 16$	$1 \cdot 4 = 4$
$4^3 = 64$	$3 \cdot 1 = 3$
$4^4 = 256$	$\underline{\quad\quad\quad} 903$

also 32013 [4] = 903 [10].

2. Eine Zahl des dekadischen Zahlensystems in ein nichtdekadisches Zahlensystem, dessen Basis gegeben ist, zu übertragen.

Man bilde die auf einander folgenden Einheiten des neuen Systems. Dann dividire man die gegebene Zahl durch die höchste dieser Einheiten, welche in ihr enthalten ist, den Rest durch die nächstkleinere Einheit, den neuen Rest durch die weiter folgende Einheit, u. s. f. Die gefundenen Quotienten sind die Ziffern der gegebenen Zahl in dem neuen Systeme.

Ist z. B. die dekadische Zahl 487 in das System der Grundzahl 6 zu übertragen, so hat man

$6^0 = 1$	$487 : 216 = 2$
$6^1 = 6$	$55 : 36 = 1$
$6^2 = 36$	$19 : 6 = 3$
$6^3 = 216$	$1 : 1 = 1$

also 487 [10] = 2131 [6].

## V. Theilbarkeit der Zahlen.

§. 70. Eine Zahl  $a$  heißt durch eine andere Zahl  $b$  theilbar, wenn sie durch dieselbe dividirt eine ganze Zahl zum Quotienten gibt. Der Dividend  $a$  heißt in diesem Falle ein Vielfaches (§. 35, 1) von  $b$ , und  $b$  ein Maß von  $a$ .

Eine Zahl, welche nur durch die Einheit und durch sich selbst theilbar ist, wird eine absolute Primzahl, auch bloß Primzahl genannt; jede andere Zahl heißt eine zusammengesetzte Zahl.

Eine Zahl, durch welche zwei oder mehrere andere Zahlen theilbar sind, wird ein gemeinsames Maß dieser Zahlen genannt. Unter dem größten gemeinsamen Maße mehrerer Zahlen versteht man die größte Zahl, durch welche diese Zahlen theilbar sind. Zahlen, welche außer der Einheit kein gemeinsames Maß haben, heißen Primzahlen gegeneinander oder relative Primzahlen.

Eine Zahl, welche durch zwei oder mehrere andere Zahlen theilbar ist, heißt ein gemeinsames Vielfaches dieser Zahlen. Unter dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen mehrerer Zahlen versteht man die kleinste Zahl, welche durch alle jene Zahlen theilbar ist.

Ist eine Zahl  $a$  durch eine andere  $b$  nicht theilbar, so heißt die Zahl  $r$ , welche erhalten wird, wenn man von dem Dividende  $a$  das größte Vielfache von  $b$ , welches darin vorkommt, z. B.  $bq$ , subtrahiert, der Rest der Division. Es ist also  $r = a - bq$ , und daher  $a = bq + r$ .

### 1. Gemeinsames Maß der Zahlen.

§. 71. 1. Jedes gemeinsame Maß zweier oder mehrerer Zahlen ist auch ein Maß ihrer Summe.

Beweis. Es sei  $m$  ein Maß der Zahlen  $a, b, c$ . Setzt man  $a : m = \alpha$ ,  $b : m = \beta$ ,  $c : m = \gamma$ , wo  $\alpha, \beta, \gamma$  ganze Zahlen bedeuten, so ist  $a = m\alpha$ ,  $b = m\beta$ ,  $c = m\gamma$ , und  $a + b + c = m\alpha + m\beta + m\gamma$ ; folglich  $(a + b + c) : m = \alpha + \beta + \gamma$ , somit  $m$  ein Maß von  $a + b + c$ .

2. Jedes gemeinsame Maß zweier Zahlen ist auch ein Maß ihrer Differenz.

Beweis. Es sei  $a : m = \alpha$  und  $b : m = \beta$ ; dann ist  $a = m\alpha$ ,  $b = m\beta$ , und  $a - b = m\alpha - m\beta$ ; folglich  $(a - b) : m = \alpha - \beta$ .

3. Jedes Maß einer Zahl ist auch ein Maß jedes Vielfachen der Zahl.

Beweis. Es sei  $a : m = \alpha$ ; dann ist  $a = m\alpha$  und  $ap = mp\alpha$ ; folglich  $ap : m = p\alpha$ .

§. 72. Aufgabe. Das größte gemeinsame Maß zweier Zahlen zu finden.

Man dividiere die größere der beiden Zahlen durch die kleinere, sodann den Divisor durch den Divisionsrest, den neuen Divisor durch den neuen Rest, u. s. f., bis endlich eine Division ohne Rest aufgeht; der letzte Divisor ist das größte gemeinsame Maß der zwei gegebenen Zahlen.

**Beweis.** Sind  $a$  und  $b$ , wo  $a > b$ , die zwei gegebenen Zahlen und gibt

$$\begin{array}{l} a : b \text{ den Quotienten } q_1 \text{ mit dem Reste } r_1, \\ b : r_1 \text{ " " } q_2 \text{ " " " } r_2, \\ r_1 : r_2 \text{ " " } q_3 \text{ " " " } r_3, \\ r_2 : r_3 \text{ " " } q_4 \text{ " " " } r_4, \text{ u. s. w.,} \end{array}$$

so hat man, wenn  $r_4 = 0$  angenommen wird,

$$\begin{array}{ll} a = b q_1 + r_1 & \text{und } a - b q_1 = r_1 \\ b = r_1 q_2 + r_2 & \text{" } b - r_1 q_2 = r_2 \\ r_1 = r_2 q_3 + r_3 & \text{" } r_1 - r_2 q_3 = r_3 \\ r_2 = r_3 q_4 & \text{" } r_2 - r_3 q_4 = 0. \end{array}$$

Zunächst ist klar, daß man bei fortgesetztem Dividieren endlich auf einen Rest  $= 0$  kommen müsse, weil der jedesmalige Rest eine ganze Zahl und wenigstens um 1 kleiner als der Divisor, welcher der vorhergehende Rest war, sein muß.

Ist nun  $r_4 = 0$ , so folgt, wenn man die oben links stehenden Gleichungen von unten anfangend betrachtet, daß  $r_3$  ein Maß von  $r_2$ , daher (nach §. 71) auch von dem Vielfachen  $r_2 q_3$ , also auch ein Maß von der Summe  $r_2 q_3 + r_3$ , d. i. von  $r_1$  ist; daß  $r_3$  ferner ein Maß von  $r_1 q_2$ , also auch von  $r_1 q_2 + r_2$ , d. i. von  $b$ , und endlich auch ein Maß von  $b q_1$ , somit auch von  $b q_1 + r_1$ , d. i. von  $a$  ist.  $r_3$  ist demnach ein gemeinsames Maß von  $a$  und  $b$ .

Es sei andererseits  $m$  irgend ein gemeinsames Maß von  $a$  und  $b$ . Dann folgt durch Betrachtung der oben rechts stehenden Gleichungen:  $m$  ist ein Maß von dem Vielfachen  $b q_1$ , also auch von der Differenz  $a - b q_1$ , d. i. von  $r_1$ ; daher ist  $m$  auch ein Maß von  $r_1 q_2$ , also auch von  $b - r_1 q_2$ , d. i. von  $r_2$ ; dann ist  $m$  auch ein Maß von  $r_2 q_3$ , also auch von  $r_1 - r_2 q_3$ , d. i. von  $r_3$ . Hieraus folgt, daß  $m$  nicht größer als  $r_3$  sein kann, daß mithin  $r_3$  das größte gemeinsame Maß von  $a$  und  $b$  ist.

Das hier angegebene Verfahren, zu  $a$  und  $b$  das größte gemeinsame Maß zu finden, pflegt man die Kettendivision für  $a$  und  $b$  zu nennen.

### Beispiele.

1) Um das gr. g. Maß von 1134 und 3654 zu finden, hat man

$$\begin{array}{l} 3654 : 1134 = 3 \text{ mit dem Reste } 252 \quad \text{oder} \quad 1134 \ 3654 \ | \ 3 \\ 1134 : 252 = 4 \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{"} \quad 126 \quad \text{"} \quad \mathbf{126} \ 252 \ | \ 4 \\ 252 : \mathbf{126} = 2 \quad \text{"} \quad \text{"} \quad \text{"} \quad 0 \quad \text{"} \quad \quad \quad \quad 0 \ 2 \end{array}$$

gr. g. Maß = 126.

2) Es soll das gr. g. Maß von  $3a^3 - 2a^2 - 3ab^2 + a + 2b^2 + b$  und  $a^2 - b^2$  gesucht werden.

$$(3a^3 - 2a^2 - 3ab^2 + a + 2b^2 + b) : (a^2 - b^2) = 3a - 2$$

$$\begin{array}{r} 3a^3 \quad \quad - 3ab^2 \\ - \quad \quad + \end{array}$$

$$(a^2 - b^2) : (a + b) = a - b.$$

$$\begin{array}{r} - 2a^2 + a + 2b^2 + b \\ - 2a^2 \quad \quad + 2b^2 \\ + \quad \quad - \end{array}$$

Das gesuchte gr. g. Maß ist also der letzte Divisor  $a + b$ .

$$\begin{array}{r} + a + b \text{ Rest.} \end{array}$$

§. 73. Aus der im §. 72 begründeten Kettendivision zwischen zwei Zahlen ergeben sich nachstehende Folgesätze:

1. Jedes gemeinsame Maß zweier Zahlen ist auch ein Maß des größten gemeinsamen Maßes derselben.

Folgt aus dem zweiten Theile des Beweises zu §. 72.

2. Ist bei der Kettendivision für  $a$  und  $b$  der letzte Divisor gleich 1, so sind  $a$  und  $b$  relative Primzahlen; und umgekehrt.

3. Sind  $a$  und  $b$  relative Primzahlen, so ist das größte gemeinsame Maß von  $ap$  und  $bp$  gleich  $p$ .

Denn die Kettendivision für  $a$  und  $b$  gibt als letzten Divisor 1; setzt man nun in dieser Kettendivision statt  $a$  und  $b$  die Zahlen  $ap$  und  $bp$ , d. i. multipliciert man jede der in §. 72 angeführten Gleichungen mit  $p$ , so wird der letzte Divisor, also das größte gemeinsame Maß von  $ap$  und  $bp$ , gleich  $p$ .

Auf analoge Weise läßt sich folgern:

4. Sind  $a$  und  $b$  relative Primzahlen, so ist das größte gemeinsame Maß von  $ap$  und  $b$  auch das größte gemeinsame Maß von  $p$  und  $b$ .

Von dem Satze 4. macht man häufig bei der Auffuchung des größten gemeinsamen Maßes zweier allgemeiner Ausdrücke Anwendung, indem man, um die Kettendivision ausführen zu können, einen der beiden Ausdrücke mit einer Zahl multipliciert oder durch eine Zahl dividirt, welche zu dem andern Ausdrücke relativ prim ist.

Beispiel. Man suche das gr. g. Maß von

$$10x^2 + 14x - 12 \text{ und } 7x^2 + 22x + 16.$$

Damit die Division der beiden Ausdrücke in ganzen Zahlen ausgeführt werden könne, multipliciere man den ersten mit 7, welche Zahl kein Maß des zweiten Ausdrucks ist; man hat dann

$$(70x^2 + 98x - 84) : (7x^2 + 22x + 16) = 10$$

$$\begin{array}{r} 70x^2 + 220x + 160 \\ - \quad - \quad - \end{array}$$

$$\begin{array}{r} - 122x - 244. \end{array}$$

Wird der Rest  $- 122x - 244$  durch die Zahl  $- 122$ , welche kein Maß des früheren Divisors ist, dividirt, wodurch man  $x + 2$  erhält, so ergibt sich als weitere Rechnung:

$$(7x^2 + 22x + 16) : (x + 2) = 7x + 8$$

$$7x^2 + 14x$$

— —

$$+ 8x + 16$$

$$+ 8x + 16$$

— —

0

Das gr. g. Maß ist also  $x + 2$ .

§. 74. 1. Ein Quotient, welcher mit jeder von zwei relativen Primzahlen multiplicirt eine ganze Zahl zum Producte gibt, ist selbst eine ganze Zahl.

**Beweis.** Es seien  $a$  und  $b$  relative Primzahlen und die Producte  $(p : q) a$  und  $(p : q) b$  ganze Zahlen. Dann sind auch  $ap : q$  und  $bp : q$  ganze Zahlen und ist somit  $q$  ein gemeinsames Maß von  $ap$  und  $bp$ . Zwischen den Zahlen  $ap$  und  $bp$  ist aber, da  $a$  und  $b$  relativ prim sind,  $p$  das größte gemeinsame Maß (§. 73, 3); mithin ist  $q$  ein Maß von  $p$  (§. 73, 1), und daher der Quotient  $p : q$  eine ganze Zahl.

2. Ist eine Zahl durch zwei relative Primzahlen theilbar, so ist sie auch durch das Product derselben theilbar.

**Beweis.** Es seien  $a$  und  $b$  relative Primzahlen und  $p : a$  und  $p : b$  ganze Zahlen. Dann sind auch  $(p : ab) b$  und  $(p : ab) a$  ganze Zahlen; also muß nach 1. auch der Quotient  $p : ab$  eine ganze Zahl sein.

3. Ist ein Product zweier Factoren durch eine Zahl theilbar, welche gegen den einen Factor eine relative Primzahl ist, so muß der zweite Factor durch diese Zahl theilbar sein.

**Beweis.** Es sei  $ap$  durch  $b$  theilbar und  $b$  gegen  $a$  eine relative Primzahl. Da  $ap : b$  und  $bp : b$ , oder  $(p : b) a$  und  $(p : b) b$  ganze Zahlen sind, muß nach 1. auch  $p : b$  eine ganze Zahl sein.

4. Ist eine Zahl gegen zwei oder mehrere andere Zahlen eine relative Primzahl, so ist sie es auch gegen das Product derselben.

**Beweis.** Es sei  $m$  eine relative Primzahl gegen  $a$ ,  $b$  und  $c$ . Wäre  $abc : m$  eine ganze Zahl, so müßte nach 3. auch  $bc : m$ , und dann aus demselben Grunde auch  $c : m$  eine ganze Zahl sein, was jedoch der Annahme widerspricht.

5. Die Potenzen zweier relativer Primzahlen sind selbst relative Primzahlen.

**Beweis.** Sind  $a$  und  $b$  relative Primzahlen, so muß nach 4. auch  $a$  gegen  $bb$ , ferner  $bb$  gegen  $aa$ , ebenso  $aa$  gegen  $bbb$ , u. s. w., allgemein  $a^m$  gegen  $b^n$  eine relative Primzahl sein.

§. 75. Aufgabe. Das größte gemeinsame Maß mehrerer Zahlen zu finden.

Ist das gr. g. Maß der Zahlen  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  zu finden, so suche man zuerst das gr. g. Maß von  $a$  und  $b$ , dieses sei  $m$ ; dann suche man das gr. g. Maß von  $m$  und  $c$ , dieses sei  $n$ ; endlich suche man das gr. g. Maß von  $n$  und  $d$ , dieses sei  $p$ ;  $p$  ist dann das gr. g. Maß von  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

**Beweis.** Nach der Voraussetzung enthält  $m$  alle gemeinsamen Primfactoren von  $a$  und  $b$ ;  $n$  enthält alle gemeinsamen Factoren von  $m$  und  $c$ , also auch von  $a$ ,  $b$  und  $c$ ;  $p$  endlich enthält alle gemeinsamen Factoren von  $n$  und  $d$ , folglich auch von  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$ ;  $p$  ist also das gr. g. Maß von  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$ .

**Beispiele.** 1) Man suche das gr. g. Maß von 1554, 3552 und 5143.

$$\begin{array}{r|l} 1554 & 3552 & 2 \\ \hline 222 & 444 & 3 \\ & 0 & 2 \end{array} \qquad \begin{array}{r|l} 222 & 5143 & 23 \\ \hline 0 & 703 & \\ & 37 & 6 \end{array}$$

222 ist das gr. g. Maß von 1554 und 3552; 37 ist das gr. g. Maß von 222 und 5143, also auch von 1554, 3552 und 5143.

2) Man suche das gr. g. Maß von

$$3x^2 - 2xy - 5y^2, 2x^2 + 9xy + 7y^2 \text{ und } 2x^2 - 2y^2.$$

Als das gr. g. Maß von  $3x^2 - 2xy - 5y^2$  und  $2x^2 + 9xy + 7y^2$  erhält man  $x + y$ .

Von  $x + y$  und  $2x^2 - 2y^2$  ist ferner  $x + y$  das gr. g. Maß, welches daher zugleich das gr. g. Maß der gegebenen drei Ausdrücke ist.

## 2. Gemeinsames Vielfaches der Zahlen.

§. 76. Aufgabe. Das kleinste gemeinsame Vielfache zweier Zahlen zu finden.

Man suche zu den zwei gegebenen Zahlen das gr. g. Maß, dividiere durch dieses eine der beiden Zahlen und multipliciere mit dem Quotienten die andere; das Product ist das gesuchte kleinste gemeinsame Vielfache.

**Beweis.** Es seien  $a$  und  $b$  die gegebenen Zahlen. Haben diese kein gemeinsames Maß, so ist ihr Product  $ab$  selbst zugleich ihr kl. g. Vielfaches. Sind aber  $a$  und  $b$  nicht relative Primzahlen, so sei  $m$  ihr gr. g. Maß, und zwar  $a : m = \alpha$ ,  $b : m = \beta$ , wo  $\alpha$  und  $\beta$  keinen gemeinsamen Factor mehr enthalten können; man hat dann  $a = m\alpha$ ,  $b = m\beta$ . Jedes Vielfache von  $a$  muß also die Factoren  $m$  und  $\alpha$ , jedes Vielfache von  $b$  muß

die Factoren  $m$  und  $\beta$ , und daher jedes gemeinsame Vielfache von  $a$  und  $b$  die Factoren  $m$ ,  $\alpha$  und  $\beta$  enthalten; das Product nun, welches nur diese drei Factoren enthält, wird das kleinste g. Vielfache von  $a$  und  $b$  sein. Das kl. g. Vielfache von  $a$  und  $b$  ist also

$$\begin{aligned} m\alpha\beta &= m\alpha.\beta = a(b:m) \\ &= m\beta.\alpha = b(a:m). \end{aligned}$$

**Beispiele.** 1) Man suche das kl. g. Vielfache von 648 und 972.

$$\begin{array}{r|l} 648 & 972 \quad | \quad 1 \quad \text{324 ist das gr. g. Maß.} \\ 0 & \mathbf{324} \quad | \quad 2 \end{array}$$

$$648 : 324 = 2; \quad 972 : 2 = 1944, \text{ oder}$$

$$972 : 324 = 3; \quad 648 : 3 = 1944;$$

$$\text{kl. g. Vielfaches} = 1944.$$

2) Es soll das kl. g. Vielfache von  $9a^4x^2 - 4b^2y^4$  und  $9a^4x^2 - 12a^2bxy^2 + 4b^2y^4$  gefunden werden.

Das gr. g. Maß dieser Ausdrücke ist  $3a^2x - 2by^2$ . Man hat dann

$$(9a^4x^2 - 12a^2bxy^2 + 4b^2y^4) : (3a^2x - 2by^2) = 3a^2x - 2by^2;$$

daher ist  $(9a^4x^2 - 4b^2y^4) : (3a^2x - 2by^2)$

$$= 27a^6x^3 - 18a^4bx^2y^2 - 12a^2b^2xy^4 + 8b^3y^6$$

das gesuchte kl. g. Vielfache.

**§. 77. Aufgabe.** Das kleinste gemeinsame Vielfache mehrerer Zahlen zu finden.

Man suche zuerst das kl. g. Vielfache zweier Zahlen, dann das kl. g. Vielfache des eben gefundenen Vielfachen und der dritten Zahl, und fahre auf diese Art bis zur letzten gegebenen Zahl fort. Das zuletzt gefundene kl. g. Vielfache ist zugleich das kl. g. Vielfache aller gegebenen Zahlen.

**Beweis** analog mit dem Beweise in §. 75.

### 3. Theilbarkeit dekadischer Zahlen.

**§. 78.** Eine dekadische Zahl  $N$  ist durch  $p$  theilbar, wenn die Summe der Producte aus ihren einzelnen Ziffern und denjenigen Resten, welche aus der Division ihrer dekadischen Einheiten durch  $p$  entstehen, durch  $p$  theilbar ist.

**Beweis.** Es sei die dekadische Zahl

$$N = a + b \cdot 10 + c \cdot 10^2 + \dots + k \cdot 10^n$$

gegeben, in welcher,  $a, b, c, \dots, k$  die aufeinander folgenden Ziffern von der Rechten gegen die Linke bezeichnen. Dann ist

$$\frac{N}{p} = a \cdot \frac{1}{p} + b \cdot \frac{10}{p} + c \cdot \frac{10^2}{p} + \dots + k \cdot \frac{10^n}{p}$$

$$\text{Ist nun } \frac{10}{p} = q_1 + \frac{r_1}{p}, \quad \frac{10^2}{p} = q_2 + \frac{r_2}{p}, \quad \dots \quad \frac{10^n}{p} = q_n + \frac{r_n}{p},$$

so hat man

*10<sup>3</sup>*  
*10*

$$\frac{N}{p} = a \cdot \frac{1}{p} + b \left( q_1 + \frac{r_1}{p} \right) + c \left( q_2 + \frac{r_2}{p} \right) + \dots + k \left( q_n + \frac{r_n}{p} \right)$$

oder

$$\frac{N}{p} = b q_1 + c q_2 + \dots + k q_n + \frac{a \cdot 1 + b r_1 + c r_2 + \dots + k r_n}{p}$$

Die Zahl  $N$  ist also durch  $p$  theilbar, wenn die Productensumme

$$S = a \cdot 1 + b r_1 + c r_2 + \dots + k r_n$$

durch  $p$  theilbar ist.

Ist z. B. zu untersuchen, ob 415702 durch 7 theilbar sei, so findet man für  $p = 7$  nach der Ordnung die Reste 1,  $r_1 = 3$ ,  $r_2 = 2$ ,  $r_3 = 6$ ,  $r_4 = 4$ ,  $r_5 = 5$ , u. s. w. Man hat also

$$\begin{array}{l} 415702 \dots \text{Zahl,} \\ 546231 \dots \text{Reste.} \end{array}$$

Da nun  $S = 2 \cdot 1 + 0 \cdot 3 + 7 \cdot 2 + 5 \cdot 6 + 1 \cdot 4 + 4 \cdot 5 = 70$  durch 7 theilbar ist, so ist auch die Zahl 415702 durch 7 theilbar.

#### Besondere Regeln.

§. 79. 1. Eine dekadische Zahl ist durch 2 oder durch 5 theilbar, wenn ihre niedrigste Ziffer bezüglich durch 2 oder 5 theilbar ist.

Denn sowohl für  $p = 2$  als für  $p = 5$  wird  $r_1 = r_2 = \dots = 0$ , also  $S = a$ .

**Zusatz.** Zahlen, welche durch 2 theilbar sind, heißen gerade, alle übrigen ungerade Zahlen. Die allgemeine Form für die geraden Zahlen ist  $2m$ , für die ungeraden  $2m + 1$  oder  $2m - 1$ , wo  $m$  irgend eine ganze Zahl sein kann.

2. Eine dekadische Zahl ist durch 4 theilbar, wenn ihre niedrigsten zwei Ziffern als Zahl betrachtet durch 4 theilbar sind.

Denn für  $p = 4$  wird  $r_1 = 2$ ,  $r_2 = r_3 = \dots = 0$ , also  $S = a + 2b$ .  $a + 2b$  ist aber (nach §. 71, 2) durch 4 theilbar, wenn die um  $8b$  vergrößerte Zahl  $a + 10b$  durch 4 theilbar ist.

3. Eine dekadische Zahl ist durch 3 oder durch 9 theilbar, wenn ihre Ziffernsumme bezüglich durch 3 oder durch 9 theilbar ist.

Denn sowohl für  $p = 3$  als für  $p = 9$  ist  $r_1 = r_2 = r_3 = \dots = 1$ , daher  $S = a + b + c + \dots$

4. Eine dekadische Zahl ist durch 11 theilbar, wenn die Differenz zwischen den Ziffernsummen in den ungeraden und in den geraden Stellen durch 11 theilbar ist.

Für  $p = 11$  ist  $r_1 = r_3 = r_5 = \dots = 10$  und  $r_2 = r_4 = \dots = 1$ , also

$$S = a + 10b + c + 10d + e + 10f + \dots$$

Die Summe ist aber (nach §. 71, 1) durch 11 theilbar, wenn die um  $11b + 11d + 11f + \dots$  verminderte Zahl

$$a - b + c - d + e - f + \dots,$$

$$\text{oder } (a + c + e + \dots) - (b + d + f + \dots)$$

durch 11 theilbar ist.

#### 4. Primzahlen und zusammengesetzte Zahlen.

§. 80. Ist eine Zahl  $n$  kleiner als das Quadrat einer andern Zahl  $a$  und ist  $n$  mit Ausschluß der Einheit durch keine Zahl unter  $a$  theilbar, so ist  $n$  eine Primzahl.

Beweis. Gesezt,  $n$  sei durch irgend eine Zahl  $p$  theilbar, so könnte nur  $p \geq a$  sein. Es sei nun  $n : p = x$ , also  $n = px$ , wo  $x$  eine ganze Zahl bezeichnet; dann wäre auch  $n : x = p$ , also  $n$  durch  $x$  theilbar. Aus  $n < a^2$ , und  $p \geq a$  folgt aber  $n : p < a$ , oder  $x < a$ . Es müßte daher unter der obigen Annahme  $n$  durch eine Zahl  $x < a$  theilbar sein, was gegen die Voraussetzung ist.  $n$  muß also eine Primzahl sein.

§. 81. Aufgabe. Alle Primzahlen bis zu einer gegebenen Grenze zu bestimmen.

Man bilde die Quadrate der natürlichen Zahlen, bis das letzte Quadrat die gegebene Grenze überschreitet:

$$1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 \dots$$

Es sind dann Primzahlen diejenigen Zahlen zwischen 1 und 4, welche mit Ausschluß der 1 durch keine Zahl unter 2 theilbar sind, also 1, 2 und 3; ferner diejenigen Zahlen zwischen 4 und 9, die mit Ausschluß der 1 durch keine Zahl unter 3 theilbar sind, also 5 und 7; u. s. w.

Die Wichtigkeit folgt aus §. 80.

§. 82. Jede zusammengesetzte Zahl läßt sich, und zwar nur auf eine Art, in lauter Primfactoren zerlegen.

Beweis. Jede zusammengesetzte Zahl  $a$  muß wenigstens in zwei Factoren zerlegt werden können, wobei der Factor 1 ausgeschlossen bleibt; diese lassen sich, wenn sie zusammengesetzte Zahlen sind, wieder in Factoren zerlegen, die entweder schon Primzahlen oder selbst wieder zusammengesetzte Zahlen sind; wird im letzteren Falle das Zerlegen fortgesetzt, so muß man, da die Factoren immer kleiner werden, endlich lauter Primzahlen als Factoren erhalten. Sind nun  $m, n, p, q, r$  die gefundenen Primfactoren, von denen einige auch gleich sein können, so sind dieselben auch die einzigen absoluten Primzahlen, deren Product die Zahl  $a$  ist. Denn ließe sich  $a$  auch in die Primfactoren  $s, t, u, v$ , die von  $m, n, p, q, r$  verschieden sind, zerlegen, so müßte  $mnpqr = stuv$ , und daher  $mnpqr : s = tuv$ , also  $mnpqr$  durch  $s$

theilbar sein, was jedoch, da absolute Primzahlen auch relativ prim sind, nach §. 74, 4, nicht möglich ist.

**§. 83. Aufgabe.** Eine zusammengesetzte Zahl in ihre Primfactors zu zerlegen.

Man dividire die gegebene Zahl durch die kleinste Primzahl, durch die sie theilbar ist, 1 nicht mitgerechnet; den Quotienten dividire man wieder durch die kleinste Primzahl, durch die er theilbar ist, die frühere Primzahl nicht ausgenommen, und verfahre so mit jedem folgenden Quotienten, bis man endlich auf einen Quotienten kommt, der selbst eine Primzahl ist. Die nach und nach angewendeten Divisoren und der letzte Quotient sind die Primfactors, aus denen die vorgelegte Zahl besteht.

Ist z. B. 630 in Primfactors zu zerlegen, so hat man:

$$\begin{array}{r} 630 : 2 = 315 \text{ oder } 630 \overline{)2} \\ 315 : 3 = 105 \qquad \qquad 315 \overline{)3} \\ 105 : 3 = 35 \qquad \qquad \quad 105 \overline{)3} \\ 35 : 5 = 7 \qquad \qquad \qquad 35 \overline{)5} \\ \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad \qquad 7 \overline{)7} \end{array}$$

also  $630 = 2 \cdot 315 = 2 \cdot 3 \cdot 105 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 35 = 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7$ .

**Zusatz.** Um alle Factors einer Zahl zu finden, zerlege man dieselbe in ihre Primfactors, multipliciere mit dem zweiten Primfactor den ersten, dann mit dem dritten Primfactor die vorhergehenden zwei Primfactors und den erhaltenen zusammengesetzten Factor, und sofort mit jedem folgenden Primfactor alle vorhergehenden Prim- und zusammengesetzten Factors. Z. B.

$$\begin{array}{l} 210 \overline{)2} \\ 105 \overline{)3, 6} \\ 35 \overline{)5, 10, 15, 30} \\ 7 \overline{)7, 14, 21, 42, 35, 70, 105, 210.} \end{array}$$

**§. 84. Aufgabe.** Einen allgemeinen Zahlenausdruck in Factors zu zerlegen.

Bei eingliedrigen Ausdrücken stellen die einzelnen Buchstaben selbst die Primfactors vor; enthalten sie Potenzgrößen, so wird die Basis so oft als Factor gesetzt, als der Exponent anzeigt. Z. B.

$$abc = a \cdot b \cdot c; 21 a^2 m x^2 = 3 \cdot 7 \cdot a \cdot a \cdot m \cdot x \cdot x.$$

Für die Zerlegung der Polynome in Factors lassen sich keine allgemeinen Regeln geben; es sollen daher hier nur häufiger vorkommende specielle Fälle betrachtet werden.

1. Ein Polynom, dessen alle Glieder ein gemeinsames Maß haben, wird nach §. 40, 2, und §. 41, 2, in zwei Factors zerlegt, indem man das gemeinsame Maß als den einen Factor heraushebt und als den andern Factor den

Quotienten setzt, welcher aus der Division des gegebenen Ausdruckes durch jenes gemeinsame Maß hervorgeht. Z. B.:

$$1) 3ax - 4bx = x(3a - 4b),$$

$$2) 20x^4 - 16x^3 + 12x^2 = 4x^2(5x^2 - 4x + 3).$$

2. Insbesondere folgt aus §. 44, Zusatz:

$$1) a^2 + 2ab + b^2 = (a + b)(a + b),$$

$$2) a^2 - 2ab + b^2 = (a - b)(a - b),$$

$$3) a^2 - b^2 + (a + b)(a - b);$$

ferner allgemein:

$$4) a^{2m+1} + b^{2m+1} = (a + b)(a^{2m} - a^{2m-1}b + a^{2m-2}b^2 - \dots + b^{2m}),$$

$$5) a^{2m+1} - b^{2m+1} = (a - b)(a^{2m} + a^{2m-1}b + a^{2m-2}b^2 + \dots + b^{2m}),$$

$$6) a^{2m} - b^{2m} = (a + b)(a^{2m-1} - a^{2m-2}b + a^{2m-3}b^2 - \dots - b^{2m-1}),$$

$$7) a^{2m} - b^{2m} = (a - b)(a^{2m-1} + a^{2m-2}b + a^{2m-3}b^2 + \dots + b^{2m-1}).$$

3. Ein Trinom von der Form  $x^2 \pm mxy \pm ny^2$  kann in zwei Factoren häufig dadurch zerlegt werden, daß man den Coefficienten  $m$  des zweiten Gliedes, je nachdem  $n$  positiv oder negativ ist, als die Summe oder als die Differenz zweier Zahlen darstellt, die als Product  $n$  geben, und hierauf die gemeinsamen Factoren heraushebt. Z. B.:

$$1) x^2 + 6x + 8 = x^2 + (4 + 2)x + 8 = x^2 + 4x + 2x + 8$$

$$= x(x + 4) + 2(x + 4) = (x + 4)(x + 2).$$

$$2) x^2 - 5xy + 6y^2 = x^2 - (3 + 2)xy + 6y^2 = x^2 - 3xy - 2xy + 6y^2$$

$$= x(x - 3y) - 2y(x - 3y) = (x - 3y)(x - 2y).$$

$$3) a^2 + 3a - 10 = a^2 + (5 - 2)a - 10 = a^2 + 5a - 2a - 10$$

$$= a(a + 5) - 2(a + 5) = (a + 5)(a - 2).$$

§. 85. Aufgabe. Das größte gemeinsame Maß zweier oder mehrerer Zahlen mittelst Zerlegung in Primfactoren zu finden.

Man zerlege jede der gegebenen Zahlen in ihre Primfactoren und hebe unter diesen diejenigen Factoren heraus, welche in allen Zahlen gemeinsam vorkommen, und zwar jeden so oft, als er in jeder der gegebenen Zahlen enthalten ist; das Product dieser Factoren ist das gesuchte gr. g. Maß.

**Beweis.** Das so gebildete Product ist, da alle Factoren desselben in sämtlichen gegebenen Zahlen enthalten sind, gewiß ein gemeinsames Maß derselben; es ist aber auch das größte, weil, sobald man noch einen Factor hinzufügen würde, durch dieses Product nicht mehr alle gegebenen Zahlen theilbar wären.

**Beispiel.** Suche das gr. g. Maß von 300 und 420.

$$300 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 5,$$

$$\text{gr. g. Maß} = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 = 60.$$

$$420 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7;$$

§. 86. Aufgabe. Das kleinste gemeinsame Vielfache mehrerer Zahlen mittelst Zerlegung in Primfactoren zu finden.

Man zerlege alle gegebenen Zahlen in ihre Primfactoren und nehme aus diesen alle verschiedenen Factoren, und zwar jeden so oft, als er in irgend einer gegebenen Zahl am öftesten vorkommt; das Product dieser Factoren ist das gefuchte kl. g. Vielfache.

**Beweis.** Das so gebildete Product ist, da es alle Factoren einer jeden der gegebenen Zahlen enthält, offenbar ein gemeinsames Vielfaches derselben; es ist aber auch das kleinste g. Vielfache, weil man keinen jener Factoren weglassen darf, ohne das das Product aufhören würde, durch alle gegebenen Zahlen theilbar zu sein.

**Beispiel.** Man suche das kl. g. Vielfache von 60, 108 und 1050.

$$60 = 2.2.3.5,$$

$$108 = 2.2.3.3.3,$$

$$1050 = 2.3.5.5.7;$$

$$\text{kl. g. Vielfaches} = 2.2.3.3.3.5.5.7 = 18900.$$

§. 87. Haben von einer Reihe gegebener Zahlen zwei oder mehrere ein gemeinsames Maß, so kann man, ohne das kl. g. Vielfache zu ändern, anstatt dieser Zahlen ihr gemeinsames Maß nur einmal, und zugleich die Quotienten setzen, welche aus der Division jener Zahlen durch das gemeinsame Maß hervorgehen (Beweis zu §. 76). Ist ferner eine der gegebenen Zahlen ein Maß von einer andern größeren, so kann die kleinere Zahl ohne Änderung des kl. g. Vielfachen ganz unberücksichtigt gelassen werden.

Hierauf beruht folgendes praktische Verfahren, das kl. g. Vielfache mehrerer Zahlen mittelst Zerlegung in Primfactoren zu finden:

Man lasse in der Reihe der gegebenen Zahlen diejenigen weg, welche in anderen größeren ohne Rest enthalten sind, dividire von den übrigen so viele als möglich durch eine absolute Primzahl und schreibe die Quotienten sowie die nicht theilbaren Zahlen unter die früheren Zahlen. Ebenso verfare man mit der neuen und jeder etwa folgenden Reihe, bis man zuletzt nur relative Primzahlen erhält. Das Product dieser letzteren und der absoluten Primzahlen, durch welche dividiert wurde, ist das gefuchte kl. g. Vielfache.

**Beispiel.** Man suche das kl. g. Vielfache von 2, 3, 4, 18, 24, 32, 45, 50.

$$2, 3, 4, 18, 24, 32, 45, 50 \quad | \quad \checkmark$$

$$9, 12, 16, 45, 25 \quad | \quad 2$$

$$6, 8, 45, 25 \quad | \quad 2$$

$$3, 4, 45, 25 \quad | \quad 2$$

$$4, 9, 5 \quad | \quad 5$$

$$\text{kl. g. Vielfaches} = 4.9.5.2.2.2.5 = 7200.$$

## VI. Erweiterung des Zahlengebietes durch die Division als Theilung.

### Gebrochene Zahlen.

§. 88. Bisher wurde (§. 47) bei jedem Quotienten  $\frac{a}{b}$  vorausgesetzt, daß der Dividend  $a$  ein Vielfaches des Divisors  $b$ , daß also  $a$  eine der Zahlen  $b, 2b, 3b, 4b, \dots$  ist, weil nur in diesem Falle die Division an der Reihe der ganzen Zahlen ausgeführt werden konnte. Soll die Division für ganz beliebige Werte des Dividends und des Divisors möglich gemacht werden, so ist man genöthigt,  $\frac{a}{b}$  für den Fall, wo  $a$  kein Vielfaches von  $b$  ist, als eine neue Zahlenform in die Arithmetik einzuführen.

Man nennt in diesem allgemeinen Sinne, wo  $a$  kein Vielfaches von  $b$  ist, den Quotienten  $\frac{a}{b}$  im Gegensatz zu den bisher betrachteten ganzen Zahlen eine gebrochene Zahl oder einen Bruch;  $a$  heißt der Zähler,  $b$  der Nenner des Bruches.

Die neue Zahlenform wird nun so definiert werden, daß den Gesetzen, welche bei der Division für die als ganze Zahlen vorausgesetzten Quotienten abgeleitet wurden, auch für die Brüche die Gültigkeit gewahrt bleibe.

Wendet man auf den Quotienten  $\frac{a}{b}$ , dem man auch die Form  $\frac{1 \cdot a}{b}$  geben kann, den Satz in §. 49 an, so erhält man

$$\frac{a}{b} = \frac{1 \cdot a}{b} = \frac{1}{b} \cdot a.$$

Die Bedeutung des Bruches  $\frac{1}{b}$  ergibt sich dann aus dem durch die Gleichung  $\frac{1}{b} \cdot b = 1$  ausgedrückten Begriffe eines Quotienten; d. i.  $\frac{1}{b}$  bedeutet eine Zahl, welche  $b$  mal als Summand gesetzt 1 gibt. Theilt man daher eine Einheit in  $b$  gleiche Theile, so stellt ein solcher Theil, da er  $b$  mal als Summand gesetzt wieder die Einheit gibt, die Zahl  $\frac{1}{b}$  vor. Der Bruch  $\frac{a}{b} = \frac{1}{b} \cdot a$  bedeutet dann die Zahl, welche entsteht, indem man die Einheit in  $b$  gleiche Theile theilt, und einen solchen Theil  $a$  mal als Summand setzt.

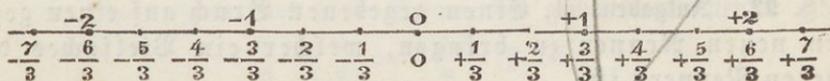
Brüche sind daher Zahlen, deren Einheit ausdrücklich als ein Theil der ursprünglichen Einheit angegeben ist. Der Nenner zeigt an, in wie viele gleiche Theile die ursprüngliche Einheit getheilt werden soll, damit ein solcher Theil die neue Einheit des Bruches gebe; der Zähler zeigt an, wie vielmal der Bruch die durch den Nenner gegebene Einheit enthält.

Um den gebrochenen Zahlen auch in der Zahlenreihe ihre entsprechende Stellung anzuweisen, muß man für einen bestimmten Nenner  $b$  die Reihe der ganzen Zahlen in sich dadurch erweitern, daß man den Abstand je zweier aufeinander folgenden Zahlen dieser Reihe, d. i. jede ursprüngliche Einheit, durch Einschaltung neuer Zahlen in so viele gleiche Theile theilt, wie der Nenner  $b$  anzeigt, und einen solchen Theil als eine neue Einheit annimmt, um mit ihr zu zählen; man erhält dadurch die Zahlenreihe

$$\dots -\frac{5}{b}, -\frac{4}{b}, -\frac{3}{b}, -\frac{2}{b}, -\frac{1}{b}, 0, +\frac{1}{b}, +\frac{2}{b}, +\frac{3}{b}, +\frac{4}{b}, +\frac{5}{b}, \dots$$

welche die Zahlenreihe der  $b$  tel genannt wird.

Die durch Einschaltung von Brüchen ausgefüllte Zahlenreihe heißt die Bruchzahlenreihe für den bezüglichen Nenner. Solche Reihen können durch Zahlenlinien versinnlicht werden. So hat man für die Reihe der Drittel:



§. 89. Ein Bruch, welcher kleiner als 1, dessen Zähler also kleiner als der Nenner ist, heißt ein echter Bruch, jeder andere ein unechter Bruch.

Ein Bruch, dessen Zähler eine dekadische ganze Zahl, und dessen Nenner eine Potenz von 10 ist, wird ein Decimalbruch genannt; jeder andere Bruch heißt ein gemeiner Bruch.

## 1. Gemeine Brüche.

### Allgemeine Sätze.

§. 90. Aus dem Begriffe eines Bruches folgt:

1. Jeder Bruch gibt mit seinem Nenner multipliciert den Zähler zum Producte.

$$\frac{1}{b} \cdot b = 1, \quad \frac{a}{b} \cdot b = a.$$

2. Von zwei Brüchen, die gleiche Nenner haben, ist jener der größere, welcher den größeren Zähler hat.

3. Von zwei Brüchen, die gleiche Zähler haben, ist jener der größere, welcher den kleineren Nenner hat.

§. 91. 1. Jeder unechte Bruch kann in eine Summe aus einer ganzen Zahl und einem echten Bruche verwandelt werden.

Ist  $a > b$ , so ist  $\frac{a}{b} = a : b = q + \frac{r}{b}$ , wo  $q$  die größte ganze Zahl, welche in dem Quotienten  $a : b$  vorkommt, und  $r$  den Divisionsrest, daher  $\frac{r}{b}$ , weil  $r < b$  sein muß, einen echten Bruch vorstellt.

Ein Ausdruck von der Form  $q + \frac{r}{b}$  heißt eine gemischte Zahl.

2. Jede ganze Zahl kann in der Form eines Bruches mit gegebenem Nenner dargestellt werden, indem man das Product aus der ganzen Zahl und dem gegebenen Nenner als den Zähler des Bruches annimmt.

Es ist  $a = \frac{a \cdot n}{n}$  (§. 48, 3).

Ein Bruch, dessen Zähler ein Vielfaches des Nenners, der also einer ganzen Zahl gleich ist, heißt ein uneigentlicher Bruch.

3. Ein Bruch bleibt (seinem Werte nach) unverändert, wenn man Zähler und Nenner mit derselben Zahl multipliciert oder beide durch dieselbe Zahl dividirt.

$$\frac{a}{b} = \frac{a n}{b n} = \frac{a : n}{b : n} \quad (\text{§. 53, 2}).$$

§. 92. Aufgaben. 1. Einen gegebenen Bruch auf einen gegebenen neuen Nenner zu bringen, welcher ein Vielfaches des früheren Nenners ist.

Man dividire den neuen Nenner durch den früheren Nenner und multipliciere mit dem Quotienten den früheren Zähler; das Product ist der gesuchte neue Zähler.

Die Richtigkeit der Auflösung folgt aus §. 91, 3.

Um z. B.  $\frac{a}{b}$  auf den Nenner  $bm$  zu bringen, hat man

$$bm : b = m; \quad a \cdot m = am; \quad \text{also} \quad \frac{a}{b} = \frac{am}{bm}.$$

2. Zwei oder mehrere Brüche auf den kleinsten gemeinsamen Nenner zu bringen.

Man suche das kl. g. Vielfache der Nenner der gegebenen Brüche, welches zugleich der neue kl. g. Nenner ist, und bringe (nach Aufg. 1) die gegebenen Brüche auf diesen neuen Nenner.

Beispiel. Es sollen die Brüche  $\frac{a}{2b}$ ,  $\frac{3m}{4bc}$ ,  $\frac{4n}{c^2d}$  auf den kl. g. Nenner gebracht werden.

Das kl. g. Vielfache aller Nenner, somit der kl. g. Nenner, ist  $4bc^2d$ .  
Man erhält dann

$$\frac{a}{2b} = \frac{2ac^2d}{4bc^2d}, \quad \frac{3m}{4bc} = \frac{3cdm}{4bc^2d}, \quad \frac{4n}{c^2d} = \frac{16bn}{4bc^2d}.$$

3. Einen Bruch, dessen Zähler und Nenner ein gemeinsames Maß haben, abzukürzen, d. i. ohne Änderung des Wertes durch kleinere Zahlen auszudrücken.

Man dividire Zähler und Nenner durch ihr gemeinsames Maß.

z. B.  $\frac{4am}{6bn} = \frac{2am}{3bn}; \quad \frac{12a^2bx^2}{15acx^3} = \frac{4ab}{5cx}.$

Ein Bruch, dessen Zähler und Nenner relative Primzahlen sind, heißt auf die einfachste Form gebracht.

**Zusatz.** Durch das Abkürzen allgemeiner Brüche kann häufig die für besondere Substitutionen in denselben auftretende Unbestimmtheit behoben werden. So gibt der Bruch  $\frac{x^2 - a^2}{2x - 2a}$  für  $x = a$  den unbestimmten Wert  $\frac{0}{0}$ .

Durch das Abkürzen aber erhält man

$$\frac{x^2 - a^2}{2x - 2a} = \frac{(x + a)(x - a)}{2(x - a)} = \frac{x + a}{2},$$

welcher Bruch für  $x = a$  den bestimmten Wert  $\frac{2a}{2} = a$  annimmt.

### Rechnungsoperationen mit gemeinen Brüchen.

§. 93. Brüche mit gleichen Nennern werden addiert, indem man ihre Zähler addiert und dieser Summe den gemeinsamen Nenner gibt.

$$\frac{a}{m} + \frac{b}{m} = \frac{a+b}{m} \quad (\S. 55);$$

$$a + \frac{m}{n} = \frac{an}{n} + \frac{m}{n} = \frac{an+m}{n}.$$

§. 94. Die Summe zweier Brüche bleibt unverändert, wenn man die Summanden mit einander vertauscht.

$$\text{Es ist } \frac{a}{m} + \frac{b}{n} = \frac{an}{mn} + \frac{bm}{mn} = \frac{an+bm}{mn} = \frac{bm+an}{mn} \quad (\S. 11)$$

$$= \frac{bm}{mn} + \frac{an}{mn} \quad (\S. 55) = \frac{b}{n} + \frac{a}{m} \quad (\S. 91, 3).$$

§. 95. Zwei Brüche mit gleichen Nennern werden subtrahiert, indem man die Zähler subtrahiert und der Differenz den gemeinsamen Nenner gibt.

$$\frac{a}{m} - \frac{b}{m} = \frac{a-b}{m} \quad (\S. 56);$$

$$\frac{a}{m} - \frac{b}{n} = \frac{an}{mn} - \frac{bm}{mn} = \frac{an-bm}{mn}.$$

**Zusatz.** Insbesondere erhält man

$$a - \frac{a+b}{2} = \frac{a-b}{2}, \text{ und auch } \frac{a+b}{2} - b = \frac{a-b}{2}.$$

Es ist also  $a - \frac{a+b}{2} = \frac{a+b}{2} - b$ , und heißt deshalb  $\frac{a+b}{2}$  das arithmetische Mittel zwischen  $a$  und  $b$ .

§. 96. Ein Bruch wird mit einer ganzen Zahl multipliziert, indem man den Zähler mit ihr multipliziert oder den Nenner durch sie dividiert.

$$\frac{a}{b} \cdot m = \frac{am}{b} = \frac{a}{b:m} \quad (\S. 50).$$

2. Ein Bruch wird durch eine ganze Zahl dividirt, indem man den Zähler durch sie dividirt oder den Nenner mit ihr multipliciert.

$$\frac{a}{b} : m = \frac{a : m}{b} = \frac{a}{b \cdot m} \quad (\S. 51).$$

§. 97. Die Multiplication einer Zahl mit einem Bruche hat nach der in §. 35 aufgestellten Erklärung der Multiplication keinen Sinn. Dieselbe muß, damit auch die Multiplication mit einem Bruche Bedeutung erhalte, entsprechend erweitert werden, was mit Rücksicht auf §. 52, 2, in folgender Weise geschieht: Eine Zahl  $a$  mit einem Bruche  $\frac{m}{n}$  multiplicieren heißt, den sovielten Theil von  $a$ , wie der Nenner  $n$  des Bruches anzeigt, sovieltmal als Summand setzen, wie der Zähler  $m$  des Bruches anzeigt.

Aus dieser Erklärung ergeben sich folgende Sätze:

1. Eine Zahl wird mit einem Bruche multipliciert, indem man sie durch den Nenner dividirt und den Quotienten mit dem Zähler multipliciert.

$$a \cdot \frac{m}{n} = \frac{a}{n} \cdot m = \frac{a \cdot m}{n}.$$

2. Ein Bruch wird mit einem Bruche multipliciert, indem man dem Producte der Zähler das Product der Nenner als Nenner gibt.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{m}{n} = \left( \frac{a}{b} : n \right) \cdot m = \frac{a}{b \cdot n} \cdot m \quad (\S. 96, 2) = \frac{a \cdot m}{b \cdot n} \quad (\S. 96, 1).$$

3. Das Product zweier Brüche bleibt unverändert, wenn man die Factoren unter einander vertauscht.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{m}{n} = \frac{a \cdot m}{b \cdot n} = \frac{m \cdot a}{n \cdot b} \quad (\S. 37) = \frac{m}{n} \cdot \frac{a}{b} \quad (\text{nach } 2).$$

§. 98. Wenn zwei Zahlen zum Producte 1 geben, so heißt jede der umgekehrte oder reciproke Wert der andern.

So ist  $a \cdot \frac{1}{a} = 1$ ,  $\frac{m}{n} \cdot \frac{n}{m} = 1$ , daher  $\frac{1}{a}$  der umgekehrte Wert von  $a$ ,  $\frac{n}{m}$  der umgekehrte Wert von  $\frac{m}{n}$ .

§. 99. Für die Division durch einen Bruch ergibt sich:

1. Eine Zahl wird durch einen Bruch dividirt, indem man sie durch den Zähler dividirt und den Quotienten mit dem Nenner multipliciert, oder indem man sie mit dem reciproken Werte des Bruches multipliciert.

$$a : \frac{m}{n} = \frac{a}{m} \cdot n = a \cdot \frac{n}{m}.$$

**Beweis.** Es ist  $\left( \frac{a}{m} \cdot n \right) \cdot \frac{m}{n} = a$ , und auch  $\left( a \cdot \frac{n}{m} \right) \cdot \frac{m}{n} = a$ .

2. Ein Bruch wird durch einen Bruch dividirt, indem man ihn mit dem reciproken Werte desselben multipliciert, oder indem man dem Quotienten der Zähler den Quotienten der Nenner als Nenner gibt.

Es ist  $\frac{a}{b} : \frac{m}{n} = \frac{a}{b} \cdot \frac{n}{m}$  (nach 1); oder

$$\frac{a}{b} : \frac{m}{n} = \left( \frac{a}{b} : m \right) \cdot n \text{ (nach 1)} = \frac{a:m}{b} \cdot n = \frac{a:m}{b:n}.$$

Hiernach ist  $\frac{a}{m} : \frac{b}{n} = a : b$ , *umgekehrt*

d. h. der Quotient zweier Brüche mit gleichen Nennern ist gleich dem Quotienten ihrer Zähler.

§. 100. Ein Bruch, dessen Zähler oder Nenner, oder beide zugleich wieder Brüche sind, heißt ein gebrochener Bruch. Er ist nichts anderes, als eine angezeigte Division von Brüchen, und kann daher in einen gewöhnlichen Bruch verwandelt werden, indem man diese Division wirklich ausführt. Z. B.

$$\frac{\frac{a}{m}}{b} = \frac{a}{m} : b = \frac{a}{bm}; \quad \frac{a}{\frac{m}{n}} = a : \frac{m}{n} = \frac{an}{m}; \quad \frac{\frac{a}{m}}{\frac{b}{n}} = \frac{a}{m} : \frac{b}{n} = \frac{an}{bm}.$$

§. 101. Alle bisher für die ganzen Zahlen erwiesenen Lehrsätze gelten auch für die gebrochenen Zahlen.

Denn alle jene Lehrsätze beruhen auf den Commutationsgesetzen

$$a + b = b + a \text{ und}$$

$$a \cdot b = b \cdot a;$$

diese zwei Gesetze aber gelten, wie in §. 94 und §. 97, 3 bewiesen wurde, auch für Brüche.

## 2. Decimalbrüche.

§. 102. Die allgemeine Form eines Decimalbruchs (§. 89) ist  $\frac{A}{10^m}$ , wo A und m beliebige dekadische ganze Zahlen bezeichnen.

Die Decimalbrüche werden ohne Nenner angeschrieben; man braucht nur im Zähler von der Rechten gegen die Linke so viele Ziffern durch einen Punkt, den Decimalpunkt, abzuschneiden, als der Potenzexponent von 10 im Nenner Einheiten enthält. Sollten nicht genug Ziffern vorhanden sein, um sie abzuschneiden zu können, so werden die fehlenden links durch Nullen ersetzt; ebenso ergänzt man auch die Stelle vor dem Decimalpunkte, wenn für dieselbe keine Ziffer übrig bleibt, durch die Null. Z. B.

$$\frac{78317}{10^5} = 78 \cdot 317, \quad \frac{5483}{10^4} = 0 \cdot 5483, \quad \frac{37}{10^5} = 0 \cdot 00037.$$

Die Ziffern rechts nach dem Decimalpunkte werden Decimalen genannt.  $\frac{A}{10^m}$  stellt demnach einen Decimalbruch mit m Decimalen dar.

Bezeichnet man in dem Decimalbruche  $\frac{A}{10^4}$ , welcher 4 Decimalen enthält, die Zahl vor dem Decimalpunkt durch  $m$ , und die Decimalziffern in der Ordnung gegen die Rechte durch  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , so ist

$$A = m \cdot 10^4 + \alpha \cdot 10^3 + \beta \cdot 10^2 + \gamma \cdot 10 + \delta, \text{ daher}$$

$$\frac{A}{10^4} = \frac{m \cdot 10^4 + \alpha \cdot 10^3 + \beta \cdot 10^2 + \gamma \cdot 10 + \delta}{10^4} = m + \frac{\alpha}{10} + \frac{\beta}{10^2} + \frac{\gamma}{10^3} + \frac{\delta}{10^4}.$$

Es bedeutet also die Zahl, welche links vor dem Decimalpunkte steht, eine ganze Zahl; die erste Decimale bedeutet Zehntel, die zweite Hundertel, die dritte Tausendtel, die vierte Zehntausendtel u. s. w.

In einer nach dem dekadischen Zahlensysteme (§. 66) geschriebenen ganzen Zahl bedeutet jede Ziffer an der nächstfolgenden Stelle gegen die Rechte den 10ten Theil von dem, was sie an der vorhergehenden Stelle gilt. Dasselbe Gesetz findet auch bei den Decimalen statt, da ein Zehntel der 10te Theil von einem Einer, ein Hundertel der 10te Theil von einem Zehntel u. s. w. ist. Die Decimalbrüche sind also eine Erweiterung des dekadischen Zahlensystems in der Art, daß die Reihe der dekadischen Zahlenordnungen . . . . . Tausender, Hunderter, Zehner, Einer nicht mehr mit den Einern abbricht, sondern sich nach demselben Gesetze, indem jede niedrigere Einheit als der zehnte Theil einer Einheit der nächst höheren Ordnung angenommen wird, noch unter die Einer hinab in Zehnteln, Hunderteln, Tausendeln, . . . fortsetzt. Der Decimalpunkt scheidet die ursprüngliche Reihe der Zahlenordnungen von dieser Fortsetzung.

Hiernach ist

$$\dots c \cdot 10^3 + b \cdot 10^2 + a \cdot 10 + E + \frac{\alpha}{10} + \frac{\beta}{10^2} + \frac{\gamma}{10^3} \dots$$

die allgemeine Form einer Zahl des dekadischen Systems, wo  $E$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c \dots$  die Ziffern der Einer, Zehner, Hunderter, Tausender, . . . , und  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , . . . die Ziffern der Zehntel, Hundertel, Tausendtel . . . bezeichnen.

Folgsätze. 1. Der Wert eines Decimalbruches wird nicht geändert, wenn man den Decimalen rechts beliebig viele Nullen anhängt.

2. Der Wert jeder Decimalzahl ist kleiner als eine Einheit der ihrer höchsten geltenden Ziffer unmittelbar vorausgehenden höheren Stelle; z. B.  $0 \cdot 00783 < \frac{1}{10^2}$ .

**Verwandlung eines gemeinen Bruches in einen Decimalbruch.**

§. 103. Um einen gemeinen Bruch  $\frac{a}{b}$  in einen Decimalbruch zu verwandeln, dividire man den Zähler  $a$  durch den Nenner  $b$  und bringe im Quotienten nach den Ganzen, an deren Stelle bei einem echten Bruche eine Null gesetzt wird, den Decimalpunkt an. Dem sich ergebenden sowie jedem etwa weiter folgenden Reste hänge man eine Null an und setze

die Division fort, bis diese endlich ohne Rest aufgeht oder, wenn dieses nicht eintritt, bis man die gewünschte Anzahl Decimalen erhalten hat.

**Beweis.** Es ist

$$\frac{a}{b} = \frac{a \cdot 10^m}{b \cdot 10^m} = \frac{a \cdot 10^m : b}{10^m} \quad (\S. 52, 1).$$

Wenn man nun bei dem oben vorgezeichneten Divisionsverfahren an die betreffenden Reste nach und nach  $m$  Nullen anhängt, was dasselbe ist, als wenn man zu dem Zähler  $a$  auf einmal  $m$  Nullen hinzugefügt hätte, so wird dadurch  $a$  mit  $10^m$  multipliciert; und indem man dann die im Quotienten  $a \cdot 10^m : b$  erhaltenen letzten  $m$  Ziffern als Decimalen annimmt, wird dieser Quotient durch  $10^m$  dividiert.

$$\text{z. B. } \frac{3}{4} = 3 \cdot 0 : 4 = 0 \cdot 75$$

$$\frac{329}{125} = 329 : 125 = 2 \cdot 632$$

20	790
0	400
	250
	0

**Zusätze.** 1. Damit sich ein gemeiner Bruch  $\frac{a}{b}$  in einen Decimalbruch genau verwandeln lasse, muß  $a \cdot 10^m$  bei hinreichend großem  $m$  durch  $b$  theilbar sein. Dieses ist aber, wenn  $a$  und  $b$  relative Primzahlen sind, nach §. 74, 3 nur dann möglich, wenn  $10^m$  durch  $b$  theilbar ist, d. h. wenn  $b$  keinen von 2 und 5 verschiedenen Factor enthält.

In allen Fällen, wo der Nenner  $b$  entweder die Factoren 2 und 5 gar nicht, oder außer denselben noch andere davon verschiedene Primfactoren enthält, kann der auf die einfachste Form gebrachte Bruch  $\frac{a}{b}$  durch keinen endlichen Decimalbruch dargestellt werden. Es läßt sich jedoch immer näherungsweise ein Decimalbruch entwickeln, welcher von dem gegebenen gemeinen um weniger verschieden ist, als jede noch so kleine gegebene Zahl. Denn ist  $a \cdot 10^m$  durch  $b$  nicht theilbar, so kann der Quotient als eine gemischte Zahl angesehen werden. Setzt man also

$$\frac{a \cdot 10^m}{b} = p + \frac{r}{b},$$

wo  $r < b$  ist, so ist

$$\frac{a}{b} = \frac{p}{10^m} + \frac{r}{b \cdot 10^m}, \text{ also } \frac{a}{b} - \frac{p}{10^m} = \frac{r}{b \cdot 10^m}.$$

Da nun  $r < b$ , also  $\frac{r}{b} < 1$ , so muß  $\frac{r}{b \cdot 10^m} < \frac{1}{10^m}$  sein. Der Unterschied zwischen dem gemeinen Bruche  $\frac{a}{b}$  und dem Decimalbruche  $\frac{p}{10^m}$  ist also kleiner als  $\frac{1}{10^m}$ , d. i. kleiner als eine Einheit der letzten noch entwickelten Decimalstelle; er läßt sich daher, da  $m$  beliebig groß, daher  $\frac{1}{10^m}$  beliebig klein gemacht werden kann, kleiner machen, als jede noch so kleine angebbare Zahl.

2. Wird ein Bruch, der sich nicht genau durch einen Decimalbruch darstellen läßt, näherungsweise in einen solchen verwandelt, so muß man bei fortgesetzter Division, da der Rest immer kleiner als der Divisor ist, wieder einen von den früheren Resten erhalten, von welchem an sich dann weiter die nämlichen Ziffern im Quotienten und dieselben Reste wie vorher ergeben. Z. B.

$$\frac{18}{37} = 18 : 37 = 0.486\ 486 \dots \quad \frac{56}{75} = 56 : 75 = 0.74\ 666 \dots$$

Decimalbrüche, in denen sich eine bestimmte Anzahl von Ziffern in derselben Ordnung wiederholt, nennt man periodische, und die immer wiederkehrende Ziffernfolge die Periode.

Bei den periodischen Decimalbrüchen sind zwei Fälle zu unterscheiden: entweder beginnt die Periode unmittelbar nach dem Decimalpunkte, oder es gehen der Periode noch andere Decimalen voraus. Im ersten Falle heißt der Decimalbruch rein periodisch, im zweiten gemischt periodisch.

Man pflegt die Periode nur einmal anzuschreiben, jedoch die erste und letzte Ziffer derselben mit darüber gesetzten Punkten zu bezeichnen.

### Verwandlung eines Decimalbruches in einen gemeinen Bruch.

§. 104. 1. Ein endlicher Decimalbruch wird in einen gemeinen Bruch verwandelt, indem man denselben in der Form eines gemeinen Bruches anschreibt und diesen, wenn es angeht, abkürzt. Z. B.

$$0.75 = \frac{75}{100} = \frac{3}{4}, \quad 31.325 = 31 \frac{325}{1000} = 31 \frac{13}{40}.$$

2. Ein rein periodischer Decimalbruch wird in einen gemeinen Bruch verwandelt, indem man als Zähler die Ziffern der Periode und als Nenner eine Zahl setzt, welche mit so vielen 9 geschrieben wird, als die Periode Ziffern hat.

Beweis. Drückt man die Ziffern der Periode durch  $b$  und ihre Anzahl durch  $n$  aus, so ist der gesuchte periodische Decimalbruch

$$x = \frac{b}{10^n} + \frac{b}{10^{2n}} + \frac{b}{10^{3n}} + \frac{b}{10^{4n}} + \dots$$

Multipliziert man diesen Ausdruck mit  $10^n$ , so erhält man

$$x \cdot 10^n = b + \frac{b}{10^n} + \frac{b}{10^{2n}} + \frac{b}{10^{3n}} + \dots$$

Subtrahiert man nun den früheren Ausdruck von dem letzten, so folgt

$$x \cdot 10^n - x = b, \text{ oder } (10^n - 1)x = b,$$

und daraus

$$x = \frac{b}{10^n - 1}.$$

Z. B.  $0.\dot{6} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}; \quad 15.\dot{3}5\dot{1} = 15 \frac{351}{999} = 15 \frac{13}{37}.$

3. Ein gemischt periodischer Decimalbruch wird in einen gemeinen Bruch verwandelt, indem man die der Periode vorangehenden Decimalen sammt der Periode als ganze Zahl zusammenstellt, davon die der

Periode vorangehenden Decimalen, ebenfalls als ganze Zahl betrachtet, subtrahiert und diese Differenz als Zähler, als Nenner aber eine Zahl annimmt, die mit so vielen 9, als die Periode Ziffern enthält, und so vielen rechts folgenden Nullen, als Decimalen der Periode vorangehen, geschrieben ist.

**Beweis.** Es seien  $b$  die Ziffern der Periode,  $n$  die Anzahl derselben, ferner  $a$  die der Periode vorangehenden Decimalen und  $m$  ihre Anzahl; dann ist der gesuchte Decimalbruch

$$x = \frac{a}{10^m} + \frac{b}{10^{m+n}} + \frac{b}{10^{m+2n}} + \frac{b}{10^{m+3n}} + \dots$$

Multipliziert man diesen Ausdruck zuerst mit  $10^{m+n}$ , dann mit  $10^m$ , so erhält man

$$x \cdot 10^{m+n} = a \cdot 10^n + b + \frac{b}{10^n} + \frac{b}{10^{2n}} + \dots$$

$$x \cdot 10^m = a + \frac{b}{10^n} + \frac{b}{10^{2n}} + \frac{b}{10^{3n}} + \dots$$

Durch Subtraction der letzten zwei Ausdrücke ergibt sich

$$x \cdot 10^{m+n} - x \cdot 10^m = a \cdot 10^n + b - a,$$

$$\text{oder } x \cdot 10^m (10^n - 1) = (a \cdot 10^n + b) - a,$$

und daraus

$$x = \frac{(a \cdot 10^n + b) - a}{(10^n - 1) \cdot 10^m}.$$

$$\text{z. B. } 0.2\dot{1}\dot{5} = \frac{215 - 2}{990} = \frac{213}{990} = \frac{71}{330}.$$

### Rechnungsoperationen mit unvollständigen Decimalbrüchen.

§. 105. Indem wir die allgemeinen Vorschriften für das Rechnen mit Decimalzahlen als bekannt voraussetzen, werden wir hier nur die bei den Rechnungsoperationen mit unvollständigen Decimalbrüchen sich ergebenden Abkürzungen näher untersuchen.

Stellt ein Decimalbruch irgend einen Zahlenwert, der entweder aus der Rechnung selbst oder aus einer angestellten Messung hervorgegangen ist, nicht völlig genau, sondern bloß näherungsweise dar, so heißt er ein unvollständiger Decimalbruch, im Gegensatz zu einem vollständigen oder geschlossenen, der in seinen Zahlen vollkommen genau ausgedrückt ist.

Dass ein Decimalbruch unvollständig ist, wird durch angehängte Punkte angedeutet; z. B.  $3 \cdot 14 \dots$

Auch ein geschlossener Decimalbruch kann, wenn für einen bestimmten Zweck eine geringere Genauigkeit genügt, zu einem unvollständigen abgekürzt werden, wenn man eine oder mehrere seiner letzten Decimalziffern weglässt.

Die Differenz zwischen einem unvollständigen Decimalbruche und dem genauen Zahlenwerte, den er angenähert darstellt, heißt der Fehler des Decimalbruches. In den meisten Fällen ist der Fehler selbst nicht genau bestimmbar; er wird dann dadurch beurtheilt, dass man eine Größe angibt,

welche der Fehler nicht erreichen oder wenigstens nicht überschreiten kann. Diese Größe heißt eine Fehlergrenze des genäherten Decimalbruches.

In Beziehung auf die Fehlergrenze beim Abkürzen eines Decimalbruches ergibt sich aus dem 2. Folgesatze zu §. 102 Nachstehendes:

1. Ist die erste weggelassene Ziffer kleiner als 5, so beträgt der Fehler weniger als eine halbe Einheit der letzten noch beibehaltenen Stelle.

2. Ist die erste weggelassene Ziffer größer als 5, oder 5 mit nachfolgenden geltenden Ziffern, so ist der Fehler größer als eine halbe, aber kleiner als eine ganze Einheit der letzten beibehaltenen Stelle. Man kann daher auch in diesem Falle den Fehler des abgekürzten Decimalbruches kleiner als eine halbe Einheit der letzten beizubehaltenden Stelle machen, indem man die Ziffer an dieser Stelle um 1 erhöht (corrigiert).

3. Ist die erste weggelassene Ziffer 5 mit nachfolgenden Nullen, so ist es gleichgiltig, ob man die letzte beibehaltene Ziffer unverändert läßt oder um 1 erhöht; der Fehler ist in beiden Fällen eine halbe Einheit dieser letzten Stelle.

Ein unvollständiger Decimalbruch kann daher immer durch einen geschlossenen mstelligen Decimalbruch  $a$  so genau dargestellt werden, daß der Fehler eine halbe Einheit der  $m$ ten Stelle nicht überschreitet, daß also  $a..$  zwischen  $a - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10^m}$  und  $a + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10^m}$  liegt. Unter dieser Voraussetzung bedeutet z. B.

5·83.. eine Zahl zwischen 5·825 und 5·835,

5·830.. " " " 5·8295 " 5·8305.

Der Grad der Genauigkeit einer angenäherten Zahl hängt nicht allein von der Fehlergrenze, sondern auch von der Größe der Zahl ab; er wird gewöhnlich durch die Angabe bestimmt, wie oft die doppelte Fehlergrenze, d. i. eine Einheit der niedrigsten Stelle der angenäherten Zahl in dieser enthalten ist. Hiernach ist die Genauigkeit der Zahl 9·32.. gleich  $9 \cdot 32 : 0 \cdot 01 = 932$ . Von zwei angenäherten Zahlen heißt daher diejenige die genauere, welche in Einheiten ihrer niedrigsten Stelle ausgedrückt eine größere Gesamtzahl dieser Einheiten darstellt. So sind z. B. die Zahlen 5·74.. und 0·574, wiewohl sie nicht dieselbe Fehlergrenze haben, gleich genau, da jede 574 Einheiten ihrer niedrigsten Stelle enthält; dagegen ist 6·825.. genauer als 43·9., da  $6825 > 439$  ist. Jede vollständige Zahl ist genauer als irgend eine angenäherte.

Beim Rechnen mit unvollständigen Decimalbrüchen ist es von Wichtigkeit, zu wissen, mit welchem Grade der Zuverlässigkeit das Rechnungsergebnis in jedem Falle bestimmt werden könne, woraus sich dann auch umgekehrt folgern läßt, welche Genauigkeit die gegebenen Zahlen haben müssen, damit das Resultat bis zu einer bestimmten Decimalstelle verlässlich gefunden werde.

### Addition und Subtraction unvollständiger Decimalbrüche.

§. 106. 1. Da die Summe mehrerer unvollständiger Decimalbrüche nur in jenen Stellen verlässlich sein kann, welche in jedem Summanden verbürgt sind, so kürzt man alle Summanden auf gleich viele Decimalstellen ab. Die Fehlergrenze der Summe ist dann, da die Fehler aller Summanden möglicher Weise in demselben Sinne wirken können, gleich so vielen halben Einheiten der letzten Stelle, als die Zahl der Summanden angibt.

2. Auch beim Subtrahieren unvollständiger Decimalbrüche kürzt man dieselben auf so viele Decimalstellen ab, als in jeder der beiden Zahlen verbürgt sind. Die Fehlergrenze der Differenz beträgt dann eine Einheit der letzten Stelle.

### Abgekürzte Multiplication.

§. 107. Will man das Product zweier mehrstelliger Decimalzahlen nicht vollständig, sondern nur bis zu einer bestimmten Stelle entwickeln und in die Rechnung keine überflüssigen Zahlen einbeziehen, so wendet man die abgekürzte Multiplication an. Darunter versteht man folgendes Verfahren:

1. Man setzt die Einer des Multiplikators unter die niedrigste Decimalstelle des Multiplicands, welche im Producte noch angestrebt wird, und schreibt daneben die übrigen Ziffern des Multiplikators in umgekehrter Reihenfolge; dann haben die Producte aus je zwei unter einander stehenden Ziffern gleichen Rang mit der niedrigsten im Producte verlangten Ziffer.

2. Man multipliciert mit jeder Ziffer des umgekehrt geschriebenen Multiplikators die gerade darüber stehende sowie die weiter folgenden höheren Ziffern des Multiplicands und schreibt die dadurch erhaltenen abgekürzten Theilproducte so an, dass ihre niedrigsten Ziffern, da sie von gleichem Range sind, unter einander zu stehen kommen. Um jedoch die niedrigste Ziffer eines jeden Theilproductes möglichst sicher zu erhalten, multipliciert man bei der Entwicklung desselben zunächst noch die erste im Multiplicand weggelassene Ziffer und addiert die daraus sich ergebenden Zehner als Correctur zu der niedrigsten Ziffer des Theilproductes.

3. Die abgekürzten Theilproducte werden addiert.

Die Fehlergrenze des abgekürzten Productes beträgt so viele halbe Einheiten der niedrigsten Stelle, als die Anzahl der Theilproducte angibt. Man kann aber die Fehlergrenze meist bis auf eine halbe Einheit dieser Stelle herabdrücken, wenn man in jedem Theilproducte nicht die niedrigste verlangte Stelle corrigiert, sondern noch die ihr folgende niedrigere Ziffer möglichst genau entwickelt und die aus der Summe dieser Ziffern sich ergebende Correctur erst im Endproducte berücksichtigt.

Es sei z. B. das Product  $48.179 \times 13.5645$  bis auf 3 Decimalstellen zu entwickeln.

a)	b)	c)
$48 \cdot 179 \times 13 \cdot 5645$	$48 \cdot 179$	$48 \cdot 179$
48 179	54 6521	54 6531
14 4537	48 1790	48 1790
2 4089 5	14 4537	14 4537
2890 74	2 4090	2 4089 5
192 716	2891	2890 7
24 0895	193	192 7
653 524 0455	24	24 1
	653 525 ..	653 524 ..

In a) ist die Multiplication vollständig ausgeführt, in b) abgekürzt auf 3 Decimalstellen mit der Correctur der einzelnen Theilproducte (Fehlergrenze 0·002), in c) abgekürzt mit der Entwicklung der 4ten Decimalstelle und mit entsprechender Correctur des Endproductes (Fehlergrenze 0·0002).

§. 108. Das Product zweier unvollständiger Decimalzahlen kann höchstens mit derjenigen Genauigkeit angegeben werden, welche das Product des minder genauen Factors mit der höchsten Ziffer des andern Factors erhält; dieses Product aber ist in der niedrigsten Stelle unsicher und erst in der vorletzten Stelle bis auf eine halbe Einheit derselben verbürgt.

Um daher das Product zweier unvollständiger Decimalzahlen mit erreichbarer Genauigkeit zu bestimmen, nehme man den ungenaueren Factor zum Multiplicand, setze unter seine vorletzte Ziffer die höchste geltende Ziffer des andern Factors, die übrigen Ziffern desselben aber in umgekehrter Ordnung, und multipliciere sodann abgekürzt. Z. B.

1) $2 \cdot 916 \cdot \cdot \times 4 \cdot 378 \cdot \cdot$	2) $4 \cdot 517 \times 68 \cdot 63 \cdot \cdot$
87 34	715 4
11 66 4	274 5 2
87 5	34 3 2
20 4	6 9
2 3	4 8
12 77 ..	310 0 ..

Zur Bestimmung der Fehlergrenze des Productes zweier unvollständiger Decimalzahlen a.. und b.., deren Fehlergrenzen bezüglich  $\alpha$  und  $\beta$  sind, hat man

$$(a \pm \alpha) (b \pm \beta) - ab = \pm a\beta \pm b\alpha \pm \alpha\beta.$$

Die Fehlergrenze ist also, da das Glied  $\alpha\beta$  als gegen die übrigen verschwindend klein weggelassen werden kann, im ungünstigsten Falle, wo  $\alpha$  und  $\beta$  gleichbezeichnet sind, gleich

$$a\beta + b\alpha.$$

Um demnach die Fehlergrenze des Productes zu erhalten, multipliciert man jeden Factor (in der Praxis gewöhnlich nur dessen höchste Stelle) mit der Fehlergrenze des andern Factors und addiert diese Producte.

Ist der eine Factor  $a$  eine vollständige Zahl, also  $a = 0$ , so ist die Fehlergrenze des Productes gleich  $a\beta$ .

In dem obigen Beispiele 1) ist die Fehlergrenze des Productes  $= 3 \times 0.0005 + 4 \times 0.0005 = 0.0035$ ; in dem Beispiele 2) ist die Fehlergrenze  $5 \times 0.005 = 0.025$ .

### Abgekürzte Division.

§. 109. Will man den Quotienten zweier mehrstelliger Decimalzahlen mit Vermeidung jeder überflüssigen Rechnung nur bis zu einer bestimmten Decimalstelle entwickeln, so bedient man sich der abgekürzten Division. Diese ist die Umkehrung der abgekürzten Multiplication und besteht in folgendem Verfahren:

1. Man sucht die erste Ziffer des Quotienten und bestimmt ihren Rang. Aus dem Range dieser Ziffer und aus der Anzahl der im Quotienten verlangten Decimalen ergibt sich, wie viele geltende Ziffern des Quotienten man im ganzen zu bestimmen hat. Man nimmt dann so viele höchste Ziffern des Divisors, als ihrer der Quotient enthalten soll, als ersten Divisor an.

2. Bei jeder folgenden Division läßt man, anstatt zu dem Rest eine neue Ziffer oder eine Null dazu zu setzen, im Divisor rechts eine Ziffer weg, multipliciert jedoch mit jeder neuen Ziffer des Quotienten zunächst die erste im Divisor weggelassene Ziffer und nimmt aus dem Ergebnisse die Correctur für das Product aus dem abgekürzten Divisor und der entsprechenden Ziffer des Quotienten.

3. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis mit der Division durch die erste Ziffer des Divisors die Rechnung abschließt.

Es sei z. B. der Quotient  $125.083563 : 8.195$  bis auf 2 Decimalstellen zu entwickeln.

a) Vollständige Division.

$$\begin{array}{r|l} 125.08 & 3563 : 8.195 = 15.2634 \\ 43\ 13 & 3 \\ 2\ 15 & 85 \\ 51 & 956 \\ 2 & 7863 \\ & 32780 \\ & 0 \end{array}$$

b) Abgekürzte Division.

$$\begin{array}{r|l} 125.08 & 3563 : 8.195 = 15.26.. \\ 43\ 13 & \\ 2\ 15 & \\ 52 & \\ 3 & \end{array}$$

§. 110. Der Quotient zweier unvollständiger Decimalzahlen kann nicht genauer sein als die ungenauere dieser Zahlen.

Um daher den Quotienten zweier unvollständiger Decimalzahlen mit erreichbarer Genauigkeit zu bestimmen, nimmt man im Dividend und im Divisor nur so viele Stellen in Betracht, als die ungenauere der beiden Zahlen gestattet, und dividirt abgekürzt. Z. B.

$$\begin{array}{r}
 1) \quad 148 \cdot 47 \dots : 6 \cdot 2,4,5 \dots = 23 \cdot 77 \dots \\
 \quad 23 \ 47 \\
 \quad 4 \ 83 \\
 \quad 46 \\
 \quad 1
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 2) \quad 17 \cdot 837 \overset{27436}{0} : 5 \cdot 2,7,4|36 = 3 \cdot 382 \dots \\
 \quad 2 \ 014 \\
 \quad 432 \\
 \quad 10
 \end{array}$$

Sind allgemein  $a \dots$  und  $b \dots$  zwei unvollständige Decimalbrüche,  $\alpha$  die Fehlergrenze des ersten,  $\beta$  die Fehlergrenze des zweiten, so hat man zur Bestimmung der Fehlergrenze des Quotienten  $\frac{a \dots}{b \dots}$  den Ausdruck

$$\frac{a \pm \alpha}{b \pm \beta} - \frac{a}{b} = \frac{a b \pm b \alpha - a b \mp a \beta}{b (b \pm \beta)} = \frac{\pm b \alpha \mp a \beta}{b (b \pm \beta)}.$$

Im ungünstigsten Falle sind  $\alpha$  und  $\beta$  entgegengesetzt bezeichnet; dann ist, wenn man im Nenner  $\beta$  als gegen  $b$  verschwindend klein vernachlässigt, die Fehlergrenze gleich

$$\frac{b \alpha + a \beta}{b^2}, \text{ oder } \left( \alpha + \frac{a}{b} \cdot \beta \right) : b.$$

Um daher die Fehlergrenze des Quotienten zu erhalten, multipliciert man in der Praxis den auf seine höchste Stelle abgekürzten Quotienten mit der Fehlergrenze des Divisors, addiert zum Producte die Fehlergrenze des Dividends und dividirt die Summe durch die höchste Stelle des Divisors.

Ist der Dividend  $a$  eine vollständige Decimalzahl, also  $\alpha = 0$ , so ist die Fehlergrenze des Quotienten  $\frac{a}{b} \beta : b$ .

Ist der Divisor  $b$  eine vollständige Decimalzahl, also  $\beta = 0$ , so ist  $\alpha : b$  die Fehlergrenze des Quotienten.

In dem obigen Beispiele 1) ist die Fehlergrenze des Quotienten  $(20 \times 0 \cdot 0005 + 0 \cdot 005) : 6 = 0 \cdot 0025$ ; in dem Beispiele 2) ist  $0 \cdot 0005 : 5 = 0 \cdot 0001$  die Fehlergrenze.

## VII. Unendlich große und unendlich kleine Größen und Grenzwerte der Veränderlichen.

§. III. Größen, denen man während einer Rechnung oder Entwicklung einen bestimmten unveränderlichen Wert beilegt, heißen constant, im Gegensatz zu den veränderlichen oder variablen Größen, welche jeden beliebigen, ihrer Natur angemessenen Wert annehmen können.

Eine veränderliche Größe (Zahl), deren absoluter Wert so im Wachsen begriffen ist, daß er größer wird, als jede beliebige absolute Constante, heißt unendlich groß. Man bezeichnet sie durch  $\infty$ .

Eine veränderliche Größe (Zahl), deren absoluter Wert so im Abnehmen begriffen ist, daß er kleiner wird, als jede beliebige absolute Constante, heißt unendlich klein.

**Lehrsätze.** 1. Die Summe einer endlichen Anzahl von unendlich kleinen Summanden ist unendlich klein.

Sind  $\xi, \nu, \zeta \dots$  unendlich kleine Größen, und ist ihre Anzahl  $m$  eine endliche Zahl, so ist auch  $\xi + \nu + \zeta + \dots$  unendlich klein, d. i. kleiner als jede beliebige Constante  $c$ . Denn theilt man  $c$  in  $m$  beliebige constante Theile  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ , so wird

$$\xi < \alpha, \nu < \beta, \zeta < \gamma, \dots, \text{ also } \xi + \nu + \zeta + \dots < c.$$

2. Ein Product, dessen Multiplicand unendlich klein, und dessen Multiplicator eine constante, von Null verschiedene Zahl ist, ist unendlich klein.

Folgt aus 1.

3. Ein Product, dessen Multiplicand constant und von Null verschieden, und dessen Multiplicator unendlich klein ist, ist unendlich klein.

Um zu beweisen, daß für ein unendlich kleines  $n$  das Product  $An$  kleiner als eine beliebige Constante  $C$  wird, darf man nur  $n < \frac{C}{A}$  wählen; dann wird  $An < C$ .

4. Ein Quotient, dessen Dividend constant und von Null verschieden, und dessen Divisor unendlich groß ist, ist unendlich klein.

Um zu beweisen, daß  $\frac{A}{n}$  für ein unendlich großes  $n$  kleiner als irgend eine Constante  $C$  wird, wähle man  $n > \frac{A}{C}$ ; dann wird  $\frac{A}{n} < C$ .

5. Ein Quotient, dessen Dividend constant und von Null verschieden, und dessen Divisor unendlich klein ist, ist unendlich groß.

Der Beweis ist analog dem Beweise zu 4.

**§. 112.** Wenn eine veränderliche Größe  $X$  bei fortwährendem Zu- oder Abnehmen sich einer constanten Größe  $A$ , ohne dieselbe zu erreichen, so nähert, daß die Differenz zwischen ihnen unendlich klein wird, so heißt  $A$  der Grenzwert (limes) von  $X$ . Diese Beziehung wird ausgedrückt durch

$$\lim X = A.$$

Der Grenzwert einer unendlich kleinen Größe ist Null. Jedoch ist Null selbst nicht unendlich klein, da Null nicht veränderlich, sondern constant ist.

**Zusatz.** Aus dem Satz 4, in §. 111, ergibt sich

$$\lim \frac{1}{n} = 0 \text{ für } n = \infty.$$

Wird diese Beziehung, wie es häufig geschieht, kürzer durch die Gleichung

$$\frac{1}{\infty} = 0$$

ausgedrückt, so ist hier unter dem Zeichen 0 nicht die absolute Null, sondern eine unendlich kleine Zahl zu verstehen.

In demselben Sinne gebraucht man auch den reciproken Ausdruck

$$\frac{1}{0} = \infty,$$

welcher in dieser Auffassung mit dem in §. 48, 7 angeführten Satze nicht im Widerspruche steht.

§. 113. Lehrsätze. 1. Der Grenzwert einer Summe ist gleich der Summe der Grenzwerte der Summanden.

2. Der Grenzwert eines Productes ist gleich dem Producte der Grenzwerte der Factoren.

3. Der Grenzwert eines Quotienten ist gleich dem Quotienten des Grenzwertes des Dividends durch den Grenzwert des Divisors.

Sind A und B die Grenzwerte zweier zusammengehöriger Veränderlichen X und Y, und sind  $\xi$  und  $v$  positive und negative Zahlen, die sich der Null nähern, wenn X und Y sich den Grenzwerten A und B nähern, so kann man  $X = A + \xi$  und  $Y = B + v$  setzen. Dann ist

$$\begin{aligned} X + Y &= A + B + (\xi + v), \\ XY &= AB + (Av + B\xi + \xi v), \\ \frac{X}{Y} &= \frac{A}{B} + \frac{B\xi - Av}{B(B + v)}. \end{aligned}$$

Nähern sich nun X und Y ihren Grenzwerten A und B, also  $\xi$  und  $v$  der Null, so werden (§. 111, 1 und 3)  $\xi + v$ ,  $Av + B\xi + \xi v$ ,  $B\xi - Av$  unendlich klein; daher ist

$$\begin{aligned} 1) \quad \lim (X + Y) &= \lim X + \lim Y, \\ 2) \quad \lim XY &= \lim X \lim Y, \\ 3) \quad \lim \frac{X}{Y} &= \frac{\lim X}{\lim Y}. \end{aligned}$$

§. 114. Sind zwei constante Größen Grenzwerte derselben Veränderlichen, so sind sie einander gleich.

Ist  $A = \lim X$  und  $B = \lim X$ , so ist  $A = B$ .

Denn wäre dem absoluten Werte nach  $A > B$ , so müßte dem absoluten Werte nach  $A > X > B$  sein. Man theile nun  $A - B$  in zwei ungleiche Theile, von denen der kleinere  $m$  sei; dann wird

$$\begin{aligned} A - X &< m, \\ X - B &< m, \text{ daher} \\ \hline A - B &< 2m, \text{ und umsomehr} \\ A - B &< A - B, \text{ was unmöglich ist.} \end{aligned}$$

Folgesatz. Eine constante Größe ist als Grenzwert einer veränderlichen Größe vollständig bestimmt.

## VIII. Verhältnisse und Proportionen.

## 1. Verhältnisse.

## Zahlenverhältnisse.

§. 115. Unter dem Verhältnisse zweier Zahlen  $a$  und  $b$  versteht man den Quotienten derselben im Sinne der messenden Division (§. 47), d. i. die Angabe, wie vielmal  $b$  in  $a$  enthalten ist. Der Quotient  $a : b$  oder  $\frac{a}{b}$  wird als Verhältniß gelesen:  $a$  verhält sich zu  $b$ , oder kürzer:  $a$  zu  $b$ . Den Dividend  $a$  nennt man das Vorderglied, den Divisor  $b$  das Hinterglied des Verhältnisses.

Zwei Verhältnisse, welche denselben Zahlenwert haben, sind einander gleich.

Das durch Vertauschung der Glieder eines Verhältnisses  $a : b$  entstehende Verhältniß  $b : a$  heißt das umgekehrte oder reciproke Verhältniß der Zahlen  $a$  und  $b$ ; im Gegensatze zu demselben wird dann  $a : b$  das gerade Verhältniß dieser Zahlen genannt.

Aus dem Begriffe eines Verhältnisses folgt:

1. Das Vorderglied eines Verhältnisses ist gleich dem Hintergliede multipliciert mit dem Quotienten (§. 48, 1).

2. Das Hinterglied eines Verhältnisses ist gleich dem Vordergliede dividiert durch den Quotienten (§. 48, 2).

3. Ein Verhältniß bleibt (seinem Werte nach) unverändert, wenn man Vorder- und Hinterglied mit derselben Zahl multipliciert, oder beide durch dieselbe Zahl dividiert (§. 53, 2).

Durch Anwendung des 3. Satzes kann man a) jedes Verhältniß, dessen Glieder Brüche enthalten, mit ganzen Zahlen darstellen; b) jedes Verhältniß, dessen Glieder ein gemeinsames Maß haben, durch dieses abkürzen.

§. 116. Multipliciert man in zwei oder mehreren Verhältnissen alle Vorderglieder und ebenso alle Hinterglieder mit einander, so bilden die Producte ein neues Verhältniß, welches im Gegensatze zu den gegebenen einfachen Verhältnissen ein zusammengesetztes Verhältniß genannt wird.

Sind z. B.  $a : b$

$c : d$

$e : f$  einfache Verhältnisse,

so ist  $ace : bdf$  ein zusammengesetztes Verhältniß.

## Größenverhältnisse.

§. 117. Zwischen zwei Größen kann nur dann ein Verhältniß stattfinden, wenn dieselben gleichartig sind. Das Verhältniß zweier gleichartiger

Größen ist gleichbedeutend mit dem Verhältnisse zweier unbenannter Zahlen, welche ausdrücken, wie vielmal eine dritte Größe derselben Art als Maß in jeder der beiden Größen enthalten ist.

**Aufgabe.** Das größte gemeinsame Maß zweier gleichartiger Größen zu finden.

Man nehme, wenn A und B die gegebenen Größen sind, von der größeren A die kleinere B so oft weg, als es angeht; sodann in gleicher Weise von B den etwa gebliebenen Rest  $R_1$ , von diesem Reste  $R_1$  wieder den neuen Rest  $R_2$ , u. s. w. Kommt man bei einer dieser Messungen auf einen Rest  $R_n = 0$ , so ist der letzte nicht verschwindende Rest  $R_{n-1}$  das gr. g. Maß der beiden gegebenen Größen.

Die Begründung dieses Verfahrens, das mit dem in §. 72 angegebenen Vorgange bei der Auffindung des gr. g. Maßes zweier Zahlen übereinstimmt, ist analog mit dem dort geführten Beweise.

Hier werden zwar auch, wie bei der Auffindung des gr. g. Maßes zweier ganzen Zahlen, die Reste stets kleiner, man muß jedoch nicht immer, wie dort, schließlich einen Rest  $= 0$  erhalten. Wenn man bei dem obigen Verfahren niemals auf einen Rest  $= 0$  kommt, so weit man die Messungen auch fortsetzen würde, so haben die beiden Größen kein gemeinsames Maß. Ein Beispiel zweier solcher Größen bieten die Hypotenuse und die Kathete eines gleichschenkligen rechtwinkligen Dreieckes (Geometrie §. 107).

Zwei Größen, welche ein gemeinsames Maß haben, heißen commensurabel; zwei Größen, welche kein gemeinsames Maß haben, incommensurabel.

§. 118. 1. Das Verhältniß zweier commensurabler Größen ist entweder eine ganze oder eine gebrochene Zahl.

Sind die Größen A und B commensurabel, und ist ihr gemeinsames Maß in A m mal, in B n mal enthalten, so ist  $\frac{A}{B} = \frac{m}{n}$ , wo  $\frac{m}{n}$  für den Fall, daß m durch n theilbar ist, eine ganze Zahl, sonst einen Bruch darstellt.

2. Das Verhältniß zweier incommensurabler Größen kann a) weder eine ganze noch eine gebrochene Zahl sein; es läßt sich jedoch b) als Grenzwert eines veränderlichen Bruches mit jedem beliebigen Grade der Genauigkeit bestimmen.

a) Sind A und B zwei incommensurable Größen, so kann weder  $\frac{A}{B} = m$ , noch  $\frac{A}{B} = \frac{m}{n}$  sein; denn im ersten Falle wäre dann B selbst, im zweiten  $\frac{B}{n}$  ein gemeinsames Maß von A und B, was gegen die Voraussetzung ist.

b) Theilt man B in n gleiche Theile und nimmt einen solchen Theil  $\frac{B}{n}$  wiederholt von A weg, bis der letzte Rest kleiner wird als  $\frac{B}{n}$ , so hat man,

wenn dies nach  $m$  maligem Wegnehmen der Fall ist,

$$A > m \cdot \frac{B}{n} \text{ und } A < (m + 1) \cdot \frac{B}{n},$$

folglich nach §. 60, 2

$$\frac{m}{n} < \frac{A}{B} < \frac{m+1}{n}.$$

In diesem Falle liegt also das Verhältnis  $\frac{A}{B}$  zwischen zwei Brüchen  $\frac{m}{n}$  und  $\frac{m+1}{n}$ , deren Unterschied  $\frac{1}{n}$ , wenn man  $n$  hinlänglich groß annimmt, beliebig klein gemacht werden kann. Das Verhältnis  $\frac{A}{B}$  ist demnach der Grenzwert, dem sich der veränderliche Bruch  $\frac{m}{n}$  um so mehr nähert, je größer  $n$  wird, also

$$\frac{A}{B} = \lim \frac{m}{n}, \text{ wenn } n = \infty \text{ wird.}$$

## 2. Erweiterung des Zahlengebietes durch die Division als Messung.

### Irrationale Zahlen.

§. 119. Das Messen zweier incommensurabler Größen führt auf Verhältnisse, die sich durch die bisher betrachteten Zahlen nicht ausdrücken lassen; man ist deshalb genöthigt, den Zahlenbegriff entsprechend zu erweitern. Dieses geschieht durch Einführung der irrationalen Zahlen.

Eine irrationale Zahl ist eine Zahl, welche sich weder durch eine ganze noch durch eine gebrochene Zahl, sondern nur als Grenzwert eines veränderlichen Bruches ausdrücken läßt. Die Werte, welche dieser veränderliche Bruch annimmt, indem er sich der Grenze nähert, heißen Näherungswerte der irrationalen Zahl. Im Gegensatz zu den irrationalen Zahlen werden die bisher betrachteten Zahlen, die ganzen und gebrochenen, rationale Zahlen genannt.

Hiernach ist (§. 118) das Verhältnis zweier Größen  $A$  und  $B$ , wenn sie commensurabel sind, eine rationale Zahl, dagegen, wenn sie incommensurabel sind, eine irrationale Zahl. Das Zeichen für die irrationale Zahl  $\frac{A}{B}$  ist  $\lim \frac{m}{n}$ , wo  $n$  ohne Ende zunimmt und  $m$  die größte ganze Zahl angibt, welche für den jedesmaligen Wert von  $n$  in dem Quotienten  $A : \frac{B}{n}$  enthalten ist. Die Brüche  $\frac{m}{n}$  und  $\frac{m+1}{n}$  sind für irgend einen besonderen Wert von  $n$  auf  $\frac{1}{n}$  genaue Näherungswerte dieser irrationalen Zahl.

Ein periodischer Decimalbruch ist eine rationale Zahl (§. 104, 2 und 3).

Auch die irrationalen Zahlen können durch eine Zahlenlinie veranschaulicht werden. Eine unbegrenzte gerade Linie stellt durch die von einem ihrer Punkte,

dem Anfangspunkte, zu beiden Seiten gleich weit abstehenden Punkte die Reihe der positiven und negativen ganzen Zahlen dar. Werden zwischen je zwei Punkte dieser Linie beliebig viele ebenfalls gleich weit von einander entfernte Punkte eingeschaltet, so wird durch diese die Reihe der Brüche mit beliebigen Nennern dargestellt. Je mehrere solche Punkte man einschaltet, desto näher rücken sie aneinander, bis sie bei einer ins Unendliche fortschreitenden Einschaltung, wie die irrationalen Zahlen es fordern, in eine stetige Zahlenlinie übergehen. So lange man sich auf die rationalen Zahlen beschränkte, hatte man immer noch nicht alle Punkte der Linie; erst die irrationalen Zahlen in Verbindung mit den rationalen lassen jeden Punkt der Linie als die Veranschaulichung einer Zahl erscheinen.

§. 120. Mit irrationalen Zahlen rechnen heißt, mit ihren Näherungswerten rechnen und den Grenzwert suchen, von welchem das Resultat unendlich wenig differiert, wenn die Näherungswerte der irrationalen Zahlen von ihren Grenzwerten selbst unendlich wenig differieren.

Da nach dieser Erklärung die Resultate der Rechnungen mit irrationalen Zahlen durch die bezüglichlichen Rechnungsergebnisse ihrer Näherungswerte bestimmt werden, diese aber rationale Zahlen sind, so gelten alle für rationale Zahlen erwiesenen allgemeinen Operationsgesetze auch für die irrationalen Zahlen.

### 3. Proportionen.

§. 121. Die Gleichstellung zweier gleicher Verhältnisse heißt eine Proportion. Ist  $a : b = q$  und  $c : d = q$ , so ist auch  $a : b = c : d$ ; dieser Ausdruck ist eine Proportion und wird gelesen:  $a$  verhält sich zu  $b$ , wie sich  $c$  zu  $d$  verhält, oder kürzer:  $a$  zu  $b$ , wie  $c$  zu  $d$ . Das erste Glied  $a$  und das vierte  $d$  nennt man die äußeren, das zweite  $b$  und das dritte  $c$  die inneren Glieder; auch heißen  $a$  und  $c$  die Vorderglieder,  $b$  und  $d$  die Hinterglieder der Proportion. Das vierte Glied insbesondere wird die vierte Proportionale zu den drei ersten Gliedern genannt.

Sind in einer Proportion die inneren Glieder gleich, so heißt dieselbe eine stetige Proportion, z. B.  $a : b = b : c$ . Das innere Glied  $b$  wird die mittlere (geometrische) Proportionale oder das geometrische Mittel zu  $a$  und  $c$ , und  $c$  die dritte stetige Proportionale zu  $a$  und  $b$  genannt.

#### Größenproportionen.

§. 122. Sind die Glieder einer Proportion lauter unbenannte Zahlen, so heißt dieselbe eine Zahlenproportion, sonst heißt sie eine Größenproportion.

Wenn zwei Arten von Größen so von einander abhängen, daß zu einer  $m$ -fachen Größe der einen Art auch eine  $m$ -fache Größe der andern Art gehört, so heißen die beiden Arten von Größen gerade proportioniert; z. B. Ware

und Preis. Wenn dagegen zu der  $m$ -fachen Größe der einen Art nur der  $m$ te Theil von der Größe der andern Art gehört, so heißen die beiden Arten von Größen verkehrt proportioniert; z. B. die Zahl der Arbeiter und die Arbeitszeit bei gleicher Leistung.

**Lehrsatz.** Sind zwei Arten von Größen für je zwei commensurable Werte der einen Art gerade oder verkehrt proportioniert, so sind sie es auch für je zwei incommensurable Werte derselben.

**Beweis.** a) Es seien  $A$  und  $A'$  zwei Größen der einen Art,  $B$  und  $B'$  die zugehörigen Größen einer andern von der ersten abhängigen Art, und es sei für den Fall, daß  $A$  und  $A'$  commensurabel sind,  $A:A' = B:B'$ .

Um zu beweisen, daß die Verhältnisse  $A:A'$  und  $B:B'$  auch dann gleich sein müssen, wenn  $A$  und  $A'$  incommensurabel sind, theilt man  $A'$  in  $n$  gleiche Theile, wo  $n$  beliebig groß angenommen werden kann, und nimmt einen solchen Theil  $\frac{A'}{n}$  von  $A$   $m$ mal, d. i. so oft weg, als es angeht; dann bleibt, da  $A$  und  $A'$  incommensurabel sind, von  $A$  noch ein Rest übrig, der jedoch kleiner als  $\frac{A'}{n}$  ist; es ist daher

$$\frac{mA'}{n} < A < \frac{(m+1)A'}{n}, \text{ oder } \frac{m}{n} < \frac{A}{A'} < \frac{m+1}{n},$$

wo der Unterschied  $\frac{1}{n}$  zwischen  $\frac{m}{n}$  und  $\frac{m+1}{n}$  durch Vergrößerung von  $n$  beliebig klein gemacht werden kann. Da  $\frac{mA'}{n}$  und  $\frac{(m+1)A'}{n}$  commensurabel sind, so sind nach der Voraussetzung die zu  $\frac{mA'}{n}$ ,  $A$  und  $\frac{(m+1)A'}{n}$  gehörigen Größen der zweiten Art  $\frac{mB'}{n}$ ,  $B$  und  $\frac{(m+1)B'}{n}$ , und muß auch

$$\frac{mB'}{n} < B < \frac{(m+1)B'}{n}, \text{ oder } \frac{m}{n} < \frac{B}{B'} < \frac{m+1}{n} \text{ sein.}$$

Die irrationalen Verhältnisse  $\frac{A}{A'}$  und  $\frac{B}{B'}$  sind demnach Grenzwerte desselben veränderlichen Bruches  $\frac{m}{n}$ , folglich nach §. 114 einander gleich.

b) Ebenso wird der Beweis geführt, wenn die beiden Arten von Größen verkehrt proportioniert sind.

In den hier folgenden Untersuchungen können wir uns daher auf Proportionen beschränken, deren Verhältnisse rational sind.

### Beziehungen unter den Gliedern einer Proportion.

§. 123. In jeder Zahlenproportion ist das Product der äußeren Glieder gleich dem Producte der inneren Glieder.

Es sei  $a:b = c:d$ . Multipliciert man die Quotientengleichung  $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$  mit  $bd$ , so erhält man  $\frac{abd}{b} = \frac{bcd}{d}$ , und folglich  $ad = bc$ .

**Folgesätze.** 1. In einer stetigen Zahlenproportion ist das Quadrat der mittleren Proportionale gleich dem Producte der beiden anderen Glieder.

Ist  $a : b = b : c$ , so ist  $b^2 = ac$ .

2. Jedes äußere Glied einer Zahlenproportion ist gleich dem Producte der beiden inneren Glieder dividirt durch das andere äußere Glied; und jedes innere Glied ist gleich dem Producte der beiden äußeren Glieder dividirt durch das andere innere Glied.

Ist  $a : b = c : d$ , daher  $ad = bc$ , so ist

$$a = \frac{bc}{d}, \quad d = \frac{bc}{a}, \quad \text{und} \quad b = \frac{ad}{c}, \quad c = \frac{ad}{b}.$$

§. 124. Aus zwei gleichen Producten läßt sich eine Proportion bilden, indem man die Factoren des einen Productes zu äußeren, die Factoren des andern Productes zu inneren Gliedern macht.

Es sei  $ad = bc$ , daher auch  $bc = ad$ . Dividirt man diese gleichen Ausdrücke folgewise durch  $bd$ ,  $cd$ ,  $ab$  und  $ac$ , so ergeben sich folgende Proportionen:

$$\begin{array}{ll} a : b = c : d, & c : d = a : b, \\ a : c = b : d, & b : d = a : c, \\ d : b = c : a, & c : a = d : b, \\ d : c = b : a, & b : a = d : c. \end{array}$$

§. 125. Eine Proportion auflösen heißt, aus drei gegebenen Gliedern einer Proportion das noch unbekannte Glied finden.

a) Eine Proportion wird aufgelöst, indem man aus dem Verhältnisse, dessen beide Glieder gegeben sind, den Quotienten sucht und aus diesem und dem gegebenen Gliede des andern Verhältnisses (nach §. 115, 1 oder 2) das unbekannte Glied bestimmt.

b) Eine Zahlenproportion wird am einfachsten nach §. 123, Folges. 2, aufgelöst.

Aus  $x : 2 = 15 : 3$  findet man

a)  $15 : 3 = 5$ ,  $x = 2.5 = 10$ ; oder

b)  $x = \frac{2 \cdot 15}{3} = 10$ ; daher

$10 : 2 = 15 : 3$  die vollständige Proportion.

**Umformung von Proportionen.**

§. 126. 1. Jede Zahlenproportion bleibt richtig, wenn man a) die inneren Glieder unter sich, b) die äußeren Glieder unter sich, c) die inneren Glieder mit den äußeren vertauscht.

Es sei  $a : b = c : d$ , daher  $ad = bc$ . Dann finden nach §. 124 auch folgende Proportionen statt:

$$a) \quad a : c = b : d,$$

$$b) \quad d : b = c : a,$$

$$c) \quad b : a = d : c.$$

Die Umformung c) kann man auch mit jeder Größenproportion, die Umformungen a) und b) nur mit solchen Größenproportionen vornehmen, in denen alle Glieder gleichartig sind.

2. Eine Proportion bleibt richtig, wenn man ein äußeres und ein inneres Glied mit derselben Zahl multipliciert, oder beide durch dieselbe Zahl dividiert.

Folgt aus §. 115, 3, und §. 126, 1.

Durch Anwendung dieses Satzes kann man a) jede Proportion, in welcher Brüche vorkommen, mit ganzen Zahlen darstellen; b) jede Proportion, in welcher ein äußeres und ein inneres Glied ein gemeinsames Maß haben, durch dieses abkürzen.

§. 127. 1. In jeder Proportion verhält sich die Summe oder Differenz der ersten zwei Glieder zum ersten oder zweiten, wie die Summe oder Differenz der letzten zwei Glieder zum dritten oder vierten.

Ist  $a : b = c : d$ ,  $a = bq$ ,  $c = dq$ , so hat man

$$(a \pm b) : a = (bq \pm b) : bq = (q \pm 1) : q,$$

$$(c \pm d) : c = (dq \pm d) : dq = (q \pm 1) : q; \text{ daher}$$

$$(a \pm b) : a = (c \pm d) : c.$$

Auf ähnliche Weise erhält man

$$(a \pm b) : b = (c \pm d) : d.$$

2. In jeder Proportion verhält sich die Summe der ersten zwei Glieder zu deren Differenz, wie die Summe der letzten zwei Glieder zu deren Differenz.

Es ist

$$(a + b) : (a - b) = (bq + b) : (bq - b) = (q + 1) : (q - 1),$$

$$(c + d) : (c - d) = (dq + d) : (dq - d) = (q + 1) : (q - 1);$$

daher

$$(a + b) : (a - b) = (c + d) : (c - d).$$

3. In jeder Proportion gleichartiger oder unbenannter Zahlen verhält sich die Summe oder Differenz der Vorderglieder zur Summe oder Differenz der Hinterglieder wie jedes Vorderglied zu seinem Hintergliede.

Bertauscht man in der Proportion  $a : b = c : d$  die inneren Glieder, so erhält man  $a : c = b : d$ . Nach 1. ist dann

$$(a \pm c) : a = (b \pm d) : b,$$

und nach Vertauschung der inneren Glieder

$$(a \pm c) : (b \pm d) = a : b; \text{ folglich auch} \\ (a \pm c) : (b \pm d) = c : d.$$

### Verbindung mehrerer Proportionen.

§. 128. Werden mehr als zwei Verhältnisse einander gleichgesetzt, so entsteht eine fortlaufende Proportion; z. B.

$$a : m = b : n = c : p = \dots$$

Diese fortlaufende Proportion schreibt man auch so an:

$$a : b : c \dots = m : n : p \dots,$$

wobei alle Vorderglieder auf einer, alle Hinterglieder auf der andern Seite des Gleichheitszeichens stehen.

In jeder fortlaufenden Proportion gleichartiger oder unbenannter Zahlen verhält sich die Summe aller Vorderglieder zur Summe aller Hinterglieder, wie irgend ein Vorderglied zu seinem Hintergliede.

Hat man die fortlaufende Proportion

$$a : m = b : n = c : p,$$

so folgt aus §. 127, 3

$$(a + b + c) : (m + n + p) = a : m \\ = b : n \\ = c : p.$$

§. 129. 1. Wenn man in zwei oder mehreren Zahlenproportionen die gleichstelligen Glieder mit einander multipliciert, so bilden die Producte wieder eine Proportion.

Sind die Proportionen

$$a : b = c : d, \\ f : g = h : k, \\ m : n = p : r$$

gegeben, so ist  $ad = bc$ ,  $fk = gh$ ,  $mr = np$ . Multipliciert man diese Productengleichungen mit einander, so ergibt sich

$$adkmp = bghnp, \text{ oder } afm \cdot dkr = bgn \cdot chp,$$

und hieraus nach §. 124

$$afm : bgn = chp : dkr.$$

Man sagt, die letzte Proportion sei aus den gegebenen zusammengesetzt.

2. Wenn man die gleichstelligen Glieder zweier Zahlenproportionen durch einander dividirt, so bilden die Quotienten wieder eine Proportion.

Ist

$$a : b = c : d \text{ und}$$

$$f : g = h : k,$$

so hat man  $ad = bc$  und  $fk = gh$ . Dividirt man die erste Productengleichung durch die zweite, so erhält man

$$\frac{ad}{fk} = \frac{bc}{gh}, \text{ oder } \frac{a}{f} \cdot \frac{d}{k} = \frac{b}{g} \cdot \frac{c}{h},$$

und hieraus

$$\frac{a}{f} : \frac{b}{g} = \frac{c}{h} : \frac{d}{k}.$$

### Harmonische Proportionen.

§. 130. Drei Zahlen  $a, b, c$  bilden eine harmonische Proportion, wenn  $(a - b) : (b - c) = a : c$  ist;  $b$  heißt dann die mittlere harmonische Proportionale oder das harmonische Mittel zwischen  $a$  und  $c$ .

Aufgabe. Zu zwei gegebenen Zahlen die dritte harmonisch proportionierte zu finden.

Aus  $(a - b) : (b - c) = a : c$  folgt  $ac - bc = ab - ac$ , daher

$$1) \quad a = \frac{bc}{2c - b},$$

$$2) \quad c = \frac{ab}{2a - b}, \text{ und}$$

$$3) \quad b = \frac{2ac}{a + c}.$$

Die dritte Gleichung gibt den Satz:

Das harmonische Mittel zwischen zwei Zahlen ist gleich dem doppelten Producte derselben dividirt durch ihre Summe.

Vergleichung zwischen dem arithmetischen (§. 95, Zusatz), dem geometrischen (§. 121 und §. 123, Folges. 1) und dem harmonischen Mittel.

173

## 4. Anwendung der Proportionen.

### Angewandte Aufgaben mit einfachen Verhältnissen.

§. 131. Die Lösung von Proportionsaufgaben, deren Größen in einfachen Verhältnissen stehen — die sogenannte einfache Regelbetri — beruht auf folgendem Satze, welcher sich unmittelbar aus dem Begriffe der geraden und verkehrten Proportionalität ergibt:

Sind zwei Arten von Zahlen gerade oder verkehrt proportioniert, so ist das Verhältniß zwischen je zwei Zahlen der einen Art bezüglich gleich dem geraden oder dem umgekehrten Verhältniß zwischen den zwei zugehörigen Zahlen der andern Art.

§. 132. Ein Betrag, der sich auf die Zahl 100 bezieht, wird Procent genannt. Bei der Procentrechnung rechnet man entweder von, oder auf, oder in Hundert, je nachdem die Menge, von welcher die Procente bestimmt

werden, mit der Grundzahl 100 selbst, oder mit 100 vermehrt um das Procent, oder mit 100 vermindert um das Procent gleichartig ist.

Bezeichnet  $p$  das Procent und  $b$  den Ertrag von der Menge  $m$ , so hat man folgende Proportionen:

- a) bei der Rechnung von Hundert  $b : p = m : 100$ , also  $b = \frac{m p}{100}$ ;  
 b) " " " auf Hundert  $b : p = m : (100 + p)$ , "  $b = \frac{m p}{100 + p}$ ;  
 c) " " " in Hundert  $b : p = m : (100 - p)$ , "  $b = \frac{m p}{100 - p}$ .

### Angewandte Aufgaben mit zusammengesetzten Verhältnissen.

§. 133. Die Lösung von Aufgaben, deren Größen in zusammengesetzten Verhältnissen stehen — die sogenannte zusammengesetzte Regel detri — beruht auf folgendem Satze:

Hängt eine Art von Zahlen von mehreren anderen Arten so ab, daß sie mit denselben einzeln genommen theils gerade, theils verkehrt proportioniert ist, so ist das Verhältniß zwischen je zwei Zahlen der ersten Art gleich dem zusammengesetzten Verhältnisse aus den einfachen bezüglich gerade oder umgekehrt genommenen Verhältnissen zwischen den zugehörigen Zahlen jeder andern Art.

**Beweis.** Es sei die Zahl  $A$  von den Zahlen  $B, C$  so abhängig, wie  
 " "  $a$  " " "  $b, c$ ,  
 wo die mit gleichlautenden Buchstaben bezeichneten Zahlen zu derselben Art gehören, und es seien die Zahlen der ersten Art mit den Zahlen der zweiten Art gerade, mit den Zahlen der dritten Art verkehrt proportioniert. Heißt  $\alpha$  eine Zahl der ersten Art, welche zu den Zahlen  $b, c$  gehört, so hat man folgende Reihen zusammenhängender Zahlen:

$$A, B, C;$$

$$\alpha, b, C;$$

$$a, b, c.$$

Da die Zahl  $\alpha$  aus  $A$  entsteht, indem sich  $B$  in  $b$  ändert, und die Zahlen dieser zwei Arten gerade proportioniert sind, so hat man

$$A : \alpha = B : b.$$

Da ferner  $a$  aus  $\alpha$  hervorgeht, wenn sich  $C$  in  $c$  verändert, und die Zahlen dieser zwei Arten verkehrt proportioniert sind, so hat man

$$\alpha : a = c : C.$$

Durch Multiplication dieser beiden Proportionen ergibt sich

$$A \alpha : a \alpha = B c : b C,$$

$$\text{oder } A : a = B c : b C,$$

in welcher Proportion der oben aufgestellte Satz enthalten ist.

3. B. Wenn 20 Arbeiter, welche täglich 12 Stunden arbeiten, in 5 Wochen einen Damm von 375 Meter Länge zustande bringen; in wie viel Wochen werden 12 Arbeiter, welche täglich 10 Stunden arbeiten, einen eben solchen Damm von 600 Meter vollenden?

20 Arb. 12 St. täglich 5 Woch. 375 Meter Länge

12 " 10 " " x " 600 " "

$$x : 5 = 20 : 12$$

$$12 : 10$$

$$600 : 375$$

$x : 1 = 16 : 1$ ; daher  $x = 16$  Wochen.

§. 134. Bezeichnet  $Z$  die einfachen Zinsen, welche ein Capital  $C$  in  $J$  Jahren zu  $P$  Procent gibt, so hat man zur gegenseitigen Bestimmung dieser Größen folgende zusammengesetzte Regelbetri:

100 fl. Cap. in 1 Jahr.  $P$  fl. Zins  $Z : P = C : 100$

$C$  " " "  $J$  "  $Z$  " "  $J : 1$

also  $Z : P = CJ : 100$  und

$$100Z = CPJ,$$

aus welcher Formel sich die bekannten Sätze für die Lösung der Aufgaben über die einfache Zinsrechnung herleiten lassen.

### Die Theilregel.

§. 135. Soll eine gegebene Zahl in mehrere Theile, welche sich wie andere gegebene Zahlen verhalten, getheilt werden, so geschieht dieses durch die Theilregel oder Gesellschaftsrechnung. Die Zahlen, durch welche das Verhältniß der Theile ausgedrückt wird, heißen Verhältnißzahlen.

Ist nur eine Reihe von Verhältnißzahlen gegeben, so wird die einfache, sind mehrere Reihen von Verhältnißzahlen gegeben, so wird die zusammengesetzte Theilregel angewendet.

Es seien bei der einfachen Theilregel  $s$  die zu theilende Zahl,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  die Verhältnißzahlen. Werden die gesuchten Theile durch  $u$ ,  $x$ ,  $y$  und  $z$  bezeichnet, so hat man die fortlaufende Proportion:

$$u : x : y : z = a : b : c : d, \text{ oder}$$

$$u : a = x : b = y : c = z : d,$$

daher nach §. 128

$$(u + x + y + z) : (a + b + c + d) = u : a$$

$$= x : b$$

$$= y : c$$

$$= z : d.$$

Da nun  $u + x + y + z = s$  sein muß, so erhält man

$$u = \frac{s}{a + b + c + d} \cdot a; \quad x = \frac{s}{a + b + c + d} \cdot b;$$

$$y = \frac{s}{a + b + c + d} \cdot c; \quad z = \frac{s}{a + b + c + d} \cdot d.$$

§. 136. Die zusammengesetzte Theilregel läßt sich auf die einfache zurückführen.

Es sei eine Zahl  $s$  mit Bezugnahme auf mehrere Umstände in drei Theile zu theilen, die sich in einer Beziehung wie  $a : b : c$ , in einer zweiten Beziehung wie  $d : e : f$ , und in einer dritten Beziehung wie  $g : h : k$  verhalten. Heißen  $x, y, z$  die noch unbekanntenen Theile, so muß sich  $x : y$  nicht nur wie  $a : b$ , sondern auch wie  $d : e$  und wie  $g : h$  verhalten; es muß also das Verhältniß  $x : y$  gleich sein dem zusammengesetzten Verhältnisse aus  $a : b, d : e, g : h$ , also dem Verhältnisse  $adg : beh$ . Ebenso muß  $y : z = beh : cfk$  sein. Es besteht demnach die Forderung, die Theile  $x, y, z$  so zu bestimmen, daß der Bedingung

$$x : y : z = adg : beh : cfk$$

genüge geleistet werde, was eine Aufgabe der einfachen Theilregel ist.

3. B. Zu einer Unternehmung vereinigen sich drei Personen: A gibt 8000 fl. auf 5 Monate, B 4000 fl. auf 6 Monate, C 2000 fl. auf 8 Monate her. Die Unternehmung wirft einen reinen Gewinn von 460 fl. ab; wie viel davon wird jede der drei Personen erhalten?

A 8000 fl. durch 5 Mon.	40000	5	46.5 = 230 fl.
B 4000 " " 6 "	24000	3	46.3 = 138 "
C 2000 " " 8 "	16000	2	46.2 = 92 "
	460	10	= 46
			460 fl.

### Die Kettenregel.

§. 137. Wenn die Beziehung zwischen zwei Größen nicht unmittelbar bekannt ist, sondern erst durch eine zusammenhängende Aufstellung bekannter Zwischenbestimmungen gesucht werden muß, so wendet man die Kettenregel an.

Es sei folgende Aufgabe zu lösen:

Wie viel ( $x$ ) Einheiten von der Art M betragen  $a$  Einheiten von der Art A,  
wenn  $a'$  Einheiten von der Art A  $b$  Einheiten von der Art B,  
 $b'$  " " " " B  $c$  " " " " C,  
 $c'$  " " " " C  $m$  " " " " M  
betragen?

Diese Aufgabe kann kürzer so angeschrieben werden:

$$\text{wenn } \left. \begin{array}{l} xM = aA, \\ a'A = bB, \\ b'B = cC, \\ c'C = mM, \end{array} \right\} \dots 1)$$

wo  $x, a, a', b, b', c, c', m$  unbenannte Zahlen, und A, B, C, M die Arten oder Benennungen derselben vorstellen.

Um das gesuchte Resultat zu erhalten, verwandelt man die gegebenen  $a$  Einheiten der Art A zunächst in  $(y)$  Einheiten der Art B, dann die gefundenen Einheiten der Art B in  $(z)$  Einheiten der Art C, und diese endlich in  $(x)$  Einheiten der Art M. Dabei ergeben sich nach den angegebenen Bedingungen folgende Proportionen:

$$y : b = a : a',$$

$$z : c = y : b',$$

$$x : m = z : c', \text{ woraus nach §. 143, 1 folgt:}$$

$$x : bcm = a : a'b'c', \text{ und}$$

$$x = \frac{abcm}{a'b'c'} \dots 2)$$

Aus dem in 1) angegebenen Ansatz der Aufgabe und dem in 2) für  $x$  erhaltenen Ausdruck ergibt sich für die Kettenrechnung folgendes praktisches Verfahren:

1. Man schreibe  $x$  mit seiner Benennung an und rechts daneben die gegebene Größe, deren Betrag gesucht wird und die daher mit  $x$  gleichen Wert hat. Darunter setze man alle Mittelbeziehungen, und zwar fange man jedesmal links mit einer Größe an, welche mit der nächst vorhergehenden rechts von gleicher Art ist; rechts neben jede Größe kommt diejenige Größe, welche mit ihr gleichwertig ist. So wird fortgefahren, bis man rechts eine Größe erhält, die mit  $x$  gleichnamig ist.

2. Man dividire das Product aller rechts stehenden unbenannten Zahlen durch das Product aller links unter  $x$  stehenden; der Quotient gibt den gesuchten Wert von  $x$ .

3. B. Wenn in England 1 Quarter Weizen 36 Shilling kostet, welches ist der entsprechende Preis für 1 Hektoliter in fl. ö. W.? (11 Quarter = 32 Hektoliter, 20 Shilling = 1 Pfund Sterling, 10 Pfd. Sterl. = 124 fl. ö. W.)

x fl. ö. W.	1 Hektoliter	$x = \frac{11 \cdot 36 \cdot 124}{32 \cdot 20 \cdot 10}$ $= 7 \cdot 67 \text{ fl. ö. W.}$
32 Hektol.	11 Quarter	
1 Quarter	36 Shilling	
20 Shilling	1 Pfd. Sterl.	
10 Pfd. Sterl.	124 fl. ö. W.	

## Dritter Abschnitt.

### Gleichungen des ersten Grades.

§. 138. Die Gleichstellung zweier Zahlenausdrücke, welche gleichen Wert haben, wird eine Gleichung genannt. Z. B.

$$a = a, (x + 2)^2 = x^2 + 4x + 4, 5x - 8 = 3x.$$

Die Größen, welche einander gleichgestellt werden, heißen Theile der Gleichung und können einzeln wieder aus mehreren Gliedern bestehen. In der Gleichung  $5x - 8 = 3x$  ist  $5x - 8$  der erste,  $3x$  der zweite Theil; der erste Theil besteht aus zwei Gliedern  $5x$  und  $-8$ .

Man unterscheidet identische und Bestimmungsgleichungen.

Eine Gleichung, in welcher ein Zahlenausdruck sich selbst oder einer bloßen Umformung dieses Ausdruckes gleichgesetzt wird, heißt eine identische Gleichung; z. B.  $a = a, (x + 2)^2 = x^2 + 4x + 4$ . Eine identische Gleichung bleibt für jeden beliebigen Wert der darin vorkommenden allgemeinen Zahlen richtig. Jede Formel für eine arithmetische Operation bildet eine identische Gleichung.

Eine Gleichung, in welcher der eine Theil nicht durch bloße Umformung aus dem andern hergeleitet werden kann, welche also auch nicht für alle, sondern nur für bestimmte Werte der in ihr enthaltenen unbestimmten Zahlen richtig ist, heißt eine Bestimmungsgleichung, auch bloß Gleichung im engeren Sinne. Z. B. die Gleichung  $5x - 8 = 3x$  ist nur richtig, wenn man für  $x$  den Wert 4 setzt.

$$20 - 8 = \underline{12} =$$

Die in einer Bestimmungsgleichung unbestimmt gelassenen Zahlen heißen Unbekannte und werden gewöhnlich durch die letzten Buchstaben  $x, y, z, \dots$  des Alphabets bezeichnet. Die Bestimmungsgleichungen dienen dazu, aus den durch sie ausgedrückten Beziehungen zwischen den bekannten und unbekanntem Zahlen die letzteren zu bestimmen.

Die Werte der Unbekannten, welche einer Gleichung genügen, nennt man die Wurzeln der Gleichung; diese Werte bestimmen, heißt die Gleichung auflösen. Die Wurzeln einer Gleichung müssen, statt der Unbekannten in dieselbe substituiert, die Gleichung zu einer identischen machen.

§. 139. Nach der Anzahl der Unbekannten, welche in einer Gleichung vorkommen, unterscheidet man Gleichungen mit einer, mit zwei und mit mehreren Unbekannten. Z. B.  $5x - 8 = 3x$  ist eine Gleichung

mit einer,  $5x - 3y = 8$  eine Gleichung mit zwei,  $7x = 3y - 5z + 5$  eine Gleichung mit drei Unbekannten.

Eine Gleichung, in welcher keine der Unbekannten in einer höheren als der ersten Potenz und auch kein Product mehrerer Unbekannten vorkommt, heißt eine Gleichung des ersten Grades oder eine lineare Gleichung.

Eine Gleichung, welche außer den Unbekannten nur besondere Zahlen enthält, heißt eine numerische oder Ziffergleichung; z. B.  $4x - 3 = 5$ . Eine Gleichung, welche außer den Unbekannten auch allgemeine Zahlen enthält, heißt eine Buchstabengleichung; z. B.  $ax - b = cx + d$ .

### I. Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten.

§. 140. Das Auflösen der Gleichungen des ersten Grades beruht auf dem Grundsatz: Wenn man mit gleichen Größen gleiche Veränderungen vornimmt, so erhält man wieder gleiche Größen. Dieser Grundsatz läßt sich durch folgende Sätze näher ausdrücken:

1. Eine Gleichung bleibt richtig, wenn man zu beiden Theilen der selben eine und dieselbe Zahl addiert, oder von beiden Theilen dieselbe Zahl subtrahiert.

Nach diesem Satze kann man jedes Glied des einen Theiles mit dem entgegengesetzten Vorzeichen in den andern Theil bringen (transponieren), wie auch gleiche Glieder in beiden Theilen weglassen.

$$\begin{array}{l} \text{z. B. aus } x + a = b \quad \text{folgt } x = b - a, \\ \quad \quad \quad \text{,, } 3x + m = a + m \quad \text{,, } 3x = a. \end{array}$$

2. Eine Gleichung bleibt richtig, wenn man beide Theile derselben mit derselben Zahl multipliciert.

Mit Hilfe dieses Satzes kann man jede Gleichung von den Nennern befreien, insbesondere auch den Coefficienten der Unbekannten, wenn er negativ ist, durch die Multiplication beider Theile mit  $-1$ , d. i. durch Veränderung aller Vorzeichen, positiv darstellen.

$$\begin{array}{l} \text{z. B. aus } \frac{x}{a} - ab = c \quad \text{folgt } x - ab = ac, \\ \quad \quad \quad \text{,, } -x = -5 \quad \quad \quad \text{,, } x = 5. \end{array}$$

3. Eine Gleichung bleibt richtig, wenn man beide Theile derselben durch dieselbe Zahl dividirt.

Hiernach kann man eine Gleichung, deren beide Theile einen gemeinsamen Factor haben, durch diesen abkürzen, insbesondere auch den Coefficienten der Unbekannten, wenn er von 1 verschieden ist, wegschaffen.

$$\begin{array}{l} \text{z. B. aus } 6x = 4 \quad \text{folgt } 3x = 2, \\ \quad \quad \quad \text{,, } 3x = 2 \quad \quad \quad \text{,, } x = \frac{2}{3}. \end{array}$$

Zu dem vorstehenden Satze muß bemerkt werden, daß ein gemeinsamer Factor der Gleichung, welcher die Unbekannte enthält, durch Division nicht ausgeschieden werden darf, weil sonst die transformierte Gleichung nicht mehr alle Wurzeln der gegebenen Gleichung enthielte. Dividirt man z. B. beide Theile der Gleichung  $(x - 1)(x - 2) = 3(x - 1)$  durch  $x - 1$ , so enthält die neue Gleichung  $x - 2 = 3$  nur die Wurzel 5, während die gegebene Gleichung auch durch die Wurzel 1 befriedigt wird.

§. 141. Aus den in §. 140 angeführten Sätzen ergibt sich für die Auflösung der Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten folgendes Verfahren:

1. Enthält die Gleichung Brüche, so werden die Nenner weggeschafft, indem man beide Theile der Gleichung mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen aller Nenner multipliciert. (Wegschaffung der Brüche.)

2. Kommen in der Gleichung durch Klammern verbundene Ausdrücke vor, so werden die Klammern durch wirkliche Ausführung der angezeigten Operationen aufgelöst. (Auflösung der Klammern.)

3. Alle Glieder, welche die Unbekannte enthalten, werden in den ersten Theil der Gleichung gebracht und zusammengezogen; die übrigen Glieder werden in den zweiten Theil übertragen und ebenfalls reducirt. (Transponieren und Reducieren.)

4. Man befreit die Unbekannte von ihrem Coefficienten, indem man beide Theile der Gleichung durch denselben dividirt. (Division durch den Coefficienten der Unbekannten.)

Durch diese Transformationen erhält man schließlich als Auflösung  $x = a$ , wo  $x$  die Unbekannte und  $a$  ein nur aus bekannten Zahlen bestehender Ausdruck ist.

Eine Gleichung des ersten Grades mit einer Unbekannten hat nur eine Wurzel.

Um sich von der Richtigkeit der Auflösung zu überzeugen, darf man nur den gefundenen Wert für die Unbekannte in die gegebene Gleichung substituieren und die Ausdrücke auf beiden Seiten auf die einfachste Gestalt bringen. Erhält man beiderseits dasselbe Resultat, d. i. wird die Gleichung zu einer identischen gemacht, so ist die Auflösung richtig.

### Beispiele.

$$1) \frac{x}{5} = 2x - 36.$$

$$\begin{aligned} \text{Auf. : } x &= 10x - 180 \\ x - 10x &= -180 \\ -9x &= -180 \\ x &= 20. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Probe: } \frac{20}{5} &= 2 \cdot 20 - 36 \\ 4 &= 40 - 36 \\ 4 &= 4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad & 6(x - 2) - 2(3x + 1) = 14 - 4(2x + 3) \\
 & \cancel{6x} - 12 - \cancel{6x} - 2 = 14 - 8x - 12 \\
 & 6x - 6x + 8x = 14 - 12 + 12 + 2 \\
 & \quad \quad 8x = 16 \\
 & \quad \quad x = 2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \quad & ax + b = a'x + b' \\
 & ax - a'x = b' - b \\
 & (a - a')x = b' - b \\
 & \quad \quad x = \frac{b' - b}{a - a'}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \quad & \frac{a}{x} - a + \frac{b}{2} = \frac{b}{2x} \\
 & 2a - 2ax + bx = b \\
 & bx - 2ax = b - 2a \\
 & (b - 2a)x = b - 2a \\
 & \quad \quad x = 1.
 \end{aligned}$$

## II. Gleichungen des ersten Grades mit zwei oder mehreren Unbekannten.

§. 142. Eine Gleichung mit zwei Unbekannten ist unbestimmt; man kann für die eine Unbekannte jeden beliebigen Wert annehmen und nach Einsetzung desselben durch Auflösung der entstehenden Gleichung einen zugehörigen Wert für die andere Unbekannte finden. Diese Unbestimmtheit hört auf, wenn noch eine zweite Gleichung mit denselben Unbekannten gegeben ist, welche der ersten und zweiten Gleichung gleichzeitig genügen sollen, indem man dann aus beiden Gleichungen durch Wegschaffung einer Unbekannten eine einzige Gleichung mit nur einer Unbekannten bildet und diese auflöst.

Aus zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten eine dritte Gleichung herleiten, welche die eine Unbekannte nicht mehr enthält, heißt diese Unbekannte eliminieren.

### §. 143. Eliminations-Methoden.

1. Die Comparations-Methode. Man bestimmt den Wert derselben Unbekannten aus beiden Gleichungen, setzt diese Werte einander gleich und löst die dadurch erhaltene Gleichung, welche nur die andere Unbekannte enthält, auf.

Sind allgemein die Gleichungen

$$\begin{aligned}
 ax + by &= c \\
 a'x + b'y &= c'
 \end{aligned}$$

gegeben, so erhält man aus denselben

$$y = \frac{c - ax}{b},$$

$$x = \frac{c - by}{a},$$

$$y = \frac{c' - a'x}{b'};$$

$$x = \frac{c' - b'y}{a'};$$

daher, weil  $y$  und  $x$  in beiden Gleichungen dieselben Werte haben sollen,

$$\frac{c - ax}{b} = \frac{c' - a'x}{b'};$$

$$\frac{c - by}{a} = \frac{c' - b'y}{a'}.$$

Aus diesen Gleichungen ergibt sich dann

$$x = \frac{b'c - bc'}{ab' - a'b}; \quad y = \frac{ac' - a'c}{ab' - a'b}.$$

2. Die Substitutions-Methode. Man sucht den Wert einer Unbekannten aus einer Gleichung und substituiert denselben in die andere Gleichung; dadurch erhält man eine Gleichung mit nur einer Unbekannten, welche dann aufgelöst wird.

Beispiel. 
$$\begin{aligned} 6x - 13y &= 48, \\ 2x + 3y &= 16. \end{aligned}$$

Aus der ersten Gleichung folgt  $x = \frac{48 + 13y}{6}$ ; wird dieser Wert in die zweite Gleichung substituiert, so hat man

$$2 \cdot \frac{48 + 13y}{6} + 3y = 16, \text{ woraus } y = 0 \text{ folgt.}$$

Substituiert man diesen Wert von  $y$  in den Ausdruck

$$x = \frac{48 + 13y}{6}, \text{ so findet man } x = \frac{48 + 13 \cdot 0}{6} = 8.$$

3. Die Methode der gleichen Coefficienten. Man verschafft in beiden Gleichungen der zu eliminierenden Unbekannten durch Multiplication aller Glieder mit einem geeigneten Factor gleiche Coefficienten und addiert oder subtrahiert die neuen Gleichungen, je nachdem diese Coefficienten ungleiche oder gleiche Vorzeichen haben; die dadurch erhaltene Gleichung mit einer Unbekannten wird dann aufgelöst.

Beispiel. 
$$\begin{aligned} 4x + 19y &= 11, \\ 6x - 5y &= -17. \end{aligned}$$

Um bei  $x$  gleiche Coefficienten herbeizuführen, multipliciert man die erste Gleichung mit 3, die zweite mit 2; man erhält

$$\begin{array}{r} 12x + 57y = 33 \\ 12x - 10y = -34 \\ \hline 67y = 67, \text{ also } y = 1. \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} 12x + 57y = 33 \\ 12x - 10y = -34 \end{array}} \right\} \text{subtrahiert,}$$

Wird dieser Wert von  $y$  in die erste Gleichung substituiert, so erhält man  $4x + 19 \cdot 1 = 11$ , woraus  $x = -2$  folgt.

4. Die Methode der unbestimmten Coefficienten (Bézout'sche Methode). Man multipliciert die eine Gleichung mit einer unbestimmten Zahl  $m$  und addiert sie in dieser Gestalt zu der andern Gleichung. Wählt man nun  $m$  so, daß der Coefficient der zu eliminierenden Unbekannten  $= 0$  wird, so kann dann aus der neuen Gleichung die andere Unbekannte gefunden werden.

Beispiel. 
$$\begin{aligned} 3x + 4y &= 24, \\ 5x - 3y &= 11. \end{aligned}$$

Multipliciert man die erste Gleichung mit  $m$  und addiert sie dann zu der zweiten, so ergibt sich

$$(3m + 5)x + (4m - 3)y = 24m + 11.$$

Um  $y$  zu eliminieren, setzt man  $4m - 3 = 0$ , also  $m = \frac{3}{4}$ ; dann hat man

$$(3 \cdot \frac{3}{4} + 5)x = 24 \cdot \frac{3}{4} + 11,$$

woraus  $x = 4$  folgt. Wird  $x$  eliminiert, indem man  $3m + 5 = 0$ , also  $m = -\frac{5}{3}$  setzt, so erhält man  $y = 3$ .

**Zusätze.** a) Welche von den vier Eliminations-Methoden in jedem besonderen Falle am vortheilhaftesten anzuwenden sei, muß aus der Beschaffenheit der Coefficienten der Unbekannten beurtheilt werden. Gewöhnlich bestimmt man nur den Wert der einen Unbekannten nach einer der angeführten vier Methoden und substituirt dann den gefundenen Wert in eine der gegebenen Gleichungen, woraus sich der Wert für die zweite Unbekannte ergibt.

b) Kommen in den gegebenen Gleichungen nur die reciproken Werte der Unbekannten vor, so ist es am einfachsten, diese reciproken Werte selbst als die eigentlichen Unbekannten anzusehen und aus ihnen nachträglich die ursprünglichen Unbekannten zu berechnen. **Z. B.**

$$\frac{2}{x} + \frac{3}{y} = 13 \text{ und } \frac{5}{x} - \frac{2}{y} = 4.$$

Setzt man  $\frac{1}{x} = x'$  und  $\frac{1}{y} = y'$ , so hat man

$$2x' + 3y' = 13 \text{ und } 5x' - 2y' = 4,$$

und findet  $x' = 2$ ,  $y' = 3$ , woraus dann  $x = \frac{1}{2}$ ,  $y = \frac{1}{3}$  folgt.

**§. 144.** Die in §. 143, 1, aus den allgemeinen Gleichungen

$$ax + by = c,$$

$$a'x + b'y = c'$$

erhaltenen Werte

$$x = \frac{b'e - bc'}{ab' - a'b}, \quad y = \frac{a'c - ac'}{ab' - a'b}$$

lassen ersehen, daß es Fälle gibt, in denen die gegebenen zwei Gleichungen zur Bestimmung der in denselben vorkommenden zwei Unbekannten nicht geeignet sind.

1. Die Werte von  $x$  und  $y$  sind unbestimmt, wenn  $ab' = a'b$  und  $b'e = bc'$  und daher auch  $a'c = ac'$  ist, weil dann  $x = \frac{0}{0}$  und  $y = \frac{0}{0}$  wird. Dieser Fall tritt immer ein, wenn die eine Gleichung von der andern abhängig ist. Denn setzt man  $a = a'm$ , wo dann auch  $b = b'm$  und  $c = c'm$  wird, so nehmen die gegebenen Gleichungen folgende Form an:

$$a'mx + b'my = c'm,$$

$$a'x + b'y = c',$$

woraus hervorgeht, daß die erste Gleichung durch bloße Umformung, nämlich durch Multiplication mit  $m$ , aus der zweiten hervorgegangen, folglich von dieser abhängig ist.

2. Die zwei Gleichungen lassen ferner keine endliche Auflösung zu, wenn in den obigen Ausdrücken für  $x$  und  $y$  der Nenner  $= 0$ , die Zähler aber von 0 verschieden sind, wenn also  $ab' = a'b$ , dagegen etwa  $bc' \geq b'e$  ist, weil man dann für  $x$  einen Wert von der Form  $\frac{A}{0}$  erhält, die keinen Sinn hat (§. 48, 7). Dieser Fall tritt immer ein, wenn die zwei gegebenen Gleichungen einander widerstreiten. Denn setzt man  $a = a'm$ , also auch  $b = b'm$ , so nehmen die gegebenen Gleichungen folgende Form an:

$$\begin{aligned} a'mx + b'my &= c, \\ a'x + b'y &= c', \end{aligned}$$

woraus  $c'm = c$  folgen würde, was jedoch einen Widerspruch enthält, da nach der Voraussetzung  $bc' \geq b'e$ , also  $\frac{bc'}{b'} \geq c$ , oder  $c'm \geq c$  sein muß.

Aus zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten können demnach die Werte dieser Unbekannten nur dann bestimmt werden, wenn die beiden Gleichungen von einander unabhängig sind und einander nicht widerstreiten.

§. 145. Zur Bestimmung von drei oder mehreren Unbekannten müssen eben so viele von einander unabhängige und sich nicht widerstreitende Gleichungen gegeben sein.

Um ein System von mehreren zusammengehörigen Gleichungen mit eben so vielen Unbekannten aufzulösen, wendet man eine der ersten drei Methoden an, welche in §. 143 für die Auflösung von zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten angegeben wurden. Man eliminiert nämlich aus den gegebenen Gleichungen eine der Unbekannten, wodurch man eine Unbekannte und zugleich eine Gleichung weniger erhält; aus diesen neuen Gleichungen eliminiert man eine zweite Unbekannte und setzt dieses Verfahren fort, bis man zuletzt nur eine Gleichung mit einer Unbekannten erhält, aus welcher sich der Wert dieser Unbekannten ergibt. Der gefundene Wert wird in eine der zunächst vorhergehenden zwei Gleichungen substituiert und dadurch eine zweite Unbekannte bestimmt. Die beiden gefundenen Werte substituiert man dann in eine der vorhergehenden Gleichungen, u. s. w., und bestimmt auf diese Art nach und nach die Werte aller Unbekannten.

Man kann aber auch die Methode der unbestimmten Coefficienten anwenden, indem man die Gleichungen, mit Ausnahme einer einzigen, folgerweise mit den unbestimmten Zahlen  $m, n, \dots$  multipliciert und sie in dieser Gestalt zu der unverändert gebliebenen Gleichung addiert. Man erhält dadurch eine neue Gleichung, aus welcher eine jede der Unbekannten bestimmt werden kann, wenn man die Coefficienten der übrigen Unbekannten  $= 0$  setzt, wodurch sich auch die Werte für  $m, n, \dots$  bestimmen.

Beispiel.

$$\begin{aligned} 8x + 5y + 2z &= 24, \\ 6x - 3y + z &= 3, \\ 4x + 9y - 6z &= 4. \end{aligned}$$

Sollen diese Gleichungen nach der Methode der unbestimmten Coefficienten aufgelöst werden, so multipliciere man die erste mit  $m$ , die zweite mit  $n$  und addiere zu denselben die dritte. Man erhält dadurch

$$(8m + 6n + 4)x + (5m - 3n + 9)y + (2m + n - 6)z = 24m + 3n + 4.$$

Um aus dieser Gleichung  $x$  zu bestimmen, setze man

$$5m - 3n + 9 = 0 \text{ und } 2m + n - 6 = 0,$$

woraus sich  $m = \frac{9}{11}$  und  $n = \frac{48}{11}$  ergibt. Durch Substitution dieser Werte in der obigen Gleichung folgt dann

$$\left(8 \cdot \frac{9}{11} + 6 \cdot \frac{48}{11} + 4\right)x = 24 \cdot \frac{9}{11} + 3 \cdot \frac{48}{11} + 4,$$

und daher  $x = 1$ .

Auf analoge Weise erhält man  $y = 2$  und  $z = 3$ .

### III. Anwendung der Gleichungen des ersten Grades.

§. 146. In jeder Aufgabe, mag sie nur einen einzelnen besonderen Fall betreffen oder ganz allgemein gestellt sein, werden gewisse Bedingungen angegeben, denen die zu suchenden Zahlen genügen sollen. Das Geschäft der Algebra bei der Auflösung von Aufgaben ist ein dreifaches:

1. Der Ansat; einer oder mehrerer zusammengehöriger Gleichungen, d. i. die Übertragung der Bedingungen der Aufgabe aus der gewöhnlichen Wortsprache in die algebraische Zeichensprache;

2. die Auflösung der gebildeten Gleichungen;

3. die Discussion oder Deutung des erhaltenen Resultates, welche die verschiedenen möglicherweise eintretenden Fälle und die Bedingungen der Lösbarkeit der Aufgabe zu erörtern hat.

Für das Ansetzen der Gleichungen können keine allgemeinen Regeln gegeben werden; es ist das Werk des Scharfsinnes und kann nur durch vielfältige Übung geläufig gemacht werden. Anfängern kann folgende Regel als einigermaßen leitende Vorschrift dienen: Man betrachte die gegebene Aufgabe vorläufig als aufgelöst und behandle die Unbekannte so, wie es die Bedingungen der Aufgabe erfordern; dadurch erhält man für eine und dieselbe Größe zwei verschieden geformte Ausdrücke, welche einander gleichgestellt die verlangte Gleichung geben. Die Discussion ist besonders dann von Wichtigkeit, wenn das Resultat ein allgemeines ist oder eine negative Auflösung enthält.

#### §. 147. Beispiele.

1) Man suche eine Zahl, deren Hälfte und dritter Theil zusammen 25 betragen.

$$x + \frac{1}{2}x + \frac{1}{3}x = 25 \quad 6$$

Bezeichnet  $x$  die gesuchte Zahl, so ist ihre Hälfte  $\frac{x}{2}$  und der dritte Theil  $\frac{x}{3}$ , daher nach der Bedingung der Aufgabe

$$\frac{x}{2} + \frac{x}{3} = 25, \text{ woraus } x = 30 \text{ folgt.}$$

$$3x + 2x = 25$$

$$x \cdot (3+2) = 25$$

2) Ein Lehrer gab auf die Frage, wie viele Schüler er habe, folgende Antwort: die doppelte Zahl meiner Schüler beträgt um  $76\frac{1}{2}$  mehr als der fünfte Theil derselben. Wie viele Schüler hatte er?

Ist  $x$  die gesuchte Zahl, so ist  $2x$  das Doppelte und  $\frac{x}{5}$  der fünfte Theil derselben; daher

$$2x = \frac{x}{5} + 76\frac{1}{2}, \text{ folglich } x = 42\frac{1}{2}.$$

Discussion. Hier erhält man für die Anzahl der Schüler eine gebrochene Zahl, was keinen Sinn hat; die Lösung der Aufgabe, wie diese gestellt wurde, ist daher unmöglich.

3) A ist  $a$  Jahre, B  $b$  Jahre alt; nach wie vielen Jahren wird A doppelt so alt sein als B?

Nach  $x$  Jahren wird A  $a + x$ , B  $b + x$  Jahre alt; man hat daher

$$a + x = 2(b + x), \text{ und}$$

$$x = a - 2b.$$

Discussion. Ist hier  $a < 2b$ , so ist  $x = -(2b - a)$ , also negativ. Da eine negative Zahl Jahre keinen Sinn hat, so ist in diesem Falle die Auflösung der vorgelegten Aufgabe unmöglich. Würde man aber in der obigen Gleichung  $-x$  statt  $x$  setzen, so erhielte man

$$a - x = 2(b - x), \text{ und}$$

$$x = 2b - a.$$

Wenn man daher fragen würde: Vor wie viel Jahren war A doppelt so alt als B? so gibt die letztere Gleichung dafür die Lösung  $x = 2b - a$ , d. h. vor  $2b - a$  Jahren.

Die negative Auflösung einer Gleichung des ersten Grades genügt also, wenn man sie positiv nimmt, einer anderen Gleichung, welche aus der ersten durch Änderung der Vorzeichen der Unbekannten gebildet wird, und kann die Auflösung einer Aufgabe enthalten, in welcher die Fragezahl der vorgelegten Aufgabe im entgegengesetzten Sinne genommen wird.

4) Zwei Körper  $K'$  und  $K''$  sind auf einer geraden Linie in derselben Richtung mit den Geschwindigkeiten  $c'$  und  $c''$  in gleichförmiger Bewegung und gehen gleichzeitig bezüglich durch die Punkte  $A'$  und  $A''$ , von denen  $A'$  um  $d$  Längeneinheiten rückwärts von  $A''$  liegt. Nach wie viel (T) Zeiteinheiten werden beide Körper zusammentreffen?

$K'$  legt in T Zeiteinheiten  $c' T$  Längeneinheiten zurück,

$K''$  " " T " "  $c'' T$  " " " "

Da zur Zeit des Zusammentreffens der von  $K'$  zurückgelegte Weg um  $d$  größer ist als der von  $K''$  zurückgelegte, so ist  $c'T - c''T = d$ , daher

$$T = \frac{d}{c' - c''}.$$

**Discussion.** a) So lange  $c' > c''$ , ist  $T$  positiv und es gibt eine bestimmte Zeit, nach welcher die Körper zusammentreffen. Wenn  $c' = c''$ , also  $c' - c'' = 0$ , so wird  $T = \frac{d}{0}$ ; die Auflösung ist unmöglich. Ist für diesen Fall auch  $d = 0$ , d. h. gehen die Körper gleichzeitig durch denselben Punkt, so wird  $T = \frac{0}{0}$ ; die Auflösung ist unbestimmt, d. i. die Körper haben, da sie in jedem Augenblicke zusammen sind, nicht einen, sondern unendlich viele Zeitpunkte des Zusammentreffens. Ist endlich  $c' < c''$ , so wird  $T = -\frac{d}{c'' - c'}$ , woraus folgt, daß in diesem Falle die Auflösung der Aufgabe, so wie sie gestellt wurde, unmöglich ist, was auch schon an sich einleuchtet, indem sich der hintere Körper  $K'$  langsamer als der vordere  $K''$  bewegt, beide also nicht nur nie zusammentreffen, sondern sich von einander immer mehr entfernen. Um übrigens auch dem negativen Werte von  $T$  eine Deutung zu geben, darf man nur in der gegebenen Aufgabe die Frage im entgegengesetzten Sinne stellen, nämlich: Vor wie viel Zeiteinheiten waren beide Körper zusammengetroffen? Dann gibt der negative Wert von  $T$  positiv genommen eine Auflösung der so geänderten Aufgabe und drückt aus, daß die zwei Körper vor  $\frac{d}{c'' - c'}$  Zeiteinheiten zusammengetroffen waren.

b) Setzt man  $-d$  für  $d$ , d. i. nimmt man an, daß der Punkt  $A'$  vorwärts von  $A''$  liege, so erhält man  $T = \frac{-d}{c' - c''} = \frac{d}{c'' - c'}$ ; es gelten daher hier die unter a) für  $K'$ ,  $A'$ ,  $c'$  gewonnenen Resultate bezüglich von  $K''$ ,  $A''$ ,  $c''$  und umgekehrt.

c) Setzt man endlich  $-c''$  für  $c'$ , d. i. nimmt man an, daß sich der Körper  $K''$  gegen  $K'$  in entgegengesetzter Richtung bewege, so wird  $T = \frac{d}{c' + c''}$ . Wenn  $d$  positiv ist, bedeutet  $T$  die Zeit, nach welcher die Körper zusammentreffen. Für  $d = 0$  wird auch  $T = 0$ , d. i. wenn die zwei Körper gleichzeitig von demselben Punkte abgehen, so sind sie eben zur Zeit des Abganges zusammen. Ist  $d$  negativ, dann wird  $T = -\frac{d}{c' + c''}$ , d. i. die beiden Körper waren vor  $\frac{d}{c' + c''}$  Zeiteinheiten zusammengetroffen.

Wird aus der obigen Grundgleichung nicht  $T$ , sondern eine andere allgemeine Größe bestimmt, so erhält man dadurch die Lösung für eine andere verwandte Aufgabe. Die algebraische Auflösung einer allgemeinen Aufgabe

beantwortet daher nicht bloß die unmittelbar gestellte Aufgabe; sie liefert zugleich die Auflösung für eine ganze Gruppe von verwandten Aufgaben und zeigt den inneren Zusammenhang, in welchem dieselben unter einander stehen. Insbesondere dienen die negativen Werte dazu, um die Beschränkungen aufzuheben, welche in eine Aufgabe gelegt wurden, und um dadurch diese in ihrer Allgemeinheit vollständig zu lösen.

5) Man theile die Zahl 58 in zwei Theile so, daß der eine Theil um 16 kleiner sei als der andere.

Bezeichnet man den größeren Theil durch  $x$  und den kleineren durch  $y$ , so muß nach den Bedingungen der Aufgabe

$$x + y = 58 \text{ und } x = y + 16$$

sein, aus welchen Gleichungen  $x = 37$ ,  $y = 21$  folgt.

Diese Aufgabe kann auch mittelst einer einzigen Gleichung mit einer Unbekannten aufgelöst werden.

Ist nämlich  $x$  der größere Theil, so ist  $58 - x$  der kleinere, und es muß  $x = 58 - x + 16$  sein, woraus  $x = 37$ , daher  $58 - x = 21$  folgt.

6) Man hat zwei gleichartige Stoffe; von dem ersten ist der Wert einer Einheit =  $a$ , von dem zweiten =  $b$ . Man soll aus beiden eine Mischung machen, die  $m$  Einheiten enthält und von welcher jede Einheit den Wert  $c$  hat. Wie viele Einheiten muß man von jedem Stoffe zu dieser Mischung nehmen?

Es wird vorausgesetzt, daß der Wert der Mischung gleich ist den Werten der dazu verwendeten Stoffe.

Bezeichnet  $x$  die Anzahl der Einheiten, welche man von dem ersten Stoffe nehmen muß, und  $y$  die Anzahl der Einheiten, welche man von dem zweiten Stoffe nehmen muß, so ist

$$x + y = m \text{ und } ax + by = cm, \text{ daher}$$

$$x = \frac{c - b}{a - b} \cdot m, \quad y = \frac{a - c}{a - b} \cdot m.$$

Die Auffuchung des Mischungsverhältnisses der beiden Quantitäten  $x : y = (c - b) : (a - c)$  bildet die sogenannte Alligationsrechnung.

1250  
450  
2000

## Vierter Abschnitt.

### Potenzieren, Radicieren und Logarithmieren.

#### I. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten.

§. 148. Eine Zahl  $a$  zur  $n$ ten Potenz erheben oder mit  $n$  potenzieren heißt,  $a$   $n$ mal als Factor setzen (§. 36).  $a$  ist die Grundzahl oder Basis,  $n$  der Potenzexponent und das erhaltene Product  $p$  die  $n$ te Potenz von  $a$ . Man schreibt  $a^n = p$ . Eine Potenz ist demnach ein Product gleicher Factoren.

Folgesätze.

a)  $1^n = 1$ .

b)  $0^n = 0$ .

Zusatz. Die vorstehende Erklärung hat zunächst nur dann einen Sinn, wenn der Exponent eine ganz positive Zahl und  $> 1$  ist. Das Princip der Erhaltung der Operationsgesetze führt jedoch die Nothwendigkeit herbei, den ursprünglichen Potenzbegriff zu erweitern. Eine solche Erweiterung enthalten schon die im Zusatz zu §. 54 abgeleiteten Sätze.

$$a^1 = a \quad \text{und} \quad a^0 = 1. \quad a^n \cdot a^m = a^{n+m}$$

Später wird der Potenzbegriff auch auf negative und gebrochene Exponenten erweitert werden.

#### Verbindung des Potenzierens mit sich selbst.

§. 149. Die Potenz einer Potenz bleibt unverändert, wenn man die Exponenten unter einander vertauscht.

$$(a^m)^n = (a^n)^m.$$

Beweis. Ordnet man die gleichen Factoren der Potenz  $(a^m)^n$  in  $n$  Reihen, deren jede den Factor  $a$   $m$ mal enthält, nämlich

$$\begin{array}{l} a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \quad (m \text{ mal}) \\ a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \\ a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ (n \text{ mal}), \end{array}$$

so erhält man offenbar  $a$   $m \cdot n$ mal als Factor, mag man die  $m$  Factoren einer Horizontalreihe  $n$ mal, oder die  $n$  Factoren einer Verticalreihe  $m$ mal als

Factor setzen. Im ersten Falle erhält man  $a^m$   $n$  mal als Factor, also  $(a^m)^n$ , im zweiten  $a^n$   $m$  mal als Factor, also  $(a^n)^m$ . Es ist daher  $(a^m)^n = (a^n)^m$ .

Dieser Satz behält, wie leicht zu zeigen ist (§. 37), seine volle Gültigkeit auch dann, wenn mehr als zwei Potenzexponenten gegeben sind.

§. 150. 1. Eine Potenz wird mit einer Zahl potenziert, indem man die Basis mit dem Producte beider Exponenten potenziert.

$$(a^m)^n = a^{mn}.$$

Folgt aus dem Beweise in §. 149.

2. Umgekehrt: Eine Zahl wird mit einem Producte potenziert, indem man sie mit dem einen Factor, und die erhaltene Potenz mit dem andern Factor potenziert.

**Verbindung des Potenzierens mit der Multiplication und Division.**

§. 151. 1. Ein Product wird mit einer Zahl potenziert, indem man jeden Factor mit ihr potenziert.

$$(ab)^m = a^m \cdot b^m.$$

**Beweis.**  $(ab)^m = ab \cdot ab \cdot ab \cdot ab \dots$  ( $m$  mal)  
 $= a \cdot a \cdot a \cdot a \dots$  ( $m$  mal)  $\cdot b \cdot b \cdot b \cdot b \dots$  ( $m$  mal) (§. 37)  
 $= a^m \cdot b^m$ .

2. Umgekehrt: Potenzen desselben Exponenten werden multipliciert, indem man das Product der Grundzahlen mit dem gemeinsamen Exponenten potenziert.

§. 152. 1. Ein Quotient (Bruch) wird mit einer Zahl potenziert, indem man Dividend und Divisor mit ihr potenziert.

$$\left(\frac{a}{b}\right)^m = \frac{a^m}{b^m}.$$

Der Beweis ist demjenigen zu §. 151, 1 analog.

2. Umgekehrt: Potenzen desselben Exponenten werden dividirt, indem man den Quotienten der Grundzahlen mit dem gemeinsamen Exponenten potenziert.

**Folgesatz.** Die Potenz eines auf die einfachste Form gebrachten echten oder unechten Bruches kann nie eine ganze Zahl sein.

Folgt aus 1. unter Bezeichnung von §. 74, 5.

§. 153. 1. Potenzen derselben Basis werden multipliciert, indem man die gemeinsame Basis mit der Summe der Exponenten potenziert.

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}.$$

Dieser Satz wurde schon in §. 39 bewiesen.

2. Umgekehrt: Eine Zahl wird mit einer Summe potenziert, indem man sie mit jedem Summanden potenziert und die erhaltenen Potenzen multipliciert.

§. 154. 1. Potenzen derselben Basis werden dividiert, indem man die gemeinsame Basis mit einer Zahl potenziert, welche gleich ist dem Exponenten des Dividends weniger dem Exponenten des Divisors.

$$a^m : a^n = a^{m-n}.$$

Die Richtigkeit dieser Gleichung für  $m > n$  und  $m = n$  wurde in §. 54 bewiesen; die Bedeutung derselben für  $m < n$  wird weiter unten (§. 175) besonders untersucht werden.

2. Umgekehrt: Eine Zahl wird mit einer Differenz potenziert, indem man sie mit dem Minuend und mit dem Subtrahend potenziert, und die erste Potenz durch die zweite dividiert.

Zusatz. Mit Potenzen, welche ungleiche Exponenten und ungleiche Grundzahlen haben, wird die Multiplication und Division auf dieselbe Art wie mit allgemeinen Zahlen überhaupt vorgenommen.

Die in den §§. 151—154 angeführten Sätze bilden die Distributionsgesetze des Potenzierens. Das commutative Princip findet bei den Potenzen nicht statt, da  $a^m$  von  $m^a$  im allgemeinen verschieden ist.

#### Verbindung des Potenzierens mit der Addition und Subtraction.

§. 155. Für das Addieren und Subtrahieren von Potenzen sowie für das Rechnen mit mehrgliedrigen Ausdrücken, in denen Potenzen vorkommen, gelten die bezüglichlichen, für allgemeine Zahlen überhaupt abgeleiteten Sätze. Eine Zusammenziehung des Resultates kann nur dann stattfinden, wenn die Potenzen sowohl gleiche Grundzahlen als gleiche Exponenten haben.

Die auf einander folgenden Potenzen eines Binoms oder Polynoms kann man einfach durch die Multiplication erhalten. Die Entwicklung des Quadrates und des Cubus insbesondere wird in den §§. 185 und 191 gezeigt, das allgemeine Gesetz der höheren Potenzen in §. 279 näher untersucht werden.

#### Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Potenzierung.

§. 156. 1. Gleiche Zahlen mit gleichen Zahlen potenziert geben Gleiches.

Ist  $a = b$ , so ist auch  $a^m = b^m$  (§. 8, 3).

Folgesatz. Wenn man alle Glieder einer Proportion mit derselben Zahl potenziert, so erhält man wieder eine Proportion.

Ist  $a : b = c : d$ , so muß auch  $(a : b)^m = (c : d)^m$ , folglich  $a^m : b^m = c^m : d^m$  (§. 152, 1) sein.

2. Ungleiche Zahlen mit gleichen positiven Zahlen potenziert geben Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$ , so ist  $a^m > b^m$  (§. 46, 3).

Folgesatz. Wenn  $a \geq 1$ , so ist bezüglich  $a^m \geq 1$ .

3. Gleiche Zahlen mit ungleichen Zahlen potenziert geben Ungleiches mit demselben oder mit dem entgegengesetzten Ungleichheitszeichen, je nachdem die Basis größer oder kleiner als 1 ist.

Ist  $m > n$ , so hat man für  $a > 1$ ,  $a^m > a^n$ ;  
für  $a < 1$ ,  $a^m < a^n$ .

Folgt aus §. 97.

4. Ungleiche Zahlen, von denen wenigstens die eine größer als 1 ist, mit ungleichen positiven Zahlen bei demselben Ungleichheitszeichen potenziert, geben Ungleiches mit dem gemeinsamen Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$  und zugleich  $a > 1$ , ferner  $m > n$ , so ist  $a^m > b^n$ .

Denn nach 3. ist  $a^m > a^n$ , nach 2.  $a^n > b^n$ ; daher um so mehr  $a^m > b^n$ .

**Potenzen mit algebraischer Basis.**

§. 157. 1. Eine positive Basis gibt mit einer ganzen Zahl potenziert immer eine positive Potenz.

$(+ a)^n = + a. + a. + a. + \dots$   $n$  mal  $= + a^n$  (§. 61, Folgef. 2).

2. Eine negative Basis gibt mit einer geraden ganzen Zahl potenziert eine positive, mit einer ungeraden ganzen Zahl potenziert dagegen eine negative Potenz.

$(- a)^{2n} = - a. - a. - a. - a. \dots$   $2n$  mal  $= + a^{2n}$  (§. 61, Folgef. 3).

$(- a)^{2n+1} = - a. - a. - a. - a. \dots$   $(2n + 1)$  mal  $= - a^{2n+1}$ .

## II. Wurzeln mit positiven ganzen Exponenten.

§. 158. Aus einer Zahl  $a$  die  $n$ te Wurzel ausziehen, oder die Zahl  $a$  durch  $n$  radizieren, heißt aus der Potenz  $a$  und dem Exponenten  $n$  die Basis suchen. Die gegebene Potenz  $a$  heißt der Radicand, oder geradehin die Zahl, der gegebene Exponent  $n$  der Wurzelexponent und die gesuchte Basis  $p$  die  $n$ te Wurzel aus  $a$ . Man schreibt  $\sqrt[n]{a} = p$ .

Eine Wurzel ist also ein Ausdruck für diejenige Zahl, welche mit dem Wurzelexponenten potenziert den Radicand gibt;

oder es ist  $(\sqrt[n]{a})^n = a$ .

Die zweite und die dritte Wurzel einer Zahl nennt man bezüglich Quadratwurzel und Cubikwurzel.

§. 159. Folgesatz. 1. Potenziert man eine Wurzel mit dem Wurzelexponenten, so erhält man den Radicand

$$(\sqrt[n]{a})^n = a.$$

2. Radiciert man eine Potenz durch den Potenzexponenten, so erhält man die Basis

$$\sqrt[n]{a^n} = a.$$

3. Eine Zahl bleibt unverändert, wenn man sie mit einer Zahl potenziert und durch dieselbe Zahl radiciert.

$$a = \sqrt[n]{(a)^n}; \quad a = (\sqrt[n]{a})^n.$$

Hiernach kann jede Zahl in Form einer Wurzel dargestellt werden;

z. B.  $b = \sqrt[5]{b^5}.$

Das Potenzieren und das Radizieren sind demnach einander entgegengesetzt; letzteres ist eine inverse Operation der ersteren.

4. Die erste Wurzel aus einer Zahl ist die Zahl selbst.

$$\text{Da } a^1 = a, \text{ so ist } \sqrt[1]{a} = a.$$

Für die erste Wurzel wird daher weder der Exponent 1, noch das Wurzelzeichen angeschrieben. Bei der zweiten oder Quadratwurzel wird das Wurzelzeichen, aber nicht der Exponent 2 angeschrieben, so daß  $\sqrt{a}$  so viel als  $\sqrt[2]{a}$  bedeutet.

5.  $\sqrt[n]{1} = 1.$

6.  $\sqrt[n]{0} = 0.$

#### Rationale und irrationale Wurzeln.

§. 160. 1. Die nte Wurzel aus einer ganzen Zahl  $a$  ist entweder eine ganze Zahl oder sie ist irrational.

Beweis. Man bilde die nten Potenzen der aufeinander folgenden ganzen Zahlen, mit Hinzufügung der Null, nämlich

$$0^n, 1^n, 2^n, 3^n, \dots, p^n, (p+1)^n, \dots$$

Es sind nun zwei Fälle möglich.

a) Entweder ist  $a$  gleich einer dieser Potenzen, z. B.  $a = p^n$ ; dann ist  $\sqrt[n]{a} = p$  eine ganze Zahl.

b) Oder  $a$  liegt zwischen zwei aufeinander folgenden solchen Potenzen, etwa zwischen  $p^n$  und  $(p+1)^n$ , wo dann  $\sqrt[n]{a}$  zwischen zwei aufeinander folgende ganze Zahlen  $p$  und  $p+1$  fällt, somit keine ganze Zahl sein kann. Dann läßt sich aber  $\sqrt[n]{a}$  auch durch keinen Bruch vollkommen genau darstellen; denn wäre  $\sqrt[n]{a} = p + \frac{q}{r} = \frac{pr+q}{r}$ , wo  $q$  und  $r$  relative Primzahlen sind, so müßte  $(\frac{pr+q}{r})^n = a =$  einer ganzen Zahl sein, was nach §. 152, Folges., unmöglich ist.

Dagegen lässt sich in diesem Falle  $\sqrt[n]{a}$  als Grenzwert eines veränderlichen Bruches mit jedem beliebigen Grade der Genauigkeit bestimmen.

Da nämlich  $\sqrt[n]{a}$  zwischen  $p$  und  $p + 1$  liegt, so vermehre man  $p$  nach und nach um  $\frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \frac{3}{m}, \dots$ , wo  $m$  eine ganze Zahl bezeichnet und bilde

$$p^n, \left(p + \frac{1}{m}\right)^n, \left(p + \frac{2}{m}\right)^n, \dots, \left(p + \frac{c}{m}\right)^n, \left(p + \frac{c+1}{m}\right)^n, \dots$$

Weil nun  $a$  keiner dieser Potenzen gleich sein kann, so muss es nothwendig zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgende solche Potenzen fallen, etwa zwischen  $\left(p + \frac{c}{m}\right)^n$  und  $\left(p + \frac{c+1}{m}\right)^n$ , wo  $c < m$  ist. Dann ist

$$p + \frac{c}{m} < \sqrt[n]{a} < p + \frac{c+1}{m}.$$

$\sqrt[n]{a}$  liegt also zwischen zwei Brüchen  $p + \frac{c}{m}$  und  $p + \frac{c+1}{m}$ , deren Differenz  $\frac{1}{m}$  ist. Setzt man für  $\sqrt[n]{a}$  die Zahl  $p + \frac{c}{m}$ , so begeht man einen Fehler, der kleiner als  $\frac{1}{m}$  ist. Da aber  $m$  beliebig groß, daher  $\frac{1}{m}$  beliebig klein gemacht werden kann, so lässt sich  $\sqrt[n]{a}$  als Grenzwert, dem sich der veränderliche Bruch  $p + \frac{c}{m}$  um so mehr nähert, je größer  $m$  wird, mit jeder beliebigen Genauigkeit bestimmen. Es ist  $\sqrt[n]{a} = \lim \left(p + \frac{c}{m}\right)$ , wenn  $m = \infty$  wird;  $p + \frac{c}{m}$  und  $p + \frac{c+1}{m}$  sind für jeden besonderen Wert von  $m$  auf  $\frac{1}{m}$  genaue Näherungswerte von  $\sqrt[n]{a}$ .

Ist also die  $n$ te Wurzel aus einer ganzen Zahl nicht wieder eine ganze Zahl, so ist sie eine irrationale Zahl (§. 119).

2. Die  $n$ te Wurzel aus einem Bruche  $\frac{a}{b}$  ist entweder ein Bruch oder eine irrationale Zahl.

Der Beweis wird, indem man zunächst die Reihe der Potenzen

$$\left(\frac{0}{b}\right)^n, \left(\frac{1}{b}\right)^n, \left(\frac{2}{b}\right)^n, \left(\frac{3}{b}\right)^n, \dots, \left(\frac{p}{b}\right)^n, \left(\frac{p+1}{b}\right)^n, \dots$$

bildet, analog wie zu 1. geführt.

Zusatz. Da wir die folgenden Sätze sämmtlich aus dem allgemeinen Begriffe einer Wurzel, welcher durch die Gleichung  $(\sqrt[n]{a})^n = a$  gegeben ist, ableiten werden, so sind dieselben sowohl für rationale als für irrationale Wurzeln gültig.

Verbindung des Radicierens mit sich selbst und mit dem Potenzieren.

§. 161. Eine Potenz wird durch eine Zahl radiciert, indem man die Basis durch sie radiciert, oder indem man den Potenzexponenten durch den Wurzelexponenten dividirt.

$$\sqrt[n]{(a^m)} = (\sqrt[n]{a})^m = a^{\frac{m}{n}}.$$

Beweis. a) Soll  $(\sqrt[n]{a})^m$  die richtige Wurzel sein, so muß sie mit dem Wurzelexponenten  $n$  potenziert den Radicand  $a^m$  geben (§. 158). Wirklich ist

$$\{(\sqrt[n]{a})^m\}^n = \{(\sqrt[n]{a})^n\}^m \text{ (§. 149)} = a^m \text{ (§. 159, 1)}.$$

b) Ebenso ist auch, wenn  $m$  durch  $n$  theilbar vorausgesetzt wird,

$$\left(a^{\frac{m}{n}}\right)^n = a^{\frac{m}{n} \cdot n} \text{ (§. 150, 1)} = a^m.$$

Folgesatz. Soll eine Zahl potenziert und radiciert werden, so ist es gleichgiltig, in welcher Reihenfolge man diese Rechnungsoperationen vornimmt.

§. 162. Eine Wurzel wird mit einer Zahl potenziert, indem man den Radicand mit ihr potenziert, oder indem man den Wurzelexponenten durch den Potenzexponenten dividirt.

$$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{(a^m)} = \sqrt[n]{a^{\frac{m}{m}}}.$$

Beweis. Daß  $(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{(a^m)}$  ist, ergibt sich aus §. 161, Folgesatz. Aus der Erklärung einer Wurzel (§. 158) läßt sich ferner folgern, daß ~~Logarithmentafeln.~~

auch  $\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{(\sqrt[n]{a})^m}$  ist, wenn  $u$  durch  $m$  theilbar vorausgesetzt wird; denn

$$\{(\sqrt[n]{a})^m\}^{\frac{n}{m}} = (\sqrt[n]{a})^m \cdot \frac{n}{m} \text{ (§. 150, 1)}.$$

$$= (\sqrt[n]{a})^n = a \text{ (§. 159, 1)}.$$

§. 163. Eine Wurzel wird durch eine Zahl radiciert, indem man den Radicand durch sie radiciert, oder indem man die Wurzelexponenten multipliziert.

$$\sqrt[m]{(\sqrt[n]{a})} = \sqrt[n]{(\sqrt[m]{a})} = \sqrt[n]{a^{\frac{m}{m}}}.$$

Beweis. Beide Formen der Wurzel entsprechen der in §. 158 aufgestellten Erklärung derselben. Denn es ist

$$\sqrt[n]{(\sqrt[m]{a})}^m = \sqrt[n]{\{(\sqrt[m]{a})^m\}} \text{ (§. 162)} = \sqrt[n]{a}; \text{ und auch}$$

$$(\sqrt[m]{a})^m = \sqrt[n]{a} \text{ (§. 162)} = \sqrt[n]{a}.$$

**Folgesatz.** Soll eine Zahl durch zwei Zahlen radiciert werden, so darf man entweder durch dieselben einzeln in beliebiger Reihenfolge, oder auch sogleich durch ihr Product radiciern.

§. 164. 1. Eine Zahl wird durch ein Product radiciert, indem man sie durch den einen Factor, und die erhaltene Wurzel durch den andern Factor radiciert.

$$\sqrt[mn]{a} = \sqrt[n]{\sqrt[m]{a}} = \sqrt[m]{\sqrt[n]{a}}.$$

Ergibt sich durch Umkehrung der in §. 163 bewiesenen Gleichungen.

2. Eine Zahl wird mit einem Quotienten (Bruche) potenziert, indem man sie mit dem Dividend potenziert und durch den Divisor radiciert.

$$\sqrt[n]{a^m} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m.$$

Ergibt sich durch Umkehrung der Gleichungen in §. 161.

3. Eine Zahl wird durch einen Quotienten (Bruch) radiciert, indem man sie durch den Dividend radiciert und mit dem Divisor potenziert.

$$\sqrt[\frac{n}{m}]{a} = (\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{(a^m)}.$$

Folgt durch Umkehrung aus §. 162.

§. 165. Die Wurzel aus einer Potenz bleibt unverändert, wenn man den Wurzel- und den Potenzexponenten mit derselben Zahl multipliciert, oder beide durch dieselbe Zahl dividirt.

Es ist 
$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}} = a^{\frac{m \cdot p}{n \cdot p}} = \sqrt[\frac{n \cdot p}{p}]{a^{m \cdot p}};$$

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}} = a^{\frac{m : p}{n : p}} = \sqrt[\frac{n : p}{1}]{a^{m : p}}.$$

**Zusatz.** Nach diesem Satze kann man a) jede Wurzel in eine andere umformen, deren Wurzelexponent ein Vielfaches des gegebenen Wurzelexponenten ist, folglich auch zwei oder mehrere Wurzeln mit einem gemeinsamen Wurzelexponenten darstellen; b) jede Wurzel, in welcher der Wurzel- und der Potenzexponent ein gemeinsames Maß haben, dadurch abkürzen.

Sind z. B. die Wurzeln  $\sqrt{a}$ ,  $\sqrt[3]{b^2}$ ,  $\sqrt[10]{c^7}$  gegeben, so ist 30 ihr kleinster gemeinsamer Wurzelexponent und man hat

$$\sqrt{a} = \sqrt[30]{a^{15}}, \quad \sqrt[3]{b^2} = \sqrt[30]{b^{20}}, \quad \sqrt[10]{c^7} = \sqrt[30]{c^{21}}.$$

**Verbindung des Radicierns mit der Multiplication und Division.**

§. 166. 1. Ein Product wird durch eine Zahl radiciert, indem man jeden Factor durch sie radiciert und die erhaltenen Wurzeln multipliciert.

$$\sqrt[n]{(a b)} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}.$$

**Beweis.**

$$(\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b})^n = (\sqrt[n]{a})^n \cdot (\sqrt[n]{b})^n \quad (\S. 151, 1) = a \cdot b \quad (\S. 159, 1).$$

2. Umgekehrt: Wurzeln desselben Wurzelexponenten werden multipliciert, indem man die gemeinsame Wurzel aus dem Producte der Radicanden auszieht.

Sind Wurzeln, welche ungleiche Exponenten haben, zu multiplicieren, so müssen sie zunächst mit einem gemeinsamen Wurzelexponenten dargestellt werden (§. 165, Zusatz).

**Zusätze.** a) Mit Hilfe des ersten Satzes kann man, wenn der Radicand einen Factor enthält, aus dem sich die verlangte Wurzel ausziehen lässt, diesen Factor vom Wurzelzeichen befreien. **Z. B.**

$$\sqrt[n]{(a^n \cdot b)} = \sqrt[n]{(a^n)} \cdot \sqrt[n]{b} = a \sqrt[n]{b}.$$

b) Nach dem zweiten Satze kann man mit Beziehung von §. 159, 3 umgekehrt jeden Factor einer Wurzel unter das Wurzelzeichen bringen, indem man ihn mit dem Wurzelexponenten potenziert und diese Potenz mit dem Radicand multipliciert. **Z. B.**

$$a \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{(a^n)} \cdot \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{(a^n b)}.$$

**§. 167. 1.** Ein Quotient (Bruch) wird durch eine Zahl radiciert, indem man Dividend und Divisor durch sie radiciert und die erste Wurzel durch die zweite dividirt.

$$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}.$$

**Beweis.**  $\left\{ \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}} \right\}^n = \frac{(\sqrt[n]{a})^n}{(\sqrt[n]{b})^n} \quad (\S. 152, 1) = \frac{a}{b} \quad (\S. 159, 1).$

2. Umgekehrt: Wurzeln desselben Wurzelexponenten werden dividirt, indem man die gemeinsame Wurzel aus dem Quotienten der Radicanden auszieht.

Sind Wurzeln, welche ungleiche Exponenten haben, zu dividieren, so werden sie früher auf einen gemeinsamen Wurzelexponenten gebracht.

**Folgesatz.** Die Wurzel aus einem auf die einfachste Form gebrachten Bruche kann keine ganze Zahl sein.

Die Vergleichung der Sätze §§. 161–167 über das Radicieren mit den §§. 17–21 über die Subtraction und mit den §§. 49–53, dann 55 und 56 über die Division lässt die Analogie zwischen den inversen Rechnungsarten der ersten, zweiten und dritten Stufe recht deutlich erkennen.

### Verbindung des Radicierens mit der Addition und Subtraction.

§. 168. Die Addition und Subtraction der Wurzeln, sowie das Rechnen mit mehrgliedrigen Ausdrücken, in denen Wurzeln vorkommen, wird nach den für allgemeine Zahlen überhaupt aufgestellten Regeln vollzogen. Eine Zusammenziehung findet statt, wenn die Wurzeln sowohl gleiche Radicanden als gleiche Wurzelexponenten haben. Manchmal können auch Wurzeln mit ungleichen Radicanden, wenn sie denselben Exponenten haben, durch Zerlegen der Radicanden in Factoren (§. 166, Zusatz a) mit einem gemeinsamen Radicand dargestellt werden. Z. B.

$$\sqrt{45a^2c} - \sqrt{80b^2c} + \sqrt{125c^3} = \sqrt{9a^2 \cdot 5c} - \sqrt{16b^2 \cdot 5c} + \sqrt{25c^2 \cdot 5c} \\ = 3a\sqrt{5c} - 4b\sqrt{5c} + 5c\sqrt{5c} = (3a - 4b + 5c)\sqrt{5c}.$$

Wie man aus algebraischen Summen die Quadrat- und Cubikwurzel auszieht, wird in den §§. 187 und 193 gezeigt werden.

### Verbindung von Gleichungen und Ungleichungen durch die Radicierung.

§. 169. 1. Gleiche Zahlen durch gleiche Zahlen radiciert geben Gleiches.

Ist  $a = b$ , so ist  $\sqrt[m]{a} = \sqrt[m]{b}$  (§. 8, 3).

Folgesätze. a) Wenn man alle Glieder einer Proportion durch dieselbe Zahl radiciert, so erhält man wieder eine Proportion.

Ist  $a : b = c : d$ , so ist auch  $\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{c} : \sqrt[n]{d}$ , oder

$$\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{b} = \sqrt[n]{c} : \sqrt[n]{d} \quad (\text{§. 167, 1}).$$

b) Die mittlere geometrische Proportionale zwischen zwei Zahlen ist gleich der Quadratwurzel aus dem Producte dieser Zahlen.

Ist  $a : b = b : c$ , so ist  $b^2 = ac$  (§. 123, Folges. 1), daher

$$b = \sqrt{ac} \quad (\text{§. 169, 1}).$$

2. Ungleiche Zahlen durch gleiche radiciert geben Ungleiches mit demselben Ungleichheitszeichen.

Ist  $a > b$ , so ist  $\sqrt[m]{a} > \sqrt[m]{b}$ .

Beweis. Wäre  $\sqrt[m]{a} \leq \sqrt[m]{b}$ , so müßte bezüglich nach §. 156, 1. oder 2.  $(\sqrt[m]{a})^m \leq (\sqrt[m]{b})^m$ , also  $a \leq b$  sein, was gegen die Voraussetzung ist.

Folgesatz. Ist  $a \geq 1$ , so ist bezüglich auch  $\sqrt[m]{a} \geq 1$ .

3. Gleiche Zahlen durch ungleiche Zahlen radiciert geben Ungleiches, und zwar mit dem entgegengesetzten oder mit demselben Ungleichheitszeichen, je nachdem der Radicand größer oder kleiner als 1 ist.

Ist  $m > n$ , so ist für  $a > 1$ ,  $\sqrt[m]{a} < \sqrt[n]{a}$ ;  
für  $a < 1$ ,  $\sqrt[m]{a} > \sqrt[n]{a}$ .

**Beweis.** Wäre für  $a > 1$ ,  $\sqrt[m]{a} \geq \sqrt[n]{a}$ , so wäre bezüglich nach §. 156, 1. oder 2.  $(\sqrt[m]{a})^{mn} \geq (\sqrt[n]{a})^{mn}$ , oder  $a^n \geq a^m$ , während wegen  $m > n$  nach §. 156, 3.  $a^m > a^n$  sein muß.

Ebenso wird der Beweis für  $a < 1$  geführt.

4. Ungleiche Zahlen, von denen wenigstens die eine größer als 1 ist, durch ungleiche Zahlen bei entgegengesetztem Ungleichheitszeichen radiciert geben Ungleiches mit dem Ungleichheitszeichen der Radicanden.

Ist  $a > b$  und zugleich  $a > 1$ , ferner  $n < m$ , so ist  $\sqrt[n]{a} > \sqrt[m]{b}$ .

**Beweis.** Nach 3. ist  $\sqrt[n]{a} > \sqrt[m]{a}$ , nach 2. ist  $\sqrt[m]{a} > \sqrt[m]{b}$ ; folglich um so mehr  $\sqrt[n]{a} > \sqrt[m]{b}$ .

### Umformung von irrationalen Wurzelausdrücken.

§. 170. Ausdrücke, in denen irrationale Wurzeln vorkommen, lassen sich manchmal durch entsprechende Umgestaltung auf eine Form bringen, die für die Rechnung mehr Bequemlichkeit bietet.

**Aufgabe.** Einen Bruch, dessen Nenner ein irrationales Monom oder Binom ist, ohne Änderung seines Wertes mit einem rationalen Nenner darzustellen. (Rationalmachen des Nenners.)

Der vorgelegte Bruch kann eine der folgenden Formen haben:

$$\frac{Z}{\sqrt[m]{a^n}}, \quad \frac{Z}{\sqrt[n]{a} \pm \sqrt[m]{b}}, \quad \frac{Z}{\sqrt[m]{a^p} \pm \sqrt[m]{a^q}}$$

1. Um einen Bruch von der Form  $\frac{Z}{\sqrt[m]{a^n}}$ , wobei  $m > n$  ist, mit einem

rationalen Nenner darzustellen, multipliciere man Zähler und Nenner mit  $\sqrt[m]{a^{m-n}}$ .

Es ist

$$\frac{Z}{\sqrt[m]{a^n}} = \frac{Z \sqrt[m]{a^{m-n}}}{\sqrt[m]{a^n} \cdot \sqrt[m]{a^{m-n}}} = \frac{Z \sqrt[m]{a^{m-n}}}{\sqrt[m]{a^m}} = \frac{Z \sqrt[m]{a^{m-n}}}{a}$$

$$\text{z. B. } \frac{m}{\sqrt{3a}} = \frac{m \sqrt{3a^2}}{a}; \quad \frac{3 \sqrt{5a}}{\sqrt{5a^3}} = \frac{3 \sqrt{5a} \cdot \sqrt{5a^2}}{a} = \frac{3 \sqrt{5a^9}}{a}$$

2. Um einen Bruch von der Form  $\frac{Z}{a \pm \sqrt{b}}$  oder  $\frac{Z}{\sqrt{a} \pm \sqrt{b}}$  mit einem rationalen Nenner darzustellen, multipliciere man Zähler und Nenner mit  $a \mp \sqrt{b}$  oder  $\sqrt{a} \mp \sqrt{b}$ . Es ist

$$\frac{Z}{a \pm \sqrt{b}} = \frac{Z(a \mp \sqrt{b})}{(a \pm \sqrt{b})(a \mp \sqrt{b})} = \frac{Z(a \mp \sqrt{b})}{a^2 - b}$$

$$\frac{Z}{\sqrt{a} \pm \sqrt{b}} = \frac{Z(\sqrt{a} \mp \sqrt{b})}{(\sqrt{a} \pm \sqrt{b})(\sqrt{a} \mp \sqrt{b})} = \frac{Z(\sqrt{a} \mp \sqrt{b})}{a - b}$$

3. B. 
$$\frac{3}{5 - \sqrt{2}} = \frac{3(5 + \sqrt{2})}{5^2 - 2} = \frac{15 + 3\sqrt{2}}{23}$$

$$\frac{15}{\sqrt{5} + \sqrt{2}} = \frac{15(\sqrt{5} - \sqrt{2})}{5 - 2} = 5(\sqrt{5} - \sqrt{2})$$

$$\frac{2 + \sqrt{3}}{\sqrt{5} + \sqrt{3}} = \frac{(2 + \sqrt{3})(\sqrt{5} - \sqrt{3})}{\sqrt{5} - \sqrt{3}} = \frac{(2 + \sqrt{3})(\sqrt{5} - \sqrt{3})(\sqrt{5} + \sqrt{3})}{2} = \dots$$

3. Um einen Bruch von der Form

$$\frac{Z}{\sqrt{a^m} \pm \sqrt{b^n}} = \frac{Z}{\sqrt{a^{mn}} \pm \sqrt{b^{mn}}} = \frac{Z}{\sqrt{A} \pm \sqrt{B}}$$

wo der Kürze halber  $mn = r$ ,  $a^{mn} = A$  und  $b^{mn} = B$  gesetzt wird, mit einem rationalen Nenner darzustellen, multipliciere man Zähler und Nenner des letzten Bruches mit dem Polynom

$$\sqrt{A}^{r-1} \mp \sqrt{A}^{r-2} \sqrt{B} + \sqrt{A}^{r-3} \sqrt{B}^2 \mp \dots (\mp 1)^{r-2} \sqrt{A} \sqrt{B}^{r-2} + (\mp 1)^{r-1} \sqrt{B}^{r-1}$$

Man erhält dadurch  $A \pm B$  als den neuen Nenner. *3. B. bei ungeraden Exponenten*

$$\frac{Z}{\sqrt{a} - \sqrt{b}} = \frac{Z(\sqrt{a^5} + \sqrt{a^3b} + \sqrt{a^2b^2} + \sqrt{ab^3} + \sqrt{b^4})}{a - b}$$

§. 171. Aufgabe. Die Summe oder die Differenz der Quadratwurzeln aus der Summe und der Differenz zweier Zahlen, von welchen die eine irrational ist, in eine einzige Quadratwurzel zu verwandeln.

Ist  $\sqrt{a + \sqrt{b}} \pm \sqrt{a - \sqrt{b}}$  die gegebene Summe oder Differenz zweier Quadratwurzeln, wobei  $a$  als positiv und größer als  $\sqrt{b}$  vorausgesetzt wird, so hat man

$$(\sqrt{a + \sqrt{b}} \pm \sqrt{a - \sqrt{b}})^2 = 2a \pm 2\sqrt{a^2 - b},$$

daher, wenn man beiderseits die Quadratwurzel auszieht,

$$\sqrt{a + \sqrt{b}} \pm \sqrt{a - \sqrt{b}} = \sqrt{2a \pm 2\sqrt{a^2 - b}}$$

Diese Umformung lässt sich besonders dann mit Vortheil anwenden, wenn  $a^2 - b$  eine vollständige Quadratzahl ist. 3. B.

$$\sqrt{4 + \sqrt{7}} + \sqrt{4 - \sqrt{7}} = \sqrt{8 + 2\sqrt{16 - 7}} = \sqrt{8 + 2\sqrt{9}} = \sqrt{14};$$

$$\sqrt{6 + \sqrt{11}} - \sqrt{6 - \sqrt{11}} = \sqrt{12 - 2\sqrt{36 - 11}} = \sqrt{12 - 2\sqrt{25}} = \sqrt{2}.$$

§. 172. Aufgabe. Die Quadratwurzel aus einem irrationalen Binom in die Summe oder die Differenz zweier Quadratwurzeln zu verwandeln.

Ist  $\sqrt{a \pm \sqrt{b}}$  die gegebene Quadratwurzel, so hat man, wenn  $a$  positiv und  $a > \sqrt{b}$  ist, nach §. 171

$$\sqrt{a + \sqrt{b}} + \sqrt{a - \sqrt{b}} = \sqrt{2a + 2\sqrt{a^2 - b}},$$

$$\sqrt{a + \sqrt{b}} - \sqrt{a - \sqrt{b}} = \sqrt{2a - 2\sqrt{a^2 - b}};$$

daher durch Addition und Subtraction dieser Gleichungen

$$\sqrt{a + \sqrt{b}} = \sqrt{\frac{a + \sqrt{a^2 - b}}{2}} + \sqrt{\frac{a - \sqrt{a^2 - b}}{2}};$$

$$\sqrt{a - \sqrt{b}} = \sqrt{\frac{a + \sqrt{a^2 - b}}{2}} - \sqrt{\frac{a - \sqrt{a^2 - b}}{2}}.$$

Die Umformung ist nur dann vortheilhaft, wenn  $a^2 - b$  eine vollständige Quadratzahl ist. B. B.

$$\sqrt{11 \pm 6\sqrt{2}} = \sqrt{11 \pm \sqrt{72}} = \sqrt{\frac{11 + \sqrt{49}}{2}} \pm \sqrt{\frac{11 - \sqrt{49}}{2}} = 3 \pm \sqrt{2}.$$

Zusatz. Haben die beiden Glieder des Binoms  $a \pm \sqrt{b}$  einen gemeinsamen irrationalen Factor, so wird derselbe vor der Transformation herausgehoben. B. B.

$$\sqrt{3\sqrt{2} - \sqrt{10}} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3 - \sqrt{5}} = \sqrt{2} \cdot \left( \sqrt{\frac{5}{2}} - \sqrt{\frac{1}{2}} \right) = \frac{\sqrt{8}}{2} (\sqrt{5} - 1).$$

§. 173. Aufgabe. Eine Gleichung, in welcher die Unbekannte im Radicand vorkommt, von der Wurzel zu befreien. (Rationalmachen der Gleichung.)

Man transformiere die Gleichung so, dass in einem Theile die Wurzel allein steht, und potenziere dann beide Theile mit dem Wurzelexponenten.

Um eine Gleichung, in welcher die Unbekannte im Radicand vorkommt, aufzulösen, muß dieselbe immer zunächst rational gemacht werden.

Beispiele.

<p>1) <math>\sqrt{2x + 3} = 5</math>  <math>(\sqrt{2x + 3})^2 = 5^2</math>  <math>2x + 3 = 25</math>  <math>2x = 25 - 3</math>  <math>2x = 22</math>  <math>x = 11</math></p>	<p>2) <math>1 + \sqrt{4x^2 - 5x + 4} = 2x</math>  <math>\sqrt{4x^2 - 5x + 4} = 2x - 1</math>  <math>(\sqrt{4x^2 - 5x + 4})^2 = (2x - 1)^2</math>  <math>4x^2 - 5x + 4 = 4x^2 - 4x + 1</math>  <math>-5x + 4x = 1 - 4</math>  <math>-x = -3</math>  <math>x = 3</math></p>
---	---

### Wurzeln mit algebraischem Radicand.

§. 174. 1. Jeder geraden Wurzel aus einem positiven Radicand entsprechen zwei gleiche und entgegengesetzte Werte.

2. Jeder ungeraden Wurzel aus einem positiven Radicand entspricht ein positiver Wert.

3. Jeder ungeraden Wurzel aus einem negativen Radicand entspricht ein negativer Wert.

**Beweis.** Nach §. 157 ist

$$(\pm p)^{2n} = +a, \quad (+q)^{2n+1} = +b, \quad (-q)^{2n+1} = -b,$$

wo  $a$  und  $b$  die durch Potenzierung sich ergebenden absoluten Zahlenwerte bedeuten. Daraus aber folgt nach §. 158

$$\sqrt[2n]{+a} = \pm p, \quad \sqrt[2n+1]{+b} = +q, \quad \sqrt[2n+1]{-b} = -q.$$

**Zusatz.** Die Zahlenform  $\sqrt[2n]{-a}$  wird später einer besonderen Betrachtung unterzogen werden.

## III. Potenzen und Wurzeln mit negativen und gebrochenen Exponenten.

### 1. Negative Exponenten.

§. 175. Der durch die Gleichung  $a^m : a^n = a^{m-n}$  ausgedrückte Lehrsatz für die Division zweier Potenzen derselben Basis (§. 154, 1) wurde bisher auf den Fall, wo  $m \geq n$  ist, beschränkt. Ist nun  $m < n$ , und zwar  $m + p = n$ , so führt die Anwendung der obigen Gleichung auf eine Potenz mit negativem Exponenten; es ist

$$a^m : a^n = a^m : a^{m+p} = a^{-p}.$$

Damit daher das durch die obige Gleichung ausgesprochene Gesetz allgemeine Geltung habe, ist man genöthigt, auch den Potenzen mit negativen Exponenten eine Bedeutung beizulegen, durch welche auch sie auf den ursprünglichen Potenzbegriff zurückgeführt werden. Diese Bedeutung ergibt sich sogleich, wenn man den Quotienten, welcher  $a^{-p}$  darstellen soll, in einer andern Form entwickelt. Man hat

$$a^m : a^n = \frac{a^m}{a^{m+p}} = \frac{a^m}{a^m \cdot a^p} = \frac{1}{a^p}.$$

Mithin ist

$$\underline{a^{-p} = \frac{1}{a^p}}.$$

Eine Potenz mit negativem Exponenten ist demnach der reciproke Wert derselben Potenz mit positivem Exponenten.

**Folgesätze.** a) Da  $\frac{1}{a^p} = \left(\frac{1}{a}\right)^p$  ist, so ist auch  $a^{-p} = \left(\frac{1}{a}\right)^p$ . Eine Zahl  $a$  zur  $(-p)$ ten Potenz erheben heißt daher, den reciproken Wert von  $a$   $p$ mal als Factor setzen.

b) Aus  $a^{-p} = \frac{1}{a^p}$  folgt  $a^p \cdot a^{-p} = 1$ , folglich ist auch  $a^p = \frac{1}{a^{-p}}$ . Man kann daher jede Potenz, die im Zähler eines Bruches als Factor vorkommt, als Factor in den Nenner, und umgekehrt, übertragen, wenn man das Vorzeichen des Exponenten in das entgegengesetzte verwandelt.

§. 176. Mit Rücksicht auf §. 175 läßt sich die in §. 102 aufgestellte allgemeine Form eines Decimalbruches

$$\dots c \cdot 10^3 + b \cdot 10^2 + a \cdot 10 + E + \frac{\alpha}{10} + \frac{\beta}{10^2} + \frac{\gamma}{10^3} + \dots$$

auch so darstellen:

$\dots c \cdot 10^3 + b \cdot 10^2 + a \cdot 10 + E + \alpha \cdot 10^{-1} + \beta \cdot 10^{-2} + \gamma \cdot 10^{-3} + \dots$ ,  
und sind daher  $-1, -2, -3, \dots$  bezüglich die Rangexponenten (§. 67) der ersten, zweiten, dritten, ... Decimalziffer. Hieraus folgt:

1. Der Rangexponent der höchsten von Null verschiedenen Ziffer eines echten Decimalbruches ist negativ und absolut genommen gleich der Anzahl aller Nullen, welche dieser Ziffer vorangehen, die Null vor dem Decimalpunkte mitgezählt. Z. B. in dem Decimalbruche  $0 \cdot 000783$  hat die höchste Ziffer 7 den Rangexponenten  $-4$ .

2. Bedeutet  $N$  einen Decimalbruch, dessen höchste Ziffer den Rangexponenten  $-n$  hat, also einen echten Decimalbruch, dessen höchste Ziffer an der  $n$ ten Decimalstelle steht, so ist

$$N \geq 10^{-n} \quad \text{und} \quad N < 10^{-n+1}.$$

$$\text{Z. B. } 0 \cdot 00935 > \frac{1}{10^3} \quad \text{und} \quad 0 \cdot 00935 < \frac{1}{10^2}.$$

§. 177. Alle bisher erwiesenen Lehrrsätze von den Potenzen mit positiven Exponenten gelten auch für Potenzen mit negativen Exponenten.

Um dies an den einzelnen Sätzen zu beweisen, darf man nur die Potenzen mit negativen Exponenten durch die reciproken Werte derselben Potenzen mit positiven Exponenten ausdrücken, dann die angedeuteten Rechnungen durchführen und in den Resultaten, wenn darin Ausdrücke von der Form  $\frac{1}{a^p}$  vorkommen, wieder zu Potenzen mit negativen Exponenten zurückkehren. Z. B.

$$(+a)^{-n} = \frac{1}{(+a)^n} = \frac{1}{+a^n} = +a^{-n};$$

$$(-a)^{-2n} = \frac{1}{(-a)^{2n}} = \frac{1}{+a^{2n}} = +a^{-2n};$$

$$a^m \cdot a^{-n} = a^m \cdot \frac{1}{a^n} = \frac{a^m}{a^n} = a^{m-n};$$

$$a^{-m} \cdot b^{-m} = \frac{1}{a^m} \cdot \frac{1}{b^m} = \frac{1}{(ab)^m} = (ab)^{-m};$$

$$a^{-m} : a^n = \frac{1}{a^m} : a^n = \frac{1}{a^m \cdot a^n} = \frac{1}{a^{m+n}} = a^{-m-n}; \text{ u. f. w.}$$

§. 178. Eine Wurzel mit negativem Wurzelexponenten ist gleich dem reciproken Werte derselben Wurzel mit positivem Wurzelexponenten.

Es ist  $\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{a^{1 \cdot -1}} = \sqrt[n]{a^{-1}}$ , also

$$\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{\frac{1}{a}} = \frac{1}{\sqrt[n]{a}}$$

**Zusatz.** Negative Wurzelexponenten pflegt man zu vermeiden, indem man das Negative in den Potenzexponenten verlegt.

## 2. Gebrochene Exponenten.

§. 179. Das Radicieren von Potenzen führt nach den in §§. 161 und 162 erwiesenen Gleichungen

$$\sqrt[n]{(a^m)} = a^{\frac{m}{n}} \text{ und } (\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m}$$

für den Fall, daß bezüglich  $m$  durch  $n$  oder  $n$  durch  $m$  nicht theilbar ist, auf Potenzen und Wurzeln mit gebrochenen Exponenten. Um die Giltigkeit dieser Regeln von den besonderen Werten der Exponenten  $m$  und  $n$  unabhängig zu machen, müssen die Begriffe der Potenz und Wurzel so erweitert werden, daß sie auch für gebrochene Exponenten ihre bestimmte Bedeutung erhalten. Aus den obigen Gleichungen ergeben sich nun unmittelbar folgende Erklärungen:

1. Eine Potenz mit gebrochenem Exponenten ist die sovielte Potenz der Grundzahl, als der Zähler anzeigt, radiciert durch den Nenner.

$$a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{(a^m)}$$

2. Eine Wurzel mit gebrochenem Exponenten ist die sovielte Wurzel aus dem Radicand, als der Zähler anzeigt, potenziert mit dem Nenner.

$$\sqrt[n]{a} = (\sqrt[n]{a})^{\frac{m}{m}}$$

**Zusatz.** Aus  $\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{a^{\frac{m}{m}}} = a^{\frac{m}{n}}$  folgt, daß sich jede Wurzel mit gebrochenen Exponenten als eine Potenz mit gebrochenem Exponenten darstellen läßt. Da man deshalb Wurzeln mit Bruchexponenten in die Rechnung gar nicht einzuführen pflegt, so beschränken wir uns hier auf Potenzen mit gebrochenen Exponenten.

§. 180. Alle bisher erwiesenen allgemeinen Sätze von den Potenzen gelten auch für Potenzen mit gebrochenen Exponenten.

Um dieses an den einzelnen Sätzen nachzuweisen, braucht man nur die Potenzen mit gebrochenen Exponenten in Wurzeln zu verwandeln, dann die angedeuteten Rechnungen auszuführen und in den Resultaten die Wurzeln wieder in Potenzen mit Bruchexponenten umzuformen. §. B.

$$a^{-\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^{-m}} = \sqrt[n]{\left(\frac{1}{a}\right)^m} = \left(\frac{1}{a}\right)^{\frac{m}{n}};$$

$$a^{\frac{m}{n}} \cdot a^{\frac{p}{q}} = \sqrt[n]{a^m} \cdot \sqrt[q]{a^p} = \sqrt[nq]{a^{mq}} \cdot \sqrt[nq]{a^{np}} = \sqrt[nq]{a^{mq+np}} = a^{\frac{mq+np}{nq}};$$

$$\left(a^{\frac{m}{n}}\right)^{\frac{p}{q}} = \sqrt[q]{\left(\sqrt[n]{a^m}\right)^p} = \sqrt[q]{\sqrt[n]{a^{mp}}} = \sqrt[nq]{a^{mp}} = a^{\frac{mp}{nq}}; \text{ u. s. w.}$$

**Zusatz.** Da sich alle Wurzeln als Potenzen mit gebrochenen Exponenten darstellen lassen, so ist die Lehre von den Wurzeln schon in den Sätzen von den Potenzen enthalten.

#### IV. Erweiterung des Zahlengebietes durch das Radicieren.

##### Imaginäre und complexe Zahlen.

§. 181. In §. 174 blieb noch der Ausdruck  $\sqrt[2n]{-a}$  zu untersuchen übrig. Da weder eine positive, noch eine negative ganze, gebrochene oder irrationale Zahl, noch auch Null, mit einer geraden Zahl potenziert eine negative Zahl hervorbringen kann, so ist  $\sqrt[2n]{-a}$  in der stetigen Folge der bisher betrachteten Zahlen nicht zu finden. Man muß  $\sqrt[2n]{-a}$  als eine neue Zahlenform ansehen und nennt sie eine imaginäre Zahl; im Gegensatz zu ihr bezeichnet man die ganzen, gebrochenen und irrationalen Zahlen mit dem gemeinsamen Namen reelle Zahlen.

Nach dem bereits in §. 27 erwähnten Principe der Erhaltung der Operationsgesetze wird man die neue Zahlenform so definieren, daß die bisher für reelle Zahlen entwickelten Gesetze auch noch für das Rechnen mit den imaginären Zahlen ihre Geltung behalten. Diese Erklärung der neuen Zahlenform liegt in der Gleichung  $(\sqrt[2n]{-a})^{2n} = -a$ .

Für  $n = 1$  und  $a = 1$  erhält man  $\sqrt{-1}$  als die einfachste Form einer imaginären Zahl. Auf diese kann schließlich auch jede andere imaginäre Zahl zurückgeführt werden; z. B.

$$\sqrt{-a} = \sqrt{a \cdot -1} = \sqrt{a} \cdot \sqrt{-1} = b \sqrt{-1},$$

wenn  $b$  die absolute Quadratwurzel aus  $a$  ist.

$\sqrt{-1}$  heißt die imaginäre Einheit; sie wird nach Gauß fast allgemein mit dem Buchstaben  $i$  bezeichnet. Ihre Definition ist durch die Gleichung  $i^2 = (\sqrt{-1})^2 = -1$  gegeben.

Das Zahlzeichen  $b\sqrt{-1}$  oder  $bi$ , das die Form eines Productes einer reellen Zahl  $b$  mit der imaginären Einheit hat, wird eine rein imaginäre Zahl genannt.

Das Zahlzeichen  $a + bi$ , welches die Form einer Summe einer reellen und einer rein imaginären Zahl hat, heißt eine complexe Zahl;  $a$  ist ihr reeller,  $bi$  ihr imaginärer Bestandtheil. Zwei complexe Zahlen von der Form  $a + bi$  und  $a - bi$  heißen conjugiert.

Der Ausdruck  $a + bi$  ist die allgemeine Form für alle möglichen Zahlen; er enthält für  $a = 0$  und  $b = 0$  die Null, für  $b = 0$  alle reellen Zahlen, für  $a = 0$  alle rein imaginären Zahlen, und, wenn  $a$  und  $b$  von Null verschieden sind, alle complexen Zahlen.

Über die geometrische Bedeutung der imaginären und complexen Zahlen enthält der Anhang dieses Lehrbuches eine abgesonderte Untersuchung. Hier sollen nur die wichtigsten formalen Verbindungen dieser Zahlen betrachtet werden. Indem dabei nach dem Princip der Permanenz die Operationsgesetze für reelle Zahlen ihre Anwendung finden, rechnet man mit der imaginären Zahl  $bi$  der Form nach so, als wenn das Zahlzeichen  $i$  eine reelle Zahl vorstellen würde; nur tritt noch die Bestimmung hinzu, daß überall  $i^2$  durch  $-1$  zu ersetzen ist.

### Rechnungsoperationen mit rein imaginären Zahlen.

§. 182. Ist eine imaginäre Zahl von der Form  $\sqrt{-a}$  der Rechnung zu unterziehen, so muß sie früher auf die Form  $\sqrt{a}\sqrt{-1} = b\sqrt{-1} = bi$ , wo  $b = \sqrt{a}$  ist, gebracht werden.

#### 1. Addition und Subtraction.

$$\begin{aligned} ai + bi &= (a + b)i; \\ ai - bi &= (a - b)i. \end{aligned}$$

Die Summe zweier imaginärer Zahlen ist demnach auch imaginär; ebenso die Differenz zweier ungleicher imaginärer Zahlen.

#### 2. Multiplication.

$$\begin{aligned} ai \cdot b &= abi, \text{ ebenso } a \cdot bi = abi; \\ ai \cdot bi &= ab \cdot i^2 = ab \cdot -1 = -ab. \end{aligned}$$

Das Product aus einer imaginären und einer reellen Zahl ist imaginär, das Product zweier imaginärer Zahlen reell.

#### 3. Division.

$$\frac{ai}{b} = \frac{a}{b}i, \quad \frac{a}{bi} = \frac{ai}{bi^2} = -\frac{a}{b}i; \quad \frac{ai}{bi} = \frac{a}{b}.$$

Eine imaginäre und eine reelle Zahl geben also einen imaginären, zwei imaginäre Zahlen einen reellen Quotienten.

#### 4. Potenzieren.

Man hat

$$\begin{aligned} i^2 &= -1, \\ i^3 &= i^2 \cdot i = -i, \\ i^4 &= i^3 \cdot i = -i^2 = +1, \\ i^5 &= i^4 \cdot i = +i, \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

allgemein

$$i^{4n} = +1, \quad i^{4n+1} = +i, \quad i^{4n+2} = -1, \quad i^{4n+3} = -i.$$

Ferner ist  $(ai)^n = a^n \cdot i^n.$

Die Potenz einer rein imaginären Zahl ist demnach reell oder imaginär, je nachdem die bezügliche Potenz von  $i$  reell oder imaginär ist.

#### Rechnungsoperationen mit complexen Zahlen.

§. 183. 1. Das Gleichsein zweier complexer Zahlen  $a + bi = c + di$  kann nur die Bedeutung haben, daß  $a = c$  und  $b = d$  ist. Denn sonst wäre  $(a - c) = (d - b)i$ , d. i. eine reelle Zahl gleich einer imaginären was ein Widerspruch ist.

2. Ebenso kann die Gleichung  $a + bi = 0$  nur dann stattfinden, wenn sowohl  $a = 0$  als auch  $b = 0$  ist.

§. 184. 1. Die Addition zweier complexer Zahlen  $a + bi$  und  $c + di$  erfolgt nach der Gleichung

$$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i.$$

Die Summe zweier complexer Zahlen besteht demnach aus der Summe der reellen und der Summe der imaginären Bestandtheile der beiden Summanden; sie ist im allgemeinen auch eine complexe Zahl. Reell ist immer die Summe zweier conjugirter Zahlen; denn

$$(a + bi) + (a - bi) = 2a.$$

2. Die Subtraction zweier complexer Zahlen  $a + bi$  und  $c + di$  wird bestimmt durch die Gleichung

$$(a + bi) - (c + di) = (a - c) + (b - d)i.$$

Zwei complexe Zahlen geben im allgemeinen eine complexe Zahl zur Differenz.

3. Wird die Multiplication zweier complexer Zahlen  $a + bi$  und  $c + di$  formal ausgeführt und dann  $i^2$  durch  $-1$  ersetzt, so hat man

$$\begin{aligned} (a + bi)(c + di) &= ac + bci + adi + bdi^2 \\ &= (ac - bd) + (bc + ad)i. \end{aligned}$$

Das Product zweier complexer Zahlen ist im allgemeinen auch eine complexe Zahl. Reell ist immer das Product zweier conjugirter Zahlen; denn

$$(a + bi)(a - bi) = a^2 + b^2.$$

4. Um zwei complexe Zahlen  $a + bi$  und  $c + di$  durch einander zu dividieren, darf man nur Dividend und Divisor mit der zu dem Divisor conjugierten Zahl multiplicieren, wodurch man auf eine Division durch einen reellen Divisor geführt wird.

$$\begin{aligned} \frac{a + bi}{c + di} &= \frac{(a + bi)(c - di)}{(c + di)(c - di)} = \frac{(ac + bd) + (bc - ad)i}{c^2 + d^2} \\ &= \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} + \frac{bc - ad}{c^2 + d^2} i. \end{aligned}$$

Der Quotient zweier complexer Zahlen ist auch eine complexe Zahl.

Durch das eben angeführte Verfahren kann auch jeder Bruch, dessen Nenner eine complexe Zahl ist, mit einem reellen Nenner dargestellt und sonach in eine complexe Zahl verwandelt werden. Z. B.

$$\frac{3 + i}{2 + 5i} = \frac{(3 + i)(2 - 5i)}{(2 + 5i)(2 - 5i)} = \frac{11 - 13i}{29} = \frac{11}{29} - \frac{13}{29} i.$$

5. Die Potenz einer complexen Zahl ist im allgemeinen wieder eine complexe Zahl.

$$(a + bi)^2 = (a + bi)(a + bi) = (a^2 - b^2) + 2abi;$$

$$(a + bi)^3 = (a + bi)^2(a + bi) = (a^3 - 3ab^2) + (3a^2b - b^3)i;$$

u. f. w.

6. Die in §§. 171 und 172 für die Quadratwurzel aus irrationalen Binomen abgeleiteten Formeln gelten, wie aus der Ableitung selbst hervorgeht, auch für die Quadratwurzeln aus complexen Zahlen, und zwar ist hier ihre Anwendung von der dort aufgestellten Bedingung, daß  $a$  positiv und größer als  $\sqrt{b}$  sein muß, ganz unabhängig. Z. B.

$$\sqrt{1 + i} + \sqrt{1 - i} = \sqrt{2 + 2\sqrt{1 - i^2}} = \sqrt{2 + 2\sqrt{2}}.$$

$$\begin{aligned} \sqrt{4 + 3\sqrt{-1}} &= \sqrt{\frac{4 + \sqrt{16 + 9}}{2}} + \sqrt{\frac{4 - \sqrt{16 + 9}}{2}} \\ &= \frac{1}{2}(3\sqrt{2} + \sqrt{-2}) = \frac{\sqrt{2}}{2}(3 + \sqrt{-1}). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\pm\sqrt{-1}} &= \sqrt{0 \pm \sqrt{-1}} = \sqrt{\frac{+\sqrt{0+1}}{2}} + \sqrt{\frac{-\sqrt{0+1}}{2}} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2}(1 \pm \sqrt{-1}). \end{aligned}$$

## V. Quadrieren und Cubieren, Ausziehen der Quadrat- und der Cubikwurzel.

### 1. Quadrat und Quadratwurzel.

§. 185. Aufgabe. Eine algebraische Summe zum Quadrat zu erheben.

Man entwickle das Quadrat nach folgendem Bildungsgesetze:

1. Das erste Glied des gegebenen Ausdruckes gibt sein eigenes Quadrat.

2. Jedes folgende Glied gibt zwei Bestandtheile: das doppelte Product aus der Summe aller vorangehenden Glieder mit diesem Gliede, und das eigene Quadrat.

3. Die Summe aller so gebildeten Bestandtheile ist das gesuchte Quadrat.

**Beweis.** Man hat zunächst

$$(a + b)^2 = (a + b)(a + b) = a^2 + 2ab + b^2;$$

d. i. das Quadrat eines Binoms ist gleich der Summe aus dem Quadrate des ersten Gliedes, dem doppelten Producte beider Glieder und dem Quadrate des zweiten Gliedes.

Ferner ergibt sich für einen dreigliedrigen Ausdruck  $a + b + c$ , wenn man denselben als Binom ansieht, dessen erstes Glied  $a + b$ , dessen zweites Glied  $c$  ist,

$$\begin{aligned} (a + b + c)^2 &= [(a + b) + c]^2 = (a + b)^2 + 2(a + b)c + c^2 \\ &= a^2 + 2ab + b^2 + 2(a + b)c + c^2. \end{aligned}$$

Gilt überhaupt das hier für zwei und für drei Glieder nachgewiesene Gesetz für einen  $n$ gliedrigen Ausdruck  $a + b + c + \dots + q + r$ , so muß daselbe auch für einen  $(n + 1)$  gliedrigen Ausdruck  $a + b + c + \dots + q + r + s$  richtig sein; denn

$$\begin{aligned} (a + b + c + \dots + q + r + s)^2 &= [(a + b + c + \dots + q + r) + s]^2 \\ &= (a + b + c + \dots + q + r)^2 + 2(a + b + c + \dots + q + r)s + s^2. \end{aligned}$$

Das angeführte Bildungsgesetz gilt nun für drei Glieder, folglich muß es auch für vier, folglich auch für fünf, u. s. w., mithin allgemein für jede Anzahl von Gliedern gelten.

**Zusatz.** Die zwei Bestandtheile, welche ein Glied der gegebenen Zahl im Quadrat gibt, können auch in einen einzigen zusammengefaßt werden, wenn man dieses Glied zu der doppelten Summe der vorhergehenden Glieder addiert und die erhaltene Summe mit diesem Gliede multipliciert; denn

$$\begin{aligned} 2a \cdot b + b^2 &= (2a + b) \cdot b; \\ 2(a + b) \cdot c + c^2 &= [2(a + b) + c] \cdot c; \text{ u. s. w.} \end{aligned}$$

**§. 186. Aufgabe.** Eine dekadische Zahl zum Quadrat zu erheben.

Dabei wird folgendes Verfahren angewendet:

1. Man erhebt die erste Ziffer links zum Quadrate.

2. Aus jeder folgenden Ziffer bildet man zwei Bestandtheile: das doppelte Product aus der ihr vorangehenden Zahl und dieser Ziffer, und ihr eigenes Quadrat.

3. Diese Bestandtheile werden so unter einander gesetzt, daß jeder folgende um eine Stelle weiter rechts erscheint, und dann, so wie sie stehen, addiert.

Die Richtigkeit dieses Verfahrens folgt, da sich jede dekadische Zahl als ein nach den Potenzen von 10 geordnetes Polynom darstellen läßt, aus §. 185.

Um z. B. 3417 zum Quadrat zu erheben, hat man  
 $3417^2 = (3000 + 400 + 10 + 7)^2 = 3000^2 + 2 \cdot 3000 \cdot 400 + 400^2$   
 $+ 2 \cdot 3400 \cdot 10 + 10^2 + 2 \cdot 3410 \cdot 7 + 7^2;$   
 oder, wenn man die Bestandtheile unter einander setzt und entwickelt, sowie mit Berücksichtigung des Stellenwertes die Nullen wegläßt,

$$\begin{array}{r}
 3417^2 \\
 \hline
 3^2 \qquad \qquad \qquad 9 \\
 2. \ 3.4 \ \dots\dots \ 24 \\
 \qquad 4^2 \ \dots\dots \ 16 \\
 2. \ 34.1 \ \dots\dots \ 68 \\
 \qquad 1^2 \ \dots\dots \ 1 \\
 2.341.7 \ \dots\dots \ 4774 \\
 \qquad 7^2 \ \dots\dots \ 49 \\
 \hline
 11675889
 \end{array}$$

**Zusätze.** 1. Die zwei Bestandtheile, welche die zweite und jede folgende Ziffer der gegebenen Zahl im Quadrate liefert, kann man in einen einzigen zusammenfassen, wenn man zu der doppelten vorangehenden Zahl die neue Ziffer hinzuschreibt und die dadurch entstehende Zahl mit dieser neuen Ziffer multipliciert; nur muß bei diesem Vorgange jedes folgende Product um zwei Stellen weiter rechts hinausgerückt werden; es ist nämlich allgemein

$$(2 A \cdot 10) \cdot p + p^2 = (2 A \cdot 10 + p)p.$$

Das frühere Beispiel würde sich bei diesem kürzeren Verfahren so stellen :

$$\begin{array}{r}
 3417^2 \\
 \hline
 3^2 \ \dots \ 9 \ | \ | \ | \\
 64.4 \ \dots \ 256 \ | \ | \ | \\
 681.1 \ \dots \ \quad \ | \ 681 \ | \ | \\
 6827.7 \ \dots \ \quad \ | \ 47789 \ | \ | \\
 \hline
 11|67|58|89
 \end{array}$$

2. Das Quadrat einer dekadischen ganzen Zahl hat entweder doppelt so viele Ziffern als diese Zahl oder um eine Ziffer weniger.

Denn ist  $N$   $n$ ziffrig, also  $N \geq 10^{n-1}$ , aber  $< 10^n$ , so ist  $N^2 \geq 10^{2n-2}$ , aber  $< 10^{2n}$ ; das Quadrat  $N^2$  hat also mindestens  $2n - 1$  Ziffern und höchstens  $2n$  Ziffern.

Theilt man daher das Quadrat von der Rechten gegen die Linke in Abtheilungen zu zwei Ziffern, wobei die erste Abtheilung links auch nur eine Ziffer enthalten kann, so hat man im Quadrate so viele Abtheilungen, als die Quadratwurzel Ziffern hat.

3. Da  $\left(\frac{a}{10^n}\right)^2 = \frac{a^2}{10^{2n}}$  ist, so erhellet, daß bei einem Decimalbruche das Quadrat auf gleiche Weise wie bei einer dekadischen ganzen Zahl gebildet

wird; nur muß man im Quadrate des Zählers doppelt so viele Decimalen abschneiden, als deren der gegebene Decimalbruch enthält.

4. Erhebt man einen unvollständigen Decimalbruch zum Quadrat, so ist (nach §. 108) die Fehlergrenze des Quadrates gleich dem doppelten Producte des Decimalbruches (bezüglich seiner höchsten Stelle) mit dessen Fehlergrenze.

So erhält man z. B.  $5 \cdot 168..^2 = 26 \cdot 71..$  mit der Fehlergrenze  $2 \times 5 \times 0 \cdot 0005 = 0 \cdot 005$ .

§. 187. Aufgabe. Aus einer algebraischen Summe die Quadratwurzel auszuziehen.

Aus dem Gesetze (§. 185), nach welchem die Bestandtheile einer mehrgliedrigen Zahl in ihrem Quadrate zusammengestellt erscheinen, läßt sich für das Ausziehen der Quadratwurzel aus einem geordneten Polynom folgendes Verfahren ableiten:

1. Das erste Glied des geordneten Polynoms ist das Quadrat des ersten Wurzelgliedes. Man findet daher das erste Glied der Wurzel, wenn man aus dem ersten Gliede des Radicands die Quadratwurzel auszieht. Das Quadrat des ersten Wurzelgliedes wird von dem Radicand subtrahiert.

2. Die ersten zwei Glieder des Restes enthalten die Bestandtheile, welche aus dem folgenden Gliede der Wurzel hervorgehen, und zwar ist das erste Glied des Restes das Product aus der doppelten bereits gefundenen Wurzel und aus dem folgenden Gliede der Wurzel. Dividirt man daher das erste Glied des Restes durch das Doppelte der bereits gefundenen Wurzel, so erhält man das folgende Glied der Wurzel. Man bildet nun die Bestandtheile, welche dieses neue Glied der Wurzel im Quadrate gibt, indem man zu dem Doppelten der früheren Wurzel das neue Glied addirt und die Summe mit diesem Gliede multipliciert, und subtrahiert das Product von dem Reste des Polynoms.

3. Dieses Verfahren wird fortgesetzt. Bleibt zuletzt kein Rest, so ist das gegebene Polynom ein vollständiges Quadrat und die erhaltene Quadratwurzel rational; bleibt aber ein Rest übrig, so ist die Wurzel irrational.

$$\text{z. B. } \sqrt{x^4 + 6x^3 - x^2 - 30x + 25} = x^2 + 3x - 5$$

$$\begin{array}{r} \phantom{+ 6x^3 - x^2} \\ \phantom{+ 6x^3 + 9x^2} \\ \phantom{- 10x^2 - 30x + 25} \\ \phantom{- 10x^2 - 30x + 25} \\ \phantom{+ \phantom{+} \phantom{-}} \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{l} : (2x^2 + 3x) \cdot 3x \\ : (2x^2 + 6x - 5) \cdot -5 \end{array}$$

§. 188. Aufgabe. Aus einer dekadischen ganzen Zahl, welche ein vollständiges Quadrat ist, die Quadratwurzel auszuziehen.

1. Man theile die Zahl von den Einern angefangen in Abtheilungen von je zwei Ziffern, wobei die höchste Abtheilung auch nur eine Ziffer enthalten kann, suche die größte Zahl, deren Quadrat in der höchsten Abtheilung enthalten ist, und schreibe sie als erste Ziffer der Wurzel an. Das Quadrat der ersten Wurzelziffer wird von der höchsten Abtheilung des Radicands subtrahiert.

2. Zu dem Reste setze man die folgende Abtheilung des Radicands herab, dividire die dadurch gebildete Zahl nach Weglassung ihrer letzten Ziffer durch das Doppelte der bereits gefundenen Wurzel und schreibe den Quotienten als neue Ziffer in die Wurzel und zugleich als Ergänzung zu dem Divisor. Den so ergänzten Divisor multipliciere man mit der neuen Wurzelziffer und subtrahiere das Product sogleich während des Multiplicierens von dem Dividende mit Zuziehung der früher weggelassenen Ziffer.

3. Dieses Verfahren setze man fort, bis alle Abtheilungen des gegebenen Radicands in Rechnung gezogen worden sind.

Die Richtigkeit dieses Verfahrens ergibt sich aus §. 186.

$$\begin{array}{r} \text{3. B.} \quad \sqrt{5943844} = 2438 \quad \sim \\ \quad 194 \quad : 44 \\ \quad 1838 \quad : 483 \\ \quad 38944 \quad : 4868 \\ \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

Zusätze. 1. Da  $\sqrt{\frac{A}{10^{2n}}} = \frac{\sqrt{A}}{10^n}$  ist, so folgt, dass man aus einem Decimalbruche die Quadratwurzel nach demselben Verfahren auszieht, wie aus einer ganzen Zahl; nur muss man den Decimalbruch vom Decimalpunkte aus nach rechts und links in Abtheilungen von je zwei Stellen theilen und in der Wurzel den Decimalspunkt setzen, bevor die erste Abtheilung von Decimalen in Rechnung gezogen wird.

$$\begin{array}{r} \text{3. B.} \quad \sqrt{152.2756} = 12.34 \\ \quad 52 \quad : 22 \\ \quad 827 \quad : 243 \\ \quad 9856 \quad : 2464 \\ \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

2. Um aus einem gemeinen Bruche die Quadratwurzel zu ziehen, zieht man dieselbe aus Zähler und Nenner.

$$\text{3. B.} \quad \sqrt{\frac{144}{529}} = \frac{\sqrt{144}}{\sqrt{529}} = \frac{12}{23}$$

§. 189. Aufgabe. Aus einer dekadischen ganzen Zahl, welche kein vollständiges Quadrat ist, die Quadratwurzel zu ziehen.

Ist die ganze Zahl  $a$  kein vollständiges Quadrat, so ist  $\sqrt{a}$  nach §. 160 irrational und läßt sich nur näherungsweise bestimmen. Man ziehe dabei aus  $a$  auf die in §. 188 angegebene Weise die Quadratwurzel, bis die letzte Abtheilung in Rechnung gezogen ist, setze dann nach der zuletzt erhaltenen Wurzelziffer den Decimalpunkt und rechne auf dieselbe Art weiter, indem man jedem Reste für die folgende Abtheilung zwei Nullen anhängt. Die Rechnung wird so lange fortgesetzt, bis man die gewünschte Anzahl von Decimalstellen erhalten hat.

**Beweis.** Multiplicirt man die ganze Zahl  $a$  mit  $10^{2m}$ , d. h. hängt man derselben  $m$  mal zwei Nullen an, und ist  $b$  die größte ganze Zahl, welche in  $\sqrt{a \cdot 10^{2m}}$  enthalten ist, also

$$b < \sqrt{a \cdot 10^{2m}} < b + 1, \text{ oder } b < 10^m \cdot \sqrt{a} < b + 1, \text{ so ist}$$

$$\frac{b}{10^m} < \sqrt{a} < \frac{b+1}{10^m}.$$

$\sqrt{a}$  liegt demnach zwischen den Brüchen  $\frac{b}{10^m}$  und  $\frac{b+1}{10^m}$ , deren Differenz  $\frac{1}{10^m}$  ist; folglich ist der Fehler, den man begeht, wenn  $\sqrt{a} = \frac{b}{10^m}$  gesetzt wird, kleiner als  $\frac{1}{10^m}$ , somit kleiner als eine Einheit der letzten berechneten Decimalstelle.

3. B.

$$\begin{array}{r} \sqrt{3} \overline{)50} = 18.708.. \\ 250 \quad : 28 \\ 2600 \quad : 367 \\ 310000 : 37408 \\ 10736 \end{array}$$

**Zusätze.** 1. Auf gleiche Weise wird auch beim Quadratwurzel-Ausziehen aus einem Decimalbruche, welcher kein vollständiges Quadrat ist, die Rechnung beliebig weit fortgesetzt, indem man zunächst in der letzten Abtheilung rechts, wenn sie nur eine Ziffer enthalten sollte, die fehlende durch eine Null ergänzt und dann dem übrig gebliebenen, sowie jedem folgenden Reste zwei Nullen anhängt.

Bei periodischen Decimalbrüchen treten selbstverständlich die entsprechenden Ziffern der Periode an die Stelle der anzuhängenden Nullen.

2. Um aus einem gemeinen Bruche, dessen Zähler und Nenner nicht Quadratzahlen sind, die Quadratwurzel auszuziehen, verwandelt man ihn entweder in einen solchen Bruch, dessen Nenner eine Quadratzahl ist, und zieht dann die Wurzel aus Zähler und Nenner; oder man verwandelt den gemeinen Bruch in einen Decimalbruch und zieht dann aus diesem die Quadratwurzel.

§. 190. Abgekürztes Verfahren beim Ausziehen der Quadratwurzel.

Hat man von der Quadratwurzel einer Zahl nach dem gewöhnlichen Verfahren die ersten  $m$  Ziffern gefunden, so darf

man, um noch  $m-1$  weitere richtige Wurzelziffern zu erhalten, nur den letzten Rest durch die doppelte bereits gefundene Wurzel dividieren.

In der Ausführung wird dabei die abgekürzte Division angewendet und im Divisor sogleich die letzte Ziffer weggelassen.

**Beweis.** Bezeichnet  $a$  den Radicand und  $b$  die bereits gefundenen ersten  $m$  Ziffern der Quadratwurzel, so kann man unbeschadet der Allgemeinheit die ersten  $m$  Abtheilungen in  $a$ , und daher auch die  $m$ zifferige Zahl  $b$  als Ganze annehmen, weil es für die Ziffernfolge der Wurzel gleichgiltig ist, nach welcher Abtheilung des Radicands man den Decimalpunkt setzt; dann werden die weiter folgenden Wurzelziffern Decimale vorstellen.

Setzt man nun  $\sqrt{a} = b + x$ , wo  $x$  den noch fehlenden Theil der Wurzel ausdrückt, so muß

$$(b + x)^2 = a, \text{ oder } b^2 + 2bx + x^2 = a, \text{ daher}$$

$$2bx = a - b^2 - x^2 \text{ und } x = \frac{a - b^2}{2b} - \frac{x^2}{2b}$$

sein. Wenn nun für  $x$  der Quotient  $\frac{a - b^2}{2b}$ , wo  $a - b^2$  den letzten bei der Wurzelausziehung gebliebenen Rest und  $2b$  die doppelte bereits gefundene Wurzel bedeutet, gesetzt wird, so ist der Fehler, den man begeht, gleich  $\frac{x^2}{2b}$ . Aber  $x < 1$  und  $b > 10^{m-1}$ , daher  $\frac{x^2}{2b}$  jedenfalls kleiner als  $\frac{1}{10^{m-1}}$ ; woraus folgt, daß der Quotient  $\frac{a - b^2}{2b}$  mindestens  $m-1$  weitere richtige Wurzelziffern gibt.

**Zusätze.** 1. Wenn aus einer ganzen Zahl oder einem vollständigen Decimalbruche die Quadratwurzel mit  $2m-1$  oder  $2m$  geltenden Ziffern zu bestimmen ist, so sucht man bezüglich nur die ersten  $m$  oder  $m+1$  Ziffern nach dem gewöhnlichen Verfahren der Quadratwurzel-Auszziehung, die folgenden aber nach der obigen Vorschrift durch die abgekürzte Division.

Hat man z. B.  $\sqrt{138}$  auf 5 Decimalstellen genau, also im ganzen mit 7 geltenden Ziffern zu bestimmen, so sucht man die ersten 4 Ziffern durch das Radicieren, die letzten 3 durch die abgekürzte Division. Die Rechnung steht:

$$\begin{array}{r} \sqrt{138} \quad = 11.74734.. \\ 38 \quad : 21 \\ 1700 \quad : 227 \\ 11100 \quad : 2344 \\ 1724 \quad : 2,348 \\ \quad \quad < 80 \\ \quad \quad 10 \\ \quad \quad 1 \end{array}$$

2. Dasselbe abgekürzte Verfahren findet insbesondere auch beim Ausziehen der Quadratwurzel aus einem unvollständigen Decimalbruche statt. Man findet durch dieses Verfahren, wenn der Radicand  $m$  geltende Abtheilungen hat, deren jede mit Ausnahme etwa der ersten links zwei Ziffern enthält, in der Wurzel im ungünstigsten Falle  $2m - 1$  verlässliche geltende Ziffern.

## 2. Cubus und Cubikwurzel.

§. 191. Aufgabe. Eine algebraische Summe zum Cubus zu erheben.

Man entwickle den Cubus nach folgendem Gesetze:

1. Das erste Glied des gegebenen Ausdruckes gibt seinen eigenen Cubus.

2. Jedes folgende Glied liefert drei Bestandtheile: das dreifache Quadrat der Summe aller vorangehenden Glieder multipliciert mit diesem Gliede, die dreifache Summe aller vorangehenden Glieder multipliciert mit seinem Quadrate, und seinen eigenen Cubus.

3. Die Summe aller so gebildeten Bestandtheile ist der verlangte Cubus.

Beweis. Zunächst ist

$$\begin{aligned}(a + b)^3 &= (a + b)^2 (a + b) = (a^2 + 2ab + b^2) (a + b) \\ &= a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3;\end{aligned}$$

d. h. der Cubus eines Binoms ist gleich der Summe aus dem Cubus des ersten Gliedes, dem dreifachen Quadrate des ersten Gliedes multipliciert mit dem zweiten Gliede, dem dreifachen ersten Gliede multipliciert mit dem Quadrate des zweiten Gliedes, und dem Cubus des zweiten Gliedes.

Der weitere Gang des Beweises ist ähnlich wie im §. 185.

§. 192. Aufgabe. Eine dekadische Zahl zum Cubus zu erheben.

1. Man erhebe die erste Wurzelziffer zum Cubus.

2. Aus jeder folgenden Ziffer bilde man drei Bestandtheile: das Product aus dem dreifachen Quadrate der ihr vorangehenden Zahl mit dieser Ziffer, das Product aus der dreifachen vorangehenden Zahl und dem Quadrate dieser Ziffer, und ihren Cubus.

3. Diese Bestandtheile werden so unter einander geschrieben, daß jeder folgende um eine Stelle weiter rechts erscheint, und dann, so wie sie stehen, addiert.

Die Richtigkeit dieses Verfahrens folgt aus §. 191.

Um z. B. den Cubus von  $4213 = 4000 + 200 + 10 + 3$  zu bestimmen, hat man, wenn die Nullen mit Beachtung des Stellenwertes weggelassen werden, folgende Rechnung:

4213<sup>3</sup>

	$4^3$	.....	64			
3.	$4^2 \cdot 2$	.....	96			
3.	$4 \cdot 2^2$	.....	48			
	$2^3$	.....	8			
3.	$42^2 \cdot 1$	.....	5292			
3.	$42 \cdot 1^2$	.....	126			
	$1^3$	.....	1			
3.	$421^2 \cdot 3$	.....	1595169			
3.	$421 \cdot 3^2$	.....	11367			
	$3^3$	.....				27
			74	778	091	597

**Zusätze.** 1. Der Cubus einer dekadischen ganzen Zahl hat entweder dreimal so viele Ziffern als diese Zahl, oder um zwei Ziffern oder um eine weniger.

**Beweis** analog wie zu §. 186, Zusatz 2.

2. Da  $\left(\frac{a}{10^n}\right)^3 = \frac{a^3}{10^{3n}}$  ist, so folgt, dass man bei Decimalbrüchen vom Cubus des Zählers 3mal so viele Decimalen abschneiden müsse, als deren der gegebene Decimalbruch hat.

3. Erhebt man einen unvollständigen Decimalbruch zum Cubus, so ist (nach §. 108) die Fehlergrenze des Cubus gleich dem dreifachen Producte aus dem Decimalbruche und dessen Fehlergrenze.

**§. 193. Aufgabe.** Aus einer algebraischen Summe die Cubikwurzel zu ziehen.

1. Man ziehe die Cubikwurzel aus dem ersten Gliede des geordneten Radicands; diese ist das erste Glied der Wurzel. Der Cubus des ersten Wurzelgliedes wird von dem Radicand subtrahiert.

2. Man dividire das erste Glied des Restes durch das dreifache Quadrat der bereits gefundenen Wurzel; der Quotient ist das folgende Glied der Wurzel. Man bilde dann die Bestandtheile, welche dieses neue Glied der Wurzel im Cubus hervorbringt, nämlich das dreifache Quadrat des bereits gefundenen Wurzeltheiles multipliciert mit dem neuen Gliede, das Dreifache des vorhergehenden Wurzeltheiles multipliciert mit dem Quadrate des neuen Gliedes und den Cubus dieses Gliedes, und subtrahiere die Summe dieser drei Bestandtheile von dem früheren Reste des Radicands.

3. Dieses Verfahren wird fortgesetzt. Bleibt zuletzt kein Rest übrig, so ist die Cubikwurzel rational; bleibt ein Rest, so ist sie irrational.

Die Ableitung dieses Verfahrens aus §. 191 geschieht auf ähnliche Weise, wie im §. 187 das Verfahren der Quadratwurzel-Auszuehung aus Polynomen aus §. 185 hergeleitet wurde.

Beispiel.

$$\sqrt[3]{y^6 - 6y^5 + 21y^4 - 44y^3 + 63y^2 - 54y + 27} = y^2 - 2y + 3$$

$$\begin{array}{r}
-6y^5 + 21y^4 - 44y^3 \quad : \quad 3y^4 \\
-6y^5 + 12y^4 - 8y^3 \\
\hline
+ 9y^4 - 36y^3 + 63y^2 - 54y + 27 : 3y^4 - 12y^3 + 12y^2 \\
+ 9y^4 - 36y^3 + 36y^2 \\
\hline
+ 27y^2 - 54y + 27 \\
\hline
0
\end{array}$$

§. 194. Aufgabe. Aus einer dekadischen ganzen Zahl, welche ein vollständiger Cubus ist, die Cubikwurzel auszuziehen.

1. Man theile die Zahl von den Einern angefangen gegen die Linke in Abtheilungen von je drei Ziffern, wobei die höchste Abtheilung auch nur zwei oder eine Ziffer haben kann, suche die größte Zahl, deren Cubus in der höchsten Abtheilung vorkommt, und schreibe sie als erste Ziffer in die Cubikwurzel. Den Cubus der ersten Wurzelziffer subtrahiere man von der ersten Abtheilung des Radicands.

2. Zu dem Reste setze man die nachfolgende Abtheilung herab, dividiere dann die dadurch entstandene Zahl mit Weglassung der letzten zwei Ziffern durch das dreifache Quadrat der bereits gefundenen Wurzel und schreibe den Quotienten als neue Ziffer in die Wurzel. Dann bilde man die Bestandtheile, welche diese neue Wurzelziffer im Cubus hervorbringt, nämlich das dreifache Quadrat der ihr vorangehenden Zahl multipliciert mit der neuen Ziffer, die dreifache vorangehende Zahl multipliciert mit dem Quadrate dieser neuen Ziffer und ihren Cubus; schreibe den ersten Bestandtheil unter den Dividend, jeden folgenden aber um eine Stelle weiter gegen die Rechte und subtrahiere die Summe der so angefügten Bestandtheile von dem Dividende mit Zuziehung der früher weggelassenen zwei Ziffern.

3. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis man alle Abtheilungen des Radicands in Rechnung gezogen hat.

Die Richtigkeit des Verfahrens beruht auf §. 192.

$$\begin{array}{r}
3. \text{ B.} \quad \sqrt[3]{789\ 53\ 589} = 429 \\
\quad \quad \quad 64 \\
\hline
\quad \quad \quad 149\ 53 \quad : \quad 48 \dots 3. 4^2 \\
3. 4^2 \cdot 2 \dots \quad 96 \dots \\
3. 4 \cdot 2^2 \dots \quad 48. \\
\quad \quad \quad 2^3 \dots \quad 8 \\
\hline
\quad \quad \quad 48\ 65\ 5,89 : 5292 \dots 3. 42^2 \\
3. 42^2 \cdot 9 \dots \quad 47\ 62\ 8 \dots \\
3. 42 \cdot 9^2 \dots \quad 1\ 02\ 0\ 6. \\
\quad \quad \quad 9^3 \dots \quad 7\ 29 \\
\hline
\quad \quad \quad 0
\end{array}$$

**Zusatz.** Wie man beim Ausziehen der Cubikwurzel aus einem Decimal- oder einem gemeinen Bruche zu verfahren habe, erzieht man leicht aus dem für das Quadratwurzel-Ausziehen in §. 188, Zusatz 1 und 2 angegebenen Verfahren.

**§. 195. Aufgabe.** Aus einer dekadischen ganzen Zahl, welche kein vollständiger Cubus ist, die Cubikwurzel zu ziehen.

Ist der Radicand keine dritte Potenz einer ganzen Zahl, so ist die Cubikwurzel irrational und kann nur näherungsweise berechnet werden. Das dabei anzuwendende Verfahren entspricht demjenigen, das wir in §. 189 für die Quadratwurzel-Ausziehung aus einer dekadischen ganzen Zahl, welche kein Quadrat ist, angegeben haben; nur müssen hier den einzelnen Resten für jede Abtheilung drei Nullen angehängt werden.

**Zusatz.** Auch bezüglich der Vorschrift für das Ausziehen der Cubikwurzel aus Decimal- oder gemeinen Brüchen, welche nicht vollständige Cubikzahlen sind, verweisen wir auf die analogen Bemerkungen in Zus. 1 und 2 zu §. 189.

**§. 196.** Abgekürztes Verfahren beim Ausziehen der Cubikwurzel.

Wenn man von der Cubikwurzel einer Zahl nach dem gewöhnlichen Verfahren die ersten  $m$  Ziffern berechnet hat, so erhält man noch  $m - 1$  weitere verlässliche Ziffern, indem man den letzten Rest durch das dreifache Quadrat der bereits gefundenen Wurzel dividirt.

**Beweis.** Es sei  $a$  der Radicand und  $b$  bezeichne die bereits berechneten ersten  $m$  Ziffern der Cubikwurzel, wobei  $b$  ohne Änderung der noch fehlenden Wurzelziffern als eine ganze Zahl vorausgesetzt werden darf.

Setzt man  $\sqrt[3]{a} = b + x$ , wo  $x$  die weiter folgenden Ziffern der Wurzel bedeutet, so ist

$$(b + x)^3 = a, \text{ oder } b^3 + 3b^2x + 3bx^2 + x^3 = a, \text{ daher}$$

$$3b^2x = a - b^3 - 3bx^2 - x^3, \text{ und } x = \frac{a - b^3}{3b^2} - \frac{x^2}{b} - \frac{x^3}{3b^2},$$

wo  $a - b^3$  der letzte bei der Wurzelausziehung gebliebene Rest, und  $3b^2$  das dreifache Quadrat der bisher gefundenen Wurzel ist.

Der Fehler, welcher begangen wird, wenn man für  $x$  den Quotienten  $\frac{a - b^3}{3b^2}$  setzt, ist demnach  $\frac{x^2}{b} + \frac{x^3}{3b^2}$ , wo  $x < 1$  und  $b > 10^{m-1}$  ist, so daß bei der Beurtheilung des Fehlers das Glied  $\frac{x^3}{3b^2}$  als gegen  $\frac{x^2}{b}$  verschwindend gar nicht in Betracht kommt;  $\frac{x^2}{b}$  ist aber kleiner als  $\frac{1}{10^{m-1}}$ , also wird  $x$  durch den Quotienten  $\frac{a - b^3}{3b^2}$  auf  $m - 1$  Ziffern genau bestimmt.

Ist z. B.  $\sqrt[3]{0.083066534}$  auf 5 Decimalen genau zu bestimmen, so sucht man die ersten drei Ziffern nach dem gewöhnlichen Verfahren der Cubikwurzel-Auszichung, die zwei folgenden durch die abgekürzte Division.

**Zusatz.** Durch das voranstehende Verfahren erhält man in der Cubikwurzel eines unvollständigen Decimalbruches  $2m - 1$  verlässliche Ziffern, wenn der Radicand  $m$  geltende Abtheilungen zu drei Ziffern hat.

## VI. Logarithmen.

### 1. Von den Logarithmen überhaupt.

§. 197. Eine Zahl  $a$  durch eine andere Zahl  $b$  logarithmieren heißt, den Potenzexponenten suchen, mit welchem  $b$  als Basis potenziert werden muß, um  $a$  als Potenz zu geben. Die Zahl  $b$  ist die Grundzahl oder Basis, die als Potenz gegebene Zahl  $a$  heißt der Logarithmand oder geradezu die Zahl (Numerus), und der gesuchte Potenzexponent der Logarithmus. Ist  $a = b^n$ , so ist  $n$  der Logarithmus der Zahl  $a$  für die Basis  $b$ ; man hat dafür die Bezeichnung:

$$\log a_{(b)} = n.$$

Werden die Logarithmen durchgängig auf eine bestimmte Basis, z. B. 10, bezogen, so schreibt man statt des letzten Ausdruckes kürzer  $\log a = n$ , wobei die Basis 10 als bekannt vorausgesetzt wird.

Dem Potenzieren entsprechen zwei inverse Operationen, das Radicieren und das Logarithmieren, je nachdem die Basis oder der Exponent gesucht wird, da diese beiden nicht commutiert werden können.

§. 198. **Folgesätze.** 1. Potenziert man die Basis mit dem Logarithmus, so erhält man den Logarithmand.

Ist  $\log a_{(b)} = n$ , so ist  $b^n = a$ .

2. Der Logarithmus der Basis in Bezug auf diese Basis selbst ist gleich 1.

$$\log b_{(b)} = 1; \text{ denn } b^1 = b.$$

3. Der Logarithmus von 1 ist für jede Basis gleich 0.

$$\log 1_{(b)} = 0; \text{ denn } b^0 = 1.$$

4. Für eine positive Basis hat eine negative Zahl keinen reellen Logarithmus.

Denn sowohl  $b^{+n}$  als  $b^{-n} = \frac{1}{b^n}$  gibt ein positives Resultat.

§. 199. Der Inbegriff der Logarithmen der in natürlicher Ordnung aufeinander folgenden Zahlen für eine bestimmte Basis bildet ein logarithmisches System.

Da durch das Potenzieren einer reellen negativen Zahl nicht alle möglichen positiven Zahlen erzeugt werden können, jede Potenz von 1 aber wieder 1 ist, so kann nur eine reelle positive und von 1 verschiedene Zahl als Basis eines Logarithmensystems angenommen werden.

Im Gebrauche sind nur zwei logarithmische Systeme, nämlich das gemeine oder Brigg'sche für die Basis 10, und das natürliche oder Neper'sche für die irrationale Basis  $2.718281828\dots$ , welche man aus der Summierung der unendlichen Reihe

$$1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.2.3} + \frac{1}{1.2.3.4} + \dots$$

erhält und gewöhnlich mit dem Buchstaben  $e$  bezeichnet.

### Allgemeine Sätze über die Logarithmen.

§. 200. 1. Der Logarithmus eines Productes ist gleich der Summe aus den Logarithmen der Factoren.

Es sei für die Basis  $b$

$$\log M = m, \log N = n, \log P = p, \text{ also}$$

$$M = b^m, N = b^n, P = b^p; \text{ dann ist}$$

$$MNP = b^{m+n+p}; \text{ d. i.}$$

$$\log MNP = m + n + p, \text{ oder}$$

$$\log MNP = \log M + \log N + \log P.$$

3. B.  $\log 6 = \log 2 + \log 3.$

$$\log 30 = \log 2 + \log 3 + \log 5.$$

Sind für eine Basis die Logarithmen aller Primzahlen bekannt, so lassen sich aus denselben durch bloße Addition auch die Logarithmen aller zusammengesetzten Zahlen ableiten.

2. Der Logarithmus eines Bruches (Quotienten) ist gleich dem Logarithmus des Zählers weniger dem Logarithmus des Nenners.

Es sei für die Basis  $b$

$$\log M = m, \log N = n; \text{ also } M = b^m, N = b^n;$$

dann ist

$$\frac{M}{N} = b^{m-n}, \text{ folglich } \log \frac{M}{N} = m - n = \log M - \log N.$$

3. B.  $\log \frac{29}{31} = \log 29 - \log 31.$

$$\log 35 \cdot 29 = \log \frac{3529}{100} = \log 3529 - \log 100.$$

3. Der Logarithmus einer Potenz ist gleich dem Logarithmus der Basis multipliciert mit dem Potenzexponenten.

Es sei für die Basis  $b$ ,  $\log M = m$ , also  $M = b^m$ ; dann ist  $M^p = b^{mp}$ , und daher

$$\log M^p = mp = p \log M.$$

3. B.  $\log 8^3 = 3 \log 8.$

$$\log (2a)^3 = 3 \log 2a = 3 (\log 2 + \log a).$$

$$\log \frac{x^2 y}{(mn)^4} = 2 \log x + \log y - 4 (\log m + \log n).$$

4. Der Logarithmus einer Wurzel ist gleich dem Logarithmus des Radicands dividirt durch den Wurzelexponenten.

Es sei für die Basis  $b$ ,  $\log M = m$ , also  $M = b^m$ ; dann ist

$$\sqrt[p]{M} = \sqrt[p]{b^m} = b^{\frac{m}{p}}, \text{ daher}$$

$$\log \sqrt[p]{M} = \frac{m}{p} = \frac{\log M}{p}.$$

3. B.  $\log \sqrt[3]{75} = \frac{\log 75}{3}.$

$$\log \sqrt[5]{\frac{a}{b}} = \frac{\log \frac{a}{b}}{5} = \frac{\log a - \log b}{5}$$

$$\log \sqrt[3]{a x^2} = \log a + \frac{2}{3} \log x - \log y.$$

§. 201. 1. Für dieselbe Basis gehören zu gleichen Zahlen auch gleiche Logarithmen; und umgekehrt: zu gleichen Logarithmen gehören auch gleiche Zahlen.

Ist  $b$  die Basis und  $b^m = M$ ,  $b^n = N$ , so muß, wenn  $M = N$  ist, auch  $m = n$ , d. i.  $\log M = \log N$  sein. (Folgt indirect aus §. 156, 3.)

Ist umgekehrt  $\log M = \log N$ , also  $m = n$ , so muß nach §. 156, 1 auch  $b^m = b^n$ , d. i.  $M = N$  sein.

2. Für eine Basis, welche größer als 1 ist, gehört zu der größeren Zahl auch ein größerer Logarithmus; und umgekehrt: zu dem größeren Logarithmus gehört auch eine größere Zahl.

Ist  $b^m = M$ ,  $b^n = N$  und  $M > N$ , so muß für  $b > 1$  auch  $m > n$ , also  $\log M > \log N$  sein. (Folgt indirect aus 1. und aus §. 156, 3.)

Ist umgekehrt  $\log M > \log N$ , so folgt eben so aus §. 156, 3.  $M > N$ .

3. Dieselbe Zahl hat für verschiedene Grundzahlen auch verschiedene Logarithmen.

Ist  $\log N_{(B)} = p$  und  $\log N_{(b)} = q$ , wo  $B$  und  $b$  als verschiedene Zahlen vorausgesetzt werden, so ist  $N = B^p$  und  $N = b^q$ , daher  $B^p = b^q$ . Wäre nun  $p = q$ , so würde aus §. 156, 2, indirect folgen, daß auch  $B = b$  sei, was jedoch der Voraussetzung widerspricht; die Logarithmen  $p$  und  $q$  müssen daher von einander verschieden sein.

4. Der Logarithmus einer Zahl für irgend eine Basis ist gleich dem Logarithmus derselben Zahl für eine zweite Basis, multipliciert mit dem reciproken Werte des Logarithmus der ersteren in Bezug auf die zweite.

Ist  $\log N_{(B)} = p$ , also  $B^p = N$ , so erhält man, wenn man in der zweiten Gleichung beiderseits die Logarithmen in Bezug auf eine andere Basis  $b$  nimmt,  $p \log B_{(b)} = \log N_{(b)}$ , oder  $\log N_{(B)} \cdot \log B_{(b)} = \log N_{(b)}$ ; folglich

$$\log N_{(B)} = \log N_{(b)} \cdot \frac{1}{\log B_{(b)}}.$$

Sind die Logarithmen der Zahlen für die Basis  $b$  bekannt, so kann man aus denselben auch die Logarithmen für jede andere Basis  $B$  bestimmen, wenn man die ersteren mit dem beständigen Factor  $\frac{1}{\log B_{(b)}}$ , d. i. mit dem reciproken Werte des Logarithmus der neuen Basis in Bezug auf die frühere Basis multipliciert. Die Zahl, mit welcher die Logarithmen eines Systems multipliciert werden müssen, um die Logarithmen eines andern Systems zu erhalten, heißt der Modulus des neuen Systems in Bezug auf das ursprüngliche. Der Modulus des Brigg'schen Systems in Bezug auf das natürliche ist  $\frac{1}{\log 10_{(e)}} = 0.4342945\dots$

## 2. Von den Brigg'schen Logarithmen.

§. 202. Unter dem Brigg'schen Logarithmus einer Zahl versteht man den Potenzexponenten, mit dem die Basis 10 potenziert werden muß, um jene Zahl als Potenz zu geben.

1. Die Brigg'schen Logarithmen aller Zahlen, welche größer als 1 sind, sind positiv; die Brigg'schen Logarithmen aller positiven Zahlen, welche kleiner als 1 sind, sind negativ.

**Beweis.** Eine Zahl, welche größer als 1 ist, ist entweder eine dekadische Einheit  $10^n$ , wo  $n$  eine positive ganze Zahl bezeichnet, oder sie liegt zwischen zwei dekadischen Einheiten  $10^{n-1}$  und  $10^n$ ; ihr Logarithmus ist daher bezüglich  $n$  oder zwischen  $n - 1$  und  $n$  eingeschlossen, also in jedem Falle positiv.

Eine positive Zahl, welche kleiner als 1 ist, ist entweder eine dekadische Einheit  $\frac{1}{10^n} = 10^{-n}$ , oder sie liegt zwischen zwei dekadischen Einheiten  $10^{-n+1}$  und  $10^{-n}$ ; ihr Logarithmus ist daher bezüglich  $-n$  oder zwischen  $-n + 1$  und  $-n$  eingeschlossen, also in jedem Falle negativ.

2. Der Brigg'sche Logarithmus einer ganzen oder gebrochenen Zahl, welche eine dekadische Einheit ist, ist eine ganze Zahl.

Folgt aus dem Beweise zu 1.

3. Der Brigg'sche Logarithmus einer ganzen oder gebrochenen Zahl, welche keine dekadische Einheit ist, ist eine irrationale Zahl.

**Beweis.** a) Ist  $N$  keine dekadische Einheit, sondern zwischen zwei auf einander folgenden dekadischen Einheiten  $10^n$  und  $10^{n+1}$  enthalten, wo  $n$  eine positive oder negative ganze Zahl oder auch Null bedeutet, so liegt der Logarithmus von  $N$  zwischen  $n$  und  $n + 1$ , und ist somit keine ganze Zahl.

Er kann aber auch kein Bruch sein. Denn wäre  $\log N = \frac{\pm p}{q}$ , wo  $p$  und  $q$

relative Primzahlen seien, so müsste  $10^{\frac{\pm p}{q}} = N$ , oder  $10^{\pm p} = N^q$  sein. Damit jedoch diese Gleichung möglich sei, müssten  $10^{\pm p}$  und  $N^q$  aus denselben Primfactoren bestehen; es dürfte also  $N$  keine anderen Factoren als 2 und 5, bezüglich  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{1}{5}$ , und müsste auch beide in gleicher Anzahl enthalten; dann aber wäre  $N$  selbst eine dekadische Einheit, was der Voraussetzung widerspricht. Es kann demnach  $\log N$ , wenn  $N$  keine dekadische Einheit ist, weder durch eine ganze Zahl noch durch einen Bruch genau dargestellt werden.

b) Der Logarithmus von  $N$  lässt sich jedoch durch Angabe von Näherungswerten, zwischen denen er liegt, mit jedem beliebigen Grade von Genauigkeit annäherungsweise bestimmen. Da  $N$  zwischen  $10^n$  und  $10^{n+1}$  enthalten ist, so liegt  $\log N$  zunächst zwischen den Näherungswerten  $n$  und  $n + 1$ ; aus diesen aber lassen sich andere immer genauere Näherungswerte ableiten.

Liegt nämlich  $N$  allgemein zwischen zwei Zahlen  $u$  und  $v$ , daher (nach §. 201, 2)  $\log N$  zwischen  $\log u$  und  $\log v$ , welche letztere bekannt seien, so ist nach §. 200, 4 auch der Logarithmus von  $\sqrt{uv}$ , d. i. von der mittleren geometrischen Proportionale zwischen  $u$  und  $v$  bekannt. Weil nun  $\sqrt{uv}$  zwischen  $u$  und  $v$  liegt, so muss  $N$  entweder zwischen  $\sqrt{uv}$  und  $u$ , oder zwischen  $\sqrt{uv}$  und  $v$  fallen, daher auch  $\log N$  entweder zwischen  $\log \sqrt{uv}$  und  $\log u$ , oder zwischen  $\log \sqrt{uv}$  und  $\log v$  liegen. In jedem Falle ist also  $\log N$  zwischen zwei engere Näherungswerte eingeschlossen als früher, und durch eine wiederholte Anwendung dieser Schlussweise können die Werte, zwischen welchen  $\log N$  liegt, so nahe aneinander gerückt werden als man will.

**§. 203. Aufgabe.** Von einer gegebenen Zahl den Brigg'schen Logarithmus zu berechnen.

1. Eine Auflösung dieser Aufgabe beruht auf dem in §. 202, 3 unter b) gegebenen Beweise, nach welchem der Logarithmus einer Zahl zwischen immer engere Näherungswerte eingeschlossen und dadurch so genau, als man will, berechnet werden kann.

Es sei z. B. der Logarithmus von 13 zu berechnen.

13 liegt zwischen 10 und 100,

$$\log 13 \quad " \quad " \quad \log 10 = 1 \text{ und } \log 100 = 2;$$

Differenz der Näherungswerte:  $2 - 1 = 1$ .

$$\sqrt{10 \cdot 100} = 31.6227766 = a, \quad \log a = \frac{1}{2} (\log 10 + \log 100) = 1.5;$$

13 liegt zwischen 10 und a,

$$\log 13 \quad " \quad " \quad \log 10 = 1 \text{ und } \log a = 1.5;$$

Differenz der Näherungswerte:  $1.5 - 1 = 0.5$ .

$$\sqrt{10 a} = 17.7827942 = b, \quad \log b = \frac{1}{2} (\log 10 + \log a) = 1.25;$$

13 liegt zwischen 10 und b,

$$\log 13 \quad " \quad " \quad \log 10 = 1 \text{ und } \log b = 1.25;$$

Differenz der Näherungswerte:  $1.25 - 1 = 0.25$ .

Man sieht, daß die Näherungswerte des Logarithmus von 13 immer näher an einander rücken. Durch fortgesetztes Verfahren findet man:

$$\sqrt{10 b} = 13.3352144 = c, \quad \log c = \frac{1}{2} (\log 10 + \log b) = 1.125;$$

$$\sqrt{10 c} = 11.5478201 = d, \quad \log d = \frac{1}{2} (\log 10 + \log c) = 1.0625;$$

$$\sqrt{c d} = 12.4093780 = e, \quad \log e = \frac{1}{2} (\log c + \log d) = 1.09375;$$

$$\sqrt{c e} = 12.8639696 = f, \quad \log f = \frac{1}{2} (\log c + \log e) = 1.109375;$$

$$\sqrt{c f} = 13.0974727 = g, \quad \log g = \frac{1}{2} (\log c + \log f) = 1.117188;$$

$$\sqrt{f g} = 12.9801960 = h, \quad \log h = \frac{1}{2} (\log f + \log g) = 1.113281;$$

$$\sqrt{g h} = 13.0387024 = i, \quad \log i = \frac{1}{2} (\log g + \log h) = 1.115234;$$

$$\sqrt{h i} = 13.0094163 = k, \quad \log k = \frac{1}{2} (\log h + \log i) = 1.114258;$$

$$\sqrt{h k} = 12.9947978 = l, \quad \log l = \frac{1}{2} (\log h + \log k) = 1.113769;$$

$$\sqrt{k l} = 13.0021049 = m, \quad \log m = \frac{1}{2} (\log k + \log l) = 1.114014;$$

$$\sqrt{l m} = 12.9981507 = n, \quad \log n = \frac{1}{2} (\log l + \log m) = 1.113892;$$

$$\sqrt{m n} = 13.0002776 = o, \quad \log o = \frac{1}{2} (\log m + \log n) = 1.113953;$$

$$\sqrt{n o} = 12.9993640 = p, \quad \log p = \frac{1}{2} (\log n + \log o) = 1.113922;$$

$$\sqrt{o p} = 12.9998207 = q, \quad \log q = \frac{1}{2} (\log o + \log p) = 1.113937;$$

$$\sqrt{o q} = 13.0000491 = r, \quad \log r = \frac{1}{2} (\log o + \log q) = 1.113945;$$

$$\sqrt{q r} = 12.9999348 = s, \quad \log s = \frac{1}{2} (\log q + \log r) = 1.113941;$$

u. f. w.

Da nun 13 zwischen s und r, und folglich auch log 13 zwischen log s und log r liegt, diese beiden Logarithmen aber in den 5 ersten Decimalstellen übereinstimmen, so ist auf 5 Decimalen genau  $\log 13 = 1.11394$ .

*Caractéristique Mante*

Auf diesem mühsamen Wege berechnete Heinrich Brigg die Logarithmen der Primzahlen von 1 bis 20000, und von 90000 bis 100000 mit 14 Decimalstellen, und später Adrian Blacq die noch fehlenden der Primzahlen von 20000 bis 90000.

2. Einfacher und kürzer ist der nachstehende Rechnungsvorgang:  
Man berechnet durch wiederholtes Ausziehen der Quadratwurzel

$$10^{0.5} = \sqrt{10} = 3.162278,$$

$$10^{0.25} = \sqrt[4]{10} = \sqrt{\sqrt{10}} = \sqrt{3.162278} = 1.778279,$$

$$10^{0.125} = \sqrt[8]{10} = \sqrt[4]{\sqrt{10}} = \sqrt{1.778279} = 1.333521,$$

$$10^{0.0625} = \sqrt[16]{10} = \sqrt[8]{\sqrt{10}} = \sqrt{1.333521} = 1.154782,$$

u. s. w., und stellt die Resultate, wie folgt, in eine Tabelle zusammen:

$10^{0.5}$	$= 3.162278$	$10^{0.000488}$	$= 1.001125$
$10^{0.25}$	$= 1.778279$	$10^{0.000244}$	$= 1.000562$
$10^{0.125}$	$= 1.333521$	$10^{0.000122}$	$= 1.000281$
$10^{0.0625}$	$= 1.154782$	$10^{0.000061}$	$= 1.000141$
$10^{0.03125}$	$= 1.074608$	$10^{0.000031}$	$= 1.000070$
$10^{0.015625}$	$= 1.036633$	$10^{0.000015}$	$= 1.000035$
$10^{0.007813}$	$= 1.018152$	$10^{0.000008}$	$= 1.000018$
$10^{0.003906}$	$= 1.009035$	$10^{0.000004}$	$= 1.000009$
$10^{0.001953}$	$= 1.004507$	$10^{0.000002}$	$= 1.000004$
$10^{0.000976}$	$= 1.002251$	$10^{0.000001}$	$= 1.000002$

Mit Hilfe dieser Tabelle kann nun der Logarithmus jeder Zahl durch bloße Divisionen und eine Addition berechnet werden.

Ist z. B. der Logarithmus von 13 zu bestimmen, so dividiere man 13 durch die höchste darin enthaltene ganze Potenz von 10;

$$13 : 10 = 1.3.$$

Den Quotienten dividiere man durch die nächstniedrigere, in der Tabelle enthaltene Potenz, den neuen Quotienten wieder durch die nächstniedrigere Potenz, u. s. w. Man erhält

$$\begin{aligned} 1.3 : 10^{0.0625} &= 1.3 : 1.154782 = 1.125754, \\ 1.125754 : 10^{0.03125} &= 1.125754 : 1.074608 = 1.047595, \\ 1.047595 : 10^{0.015625} &= 1.047595 : 1.036633 = 1.010575, \\ 1.010575 : 10^{0.007813} &= 1.010575 : 1.009035 = 1.001526, \\ 1.001526 : 10^{0.003906} &= 1.001526 : 1.001125 = 1.000400, \\ 1.000400 : 10^{0.001953} &= 1.000400 : 1.000281 = 1.000119, \\ 1.000119 : 10^{0.000976} &= 1.000119 : 1.000070 = 1.000049, \\ 1.000049 : 10^{0.000488} &= 1.000049 : 1.000035 = 1.000014, \\ 1.000014 : 10^{0.000244} &= 1.000014 : 1.000009 = 1.000005, \\ 1.000005 : 10^{0.000122} &= 1.000005 : 1.000004 = 1.000001. \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich

$$13 = 10^{\cdot 0} \cdot 10^{0\cdot 0625} \cdot 10^{0\cdot 03125} \cdot 10^{0\cdot 015625} \cdot 10^{0\cdot 003906} \cdot 10^{0\cdot 000488} \\ \cdot 10^{0\cdot 000122} \cdot 10^{0\cdot 000031} \cdot 10^{0\cdot 000015} \cdot 10^{0\cdot 000004} \cdot 10^{0\cdot 000002},$$

und durch Addition der Potenzexponenten von 10

$$13 = 10^{1\cdot 113043},$$

daher ist auf 5 Decimalen genau  $\log 13 = 1\cdot 11304$ .

**Zusatz.** Noch kürzere Methoden zur Berechnung der Logarithmen bietet die höhere Analysis.

§. 204. Da im Brigg'schen Systeme mit Ausnahme der dekadischen Einheiten alle übrigen rationalen Zahlen irrationale Logarithmen haben und diese annäherungsweise durch Decimalbrüche dargestellt werden, so besteht ein Brigg'scher Logarithmus im allgemeinen aus Ganzen mit angehängten Decimalziffern. Man nennt die im Logarithmus enthaltenen Ganzen die Charakteristik (Kennziffer) des Logarithmus, die angehängten Decimalen die Mantisse desselben.

Für positive Zahlen, welche kleiner als 1 sind, ist der Logarithmus, also dessen Charakteristik und Mantisse negativ. Negative Mantissen pflegt man übrigens in der Rechnung zu beseitigen; man führt statt derselben positive Mantissen mit einer negativen Charakteristik ein, indem man den negativen Logarithmus von einer Zahl subtrahiert, die um 1 größer ist als die Charakteristik, wodurch eine positive Mantisse zum Vorschein kommt, und dann diese um 1 größere Zahl als negative Charakteristik hinter die Mantisse setzt.

$$\text{z. B.} \quad - 2\cdot 34\ 467 = 3 - 2\cdot 34\ 467 - 3 \\ = \quad 0\cdot 65\ 533 - 3.$$

§. 205. Die Charakteristik des Brigg'schen Logarithmus einer dekadischen Zahl ist gleich dem Rangexponenten der höchsten Ziffer dieser Zahl.

Es sei  $n$  der Rangexponent der höchsten Ziffer der Zahl  $a$ , wobei  $n$  eine ganze positive oder negative Zahl oder auch die Null bezeichnen kann; dann ist

$$a \geq 10^n \text{ und } a < 10^{n+1}, \text{ daher} \\ \log a \geq n \text{ und } \log a < n + 1.$$

Es ist also  $\log a = n + \alpha$ , wo  $\alpha$  positiv und  $< 1$  oder auch Null ist; folglich ist  $n$  die Charakteristik des Logarithmus von  $a$ .

**Folgesätze.** a) Die Charakteristik des Logarithmus einer Zahl, welche Ganze enthält, ist positiv und um 1 kleiner als die Anzahl der Stellen, welche die Ganzen einnehmen (§. 67, Folges. 1).

b) Die Charakteristik des Logarithmus eines echten Decimalbruches ist negativ und absolut genommen gleich der Anzahl aller Nullen, welche den geltenden Decimalziffern vorangehen, die Null vor dem Decimalpunkte mitgezählt (§. 176, 1).

§. 206. Wenn man irgend eine Zahl mit einer Potenz von 10 multipliciert oder durch eine Potenz von 10 dividirt, so wird dadurch in ihrem Brigg'schen Logarithmus nur die Charakteristik geändert, während die Mantisse dieselbe bleibt.

$$\text{Es ist } \log(a \cdot 10^m) = \log a + \log 10^m = \log a + m,$$

$$\log \frac{a}{10^m} = \log a - \log 10^m = \log a - m.$$

Es wird also der Logarithmus von  $a$  um die ganze Zahl  $m$  im ersten Falle vermehrt, im zweiten vermindert, d. h. er erhält eine andere Charakteristik, während die Mantisse ungeändert bleibt.

So ist z. B.  $\log 7124 = 3.85272$ ; daher

$$\log 712400 = \log 7124 + \log 100 = 3.85272 + 2 = 5.85272;$$

$$\log 71.24 = \log 7124 - \log 100 = 3.85272 - 2 = 1.85272.$$

**Folgesatz.** Die Mantisse eines Logarithmus hängt bloß von der Ziffernfolge der Zahl ohne Rücksicht auf deren Rang ab.

### Logarithmentafeln.

§. 207. Die Logarithmen aller Zahlen von 1 bis 10000 oder von 1 bis 100000, und zwar erstere auf 5 oder 6, letztere auf 7 Decimalen berechnet, hat man in besonderen Tafeln, welche Logarithmentafeln heißen, zusammengestellt. Diese enthalten nur die Mantissen der Logarithmen, da die Charakteristik in jedem Falle nach §. 205 bestimmt werden kann.

Mit Hilfe solcher Tafeln findet man durch ein ganz einfaches Verfahren, das in den denselben vorausgeschickten Anleitungen näher angegeben ist, zu jeder Zahl den entsprechenden Logarithmus, und umgekehrt zu jedem gegebenen Logarithmus die zugehörige Zahl\*).

§. 208. Rechnungsoperationen mit den Brigg'schen Logarithmen.

In Beziehung auf die Rechnungsoperationen mit Logarithmen sind im allgemeinen dieselben Regeln zu beobachten, wie für dekadische Zahlen überhaupt; nur hat man dabei noch Folgendes zu berücksichtigen:

\*) Eine ausführliche Belehrung über die Einrichtung und den Gebrauch solcher Tafeln findet man in der Einleitung zu den von mir herausgegebenen fünfstelligen Logarithmentafeln zum Schulgebrauche. Wien, bei Gerold, 1877.

1. Erhält man beim Addieren der Logarithmen zwei Charakteristiken, eine positive und eine negative, so werden diese in eine einzige zusammengezogen. *Z. B.*

$$\begin{array}{r} 3 \cdot 10\ 589 \\ 2 \cdot 56\ 814 \\ 0 \cdot 21\ 340 - 2 \\ 0 \cdot 08\ 105 - 4 \\ \hline 5 \cdot 96\ 848 - 6 = 0 \cdot 96\ 848 - 6 \end{array}$$

2. Ist beim Subtrahieren der Minuend kleiner als der Subtrahend, so addiere man, um im Reste eine negative Mantisse zu vermeiden, zu dem Minuend so viele positive Einheiten, daß er größer wird als der Subtrahend, und setze dann auch als Charakteristik des Restes so viele negative Einheiten. *Z. B.*

$$\begin{array}{r} + 3 \qquad - 3 \\ 1 \cdot 45\ 025 \\ 3 \cdot 57\ 892 \\ \hline 0 \cdot 87\ 133 - 3. \end{array}$$

3. Wird ein Logarithmus mit negativer Charakteristik mit einer Zahl multipliciert, so muß im Producte die neue negative Charakteristik mit der etwa erhaltenen positiven zusammengezogen werden. *Z. B.*

$$\begin{aligned} (0 \cdot 53\ 115 - 2) \times 5 &= 2 \cdot 65\ 575 - 10 \\ &= 0 \cdot 65\ 575 - 8. \end{aligned}$$

4. Ist ein Logarithmus mit negativer Charakteristik durch eine Zahl zu dividieren, so muß die negative Charakteristik, wenn sie durch diese Zahl nicht theilbar ist, um so viele Einheiten vergrößert werden, daß sie dadurch theilbar wird; eben so viele Einheiten müssen aber dann auch als Ganze zu der positiven Mantisse gesetzt werden. *Z. B.*

$$\begin{aligned} (0 \cdot 41\ 509 - 7) : 5 &= (3 \cdot 41\ 509 - 10) : 5 \\ &= 0 \cdot 68\ 303 - 2. \end{aligned}$$

### §. 209. Anwendung der Brigg'schen Logarithmen.

Durch die allgemeinen Sätze, die in §. 200 entwickelt wurden, ist man imstande, die Multiplication in eine Addition, die Division in eine Subtraction, das Potenzieren in eine Multiplication und das Radicieren in eine Division zu verwandeln.

Kommen unter den gegebenen Zahlen negative vor, so betrachtet man sie einstweilen als absolute Zahlen, führt damit die Rechnung durch und bestimmt das Vorzeichen nachträglich in dem gefundenen Resultate.

1. Multiplication der Zahlen mit Hilfe der Logarithmen.

Bestimme das Product aus  $1 \cdot 0954$ ,  $0 \cdot 91567$ ,  $- 3 \cdot 1571$  und  $1 \cdot 00782$ .

$$\begin{aligned} \text{Es ist} \quad \log 1.0954 &= 0.03957 \\ \log 0.91567 &= 0.96174 - 1 \\ \log 3.1571 &= 0.49928 \text{ (n)} \\ \log 1.00782 &= 0.00338 \end{aligned}$$

$\log$  des Productes  $= 0.50397 = \log 3.1914$ ; also  
 $1.0954 \times 0.91567 \times 3.1571 \times 1.00782 = 3.1914$ .

## 2. Division der Zahlen mit Hilfe der Logarithmen.

1) Es soll der Quotient  $528 : 737$  oder  $\frac{528}{737}$  bestimmt werden.

$$\begin{array}{r} \phantom{\log 528} + 1 \phantom{\log 737} - 1 \\ \log 528 = 2.72263 \\ \log 737 = 2.86747 \\ \hline \log \frac{528}{737} = 0.85516 - 1 = \log 0.7164, \\ \text{folglich } \frac{528}{737} = 0.7164. \end{array}$$

2) Bestimme den Wert des Bruches  $x = \frac{3.4156 \times 4.023}{1.2378 \times 5.87091}$ .

$$\begin{array}{r} \log 3.4156 = 0.53347 \\ \log 4.023 = 0.60455 \\ \hline \phantom{\log 3.4156} 1.13802 \\ \log 1.2378 = 0.09265 \\ \log 5.87091 = 0.76871 \\ \hline \log x = 0.27666 = \log 1.8909, \\ \text{also } x = 1.8909. \end{array}$$

## 3. Potenzierung einer Zahl mit Hilfe der Logarithmen.

1) Es soll die 20ste Potenz von  $1.025$  gesucht werden.

$$\begin{aligned} \log 1.025 &= 0.010724 \times 20 \\ \log (1.025)^{20} &= 0.214480 = \log 1.6386, \\ \text{also } (1.025)^{20} &= 1.6386. \end{aligned}$$

2. Bestimme  $\left(\frac{329}{67}\right)^{1.065}$ .

$$\begin{array}{r} \log 329 = 2.51720 \\ \log 67 = 1.82607 \\ \hline \phantom{\log 329} 0.69113 \times 1.065 \\ \phantom{\log 329} 5601 \\ \hline \phantom{\log 329} 69113 \\ \phantom{\log 329} 41466 \\ \phantom{\log 329} 3456 \end{array}$$

$$\log \left(\frac{329}{67}\right)^{1.065} = 0.73605 = \log 5.4456$$

$$\text{somit } \left(\frac{329}{67}\right)^{1.065} = 5.4456.$$

## 4. Radicierung einer Zahl mit Hilfe der Logarithmen.

Es sei die 5te Wurzel aus 10 zu bestimmen.

$$\log 10 = 1.00000$$

$$\log \sqrt[5]{10} = \frac{1.00000}{5} = \log 1.5849,$$

$$\text{also } \sqrt[5]{10} = 1.5849.$$

## §. 210. Auflösung einfacher Exponentialgleichungen.

Man unterscheidet algebraische und transcendente Gleichungen; in den ersteren kommt die Unbekannte nur als Basis einer Potenz, in den letzteren unter einer der Formen  $a^x$ ,  $\log x$ ,  $\sin x$  u. dgl. vor. Eine Gleichung von der Form  $a^x = b$  heißt insbesondere eine Exponentialgleichung.

Die Auflösung der Exponentialgleichungen beruht auf der Anwendung des Satzes: Sind zwei Zahlen einander gleich, so sind auch ihre in Bezug auf dieselbe Basis genommenen Logarithmen einander gleich.

1. Gleichungen von der Form  $a^x = b$ .

Nimmt man von beiden Theilen die Logarithmen, so wird der Exponent  $x$  in einen Factor verwandelt; man erhält  $\log(a^x) = \log b$ , oder  $x \log a = \log b$ ; daher ist

$$x = \frac{\log b}{\log a}.$$

Um z. B. die Gleichung  $5^x = 37$  aufzulösen, hat man  $x \log 5 = \log 37$ , und somit

$$x = \frac{\log 37}{\log 5} = \frac{1.56820}{0.69897} = 2.2436$$

2. Gleichungen von der Form  $\sqrt[x]{a} = b$ .

Nimmt man hier beiderseits die Logarithmen, so erhält man  $\frac{1}{x} \cdot \log a = \log b$ , daher  $\log a = x \log b$ , und

$$x = \frac{\log a}{\log b}.$$

So gibt die Gleichung  $\sqrt[x]{2} = 10$  den Wert  $x = \frac{\log 2}{\log 10} = 0.30103$ .

$$x^2 + \frac{4x}{5} + \frac{16}{100} = 3 + \frac{16}{100}$$

## Fünfter Abschnitt.

### Gleichungen des zweiten Grades.

§. 211. Um eine Gleichung auflösen zu können, muß sie zuerst auf eine solche Form gebracht werden, daß die Unbekannte in keinem Gliede als Nenner oder als Radicand erscheint, daß alle Glieder, welche die Unbekannte enthalten, in dem ersten Theile der Gleichung nach den fallenden Potenzen derselben auf einander folgen, daß endlich der Coefficient der höchsten Potenz der Unbekannten eine ganze positive Zahl ist. Eine so geformte Gleichung heißt geordnet.

Das Ordnen der Gleichungen besteht in den Transformationen, welche nach §. 141 bei der Auflösung der Gleichungen des ersten Grades in Anwendung kommen, und wenn die Gleichung irrational ist, in der Wegschaffung der Wurzeln nach §. 173.

#### Beispiele.

$$\begin{array}{ll}
 1) \quad x(2x+3) - \frac{6-3x}{5} = 2x & 2) \quad 2x - \sqrt{3x} = 3 \\
 5x(2x+3) - (6-3x) = 10x & -\sqrt{3x} = 3 - 2x \\
 10x^2 + 15x - 6 + 3x = 10x & 3x = 9 - 12x + 4x^2 \\
 10x^2 + 15x + 3x - 10x = 6 & 3x + 12x - 4x^2 = 9 \\
 10x^2 + 8x = 6 & -4x^2 + 15x = 9 \\
 5x^2 + 4x = 3. & 4x^2 - 15x = -9.
 \end{array}$$

Bemerkung. Wenn aus einer irrationalen Gleichung die Quadratwurzel durch Erheben zum Quadrate weggeschafft wird, so enthält häufig die neue Gleichung Wurzeln, die der gegebenen nicht angehören. Man hat daher in diesem Falle nachträglich noch zu untersuchen, welche der für die Unbekannte gefundenen Werte die ursprünglich gegebene Gleichung erfüllen. So erhält man in dem Beispiele 2) aus der Gleichung  $2x - \sqrt{3x} = 3$  durch Quadrieren die Gleichung  $4x^2 - 15x = -9$ , welcher die Werte  $x = 3$  und  $y = \frac{3}{4}$  genügen; von diesen befriedigt jedoch nur der erste  $x = 3$  die gegebene Gleichung, der Wert  $x = \frac{3}{4}$  genügt ihr nicht, gehört dagegen einer andern Gleichung  $2x + \sqrt{3x} = 3$  an, aus welcher nach Wegschaffung der Wurzel dieselbe Gleichung  $4x^2 - 15x = -9$  entsteht, wie aus  $2x - \sqrt{3x} = 3$ .

§. 212. Der höchste Potenzexponent der Unbekannten in einer geordneten Gleichung bestimmt den Grad derselben. Eine Gleichung, in welcher, nachdem sie geordnet wurde, die höchste Potenz der Unbekannten die zweite ist, heißt eine Gleichung des zweiten Grades oder eine quadratische Gleichung. Ist die höchste Potenz der Unbekannten die dritte, vierte oder eine höhere, so heißt die Gleichung bezüglich vom dritten, vierten oder einem höheren Grade.

Wenn in einer Gleichung mehrere Unbekannte vorkommen, so wird der Grad derselben durch die höchste Summe der Potenzexponenten der Unbekannten eines Gliedes in der geordneten Gleichung bestimmt.

### I. Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten.

§. 213. Die allgemeine Form einer geordneten Gleichung des zweiten Grades ist

$$px^2 + qx = r,$$

wo  $p$ ,  $q$ ,  $r$  beliebige bekannte Zahlen darstellen.

a) Wird der Coefficient  $p$  von  $x^2$  gleich 0, so verwandelt sich die quadratische Gleichung in eine Gleichung des ersten Grades  $qx = r$  und fällt daher hier außer Betracht.

b) Wird das von  $x$  freie Glied  $r = 0$ , so hat man

$$px^2 + qx = 0, \text{ oder } x(px + q) = 0.$$

Da ein Product 0 wird, wenn ein Factor 0 ist, so wird die vorstehende Gleichung befriedigt, wenn man entweder  $x = 0$ , oder  $px + q = 0$ , d. i.

$x = -\frac{q}{p}$  setzt. Der Gleichung genügen also zwei Werte.

Daß hier  $x$  durch die Division nicht ausgeschieden werden darf, ist schon in §. 140, 3, bemerkt worden.

c) Ist  $q = 0$ , so wird

$$px^2 = r, \text{ oder } x^2 = \frac{r}{p}.$$

Eine solche Gleichung, in welcher die Unbekannte nur in der zweiten Potenz vorkommt, heißt eine reine oder binomische quadratische Gleichung.

Allgemein stellt  $x^m = a$  eine binomische Gleichung des  $m$ ten Grades dar.

d) Sind  $p$ ,  $q$  und  $r$  sämmtlich von 0 verschieden, so heißt die Gleichung

$$px^2 + qx = r$$

eine gemischte oder vollständige Gleichung des zweiten Grades.

Keine quadratische Gleichungen.

§. 214. Um eine reine quadratische Gleichung

$$x^2 = b$$

aufzulösen, darf man nur aus beiden Theilen die Quadratwurzel ausziehen; man erhält

$$x = \pm \sqrt{b}.$$

Eine reine quadratische Gleichung hat also zwei entgegengesetzte Wurzeln; ist  $b$  positiv, so sind diese reell; ist  $b$  negativ, so sind sie imaginär.

Zu demselben Resultate gelangt man auch, wenn man die gegebene Gleichung auf die Form

$x^2 - b = 0$ , oder  $x^2 - (\sqrt{b})^2 = 0$ , oder  $(x - \sqrt{b})(x + \sqrt{b}) = 0$  bringt. Diese Gleichung wird befriedigt, wenn man

entweder  $x - \sqrt{b} = 0$ , d. i.  $x = \sqrt{b}$ ,  
oder  $x + \sqrt{b} = 0$ , d. i.  $x = -\sqrt{b}$  setzt.

Beispiele.

$$\begin{array}{lll} x^2 = 9, & x^2 = 15, & x^2 = -7, \\ x = \pm \sqrt{9} = \pm 3. & x = \pm \sqrt{15}. & x = \pm \sqrt{-7}. \end{array}$$

Gemischte quadratische Gleichungen.

§. 215. Die allgemeine Form einer geordneten gemischten Gleichung des zweiten Grades ist

$$px^2 + qx = r$$

oder, wenn man beide Theile der Gleichung durch  $p$  dividirt,

$$x^2 + \frac{q}{p}x = \frac{r}{p}.$$

Setzt man  $\frac{q}{p} = a$  und  $\frac{r}{p} = b$ , so erhält man als Normalform, von der bei der Auflösung immer auszugehen sein wird,

$$x^2 + ax = b.$$

Um eine in der Normalform gegebene quadratische Gleichung aufzulösen, wird man zunächst den ersten Theil zu dem vollständigen Quadrate eines Binoms ergänzen. Betrachtet man  $x^2$  als das Quadrat des ersten Gliedes, somit  $x$  als das erste Glied, ferner  $ax$  oder  $2 \cdot x \cdot \frac{a}{2}$  als das doppelte Product beider Glieder, so ist  $\frac{a}{2}$  das zweite Glied, und es fehlt, damit das Quadrat des Binoms  $x + \frac{a}{2}$  vollständig werde, noch das Quadrat  $\left(\frac{a}{2}\right)^2 = \frac{a^2}{4}$ . Addirt man daher zu beiden Theilen der Gleichung  $\frac{a^2}{4}$ , so ergibt sich

$$x^2 + ax + \frac{a^2}{4} = \frac{a^2}{4} + b, \text{ oder}$$

$$\left(x + \frac{a}{2}\right)^2 = \frac{a^2}{4} + b;$$

und wenn man aus beiden Theilen die Quadratwurzel auszieht,

$$x + \frac{a}{2} = \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b},$$

folglich

$$x = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b}.$$

Hiernach hat auch jede gemischte quadratische Gleichung zwei Wurzeln. Dieselben sind

reell und ungleich, wenn der Ausdruck  $\frac{a^2}{4} + b$  positiv,

reell und gleich, wenn dieser Ausdruck Null,

complex und conjugiert, wenn derselbe negativ ist.

Beispiele.

$$1) \quad \begin{array}{l} x^2 - 6x = 7 \\ 3^2 = 9 \end{array}$$

$$x^2 - 6x + 3^2 = 7 + 9$$

$$(x - 3)^2 = 16$$

$$x - 3 = \pm \sqrt{16}$$

$$x - 3 = \pm 4$$

$$x = 3 \pm 4$$

$$x = 7, \text{ oder } x = -1.$$

$$2) \quad \begin{array}{l} x^2 + 7x = -12 \\ \left(\frac{7}{2}\right)^2 = \frac{49}{4} \end{array}$$

$$x^2 + 7x + \left(\frac{7}{2}\right)^2 = -12 + \frac{49}{4}$$

$$\left(x + \frac{7}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$x + \frac{7}{2} = \pm \frac{1}{2}$$

$$x = -\frac{7}{2} \pm \frac{1}{2}$$

$$x = -3, \text{ oder } x = -4.$$

§. 216. Anstatt zur Auflösung einer gemischten quadratischen Gleichung in jedem besonderen Falle die in §. 215 durchgeführte vollständige Entwicklung zu wiederholen, kann man die Wurzeln auch sogleich aus der allgemeinen Formel

$$x = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b}$$

ableiten. Dieselbe enthält den Satz:

In einer auf die Normalform gebrachten gemischten quadratischen Gleichung ist die Unbekannte gleich dem halben Coefficienten der ersten Potenz der Unbekannten mit entgegengesetztem Vorzeichen, vermehrt oder vermindert um die Quadratwurzel aus der algebraischen Summe des Quadrates dieses halben Coefficienten und des von der Unbekannten freien Gliedes.

Beispiele.

$$1) \quad x^2 - 6x = 16.$$

$$x = 3 \pm \sqrt{9 + 16} = 3 \pm \sqrt{25} = 3 \pm 5;$$

$$x = 3 + 5 = 8, \text{ oder } x = 3 - 5 = -2.$$

$$2) \quad x^2 - 10x = -25.$$

$$x = 5 \pm \sqrt{25 - 25} = 5 \pm 0 = 5.$$

Die Gleichung hat zwei gleiche Wurzeln  $x = 5$ .

$$3) \quad x^2 - 2x + 2 = 0; \text{ in der Normalform } x^2 - 2x = -2.$$

$$x = 1 \pm \sqrt{1 - 2} = 1 \pm \sqrt{-1}.$$

**Zusatz.** Sind in der allgemeinen quadratischen Gleichung  $x^2 + ax = b$  die bekannten Zahlen  $a$  und  $b$  irrational, z. B.  $a = \sqrt{A}$  und  $b = \sqrt{B}$ , so daß die Gleichung die Form

$$x^2 + \sqrt{A} \cdot x = \sqrt{B}$$

annimmt, so erhält man

$$x = -\frac{\sqrt{A}}{2} \pm \sqrt{\frac{A}{4} + \sqrt{B}}$$

Bei allen Gleichungen dieser Art kommt man auf einen Ausdruck von der Form  $\sqrt{p \pm \sqrt{q}}$ . Wie ein solcher Ausdruck bestimmt, d. i. wie aus einem irrationalen Binom die Quadratwurzel ausgezogen wird, ist in §. 172 gezeigt worden.

**Beziehungen zwischen den bekannten Zahlen einer quadratischen Gleichung und ihren Wurzeln.**

§. 217. Jede geordnete quadratische Gleichung erhält, wenn man das von  $x$  freie Glied in den ersten Theil überträgt, die Form

$$x^2 + Ax + B = 0$$

und heißt dann auf Null reducirt.

Man nennt in diesem Falle den ersten Theil  $x^2 + Ax + B$  das Gleichungstrinom.

Ist  $m$  eine Wurzel der Gleichung  $x^2 + Ax + B = 0$ , so heißt  $x - m$  ein Wurzelfactor derselben.

1. Das Gleichungstrinom einer jeden quadratischen Gleichung ist durch ihren Wurzelfactor theilbar.

Es ist

$$\begin{array}{r} (x^2 + Ax + B) : (x - m) = x + (A + m) \\ \underline{x^2 - mx} \phantom{+ B} \\ \phantom{x^2} + \phantom{mx} \phantom{+ B} \\ \phantom{x^2} (A + m)x + B \\ \phantom{x^2} \underline{(A + m)x - Am - m^2} \\ \phantom{x^2} \phantom{(A + m)x} + \phantom{Am} + \phantom{m^2} \\ \phantom{x^2} \phantom{(A + m)x} \text{Rest} = m^2 + Am + B. \end{array}$$

Da  $m$  eine Wurzel der vorgelegten Gleichung ist, also für  $x$  in das Trinom  $x^2 + Ax + B$  substituirt, dieses auf Null reducirt, so ist der frühere Rest  $m^2 + Am + B = 0$ , und daher

$$(x^2 + Ax + B) : (x - m) = x + (A + m).$$

2. Jede quadratische Gleichung hat zwei Wurzeln.

Setzt man in dem obigen Ausdrucke

$$(x^2 + Ax + B) : (x - m) = x + (A + m)$$

$A + m = -n$ , so wird

$d = x^2 + Ax + B : (x - m) = x - n$ , folglich

$$x^2 + Ax + B = (x - m)(x - n).$$

Da nun der Ausdruck  $x^2 + Ax + B$  nicht nur für  $x = m$ , sondern auch für  $x = n$  in Null übergeht, so ist nicht nur  $m$ , sondern auch  $n$  eine Wurzel der Gleichung  $x^2 + Ax + B = 0$ .

3. Die Gleichung  $x^2 + Ax + B = (x - m)(x - n)$  liefert ferner den Satz:

Das Gleichungstrinom einer jeden quadratischen Gleichung ist gleich dem Producte ihrer Wurzelfactoren.

4. Aus derselben Gleichung ergibt sich

$$x^2 + Ax + B = x^2 - (m + n)x + (-m \cdot -n),$$

$$\text{folglich } A = -m - n \text{ und } B = -m \cdot -n.$$

Der Coefficient des zweiten Gliedes ist also gleich der Summe, und das dritte, von der Unbekannten freie Glied dem Producte aus den entgegengesetzt genommenen Wurzeln.

§. 218. Folgerungen:

1. Eine auf Null reducierte quadratische Gleichung kann oft sehr einfach durch Zerlegung des Gleichungstrinoms in zwei binomische Factoren aufgelöst werden.

3. B.  $4x^2 - 23x + 15 = 0$ . Da

$$4x^2 - 23x + 15 = 4x^2 - 20x - 3x + 15$$

$$= 4x(x - 5) - 3(x - 5) = (4x - 3)(x - 5)$$

ist, so wird die gegebene Gleichung befriedigt, wenn man entweder  $4x - 3 = 0$  oder  $x - 5 = 0$  setzt. Die Gleichung hat also die zwei Wurzeln  $x = \frac{3}{4}$  und  $x = 5$ .

2. Wenn man in einer auf Null reducierten quadratischen Gleichung das von  $x$  freie Glied in zwei Factoren zerlegen kann, welche den Coefficienten von  $x$  zur Summe geben, so erhält man durch die Zeichenänderung derselben sofort die beiden Wurzeln der Gleichung.

3. B. An der Gleichung  $x^2 - 5x + 6 = 0$  erkennt man auf den ersten Blick, daß  $+6$  das Product der Zahlen  $-2$  und  $-3$  ist, welche  $-5$  zur Summe geben; die beiden Zahlen entgegengesetzt genommen, nämlich  $+2$  und  $+3$ , sind also Wurzeln der vorgelegten Gleichung.

3. Mit Beachtung des Satzes 4. in §. 217 läßt sich aus den Vorzeichen der Wurzeln einer quadratischen Gleichung auch auf die Vorzeichen ihrer Glieder und umgekehrt aus den Vorzeichen der letzteren auf jene der ersteren schließen.

4. Aus  $x^2 + Ax + B = (x - m)(x - n)$  ergibt sich: Sind die Wurzeln  $m$  und  $n$  der Gleichung  $x^2 + Ax + B = 0$  reell, so wird der Ausdruck  $x^2 + Ax + B$  für jeden Wert von  $x$ , welcher zwischen  $m$  und  $n$  liegt, negativ, dagegen für jeden Wert von  $x$ , welcher größer als die größere, oder kleiner als die kleinere beider Wurzeln ist, positiv. Sind aber die

Wurzeln der obigen Gleichung imaginär, etwa  $p + qi$  und  $p - qi$ , so wird  $x^2 + Ax + B$  für jeden reellen Wert von  $x$  positiv; denn es ist

$$x^2 + Ax + B = (x - p - qi)(x - p + qi) = (x - p)^2 + q^2,$$

somit immer positiv.

§. 219. Aufgaben. 1. Eine quadratische Gleichung zu bilden, welche zwei gegebene Zahlen zu Wurzeln hat.

Seien z. B. 3 und  $-4$  die gegebenen Zahlen, so nehme man diese mit entgegengesetzten Vorzeichen, nämlich  $-3$  und  $4$ , und bilde davon

die Summe  $= -3 + 4 = +1$ , und  
das Product  $= -3 \cdot 4 = -12$ ;

dann ist  $x^2 + x - 12 = 0$  die Gleichung, welche 3 und  $-4$  zu Wurzeln hat.

2. Einen Ausdruck von der Form  $x^2 + ax + b$  in Factoren zu zerlegen.

Man setze  $x^2 + ax + b = 0$ , welche Gleichung

$$x_1 = \frac{-a + \sqrt{a^2 - 4b}}{2} \quad \text{und} \quad x_2 = \frac{-a - \sqrt{a^2 - 4b}}{2}$$

zu Wurzeln hat; dann ist nach §. 217, 3

$$x^2 + ax + b = \left[ x + \frac{a - \sqrt{a^2 - 4b}}{2} \right] \left[ x + \frac{a + \sqrt{a^2 - 4b}}{2} \right].$$

Ist z. B.  $x^2 - 3x - 28$  in zwei Factoren zu zerlegen, so setze man  $x^2 - 3x - 28 = 0$ . Die Wurzeln dieser Gleichung sind  $x_1 = 7$ ,  $x_2 = -4$ , daher die Wurzelfactoren  $x - 7$  und  $x + 4$ ; somit

$$x^2 - 3x - 28 = (x - 7)(x + 4).$$

Zusatz. Soll der Ausdruck  $\alpha x^2 + \beta x + \gamma$  in Factoren zerlegt werden, so bringt man ihn auf die Form  $\alpha \left( x^2 + \frac{\beta}{\alpha} x + \frac{\gamma}{\alpha} \right)$ , verwandelt den Ausdruck in den Klammern mittelst der Wurzeln der Gleichung  $x^2 + \frac{\beta}{\alpha} x + \frac{\gamma}{\alpha} = 0$  in ein Product zweier Factoren und multipliciert dieses noch mit  $\alpha$ . Z. B.:

$$9x^2 - 3x - 2 = 9 \left( x^2 - \frac{1}{3}x - \frac{2}{9} \right) = 9 \left( x + \frac{1}{3} \right) \left( x - \frac{2}{3} \right).$$

## II. Höhere und Exponentialgleichungen mit einer Unbekannten, welche sich auf quadratische Gleichungen zurückführen lassen.

Binomische Gleichungen.

§. 220. Die allgemeine binomische Gleichung des  $m$ ten Grades

$$x^m = a$$

gibt, wenn man aus beiden Theilen die  $m$ te Wurzel auszieht,

$$x = \sqrt[m]{a}.$$

Ist  $m$  eine gerade Zahl, so hat die Gleichung, wenn  $a$  positiv ist, zwei gleiche entgegengesetzte reelle Wurzeln, und wenn  $a$  negativ ist, keine reelle Wurzel.

Ist dagegen  $m$  eine ungerade Zahl, so wird die Gleichung immer eine reelle Wurzel haben, welche mit  $a$  dasselbe Vorzeichen besitzt.

Die hier angedeuteten Wurzeln sind jedoch nicht die einzigen, welche der Gleichung genügen; da  $\sqrt[m]{a}$ , wie in dem Anhange (§. 320, c) bewiesen wird,  $m$  verschiedene Werte hat, so hat auch die Gleichung  $x^m = a$  ebenfalls  $m$  Wurzeln, von denen aber im allgemeinen mit den bisher gewonnenen Hilfsmitteln bloß die reellen, wenn die Gleichung solche hat, bestimmt werden können. Nur die binomischen Gleichungen des dritten und des vierten Grades lassen sich durch Zurückführung auf quadratische Gleichungen schon hier vollständig auflösen.

a) Die allgemeine binomische Gleichung des dritten Grades ist  $x^3 = a$  oder  $x^3 - a = 0$ . Da  $x = \sqrt[3]{a}$  eine Wurzel dieser Gleichung und  $(x^3 - a) : (x - \sqrt[3]{a}) = x^2 + \sqrt[3]{a} \cdot x + \sqrt[3]{a^2}$  ist, so folgt

$$x^3 - a = (x - \sqrt[3]{a})(x^2 + \sqrt[3]{a} \cdot x + \sqrt[3]{a^2}).$$

Es wird demnach  $x^3 - a = 0$ , nicht nur wenn  $x - \sqrt[3]{a} = 0$ , also  $x = \sqrt[3]{a}$ , sondern auch wenn  $x^2 + \sqrt[3]{a} \cdot x + \sqrt[3]{a^2} = 0$  gesetzt wird, aus welcher Gleichung sich  $x = \frac{\sqrt[3]{a}}{2}(-1 \pm \sqrt{-3})$  ergibt. Die Gleichung  $x^3 = a$  hat also die drei Wurzeln

$$x = \sqrt[3]{a}, \quad x = \frac{\sqrt[3]{a}}{2}(-1 + \sqrt{-3}), \quad x = \frac{\sqrt[3]{a}}{2}(-1 - \sqrt{-3}).$$

z. B. Der Gleichung  $x^3 - 27 = 0$ , welche sich auch so darstellen läßt:  $(x - 3)(x^2 + 3x + 9) = 0$ , wird genüge geleistet, wenn man  $x - 3 = 0$ , oder wenn man  $x^2 + 3x + 9 = 0$  setzt. Dadurch ergeben sich die drei Wurzelwerte

$$x = 3, \quad x = \frac{3}{2}(-1 + \sqrt{-3}), \quad x = \frac{3}{2}(-1 - \sqrt{-3}).$$

b) Die binomische Gleichung des vierten Grades  $x^4 - a = 0$  oder  $(x^2 - \sqrt{a})(x^2 + \sqrt{a}) = 0$  wird durch  $x^2 - \sqrt{a} = 0$  und  $x^2 + \sqrt{a} = 0$  befriedigt; sie hat somit die Wurzeln

$$x = \pm \sqrt{\sqrt{a}} \text{ und } x = \pm \sqrt{-\sqrt{a}}.$$

z. B. Die Gleichung  $x^4 + 1 = 0$  oder  $x^4 - (\sqrt{-1})^2 = (x^2 - \sqrt{-1})(x^2 + \sqrt{-1}) = 0$  hat folgende vier Wurzeln:

$$x = \pm \sqrt{\sqrt{-1}} = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}(1 + \sqrt{-1})$$

$$\text{und } x = \pm \sqrt{-\sqrt{-1}} = \pm \frac{\sqrt{2}}{2}(1 - \sqrt{-1}).$$

Gleichungen von der Form  $x^{2m} + ax^m = b$ .

§. 221. Höhere Gleichungen, welche nur zwei Potenzen der Unbekannten von solcher Beschaffenheit enthalten, daß der eine Potenzexponent das Doppelte des andern ist, lassen sich immer auf quadratische zurückführen; man darf nur die niedrigere Potenz durch eine neue Unbekannte ausdrücken.

a) Um die Gleichung  $x^{2m} + ax^m = b$  aufzulösen, setze man  $x^m = y$ , folglich  $x^{2m} = y^2$ ; dann hat man

$$y^2 + ay = b, \text{ und daher}$$

$$y = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b}.$$

Wird nun statt  $y$  wieder der Wert  $x^m$  restituirt, so ist

$$x^m = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b},$$

somit, wenn man aus beiden Theilen die  $m$ te Wurzel auszieht,

$$x = \sqrt[m]{\left(-\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b}\right)}.$$

z. B.  $x^4 - 13x^2 + 36 = 0$ .

Setzt man  $x^2 = y$ , so hat man  $y^2 - 13y + 36 = 0$ , welche Gleichung

$$y = \frac{13}{2} \pm \sqrt{\frac{169}{4} - 36} = \frac{13}{2} \pm \frac{5}{2},$$

also  $y = 9$  oder  $y = 4$  gibt. Man hat daher, da  $x = \sqrt{y}$  ist,

$$x = \sqrt{9} = \pm 3, \text{ oder } x = \sqrt{4} = \pm 2.$$

b) Ist die Gleichung

$$(x^{2n} + px^n + q)^{2m} + a(x^{2n} + px^n + q)^m = b$$

aufzulösen, so setze man  $(x^{2n} + px^n + q)^m = y$ ; dann ist  $y^2 + ay = b$ , woraus sich die Werte von  $y$  bestimmen lassen.

Aus  $x^{2n} + px^n + q = \sqrt[m]{y}$  oder  $x^{2n} + px^n = \sqrt[m]{y} - q$  erhält man sodann, wenn  $x^n = z$  gesetzt wird, ebenso die Werte von  $z$ , und aus diesen endlich die Werte von  $x$ .

z. B.  $(x^2 - 6x + 11)^2 - 4(x^2 - 6x + 11) + 3 = 0$ .

Setzt man  $x^2 - 6x + 11 = y$ , so wird  $y^2 - 4y + 3 = 0$ , woraus sich  $y = 3$  oder  $y = 1$  ergibt.

Für  $y = 3$  erhält man dann  $x^2 - 6x + 11 = 3$ , und aus dieser Gleichung  $x = 4$  oder  $x = 2$ .

Für  $y = 1$  hat man  $x^2 - 6x + 11 = 1$ , und daher  $x = 3 + \sqrt{-1}$  oder  $x = 3 - \sqrt{-1}$ .

c) Hat eine Gleichung die Form  $\sqrt[m]{x} + a\sqrt[2m]{x} = b$ , so setze man  $\sqrt[2m]{x} = y$ , daher  $\sqrt[m]{x} = y^2$ ; dann ergibt sich

$$y^2 + ay = b, \text{ und daraus}$$

$$y = \sqrt[2m]{x} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b},$$

daher, wenn man beide Theile zur  $2m$ ten Potenz erhebt,

$$x = \left(-\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + b}\right)^{2m}.$$

$$\text{z. B. } \sqrt[3]{x} - \sqrt[6]{x} = 2.$$

Setzt man  $\sqrt[6]{x} = y$ , so hat man  $y^2 - y = 2$ , daher  $y = 2$  oder  $y = -1$ , und somit, da  $x = y^6$  ist,  $x = 64$  oder  $x = 1$ .

### Reciproke Gleichungen.

§. 222. Eine auf Null reducierte Gleichung heißt reciprok, wenn die Coefficienten ihrer vom Anfange und vom Ende gleich weit abstehenden Glieder entweder alle sowohl dem absoluten Werte als auch dem Vorzeichen nach gleich sind, oder alle bei gleichem absoluten Werte entgegengesetzte Vorzeichen haben. Im letzteren Falle muß, wenn die Gleichung von geradem Grade ist, das mittlere Glied fehlen.

Die allgemeine Form der reciproken Gleichungen ist

$$x^m + a_1 x^{m-1} + a_2 x^{m-2} + \dots \pm a_{m-2} x^2 \pm a_{m-1} x \pm 1 = 0.$$

Eine reciproke Gleichung hat die Eigenschaft, daß der reciproke Wert jeder ihrer Wurzeln ebenfalls Wurzel der Gleichung ist.

Hat z. B. die reciproke Gleichung  $x^4 + ax^3 + bx^2 + ax + 1 = 0$  die Wurzel  $w$ , ist also  $w^4 + aw^3 + bw^2 + aw + 1 = 0$ , so ist auch  $\frac{1}{w}$  eine Wurzel der Gleichung. Denn durch die Substitution  $x = \frac{1}{w}$  erhält der erste Theil der gegebenen Gleichung den Wert

$\frac{1}{w^4} + a \cdot \frac{1}{w^3} + b \cdot \frac{1}{w^2} + a \cdot \frac{1}{w} + 1 = \frac{1}{w^4} (1 + aw + bw^2 + aw^3 + w^4)$ ,  
welcher Wert ebenfalls  $= 0$  ist.

Jede reciproke Gleichung, welche nicht den fünften Grad übersteigt, läßt sich auf quadratische Gleichungen zurückführen.

a) Das Polynom einer reciproken Gleichung des dritten Grades

$$x^3 + ax^2 \pm ax \pm 1 = 0$$

läßt sich in zwei Factoren zerlegen, von denen der eine bezüglich  $x \pm 1$  und der andere das Trinom einer quadratischen Gleichung ist.

Bereinigt man z. B. in der Gleichung

$$x^3 + ax^2 + ax + 1 = 0,$$

die Glieder, welche dieselben Coefficienten haben, so erhält man

$$(x^3 + 1) + ax(x + 1) = 0,$$

oder, da  $x^3 + 1 = (x + 1)(x^2 - x + 1)$  ist,

$$(x + 1)(x^2 - x + 1 + ax) = 0.$$

Dieser Gleichung wird genüge geleistet, wenn man entweder  $x + 1 = 0$  oder  $x^2 + (a - 1)x + 1 = 0$  setzt, wodurch man drei Wurzelwerte erhält.

Auf gleiche Weise geschieht die Auflösung der Gleichung

$$x^3 + ax^2 - ax - 1 = 0.$$

b) Es sei die reciproke Gleichung des vierten Grades

$$x^4 + ax^3 + bx^2 + ax + 1 = 0,$$

in welcher dieselben Coefficienten gleiche Vorzeichen haben.

Dividirt man durch  $x^2$  und vereinigt dann die Glieder mit denselben Coefficienten, so erhält man

$$\left(x^2 + \frac{1}{x^2}\right) + a\left(x + \frac{1}{x}\right) + b = 0.$$

Setzt man nun  $x + \frac{1}{x} = y$ , so ist  $x^2 + 2 + \frac{1}{x^2} = y^2$ , also  $x^2 + \frac{1}{x^2} = y^2 - 2$ , folglich durch Substitution in der obigen Gleichung

$$y^2 - 2 + ay + b = 0, \text{ und}$$

$$y = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b + 2}.$$

Wird jeder dieser Werte in die Gleichung  $x + \frac{1}{x} = y$  eingesetzt, so erhält man, da diese Gleichung in Beziehung auf  $x$  vom zweiten Grade ist, für jeden Wert von  $y$  zwei Werte für  $x$ , also im ganzen vier Wurzeln für die vorgelegte Gleichung.

c) Das Polynom der reciproken Gleichung des vierten Grades

$$x^4 + ax^3 - ax - 1 = 0,$$

in welchem dieselben Coefficienten entgegengesetzte Vorzeichen haben, läßt sich in zwei Factoren zerlegen, von denen der eine  $x^2 - 1$ , der andere das Trinom einer quadratischen Gleichung ist.

Die obige Gleichung läßt sich zunächst so darstellen:

$$(x^4 - 1) + ax(x^2 - 1) = 0.$$

Nun ist  $x^4 - 1 = (x^2 + 1)(x^2 - 1)$ ; man hat also

$$(x^2 - 1)(x^2 + 1 + ax) = 0.$$

Setzt man  $x^2 - 1 = 0$ , so erhält man  $x = \pm 1$ ; setzt man  $x^2 + 1 + ax = 0$ , so ergibt sich  $x = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4}}{2}$ .

Die Gleichung hat also vier Wurzeln.

d) Jede reciproke Gleichung des fünften Grades

$$x^5 + ax^4 + bx^3 \pm bx^2 \pm ax \pm 1 = 0$$

kann auf zwei Gleichungen zurückgeführt werden, von denen die eine  $x \pm 1 = 0$ , und die andere eine reciproke Gleichung des vierten Grades ist, in welcher dieselben Coefficienten gleiche Vorzeichen haben. Die erste gibt bezüglich  $x = -1$  oder  $x = +1$ , die zweite wird nach b) aufgelöst und gibt vier Wurzeln.

### Exponentialgleichungen.

§. 223. Diese werden mit Hilfe der Logarithmen aufgelöst.

a) Gleichungen von der Form  $a^{2x} + pa^x = q$ .

Setzt man  $a^x = y$ , so erhält man  $y^2 + py = q$ , also

$$y = a^x = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}, \text{ und daher}$$

$$x = \frac{\log\left(-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}\right)}{\log a}.$$

z. B.  $4^{2x} + 5 \cdot 4^x = 36$  gibt für  $4^x = y$ ,  $y^2 + 5y = 36$ , woraus  $y = 4^x = 4$  und  $y = 4^x = -9$  folgt; somit  $x = \frac{\log 4}{\log 4} = 1$ .

Der andere Wert  $x = \frac{\log(-9)}{\log 4}$  gibt keine reelle Auflösung.

b) Gleichungen von der Form  $\sqrt[x]{a} + p\sqrt[2x]{a} = q$ .

Für  $\sqrt[2x]{a} = y$  wird  $y^2 + py = q$ , folglich

$$y = \sqrt[2x]{a} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}, \text{ und daher}$$

$$x = \frac{\log a}{2 \log\left(-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} + q}\right)}$$

z. B. Aus  $5\sqrt[5]{64} - 6\sqrt[2x]{64} = 8$  erhält man für  $\sqrt[2x]{64} = y$ ,  $5y^2 - 6y = 8$ , daher  $y = 2$  oder  $-\frac{4}{5}$ , und  $x = \frac{\log 64}{2 \log 2} = \frac{6 \log 2}{2 \log 2} = 3$ . Der zweite Wert von  $x$  ist nicht reell.

### III. Quadratische Gleichungen mit mehreren Unbekannten.

§. 224. Enthält eine quadratische Gleichung mehrere Unbekannte, so lassen sich diese, wie bei den Gleichungen des ersten Grades, nur dann bestimmt angeben, wenn so viele von einander unabhängige und einander nicht widersprechende Gleichungen vorhanden sind, als Unbekannte bestimmt werden sollen. Die Auflösung geschieht auch hier nach den in §. 143 angegebenen Eliminations-Methoden, durch welche man schließlich auf eine einzige Gleichung mit einer Unbekannten kommt. Die Endgleichung übersteigt jedoch häufig den zweiten Grad und kann dann nach den bisher vorgetragenen Lehren nicht gelöst werden.

Beispiele.

$$1) \left. \begin{array}{l} x + y = a \\ xy = b \end{array} \right\} \text{nach der Comparationsmethode.}$$

Aus diesen zwei Gleichungen folgt:

$$\left. \begin{array}{l} x = a - y \\ x = \frac{b}{y} \end{array} \right\} \text{daher } a - y = \frac{b}{y}, \text{ oder geordnet}$$

$$y^2 - ay = -b, \text{ woraus sich}$$

$$y = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}, \text{ und somit } x = \frac{a}{2} \mp \sqrt{\frac{a^2}{4} - b} \text{ ergibt.}$$

Man könnte hier mit Rücksicht auf §. 217, 4, auch so schließen:

Wenn zwischen zwei Größen  $x$  und  $y$  die beiden Gleichungen  $x + y = a$  und  $xy = b$  gegeben sind, so sind  $x$  und  $y$  die Wurzeln der Gleichung  $x^2 - ax + b = 0$ .

$$2) \quad \left. \begin{array}{l} x - y = 7 \\ x^2 + 2y^2 = 118 \end{array} \right\} \text{ nach der Substitutionsmethode.}$$

Wird der Ausdruck  $x = y + 7$ , welcher aus der ersten Gleichung folgt, in die zweite substituirt, so hat man

$$(y + 7)^2 + 2y^2 = 118, \text{ oder geordnet } y^2 + \frac{14y}{3} = 23,$$

welcher Gleichung die Wurzeln  $y = 3$  und  $y = -\frac{23}{3}$  entsprechen.

Werden diese Werte von  $y$  in den Ausdruck  $x = y + 7$  substituirt, so erhält man  $x = 10$ , oder  $x = -\frac{2}{3}$ .

$$3) \quad \left. \begin{array}{l} x^2 + y^2 = 89 \\ x^2 - y^2 = 39 \end{array} \right\} \text{ nach der Methode der gleichen Coefficienten.}$$

Durch Addition und Subtraction dieser Gleichungen erhält man

$$\left. \begin{array}{l} 2x^2 = 128 \\ 2y^2 = 50 \end{array} \right\} \text{ daher } \left. \begin{array}{l} x^2 = 64 \\ y^2 = 25 \end{array} \right\} \text{ und } \left. \begin{array}{l} x = \pm 8, \\ y = \pm 5. \end{array} \right\}$$

§. 225. Einfacher und sicherer, als nach den gewöhnlichen Eliminations-Methoden, erfolgt in vielen Fällen die Auflösung durch geschickte Verbindung und Zerlegung der gegebenen Gleichungen, und insbesondere durch zweckmäßige Einführung neuer Unbekannten. Man sucht zunächst die Summe, Differenz, das Product oder den Quotienten der Unbekannten, und entwickelt dann erst aus diesen Größen die Werte der Unbekannten selbst. Bei symmetrischen, d. i. solchen Gleichungen, welche unverändert bleiben, wenn in denselben zwei Unbekannte  $x$  und  $y$  gegen einander vertauscht werden, führt meistens die Substitution  $y = tx$  zum Ziele.

Durch Anwendung dieser Vortheile lassen sich auch einige höhere Gleichungen mit zwei Unbekannten auflösen.

Beispiele.

$$1) \quad \begin{array}{l} x^2 + y^2 = a. \\ 2xy = b. \end{array}$$

Multipliziert man die zweite Gleichung mit 2, und verbindet die neue Gleichung mit der ersten durch Addition und durch Subtraction, so erhält man

$$\begin{array}{l} (x + y)^2 = a + 2b, \text{ daher } x + y = \pm \sqrt{a + 2b}, \\ (x - y)^2 = a - 2b; \quad \underline{x - y = \pm \sqrt{a - 2b};} \end{array}$$

$$\text{folglich } x = \pm \frac{1}{2} (\sqrt{a + 2b} + \sqrt{a - 2b}),$$

$$y = \pm \frac{1}{2} (\sqrt{a + 2b} - \sqrt{a - 2b}).$$

Dieselben Werte von  $x$  und  $y$  erhält man auch, wenn man in den gegebenen Gleichungen  $y = tx$  substituirt.

$$2) \quad \begin{aligned} x^2 + xy &= ay, \\ y^2 + xy &= bx. \end{aligned}$$

Bringt man die Gleichungen auf die Form

$$\frac{x}{y}(x+y) = a \quad \text{und} \quad \frac{y}{x}(x+y) = b,$$

so erhält man durch Multiplikation und Division

$$(x+y)^2 = ab \quad \text{und} \quad \left(\frac{x}{y}\right)^2 = \frac{a}{b}, \quad \text{daher}$$

$$x+y = \pm \sqrt{ab} \quad \text{und} \quad \frac{x}{y} = \pm \sqrt{\frac{a}{b}}, \quad \text{woraus sich}$$

$$x = \frac{-ab \pm a\sqrt{ab}}{a-b} \quad \text{und} \quad y = \frac{ab \mp b\sqrt{ab}}{a-b} \quad \text{ergibt.}$$

Löse die beiden Gleichungen auch durch die Substitution  $y = tx$  auf.

$$3) \quad xy = a, \quad xz = b, \quad yz = c.$$

Multipliziert man die ersten zwei Gleichungen mit einander und dividiert das Product durch die dritte, so erhält man

$$x^2 = \frac{ab}{c}, \quad \text{daher} \quad x = \pm \sqrt{\frac{ab}{c}}.$$

Auf ähnliche Art findet man

$$y = \pm \sqrt{\frac{ac}{b}}, \quad z = \pm \sqrt{\frac{bc}{a}}.$$

$$4) \quad xy + xz = a, \quad xy + yz = b, \quad xz + yz = c.$$

Setzt man  $xy = x'$ ,  $xz = y'$ ,  $yz = z'$ , so hat man

$$x' + y' = a, \quad x' + z' = b, \quad y' + z' = c.$$

Daraus folgt

$$x' = xy = \frac{a+b-c}{2}; \quad y' = xz = \frac{a+c-b}{2}; \quad z' = yz = \frac{b+c-a}{2};$$

dann erhält man, wie in 3),

$$x = \pm \sqrt{\frac{(a+b-c)(a+c-b)}{2(b+c-a)}},$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{(a+b-c)(b+c-a)}{2(a+c-b)}},$$

$$z = \pm \sqrt{\frac{(a+c-b)(b+c-a)}{2(a+b-c)}}.$$

## Sechster Abschnitt.

### Unbestimmte Gleichungen.

#### I. Unbestimmte Gleichungen des ersten Grades.

§. 226. Führt eine Aufgabe auf weniger Gleichungen, als Unbekannte zu bestimmen sind, so kann man durch wiederholtes Eliminieren der Unbekannten immer zuletzt eine einzige Gleichung mit zwei oder mehreren Unbekannten erhalten. Wird aus dieser Gleichung die eine Unbekannte durch die übrigen ausgedrückt, so kann man für diese letzteren unendlich viele verschiedene Werte setzen, und erhält dann auch für die erste Unbekannte unendlich viele Werte. Eine solche Gleichung ist daher unbestimmt.

Häufig wird bei derlei Aufgaben die Zahl der Auflösungen durch die Forderung beschränkt, daß die Werte der Unbekannten ganze, oder ganze und zugleich positive Zahlen sein sollen. In diesem Falle heißt die Aufgabe eine Diophantische.

#### Auflösung in ganzen Zahlen.

§. 227. Eine unbestimmte Gleichung des ersten Grades läßt keine Auflösung in ganzen Zahlen zu, wenn die Coefficienten der Unbekannten einen gemeinsamen Factor haben, durch welchen das bekannte Glied nicht theilbar ist.

Beweis. Es sei die auf die einfachste Form gebrachte Gleichung

$$ax + by = c,$$

wo  $a$ ,  $b$ ,  $c$  beliebige ganze Zahlen darstellen. Haben  $a$  und  $b$  das gemeinsame Maß  $m$ , durch welches  $c$  nicht theilbar ist, so hat man

$$\frac{a}{m} \cdot x + \frac{b}{m} \cdot y = \frac{c}{m}.$$

Da nun  $\frac{a}{m}$  und  $\frac{b}{m}$  ganze Zahlen sind, so können nicht zugleich  $x$  und  $y$  ganze Zahlen sein, weil sonst auch  $\frac{a}{m} \cdot x + \frac{b}{m} \cdot y$ , folglich auch  $\frac{c}{m}$  eine ganze Zahl wäre, was gegen die Voraussetzung ist.

§. 228. Eine Gleichung des ersten Grades mit zwei Unbekannten, deren Coefficienten relative Primzahlen sind, hat unendlich viele Auflösungen in ganzen Zahlen.

**Beweis.** 1. Die Gleichung  $ax + by = c$ , wo  $a$  und  $b$  relativ prim sind und  $a$  als positiv vorausgesetzt werden kann, läßt immer eine Auflösung in ganzen Zahlen zu.

Denn substituiert man in den aus dieser Gleichung folgenden Ausdruck

$$x = \frac{c - by}{a}$$

für  $y$  nach und nach die  $a$  Werte  $0, 1, 2, 3, \dots, a - 1$  und dividirt die dadurch sich ergebenden  $a$  Werte von  $c - by$  durch  $a$ , so müssen die dabei erscheinenden Divisionsreste sämmtlich verschieden ausfallen. Sind nämlich  $m$  und  $n$  zwei von den Zahlen  $0, 1, 2, \dots, a - 1$ , und würden  $c - bm$  und  $c - bn$  durch  $a$  dividirt denselben Rest  $r$  geben, so daß

$$c - bm = aq + r \text{ und } c - bn = aq_1 + r$$

wäre, so erhielte man, wenn man beide Gleichungen subtrahiert,

$$b(m - n) = a(q_1 - q), \text{ oder } \frac{b(m - n)}{a} = q_1 - q.$$

Es müßte also  $b(m - n)$  durch  $a$  theilbar sein, was nach §. 74, 4, nicht möglich ist, da  $b$  und  $a$  relative Primzahlen sind,  $m - n$  aber kleiner als  $a$  ist und also nicht durch  $a$  theilbar sein kann. Die Reste, welche übrig bleiben, wenn man jene  $a$  Werte von  $c - by$  durch  $a$  dividirt, müssen also alle verschieden sein; es muß daher, da sie zugleich sämmtlich kleiner als  $a$  sind, einer unter ihnen gleich Null sein. Es sei nun  $\beta$  der Wert von  $y$ , welcher dem Reste 0 entspricht; dann wird

$$x = \frac{c - b\beta}{a} = \alpha,$$

wo  $\alpha$  eine ganze Zahl darstellt. Der vorgelegten Gleichung genügen also die ganzen Zahlen

$$x = \alpha, \quad y = \beta.$$

2. Hat aber die Gleichung  $ax + by = c$  eine Auflösung in ganzen Zahlen, so läßt sie deren unendlich viele zu.

Denn ist für diese Gleichung  $x = \alpha, y = \beta$  eine Auflösung in ganzen Zahlen, so hat man

$$a\alpha + b\beta = c.$$

Dann ist auch

$$a\alpha - abu + b\beta + abu = c, \text{ oder}$$

$$a(\alpha - bu) + b(\beta + au) = c.$$

Der gegebenen Gleichung genügen somit allgemein die Werte

$$x = \alpha - bu, \quad y = \beta + au,$$

wo  $u$  eine willkürliche positive oder negative ganze Zahl bezeichnet.

§. 229. Aufgabe. Eine unbestimmte Gleichung des ersten Grades in ganzen Zahlen aufzulösen.

## I. Auflösung durch Substitution.

Man bestimmt aus der Gleichung den Wert derjenigen Unbekannten, deren Coefficient den kleineren Zahlenwert hat, und substituirt darin für die andere Unbekannte nach und nach die Zahlen 0, 1, 2, 3..., bis für eine dieser Substitutionen auch der Wert der ersten Unbekannten eine ganze Zahl wird.

Diese Auflösung beruht auf dem Beweise 1. zu §. 228.

Beispiel. Es sei die Gleichung  $4x - 7y = 75$ . Man erhält daraus

$$x = \frac{75 + 7y}{4}$$

und ist versichert, daß wenn man darin für  $y$  einen der vier Werte 0, 1, 2, 3 setzt, einer der zugehörigen Werte von  $x$  eine ganze Zahl sein wird, so daß man also höchstens vier Versuche zu machen braucht. Man findet für  $y = 3$

$$x = \frac{75 + 21}{4} = \frac{96}{4} = 24.$$

Die vorgelegte Gleichung läßt also die Auflösung  $x = 24$ ,  $y = 3$  zu, und alle übrigen Auflösungen in ganzen Zahlen sind gegeben durch die Formeln

$$x = 24 + 7u, \quad y = 3 + 4u,$$

wo  $u$  eine willkürliche ganze Zahl bedeutet.

Man findet daher folgende Auflösungen:

für $u = \dots$	$-2$	$-1$	$0$	$1$	$2$	$\dots$
ist $x = \dots$	$10$	$17$	$24$	$31$	$38$	$\dots$
$y = \dots$	$-5$	$-1$	$3$	$7$	$11$	$\dots$

Das hier angegebene Verfahren kann sehr weitläufig werden, wenn die Coefficienten beider Unbekannten große Zahlen sind.

## II. Auflösung durch Reduction. (Euler'sche Methode.)

Ganz einfach gestaltet sich die Auflösung, wenn die eine Unbekannte den Coefficienten 1 hat. Z. B. aus der Gleichung  $x + by = c$  folgt  $x = c - by$ ; man kann hier für  $y$  jede beliebige ganze Zahl setzen und erhält dann auch für  $x$  eine ganze Zahl.

Auf diesen Fall läßt sich durch folgendes Verfahren auch jede andere Gleichung

$$ax \pm by = c$$

zurückführen. Man sucht den Wert für diejenige Unbekannte, welche den kleineren Coefficienten hat, scheidet aus dem gefundenen Quotienten die darin enthaltenen Ganzen aus und setzt den in Bruchform erscheinenden Rest einer neuen Unbekannten gleich. Die so gebildete Hilfsgleichung löst man in Bezug auf die zweite der ursprünglichen Unbekannten auf, behandelt den erhaltenen Quotienten wie den früheren und setzt dieses Verfahren fort, bis man endlich,

da die Coefficienten in den Hilfsgleichungen immer kleiner werden, auf eine Gleichung kommt, in welcher die eine Unbekannte den Coefficienten 1 hat. Wird sodann der Wert für diese Unbekannte nach und nach in die vorhergehenden Gleichungen substituiert, so erhält man zuletzt die Formeln für alle ganzen Werte von  $x$  und  $y$ .

### Beispiele.

1) Es sei die Gleichung  $19x - 8y = 52$  gegeben.

Löst man dieselbe nach der Unbekannten  $y$ , welche den kleineren Coefficienten hat, auf, so erhält man

$$y = \frac{19x - 52}{8},$$

oder, wenn man aus diesem Quotienten die darin enthaltenen Ganzen absondert,

$$y = 2x - 6 + \frac{3x - 4}{8}.$$

Da  $x$  und  $y$  ganze Zahlen sein sollen, so muß auch der in Bruchform erscheinende Ausdruck  $\frac{3x - 4}{8}$  eine ganze Zahl sein. Setzt man  $\frac{3x - 4}{8} = u_1$ , so hat man

$$y = 2x - 6 + u_1 \dots 1).$$

Löst man die Hilfsgleichung  $\frac{3x - 4}{8} = u_1$  nach  $x$  auf, so erhält man

$$x = \frac{8u_1 + 4}{3},$$

oder, wenn man aus diesem Quotienten die Ganzen ausscheidet,

$$x = 2u_1 + 1 + \frac{2u_1 + 1}{3}.$$

Da  $x$  und  $u_1$  ganze Zahlen sein sollen, so muß auch  $\frac{2u_1 + 1}{3}$  eine solche sein. Bezeichnet man sie durch  $u_2$ , so ist

$$x = 2u_1 + 1 + u_2 \dots 2).$$

Die Gleichung  $\frac{2u_1 + 1}{3} = u_2$  gibt nach  $u_1$  aufgelöst

$$u_1 = \frac{3u_2 - 1}{2} = u_2 + \frac{u_2 - 1}{2},$$

und wenn  $\frac{u_2 - 1}{2} = u_3$  gesetzt wird,

$$u_1 = u_2 + u_3 \dots 3).$$

Aus  $\frac{u_2 - 1}{2} = u_3$  folgt endlich die Gleichung

$$u_2 = 2u_3 + 1 \dots 4),$$

in welcher die Unbekannte  $u_2$  den Coefficienten 1 hat und für jeden beliebigen ganzen Wert von  $u_3$  eine ganze Zahl wird.

Setzt man nun den Wert von  $u_2$  nach und nach in die früheren Gleichungen 3), 2) und 1) ein, so ergibt sich

$$u_1 = 2u_3 + 1 + u_3 = 3u_3 + 1,$$

$$x = 6u_3 + 2 + 1 + 2u_3 + 1 = 8u_3 + 4,$$

$$y = 16u_3 + 8 - 6 + 3u_3 + 1 = 19u_3 + 3.$$

Die allgemeine Auflösung in ganzen Zahlen ist also gegeben durch die Formeln

$$x = 8u + 4, \quad y = 19u + 3,$$

wo für  $u$  jede beliebige ganze Zahl gesetzt werden kann.

$$\begin{array}{r|l} \text{Für } u = \dots - 10 & -1 & 0 & 1 & 10 & \dots \\ \text{ist } x = \dots - 76 & -4 & 4 & 12 & 84 & \dots \\ y = \dots - 187 & -16 & 4 & 22 & 193 & \dots \end{array}$$

2. Es sei die Gleichung  $11x + 28y = 106$  in ganzen Zahlen aufzulösen.

$$11x + 28y = 106 \text{ gibt } x = \frac{106 - 28y}{11} = 9 - 2y + \frac{7 - 6y}{11}$$

$$= 9 - 2y + u_1,$$

$$\frac{7 - 6y}{11} = u_1 \quad \text{,,} \quad y = \frac{7 - 11u_1}{6} = 1 - u_1 + \frac{1 - 5u_1}{6}$$

$$= 1 - u_1 + u_2,$$

$$\frac{1 - 5u_1}{6} = u_2 \quad \text{,,} \quad u_1 = \frac{1 - 6u_2}{5} = -u_2 + \frac{1 - u_2}{5}$$

$$= -u_2 + u_3;$$

$$\frac{1 - u_2}{5} = u_3 \quad \text{,,} \quad u_2 = 1 - 5u_3.$$

Hieraus ergibt sich durch allmähliche Substitution

$$u_1 = -1 + 5u_3 + u_3 = -1 + 6u_3,$$

$$y = 1 + 1 - 6u_3 + 1 - 5u_3 = 3 - 11u_3,$$

$$x = 9 - 6 + 22u_3 - 1 + 6u_3 = 2 + 28u_3.$$

wo  $u_3$  jede beliebige ganze Zahl sein kann.

**Satz.** Die Methode von Lagrange, eine unbestimmte Gleichung des ersten Grades mit Hilfe der Kettenbrüche in ganzen Zahlen aufzulösen, wird weiter unten (§. 248) angeführt werden.

**§. 230.** 1. Um ein System von zwei Gleichungen mit drei Unbekannten in ganzen Zahlen aufzulösen, leitet man aus demselben durch Elimination eine Gleichung mit zwei Unbekannten ab und löst dieselbe nach einer der in §. 229 angeführten Methoden auf. Substituiert man dann die gefundenen allgemeinen Werte dieser beiden Unbekannten in eine der Gleichungen, welche auch die dritte Unbekannte enthalten, und löst dieselbe als eine zweite unbestimmte Gleichung auf, so ergeben sich zuletzt die zusammengehörigen Ausdrücke für alle drei Unbekannten.

2. Um eine unbestimmte Gleichung mit mehr als zwei Unbekannten in ganzen Zahlen aufzulösen, wendet man die in §. 229 unter II.

entwickelte Reducionsmethode an. Man kommt auch hier zuletzt immer auf eine Gleichung, in welcher die eine Unbekannte 1 zum Coefficienten hat, und erhält dann durch gehörige Substitution die allgemeinen Ausdrücke für die Unbekannten der gegebenen Gleichung, in denen jedoch meist mehrere Hilfs-Unbekannte erscheinen.

### Auflösung in ganzen und positiven Zahlen.

§. 231. Die Gleichung  $ax + by = c$  hat eine begrenzte, die Gleichung  $ax - by = c$  eine unbegrenzte Anzahl von Auflösungen in ganzen positiven Zahlen.

**Beweis.** 1. Zur Auflösung der Gleichung  $ax + by = c$  in ganzen Zahlen hat man die Formeln

$$x = \alpha - bu, \quad y = \beta + au.$$

Sollen nun  $x$  und  $y$  positiv sein, so muß

$$\alpha - bu > 0 \quad \text{und} \quad \beta + au > 0, \quad \text{also}$$

$$u < \frac{\alpha}{b} \quad \text{und} \quad u > -\frac{\beta}{a}$$

sein. Man erhält daher nur für solche ganze Werte von  $u$ , welche zwischen den Grenzen  $\frac{\alpha}{b}$  und  $-\frac{\beta}{a}$  liegen, ganze und positive Werte von  $x$  und  $y$ .

2. Der Gleichung  $ax - by = c$  genügen die ganzen Werte

$$x = \alpha + bu, \quad y = \beta + au.$$

Damit  $x$  und  $y$  positiv seien, muß

$$\alpha + bu > 0 \quad \text{und} \quad \beta + au > 0, \quad \text{also}$$

$$u > -\frac{\alpha}{b} \quad \text{und} \quad u > -\frac{\beta}{a}$$

sein. Da es unendlich viele ganze Werte von  $u$  gibt, welche  $> -\frac{\alpha}{b}$  und zugleich  $> -\frac{\beta}{a}$  sind, so können auch  $x$  und  $y$  unendlich viele ganze und positive Werte haben.

§. 232. Aufgabe. Eine unbestimmte Gleichung des ersten Grades in ganzen positiven Zahlen aufzulösen.

Man stellt zuerst die allgemeine Lösung in ganzen Zahlen auf und beschränkt dann die noch willkürlichen Werte für die Hilfs-Unbekannte so, daß die Ausdrücke für die Unbekannten der gegebenen Gleichung positiv werden.

**Beispiele.** 1) Es soll die Gleichung  $13x + 19y = 356$  in ganzen positiven Zahlen aufgelöst werden.

Zur Auflösung in ganzen Zahlen erhält man

$$x = 42 - 19u, \quad y = -10 + 13u.$$

Damit nun  $x$  und  $y$  positiv seien, muß

$$\begin{aligned} 42 - 19u > 0, \quad \text{also} \quad u < \frac{42}{19}, \quad \text{und} \\ -10 + 13u > 0, \quad \text{also} \quad u > \frac{10}{13} \quad \text{sein.} \end{aligned}$$

Für  $u$  können daher nur ganze Werte zwischen den Grenzen  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{4}{3}$ , somit nur die zwei Werte  $u = 1$  und  $u = 2$  gesetzt werden. Die Gleichung läßt also zwei Auflösungen in ganzen und positiven Zahlen zu:

$$\text{für } u = 1 \text{ wird } x = 23, y = 3;$$

$$\text{„ } u = 2 \text{ „ } x = 4, y = 16.$$

2) Man löse die Gleichung  $13x + 17y = 77$  in ganzen und positiven Zahlen auf.

Die Gleichung in ganzen Zahlen aufgelöst gibt

$$x = 2 - 17u, \quad y = 3 + 13u.$$

Damit  $2 - 17u > 0$  und  $3 + 13u > 0$  werde, muß  $u < \frac{2}{17}$  und  $u > -\frac{3}{13}$  sein. Da man für  $u$  nur ganze Zahlen, die Null mitgerechnet, setzen darf, so kann die einzige Substitution  $u = 0$  für  $x$  und  $y$  ganze und positive Werte geben; man erhält dafür  $x = 2$  und  $y = 3$ .

3) Die Gleichung  $7x - 17y = 50$  in ganzen positiven Zahlen aufzulösen.

Die ganzen Werte von  $x$  und  $y$  enthalten die Formeln

$$x = 17u + 12 \quad \text{und} \quad y = 7u + 2,$$

aus denen man sogleich erkennt, daß für  $u$  keine negativen Werte, dagegen 0 und alle positiven ganzen Zahlen gesetzt werden dürfen. Die Aufgabe hat unendlich viele Auflösungen;

für $u = 0$	1	2	3	...
erhält man $x = 12$	29	46	63	...
$y = 2$	9	16	23	...

4) Der Bruch  $\frac{230}{77}$  soll als Summe zweier Brüche dargestellt werden, deren Nenner 7 und 11 sind.

Heißen  $x$  und  $y$  die Zähler der gesuchten Brüche, so hat man

$$\frac{x}{7} + \frac{y}{11} = \frac{230}{77}, \quad \text{oder} \quad 11x + 7y = 230.$$

Diese Gleichung in ganzen Zahlen aufgelöst gibt

$$x = 5 - 7u, \quad y = 25 + 11u.$$

Damit  $5 - 7u > 0$  und  $25 + 11u > 0$  werde, muß  $u < \frac{5}{7}$  und  $u > -\frac{25}{11}$  gesetzt werden. Diesen Bedingungen entsprechen für  $u$  nur die drei Werte 0, -1, -2. Man hat daher

$$\text{für } u = 0 \quad \dots \quad x = 5, \quad y = 25;$$

$$\text{„ } u = -1 \quad \dots \quad x = 12, \quad y = 14;$$

$$\text{„ } u = -2 \quad \dots \quad x = 19, \quad y = 3.$$

Die gesuchten Brüche sind demnach

$$\frac{5}{7} \text{ und } \frac{25}{11}, \quad \text{oder} \quad \frac{12}{7} \text{ und } \frac{14}{11}, \quad \text{oder} \quad \frac{19}{7} \text{ und } \frac{3}{11}.$$

## II. Unbestimmte Gleichungen des zweiten Grades.

§. 233. Die allgemeine Form einer quadratischen Gleichung mit zwei Unbekannten ist

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0.$$

Dabei sind zwei Hauptfälle zu unterscheiden: entweder kommt die eine Unbekannte, z. B.  $y$ , nur in der ersten Potenz, oder es kommen beide Unbekannten in der zweiten Potenz vor. Im ersten Falle erhält man für  $y$  einen von  $x$  abhängigen Ausdruck in rationaler, im zweiten in irrationaler Form. In beiden Fällen genügen der Gleichung unendlich viele Werte von  $x$  und  $y$ ; die Zahl der Auflösungen wird jedoch gewöhnlich durch die Bedingung beschränkt, daß für quadratische Gleichungen, in denen die eine Unbekannte nur in der ersten Potenz vorkommt,  $x$  und  $y$  ganz positive, für Gleichungen dagegen, in denen  $x$  und  $y$  in der zweiten Potenz vorkommen, dieselben überhaupt rationale Zahlen sein sollen.

Die Schwierigkeiten bei der Lösung der unbestimmten Gleichungen des zweiten Grades sind ungleich größer und mannigfaltiger, als bei den unbestimmten Gleichungen des ersten Grades. Hier sollen nur die wichtigeren hieher gehörigen Aufgaben untersucht werden.

§. 234. Aufgabe. Eine quadratische Gleichung mit zwei Unbekannten, von denen die eine nur in der ersten Potenz vorkommt, in ganzen positiven Zahlen aufzulösen.

Kommt  $y$  nur in der ersten Potenz vor, so hat die quadratische Gleichung zwischen  $x$  und  $y$  die Form

$$Ax^2 + Bxy + Cx + Dy + E = 0,$$

wo  $A, B, C, D$  und  $E$  als ganze Zahlen, und überdies die Coefficienten der Unbekannten als relative Primzahlen (§. 228) anzunehmen seien. Löst man die Gleichung nach  $y$  auf, so folgt

$$y = \frac{-Ax^2 - Cx - E}{Bx + D},$$

oder, wenn man wirklich dividirt, bis der Rest kein  $x$  mehr enthält, ein Ausdruck von der Form

$$y = mx + n + \frac{p}{Bx + D}.$$

Sind  $m, n, p$  Brüche, so erhält man durch Multiplication mit dem kleinsten gemeinsamen Vielfachen der Nenner eine Gleichung von der Form

$$ay = bx + c + \frac{d}{Bx + D}.$$

Damit nun  $x$  und  $y$  ganze positive Zahlen seien, muß zunächst  $d$  durch  $Bx + D$  theilbar sein; man zerlegt daher  $d$  in alle seine Factoren, nimmt

für  $x$  nur solche ganz positive Werte, für welche  $Bx + D$  ein Factor von  $d$  ist, und wählt dann von diesen Werten selbst nur diejenigen, für welche auch  $y$  positiv wird.

Beispiel. Es sei  $2x^2 + 3xy - 4x - 2y - 20 = 0$  in ganzen positiven Zahlen aufzulösen. Man erhält

$$y = \frac{-2x^2 + 4x + 20}{3x - 2} = -\frac{2}{3}x + \frac{8}{9} + \frac{196}{3x-2};$$

daher 
$$9y = -6x + 8 + \frac{196}{3x-2}.$$

Nun sucht man alle Factoren von 196 (§. 83, Zusatz) und setzt

$$3x - 2 = 1, 2, 4, 7, 14, 28, 49, 98, 196, \text{ daher}$$

$$x = 1, \frac{4}{3}, 2, 3, 5\frac{1}{3}, 10, 17, 1\frac{1}{3}, 66.$$

Da  $y = \frac{-2x^2 + 4x + 20}{3x - 2}$  ist der Nenner für jeden ganzen positiven

Wert von  $x$  positiv; damit auch der Zähler positiv werde, darf man für  $x$  nur solche ganze positive Werte setzen, welche kleiner als 5 sind. Von den obigen Werten von  $x$  sind demnach nur 1, 2, 3 brauchbar und man findet drei Auflösungen in ganzen positiven Zahlen:

$$x = 1, 2, 3;$$

$$y = 22, 5, 2.$$

§. 235. Aufgabe. Eine quadratische Gleichung mit zwei Unbekannten, von denen eine nur in der zweiten Potenz vorkommt, in rationalen Zahlen aufzulösen.

Die allgemeine Form einer solchen Gleichung ist

$$y^2 = ax^2 + bx + c.$$

Die Auflösung soll hier nur für einige einfachere Fälle gezeigt werden.

1. Es sei  $a = m^2$  ein vollständiges Quadrat. Man setze

$$y = \sqrt{m^2x^2 + bx + c} = mx + p, \text{ also}$$

$$m^2x^2 + bx + c = m^2x^2 + 2mpx + p^2,$$

woraus

$$x = \frac{p^2 - c}{b - 2mp}$$

folgt, wo  $p$  eine beliebige rationale Zahl bedeutet. Hiernach wird

$$y = mx + p = \frac{mp^2 - mc}{b - 2mp} + p = \frac{bp - mp^2 - mc}{b - 2mp}, \text{ also rational.}$$

Ist z. B.  $y = \sqrt{9x^2 + 5x + 3}$ , so erhält man  $x = \frac{p^2 - 3}{5 - 6p}$  und

$$y = \frac{5p - 3p^2 - 9}{5 - 6p},$$

wo man für  $p$  jede beliebige rationale Zahl,  $p = \frac{5}{6}$  ausgenommen, setzen kann. Für  $p = 1$  wird  $x = 2$  und  $y = 7$ .

2. Es sei  $c = n^2$  ein vollständiges Quadrat. Man setze

$$y = \sqrt{ax^2 + bx + n^2} = px + n, \text{ also} \\ ax^2 + bx + n^2 = p^2x^2 + 2npx + n^2,$$

woraus  $x = \frac{2np - b}{a - p^2}$  und  $y = px + n = \frac{np^2 - bp + an}{a - p^2}$

folgt, wo  $p$  irgend eine rationale Zahl bedeutet.

3. Es lasse sich der Ausdruck  $ax^2 + bx + c$  in zwei rationale Factoren zerlegen, was nach §. 219, 2 erfüllt wird, wenn die Gleichung  $ax^2 + bx + c = 0$  rationale Wurzeln hat.

Sind  $qx + r$  und  $sx + t$  die beiden rationalen Factoren, so setze man

$$y = \sqrt{(qx + r)(sx + t)} = p(sx + t), \text{ also} \\ (qx + r)(sx + t) = p^2(sx + t)^2,$$

woraus  $x = \frac{p^2t - r}{q - p^2s}$  und  $y = p(sx + t) = \frac{p(qt - rs)}{q - p^2s}$

folgt, wo  $p$  eine beliebige rationale Zahl bedeutet.

§. 236. Aufgabe. Eine vollständige quadratische Gleichung mit zwei Unbekannten in rationalen Zahlen aufzulösen.

Wird aus der allgemeinen Gleichung

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0$$

$y$  entwickelt, so erhält man

$$y = -\frac{Bx + E}{2C} \pm \sqrt{\frac{(Bx + E)^2}{4C^2} - \frac{Ax^2 + Dx + F}{C}},$$

oder

$$y = \frac{1}{2C} \left\{ -(Bx + E) \pm \sqrt{(B^2 - 4AC)x^2 + (2BE - 4CD)x + (E^2 - 4CF)} \right\},$$

und wenn

$$B^2 - 4AC = a, \quad 2BE - 4CD = b, \quad E^2 - 4CF = c$$

gesetzt wird,

$$y = \frac{1}{2C} \left\{ -(Bx + E) \pm \sqrt{ax^2 + bx + c} \right\}.$$

Die Lösung der vorgelegten Gleichung reducirt sich also auf die vorhergehende Aufgabe (§. 235), alle rationalen Werte von  $x$  zu finden, für welche der Ausdruck  $\sqrt{ax^2 + bx + c}$  rational wird.

## Siebenter Abschnitt.

### Kettenbrüche.

§. 237. Ein Bruch, dessen Nenner die Summe aus einer ganzen Zahl und einem Bruche ist, von welchem der Nenner wieder dieselbe Zusammensetzung haben kann, heißt ein Kettenbruch. Hier soll nur von solchen Kettenbrüchen die Rede sein, deren alle Zähler 1 sind; ihre allgemeine Form ist

$$\frac{1}{a + \frac{1}{b + \frac{1}{c + \dots}}}$$

Die Brüche  $\frac{1}{a}, \frac{1}{b}, \frac{1}{c}, \dots$  heißen Glieder des Kettenbruches. Hat der Kettenbruch eine endliche Zahl von Gliedern, so heißt er selbst ein endlicher, sonst ein unendlicher Kettenbruch.

**Verwandlung eines gemeinen Bruches in einen Kettenbruch und umgekehrt.**

§. 238. Aufgabe. Einen gemeinen echten Bruch in einen Kettenbruch zu verwandeln.

Man dividire den Nenner durch den Zähler, dann den früheren Divisor durch den Rest, den neuen Divisor durch den neuen Rest, u. s. w., bis eine dieser Divisionen ohne Rest aufgeht; die einzelnen Quotienten sind die Nenner der aufeinander folgenden Glieder des Kettenbruches.

**Beweis.** Ist  $\frac{a}{b}$  ein echter Bruch, also  $a < b$ , so hat man

$$\begin{aligned} \frac{a}{b} &= \frac{1}{b : a} = \frac{1}{q_1} + \frac{r_1}{a} \\ &= \frac{1}{q_1} + \frac{1}{a : r_1} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{r_2}{r_1} \\ &= \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{r_1 : r_2} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3} + \frac{r_3}{r_2}, \text{ u. s. w.,} \end{aligned}$$

wenn  $b : a$  den Quotienten  $q_1$  mit dem Reste  $r_1$ ,

$a : r_1$  " " " " " "  $r_2$ ,

$r_1 : r_2$  " " " " " "  $r_3$ ,

u. s. w. gibt.

Der hier begründete Rechnungsgang ist übereinstimmend mit der in §. 72 zur Auffindung des größten gemeinsamen Maßes von  $b$  und  $a$  angegebenen Kettendivision, woraus folgt, daß man auch hier, wie dort, endlich auf einen Rest  $= 0$  kommen müsse. Wäre in der obigen allgemeinen Entwicklung z. B.  $r_3 = 0$ , so hätte man den endlichen Kettenbruch

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3}.$$

Der gemeine Bruch  $\frac{a}{b}$  wird in Bezug auf den erhaltenen Kettenbruch der Erzeugungsbruch genannt.

Ist z. B.  $\frac{69}{151}$  in einen Kettenbruch zu verwandeln, so hat man folgende Rechnung:

$$\begin{array}{r|l} 151 : 69 = 2 \text{ mit dem Reste } 13 & \text{oder } 69 \left| \begin{array}{l} 151 \\ 13 \\ 1 \\ 4 \end{array} \right. \begin{array}{l} 2 = q_1 \\ 5 = q_2 \\ 3 = q_3 \\ 4 = q_4 \end{array} \\ 69 : 13 = 5 \text{ " " " } 4 & \\ 13 : 4 = 3 \text{ " " " } 1 & \\ 4 : 1 = 1 & \end{array}$$

$$\text{daher } \frac{69}{151} = \frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}.$$

**Zusatz.** Um einen unechten Bruch in einen Kettenbruch zu verwandeln, stelle man denselben als eine gemischte Zahl dar, verwandle dann den angehängten echten Bruch in einen Kettenbruch und setze diesem noch die erhaltene ganze Zahl voraus. Der Kettenbruch hat in diesem Falle die Form

$$\frac{a}{b} = q + \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3} + \dots$$

§. 239. **Aufgabe.** Einen endlichen Kettenbruch in einen gemeinen Bruch zu verwandeln.

Man vereinige das letzte Glied des Kettenbruches mit dem Nenner des vorletzten zu einem unechten Bruche und dividire dadurch den Zähler 1 dieses vorletzten Gliedes; den erhaltenen Bruch vereinige man wieder mit dem Nenner des vorhergehenden Gliedes und dividire dadurch den Zähler 1 desselben, und setze dieses Verfahren bis zum ersten Gliede fort.

$$\text{z. B. } \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{8} + \frac{1}{5} = \frac{128}{553}. \text{ Man rechnet:}$$

$$8 + \frac{1}{5} = \frac{41}{5}; \frac{1}{41} = \frac{5}{41}; 3 + \frac{5}{41} = \frac{128}{41}; \frac{1}{128} = \frac{41}{128};$$

$$4 + \frac{41}{128} = \frac{553}{128}; \frac{1}{553} = \frac{128}{553}.$$

Ein anderes Verfahren, einen Kettenbruch in einen gemeinen Bruch zu verwandeln, wird weiter unten (§. 241) angegeben werden.

### Näherungsbrüche und ihre Eigenschaften.

§. 240. Bricht man einen Kettenbruch bei irgend einem Gliede ab und verwandelt den bis dahin reichenden Kettenbruch mit Vernachlässigung der folgenden Glieder in einen gemeinen Bruch, so heißt dieser ein Näherungsbruch des ganzen Kettenbruches, und zwar der erste, zweite, dritte, ..., je nachdem man nur das erste, oder die ersten zwei, drei, .... Glieder in Anspruch nimmt. Bezeichnet man für den Kettenbruch

$$\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3} + \frac{1}{q_4} + \dots$$

die aufeinander folgenden Näherungsbrüche durch  $\frac{Z_1}{N_1}, \frac{Z_2}{N_2}, \frac{Z_3}{N_3}, \dots$ , so ist

$$\frac{Z_1}{N_1} = \frac{1}{q_1}, \quad \frac{Z_2}{N_2} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2}, \quad \frac{Z_3}{N_3} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3}, \quad \text{u. s. w.}$$

Bei einem endlichen Kettenbruche stellt der letzte Näherungsbruch zugleich den Erzeugungsbruch selbst dar.

§. 241. Der Zähler eines Näherungsbruches (vom dritten an) ist gleich dem Producte aus dem Zähler des vorhergehenden Näherungsbruches und dem Nenner des neu hinzukommenden Gliedes, vermehrt um den Zähler des zweitvorhergehenden Näherungsbruches; ebenso ist der Nenner eines Näherungsbruches gleich dem Producte aus dem Nenner des vorhergehenden Näherungsbruches und dem Nenner des neu zugezogenen Gliedes, vermehrt um den Nenner des zweitvorhergehenden Näherungsbruches.

**Beweis.** Für die ersten Näherungsbrüche erhält man:

$$\frac{Z_1}{N_1} = \frac{1}{q_1}, \quad \text{daher } Z_1 = 1, \quad N_1 = q_1.$$

$$\frac{Z_2}{N_2} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{\frac{q_1 q_2 + 1}{q_2}} = \frac{q_2}{q_1 q_2 + 1}, \quad \text{daher}$$

$$Z_2 = q_2, \quad N_2 = q_1 q_2 + 1.$$

$$\frac{Z_3}{N_3} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{\frac{q_2 q_3 + 1}{q_3}} = \frac{1}{q_1} + \frac{q_3}{q_2 q_3 + 1}$$

$$\frac{1}{\frac{q_1 q_2 q_3 + q_1 + q_3}{q_2 q_3 + 1}} = \frac{q_2 q_3 + 1}{q_1 q_2 q_3 + q_1 + q_3} = \frac{q_2 q_3 + 1}{(q_1 q_2 + 1) q_3 + q_1}$$

$$\text{oder } \frac{Z_3}{N_3} = \frac{Z_2 q_3 + Z_1}{N_2 q_3 + N_1}, \quad \text{daher } Z_3 = Z_2 q_3 + Z_1, \quad N_3 = N_2 q_3 + N_1;$$

woraus hervorgeht, daß das obige Gesetz für den dritten Näherungsbruch richtig ist.

Gezeigt nun, dasselbe Gesetz gelte für den  $n$  ten Näherungsbruch, so dass

$$\frac{Z_n}{N_n} = \frac{Z_{n-1} q_n + Z_{n-2}}{N_{n-1} q_n + N_{n-2}}$$

sei. Um aus dem  $n$  ten Näherungsbruche den  $(n + 1)$  ten zu erhalten, darf man mit Rücksicht auf die Glieder des Kettenbruches, welche zu  $\frac{Z_n}{N_n}$  und  $\frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}}$  gehören, nur in dem ersteren  $q_n + \frac{1}{q_{n+1}}$  statt  $q_n$  setzen. Man erhält dann

$$\begin{aligned} \frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}} &= \frac{Z_{n-1} \left( q_n + \frac{1}{q_{n+1}} \right) + Z_{n-2}}{N_{n-1} \left( q_n + \frac{1}{q_{n+1}} \right) + N_{n-2}} = \frac{Z_{n-1} (q_n q_{n+1} + 1) + Z_{n-2} q_{n+1}}{N_{n-1} (q_n q_{n+1} + 1) + N_{n-2} q_{n+1}} \\ &= \frac{(Z_{n-1} q_n + Z_{n-2}) q_{n+1} + Z_{n-1}}{(N_{n-1} q_n + N_{n-2}) q_{n+1} + N_{n-1}}, \text{ somit} \\ &\frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}} = \frac{Z_n q_{n+1} + Z_{n-1}}{N_n q_{n+1} + N_{n-1}}. \end{aligned}$$

Gilt daher das obige Bildungsgesetz für den  $n$  ten Näherungsbruch, so ist es auch für den  $(n + 1)$  ten richtig. Nun gilt dieses Gesetz, wie gezeigt wurde, für den dritten Näherungsbruch, also gilt es auch für den vierten, folglich auch für den fünften, u. s. w.; folglich gilt dasselbe allgemein.

Mit Rücksicht auf die hier nachgewiesene Eigenschaft lassen sich aus den zwei ersten Näherungsbrüchen ohne Schwierigkeit alle nacheinander folgenden Näherungsbrüche und daher bei einem endlichen Kettenbruche auch der Erzeugungsbruch bestimmen.

3. B. Für den Kettenbruch  $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6}$

hat man

$$\frac{Z_1}{N_1} = \frac{1}{2}, \quad \frac{Z_2}{N_2} = \frac{3}{7};$$

daher

$$Z_3 = 3 \cdot 4 + 1 = 13, \quad N_3 = 7 \cdot 4 + 2 = 30; \quad \frac{Z_3}{N_3} = \frac{13}{30};$$

$$Z_4 = 13 \cdot 5 + 3 = 68, \quad N_4 = 30 \cdot 5 + 7 = 157; \quad \frac{Z_4}{N_4} = \frac{68}{157};$$

$$Z_5 = 68 \cdot 6 + 13 = 421, \quad N_5 = 157 \cdot 6 + 30 = 972; \quad \frac{Z_5}{N_5} = \frac{421}{972};$$

oder

Nenner 2, 3, 4, 5, 6,

Näherungsbrüche  $\frac{1}{2}, \frac{3}{7}, \frac{13}{30}, \frac{68}{157}, \frac{421}{972}$ .

Der letzte Näherungsbruch stellt zugleich den Erzeugungsbruch des gegebenen Kettenbruches dar.

§. 242. Die Näherungsbrüche mit ungeradem Stellenzeiger sind größer, die Näherungsbrüche mit geradem Stellenzeiger sind kleiner als der vollständige Wert des Kettenbruches.

**Beweis.** Drückt man die nach dem ersten, zweiten, dritten, . . . Gliede weggelassenen Theile des Kettenbruches durch  $x_1, x_2, x_3, \dots$  aus, so ist

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{q_1 + x_1} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2 + x_2} = \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{q_3 + x_3} = \dots$$

Nun ist  $q_1 < q_1 + x_1$ , daher  $\frac{1}{q_1} > \frac{1}{q_1 + x_1}$ , oder  $\frac{Z_1}{N_1} > \frac{a}{b}$ .

Ferner ist  $q_2 < q_2 + x_2$ , daher  $\frac{1}{q_2} > \frac{1}{q_2 + x_2}$ , somit auch  $q_1 + \frac{1}{q_2} > q_1 + \frac{1}{q_2 + x_2}$ ; folglich  $\frac{1}{q_1 + \frac{1}{q_2}} < \frac{1}{q_1 + \frac{1}{q_2 + x_2}}$ , oder  $\frac{Z_2}{N_2} < \frac{a}{b}$ .

Durch dieselbe Schlussweise ergibt sich

$$\frac{Z_3}{N_3} > \frac{a}{b}, \quad \frac{Z_4}{N_4} < \frac{a}{b}, \text{ u. s. w.};$$

allgemein  $\frac{Z_{2m-1}}{N_{2m-1}} > \frac{a}{b}$  und  $\frac{Z_{2m}}{N_{2m}} < \frac{a}{b}$ .

**Folgesatz.** Der vollständige Wert eines Kettenbruches liegt immer zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Näherungsbrüchen.

§. 243. 1. Die Differenz zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Näherungsbrüchen ist gleich einem Bruche, dessen Zähler  $\pm 1$  und dessen Nenner das Product der Nenner der beiden Näherungsbrüche ist.

**Beweis.** Es ist

$$\frac{Z_{n-1}}{N_{n-1}} - \frac{Z_n}{N_n} = \frac{Z_{n-1} N_n - Z_n N_{n-1}}{N_{n-1} N_n}, \text{ und}$$

$$\begin{aligned} \frac{Z_n}{N_n} - \frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}} &= \frac{Z_n}{N_n} - \frac{Z_n q_{n+1} + Z_{n-1}}{N_n q_{n+1} + N_{n-1}} \\ &= \frac{Z_n N_{n-1} - Z_{n-1} N_n}{N_n (N_n q_{n+1} + N_{n-1})} = \frac{-(Z_{n-1} N_n - Z_n N_{n-1})}{N_n N_{n+1}}. \end{aligned}$$

Hiernach ist allgemein der Zähler des Bruches, welcher die Differenz  $\frac{Z_n}{N_n} - \frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}}$  ausdrückt, das Entgegengesetzte des Zählers von dem Bruche für die Differenz  $\frac{Z_{n-1}}{N_{n-1}} - \frac{Z_n}{N_n}$ , also für die nächstvorhergehende Differenz. Nun ist dieser Zähler für die erste Differenz, d. i. für

$$\frac{Z_1}{N_1} - \frac{Z_2}{N_2} = \frac{1}{q_1} - \frac{q_2}{q_1 q_2 + 1} = \frac{+1}{q_1(q_1 q_2 + 1)} = \frac{+1}{N_1 N_2}$$

gleich  $+1$ , demnach für die zweite Differenz  $-1$ , und sofort für die aufeinander folgenden Differenzen abwechselnd  $+1$  und  $-1$ .

2. Die Differenz zwischen einem Näherungsbruche und dem vollständigen Werte eines Kettenbruches ist absolut genommen kleiner als ein Bruch, dessen Zähler 1 und dessen Nenner das Quadrat des Nenners des Näherungsbruches ist.

Da der vollständige Wert  $\frac{a}{b}$  des Kettenbruches immer zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgenden Näherungsbrüchen liegt, so ist der Unterschied  $\frac{Z_n}{N_n} - \frac{a}{b}$  absolut genommen kleiner als der Unterschied  $\frac{Z_n}{N_n} - \frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}}$ , somit

$$\frac{Z_n}{N_n} - \frac{a}{b} < \frac{1}{N_n N_{n+1}}.$$

Wegen  $N_{n+1} > N_n$  ist nun  $N_n N_{n+1} > N_n^2$ , und  $\frac{1}{N_n N_{n+1}} < \frac{1}{N_n^2}$ , daher auch

$$\frac{Z_n}{N_n} - \frac{a}{b} < \frac{1}{N_n^2}.$$

**Zusatz.** Da  $N_1^2 < N_2^2 < N_3^2 < N_4^2 < \dots$ , daher

$$\frac{1}{N_1^2} > \frac{1}{N_2^2} > \frac{1}{N_3^2} > \frac{1}{N_4^2} > \dots \text{ ist,}$$

so folgt, daß jeder folgende Näherungsbruch von dem vollständigen Werte des Kettenbruches um weniger verschieden ist, als der vorhergehende, daß sich also die aufeinander folgenden Näherungsbrüche diesem Werte immer mehr nähern, bis der letzte, wenn es einen gibt, mit ihm zusammenfällt.

§. 244. Zähler und Nenner eines jeden Näherungsbruches sind relative Primzahlen.

Für die Näherungsbrüche  $\frac{Z_{n-1}}{N_{n-1}}$  und  $\frac{Z_n}{N_n}$  ist (§. 243, 1) absolut genommen

$$Z_{n-1} N_n - Z_n N_{n-1} = 1.$$

Wären nun  $Z_n$  und  $N_n$  nicht relative Primzahlen, sondern sie hätten ein gemeinsames Maß  $m$ , so wäre  $m$  auch ein Maß von  $Z_{n-1} N_n - Z_n N_{n-1}$  (§. 71) und folglich ein Maß von 1, was nicht möglich ist.

§. 245. Zwischen zwei unmittelbar aufeinander folgende Näherungsbrüche läßt sich kein Bruch einschalten, dessen Nenner nicht größer ist, als der größere Nenner der beiden Näherungsbrüche.

Gesetzt, es würde der gemeine Bruch  $\frac{p}{q}$  zwischen den Näherungsbrüchen  $\frac{Z_n}{N_n}$  und  $\frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}}$  liegen, so müßte absolut genommen

$$\frac{Z_n}{N_n} - \frac{p}{q} < \frac{Z_n}{N_n} - \frac{Z_{n+1}}{N_{n+1}}, \text{ oder } \frac{Z_n q - N_n p}{N_n q} < \frac{1}{N_n N_{n+1}}, \text{ daher}$$

$$\frac{Z_n q - N_n p}{q} < \frac{1}{N_{n+1}}$$

sein, was nur möglich ist, wenn der Nenner  $q > N_{n+1}$  ist, weil  $Z_n q - N_n p$  eine von 0 verschiedene ganze Zahl, also  $\geq 1$  sein soll.

**Folgesatz.** Jeder Näherungsbruch drückt den vollständigen Wert des Kettenbruches genauer aus als jeder andere Bruch, der einen kleineren Nenner hat.

## Anwendungen der Kettenbrüche.

§. 246. Aufgabe. Das Verhältniß zweier großer Zahlen durch kleinere möglichst genau darzustellen.

Man verwandelt den Verhältnißquotienten in einen Kettenbruch und bestimmt dessen Näherungsbrüche; diese drücken den gesuchten Quotienten in den kleinsten Zahlen mit der größten Annäherung an dessen wahren Wert aus. (§. 245, Folges.)

3. B. Man soll die Verhältnißzahl der Peripherie eines Kreises zu dessen Durchmesser, d. i.  $3 \cdot 1415926$  durch kleinere Zahlen möglichst genau ausdrücken.

$$3 \cdot 1415926 = \frac{31415926}{10000000} = 3 + \frac{1}{7} + \frac{1}{15} + \frac{1}{1} + \frac{1}{243} + \dots$$

Näherungsbrüche:

$$\begin{array}{cccccc} 3, & 7, & 15, & 1, & 243, & \dots \\ \frac{3}{1}, & \frac{22}{7}, & \frac{333}{106}, & \frac{355}{113}, & \frac{86598}{27565}, & \dots \end{array}$$

§. 247. Aufgabe. Eine irrationale Quadratwurzel durch die Näherungswerte eines Kettenbruches zu bestimmen.

Es sei  $\sqrt{a}$  zu bestimmen. Man suche die größte darin enthaltene Zahl  $q$  und setze  $\sqrt{a} = q + \frac{1}{x_1}$ , wo  $\frac{1}{x_1} = \sqrt{a} - q < 1$ , daher  $x_1 = \frac{1}{\sqrt{a}-q} > 1$  sein muß. Nun suche man wieder die größte in  $x_1 = \frac{1}{\sqrt{a}-q}$  enthaltene ganze Zahl  $q_1$  und setze  $x_1 = q_1 + \frac{1}{x_2}$ , wo  $\frac{1}{x_2} < 1$  und  $x_2 = \frac{1}{x_1 - q_1} > 1$  sein muß.

Setzt man dieses Verfahren fort, und sind die größten in  $x_2, x_3, \dots$  enthaltenen ganzen Zahlen  $q_2, q_3, \dots$ , so hat man

$$\sqrt{a} = q + \frac{1}{q_1} + \frac{1}{x_2} = q + \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} + \frac{1}{x_3} = \dots$$

Durch die aus dem erhaltenen Kettenbrüche hervorgehenden Näherungswerte kann  $\sqrt{a}$  mit jeder beliebigen Schärfe berechnet werden.

Ist 3. B.  $\sqrt{14}$  zu bestimmen, so hat man folgende Rechnung:

$$\begin{aligned} \sqrt{14} &= 3 + \frac{1}{x_1}, \\ \text{wo } x_1 &= \frac{1}{\sqrt{14}-3} = \frac{\sqrt{14}+3}{5} = 1 + \frac{\sqrt{14}-2}{5} = 1 + \frac{1}{x_2}, \\ \text{" } x_2 &= \frac{5}{\sqrt{14}-2} = \frac{\sqrt{14}+2}{2} = 2 + \frac{\sqrt{14}-2}{2} = 2 + \frac{1}{x_3}, \\ \text{" } x_3 &= \frac{2}{\sqrt{14}-2} = \frac{\sqrt{14}+2}{5} = 1 + \frac{\sqrt{14}-3}{5} = 1 + \frac{1}{x_4}, \\ \text{" } x_4 &= \frac{5}{\sqrt{14}-3} = \frac{\sqrt{14}+3}{1} = 6 + \frac{\sqrt{14}-3}{1} = 6 + \frac{1}{x_5}, \\ \text{" } x_5 &= \frac{1}{\sqrt{14}-3}, \text{ welches wieder} &= x_1 = 1 + \frac{1}{x_2}, \end{aligned}$$

so daß die Nenner 1, 2, 1, 6 immer wiederkehren. Man hat also

$$\sqrt{14} = 3 + \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} + \frac{1}{6} + \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} + \frac{1}{6} + \dots$$

Die Näherungswerte sind:

$$3, 4, \frac{11}{3}, \frac{15}{4}, \frac{101}{27}, \frac{116}{31}, \frac{333}{89}, \frac{449}{120}, \frac{3027}{809}, \dots$$

Setzt man  $\sqrt{14} = \frac{3027}{809} = 3.741656\dots$ , so ist der Fehler kleiner als  $\frac{1}{809^2} = \frac{1}{654481} = 0.0000015\dots$ ; es ist also  $\sqrt{14}$  auf 5 Decimalen genau bestimmt.

§. 248. Aufgabe. Eine unbestimmte Gleichung des ersten Grades mit Hilfe eines Kettenbruches in ganzen Zahlen aufzulösen. (Lagrange'sche Methode.)

Um für die Gleichung  $ax \pm by = \pm c$ , wo  $a$ ,  $b$  und  $c$  positive Zahlen sind, eine Auflösung in ganzen Zahlen zu erhalten, verwandelt man  $\frac{a}{b}$  in einen Kettenbruch und berechnet den vorletzten Näherungswert desselben  $= \frac{p}{q}$ . Da  $\frac{a}{b} - \frac{p}{q} = \frac{\pm 1}{bq}$ , also  $aq - bp = \pm 1$  (§. 243, 1), daher auch  $acq - bcp = \pm c$  ist, so haben  $x$  und  $y$  die absoluten Werte  $cq$  und  $cp$ , und zwar mit denjenigen Vorzeichen, welche mit Rücksicht auf die Vorzeichen der vorgelegten Gleichung der identischen Gleichung  $acq - bcp = \pm c$  genügen.

Beispiel. Es soll  $9x + 29y = 15$  in ganzen Zahlen aufgelöst werden.

Man verwandle  $\frac{9}{29}$  in einen Kettenbruch und bestimme den vorletzten Näherungsbruch  $\frac{4}{13}$ . Da  $\frac{9}{29} - \frac{4}{13} = \frac{+1}{29.13}$ , also  $9.13 - 29.4 = +1$  und  $9.13.15 - 29.4.15 = 15$  ist, so bilden  $x = 13.15 = 195$ ,  $y = -4.15 = -60$  eine Auflösung der Gleichung in ganzen Zahlen, und man erhält dann (§. 228, 2) als allgemeine Lösung

$$x = 195 - 29u, \quad y = -60 + 9u,$$

wo die Hilfs-Unbekannte  $u$  eine willkürliche ganze Zahl bezeichnet.

## Achter Abschnitt.

### Progressionen.

§. 249. Eine Folge von Zahlen, welche nach einem bestimmten Gesetze fortschreiten, heißt eine Reihe, auch Progression. Jede dieser Zahlen wird ein Glied der Reihe genannt. Die Zahl, welche anzeigt, die wievielte Stelle in der Reihe ein Glied einnimmt, heißt der Zeiger dieses Gliedes.

Eine Reihe heißt steigend oder fallend, je nachdem die aufeinander folgenden Glieder immer größer oder immer kleiner werden.

Eine Reihe interpolieren heißt, zwischen je zwei aufeinander folgende Glieder eine bestimmte Zahl von Gliedern einschalten, welche mit den Gliedern der gegebenen Reihe wieder eine Reihe derselben Art bilden.

#### I. Arithmetische Progressionen.

§. 250. Eine arithmetische Progression ist eine Reihe, in welcher die Differenz je zweier aufeinander folgenden Glieder (das vorhergehende als Subtrahend genommen) dieselbe Zahl ist. Diese constante Differenz heißt die Differenz der Progression. So sind

$$1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, \dots$$

$$\text{und } 50, 47, 44, 41, 38, 35, 32, 29, \dots$$

arithmetische Progressionen; in der ersten ist 3, in der zweiten — 3 die Differenz.

1. In einer arithmetischen Progression ist jedes Glied gleich der Summe aus dem ersten Gliede und dem Producte der Differenz mit dem um 1 verminderten Zeiger des Gliedes.

**Beweis.** Bezeichnet allgemein  $a_n$  das nte Glied und  $d$  die Differenz der Progression, so ist

$$a_1 = a_1,$$

$$a_2 = a_1 + d,$$

$$a_3 = a_1 + 2d,$$

$$a_4 = a_1 + 3d, \text{ u. s. w.}$$

Der Satz ist also für die Anfangsglieder richtig. Gilt aber derselbe für irgend ein Glied  $a_n$ , so daß  $a_n = a_1 + (n - 1)d$  ist, so muß er auch für das nächstfolgende Glied  $a_{n+1}$  gültig sein; denn

$$a_{n+1} = a_n + d = a_1 + (n-1)d + d = a_1 + nd.$$

Hieraus folgt, daß der obige Satz allgemein giltig ist.

Die Formel  $a_n = a_1 + (n-1)d$  heißt das allgemeine Glied der Progression, weil daraus, wenn man für  $n$  nach und nach 1, 2, 3, 4, ... setzt, alle Glieder der Progression abgeleitet werden können.

2. In einer arithmetischen Progression ist die Summe irgend einer Anzahl von Anfangsgliedern gleich dem Producte aus der halben Anzahl dieser Glieder und der Summe des ersten und letzten Gliedes.

**Beweis.** Ist  $a_n$  das  $n$ te Glied der Reihe, so ist  $a_n - d$  das nächstvoranstehende,  $a_n - 2d$  das diesem vorangehende Glied, u. s. f.

Drückt man nun die Summe der ersten  $n$  Glieder durch  $s_n$  aus, so ist  $s_n = a_1 + (a_1 + d) + (a_1 + 2d) + \dots + (a_n - 2d) + (a_n - d) + a_n$ .

Schreibt man die Glieder in umgekehrter Ordnung, so ist auch  $s_n = a_n + (a_n - d) + (a_n - 2d) + \dots + (a_1 + 2d) + (a_1 + d) + a_1$ .

Durch Addition dieser beiden Ausdrücke erhält man, da je zwei unter einander stehende Glieder  $a_1 + a_n$  zur Summe geben,

$$2s_n = (a_1 + a_n) + (a_1 + a_n) + (a_1 + a_n) + \dots + (a_1 + a_n) + (a_1 + a_n) + (a_1 + a_n).$$

Hier kommt  $a_1 + a_n$  so oft als Summand vor, als Glieder angenommen werden, also  $n$  mal; daher  $2s_n = n(a_1 + a_n)$ , und

$$s_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n).$$

Diese Formel heißt das Summenglied der arithmetischen Progression.

**Beispiel.** Man suche das allgemeine und das Summenglied der Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, 11...

Da  $a_1 = 1$ ,  $d = 2$  ist, so hat man

$$a_n = 1 + (n-1) \cdot 2 = 2n - 1,$$

$$s_n = \frac{n}{2}(1 + 2n - 1) = n^2.$$

So ist z. B.  $a_{15} = 2 \cdot 15 - 1 = 29$ , und  $s_{15} = 15^2 = 225$ .

§. 251. Die beiden von einander unabhängigen Gleichungen

$$a_n = a_1 + (n-1)d \text{ und } s_n = \frac{n}{2}(a_1 + a_n)$$

enthalten fünf Größen  $a_1$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $a_n$ ,  $s_n$ ; es kann also aus je dreien derselben durch Elimination jede der beiden anderen berechnet werden. Dadurch erhält man 20 verschiedene Aufgaben.

Sind z. B.  $d$ ,  $n$ ,  $a_n$ , gegeben, so findet man aus der ersten Gleichung

$$a_1 = a_n - (n-1)d,$$

und dann aus der zweiten

$$s_n = \frac{n}{2}\{a_n - (n-1)d + a_n\} = \frac{n}{2}\{2a_n - (n-1)d\}.$$

§. 252. Eine arithmetische Progression zu interpolieren.

Sind zwischen die Glieder  $a_k$  und  $a_{k+1}$  einer arithmetischen Progression, deren Differenz  $d$  ist,  $r$  Glieder einzuschalten, die mit  $a_k$  und  $a_{k+1}$  wieder eine arithmetische Progression bilden, so ist  $a_k$  das erste und  $a_{k+1}$  das  $(r+2)$ te Glied der neuen Progression, daher, wenn die Differenz derselben mit  $d_1$  bezeichnet wird,  $a_{k+1} = a_k + (r+1)d_1$ ; es ist aber auch  $a_{k+1} = a_k + d$ , folglich  $(r+1)d_1 = d$ , und

$$d_1 = \frac{d}{r+1}.$$

Die interpolierte Reihe ist also

$$a_k, a_k + \frac{d}{r+1}, a_k + \frac{2d}{r+1}, \dots, a_k + \frac{rd}{r+1}, a_{k+1}.$$

3. B. Man schalte in der Reihe 1, 2, 3, 4 ..... zwischen die Glieder 2 und 3 nach dem Gesetze der arithmetischen Progressionen 7 Glieder ein.

Hier ist  $d = 1$ ,  $r = 7$ , daher  $d_1 = \frac{1}{8}$ ; die interpolierte Progression ist also

$$2, 2\frac{1}{8}, 2\frac{2}{8}, 2\frac{3}{8}, 2\frac{4}{8}, 2\frac{5}{8}, 2\frac{6}{8}, 2\frac{7}{8}, 3.$$

## II. Geometrische Progressionen.

§. 253. Eine geometrische Progression ist eine Reihe, in welcher der Quotient je zweier aufeinander folgender Glieder (das vorhergehende als Divisor genommen) dieselbe Zahl ist. Dieser constante Quotient heißt der Quotient der Progression. So sind

$$1, 3, 9, 27, 81, 243, 729, \dots$$

$$1, \frac{1}{3}, \frac{1}{9}, \frac{1}{27}, \frac{1}{81}, \frac{1}{243}, \frac{1}{729}, \dots$$

geometrische Progressionen; in der ersten ist 3, in der zweiten  $\frac{1}{3}$  der Quotient.

1. In einer geometrischen Progression ist jedes Glied gleich dem Producte aus dem ersten Gliede und der sovielten Potenz des Quotienten, als der um 1 verminderte Zeiger des Gliedes anzeigt.

Beweis. Bezeichnet  $a_n$  das  $n$ te Glied und  $q$  den Quotienten der Progression, so ist

$$a_1 = a_1,$$

$$a_2 = a_1 q,$$

$$a_3 = a_1 q^2,$$

$$a_4 = a_1 q^3, \text{ u. s. w.}$$

Der Satz ist also für die Anfangsglieder richtig. Gilt er aber für irgend ein Glied  $a_n$ , so daß  $a_n = a_1 q^{n-1}$  ist, so muß er auch für das nächstfolgende Glied  $a_{n+1}$  gelten; denn

$$a_{n+1} = a_n \cdot q = a_1 q^{n-1} \cdot q = a_1 q^n.$$

Hieraus folgt, daß der obige Satz allgemein gültig und daß daher

$$a_n = a_1 q^{n-1}$$

das allgemeine Glied einer geometrischen Progression ist.

2. In einer geometrischen Progression ist die Summe von  $n$  Anfangsgliedern gleich dem Producte aus dem ersten Gliede und der um 1 verminderten  $n$ ten Potenz des Quotienten dividiert durch den um 1 verminderten Quotienten.

Beweis. Bezeichnet  $s_n$  die Summe von  $n$  Anfangsgliedern, so ist

$$s_n = a_1 + a_1 q + a_1 q^2 + \dots + a_1 q^{n-2} + a_1 q^{n-1},$$

und, wenn man beide Theile dieser Gleichung mit  $q$  multipliciert,

$$q s_n = a_1 q + a_1 q^2 + a_1 q^3 \dots + a_1 q^{n-1} + a_1 q^n.$$

Wird dann die erste Gleichung von der zweiten subtrahiert, so erhält man

$$q s_n - s_n = a_1 q^n - a_1 \text{ und folglich}$$

$$s_n = \frac{a_1 (q^n - 1)}{q - 1}$$

als das Summenglied für die geometrische Progression.

Daselbe läßt sich, da  $a_1 q^{n-1} = a_n$ , also  $a_1 q^n = a_n q$  ist, auch so darstellen:

$$s_n = \frac{a_n q - a_1}{q - 1}.$$

Beispiel. Man bestimme das allgemeine und das Summenglied der Progression 1, 3, 9, 27, 81, 243, ...

Hier ist  $a_1 = 1$  und  $q = 3$ , daher

$$a_n = 1 \cdot 3^{n-1} = 3^{n-1}, \quad s_n = \frac{3^n - 1}{2}.$$

So ist z. B.  $a_{10} = 3^9 = 19683$ , und  $s_{10} = \frac{3^{10} - 1}{2} = 29524$ .

§. 254. Eine ohne Ende fortschreitende Reihe heißt convergent, wenn sich die Summe der ersten  $n$  Glieder um so mehr einem bestimmten endlichen Grenzwerte nähert, je größer  $n$  wird, und dieser Grenzwert heißt die Summe der unendlichen Reihe. Eine Reihe, in welcher die Summe von  $n$  Anfangsgliedern beim unendlichen Wachsen von  $n$  über jeden constanten Wert hinaus zunimmt, heißt divergent.

Für die geometrische Progression  $a_1 + a_1 q + a_1 q^2 + a_1 q^3 + \dots$  ist

$$s_n = \frac{a_1 (q^n - 1)}{q - 1}.$$

Ist nun  $q > 1$ , so wird mit dem wachsenden  $n$  auch  $q^n$  und daher auch  $s_n$  über jeden angebbaren Wert hinaus zunehmen. Eine steigende geometrische Progression ist demnach stets divergent.

Ist dagegen  $q < 1$ , so nähert sich beim unendlichen Wachsen von  $n$ ,  $q^n$  ohne Ende der Null und  $s_n$  dem endlichen Grenzwerte  $\frac{a_1}{1-q}$ , welcher daher die Summe der unendlichen Reihe ist. Eine fallende geometrische Progression ist demnach stets convergent.

3. B. Für die Reihe  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \dots$ , in welcher  $a_1 = 1, q = \frac{1}{2}$  ist, hat man  $s = \frac{1}{1 - \frac{1}{2}} = 2$ ; d. h. je mehrere Glieder der Reihe man addiert, desto mehr nähert sich die Summe der Zahl 2, ohne jedoch je dieselbe wirklich zu erreichen.

Eine arithmetische Progression ist, wie man aus der Summenformel  $s_n = \frac{n}{2} (a_1 + a_n)$  sogleich ersieht, immer divergent.

Jeder periodische Decimalbruch kann als eine fallende geometrische Progression dargestellt und als solche summiert, d. i. in einen gemeinen Bruch verwandelt werden. 3. B.

$$0 \cdot 2\bar{5} = \frac{25}{10^2} + \frac{25}{10^4} + \frac{25}{10^6} + \frac{25}{10^8} + \dots = \frac{\frac{25}{10^2}}{1 - \frac{1}{10^2}} = \frac{25}{99}.$$

§. 255. Mitteltst der beiden von einander unabhängigen Gleichungen

$$a_n = a_1 q^{n-1} \text{ und } s_n = \frac{a_1 (q^n - 1)}{q - 1},$$

von denen die zweite auch durch  $s_n = \frac{a_n q - a_1}{q - 1}$  ersetzt werden kann, lassen sich aus je dreien der fünf Größen  $a_1, q, n, a_n$  und  $s_n$  durch Elimination die beiden anderen bestimmen.

Sind 3. B.  $q, n, s_n$  gegeben, so erhält man aus der zweiten Gleichung

$$a_1 = \frac{(q - 1) s_n}{q^n - 1}$$

und dann aus der ersten Gleichung

$$a_n = \frac{q^{n-1} (q - 1) s_n}{q^n - 1}.$$

§. 256. Aufgabe. Eine geometrische Progression zu interpolieren.

Schaltet man zwischen die Glieder  $a_k$  und  $a_{k+1}$  einer geometrischen Progression, deren Quotient  $q$  ist,  $r$  Glieder ein, die mit  $a_k$  und  $a_{k+1}$  wieder eine geometrische Progression bilden, so ist in dieser  $a_k$  das erste und  $a_{k+1}$  das  $(r + 2)$ te Glied; man hat daher, wenn der Quotient der neuen Progression mit  $q_1$  bezeichnet wird,  $a_{k+1} = a_k \cdot q_1^{r+1}$ ; es ist aber auch  $a_{k+1} = a_k \cdot q$ , daher  $q_1^{r+1} = q$ , und

$$q_1 = \sqrt[r+1]{q}.$$

Die interpolierte Progression ist also

$$a_k, a_k \cdot \sqrt[r+1]{q}, a_k \cdot \sqrt[r+1]{q^2}, \dots, a_k \sqrt[r+1]{q^r}, a_{k+1}.$$

Um 3. B. in der Reihe  $1, 16, 256, 4096, \dots$  zwischen je zwei Glieder 3 neue Glieder zu interpolieren, setze man, da  $q = 16$  und  $r = 3$  ist,  $q_1 = \sqrt[4]{16} = 2$ , wodurch man erhält

$$1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, \dots$$

## Einige besondere Reihen.

§. 257. Die zusammengesetzte arithmetisch-geometrische Reihe.

Multipliziert man die Glieder der arithmetischen Progression  
 $a, \quad a + d, \quad a + 2d, \quad a + 3d, \dots$   
 mit den gleichstelligen Gliedern der geometrischen Progression  
 $b, \quad bq, \quad bq^2, \quad bq^3, \dots,$

so entsteht die zusammengesetzte Reihe

$$ab, (a + d) bq, (a + 2d) bq^2, (a + 3d) bq^3, \dots$$

Es sei das Summenglied derselben

$S_n = ab + (a + d)bq + (a + 2d)bq^2 + \dots + \{a + (n - 1)d\} bq^{n-1}$   
 zu bestimmen.

Multipliziert man beide Theile dieser Gleichung mit  $q$ , so ist

$$qS_n = abq + (a + d)bq^2 + (a + 2d)bq^3 + \dots + \{a + (n - 1)d\} bq^n.$$

Wird dann die erste Gleichung von der zweiten subtrahiert, so erhält man

$$\begin{aligned} S_n(q - 1) &= \{a + (n - 1)d\} bq^n - ab - (bdq + bdq^2 + \dots + bdq^{n-1}) \\ &= ab(q^n - 1) + (n - 1)bdq^n - \frac{bdq(q^{n-1} - 1)}{q - 1}, \end{aligned}$$

und folglich

$$S_n = \frac{ab(q^n - 1)}{q - 1} + \frac{(n - 1)bdq^n}{q - 1} + \frac{bdq(q^{n-1} - 1)}{(q - 1)^2}, \text{ oder}$$

$$S_n = \frac{ab(q^n - 1)}{q - 1} + \frac{bdq}{(q - 1)^2} \{nq^{n-1}(q - 1) - (q^n - 1)\}.$$

Ist  $q < 1$  und wird  $n = \infty$ , so nähert sich  $q^n$  ohne Ende der Null, und daher die Summe der unendlichen Reihe dem Grenzwerte

$$S = \frac{ab(1 - q) + bdq}{(1 - q)^2}.$$

## §. 258. Die Reihe der Quadrate der natürlichen Zahlen.

Zur Bestimmung der Summe  $s_n = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2$  bilde man

$$1^3 = \dots \dots \dots 1,$$

$$2^3 = (1 + 1)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 + 3 \cdot 1 + 1,$$

$$3^3 = (2 + 1)^3 = 2^3 + 3 \cdot 2^2 + 3 \cdot 2 + 1,$$

$$4^3 = (3 + 1)^3 = 3^3 + 3 \cdot 3^2 + 3 \cdot 3 + 1,$$

$$\dots \dots \dots (n + 1)^3 = \dots \dots \dots n^3 + 3 \cdot n^2 + 3 \cdot n + 1.$$

Durch Addition dieser Gleichungen erhält man, da sich  $1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3$  in beiden Theilen aufhebt,

$$(n + 1)^3 = 3 \cdot (1^2 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2) + 3 \cdot (1 + 2 + 3 + \dots + n) + n + 1,$$

$$\text{oder} \quad (n + 1)^3 = 3 \cdot s_n + 3 \cdot \frac{n}{2}(n + 1) + (n + 1),$$

$$\text{woraus sich ergibt} \quad s_n = \frac{n(n + 1)(2n + 1)}{6}.$$

§. 259. Die Reihe der Cuben der natürlichen Zahlen.

Um die Summe  $s_n = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3$  zu bestimmen, verfährt man in gleicher Weise wie in §. 258, indem man zuerst  $1^4, 2^4, 3^4, 4^4, \dots, (n+1)^4$  nach der Formel  $(n+1)^4 = n^4 + 4 \cdot n^3 + 6 \cdot n^2 + 4 \cdot n + 1$  entwickelt und dann die Gleichungen addiert. Man erhält

$$s_n = \frac{n^2(n+1)^2}{4}.$$

### III. Zinseszins- und Rentenrechnung.

§. 260. Werden die am Ende einer Zeiteinheit fälligen Zinsen eines Capitals zu diesem hinzugefügt und mit ihm wieder verzinst, so sagt man: das Capital ist auf Zinseszinsen angelegt.

Bei den Zinseszinsrechnungen kommt, wie bei der einfachen Zinsrechnung (§. 134), das Capital, die Zeit, das Procent und der Zins in Betracht. Als Zeiteinheit ist, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt wird, ein Jahr zu verstehen. Ist ein Capital zu  $p\%$  angelegt, so wachsen 100 Einheiten des Capitals (Gulden, Mark) in einem Jahre sammt den Zinsen auf  $100 + p$  an; somit hat 1 Capitaleinheit nach 1 Jahre mit Hinzufügung der Zinsen den Wert  $\frac{100+p}{100} = 1 + \frac{p}{100}$ . Den Wert  $1 + \frac{p}{100}$ , zu welchem die Einheit des Capitals mit Zinsen in 1 Jahre anwächst, nennt man gewöhnlich den Zinsfuß; wir wollen denselben in den nachfolgenden Rechnungen der Kürze halber mit  $e$  bezeichnen.

§. 261. Erste Fundamental-Aufgabe. Ein Capital  $a$  ist zu dem Zinsfuße  $e = 1 + \frac{p}{100}$  auf Zinseszinsen angelegt; zu welchem Werte wächst es nach  $n$  Jahren an?

Da die Capitaleinheit mit den Zinsen nach 1 Jahre den Wert  $e$  erhält, so hat das Capital  $a$  nach 1 Jahre den Wert

$$a_1 = a \cdot e,$$

d. h. man findet den Wert eines Capitals nach 1 Jahre, indem man den Anfangswert mit dem Zinsfuße multipliciert.

Wird das neue Capital  $a_1$  wieder ein Jahr verzinst, so ist sein Wert am Ende desselben  $a_2 = a_1 \cdot e = a \cdot e^2$ .

Nach 3, 4 ... Jahren wird das Capital angewachsen sein auf

$$a_3 = a_2 \cdot e = a \cdot e^3, \quad a_4 = a_3 \cdot e = a \cdot e^4, \quad \text{u. s. w.}$$

Hiernach ist der Wert des Capitals am Ende des  $n$ ten Jahres

$$a_n = a \cdot e^n \dots I = a \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n$$

Löst man diese Gleichung nach  $a$  auf, so ergibt sich als der gegenwärtige oder Barwert eines nach  $n$  Jahren zahlbaren Capitals  $a_n$  zum Zinsfuße  $e$

$$a = \frac{a_n}{e^n}.$$

Ebenso erhält man aus I) für  $e$  und  $n$  die Werte

$$e = \sqrt[n]{\frac{a_n}{a}}, \quad n = \frac{\log a_n - \log a}{\log e}.$$

**Zusätze.** 1. Hier wurde  $n$  als eine ganze Zahl von Jahren vorausgesetzt.

Ist nun  $n$  eine gemischte Zahl, etwa  $m + \frac{r}{s}$ , so sind nur für die vollen  $m$  Jahre die Zinseszinsen von  $a$ , dagegen für den Bruchtheil des noch folgenden Jahres die einfachen Zinsen von  $a_m$  zu berechnen. Man erhält also in diesem Falle  $a_m = a e^m$ , und mit Rücksicht auf §. 134, da  $\frac{p}{100} = e - 1$  ist,

$$a_m + \frac{r}{s} = a_m + \frac{a_m (e - 1) r}{s} = a e^m \left\{ 1 + (e - 1) \cdot \frac{r}{s} \right\}.$$

2. Werden die Zinsen nicht jährlich, sondern nach dem  $q$ ten Theile eines Jahres (halbjährig, monatlich) capitalisirt, so ist in der Gleichung I) und in den daraus abgeleiteten Formeln  $e = 1 + \frac{p}{100q}$  und für  $n$  die Zahl  $nq$  zu setzen.

3. Die obigen Gleichungen können auch auf andere Größen, wenn dieselben in einem constanten Verhältnisse wachsen, z. B. auf die Zunahme der Bevölkerung eines Landes, des Holzstandes eines Waldes u. dgl., angewendet werden.

**Beispiele.**

1) Wie hoch wächst ein Capital von 2518 fl. in 12 Jahren zu 5% Zinseszinsen an?

$$a_{12} = 2518 \cdot 1 \cdot 05^{12}$$

$$\log 1 \cdot 05 = 0 \cdot 021 \ 189$$

$$12 \log 1 \cdot 05 = 0 \cdot 25 \ 427$$

$$\log 2518 = 3 \cdot 40 \ 106$$

$$\log a_{12} = 3 \cdot 65 \ 533 = \log 4522,$$

$$\text{also } a_{12} = 4522 \text{ fl.}$$

2) Welchen Barwert hat ein nach 11 Jahren zahlbares Capital von 1000 fl. zum Zinsfuße 1·04?

$$a = \frac{1000}{1 \cdot 04^{11}}.$$

$$\log 1000 = 3 \cdot 00 \ 000$$

$$\log 1 \cdot 04 = 0 \cdot 017 \ 033$$

$$11 \log 1 \cdot 04 = 0 \cdot 18 \ 736$$

$$\log a = 2 \cdot 81 \ 264 = \log 649 \cdot 59,$$

$$\text{also Barwert } a = 649 \cdot 59 \text{ fl.}$$

3) Ein Capital von 2000 fl. ist bei 4% Zinseszinsen auf 4469 fl. 84 fr. angewachsen; wie lange war dasselbe angelegt?

$$4469 \cdot 84 = 2000 \cdot 1 \cdot 04^n, \text{ also}$$

$$n = \frac{\log 4499 \cdot 84 - \log 2000}{\log 1 \cdot 04} = \frac{0 \cdot 34927}{0 \cdot 01703} = 20 \cdot 505 \dots$$

Setzt man  $n = (20 + t)$  Jahre, so ergibt sich, da 2000 fl. nach 20 Jahren auf  $2000 \cdot 1 \cdot 04^{20} = 4382 \cdot 2$  fl. angewachsen und daher die Differenz  $4469 \cdot 84 - 4382 \cdot 2 = 87 \cdot 64$  fl. der einfache Zins des Capitals 4382 \cdot 2 fl. für die Zeit  $t$  ist, nach §. 134

$$t = \frac{100 \cdot 87 \cdot 64}{4382 \cdot 2 \cdot 4} = \frac{1}{2} \text{ Jahr, und somit } n = 20 \frac{1}{2} \text{ Jahre.}$$

§. 262. Zweite Fundamental-Aufgabe. Durch  $n$  Jahre wird am Anfange oder am Ende eines jeden Jahres ein Betrag  $r$  gezahlt; zu welchem Werte wachsen alle diese Beträge zur Zeit der letzten Zahlung an, wenn man  $p\%$  Zinseszinsen rechnet?

Die Zeit von der ersten bis zu der letzten Zahlung beträgt  $n - 1$  Jahre; setzt man daher  $1 + \frac{p}{100} = e$ , so ist (§. 261) zur Zeit der letzten Zahlung

$$\text{der Wert der 1. Zahlung} = re^{n-1},$$

$$\text{„ „ „ 2. „} = re^{n-2},$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$\text{„ „ „ (n-2)ten „} = re^2,$$

$$\text{„ „ „ (n-1)ten „} = re,$$

$$\text{„ „ „ n ten „} = r;$$

daher die Summe aller dieser Werte

$$s_n = r + re + re^2 + \dots + re^{n-2} + re^{n-1},$$

oder mit Rücksicht auf §. 253, 2

$$s_n = \frac{r(e^n - 1)}{e - 1} \dots \text{II.}$$

Aus dieser Gleichung können auch  $r$  und  $n$  bestimmt werden, wenn die übrigen Größen gegeben sind. Die Bestimmung von  $e$  übersteigt, da man dabei auf eine Gleichung des  $(n - 1)$ ten Grades kommt, die Grenzen dieser Anleitung.

### Beispiele.

1) Jemand legt durch 10 Jahre zu Anfang eines jeden Jahres 230 fl. zu 5% Zinseszins an; welchen Wert haben diese Anlagen am Anfange des 10ten Jahres?

$$s_{10} = \frac{230(1 \cdot 05^{10} - 1)}{0 \cdot 05} = \frac{230 \cdot 0 \cdot 62889}{0 \cdot 05} = 2892 \cdot 89 \text{ fl.}$$

2) Jemand legt durch 15 Jahre am Ende eines jeden halben Jahres eine sich gleichbleibende Summe in eine Sparcasse, welche bei dem jährlichen Zinse

à 5% halbjährig capitalisirt, und erwirbt sich dadurch zur Zeit der letzten Zahlung ein Guthaben von 3292·71 fl.; wie groß ist die jedesmalige Einlage?

Hier muß man 30 Zeitperioden rechnen und als Zinsfuß 1·025 annehmen; man hat daher  $3292·71 = \frac{r(1·025^{30} - 1)}{0·025}$ ; mithin

$$r = \frac{3292·71·0·025}{1·025^{30} - 1} = 75 \text{ fl.}$$

§. 263. Auf die voranstehenden zwei Hauptaufgaben lassen sich alle mehr oder weniger zusammengesetzten Aufgaben über die Zinseszinsrechnung zurückführen.

### Aufgaben.

1) Ein zum Zinsfuße  $e$  angelegtes Capital  $a$  wird durch  $n$  Jahre am Ende eines jeden Jahres um den Betrag  $r$  vermehrt oder vermindert; welchen Wert hat es am Ende dieser Zeit?

Am Ende des  $n$ ten Jahres ist der Wert des Capitals  $a$  (nach §. 261)  $a e^n$ , und der Wert aller  $n$  Beträge  $r$ , um welche das Capital am Ende eines jeden Jahres vermehrt oder vermindert wird, (nach §. 262)  $\frac{r(e^n - 1)}{e - 1}$ ; der Endwert des so vermehrten oder verminderten Capitals ist also

$$A = a e^n \pm \frac{r(e^n - 1)}{e - 1}.$$

Ist im Falle der Verminderung  $r > a(e - 1)$ , d. i.  $r > \frac{ap}{100}$ , also  $r$  größer als der jährliche Zins des Capitals  $a$ , so wird der Endwert dieses Capitals von Jahr zu Jahr kleiner, bis endlich das Capital erschöpft ist.

2) Ein unverzinsliches Capital  $a$  ist nach  $m$  Jahren, ein unverzinsliches Capital  $b$  nach  $n$  Jahren, wo  $n > m$  ist, fällig; in welchem Verhältnisse stehen a) ihre Barwerte, b) ihre Werte nach  $n$  Jahren bei dem Zinsfuße  $e$ ?

Der Barwert des Capitals  $a$  ist  $\frac{a}{e^m}$ , der Barwert des Capitals  $b$  ist  $\frac{b}{e^n}$ , daher das Verhältniß der Barwerte

$$\frac{a}{e^m} : \frac{b}{e^n} = a e^{n-m} : b.$$

Nach  $n$  Jahren ist der Wert des ersten Capitals  $a e^{n-m}$ , des zweiten  $b$ , daher das Verhältniß dieser Werte wie früher,

$$a e^{n-m} : b.$$

**Satz.** Sollen zu verschiedenen Zeiten fällige Capitalbeträge mit einander verglichen werden, so muß man sie immer auf denselben Zeitpunkt reducieren. Da aber das Verhältniß ihrer Werte für jeden Zeitpunkt dasselbe ist, so lange ihr Zinsfuß ungeändert bleibt, so ist es an sich ganz gleichgiltig, welcher gemeinsame Zeitpunkt für die Vergleichung gewählt wird. Gewöhnlich werden entweder die Barwerte oder die Werte nach Ablauf des gegebenen Zeitraumes berechnet und mit einander in Vergleichung gesetzt.

3) Ein Anlehen  $a$  soll durch eine am Ende eines jeden Jahres zu zahlende Rate  $r$  in  $n$  Jahren getilgt (amortisiert) werden; wie viel muß die Jahresrate  $r$  bei dem Zinsfuße  $e$  betragen?

Der Barwert aller Jahresraten muß dem Schuldcapital gleich sein.

$n$  Jahresraten, jede  $= r$ , haben zur Zeit der letzten Zahlung, d. i. am Ende des  $n$ ten Jahres, den Wert  $\frac{r(e^n - 1)}{e - 1}$ ; ihr Barwert ist also  $b = \frac{r(e^n - 1)}{e^n(e - 1)}$ .

Da  $b = a$  sein muß, so hat man

$$\frac{r(e^n - 1)}{e^n(e - 1)} = a, \text{ daher } r = \frac{a e^n (e - 1)}{e^n - 1}.$$

4) Nach wie viel Jahren sind von einem auf Zinseszinsen zu 5% ausgeliehenen Capital von 1060 fl. noch 167·22 fl. übrig, wenn am Ende eines jeden Jahres 80 fl. zurückgezahlt werden?

Nach  $n$  Jahren. Das Schuldcapital 1060 fl. hat nach  $n$  Jahren den Wert  $1060 \cdot 1 \cdot 05^n$  fl.; die  $n$  jährlichen Rückzahlungen à 80 fl. haben nach  $n$  Jahren den Wert  $\frac{80(1 \cdot 05^n - 1)}{0 \cdot 05}$  fl.; es ist daher

$$1060 \cdot 1 \cdot 05^n = \frac{80(1 \cdot 05^n - 1)}{0 \cdot 05} + 167 \cdot 22, \text{ und somit}$$

$$n = \frac{\log 71 \cdot 639 - \log 27}{\log 1 \cdot 05} = 20 \text{ Jahre.}$$

### Rentenrechnung.

§. 264. Die Berechnung von Zinseszinsen kommt insbesondere bei der Rentenrechnung vor.

Unter einer Rente versteht man einen in festgesetzten gleichen Zeitterminen (meistens am Ende jedes Jahres) zahlbaren Geldbetrag, dessen Bezugsrecht durch eine vorher gezahlte Geldsumme, die Einlage, erworben wird. Die Einlage wird entweder auf einmal oder jährlich entrichtet und heißt dann bezüglich Mieth oder Prämie. Die Rente ist gewöhnlich constant; sie kann aber auch nach einem bestimmten Gesetze veränderlich sein. Eine Rente heißt Zeitrente, wenn die Zahl der Termine, in denen sie gezahlt wird, genau bestimmt ist, Leibrente dagegen, wenn sie bis zum Tode des Empfängers fort dauert. Hier soll nur von Zeitrenten die Rede sein.

### Aufgaben.

1) Welchen Barwert hat zum Zinsfuße  $e$  eine Rente, welche durch  $n$  Jahre am Ende eines jeden Jahres in dem gleichen Betrage  $r$  fällig ist?

$n$  Jahresrenten, jede  $= r$ , haben zur Zeit des letzten Bezuges, d. i. am Ende des  $n$ ten Jahres, den Wert  $\frac{r(e^n - 1)}{e - 1}$ ; ihr Barwert ist also

$$b = \frac{r(e^n - 1)}{e^n(e - 1)}.$$

2) Welche Prämie muß durch  $n$  Jahre am Anfange eines jeden Jahres zum Zinsfuße  $e$  an eine Versicherungsanstalt geleistet werden, damit diese sodann das Capital  $s$  auszahle?

Die Jahresprämien müssen bis zum Anfange des  $n$ ten Jahres zu dem Werte  $s$  anwachsen.

$n$  Prämien, jede  $= r$ , sind zur Zeit der letzten Zahlung, d. i. am Anfange des  $n$ ten Jahres,  $\frac{r(e^n - 1)}{e - 1}$  wert; man hat daher

$$\frac{r(e^n - 1)}{e - 1} = s, \text{ und somit } r = \frac{s(e - 1)}{e^n - 1}.$$

3) Jemand will an eine Versicherungsbank durch  $m$  Jahre am Anfange eines jeden Jahres einen bestimmten Betrag  $a$  einzahlen, um sich durch die nachfolgenden  $n$  Jahre den Bezug einer am Ende eines jeden Jahres zahlbaren Rente  $r$  zu sichern; wie viel wird die jährliche Einzahlung bei dem Zinsfuße  $e$  betragen müssen.

Der Barwert aller Prämien muß dem Barwerte aller Rentenbezüge gleich sein.

$m$  jährliche Prämien, jede  $= a$ , haben zur Zeit der letzten Zahlung, d. i. am Anfange des  $m$ ten Jahres, den Wert  $\frac{a(e^m - 1)}{e - 1}$ ; ihr Barwert ist also

$$A = \frac{a(e^m - 1)}{e^m - 1(e - 1)}.$$

$n$  Jahresrenten, die am Ende des  $(m + 1)$ ten Jahres beginnen, und deren jede  $= r$  ist, haben zur Zeit des letzten Bezuges, d. i. am Ende des  $(m + n)$ ten Jahres, den Wert  $\frac{r(e^n - 1)}{e - 1}$ ; ihr Barwert ist also

$$R = \frac{r(e^n - 1)}{e^{m+n} - 1(e - 1)}.$$

Da nun  $A = R$  sein muß, so hat man

$$\frac{a(e^m - 1)}{e^m - 1(e - 1)} = \frac{r(e^n - 1)}{e^{m+n} - 1(e - 1)}, \text{ daher } a = \frac{r(e^n - 1)}{e^{m+1} - 1(e - 1)}.$$

Aus der letzten Gleichung kann auch  $r$ ,  $m$  oder  $n$  bestimmt werden, wenn die übrigen Größen gegeben sind.

4) Eine Jahresrente  $r$  steige jährlich, und zwar  $n$  Jahre hindurch in einer arithmetischen Progression mit der Differenz  $d$ ; wie groß ist deren Barwert zum Zinsfuße  $e$ ?

Die am Ende der einzelnen Jahre zu beziehenden Renten sind

$$r, r + d, r + 2d, \dots, r + (n - 1)d,$$

und die Summe ihrer Barwerte

$$b = \frac{r}{e} + \frac{r + d}{e^2} + \frac{r + 2d}{e^3} + \dots + \frac{r + (n - 1)d}{e^n},$$

oder nach §. 257

$$b = \frac{r(e^n - 1)}{e^n(e - 1)} + \frac{d}{e^n(e - 1)^2} [(e^n - 1) - n(e - 1)].$$

## Neunter Abschnitt.

### Combinationslehre.

#### I. Permutationen, Combinationen und Variationen.

§. 265. Gegebene Dinge nach einem bestimmten Gesetze in Gruppen zusammenstellen, heißt combinieren im weiteren Sinne des Wortes. Die einzelnen Dinge werden Elemente, und die aus ihnen gebildeten Gruppen Complexionen genannt.

Zur schriftlichen Darstellung der Combinationen ist es am zweckmäßigsten, die Elemente durch die in natürlicher Ordnung aufeinander folgenden Zahlen, welche Zeiger oder Indices heißen, zu bezeichnen. Diese Zeiger bestimmen die Rangordnung der Elemente, so dass jenes Element das höhere ist, welches einen größeren Zeiger hat. Von zwei Complexionen heißt jene die höhere, in welcher von der Linken aus zuerst ein höheres Element vorkommt; z. B. die Complexion 1342 ist höher als jene 1324. Die niedrigste Complexion ist diejenige, in welcher kein höheres Element vor einem niedrigeren steht, in welcher also die Elemente in natürlicher Ordnung aufeinander folgen; und jene die höchste, in welcher kein niedrigeres Element vor einem höheren steht, somit alle Elemente in umgekehrter Ordnung vorkommen.

Werden die Elemente, anstatt durch Zeiger, durch Buchstaben bezeichnet, so ist dasjenige Element als ein höheres zu betrachten, welches im Alphabete später vorkommt.

Alle Combinationen scheiden sich ihrer Natur nach in Versetzungen und Verbindungen. Bei den Versetzungen fasst man die verschiedene Anordnung der gegebenen Elemente, bei den Verbindungen ihre Auswahl in bestimmter Anzahl ins Auge. Wird nicht nur auf die Anzahl und Auswahl der Elemente, sondern gleichzeitig auch auf die Anordnung derselben Rücksicht genommen, so kommen Verbindungen und Versetzungen vereint vor.

Hiernach unterscheidet man drei Arten des Combinierens: das Permutieren, das Combinieren im engeren Sinne, und das Variieren.

Bei jeder dieser drei Combinationsarten kommt die wirkliche Bildung der Complexionen und die Zahl derselben in Betracht.

## 1. Permutieren.

§. 266. Permutieren heißt, gegebene Elemente auf jede mögliche Weise versetzen, so jedoch, daß in jeder Complexion alle Elemente vorkommen.

Die Anzahl aller möglichen Permutationen von  $n$  Elementen bezeichnet man durch  $P_n$  (Permutationszahl von  $n$ ), die Anzahl der Permutationen von genannten Elementen, z. B. von  $a, b, b, c$  durch  $P(a b b c)$ .

## Bildung der Permutationen.

§. 267. Um von mehreren gegebenen Elementen alle möglichen Permutationen zu bilden, schreibe man zuerst die niedrigste Complexion der gegebenen Elemente an, leite aus dieser die nächst höhere, aus dieser wieder die nächst höhere, u. s. w. ab, bis man zur höchsten kommt. Man erhält aber aus jeder schon aufgestellten Complexion die nächst höhere, indem man, in dieser Complexion von rechts nach links fortschreitend, das erste Element aufsucht, an dessen Stelle aus den rechts folgenden ein höheres gesetzt werden kann, sodann dieses höhere Element an jene Stelle schreibt und die links vorangehenden Elemente ungedändert stehen, die übrigen aber ihm in natürlicher Ordnung folgen läßt. Z. B.

123	abbce	babce	bbace	beabb	cabbb
132	abccb	babcb	bbacb	becab	cbabb
213	abccb	bacbb	bbbac	becba	ebbab
231	acbbb		bbbca		ebbba
312			bbcab		
321			bbcba		

## Anzahl der Permutationen.

§. 268. 1. Sind alle möglichen Permutationen von  $n$  verschiedenen Elementen gebildet und tritt zu diesen Elementen noch ein neues dazu, so kann dasselbe in jeder der früheren Permutationen den ersten, oder den zweiten, ..., oder den  $(n + 1)$ ten Platz, also  $n + 1$  verschiedene Stellungen einnehmen, so daß aus  $n + 1$  Elementen  $(n + 1)$  mal so viel Permutationen entstehen, als aus  $n$  Elementen. Es ist also

$$P_{n+1} = P_n \cdot (n + 1).$$

Da nun ein Element nur eine einzige Stellung zuläßt, so ist

$$P_1 = 1, \text{ daher}$$

$$P_2 = 1.2,$$

$$P_3 = 1.2.3, \text{ u. s. w.; allgemein}$$

$$P_n = 1.2.3 \dots (n - 1)n;$$

d. h. die Permutationszahl von mehreren verschiedenen Elementen ist gleich dem Producte der natürlichen Zahlen von 1 bis zu der Zahl, welche die Anzahl der Elemente ausdrückt.

Das Product  $1.2.3.4\dots(n-1).n$  wird durch das Symbol  $n!$ , zu lesen: „Facultät von  $n$ “, bezeichnet. Es ist daher

$$e \text{ factoriell } P_2 = 2!, P_3 = 3!, \dots P_n = n!.$$

2. Wenn unter den gegebenen  $n$  Elementen  $p$  gleiche vorkommen, so betrachte man diese einstweilen als verschieden; dann ist die Anzahl aller möglichen Permutationen  $n!$ . Denkt man sich diese Permutationen so in Abtheilungen gebracht, daß sich die Permutationen einer Abtheilung bloß durch die gegenseitige Stellung der als verschieden betrachteten  $p$  Elemente von einander unterscheiden, während die übrigen Elemente dieselbe Stelle einnehmen, so enthält jede dieser Abtheilungen so viele Permutationen, als man ihrer aus  $p$  Elementen bilden kann, also  $p!$  Permutationen. Wenn man nun die als verschieden betrachteten Elemente wieder als einander gleich annimmt, so gelten alle  $p!$  Complexionen einer Abtheilung nur für eine Permutation; je  $p!$  von den  $n!$  Permutationen gehen in eine einzige über, und man hat somit nur  $\frac{n!}{p!}$  verschiedene Permutationen.

Befinden sich unter den gegebenen  $n$  Elementen außer den  $p$  gleichen Elementen noch  $q$  andere gleiche Elemente, so wiederholen sich die Schlüsse in gleicher Weise, und ist daher  $\frac{n!}{p!q!}$  die Anzahl aller verschiedenen Permutationen.

3. Sind unter den gegebenen  $n$  Elementen  $n - k$  einander gleich, und die übrigen  $k$  Elemente ebenfalls einander gleich, wie z. B. in dem Producte  $a^{n-k}b^k$ , so ist die Permutationszahl derselben

$$\frac{n!}{(n-k)!k!} = \frac{1.2.3\dots(n-k)(n-k+1)\dots(n-2)(n-1)n}{1.2.3\dots(n-k).1.2.3 \dots k}$$

Dividirt man Zähler und Nenner dieses Bruches durch  $1.2.3\dots(n-k)$  und schreibt die dann übrig bleibenden Factoren des Zählers in umgekehrter Ordnung, so hat man

$$\frac{n!}{(n-k)!k!} = \frac{n(n-1)(n-2)\dots(n-k+1)}{1.2.3\dots k}$$

Der letzte Bruch, dessen Zähler ein Product von  $k$  Factoren, die von  $n$  beginnend um je 1 abnehmen, und dessen Nenner das Product von  $k$  Factoren ist, die von 1 beginnend um je 1 wachsen, wird durch das Symbol  $\binom{n}{k}$ , zu lesen: „ $n$  über  $k$ “, ausgedrückt. Es ist also

$$P(a^{n-k}b^k) = \frac{n!}{(n-k)!k!} = \binom{n}{k}.$$

**Zusatz.** Aus  $\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)}{1.2.\dots k}$  folgt für  $k = n, n+1, n+2, \dots$

$$\binom{n}{n} = 1, \quad \binom{n}{n+1} = \binom{n}{n+2} = \dots = 0.$$



## 2. Combinieren.

§. 269. Combinieren im engeren Sinne heißt, gegebene Elemente so mit einander verbinden, daß jede Complexion dieselbe bestimmte Anzahl aus den gegebenen Elementen enthält, wobei jedoch nur solche Complexionen, in welchen nicht dieselben Elemente vorkommen, als verschieden gelten.

Je nachdem die Verbindungen je zwei, drei, vier, ... Elemente enthalten, nennt man sie Combinationen der zweiten, dritten, vierten, ... Classe, oder auch Amben, Ternen, Quaternen, u. s. w. Die Elemente selbst können als Combinationen der ersten Classe angesehen werden und heißen als solche Unionen.

Man unterscheidet ferner Combinationen ohne und mit Wiederholungen; bei jenen darf in einer Complexion ein Element nur einmal, bei diesen auch öfter vorkommen.

Die Anzahl aller möglichen Combinationen der  $r$  ten Classe aus  $n$  Elementen ohne Wiederholungen wird durch  $C_n^r$ , die Anzahl derselben mit Wiederholungen durch  $C_n^{w,r}$  bezeichnet.

### Bildung der Combinationen.

§. 270. 1. Um aus gegebenen Elementen alle Amben ohne Wiederholungen zu bilden, stelle man jedes Element vor jedes höhere Element.

Sind einmal die Combinationen einer bestimmten Classe gebildet, so erhält man aus denselben die Combinationen der nächst höheren Classe, indem man jedes Element vor jede frühere Complexion, in der lauter höhere Elemente vorkommen, setzt.

So erhält man aus den vier Elementen  $b, c, d, e$  nachfolgende

Amben ohne Wiederh.      Ternen ohne Wiederh.

$bc, bd, be;$                        $bcd, bce, bde;$

$cd, ce;$                                $cde;$

$de;$                                   u. s. w.

2. Um aus gegebenen Elementen alle Amben mit Wiederholungen zu bilden, setze man jedes Element vor sich selbst und vor jedes höhere Element.

Hat man einmal die Combinationen irgend einer Classe mit Wiederholungen gebildet, so erhält man aus denselben alle Combinationen der nächst höheren Classe, indem man jedes Element vor jede frühere Complexion, in der keine niedrigeren Elemente vorkommen, setzt.

So geben die vier Elemente  $a, b, c, d$

Amben mit	$aa, ab, ac, ad;$	$cc, cd;$
Wiederhol.	$bb, bc, bd;$	$dd;$

Ternen mit Wiederhol.	}	aaa, aab, aac, aad, abb, abc, abd, acc, acd, add;
		bbb, bbc, bbd, bcc, bcd, bdd;
		ccc, ced, cdd;
		ddd;

u. s. w.

**Zusatz.** Einfacher gestalten sich die Combinationen mit Wiederholungen, wenn man jede Combination als Product auffasst. So geben die Elemente a und b folgende als Producte betrachtete Combinationen mit Wiederholungen

der 2ten Classe:	$a^2, ab, b^2;$
„ 3ten „	$a^3, a^2b, ab^2, b^3;$
„ 4ten „	$a^4, a^3b, a^2b^2, ab^3, b^4;$
„ . . . . .	„ . . . . .
„ nten „	$a^n, a^{n-1}b, a^{n-2}b^2, \dots ab^{n-1}, b^n.$

### Zahl der Combinationen ohne Wiederholungen.

§. 271. Verbindet man jedes von n gegebenen Elementen mit jedem der übrigen  $n - 1$  Elemente, so erhält man alle Amben, und zwar jede 2mal; z. B. die Ambe ab, indem man a mit b, und indem man b mit a verbindet. Da sich sonach  $n(n - 1)$  paarweise gleiche Amben ergeben, so ist die Anzahl aller verschiedenen Amben von n Elementen

$$C_n^2 = \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2}.$$

Hat man überhaupt alle Combinationen der rten Classe ohne Wiederholungen von n Elementen und verbindet jede dieser  $C_n^r$  Combinationen mit jedem der darin nicht vorkommenden  $n - r$  Elemente, so enthalten die sich ergebenden  $C_n^r(n - r)$  Verbindungen alle Combinationen der  $(r + 1)$ ten Classe, und zwar eine jede derselben  $(r + 1)$ mal, da sie aus jeder der  $r + 1$  Combinationen der vorigen Classe, in denen eines der jetzt in ihr vorkommenden Elemente fehlte, entstanden ist. Die Zahl aller verschiedenen Combinationen der  $(r + 1)$ ten Classe von n Elementen ist daher

$$C_n^{r+1} = C_n^r \cdot \frac{n-r}{r+1}.$$

Da nun  $C_n^2 = \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2}$  ist, so hat man

$$C_n^3 = \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}, \text{ folglich}$$

$$C_n^4 = \frac{n(n-1)(n-2)(n-3)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}, \text{ u. s. w.};$$

allgemein -

$$C_n^r = \frac{n(n-1)(n-2) \dots (n-r+2)(n-r+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots (r-1) \cdot r};$$

oder mit Rücksicht auf die im §. 268, 3 eingeführte Bezeichnung

$$C_n^{12} = \binom{n}{2}, \quad C_n^{13} = \binom{n}{3}, \quad \dots \quad C_n^r = \binom{n}{r}.$$

### Zahl der Combinationen mit Wiederholungen.

§. 272. Sind  $n$  Elemente gegeben und verbindet man jedes Element mit sich selbst und noch mit allen  $n$  Elementen, auch sich selbst nicht ausgenommen, so geben die erhaltenen  $n(n+1)$  Verbindungen alle Aemben mit Wiederholungen, und zwar jede 2mal. Die Anzahl aller verschiedenen Aemben von  $n$  Elementen mit Wiederholungen ist also  $\frac{n(n+1)}{2}$ .

Sind überhaupt alle Combinationen der  $r$ ten Classe mit Wiederholungen von  $n$  Elementen gebildet und verbindet man jede dieser  $C_n^{w,r}$  Combinationen zuerst mit jedem der  $r$  Elemente, welche darin vorkommen, und dann noch mit allen  $n$  Elementen, so enthalten die sich ergebenden  $C_n^{w,r} \cdot (n+r)$  Verbindungen alle Combinationen der  $(r+1)$  Classe mit Wiederholungen, und zwar jede  $(r+1)$  mal. Denn enthält eine bestimmte Combination der  $(r+1)$ ten Classe ein Element  $a$  nur einmal, so ist sie aus derjenigen Combination  $r$ ter Classe, welche mit ihr sämtliche Elemente bis auf  $a$  gemeinsam hat, einmal entstanden, und zwar eben durch Verbindung mit  $a$ . Enthält ferner dieselbe Combination der  $(r+1)$ ten Classe ein anderes Element  $b$   $k$  mal, dann ist sie auch aus derjenigen Combination  $r$ ter Classe hervorgegangen, welche ihre sämtlichen Elemente, jedoch  $b$  nur  $(k-1)$  mal enthält, und zwar ist sie aus dieser Combination gerade  $k$  mal entstanden,  $(k-1)$  mal nämlich, indem man sie mit jedem in ihr vorkommenden  $b$ , und einmal, indem man sie mit  $b$  als einem der  $n$  Elemente verbunden hat. Hieraus geht hervor, daß jede Combination der  $(r+1)$ ten Classe so oft entstanden ist, als die Zahl ihrer Elemente beträgt, also  $(r+1)$  mal. Es ist daher

$$C_n^{w,r+1} = C_n^{w,r} \cdot \frac{n+r}{r+1}.$$

Da nun  $C_n^{w,2} = \frac{n(n+1)}{1 \cdot 2}$  ist, so hat man

$$C_n^{w,3} = \frac{n(n+1)(n+2)}{1 \cdot 2 \cdot 3}, \text{ folglich}$$

$$C_n^{w,4} = \frac{n(n+1)(n+2)(n+3)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}, \text{ u. s. w.; allgemein}$$

$$C_n^{w,r} = \frac{n(n+1)(n+2) \dots (n+r-2)(n+r-1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots (r-1) \cdot r}.$$

Schreibt man in dem letzten Bruche die Factoren des Zählers in umgekehrter Ordnung, wodurch der Bruch die Form

$$\frac{(n+r-1)(n+r-2) \dots (n+2)(n+1)n}{1 \cdot 2 \dots (r-2)(r-1)r}$$

annimmt, so kann man denselben nach der im §. 268, 3 eingeführten Be-

zeichnungsweise durch  $\binom{n+r-1}{r}$  ausdrücken. Es ist daher

$$C_n^{w,2} = \binom{n+1}{2}, \quad C_n^{w,3} = \binom{n+2}{3}, \dots, \quad C_n^{w,r} = \binom{n+r-1}{r}.$$

### 3. Variieren.

§. 273. Variieren heißt, gegebene Elemente so miteinander verbinden, daß jede Complexion dieselbe bestimmte Anzahl aus den gegebenen Elementen enthält, wobei jedoch auch solche Complexionen, in welchen dieselben Elemente in verschiedener Anordnung vorkommen, als verschieden gelten. Variationen sind demnach permutierte Combinationen.

Wie die Combinationen, unterscheidet man auch die Variationen in die der ersten, zweiten, dritten, ... Classe, ferner in Variationen ohne und mit Wiederholungen.

Die Anzahl aller möglichen Variationen der rten Classe aus n Elementen ohne Wiederholungen wird durch  $V_n^r$ , und die Zahl derselben mit Wiederholungen durch  $V_n^{w,r}$  bezeichnet.

#### Bildung der Variationen.

§. 274. Die Variationen einer bestimmten Classe erhält man, indem man aus den gegebenen Elementen alle Combinationen derselben Classe bildet und dann von jeder Combination die Permutationen aufstellt. Die Variationen können aber auch unmittelbar gebildet werden.

1. Um aus gegebenen Elementen die Variationen der zweiten Classe ohne Wiederholungen zu bilden, setzt man jedes Element vor jedes der übrigen Elemente.

Sind überhaupt die Variationen irgend einer Classe ohne Wiederholungen gebildet, so erhält man aus denselben die Variationen der nächst höheren Classe, indem man jedes Element vor jede frühere Variation, in welcher dieses Element nicht vorkommt, setzt.

So geben die Elemente 1, 2, 3, 4 folgende Variationen ohne Wiederholungen

der 2. Classe:

12, 13, 14;  
21, 23, 24;  
31, 32, 34;  
41, 42, 43;

der 3. Classe:

123, 124, 132, 134, 142, 143;  
213, 214, 231, 234, 241, 243;  
312, 314, 321, 324, 341, 342;  
412, 413, 421, 423, 431, 432; u. s. w.

2. Um aus gegebenen Elementen die Variationen der zweiten Classe mit Wiederholungen zu erhalten, setzt man jedes Element vor jedes Element, auch sich selbst nicht ausgenommen.

Hat man bereits die Variationen irgend einer Classe mit Wiederholungen dargestellt, so bildet man aus denselben die Variationen der nächst höheren Classe, indem man jedes Element vor jede frühere Variation setzt.

Aus den beiden Elementen a und b erhält man folgende Variationen mit Wiederholungen

der 2. Classe:

aa, ab;

ba, bb;

der 3. Classe:

aaa, aab, aba, abb;

baa, bab, bba, bbb u. s. w.

**Zahl der Variationen ohne Wiederholungen.**

§. 275. Die Anzahl der Combinationen der rten Classe aus n Elementen ohne Wiederholungen ist  $\binom{n}{r}$ ; aus jeder solchen Combination lassen sich durch Permutation der r Elemente r! Variationen der rten Classe ohne Wiederholungen bilden; folglich ist

$$V_n^r = \binom{n}{r} \cdot r! = n(n-1)(n-2)\dots(n-r+2)(n-r+1).$$

**Zahl der Variationen mit Wiederholungen.**

§. 276. Sind n Elemente gegeben, so gibt jedes derselben n Variationen der zweiten Classe mit Wiederholungen, somit ist  $n^2$  die Anzahl aller solcher Variationen.

Ist überhaupt die Anzahl aller Variationen der rten Classe mit Wiederholungen von n Elementen bekannt, so ist, da jede solche Variation durch Verbindung mit allen n Elementen n Variationen der (r+1)ten Classe gibt,

$$V_n^{r+1} = V_n^r \cdot n.$$

Da nun  $V_n^{w,2} = n^2$  ist, so hat man  $V_n^{w,3} = n^3$ , folglich  $V_n^{w,4} = n^4$ , allgemein

$$V_n^{w,r} = n^r.$$

## II. Binomischer Lehrsatz. = *Newton'sche Satz*

§. 277. Unter dem binomischen Lehrsatz versteht man das Gesetz, nach welchem die Potenz eines Binoms in eine Reihe entwickelt wird.

Jede Potenz eines Binoms mit einem ganzen positiven Exponenten kann aus dem Producte mehrerer Binome, welche das erste Glied gemeinsam haben, hergeleitet werden, indem man in denselben auch die zweiten Glieder gleichsetzt. So geht das Product  $(a+b)(a+c)(a+d)(a+e)(a+f)$ , wenn man  $c=d=e=f=b$  setzt, in die Potenz  $(a+b)^5$  über.

§. 278. Das Product mehrerer Binome, welche ein Glied gemeinsam haben.

Um das Product  $(a + b)(a + c)(a + d)(a + e) \dots$  zu entwickeln, multipliciere man zuerst die ersten zwei Binome mit einander, ihr Product mit dem dritten Binom, u. f. w. Man erhält

$$\begin{aligned} (a + b)(a + c) &= a^2 + (b + c)a + bc, \\ (a + b)(a + c)(a + d) &= a^3 + (b + c + d)a^2 + (bc + bd + cd)a + bcd, \\ (a + b)(a + c)(a + d)(a + e) &= a^4 + (b + c + d + e)a^3 \\ &\quad + (bc + bd + be + cd + ce + de)a^2 \\ &\quad + (bcd + bce + bde + cde)a + bcde, \end{aligned}$$

u. f. w.

Das in diesen Producten herrschende Gesetz ist leicht zu ersehen. Das erste Glied eines jeden Productes ist die sovielte Potenz von  $a$ , als Binomialfactoren gegeben sind; in den folgenden Gliedern nehmen die Exponenten von  $a$  in natürlicher Ordnung ab, bis im letzten Gliede  $a^0 = 1$ , d. i. gar kein  $a$  erscheint. Der Coefficient des ersten Gliedes ist 1, der Coefficient des zweiten, dritten, vierten, ... Gliedes ist bezüglich die Summe der Combinationen der ersten, zweiten, dritten, ... Classe aus den zweiten Gliedern der Binome, jede dieser Complexionen als ein Product der darin vorkommenden Elemente aufgefaßt.

Gilt nun dieses Bildungsgesetz für ein Product von  $n$  Binomialfactoren  $a + b, a + c, \dots, a + p$ , so daß

$$(a + b)(a + c) \dots (a + p) = a^n + S_1(b \dots p)a^{n-1} + S_2(b \dots p)a^{n-2} + \dots + S_{n-1}(b \dots p)a + S_n(b \dots p)$$

ist, wo allgemein  $S_k(b \dots p)$  die Summe aller Combinationen der  $k$ ten Classe aus den  $n$  Elementen  $b, c, \dots, p$ , die einzelnen Complexionen als Producte aufgefaßt, bezeichnet, so gilt dasselbe Gesetz auch, wenn noch ein neuer Factor  $a + q$  dazu tritt. Man erhält nämlich

$$\begin{aligned} (a + b)(a + c) \dots (a + p)(a + q) \\ = a^{n+1} + \left\{ \begin{matrix} S_1(b \dots p) \\ + q \end{matrix} \right\} a^n + \left\{ \begin{matrix} S_2(b \dots p) \\ + S_1(b \dots p) \cdot q \end{matrix} \right\} a^{n-1} + \dots + \left\{ \begin{matrix} S_n(b \dots p) \\ + S_{n-1}(b \dots p) \cdot q \end{matrix} \right\} a \\ + S_n(b \dots p) \cdot q. \end{aligned}$$

Nun ist

$$S_1(b \dots p) + q = b + c + \dots + p + q = S_1(b \dots q).$$

Ferner ist  $S_2(b \dots p)$  die Summe der Amben von  $b, c, \dots, p$ , und  $S_1(b \dots p) \cdot q$  die Summe der Amben, welche man erhält, indem man die Elemente  $b, c, \dots, p$  noch mit dem neuen Elemente  $q$  verbindet, folglich ist  $S_2(b \dots p) + S_1(b \dots p) \cdot q$  die Summe aller Combinationen der zweiten Classe aus den Elementen  $b, c, \dots, p, q$ ; also

$$S_2(b \dots p) + S_1(b \dots p) \cdot q = S_2(b \dots q).$$

Ebenso folgt

$$S_3(b..p) + S_2(b..p) \cdot q = S_3(b..q),$$

$$S_4(b..p) + S_3(b..p) \cdot q = S_4(b..q).$$

$$\dot{S}_n(b..p) + \dot{S}_{n-1}(b..p) \cdot q = \dot{S}_n(b..q).$$

Endlich ist

$$S_n(b..p) \cdot q = bc..pq = S_{n+1}(b..q).$$

Man hat daher

$$(a+b)(a+c)\dots(a+p)(a+q) \\ = a^{n+1} + S_1(b..q)a^n + S_1(b..q)a^{n-1} + \dots \\ + S_n(b..q)a + S_{n+1}(b..q).$$

Das angeführte Bildungsgesetz gilt also für ein Product von  $n+1$  Binomialfactoren, wenn es für ein Product von  $n$  solchen Factoren richtig ist. Nun gilt es nach dem Obigen für 2, 3, 4 Factoren, folglich gilt es auch für 5, folglich auch für 6 Factoren.., mithin allgemein für jede Zahl von Factoren.

§. 279. Die Potenz eines Binoms.

Setzt man in dem Producte von  $n$  Binomialfactoren

$$(a+b)(a+c)(a+d)\dots(a+p) \\ = a^n + S_1(b..p)a^{n-1} + S_2(b..p)a^{n-2} + S_3(b..p)a^{n-3} + \dots \\ + S_{n-1}(b..p)a + S_n(b..p)$$

die zweiten Glieder  $c = d = \dots = p = b$ , so wird

$$(a+b)(a+c)(a+d)\dots(a+p) = (a+b)^n,$$

ferner

$$S_1(b..p) = b + c + \dots + p = b + b \dots + b = \binom{n}{1} b,$$

$$S_2(b..p) = bc + bd + \dots + op = b^2 + b^2 + \dots + b^2 = \binom{n}{2} b^2,$$

$$S_3(b..p) = bcd + bce + \dots + mop = b^3 + b^3 \dots + b^3 = \binom{n}{3} b^3,$$

$$\dots \\ S_{n-1}(b..p) = bcd\dots mo + \dots = b^{n-1} + b^{n-1} + \dots + b^{n-1} = \binom{n}{n-1} b^{n-1},$$

$$S_n(b..p) = bcd\dots mop = b^n = \binom{n}{n} b^n.$$

Durch die Substitution in den obigen Ausdruck erhält man daher für den binomischen Lehrsatz die Formel

$$(a+b)^n = a^n + \binom{n}{1} a^{n-1} b + \binom{n}{2} a^{n-2} b^2 + \binom{n}{3} a^{n-3} b^3 + \dots \\ + \binom{n}{n-1} a b^{n-1} + \binom{n}{n} b^n.$$

In dieser Formel herrscht folgendes Bildungsgesetz:

1. Die Potenzen des ersten Gliedes  $a$  des Binoms erscheinen fallend, jene des zweiten Gliedes  $b$  steigend geordnet. Der Exponent von  $a$  ist im ersten Gliede gleich dem Potenzexponenten  $n$  des Binoms, in jedem folgenden

Glieder um 1 kleiner und wird im letzten Gliede = 0, woraus zugleich folgt, daß die ganze Reihe ein Glied mehr hat, als der Potenzexponent  $n$  des Binoms Einheiten enthält. Die Exponenten von  $b$  nehmen umgekehrt von 0 bis  $n$  zu. Die Summe der Exponenten von  $a$  und  $b$  ist in jedem Gliede gleich  $n$ .

2. Der Binomialcoefficient des ersten Gliedes ist 1; der Coefficient des zweiten, dritten, vierten, ...  $(k + 1)$ ten Gliedes ist bezüglich die Zahl der Combinationen der ersten, zweiten, dritten ...  $k$ ten Classe ohne Wiederholungen von  $n$  Elementen.

3. Ist das zweite Glied  $b$  des Binoms negativ, so wird das zweite, vierte, ... überhaupt jedes geradstellige Glied der Reihe negativ; man hat daher

$$(a - b)^n = a^n - \binom{n}{1} a^{n-1} b + \binom{n}{2} a^{n-2} b^2 - \dots + (-1)^n \binom{n}{n} b^n.$$

Hiernach ist in der Binomialreihe  $(a \pm b)^n$  allgemein das  $(k + 1)$ te Glied gleich  $(\pm 1)^k \binom{n}{k} a^{n-k} b^k$ .

#### Beispiele.

$$\begin{aligned} 1) (x + a)^6 &= \\ &= x^6 + \binom{6}{1} a x^5 + \binom{6}{2} a^2 x^4 + \binom{6}{3} a^3 x^3 + \binom{6}{4} a^4 x^2 + \binom{6}{5} a^5 x + a^6 \\ &= x^6 + 6 a x^5 + 15 a^2 x^4 + 20 a^3 x^3 + 15 a^4 x^2 + 6 a^5 x + a^6. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) (3x - 2y)^4 &= \\ &= (3x)^4 - \binom{4}{1} \cdot (3x)^3 \cdot 2y + \binom{4}{2} (3x)^2 \cdot (2y)^2 - \binom{4}{3} \cdot 3x \cdot (2y)^3 + (2y)^4 \\ &= 81 x^4 - 4 \cdot 27 x^3 \cdot 2y + 6 \cdot 9 y^2 \cdot 4y^2 - 4 \cdot 3x \cdot 8y^3 + 16 y^4 \\ &= 81 x^4 - 216 x^3 y + 216 x^2 y^2 - 96 x y^3 + 16 y^4. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Das 7te Glied von } (2x^2 - 3y)^9 &\text{ ist } (-1)^6 \binom{9}{6} \cdot (2x^2)^{9-6} \cdot (3y)^6 \\ &= 84 \cdot 8 x^6 \cdot 729 y^6 = 489888 x^6 y^6. \end{aligned}$$

§. 280. Wir lassen nun auch noch eine zweite Entwicklung des binomischen Lehrsatzes folgen, die unmittelbar auf der Combinationslehre beruht.

Multiplizieren wir  $a + b$  mit  $a + b$ , das Product wieder mit  $a + b$ , u. s. w., schreiben aber dabei, damit das Bildungsgesetz leichter erkannt werde, in jedem Theilproducte zuerst den Multiplikator an, und machen in den Resultaten vorläufig auch von der Potenzbezeichnung für die gleichen Factoren keinen Gebrauch. Es ist

$$\begin{aligned} (a + b)^1 &= a + b \\ (a + b)^2 &= (a + b) (a + b) = \left. \begin{aligned} &aa + ab \\ &+ ba + bb \end{aligned} \right\} \\ (a + b)^3 &= (a + b)^2 (a + b) = \left. \begin{aligned} &aaa + aab + aba + abb \\ &+ baa + bab + bba + bbb \end{aligned} \right\} \end{aligned}$$

u. s. w.

Vergleicht man diese Resultate mit den Variationen mit Wiederholungen aus  $a$  und  $b$  in §. 274, 2, so sieht man sogleich, daß die Bestandtheile der 2ten Potenz des Binoms  $a + b$  aus den Gliedern desselben auf gleiche Weise gebildet werden, wie dort aus den Elementen  $a$  und  $b$  die Variationen der 2ten Classe mit Wiederholungen zusammengestellt wurden, daß daher  $(a + b)^2$  gleich der Summe aller Variationen der 2ten Classe mit Wiederholungen aus den Elementen  $a$  und  $b$  ist, wenn man jede Variation als Product betrachtet; daß ebenso  $(a + b)^3$  die Summe aller Variationen der 3ten Classe mit Wiederholungen von  $a$  und  $b$  ist, jede Variation als Product aufgefaßt. Da auch die Entwicklung jeder höheren Potenz von  $a + b$ , wenn sie auf die ange deutete Weise geschieht, mit dem Bildungsgesetze der Variationen der entsprechenden Classe mit Wiederholungen aus  $a$  und  $b$  in Übereinstimmung bleibt, so folgt, daß allgemein  $(a + b)^n$  die Summe aller Variationen der  $n$ ten Classe mit Wiederholungen aus den Elementen  $a$  und  $b$  ist, wenn man jede Variation als Product auffaßt.

Die Variationen erhält man aber auch, wenn man die Combinationen derselben Classe bildet und diese permutirt. Die Combinationen der  $n$ ten Classe mit Wiederholungen aus den Elementen  $a$  und  $b$ , als Producte betrachtet, sind nach §. 270, Zusatz,

$$a^n, a^{n-1}b, a^{n-2}b^2, \dots, a^{n-k}b^k, \dots, ab^{n-1}, b^n.$$

Diese Combinationen müßten permutirt und die dadurch entstehenden Variationen als Producte addirt werden. Da aber alle Variationen, die aus der Permutirung derselben Combination hervorgehen, dieselben Elemente enthalten und somit als Producte betrachtet der Combination selbst gleich sind, so braucht man die Permutationen nicht wirklich zu bilden, sondern wird, um die Summe aller Variationen zu erhalten, jede Combination sogleich mit ihrer Permutationszahl multiplicieren und dann alle diese Producte addieren.

Die Permutationszahlen für die oben aufgestellten Combinationen sind nun nach §. 268, 3, folgendermaßen

$$1, \binom{n}{1}, \binom{n}{2}, \dots, \binom{n}{k}, \dots, \binom{n}{n-1}, \dots, 1.$$

Es ergibt sich sonach, wie in §. 279,

$$(a + b)^n = a^n + \binom{n}{1} a^{n-1}b + \binom{n}{2} a^{n-2}b^2 + \dots + \binom{n}{k} a^{n-k}b^k + \dots + \binom{n}{n-1} ab^{n-1} + b^n.$$

**Zusatz.** Genau auf dieselbe Art, wie hier die Binomialformel entwickelt wurde, kann auch der polynomische Lehrsatz, d. i. eine Formel für  $(a + b + c + d + \dots)^n$ , abgeleitet werden, da diese Potenz der Summe aller Variationen der  $n$ ten Classe mit Wiederholungen aus den Elementen  $a, b, c, d, \dots$  gleich ist, wenn man jede Variation als Product auffaßt. Um daher die  $n$ te Potenz eines gegebenen Polynoms zu erhalten, darf man nur aus den Gliedern desselben die Combinationen der  $n$ ten Classe mit Wieder-

holungen bilden, jede derselben als Product betrachtet mit der zugehörigen Permutationszahl multiplicieren und die erhaltenen Producte addieren.

§. 281. Beziehungen zwischen den Binomialcoefficienten.

1. Se zwei vom Anfange und vom Ende gleich weit ab-  
stehende Binomialcoefficienten sind einander gleich.

Der  $(k + 1)$ te Binomialcoefficient vom Anfange ist

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)\dots(n-k+2)(n-k+1)}{1.2\dots(k-1).k}$$

Der  $(k + 1)$ te Binomialcoefficient vom Ende ist der  $(n - k + 1)$ te vom Anfange, also

$$\binom{n}{n-k} = \frac{n(n-1)\dots(k+2)(k+1)}{1.2\dots(n-k-1)(n-k)}$$

Multipliciert man Zähler und Nenner des ersten Bruches mit

$$(k+1)(k+2)\dots(n-k-1)(n-k),$$

so erhält man

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)\dots(n-k+1)(n-k)\dots(k+2)(k+1)}{1.2\dots k(k+1)\dots(n-k-1)(n-k)},$$

folglich ist

$$\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}.$$

Zusatz. Aus der letzten Gleichung ergibt sich für  $k = 0$

$$\binom{n}{0} = \binom{n}{n} = 1.$$

2. Die Summe aus dem  $k$ ten und  $(k + 1)$ ten Binomialcoefficienten einer Potenz ist gleich dem  $(k + 1)$ ten Binomialcoefficienten der um 1 höheren Potenz.

$$\text{Es ist } \binom{n}{k-1} = \frac{n(n-1)\dots(n-k+3)(n-k+2)}{1.2\dots(k-2)(k-1)},$$

$$\binom{n}{k} = \frac{n(n-1)\dots(n-k+2)(n-k+1)}{1.2\dots(k-1).k}; \text{ daher}$$

$$\begin{aligned} \binom{n}{k-1} + \binom{n}{k} &= \frac{n(n-1)\dots(n-k+2)}{1.2\dots(k-1).k} \{k + (n-k+1)\} \\ &= \frac{(n+1)n(n-1)\dots(n-k+2)}{1.2.3\dots k} = \binom{n+1}{k}. \end{aligned}$$

Mittelfst dieses Satzes kann man aus den Binomialcoefficienten irgend einer Potenz jene der nächst höheren Potenz durch bloße Addition ableiten. Man erhält dadurch für die aufeinander folgenden Potenzen eines Binoms folgende Coefficienten (Pascal'sches Dreieck):

1

1 1

1 2 1

1 3 3 1

1 4 6 4 1

1 5 10 10 5 1

1 6 15 20 15 6 1

u. s. w.

3. Die Summe aus den  $(k + 1)$ ten Binomialcoefficienten der  $k$ ten,  $(k + 1)$ ten,  $(k + 2)$ ten, ... bis  $n$ ten Potenz ist gleich dem  $(k + 2)$ ten Coefficienten der  $(n + 1)$ ten Potenz.

Aus dem vorhergehenden Satze folgt  $\binom{n}{k-1} = \binom{n+1}{k} - \binom{n}{k}$ ; daher ist

$$\binom{k}{k} = \binom{k+1}{k+1} - \binom{k}{k+1},$$

$$\binom{k+1}{k} = \binom{k+2}{k+1} - \binom{k+1}{k+1},$$

$$\binom{k+2}{k} = \binom{k+3}{k+1} - \binom{k+2}{k+1},$$

$$\dots$$

$$\binom{n-1}{k} = \binom{n}{k+1} - \binom{n-1}{k+1},$$

$$\binom{n}{k} = \binom{n+1}{k+1} - \binom{n}{k+1}.$$

Addiert man diese Gleichungen, so ergibt sich, da sich die Glieder auf der zweiten Seite paarweise aufheben und  $\binom{k}{k+1} = 0$  ist, die Gleichung

$$\binom{k}{k} + \binom{k+1}{k} + \binom{k+2}{k} + \dots + \binom{n}{k} = \binom{n+1}{k+1}.$$

3. B. für  $k = 2$  ist

$$\binom{2}{2} + \binom{3}{2} + \binom{4}{2} + \binom{5}{2} + \dots + \binom{n}{2} = \binom{n+1}{3}.$$

4. Die absolute Summe aller Binomialcoefficienten für die  $n$ te Potenz ist gleich  $2^n$ .

$$\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \binom{n}{2} + \dots + \binom{n}{n} = (1 + 1)^n = 2^n.$$

5. Die algebraische Summe der abwechselnd positiven und negativen Binomialcoefficienten ist gleich Null.

$$\binom{n}{0} - \binom{n}{1} + \binom{n}{2} - \dots + (-1)^n \binom{n}{n} = (1 - 1)^n = 0.$$

### III. Elemente der Wahrscheinlichkeitsrechnung.

Die absolute und einfache Wahrscheinlichkeit.

§. 282. Sind unter mehreren gleich möglichen Fällen einige dem Eintreffen eines bestimmten Ereignisses günstig, die übrigen dagegen ungünstig, so heißt das Verhältnis der Anzahl jener Fälle, welche dem Eintreffen des Ereignisses günstig sind, zu der Anzahl aller gleich möglichen Fälle die mathematische Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen dieses Ereignisses.

Bezeichnet  $a$  die Zahl der einem Ereignisse günstigen und  $b$  die Zahl der ihm ungünstigen Fälle, so ist, wenn die mathematische Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen jenes Ereignisses durch  $w$  ausgedrückt wird,

$$w = \frac{a}{a + b}.$$

Je mehr Fälle dem Eintreffen des Ereignisses günstig sind oder je größer  $a$  ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für das Stattfinden des Ereignisses; sind alle Fälle günstig, so ist das Stattfinden gewiss und man hat, da  $b = 0$  ist, als das mathematische Symbol der Gewissheit

$$w = \frac{a}{a} = 1.$$

Je weniger günstige Fälle vorkommen, desto geringer wird auch die Wahrscheinlichkeit; ist gar kein Fall günstig, so ist das Eintreffen des Ereignisses unmöglich, und man hat, da  $a = 0$  ist, für das mathematische Symbol der Unmöglichkeit

$$w = \frac{0}{b} = 0.$$

Im gewöhnlichen Leben heißt ein Ereignis wahrscheinlich, wenn  $w > \frac{1}{2}$ , zweifelhaft, wenn  $w = \frac{1}{2}$ , und unwahrscheinlich, wenn  $w < \frac{1}{2}$  ist.

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Ereignis nicht eintreffen werde, heißt die entgegengesetzte Wahrscheinlichkeit. Sie wird durch einen Bruch dargestellt, dessen Zähler die Anzahl aller ungünstigen und der Nenner die Anzahl aller gleich möglichen Fälle ist. Bezeichnet man die entgegengesetzte Wahrscheinlichkeit durch  $w'$ , so ist

$$w' = \frac{b}{a + b}, \text{ daher } w + w' = \frac{a + b}{a + b} = 1,$$

d. h. die Summe der Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines Ereignisses und jener für das Nichteintreffen gibt die Einheit, somit die Gewissheit; was auch ganz natürlich erscheint, da es gewiss ist, daß jenes Ereignis entweder eintreffen oder nicht eintreffen muß.

Aus  $w + w' = 1$  folgt  $w' = 1 - w$ .

#### Beispiele.

Wirft man zwei Spielwürfel A und B, deren sechs Flächen nach der Reihe mit 1, 2, 3, 4, 5, 6 Punkten oder Augen bezeichnet sind, so sind in Bezug auf die Zahlen, welche auf den oberen Flächen der beiden Würfel zu stehen kommen, folgende 36 Fälle gleich möglich:

AB	AB	AB	AB	AB	AB
11	21	31	41	51	61
12	22	32	42	52	62
13	23	33	43	53	63
14	24	34	44	54	64
15	25	35	45	55	65
16	26	36	46	56	66

a) Um die Summe 5 zu werfen, sind 4 Fälle günstig, nämlich 14, 23, 32, 41. Die Wahrscheinlichkeit, mit beiden Würfeln 5 Augen zu werfen, ist also  $\frac{4}{36} = \frac{1}{9}$ .

Dieser Ausdruck, welcher anzeigt, daß in 9 Würfeln die Summe 5 einmal geworfen werde, ist jedoch nicht so zu verstehen, als wenn man in den ersten 9 Würfeln die Summe 5 gerade einmal werfen müßte; man kann diese Summe vielleicht gar nicht, oder gerade einmal, oder auch mehr als einmal werfen; aber wenn man sehr viele Würfe macht, so wird sich das Verhältnis der Anzahl der Würfe, worin man 5 wirft, zu der gesammten Anzahl der Würfe um so mehr dem Verhältnisse 1:9 nähern, je länger das Spiel fortgesetzt wird. Der wirkliche Erfolg wird der durch Zahlen ausgedrückten Wahrscheinlichkeit um so näher kommen, je größer die Anzahl der Versuche ist; und in diesem Sinne ist die mathematische Wahrscheinlichkeit stets aufzufassen.

b) Die Wahrscheinlichkeit, die Summe 5 nicht zu werfen, ist  $1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9}$ .

c) Die Wahrscheinlichkeit, die Zahlen 3 und 5 zu werfen, ist, da nur zwei Fälle 35 und 53 günstig sind,  $\frac{2}{36} = \frac{1}{18}$ .

d) Die Wahrscheinlichkeit, einen Pasch, d. i. zwei gleiche Zahlen zu werfen, ist  $\frac{6}{36} = \frac{1}{6}$ .

**Die relative Wahrscheinlichkeit.**

§. 283. Die bisher betrachtete Wahrscheinlichkeit, wobei nur ein Ereignis an und für sich betrachtet wird, heißt die absolute Wahrscheinlichkeit, im Gegensatz zu der relativen, welche sich auf die Vergleichung zweier Ereignisse bezieht. Bei der relativen Wahrscheinlichkeit zieht man unter den möglichen Fällen nur diejenigen in Rechnung, welche entweder dem einen oder dem andern der beiden Ereignisse günstig sind, während alle übrigen Fälle unbeachtet bleiben.

Sind für verschiedene Ereignisse  $s$  Fälle gleich möglich, und vergleicht man nur die Ereignisse A und B, deren einem  $m$  und dem anderen  $n$  Fälle günstig sind, so ist die relative Wahrscheinlichkeit  $W$  für das erste Ereignis  $\frac{m}{m+n}$ , und die relative Wahrscheinlichkeit  $W'$  für das zweite Ereignis  $\frac{n}{m+n}$ .

Man kann die relativen Wahrscheinlichkeiten auch aus den absoluten herleiten. Es ist nämlich, wenn man die absoluten Wahrscheinlichkeiten für die Ereignisse A und B beziehungsweise durch  $w$  und  $w'$  bezeichnet,

$$W = \frac{m}{m+n} = \frac{\frac{m}{s}}{\frac{m}{s} + \frac{n}{s}} = \frac{w}{w+w'} \quad W' = \frac{n}{m+n} = \frac{\frac{n}{s}}{\frac{m}{s} + \frac{n}{s}} = \frac{w'}{w+w'}$$

Die relative Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses ist also gleich dem Quotienten aus der absoluten Wahrscheinlichkeit jenes Ereignisses und der Summe der absoluten Wahrscheinlichkeiten der beiden Ereignisse.

3. B. In einer Urne sind 4 weiße, 6 blaue und 8 rothe Kugeln. Die absolute Wahrscheinlichkeit,

eine weiße Kugel zu ziehen, ist  $\frac{4}{18}$ ,

" rothe " " " "  $\frac{8}{18}$ ;

daher die relative Wahrscheinlichkeit,

eher eine weiße als eine rothe Kugel zu ziehen,  $\frac{\frac{4}{18}}{\frac{4}{18} + \frac{8}{18}} = \frac{4}{12} = \frac{1}{3}$ ,

eher eine rothe als eine weiße Kugel zu ziehen,  $\frac{\frac{8}{18}}{\frac{4}{18} + \frac{8}{18}} = \frac{8}{12} = \frac{2}{3}$ .

### Die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit.

§. 284. Beruht die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses auf der Berechnung mehrerer einfacher Wahrscheinlichkeiten, so heißt eine solche Wahrscheinlichkeit eine zusammengesetzte. Sie ist zweifacher Art; entweder schließt sich das Eintreffen der einzelnen Ereignisse gegenseitig aus und es kann unter mehreren fraglichen Ereignissen nur eines stattfinden, oder es sollen zwei oder mehrere Ereignisse in Verbindung miteinander gleichzeitig oder nacheinander eintreffen.

§. 285. Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines von mehreren Ereignissen, die sich gegenseitig ausschließen.

Ist  $s$  die Anzahl aller gleich möglichen Fälle, von denen  $m$  dem Ereignisse  $A$ ,  $n$  dem Ereignisse  $B$ ,  $p$  dem Ereignisse  $C$ ,... also  $m+n+p$ ... für das Eintreffen irgend eines unter den Ereignissen  $A, B, C$ ,... günstig sind, so ist, wenn man die absoluten Wahrscheinlichkeiten für diese Ereignisse durch  $w', w'', w''', \dots$  und die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen irgend eines dieser Ereignisse durch  $W$  bezeichnet,

$$w' = \frac{m}{s}, \quad w'' = \frac{n}{s}, \quad w''' = \frac{p}{s}, \dots \text{ und}$$

$$W = \frac{m+n+p+\dots}{s} = \frac{m}{s} + \frac{n}{s} + \frac{p}{s} + \dots, \text{ oder}$$

$$W = w' + w'' + w''' + \dots,$$

d. i. die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen irgend eines von mehreren sich gegenseitig ausschließenden Ereignissen ist gleich der Summe der absoluten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Ereignisse.

3. B. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, aus einer Urne, in welcher 6 gelbe, 8 rothe und 10 weiße Kugeln sind, eine farbige Kugel zu ziehen?

Die  $W$ , eine gelbe Kugel zu ziehen, ist  $\frac{6}{24}$ ; die  $W$ , eine rothe Kugel zu ziehen, ist  $\frac{8}{24}$ ; daher die  $W$ , eine farbige Kugel zu ziehen,

$$\frac{6}{24} + \frac{8}{24} = \frac{14}{24} = \frac{7}{12}.$$

§. 286. Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen mehrerer Ereignisse.

Es sei  $W$  die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen zweier Ereignisse  $A$  und  $B$ , von denen dem ersteren  $m'$  Fälle günstig und  $n'$  Fälle ungünstig, dem letzteren  $m''$  Fälle günstig und  $n''$  Fälle ungünstig sind. Die absoluten Wahrscheinlichkeiten dieser beiden Ereignisse sind

$$w' = \frac{m'}{m' + n'} \quad w'' = \frac{m''}{m'' + n''}.$$

Da nun jeder der  $m'$  dem Ereignisse  $A$  günstigen Fälle mit jedem der  $m''$  dem Ereignisse  $B$  günstigen Fälle zusammen eintreffen kann, so gibt es für das Zusammentreffen beider Ereignisse  $m' m''$  günstige Fälle. Die Anzahl aller möglichen Fälle ist  $(m' + n') (m'' + n'')$ , da jeder der  $m' + n'$  bei  $A$  möglichen Fälle mit jedem der  $m'' + n''$  bei  $B$  möglichen Fälle zusammentreffen kann. Es ist daher die Wahrscheinlichkeit, daß die beiden Ereignisse  $A$  und  $B$  zusammen eintreffen,

$$W = \frac{m' m''}{(m' + n') (m'' + n'')} = \frac{m'}{m' + n'} \cdot \frac{m''}{m'' + n''} = w' w''.$$

Sind ebenso  $w', w'', w''', \dots$  die absoluten Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen der einzelnen Ereignisse  $A, B, C, \dots$ , so erhält man die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen aller dieser Ereignisse

$$W = w' w'' w''' \dots,$$

d. h. die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen mehrerer Ereignisse ist gleich dem Producte aus den absoluten Wahrscheinlichkeiten für das Eintreffen der einzelnen Ereignisse.

3. B. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln auf den ersten Wurf die Summe 5, auf den zweiten die Summe 7 zu werfen?

Die  $W.$ , auf den ersten Wurf die Summe 5 zu werfen, ist  $\frac{4}{36}$ ; die  $W.$ , auf den zweiten Wurf die Summe 7 zu werfen, ist  $\frac{6}{36}$ ; daher die  $W.$  für das Zusammentreffen dieser beiden Ereignisse  $\frac{4}{36} \cdot \frac{6}{36} = \frac{1}{54}$ .

§. 287. Wahrscheinlichkeit für das wiederholte Eintreffen desselben Ereignisses.

Ist  $w$  die absolute Wahrscheinlichkeit, daß irgend ein Ereignis eintreffe, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß jenes Ereignis 2-, 3-, 4-, ...  $r$ mal nacheinander eintreffe,

$$\begin{aligned} w_2 &= w \cdot w = w^2, \\ w_3 &= w \cdot w \cdot w = w^3, \\ w_4 &= w \cdot w \cdot w \cdot w = w^4, \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ w_r &= w \cdot w \cdot w \dots r \text{ mal} = w^r. \end{aligned}$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Ereignis mehreremal nacheinander stattfindet, ist also gleich der sovielten Potenz der Wahrscheinlichkeit für das einmalige Eintreffen, als Wiederholungen stattfinden sollen.

3. B. Wie groß ist die W., mit zwei Würfeln 3mal nacheinander die Summe 7 zu werfen? — Die W., die Summe 7 einmal zu werfen, ist  $\frac{1}{6}$ , also die W., die Summe 3mal nacheinander zu werfen,  $\left(\frac{1}{6}\right)^3 = \frac{1}{216}$ .

Wenn ein Ereignis wiederholt stattfinden soll, so tritt zuweilen der Fall ein, daß nach jedem Eintreffen desselben sowohl die Anzahl der möglichen als die der günstigen Fälle um 1 kleiner wird. In diesem Falle ist, wenn  $\frac{m}{s}$  die Wahrscheinlichkeit für das erste Eintreffen eines solchen Ereignisses ausdrückt, die Wahrscheinlichkeit für das rmalige Wiederholen desselben

$$w_r = \frac{m}{s} \cdot \frac{m-1}{s-1} \cdot \frac{m-2}{s-2} \cdots \frac{m-r+1}{s-r+1}.$$

3. B. Die W., aus einer Urne, welche 8 weiße und 6 schwarze Kugeln enthält, 4mal nacheinander eine weiße Kugel zu ziehen, wenn jede gezogene Kugel nicht wieder in die Urne zurückgelegt wird, ist

$$\frac{8}{14} \cdot \frac{7}{13} \cdot \frac{6}{12} \cdot \frac{5}{11} = \frac{10}{143}.$$

§. 288. Wahrscheinlichkeit für die verschiedenen Combinationen zweier Ereignisse.

Sind s gleich mögliche Fälle, von denen m' dem Ereignisse A, und m'' dem Ereignisse B günstig sind, so ist, wenn

$$\frac{m'}{s} = w' \text{ und } \frac{m''}{s} = w''$$

gesetzt wird, die Wahrscheinlichkeit,

daß A eintritt	.....	w'
„ A nicht eintritt	.....	1 — w'
„ B eintritt	.....	w''
„ B nicht eintritt	.....	1 — w''
„ A eintritt, B nicht	.....	w' (1 — w'')
„ A nicht eintritt, aber B	.....	(1 — w') w''
„ nur A oder B eintritt	.....	w' (1 — w'') + (1 — w') w''
„ A und B beide eintreffen	.....	w' w''
„ A und B nicht beide eintreffen	.....	1 — w' w''
„ weder A noch B eintritt	.....	(1 — w') (1 — w'')
„ von A und B wenigstens eines eintritt, also A, oder B, oder auch beide	.....	1 — (1 — w') (1 — w'')

3. B. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit 2 Würfeln in zwei Würfen wenigstens einmal 9 Augen zu werfen?

Hier ist  $w' = \frac{1}{9}$  und  $w'' = \frac{1}{9}$ , daher die gesuchte Wahrscheinlichkeit

$$1 - (1 - w')(1 - w'') = 1 - \frac{8}{9} \cdot \frac{8}{9} = \frac{17}{81}.$$

### Mathematischer Hoffnungswert.

§. 289. Ist mit dem Eintreffen eines Ereignisses ein bestimmter Gewinn verbunden, so hat derselbe vor dem Eintreffen jenes Ereignisses einen Wert, welcher von dem Grade der Wahrscheinlichkeit abhängt, die für das Stattfinden des Ereignisses vorhanden ist; man nennt diesen Wert den mathematischen Hoffnungswert oder die mathematische Erwartung. Trifft das Ereignis gewiss ein, so darf man auch vor dem Eintreffen desselben den vollen Gewinn erwarten. Sind aber für das Stattfinden des Ereignisses  $a$  Fälle günstig und  $b$  Fälle ungünstig, so wird das Ereignis unter  $a + b$  Fällen nur in  $a$  Fällen eintreffen und daher auch der Gewinn nicht mit dem vollen Werte, sondern nur mit dem so vielen Theile desselben, als die Wahrscheinlichkeit  $w$ , ihn zu erhalten, anzeigt, erwartet werden können. Heißt daher  $h$  der mathematische Hoffnungswert und  $g$  der anzuhoffende Gewinn, so ist

$$h = \frac{a}{a + b} \cdot g = wg,$$

d. h. der mathematische Hoffnungswert eines Gewinnes ist gleich dem Producte aus dem Gewinne und der Wahrscheinlichkeit desselben.

Z. B. Jemand setzt auf zwei Nummern einer Zahlenlotterie, welche 90 Nummern enthält, 1 fl. und gewinnt, wenn seine beiden Nummern gezogen werden, 240 fl.; wie groß ist der mathematische Hoffnungswert?

Die Wahrscheinlichkeit, mit zwei Nummern einen Ambo zu machen, ist  $\frac{10}{4005} = \frac{2}{801}$ , daher  $h = \frac{2}{801} \cdot 240 = \frac{480}{801} = \frac{160}{267}$  fl.

§. 290. Bei Versicherungen, Wetten und Glücksspielen wird eine bestimmte Summe eingesetzt und dafür im günstigen Falle eine bestimmte Summe gewonnen. Jede rechtmäßige Versicherung, sowie jedes rechtmäßige Glücksspiel beruht auf dem Grundsatz: Der Einsatz muß dem mathematischen Hoffnungswerte des Gewinnes gleich sein.

Heißen  $e'$  und  $e''$  die Einsätze zweier Spieler, welche die Wahrscheinlichkeit  $w'$  und  $w''$  haben, einen Gewinn  $g$  zu erhalten, so ist  $e' = w'g$  und  $e'' = w''g$ , daher  $e' : e'' = w' : w''$ , d. h. die Einsätze müssen den Wahrscheinlichkeiten, zu gewinnen, proportioniert sein.

Z. B. A wettet gegen B, daß er mit zwei Würfeln einen Pasch wirft.

Die Wahrscheinlichkeit, zu gewinnen, ist für A  $\frac{1}{6}$ , für B  $\frac{5}{6}$ ; es müssen sich also auch die Einsätze der beiden Spieler, wenn die Wette rechtmäßig sein soll, wie  $\frac{1}{6} : \frac{5}{6}$  oder wie 1 : 5 verhalten, d. h. B muß 5 mal so viel setzen, als A.

## Wahrscheinlichkeit in Beziehung auf die Lebensdauer des Menschen.

§. 291. Durch Vergleichung der Sterbelisten, die für zahlreiche Orte und durch viele Jahre hindurch geführt wurden, ist man zu Tabellen gelangt, welche angeben, wie viele von einer bestimmten Anzahl in demselben Jahre geborner Menschen in den aufeinander folgenden Jahren noch am Leben sind. Solche Tabellen heißen Sterblichkeits- oder Mortalitätstafeln. Wir theilen nachstehend eine solche Tafel mit.

Süßmilch-Baumann'sche Sterblichkeitstafel.

n	$a_n$								
0	1000	20	491	40	374	60	210	80	37
1	750	21	486	41	367	61	201	81	32
2	661	22	481	42	360	62	192	82	28
3	618	23	476	43	353	63	182	83	24
4	593	24	471	44	346	64	172	84	20
5	579	25	466	45	339	65	162	85	17
6	567	26	461	46	332	66	152	86	14
7	556	27	456	47	324	67	142	87	12
8	547	28	451	48	316	68	132	88	10
9	539	29	445	49	308	69	122	89	8
10	532	30	439	50	300	70	112	90	6
11	527	31	433	51	291	71	103	91	5
12	523	32	427	52	282	72	94	92	4
13	519	33	421	53	273	73	85	93	3
14	515	34	415	54	264	74	77	94	2
15	511	35	409	55	255	75	69	95	1
16	507	36	402	56	246	76	62	96	0
17	503	37	395	57	237	77	55		
18	499	38	388	58	228	78	49		
19	495	39	381	59	219	79	43		

Diese Tabelle, welche sich auf 1000 in demselben Jahre Geborene bezieht, enthält in der ersten mit  $n$  überschriebenen Spalte die Altersjahre der Personen, in der zweiten mit  $a_n$  bezeichneten die Zahl der im Alter von  $n$  Jahren noch Lebenden. Die Differenz zweier Zahlen der Lebenden gibt die Anzahl der in dem bezüglichen Zeitraume Gestorbenen. So sterben z. B. vom 20. bis zum 30. Lebensjahre  $491 - 439 = 52$  Personen. Die Zahl der im  $n$ ten Altersjahre Gestorbenen ist gleich  $a_n - a_{n+1}$ .

§. 292. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine  $n$ jährige Person das Alter von  $n + p$  Jahren erreichen werde, darzustellen.

Von  $a_n$  im Alter von  $n$  Jahren lebenden Personen leben im Alter von  $n + p$  Jahren noch  $a_{n+p}$  Personen. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine  $n$  jährige

Person das  $(n + p)$ te Jahr erreichen werde, ist demnach, da  $a_{n+p}$  die Anzahl der günstigen und  $a_n$  die Anzahl aller gleich möglichen Fälle angibt,

$$w = \frac{a_{n+p}}{a_n}.$$

Die entgegengesetzte Wahrscheinlichkeit, daß nämlich eine  $n$ jährige Person das  $(n + p)$ te Jahr nicht erleben werde, ist  $w' = 1 - \frac{a_{n+p}}{a_n}$ .

**Beispiele.** 1) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine 24jährige Person das 50ste Jahr erreichen werde?  $\frac{a_{50}}{a_{24}} = \frac{300}{471} = 0.637$ .

2) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß von zwei Eheleuten, von denen der Mann 40, die Frau 30 Jahre alt ist, beide das 60ste Jahr erreichen werden? Die Wahrscheinlichkeit, das 60ste Jahr zu erreichen, ist für den Mann  $\frac{a_{60}}{a_{40}}$ , für die Frau  $\frac{a_{60}}{a_{30}}$ , daher die zusammengesetzte Wahrscheinlichkeit,

daß beide das 60ste Jahr erleben,  $\frac{a_{60}}{a_{40}} \cdot \frac{a_{60}}{a_{30}} = \frac{210}{374} \cdot \frac{210}{439} = 0.2686$ .

### Lebensversicherungsrechnung.

§. 293. Verpflichtet sich eine Versicherungsanstalt, einer Person oder deren Rechtsnachfolgern gegen eine zu entrichtende Geldsumme in einem bestimmten Falle, welcher von dem Leben oder Tode einer oder mehrerer Personen abhängt, einen gewissen Capitalbetrag oder eine bestimmte Leibrente (§. 264) zu zahlen, so heißt der bezügliche Vertrag ein Lebensversicherungsvertrag. Bei allen Rechnungen über Lebensversicherungen wird der Grundsatz festgehalten, daß der Barwert der Zahlungen, welche die Versicherungsanstalt von den unter gleichen Bedingungen versicherten Personen zu empfangen hat, gleich sei dem Barwerte der Zahlungen, welche die Anstalt an diese Versicherten zu leisten hat.

Unter der Reserve (Prämienreserve) eines Versicherten in einem gegebenen Zeitpunkte versteht man den Betrag, welcher sich ergibt, wenn man den Barwert der von ihm noch weiterhin zu leistenden Zahlungen von dem Barwerte seiner künftigen Bezüge subtrahiert. Die Reserve gibt den Wert der Versicherungs-Polizze für jenen Zeitpunkt an.

Wir beschränken uns hier auf einige besonders wichtige Aufgaben.

§. 294. Aufgabe. Eine  $n$ jährige Person will bei einer Versicherungsanstalt ein Capital  $C$  so versichern, daß dieses nach  $p$  Jahren, wenn die Person damals noch lebt, an dieselbe ausbezahlt werden soll, daß dagegen, falls die Person während der  $p$  Jahre stirbt, die eingezahlte Summe zu Gunsten der Anstalt verfällt; wie groß ist der Betrag  $M$  (Mise), welcher an die Anstalt sogleich einzuzahlen ist? (Versicherung auf den Lebensfall).

Wenn alle  $a_n$  Personen, welche in der Sterblichkeitstafel bei dem Alter  $n$  angegeben sind, unter denselben Bedingungen der Versicherungsanstalt betreten, so haben sie zusammen  $M \cdot a_n$  einzuzahlen. Von den  $a_n$  Personen leben nach  $p$  Jahren noch  $a_{n+p}$ ; an diese hat die Anstalt je  $C$ , also im ganzen den Betrag  $C \cdot a_{n+p}$  zu zahlen, dessen Barwert, wenn hier wie auch in den folgenden Aufgaben der Zinsfuß durch  $e$  bezeichnet wird,  $\frac{C \cdot a_{n+p}}{e^p}$  beträgt. Da nun die Barwerte der Einnahmen und der Ausgaben der Anstalt gleich sein sollen, so hat man die Gleichung

$$M \cdot a_n = C \cdot \frac{a_{n+p}}{e^p}, \text{ daher } M = C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_n e^p}.$$

Zu demselben Resultate gelangt man auch durch folgende Schlußweise, die ebenso bei den späteren Aufgaben angewendet werden kann. Die Wahrscheinlichkeit, daß die  $n$  jährige Person das  $(n + p)$  te Jahr erreichen und daß also die Auszahlung des versicherten Capitals  $C$  wirklich erfolgen werde, ist  $\frac{a_{n+p}}{a_n}$ , daher (nach §. 289) der mathematische Hoffnungswert dieses Capitals  $C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_n}$ , und sein Barwert  $C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_n e^p}$ . Es ergibt sich daher, wie früher,

$$M = C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_n e^p}.$$

Es sei in diesem Falle die Reserve  $R$  des Versicherten, wenn er  $k$  Jahre alt ist, zu bestimmen. Die Versicherungssumme, welche die Anstalt an die ihr beigetretenen  $a_n$  Personen, wenn sie  $n + p$  Jahre alt werden, auszahlen hat, beträgt  $C \cdot a_{n+p}$ ; hievon entfällt gegenwärtig, da nur noch  $a_k$  Personen leben, auf einen Versicherten der nach  $n + p - k$  Jahren fällige Betrag  $C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_k}$ . Die Reserve ist demnach, da keine weitere Einzahlung zu leisten ist, gleich dem Barwerte dieses Betrages, also

$$R = C \cdot \frac{a_{n+p}}{a_k \cdot e^{n+p-k}}.$$

**Beispiel.** Wie groß ist der Betrag, den ein Vater bei 5% Zinsezins an eine Versicherungsanstalt einzahlen muß, damit diese seinem 10jährigen Sohne, wenn er das 24ste Jahr erreicht, ein Capital von 2000 fl. auszahle?

$$M = 2000 \cdot \frac{a_{24}}{a_{10} \cdot 1 \cdot 05^{14}} = \frac{2000 \cdot 471}{532 \cdot 1 \cdot 05^{14}} = 894 \cdot 32 \text{ fl.}$$

Zu diesem Betrage kommt noch ein Verwaltungskostenzuschlag.

Wenn der Sohn 20 Jahre alt wird, ist seine Reserve

$$R = 2000 \cdot \frac{a_{24}}{a_{20} \cdot 1 \cdot 05^4} = \frac{2000 \cdot 471}{491 \cdot 1 \cdot 05^4} = 1578 \cdot 37 \text{ fl.}$$

**§. 295. Aufgabe.** Wie groß ist der Betrag  $M$ , den eine  $n$  jährige Person an eine Versicherungsanstalt sogleich einzahlen muß, damit sie, so lange sie lebt, am Ende eines jeden Jahres eine Leibrente  $B$  beziehe? (Rentenversicherung.)

Versichern sich  $a_n$  Personen vom Alter  $n$  unter gleichen Bedingungen, so haben sie  $M \cdot a_n$  einzuzahlen. Von diesen Personen leben am Ende des 1., 2., 3., ... Jahres noch  $a_{n+1}$ ,  $a_{n+2}$ ,  $a_{n+3}$ , ... Die Anstalt hat daher an Renten ausbezahlen  $B \cdot a_{n+1}$ ,  $B \cdot a_{n+2}$ ,  $B \cdot a_{n+3}$ , ...

Die Summe der Barwerte dieser Renten ist

$$B \cdot \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \frac{a_{n+3}}{e^3} + \dots \right),$$

wobei die Reihe innerhalb der Klammern bis an das Ende der Sterblichkeitstafel fortzusetzen ist.

Setzt man die Barwerte der Einnahmen und der Ausgaben der Versicherungsanstalt gleich, so ergibt sich

$$M \cdot a_n = B \cdot \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \frac{a_{n+3}}{e^3} + \dots \right), \text{ und daher}$$

$$M = B \cdot \frac{1}{a_n} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \frac{a_{n+3}}{e^3} + \dots \right),$$

oder, wenn man den für  $B = 1$  sich ergebenden Betrag durch  $r_n$  bezeichnet, also

$$r_n = \frac{1}{a_n} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \frac{a_{n+3}}{e^3} + \dots \right) \dots 1)$$

setzt,

$$M = B \cdot r_n.$$

Die Reserve für das Alter  $k$  der Person ist dann gleich

$$R = B \cdot r_k.$$

Die Berechnung von  $r_n$ , welches den Barwert der Renteneinheit für das Alter  $n$  darstellt und ein Hauptelement der Versicherungsrechnung bildet, gestaltet sich meistens sehr mühsam und weitläufig. Wir geben in der nachfolgenden Tabelle die für 4% und 5% bereits ausgerechneten Werte von  $r_n$ .

Die Construction einer solchen Tafel geschieht am einfachsten auf folgende Weise:

Nach der Formel 1) ist  $r_{n+1} = \frac{1}{a_{n+1}} \left( \frac{a_{n+2}}{e} + \frac{a_{n+3}}{e^2} + \dots \right)$ , also

$$\frac{1 + r_{n+1}}{e} = \frac{1}{a_{n+1}} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) = \frac{1}{a_{n+1}} \cdot r_n \cdot a_n,$$

und folglich

$$r_n = \frac{a_{n+1} (1 + r_{n+1})}{a_n e} \dots 2).$$

Man bestimmt nun, z. B. für 4%, zuerst und, zwar nach der Formel 1)

$$r_{94} = \frac{1}{a_{94}} \cdot \frac{a_{95}}{1 \cdot 04} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 \cdot 04} = 0 \cdot 48077;$$

sodann nach der Formel 2)

$$r_{93} = \frac{a_{94} (1 + r_{94})}{a_{93} \cdot 1 \cdot 04} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 48077}{3 \cdot 1 \cdot 04} = 0 \cdot 94921,$$

hierauf nach derselben Formel  $r_{92}$ , dann folgeweise  $r_{91}$ ,  $r_{90}$ , u. s. f., was mit Hilfe der Logarithmen leicht auszuführen ist.

## Barwert einer Renteneinheit

nach der Süßmilch-Baumann'schen Sterblichkeitstafel für 4% und 5%  
berechnet.

n	r <sub>n</sub>		n	r <sub>n</sub>		n	r <sub>n</sub>	
	4%	5%		4%	5%		4%	5%
0	11'432	9'782	32	14'719	13'067	64	7'293	6'838
1	14'852	12'695	33	14'526	12'916	65	7'053	6'624
2	16'525	14'125	34	14'326	12'758	66	6'817	6'412
3	17'382	14'863	35	14'117	12'592	67	6'589	6'207
4	17'840	15'264	36	13'938	12'452	68	6'372	6'011
5	18'002	15'415	37	13'752	12'307	69	6'170	5'829
6	18'118	15'528	38	13'560	12'115	70	5'990	5'667
7	18'216	15'627	39	13'362	11'997	71	5'774	5'471
8	18'256	15'678	40	13'156	11'883	72	5'580	5'294
9	18'268	15'706	41	12'944	11'662	73	5'418	5'147
10	18'249	15'709	42	12'723	11'483	74	5'220	4'966
11	18'149	15'651	43	12'494	11'296	75	5'058	4'819
12	18'029	15'559	44	12'257	11'101	76	4'854	4'631
13	17'895	15'463	45	12'011	10'896	77	4'691	4'482
14	17'756	15'362	46	11'755	10'682	78	4'476	4'282
15	17'610	15'256	47	11'527	10'494	79	4'304	4'124
16	17'459	15'146	48	11'291	10'297	80	4'202	4'032
17	17'302	15'029	49	11'048	10'093	81	4'053	3'895
18	17'138	14'907	50	10'796	9'880	82	3'818	3'675
19	16'968	14'779	51	10'575	9'695	83	3'632	3'501
20	16'790	14'645	52	10'349	9'505	84	3'533	3'412
21	16'642	14'535	53	10'118	9'309	85	3'322	3'214
22	16'487	14'421	54	9'881	9'108	86	3'196	3'098
23	16'327	14'301	55	9'639	8'900	87	2'877	2'796
24	16'160	14'175	56	9'392	8'687	88	2'591	2'522
25	15'987	14'043	57	9'138	8'468	89	2'368	2'311
26	15'807	13'906	58	8'879	8'243	90	2'284	2'235
27	15'619	13'761	59	8'614	8'010	91	1'851	1'816
28	15'424	13'609	60	8'342	7'771	92	1'406	1'384
29	15'257	13'482	61	8'064	7'525	93	0'949	0'937
30	15'085	13'350	62	7'780	7'272	94	0'481	0'476
31	14'905	13'212	63	7'536	7'055			

Beispiel. Welchen Betrag muß eine 47jährige Person einzahlen, um sich eine Leibrente von 200 fl. zu sichern, die Zinsen zu 4% gerechnet?

$$M = 200 \cdot r_{47} = 200 \cdot 11 \cdot 527 = 2305 \cdot 4 \text{ fl.}$$

§. 296. Aufgabe. Eine  $n$  jährige Person will bei einer Anstalt ein Capital  $C$  versichern, das nach ihrem Tode ihren Erben ausgezahlt werden soll; wie groß ist der Betrag  $M$ , den sie sogleich einzuzahlen hat? (Versicherung auf den Todesfall.)

Treten der Anstalt  $a_n$  Personen unter gleichen Bedingungen bei, so muß die Summe ihrer Einzahlungen, nämlich  $M \cdot a_n$ , gleich sein dem Barwerte aller Capitalien, welche von der Anstalt für die gestorbenen Personen an deren Erben zu zahlen sind.

Von  $a_n$  Personen leben nach einem Jahre noch  $a_{n+1}$ , die Zahl der Gestorbenen des ersten Jahres ist also  $a_n - a_{n+1}$ . Ebenso sterben im 2., 3., ... Jahre  $a_{n+1} - a_{n+2}$ ,  $a_{n+2} - a_{n+3}$ , ... Die Anstalt hat also am Ende des 1., 2., 3., ... Jahres an die Erben der Gestorbenen die Capitalsbeträge

$C \cdot (a_n - a_{n+1})$ ,  $C \cdot (a_{n+1} - a_{n+2})$ ,  $C \cdot (a_{n+2} - a_{n+3})$ , ... zu zahlen. Die Summe der Barwerte aller dieser Zahlungen ist

$$\begin{aligned} & C \cdot \left[ \frac{a_n - a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+1} - a_{n+2}}{e^2} + \frac{a_{n+2} - a_{n+3}}{e^3} + \dots \right] \\ &= C \cdot \left[ \frac{a_n}{e} - \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) + \frac{1}{e} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) \right] \\ &= C \cdot \frac{a_n}{e} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{e} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) + \frac{1}{e} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) \right] \\ &= C \cdot \frac{a_n}{e} \left[ 1 - (e - 1) \cdot \frac{1}{e} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) \right] \\ &= \frac{C}{e} \cdot a_n \left[ 1 - (e - 1) r_n \right], \end{aligned}$$

wenn der Ausdruck  $\frac{1}{e} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right)$  durch  $r_n$  ersetzt wird (§. 295).

Somit ist

$$M \cdot a_n = \frac{C}{e} \cdot a_n \left[ 1 - (e - 1) r_n \right], \text{ daher}$$

$$M = \frac{C}{e} \cdot \left[ 1 - (e - 1) r_n \right].$$

Ebenso ist die Reserve für die Person, wenn sie  $k$  Jahre alt ist,

$$R = \frac{C}{e} \cdot \left[ 1 - (e - 1) r_k \right].$$

Beispiel. Welches Antrittsgeld hat eine 36jährige Person bei 5% Zinsen an eine Versicherungsanstalt zu zahlen, damit nach ihrem Tode ihre Erben eine Summe von 2500 fl. erhalten?

$$M = \frac{2500}{1.05} \cdot (1 - 0.05 \cdot r_{36}) = \frac{2500}{1.05} \cdot (1 - 0.05 \cdot 12.452) = 898.54 \text{ fl.}$$

§. 297. Aufgabe. Eine  $n$  jährige Person will gegen eine am Anfange jedes Jahres zahlbare Prämie  $P$  ein Capital  $C$  versichern, das bei ihrem Absterben an die Erben ausgezahlt werden soll; man suche die Beziehung zwischen  $P$  und  $C$ .

Nimmt man wieder  $a_n$  Personen vom Alter  $n$  an, so beträgt die von ihnen gleich beim Eintritte an die Anstalt zu zahlende Prämie zusammen  $P \cdot a_n$ . Nach 1, 2, ... Jahren leben noch  $a_{n+1}$ ,  $a_{n+2}$  ... Personen; diese zahlen an Prämien  $P \cdot a_{n+1}$ ,  $P \cdot a_{n+2}$ , ...

Der Barwert aller Prämien ist also

$$\begin{aligned} & P \cdot \left[ a_n + \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right] \\ &= P \cdot a_n \left[ 1 + \frac{1}{a_n} \left( \frac{a_{n+1}}{e} + \frac{a_{n+2}}{e^2} + \dots \right) \right] \\ &= P \cdot a_n (1 + r_n) \quad (\S. 295). \end{aligned}$$

Der Barwert aller Leistungen der Anstalt an die Erben der Versicherten ist, wie in der Aufg. §. 296,

$$\frac{C}{e} \cdot a_n [1 - (e - 1) r_n].$$

Man hat daher

$$P \cdot a_n (1 + r_n) = \frac{C}{e} \cdot a_n [1 - (e - 1) r_n], \text{ oder}$$

$$P \cdot (1 + r_n) = \frac{C}{e} \cdot [1 - (e - 1) r_n].$$

Die Reserve für das Alter  $k$  der Person ist gleich der Differenz der auf diesen Zeitpunkt bezogenen Barwerte der künftigen Bezüge und Prämien, also

$$R = \frac{C}{e} \cdot [1 - (e - 1) r_k] - P [1 + r_k],$$

oder, wenn man für  $P$  den Wert aus der früheren Gleichung substituirt und dann den Ausdruck reducirt,

$$R = C \cdot \frac{r_n - r_k}{1 + r_n}.$$

**Beispiel.** Eine 55jährige Person will auf den Todesfall ihren Erben ein Capital von 4000 fl. versichern; welche jährliche Prämie hat sie bei 4% Verzinsung einzuzahlen?

$$R = \frac{4000}{1.04} \cdot \frac{1 - 0.04 r_{55}}{1 + r_{55}} = \frac{4000}{1.04} \cdot \frac{1 - 0.04 \cdot 9.639}{1 + 9.639} = 222.2 \text{ fl.}$$

Für die obige Person wäre nach 10 Jahren die Reserve

$$R = 4000 \cdot \frac{r_{55} - r_{65}}{1 + r_{65}} = 4000 \cdot \frac{2.586}{10.639} = 972.3 \text{ fl.}$$

## U n h a n g.

### I. Höhere numerische Gleichungen.

§. 298. Die allgemeine Form einer numerischen Gleichung des  $m$ ten Grades mit einer Unbekannten ist

$$x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0,$$

wo die Coefficienten  $A_1, A_2, \dots, A_m$  besondere positive oder negative Zahlen bedeuten, einige von ihnen auch Null sein können.

Ein von der veränderlichen Zahl  $x$  abhängiger Ausdruck wird eine Function von  $x$  genannt und durch  $f(x), F(x), \varphi(x), \dots$  bezeichnet.

Setzt man daher das Polynom

$$x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = f(x),$$

so kann mit Hilfe dieser Bezeichnung die obige Gleichung durch  $f(x) = 0$  dargestellt werden.

#### Allgemeine Sätze über die Gleichungen.

§. 299. Fundamentalsatz. Jede Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$$

hat mindestens eine Wurzel.

Für diesen Satz gibt es mehrere sehr scharfsinnige Beweise, die jedoch alle die Grenzen dieses Buches überschreiten. Wir werden daher hier den Satz geradezu als wahr annehmen und ihn sodann den weiteren Untersuchungen zugrunde legen.

§. 300. 1. Ist  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$ , so ist  $f(x)$  durch  $x - a$  theilbar.

2. Umgekehrt: Ist  $f(x)$  durch  $x - a$  theilbar, so ist  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$ .

Beweis. 1. Es ist

$$\frac{f(x)}{x-a} = x^{m-1} + B_1 x^{m-2} + B_2 x^{m-3} + \dots + B_{m-2} x + B_{m-1} + \frac{R}{x-a},$$

oder, wenn

$$x^{m-1} + B_1 x^{m-2} + B_2 x^{m-3} + \dots + B_{m-2} x + B_{m-1} = f_1(x)$$

gesetzt wird,

$\frac{f(x)}{x-a} = f_1(x) + \frac{R}{x-a}$ , daher  $f(x) = (x-a)f_1(x) + R$ ,

wo der Rest  $R$ , wenn einer übrig bleibt,  $x$  nicht enthalten kann.

Substituiert man für  $x$  den Wert  $a$ , so ergibt sich

$$f(a) = R.$$

Da aber  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$  ist, so muß  $f(a) = 0$ , und also auch  $R = 0$  sein, d. h.  $f(x)$  ist durch  $x - a$  theilbar.

$x - a$  heißt ein Wurzelfactor (§. 217) der Gleichung  $f(x) = 0$ .

2. Ist  $f(x)$  durch  $x - a$  theilbar, so muß  $R = 0$ , also  $f(x) = (x - a)f_1(x)$ , mithin  $f(a) = 0$  sein, d. h.  $a$  ist eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$ .

§. 301. 1. Das Polynom jeder auf Null reducierten Gleichung  $f(x) = 0$  vom  $m$ ten Grade läßt sich in  $m$  Binomialfactoren von der Form  $x - a$  zerlegen.

2. Jede Gleichung des  $m$ ten Grades hat  $m$  Wurzeln.

Beweis. 1. Es sei  $a_1$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$  vom  $m$ ten Grade; nach §. 300 ist dann  $f(x) = (x - a_1)f_1(x)$ , und  $f_1(x)$  ein Polynom vom  $(m - 1)$ ten Grade. Die Gleichung  $f_1(x) = 0$  hat aber ebenfalls eine Wurzel  $a_2$ , folglich ist  $f_1(x) = (x - a_2)f_2(x)$ ; die Gleichung  $f_2(x) = 0$  vom  $(m - 2)$ ten Grade hat ebenfalls eine Wurzel  $a_3$ , folglich ist  $f_2(x) = (x - a_3)f_3(x)$ , u. s. w. Schließlich erhält man  $f_{m-2}(x) = (x - a_{m-1})f_{m-1}(x)$ , wo dann die Gleichung  $f_{m-1}(x) = 0$  vom ersten Grade noch eine Wurzel  $a_m$  hat, so daß  $f_{m-1}(x) = x - a_m$  wird. Durch allmähliche Substitution ergibt sich demnach

$$f(x) = (x - a_1)(x - a_2)(x - a_3) \dots (x - a_{m-1})(x - a_m).$$

2. Aus dem letzten Ausdrucke folgt, daß  $f(x)$  für jeden der  $m$  Werte  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{m-1}, a_m$  Null wird, dagegen für keinen andern von diesen verschiedenen Wert  $a_n$  Null werden kann; d. h. die Gleichung  $f(x) = 0$  vom  $m$ ten Grade hat  $m$  Wurzeln, aber auch nicht mehr als  $m$  Wurzeln.

Die Wurzeln selbst sind entweder reell oder imaginär, und im ersten Falle entweder ganze oder gebrochene oder auch irrationale Zahlen; auch können zwei oder mehrere Wurzeln einander gleich sein.

Folgesatz. Wird das Polynom einer auf Null reducierten Gleichung durch einen Wurzelfactor derselben dividirt, so erhält man das Product aller übrigen Wurzelfactoren zum Quotienten. Betrachtet man daher diesen Quotienten als eine Gleichung, so sind die Wurzeln derselben zugleich Wurzeln der ursprünglichen Gleichung.

§. 302. In jeder auf Null reducierten Gleichung ist der Coefficient des ersten Gliedes 1, der Coefficient des zweiten Gliedes gleich der Summe der mit entgegengesetzten Zeichen genommenen Wurzeln, der Coefficient des dritten, vierten, ... Gliedes gleich der Summe der Combinationen zweiter,

dritter, ... Klasse, das letzte von  $x$  freie Glied gleich dem Producte aller mit entgegengesetzten Zeichen genommenen Wurzeln.

**Beweis.** Sind  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$  die Wurzeln der Gleichung  $f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + A_3 x^{m-3} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$ , so ist nach §. 301

$$f(x) = (x - a_1)(x - a_2)(x - a_3) \dots (x - a_m).$$

Entwickelt man nun das letzte Product nach dem Bildungsgeetze in §. 278 in ein Polynom, so ist, da die Coefficienten der gleichnamigen Glieder in beiden Polynomen von  $f(x)$  gleich sein müssen,

$$A_1 = -(a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_m),$$

$$A_2 = a_1 a_2 + a_1 a_3 + a_1 a_4 + \dots + a_{m-1} a_m,$$

$$A_3 = -(a_1 a_2 a_3 + a_1 a_2 a_4 + \dots + a_{m-2} a_{m-1} a_m),$$

$$\dots$$

$$A_m = (-1)^m a_1 a_2 a_3 \dots a_{m-1} a_m.$$

**Folgesatz.** Jede Wurzel einer Gleichung ist ein Factor ihres letzten Gliedes.

§. 303. Mechanisches Verfahren zur Bestimmung des Quotienten  $\frac{f(x)}{x-a}$  und der Größe  $f(a)$  für einen beliebigen Wert von  $a$ .

Ist  $f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m$ , und  $\frac{f(x)}{x-a} = x^{m-1} + B_1 x^{m-2} + B_2 x^{m-3} + \dots + B_{m-2} x + B_{m-1} + \frac{R}{x-a}$ , so erhält man nach dem gewöhnlichen Divisionsverfahren

$$B_1 = a + A_1, \quad B_2 = a^2 + A_1 a + A_2,$$

$$B_3 = a^3 + A_1 a^2 + A_2 a + A_3,$$

$$\dots$$

$$B_{m-1} = a^{m-1} + A_1 a^{m-2} + A_2 a^{m-3} + \dots + A_{m-2} a + A_{m-1},$$

$$R = a^m + A_1 a^{m-1} + A_2 a^{m-2} + \dots + A_{m-1} a + A_m.$$

Der Rest  $R$  ist, wie man sieht, das Resultat der Substitution  $x = a$  in dem gegebenen Polynom  $f(x)$ , also  $R = f(a)$ .

Substituiert man den Wert jedes dieser Coefficienten in dem Ausdruck für den nächstfolgenden, so ergibt sich

$$B_1 = a + A_1,$$

$$B_2 = (a + A_1) a + A_2 = B_1 a + A_2,$$

$$B_3 = (a^2 + A_1 a + A_2) a + A_3 = B_2 a + A_3,$$

$$\dots$$

$$B_{m-1} = B_{m-2} a + A_{m-1},$$

$$R = B_{m-1} a + A_m.$$

Es ist also der erste Coefficient des Quotienten gleich dem ersten Coefficienten des Dividends (hier 1); jeder folgende, z. B. der  $k$ te Coefficient des Quotienten wird erhalten, indem man den vorhergehenden mit  $a$  multipliciert und zum Producte den  $k$ ten Coefficienten des Dividends addiert.

Die auf einander folgenden Coefficienten des Quotienten  $\frac{f(x)}{x-a}$  kann man demnach nach folgendem Schema bilden:

$$\begin{array}{r}
 1 \quad A_1 \quad A_2 \quad A_3 \quad . \quad . \quad . \quad A_{m-1} \quad A_m \\
 a \quad B_1 a \quad B_2 a \quad . \quad . \quad . \quad B_{m-2} a \quad B_{m-1} a \\
 \hline
 1 \quad B_1 \quad B_2 \quad B_3 \quad . \quad . \quad . \quad B_{m-1} \quad R
 \end{array}$$

Erhält man  $R = f(a) = 0$ , so ist  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$ .

Es sei z. B.  $f(x) = x^4 + 2x^3 - 13x^2 - 14x + 24 = 0$ , so hat man für  $x = 4$

$$\begin{array}{r}
 1 \quad + 2 \quad - 13 \quad - 14 \quad + 24 \\
 + 4 \quad + 24 \quad + 44 \quad + 120 \\
 \hline
 1 \quad + 6 \quad + 11 \quad + 30 \quad + 144;
 \end{array}$$

also gibt  $\frac{f(x)}{x-4}$  den Quotienten  $x^3 + 6x^2 + 11x + 30$  und den Rest  $R = f(4) = 144$ , woraus auch folgt, daß 4 keine Wurzel der vorgelegten Gleichung ist.

Für  $x = 3$  hat man

$$\begin{array}{r}
 1 \quad + 2 \quad - 13 \quad - 14 \quad + 24 \\
 + 3 \quad + 15 \quad + 6 \quad - 24 \\
 \hline
 1 \quad + 5 \quad + 2 \quad - 8 \quad 0;
 \end{array}$$

somit ist  $\frac{f(x)}{x-3} = x^3 + 5x^2 + 2x - 8$  und  $R = f(3) = 0$ , also 3 eine Wurzel der Gleichung.

§. 304. Bringen zwei reelle Werte  $x = a$  und  $x = b$  in der Function  $f(x)$  entgegengesetzt bezeichnete Resultate hervor, so muß zwischen  $a$  und  $b$  mindestens eine reelle Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$  liegen.

**Beweis.** Es sei

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0.$$

Setzt man statt  $x$  überall  $x + h$ , wo  $h$  sehr klein ist, so ist

$f(x + h) = (x + h)^m + A_1 (x + h)^{m-1} + \dots + A_{m-1} (x + h) + A_m$ ,  
oder, wenn man diesen Ausdruck entwickelt und nach den steigenden Potenzen von  $h$  ordnet,

$$f(x + h) = f(x) + C_1 h + C_2 h^2 + C_3 h^3 + \dots \text{ und}$$

$$f(x + h) - f(x) = C_1 h + C_2 h^2 + C_3 h^3 + \dots,$$

woraus folgt, daß für sehr kleine Änderungen  $h$  auch  $f(x)$  sehr wenig zu- oder abnimmt, daß also, wenn  $x$  sich stetig ändert, auch  $f(x)$  sich stetig ändert. Läßt man daher  $x$  alle Zwischenwerte von  $a$  und  $b$  durchlaufen, so wird auch  $f(x)$  stetig aus  $f(a)$  in  $f(b)$  übergehen und muß während dieses Überganges, wenn  $f(a)$  und  $f(b)$  entgegengesetzt bezeichnet sind, mindestens einmal durch Null durchgehen.

**Zusatz.** Sind  $f(a)$  und  $f(b)$  entgegengesetzt bezeichnet, so kann, da nach zweimaliger Änderung des Vorzeichens dasselbe ungeändert bleibt,  $f(x)$  von  $x = a$  bis  $x = b$  auch 3 mal, 5 mal, allgemein  $(2n + 1)$  mal aus dem Positiven ins Negative und umgekehrt übergehen und während dieses Überganges Null werden; d. i. es können, wenn  $f(a)$  und  $f(b)$  entgegengesetzte Vorzeichen haben, zwischen  $a$  und  $b$  auch mehrere reelle Wurzeln der Gleichung  $f(x) = 0$ , jedoch immer nur in ungerader Anzahl, liegen.

§. 305. Sind die Coefficienten in der Function  $f(x)$  ganze Zahlen, so sind alle rationalen Wurzeln der Gleichung  $f(x) = 0$  ebenfalls ganze Zahlen.

Wäre die gebrochene Zahl  $\frac{p}{q}$ , in welcher  $p$  und  $q$  relative Primzahlen seien, eine Wurzel der Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0,$$

so würde aus

$$\left(\frac{p}{q}\right)^m + A_1 \left(\frac{p}{q}\right)^{m-1} + A_2 \left(\frac{p}{q}\right)^{m-2} + \dots + A_{m-1} \left(\frac{p}{q}\right) + A_m = 0,$$

wenn man mit  $q^{m-1}$  multipliziert,

$$\frac{p^m}{q} = - (A_1 p^{m-1} + A_2 p^{m-2} q + \dots + A_{m-1} p q^{m-2} + A_m q^{m-1})$$

folgen; es müßte also  $\frac{p^m}{q}$  einer ganzen Zahl gleich sein, was nicht möglich ist, da  $p$  und  $q$  relative Primzahlen sind (§. 74, 5).

§. 306. Ändert man in einer Gleichung die Vorzeichen aller geradstelligen Glieder, wobei die etwa fehlenden mitzuzählen sind, so sind sämtliche Wurzeln der neuen Gleichung die entgegengesetzten Werte von den Wurzeln der gegebenen Gleichung.

Ist die Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + A_3 x^{m-3} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$$

gegeben und  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $F(x) = x^m - A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} - A_3 x^{m-3} + \dots + (-1)^{m-1} A_{m-1} x + (-1)^m A_m = 0$ , so ist, wenn  $m$  eine gerade Zahl ist, offenbar  $f(-a) = F(a) = 0$ , und wenn  $m$  eine ungerade Zahl ist,  $f(-a) = -F(a) = 0$ , also in jedem Falle  $-a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$ .

Durch diesen Satz reducirt sich die Auflösung einer numerischen Gleichung auf die Bestimmung der positiven Wurzeln. Um nämlich die negativen Wurzeln derselben auszumitteln, darf man nur die Zeichen an den geraden Stellen ändern und die positiven Wurzeln dieser transformierten Gleichung suchen; werden diese entgegengesetzt genommen, so hat man die negativen Wurzeln der ursprünglichen Gleichung.

### Bestimmung der rationalen Wurzeln.

§. 307. Sind in der Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$$

die Coefficienten  $A_1, A_2, \dots, A_m$  ganze Zahlen, so müssen die Wurzeln, wenn sie rational sind, ebenfalls ganze Zahlen sein (§. 305). In diesem Falle gibt der Satz, dass jede Wurzel einer Gleichung ein Factor ihres letzten Gliedes ist, ein einfaches Mittel an die Hand, die Wurzeln zu bestimmen. Man zerlegt das von  $x$  freie Glied in seine Factoren und sucht durch Substitution derselben diejenigen auf, welche die Gleichung auf Null bringen.

Bei der Substituierung bedient man sich mit Vortheil des in §. 303 begründeten mechanischen Verfahrens. Findet man dabei, dass ein Factor  $a$  eine Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$  ist, so können die weiteren Substitutionen, statt in der gegebenen Gleichung, nach demselben Verfahren sofort in der Quotientengleichung  $\frac{f(x)}{x-a} = 0$ , welche die übrigen Wurzeln der Gleichung  $f(x) = 0$  enthalten muß, gemacht werden.

Es sei z. B.  $x^4 - x^3 - 7x^2 + x + 6 = 0$ .

Das von  $x$  freie Glied 6 hat die Factoren  $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 6$ . Durch Substitution dieser Factoren erhält man

$$\begin{array}{r} 1 \quad -1 \quad -7 \quad +1 \quad +6 \\ + 1) \quad \quad \quad 1 \quad 0 \quad -7 \quad -6 \\ \hline 1 \quad 0 \quad -7 \quad -6 \quad 0 \\ - 1) \quad \quad -1 \quad +1 \quad +6 \\ \hline 1 \quad -1 \quad -6 \quad 0 \\ + 2) \quad \quad \quad +2 \quad +2 \\ \hline 1 \quad +1 \quad -4 \\ - 2) \quad \quad -2 \quad +6 \\ \hline 1 \quad -3 \quad 0 \\ + 3) \quad \quad \quad +3 \\ \hline 1 \quad 0 \end{array}$$

Die Wurzeln dieser Gleichung sind also  $+1, -1, -2$  und  $+3$ , und es entfällt die Prüfung der übrigen Factoren  $-3, \pm 6$ .

Wenn das letzte Glied viele Theiler hat, so wird die hier angegebene Untersuchung weitläufig. Zur Abkürzung dieser Rechnung bestehen verschiedene Verfahrensweisen, deren nähere Betrachtung wir jedoch hier übergehen müssen.

§. 308. Sind in der Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$$

die Coefficienten  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , oder einige derselben gebrochene Zahlen, so läßt sich dieselbe immer in eine andere Gleichung transformieren, deren Coefficienten ganze Zahlen sind, indem für  $x$  überall  $\frac{x}{q}$ , wo  $q$  das

kleinste gemeinsame Vielfache der Nenner aller gebrochenen Coefficienten ist, gesetzt und dann mit  $q^m$  multipliciert wird.

Alle rationalen Wurzeln der transformierten Gleichung sind ganze Zahlen und können nach §. 307 gefunden werden; wird jede derselben durch  $q$  dividirt, so erhält man die Wurzeln der gegebenen Gleichung  $f(x) = 0$ .

### Bestimmung der irrationalen Wurzeln.

§. 309. Sind die Wurzeln einer Gleichung mit ganzen Coefficienten nicht ganze Zahlen, so sind sie irrational (§. 305). Wenn man in der Gleichung die aufeinander folgenden ganzen Zahlen 0, 1, 2, 3, .. substituirt, so läßt sich nach §. 304 aus den Vorzeichen der Resultate erkennen, zwischen welchen Zahlen als Näherungswerten die einzelnen positiven irrationalen Wurzeln dieser Gleichung liegen und es handelt sich dann nur darum, aus den gefundenen Näherungswerten die dazwischen liegende Wurzel mit jedem geforderten Grade der Genauigkeit zu berechnen. Die Bestimmung der negativen irrationalen Wurzeln kann auf die Berechnung der positiven Wurzeln zurückgeführt werden (§. 306).

Für die annäherungsweise Berechnung der irrationalen Wurzeln gibt es verschiedene Methoden, von denen wir hier nur zwei betrachten wollen.

### §. 310. I. Newton'sche Näherungsmethode.

Es sei  $x_1$  eine Wurzel der Gleichung

$$f(x) = x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \dots + A_{m-1} x + A_m = 0$$

und  $a$  ein angenäherter Wert dieser Wurzel, so daß  $x_1 = a + h$  ist.

Allgemein ist

$f(x+h) = (x+h)^m + A_1(x+h)^{m-1} + \dots + A_{m-1}(x+h) + A_m = 0$ ,  
oder, wenn man den Ausdruck nach den Potenzen von  $h$  ordnet,

$$f(x+h) = f(x) + hf_1(x) + h^2 f_2(x) + h^3 f_3(x) + \dots,$$

wo  $f_1(x) = mx^{m-1} + (m-1)A_1 x^{m-2} + \dots + A_{m-1}$  ist, und  $f_2(x), f_3(x), \dots$  gleichfalls von  $h$  unabhängig sind.

Für  $x = a$  wird daher

$$f(a+h) = f(a) + hf_1(a) + h^2 f_2(a) + h^3 f_3(a) + \dots$$

Da  $a+h$  eine Wurzel der Gleichung, also  $f(a+h) = 0$  werden soll, so ist  $h$  so zu bestimmen, daß

$$f(a) + hf_1(a) + h^2 f_2(a) + h^3 f_3(a) + \dots = 0$$

wird. Ist nun  $h < 1$ , so sind  $h^2, h^3, \dots$  noch kleiner; man erhält daher, wenn man die Glieder mit  $h^2, h^3, \dots$  vernachlässigt, näherungsweise

$$f(a) + hf_1(a) = 0, \text{ folglich } h = -\frac{f(a)}{f_1(a)}, \text{ und}$$

$$a+h = a - \frac{f(a)}{f_1(a)} = a_1$$

als einen Näherungswert der Wurzel.

Wendet man auf  $a_1$  denselben Vorgang an, wie früher auf  $a$ , so erhält man

$$a_2 = a_1 - \frac{f(a_1)}{f_1(a_1)}$$

als einen zweiten noch genaueren Näherungswert; u. s. w.

**Beispiel.**  $f(x) = x^3 - 4x^2 - 7x + 4 = 0$ .

Für  $x = 0$  wird  $f(0) = +4$ , für  $x = 1$  wird  $f(1) = -6$ , woraus folgt, daß eine Wurzel der Gleichung zwischen 0 und 1 liegt.

Da  $f_1(x) = 3x^2 - 8x - 7$  ist, so hat man für die erste Annäherung

$$a = 0, f(a) = +4, f_1(a) = -7;$$

$$a_1 = 0 + \frac{4}{7} = 0.5.$$

Für die zweite Annäherung ist

$$a_1 = 0.5, f(a_1) = -0.375, f_1(a_1) = -8.25;$$

$$a_2 = 0.5 - \frac{0.375}{8.25} = 0.45.$$

Für die dritte Annäherung hat man

$$a_2 = 0.45, f(a_2) = 0.131125, f_1(a_2) = -9.9925;$$

$$a_3 = 0.45 + \frac{0.131125}{9.9925} = 0.463.$$

Für die vierte Annäherung hat man

$$a_3 = 0.463, f(a_3) = 0.000776847, f_1(a_3) = -10.060893;$$

$$a_4 = 0.463 + \frac{0.000776847}{10.060893} = 0.46307721,$$

welcher Näherungswert auf 8 Decimalstellen genau ist.

Auf dieselbe Art können wir auch die anderen Wurzeln der Gleichung finden. Einfacher ist es jedoch, sogleich die Quotientengleichung

$$\frac{f(x)}{x - 0.46307721} = x^2 - 3.53692279x - 8.63878683 = 0$$

zu entwickeln und sodann die quadratische Gleichung aufzulösen. Aus dieser ergeben sich  $x = 5.19852321$  und  $x = -1.66160042$  als die beiden anderen Wurzeln der gegebenen Gleichung.

### §. 311. II. Die Regula falsi.

Häufig wird auch die folgende Lösungsmethode, die unter dem Namen der Regula falsi bekannt ist, vortheilhaft angewendet.

Ist  $x_1$  die zu berechnende Wurzel der Gleichung  $f(x) = 0$  und erhält man für zwei Substitutionen  $a$  und  $b$  die Resultate  $f(a)$  und  $f(b)$ , so liegen  $a$  und  $b$  dem wahren Werte  $x_1$  um so näher, je weniger  $f(a)$  und  $f(b)$  von 0 verschieden sind; es bezeichnen daher  $x_1 - a = \alpha$  und  $x_1 - b = \beta$  die Fehler der Substitutionen, und  $f(a)$  und  $f(b)$  die Fehler der Resultate.

Mit Rücksicht auf §. 310 ist

$$f(a) = f(x_1 - \alpha) = f(x_1) - \alpha f_1(x_1) + \alpha^2 f_2(x_1) - \alpha^3 f_3(x_1) + \dots,$$

$$f(b) = f(x_1 - \beta) = f(x_1) - \beta f_1(x_1) + \beta^2 f_2(x_1) - \beta^3 f_3(x_1) + \dots,$$

wo  $f_1(x_1), f_2(x_1), f_3(x_1) \dots$  von  $\alpha$  und  $\beta$  unabhängig sind.

Da  $f(x_1) = 0$  ist, so folgt, wenn  $\alpha$  und  $\beta$  sehr klein sind, annäherungsweise  $f(a) = -\alpha f_1(x_1)$ ,  $f(b) = -\beta f_1(x_1)$ , und daher

$$\frac{f(a)}{f(b)} = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{x_1 - a}{x_1 - b},$$

d. h. die Fehler der Resultate verhalten sich so wie die Fehler der Substitutionen.

Aus diesem näherungsweise richtigen Satze ergibt sich dann

$$x_1 = \frac{bf(a) - af(b)}{f(a) - f(b)} = a + \frac{(b-a)f(a)}{f(a) - f(b)}$$

als ein genauere Wert für die gesuchte Wurzel.

Nimmt man sodann wieder diesen neuen Wert als die eine Substitution, und je nach dem Resultate derselben entweder einen der früheren Näherungswerte oder auch einen andern entsprechend erscheinenden Wert als die zweite Substitution an, so erhält man nach der letzten Formel einen noch genaueren Wert für  $x_1$ ; u. s. w.

Es sei z. B. die Gleichung  $f(x) = x^3 - x^2 + 5x - 6 = 0$  gegeben.

Man hat

$$a = 1, \quad f(a) = -1,$$

$$b = 2, \quad f(b) = +8; \text{ daher}$$

$$a_1 = 1 + \frac{1}{8} = 1.1.$$

$$a_1 = 1.1, \quad f(a_1) = -0.329, \text{ (zu klein)}$$

$$b_1 = 1.2, \quad f(b_1) = +0.288;$$

$$a_2 = 1.1 + \frac{0.0329}{0.617} = 1.153.$$

$$a_2 = 1.153, \quad f(a_2) = -0.031601, \text{ (zu klein)}$$

$$b_2 = 1.16, \quad f(b_2) = +0.015296;$$

$$a_3 = 1.153 + \frac{0.000221207}{0.046897} = 1.15772,$$

welcher Wert die Wurzel auf 5 Decimalen genau gibt.

Die Regula falsi läßt sich auch bei transcendenten Gleichungen anwenden.

Es sei z. B. die Gleichung  $x^x = 10$  aufzulösen. Man erhält daraus  $x \log x = 1$ , daher  $f(x) = x \log x - 1 = 0$ . Da offenbar  $x > 2$  und  $x < 3$  sein muß, so versuchen wir die Substitution 2.5.

Für  $a = 2.5$  ergibt sich  $f(a) = -0.00515$ .

Daraus folgt, daß 2.5 zu klein ist, jedoch der Wurzel schon sehr nahe kommt; wir nehmen daher 2.51 als zweite Substitution an und erhalten

$$b = 2.51, \quad f(b) = +0.00318;$$

daher nach der Regula falsi

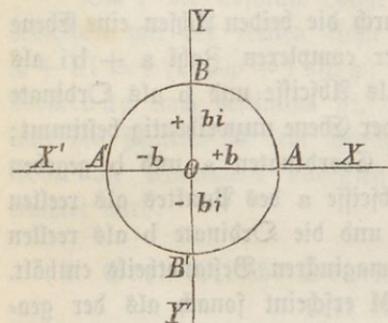
$$a_1 = 2.5 + \frac{0.0000515}{0.00833} = 2.50618,$$

welcher Wert auf 5 Decimalen richtig ist.

## II. Geometrische Darstellung der imaginären und der complexen Zahlen.

### 1. Geometrische Darstellung der imaginären Zahlen.

§. 312. Stellt  $XX'$  die unbegrenzte Zahlenlinie,  $OX$  die positive und  $OX'$  die negative Richtung dar, so nimmt der Punkt  $O$  die Stelle der Null ein; alle denkbaren positiven ganzen, gebrochenen und irrationalen Zahlen haben auf  $OX$ , ebenso alle negativen Zahlen auf  $OX'$  ihre Stelle und sind dort bestimmbar.



Eine Erweiterung des Zahlgebietes in der Längenrichtung der Zahlenlinie ist nicht möglich, weil dieselbe in dieser Richtung lückenlos bereits durch die reellen Zahlen ausgefüllt wird. Es bleibt daher, um auch die imaginären Zahlen darzustellen, bloß die seitliche Erweiterung übrig, d. i. man muß aus der Zahlenlinie in die

Zahlenebene hinaustreten.

Zieht man durch den Nullpunkt  $O$  der Zahlenlinie  $XX'$  auf diese eine Senkrechte  $YY'$  und beschreibt aus  $O$  mit dem Halbmesser  $OA = b$  einen Kreis, welcher jene Senkrechte in den Punkten  $B$  und  $B'$  schneidet, so ist nach einem bekannten Satze der Planimetrie sowohl  $OB$  als  $OB'$  die mittlere Proportionale zwischen den Abschnitten  $OA$  und  $OA'$  der als Durchmesser angenommenen Strecke  $AA'$ . Wird daher  $OA = +b$  und  $OA' = -b$  gesetzt, so hat man  $OB^2 = +b \cdot -b = -b^2$ , woraus  $OB = \sqrt{-b^2} = b\sqrt{-1} = bi$  folgt.  $OB'$  unterscheidet sich von  $OB$  bloß durch die entgegengesetzte Lage, so daß, wenn man  $OB = +bi$  annimmt,  $OB' = -bi$  gesetzt werden muß.

Wenn man nun die Zahlen  $+b$  und  $-b$  durch diejenigen Punkte  $A$  und  $A'$  der Zahlenlinie  $XX'$  repräsentiert, deren Abstände vom Nullpunkte nach Größe und Richtung durch diese Zahlen angegeben werden, so erscheint es consequent, als Repräsentanten der Zahlen  $+bi$  und  $-bi$  die Punkte  $B$  und  $B'$  anzunehmen. Die imaginären Zahlen finden daher ihre Darstellung auf einer Geraden, welche auf der ursprünglichen Zahlenlinie in deren Nullpunkte senkrecht steht.

In den Zahlenausdrücken

$$\begin{aligned} +b &= b \cdot +1, & +bi &= b \cdot +i, \\ -b &= b \cdot -1, & -bi &= b \cdot -i \end{aligned}$$

drückt der absolute Wert  $b$  aus, daß jede dieser Zahlen  $b$  Einheiten ent-

hält; die Zeichen aber, oder im erweiterten Sinne die Richtungsfactoren  $+1, +i, -1, -i$  zeigen an, daß die  $b$  Einheiten bezüglich in den Richtungen  $OX, OY, OX', OY'$  zu zählen sind.

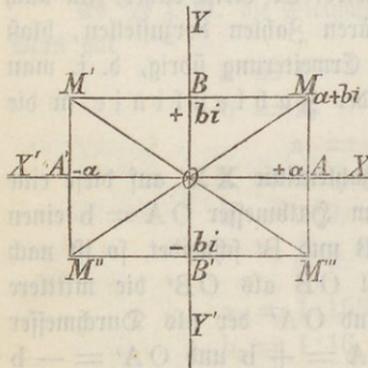
Die Gerade  $XX'$  nennt man die reelle, die Gerade  $YY'$  die imaginäre Zahlenlinie.

## 2. Geometrische Darstellung der complexen Zahlen.

§. 313. Die reelle Zahlenlinie  $XX'$  kann als die Abscissenachse und die imaginäre Zahlenlinie  $YY'$  als die Ordinatenachse eines rechtwinkligen Coordinatensystems betrachtet werden. Legt man durch die beiden Achsen eine Ebene und nimmt die reellen Zahlen  $a$  und  $b$  einer complexen Zahl  $a + bi$  als Coordinaten eines Punktes  $M$ , und zwar  $a$  als Abscisse und  $b$  als Ordinate an, so ist dadurch die Lage dieses Punktes in der Ebene unzweideutig bestimmt; umgekehrt entspricht einem Punkte  $M$ , dessen Coordinaten  $a$  und  $b$  gegeben sind, eine einzige complexe Zahl, welche die Abscisse  $a$  des Punktes als reellen Bestandtheil und die Ordinate  $b$  als reellen Factor des imaginären Bestandtheils enthält.

Der Punkt  $M$  erscheint sonach als der geometrische Repräsentant der complexen Zahl  $a + bi$ . Man gelangt zu diesem Punkte der Zahlenebene, wenn man vom Nullpunkte auf der reellen Achse die Strecke  $a$ , und dann senkrecht darauf die Strecke  $b$  aufträgt.

Ebenso ergibt sich, daß die complexen Zahlen  $-a + bi, -a - bi, +a - bi$  bezüglich durch die Punkte  $M', M'', M'''$



dargestellt werden.

Läßt man  $a$  und  $b$  alle reellen Zahlenwerte von  $-\infty$  bis  $+\infty$  stetig durchlaufen, so erhält der Punkt  $M$ , welcher in der Zahlenebene die complexe Zahl  $a + bi$  darstellt, alle in dieser Ebene möglichen Lagen.

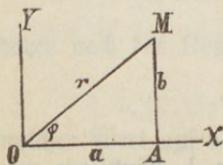
§. 314. Eine besonders wichtige Form nehmen die complexen Zahlen an, wenn zu ihrer Darstellung statt der rechtwinkligen die Polarcordinaten angewendet werden.

Ist  $M$  der Punkt der Zahlenebene, welcher die complexe Zahl  $a + bi$  darstellt, und ist  $OM = r$  der Abstand desselben vom Coordinatenanfangspunkte und  $MOX = \varphi$  der Winkel, welchen  $OM$  mit der positiven Abscissenachse bildet, so ergibt sich aus

$$a = r \cos \varphi \quad \text{und} \quad b = r \sin \varphi$$

unmittelbar

$$a + bi = r (\cos \varphi + i \sin \varphi).$$



In dieser Darstellung heißt die complexe Zahl  $r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$  die reducierte Form,  $r$  der Modul und  $\varphi$  das Argument der complexen Zahl  $a + bi$ .

Zur Bestimmung von  $r$  und  $\varphi$  dienen die Gleichungen

$$r = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \cos \varphi = \frac{a}{r} = \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}, \quad \sin \varphi = \frac{b}{r} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}},$$

wo  $r$  stets positiv zu nehmen ist und  $\varphi$  zwischen den Grenzen  $0$  und  $2\pi$  liegend vorausgesetzt wird.

Da  $r$  die absolute Länge des Radiusvectors  $OM$  und  $\varphi$  den Winkel desselben mit der reellen Achse angibt und daher durch die complexe Zahl  $a + bi = r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$  der Radiusvector  $OM$  der Länge und der Richtung nach bestimmt ist, so wird zur Darstellung der complexen Zahl statt des Punktes  $M$  sehr häufig auch der Radiusvector  $(OM)$  angenommen, wobei die Klammern andeuten, daß  $OM$  nach Länge und Richtung betrachtet wird.

### 3. Geometrische Deutung der algebraischen Operationen mit complexen Zahlen.

§. 315. Da die formalen Verbindungen complexer Zahlen, wie aus §. 183 hervorgeht, im allgemeinen wieder auf complexe Zahlen führen, so läßt sich, wenn man gegebene complexe Zahlen durch Punkte oder Strecken darstellt, auch das Resultat ihrer Verbindung wieder durch einen Punkt oder durch eine Strecke darstellen. Jeder Rechnung mit complexen Zahlen entspricht hiernach die geometrische Aufgabe, aus gegebenen Punkten oder Strecken einer Ebene nach vorgeschriebenen Gesetzen andere Punkte oder Strecken zu construieren.

Um diese Gesetze festzustellen, werden wir den Definitionen der Rechnungsoperationen eine solche allgemeine Fassung geben, daß dieselben auch für complexe Zahlen anwendbar werden, und daß in ihnen zugleich die bezüglichlichen für das Rechnen mit reellen Zahlen gegebenen Erklärungen als besondere Fälle enthalten sind.

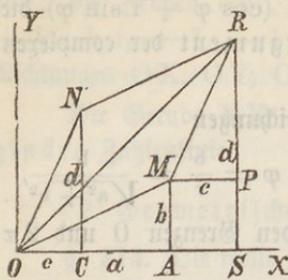
#### Addition und Subtraction complexer Zahlen.

§. 316. Wir definieren die Summe zweier Zahlen allgemein als die Zahl, zu welcher man gelangt, wenn man von dem ersten Summand in derselben Weise fortschreitet, wie man von der Null aus zu dem zweiten Summand gelangt.

1. Es sei zu bestimmen die Summe der complexen Zahlen

$$(a + bi) + (c + di).$$

Ist  $OA = a$ ,  $AM = b$ ,  $OC = c$ ,  $CN = d$ , so stellt der Punkt  $M$  die complexe Zahl  $a + bi$  und der Punkt  $N$  die complexe Zahl  $c + di$  dar.



Von Null aus gelangt man zu dem zweiten Summand  $N$ , indem man auf der reellen Achse die Strecke  $OC = c$  und hierauf parallel zur imaginären Achse die Strecke  $CN = d$  aufträgt. Man wird daher nach der obigen Erklärung der Addition vom ersten Summand  $M$  aus zuerst parallel zur reellen Achse die Strecke  $MP = c$  und hierauf parallel zur imaginären Achse die Strecke  $PR = d$  auftragen. Der Punkt  $R$ , zu dem man dadurch gelangt, stellt die gesuchte Summe dar. Da dieser Punkt, wie man sogleich sieht, die komplexe Zahl  $(a + c) + (b + d)i$  repräsentiert, so hat man

$$(a + bi) + (c + di) = (a + c) + (b + d)i.$$

Zwei komplexe Zahlen werden demnach addiert, indem man ihre reellen Bestandtheile für sich, und ihre imaginären Bestandtheile für sich addiert.

Dieselbe Regel wurde auch in §. 183, 1. bei der formalen Behandlung der complexen Zahlen der Addition derselben zugrunde gelegt.

2. Einfacher gestaltet sich die graphische Ausführung der Addition, wenn man als Repräsentanten der complexen Zahlen ihre Radienvectoren annimmt. Stellt der Radiusvector  $(OM)$  die komplexe Zahl  $a + bi$  und  $(ON)$  die komplexe Zahl  $c + di$  dar, so muß man, um ihre Addition auszuführen, von dem ersten Summand  $(OM)$ , d. i. von dessen Endpunkte  $M$  aus in der Richtung und um die Länge des zweiten Summands  $(ON)$  fortschreiten, wodurch man zu dem Punkte  $R$  gelangt; der Radiusvector  $(OR)$  stellt dann die gesuchte Summe dar. Da  $OR$  offenbar die Diagonale eines Parallelogramms ist, das von den Seiten  $OM$  und  $ON$  gebildet wird, so kann man sagen:

Die geometrische Summe zweier complexer Zahlen ist die vom Nullpunkte ausgehende Diagonale des von ihren Radienvectoren gebildeten Parallelogramms.

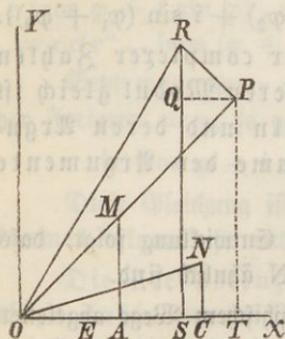
§. 317. Die Subtraction zweier complexer Zahlen ergibt sich unmittelbar aus der Addition.

Stellt der Radiusvector  $(OR)$  den Minuend und  $(ON)$  den Subtrahend dar, so betrachte man  $OR$  als Diagonale und  $ON$  als eine Seite eines Parallelogramms; die andere vom Nullpunkte ausgehende Seite  $(OM)$  dieses Parallelogramms stellt dann die gesuchte Differenz dar.

### Multiplication und Division complexer Zahlen.

§. 318. 1. Das Product zweier Zahlen definieren wir allgemein als die Zahl, welche aus dem Multiplicand in derselben Weise entsteht, wie der Multiplicator aus der positiven reellen Einheit entstanden ist.

Es sei  $a + bi$  mit  $c + di$  zu multiplicieren. Nehmen wir  $OE$  als die positive reelle Einheit an;  $(OM)$  stelle den Multiplicand und  $(ON)$  den Multiplicator dar.



Der Multiplicator  $(ON)$  ist aus der positiven reellen Einheit  $OE$  entstanden, indem man in der Richtung derselben das  $c$ fache dieser Einheit und dann senkrecht darauf das  $d$ fache derselben Einheit auftrug. Auf dieselbe Weise ist nun das Product aus dem Multiplicand  $(OM)$  zu bilden. Man wird in der Richtung des Multiplicands  $(OM)$  das  $c$ fache dieses Multiplicands und dann senkrecht darauf das  $d$ fache des Multiplicands auftragen, wodurch man zu dem Punkte  $R$  gelangt; der Radiusvector  $(OR)$  stellt dann das gesuchte Product dar.

Zur Bestimmung der Coordinaten des Punktes  $R$  erhält man aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $OPT$  und  $OMA$

$$OT : a = c : 1 \quad \text{und} \quad PT : b = c : 1; \quad \text{daher} \\ OT = ac \quad \text{und} \quad PT = bc.$$

Ebenso folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke  $RPQ$  und  $OMA$

$$PQ : b = d : 1 \quad \text{und} \quad RQ : a = d : 1; \quad \text{daher} \\ PQ = bd \quad \text{und} \quad RQ = ad.$$

Es ist also

$$OS = OT - PQ = ac - bd, \quad \text{und} \\ RS = RQ + PT = ad + bc,$$

folglich  $(OR)$  der Repräsentant der complexen Zahl  $(ac - bd) + (ad + bc)i$ , und somit

$$(a + bi)(c + di) = (ac - bd) + (ad + bc)i.$$

Hiedurch ist auch die Richtigkeit der in §. 183, 3. für die Multiplication complexer Zahlen gegebenen Vorschrift nachgewiesen.

2. Ganz einfach stellt sich die Multiplication zweier complexer Zahlen, wenn dieselben in der reducierten Form gegeben sind.

Es sei das Product  $r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1) \cdot r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2)$  zu bestimmen. Man nehme  $OE = +1$  an,  $(OM)$  stelle den Multiplicand und  $(ON)$  den Multiplicator dar.

Der Multiplicator  $(ON)$  ist aus der positiven Einheit  $OE$  entstanden, indem man diese in der Zahlenebene um  $O$  um den Winkel  $\varphi_2$  drehte und in dieser Richtung die  $r_2$ fache Länge der Einheit auftrug. Man wird daher ebenso auch den Multiplicand  $(OM)$  um den Winkel  $\varphi_2$  drehen und in der neuen Richtung die  $r_2$ fache Länge dieses Multiplicands auftragen, wodurch man  $(OR)$  als das gesuchte Product erhält.

Da nach der Construction zu (OR) der Modul  $r_1 r_2$  und das Argument  $\varphi_1 + \varphi_2$  gehört, so hat man

$$r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1) \cdot r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2) = r_1 r_2 \cdot \{ \cos (\varphi_1 + \varphi_2) + i \sin (\varphi_1 + \varphi_2) \}.$$

Das Product zweier complexer Zahlen ist eine complexe Zahl, deren Modul gleich ist dem Producte der Moduln und deren Argument gleich ist der Summe der Argumente der Factoren.

Aus der voranstehenden Entwicklung folgt, daß die Dreiecke OMR und OEN ähnlich sind.

Zu demselben Resultate, das wir oben auf graphischem Wege abgeleitet haben, gelangt man auch, wenn man die beiden complexen Zahlen nach der für reelle Zahlen geltenden Vorschrift multipliciert und dann  $i^2$  durch  $-1$  ersetzt. Man erhält nämlich

$$\begin{aligned} & r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1) \cdot r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2) \\ &= r_1 r_2 \cdot \left\{ \begin{array}{l} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + i^2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \\ + i (\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \cos \varphi_1 \sin \varphi_2) \end{array} \right\} \\ &= r_1 r_2 \cdot \{ \cos (\varphi_1 + \varphi_2) + i \sin (\varphi_1 + \varphi_2) \}. \end{aligned}$$

### §. 319. Der Quotient zweier complexer Zahlen

$$r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1) : r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2)$$

ergibt sich durch Umkehrung der in §. 318, 2. gelösten Multiplicationsaufgabe.

Stellt in der bezüglichen Figur das Product (OR) den Dividend  $r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1)$  und der eine Factor (OM) den Divisor  $r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2)$  dar, so gelangt man zu dem Quotienten (ON) als dem andern Factor, indem man ein dem Dreiecke OMR ähnliches Dreieck OEN so construirt, daß die mit OM homologe Seite OE der Einheit gleich ist. Dann ergibt sich  $ON : r_1 = 1 : r_2$ , daher  $ON = \frac{r_1}{r_2}$ .

Der Modul des gesuchten Quotienten (ON) ist also  $\frac{r_1}{r_2}$ ; das Argument desselben ist  $\angle EON = \angle MOR = \varphi_1 - \varphi_2$ . Man hat demnach

$$\frac{r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1)}{r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2)} = \frac{r_1}{r_2} \{ \cos (\varphi_1 - \varphi_2) + i \sin (\varphi_1 - \varphi_2) \}.$$

### Potenzieren und Radicieren einer complexen Zahl.

§. 320. 1. Wir beschränken uns hier auf den Fall, wo der Exponent eine ganze positive Zahl ist, und bilden zunächst ein Product mehrerer complexer Zahlen. Da das für das Multiplicieren complexer Zahlen der reducierten

Form in §. 318, 2. nachgewiesene Gesetz auch dann, wenn mehr als zwei Factoren vorhanden sind, seine Gültigkeit behält, so hat man

$$r (\cos \varphi + i \sin \varphi) \cdot r' (\cos \varphi' + i \sin \varphi') \cdot r'' (\cos \varphi'' + i \sin \varphi'') \dots \\ = r r' r'' \dots \{ \cos (\varphi + \varphi' + \varphi'' + \dots) + i \sin (\varphi + \varphi' + \varphi'' + \dots) \}.$$

Setzt man nun  $r = r' = r'' = \dots$ ,  $\varphi = \varphi' = \varphi'' \dots$  und die Anzahl der Factoren  $= n$ , so geht die Gleichung in die folgende über:

$$\{ r (\cos \varphi + i \sin \varphi) \}^n = r^n (\cos n \varphi + i \sin n \varphi) \dots 1).$$

Diese Gleichung ist unter dem Namen der Moivre'schen Binomialformel bekannt; sie enthält den Satz:

Die nte Potenz einer complexen Zahl ist wieder eine complexe Zahl, deren Modul gleich ist der nten Potenz des Moduls der Basis und deren Argument gleich ist dem nfachen Argumente der Basis.

2. Setzt man in der Gleichung 1)

$$r^n = r_1 \quad \text{und} \quad n \varphi = \varphi_1, \text{ daher}$$

$$r = \sqrt[n]{r_1} \quad \text{und} \quad \varphi = \frac{\varphi_1}{n},$$

so ergibt sich

$$\left[ \sqrt[n]{r_1} \left( \cos \frac{\varphi_1}{n} + i \sin \frac{\varphi_1}{n} \right) \right]^n = r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1),$$

somit

$$\sqrt[n]{r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1)} = \sqrt[n]{r_1} \left( \cos \frac{\varphi_1}{n} + i \sin \frac{\varphi_1}{n} \right).$$

Wird hier  $\varphi_1$  durch  $\varphi_1 + 2k\pi$  ersetzt, wo  $k$  irgend eine ganze Zahl, die 0 mit eingeschlossen, bedeutet, so nimmt die Gleichung, da  $\sin (\varphi_1 + 2k\pi) = \sin \varphi_1$  und  $\cos (\varphi_1 + 2k\pi) = \cos \varphi_1$  ist, folgende Gestalt an:

$$\sqrt[n]{r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1)} = \sqrt[n]{r_1} \left( \cos \frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n} + i \sin \frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n} \right) \dots 2),$$

wodurch die nte Wurzel aus einer complexen Zahl dargestellt wird.

Substituiert man für  $k$  nach und nach die Zahlen 0, 1, 2, 3, ...  $n - 1$  so erhält man aus der Gleichung 2), da die Winkel  $\frac{\varphi_1}{n}$ ,  $\frac{\varphi_1 + 2\pi}{n}$ ,  $\frac{\varphi_1 + 4\pi}{n}$ , ... nicht um  $2\pi$ , sondern um  $\frac{2\pi}{n}$  differieren und daher nie gleichzeitig gleiche Sinus und gleiche Cosinus haben können,  $n$  verschiedene Werte. Außer diesen aber kann die obige nte Wurzel keine anderen Werte annehmen. Denn jede für  $k$  gesetzte Zahl, die in der Reihe 0, 1, 2, ...  $n - 1$  nicht enthalten ist, lässt sich durch  $k = \alpha n + \beta$  ausdrücken, wo  $\alpha$  irgend eine von 0 verschiedene ganze Zahl,  $\beta$  aber irgend eine Zahl der obigen Reihe bedeutet. Durch diese Substitution geht  $\frac{\varphi_1 + 2k\pi}{n}$  über in  $\frac{\varphi_1 + 2\beta\pi}{n} + 2\alpha\pi$ , welcher Winkel jedoch gleichen

Sinus und gleichen Cosinus hat mit dem Winkel  $\frac{\varphi_1 + 2\beta\pi}{n}$ , der schon einmal durch die Substitution  $k = \beta$  hervorgebracht wurde.

Die  $n$ te Wurzel aus einer complexen Zahl hat demnach  $n$  verschiedene Werte.

Folgerungen. a) Setzt man in der Gleichung 2)  $r_1 = 1$  und  $\varphi_1 = 0$ , so erhält man

$$\sqrt[n]{+1} = \cos \frac{2k\pi}{n} + i \sin \frac{2k\pi}{n},$$

woraus hervorgeht, daß  $\sqrt[n]{+1}$   $n$  verschiedene Werte hat. Damit einer derselben reell werde, muß  $\sin \frac{2k\pi}{n} = 0$  sein, was aber, da  $k$  nicht größer als  $n - 1$  wird, nur für  $k = 0$  oder  $k = \frac{n}{2}$  stattfinden kann. Der zweite

Wert ist für ein ungerades  $n$  nicht möglich.  $\sqrt[n]{+1}$  hat also, wenn  $n$  gerade ist, zwei reelle Werte  $+1$  und  $-1$ , und wenn  $n$  ungerade ist, nur einen reellen Wert  $+1$ ; die übrigen Werte sind imaginär.

b) Setzt man in der Gleichung 2)  $r_1 = 1$  und  $\varphi_1 = \pi$ , so ergibt sich

$$\sqrt[n]{-1} = \cos \frac{(2k+1)\pi}{n} + i \sin \frac{(2k+1)\pi}{n},$$

welcher Ausdruck  $n$  verschiedene Werte liefert. Damit einer derselben reell werde, muß  $\sin \frac{(2k+1)\pi}{n} = 0$  sein, was nur für  $k = \frac{n-1}{2}$  möglich ist. Von den  $n$  Werten ist daher für ein ungerades  $n$  ein einziger, nämlich  $-1$ , reell; für ein gerades  $n$  sind alle Werte imaginär.

c) Da  $\sqrt[n]{\pm a} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{\pm 1}$  ist, so folgt mit Rücksicht auf die Vieldeutigkeit von  $\sqrt[n]{\pm 1}$ , daß der  $n$ ten Wurzel einer jeden positiven oder negativen Zahl  $n$  verschiedene Werte zukommen, welche erhalten werden, indem man die absolute Wurzel  $\sqrt[n]{a}$  mit allen Werten von  $\sqrt[n]{\pm 1}$  multipliciert.

214  
 45  
 139 : 3 = 46  
 19

# Aufgaben-Sammlung.

## I. Addition und Subtraction.

### 1. Addition mit absoluten ganzen Zahlen.

Verbindung der Addition mit sich selbst. (§§. 12 und 13.)

- |  |  |
|--|--|
| 1. $5a + 2a.$ <i>7a</i>  | 2. $7m + 5m.$ <i>12m</i>   |
| 3. $23p + 19p.$ <i>42p</i>   | 4. $15x + 21x.$ <i>36x</i>   |
| 5. $(x + 2) + 6.$ <i>(x+8)</i>   | 6. $(4a + 7) + 2a.$ <i>(6a+7)</i>  |
| 7. $(m + 2n) + 3m.$ <i>(4m+2n)</i>   | 8. $(7x + 6y) + 7y.$ <i>(7x+13y)</i>   |
| 9. $3m + 4m + 6m.$ <i>13m</i>  | 10. $15a + 3b + 9b.$ <i>(15a+12b)</i>  |
| 11. $(2a + 3b + 4c) + 3a.$ <i>(5a+3b+4c)</i>   | 12. $[(7p + 5q) + 3p] + 5q.$ <i>(10p+10q)</i>  |
| 13. $2p + 3q + 5p + 3q + q.$ <i>(7p+9q)</i>  | 14. $m + 6m + 3n + 7m + 9n.$ <i>(14m+12n)</i>  |
| 15. $8 + (6 + a).$ <i>14+a</i>   | 16. $10y + (12x + 5y).$ <i>(15y+12x)</i>   |
| 17. $7m + [3m + (2m + 8n)].$ <i>(12m+8n)</i>   | 18. $3a + [7b + (5a + b)].$ <i>(8a+8b)</i>   |
| 19. $5p + [(7p + 8q) + 6q].$ <i>(12p+14q)</i>  | 20. $[15x + \{5x + (7y + x)\}] + 2y.$ <i>(21x+9y)</i>  |
| 21. $(z + 3) + (x + 1).$ <i>(z+x+4)</i>  | 22. $(3a + 4m) + (3a + 2m).$ <i>(6a+6m)</i>  |
| 23. $\{(3a + 4b) + 2c\} + \{6a + (4b + 5c)\}.$ <i>(9a+8b+7c)</i>   |  |
| 24. $\{(2x + 3y) + (5x + 2y)\} + \{[4x + (5x + y)] + 6y\}.$ <i>(16x+12y)</i>                                     |  |
| 25. $6x + 5y$<br>$x + 7y$ <i>15x+13y</i><br>$8x + y$   | 26. $a + 2b + 3c$<br>$2a + 3b + c$<br>$3a + b + 2c$  |
| 27. $8a + 7b + 6c + 5d$<br>$9a + 6b + 7c + 4d$ <i>(24a+18b+21c+15d)</i><br>$7a + 5b + 8c + 6d$                   | 28. $3m + 2n + 6p + 5q$<br>$m + 3n + 5p + 6q$<br>$5m + 6n + 2p + 4q$ <i>(3m+11n+13p+15q)</i> |
| 29. $(7a + 6b) + (16a + 3b) + (13a + 20b) + (5a + 6b).$ <i>(41a+35b)</i>   |  |
| 30. $(6x + 7y + 5z) + (5x + 6y + 7z) + (2x + y + 3z)$<br>$+ (x + 3y + 4z) + (4x + 2y + z).$ <i>(18x+14y+20z)</i> |  |

### 2. Subtraction mit absoluten ganzen Zahlen.

Verbindung der Subtraction mit sich selbst und mit der Addition.

(§§. 17-25.)

- |                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. $4a - 2a.$ <i>2a</i>        | 2. $4a - 4a.$ <i>0</i>            |
| 3. $(x + 7) - 2.$ <i>(x+5)</i> | 4. $(6p + 5) - 3p.$ <i>(3p+5)</i> |

5.  $(9m + 2n) - 6m$ .  $3m+2n$       6.  $8n + n - 6n$ .  $3n$   
 7.  $[(3x + 5) + 2x] - 4x$ .  $(x+5)$       8.  $3m + 9m + m - 5m$ .  $7m$   
 9.  $(a - 2) + 5a$ .  $(6a-2)$       10.  $(7m - 3a) + 2a$ .  $(7m-a)$   
 11.  $(8x - 4y) + 7x$ .  $(15x-4y)$       12.  $[(5z - 7) + 3z] + 4$ .  $8z-3$   
 13.  $(3a - 4) - 6$ .  $3a-10$       14.  $(16y - 8x) - 8y$ .  $4y-8x$   
 15.  $[(5x - 2) - 2x] - 3$ .  $(3x-5)$       16.  $5a + 7b - 2b - 4a$ .  $(a+5b)$   
 17.  $12 - (4 + m)$ .  $8+m$       18.  $9y - (3x + 7y)$ .  $16y-3x$   
 19.  $(6x + 4y) - (3x + 2y)$ .  $(3x+2y)$       20.  $5m - [(2m + 3a) + 2m]$ .  $m-3a$   
 21.  $6 + (n - 4)$ .  $n+2$       22.  $x + (8x - 4a)$ .  $9x-4a$   
 23.  $7a + (3a - 2b)$ .  $10a-2b$       24.  $15m + [(4m - 3) + 2]$ .  $19m-1$   
 25.  $5y - (8z - 3y)$ .  $2y-8z$       26.  $(m + n) - [m - (a - n)]$ .  $+a$   
 27.  $(2x - 4) - (x - 1)$ .  $x-5$       28.  $7a + (8a - 2) + (9a - 4)$ .  $24a-6$   
 29.  $[x - (m + n)] + [x - (m + p)] + [x - (n + p)]$ .  $3x-2m-2n-2p$   
 30.  $(5x - 2y) - (x - 2y)$ .  $4x$       31.  $(9m - 4n) - (4m - 3n)$ .  $5m-n$   
 32.  $5a - 3b$       33.  $7b - 3c$   
      $2a - b$   
      $- +$   
 34.  $17x - 15y$       35.  $20m - 27n + 12p$   
      $8x - 9y$             $15m - n + 12p$

36.  $(17p + 15q - 13r - 11s) - (5p - 6q - 7r + 8s)$ .  $(12p+22q-19s)$   
 37.  $(5a + 2b - 3c) - (2a - 3b + 5c) - (a - 2b - 4c)$ .  $(2a+7b-4c)$   
 38.  $(3x - 5y - 7z) + (7x + 4y - 3z) - (6x - 3y + 10z)$ .  $2x+y-10z$   
 39.  $7a - (3c + 6b) - (6a + 3c) - 3b + (3a - 8c)$ .  $4a+3b-8c$   
 40.  $(8m - 5y) + [(2y - 7m) - (y + x)]$ .  $m+x-4y$   
 41.  $(x + y) - [x - (a - (y - m))]$ .  $a+m$   
 42.  $2x - [(3a + 4x) - (4x - 1)] - (x - 2a - 2)$ .  $a+x+1$   
 43.  $(8m - 5x) - (2m - 3n - 4x) + [(3x - 2n) - (4m + 3n)]$ .  $2m-2n+2x$

Berechne die Werte folgender Ausdrücke für  $a = 4$ ,  $b = 3$ :

44.  $(8a + 7b) - (5a - 4b) - (2a - b)$ ;  $a=12$ ,  $b=36$   
 45.  $8a + (7b - 5a) - \{(4b - 2a) - b\}$ ;  $5a+4b$ ,  $a=20$ ,  $b=40$   
 46.  $8a + (7b - 5a) - \{4b - (2a - b)\}$ ;  $5a+2b$ ,  $a=20$ ,  $b=24$   
 47.  $(8a + 7b) - \{5a - (4b - 2a) - b\}$ .  $a+12b$ ,  $a=4$ ,  $b=144$

Bestimme für  $X = 4x - (3y + 2z)$ ,  $Y = 2x + (4y - 3z)$  und  $Z = x - (2y - 4z)$  die Ausdrücke:

48.  $X + (Y - Z)$ ;  $5x+7y-9z$       49.  $X - (Y + Z)$ ;  $2x+y+2z$       50.  $X - (Y - Z)$ .  $3x-9y+5z$

Bestimme folgende Ausdrücke:

51.  $A + \{B - (C + D)\}$ ;      52.  $A - \{B - (C - D)\}$ ;  
 53.  $A + \{B - (C - D)\}$ ;      54.  $A - \{B - (C - D)\}$ ;

wenn  $A = 6a - (2b + 3c)$ ,  $B = 3a + (3b - 4c)$ ,

$C = 2a - (b + c)$ ,  $D = a - (4b - 2c)$  ist.

## 3. Addition und Subtraction mit algebraischen ganzen Zahlen.

(§§. 30—33.)

1.  $(+7a) + (+3a)$ .  $10a$       2.  $(-6m) + (+3m)$ .  $-3m$   
 3.  $(+5n) + (-5n)$ .  $0$       4.  $(-8x) + (-2x)$ .  $-10x$   
 5.  $(+2x) - (+x)$ .  $+x$       6.  $(-6a) - (+4a)$ .  $-10a$   
 7.  $(+6m) - (-3m)$ .  $9m$       8.  $(-4s) - (-8s)$ .  $+4s$   
 9.  $(-4x) + (-2x) - (-x) + (+9x)$ .  $+4x$   
 10.  $8a + 3b - 4c$       11.  $25x + 31y - 17z$   
 $-3a - 5b + 7c$   $3a+b-c$        $x - 29y - 19z$   
 $a + 4b - 5c$        $-22x + 8y + 37z$   $+4x+10y+2z$
12. Berechne  $x - (x - 2) + (x - 4) - (x - 6)$  für  $x = 4$ .  
 13.  $(x + y - z) - (x - y + z) + (-x + y + z) - (-x - y + z)$ .  
 14.  $[(a - b) - b] - (b - a)$ .      15.  $5m - [3m - (-n + m)]$ .  
 16.  $x + [(x - y) - (y - x)]$ .      17.  $x - [(x + z) - (-x + z)]$ .  
 18.  $2a + 3b - \{2a - [-2a + 3b - \{(2a + 3b) - (2a - 3b)\}]\}$ .  
 19.  $\{[(a - b) + (b - c)] - \{c - (d - e)\}\} - [-c + \{d + (-c - e)\}]$ .  
 20.  $[6x + 7y - \{-6x + 7y - \{(6x + 7y) - (6x - 7y) - 6x\}\}]$   
 $- [6x - \{(6x - 7y) - (6x + 7y)\}]$ .

## II. Multiplication und Division.

## 1. Multiplication mit absoluten ganzen Zahlen.

Verbindung der Multiplication mit sich selbst. (§§. 38 und 39.)

1.  $a^3 \cdot a^4$ .  $a^7$       2.  $m^3 \cdot m^5 \cdot m$ .  $m^9$       3.  $x^m \cdot x^n \cdot x^p \cdot z^q$ .  $x^{m+n+p} z^q$   
 4.  $xy \cdot z$ .  $xyz$       5.  $3a \cdot b$ .  $3ab$       6.  $5mn \cdot 2$ .  $10mn$   
 7.  $a \cdot bx$ .  $abx$       8.  $m \cdot 6yz$ .  $6myz$       9.  $a^3 \cdot 4a^2$ .  $4a^5$   
 10.  $2a \cdot 4b$ .  $8ab$       11.  $8xy \cdot 7x$ .  $56x^2y$       12.  $2y^3 \cdot 4y^2$ .  $8y^5$   
 13.  $7a^2x \cdot ax^2$ .  $7a^3x^3$       14.  $4z^3 \cdot 5bz^2$ .  $20z^5b$       15.  $6m^3n^4 \cdot 5m^3n^2$ .  $30m^6n^6$   
 16.  $a \cdot 2a \cdot 3a$ .  $6a^3$       17.  $xy \cdot xy \cdot xy$ .  $x^3y^3$       18.  $z^2 \cdot 2z^3 \cdot 3z$ .  $6z^6$   
 19.  $a^3b \cdot 5a^2b^2 \cdot 8ab^3$ .  $40a^6b^6$       20.  $x^3 \cdot 3x^2y \cdot 3xy^2 \cdot y^3$ .  $9x^6y^6$

Verbindung der Multiplication mit der Addition und Subtraction.

(§§. 40—45.)

21.  $(x + a) \cdot b$ .  $bx + ab$       22.  $(a + 1) \cdot 5$ .  $5a + 5$       23.  $(x + 5) \cdot 4 - 2x$ .  $2x + 10$   
 24.  $(3m + 2n) \cdot 5p$ .  $15mp + 10np$       25.  $(a^2b + ab^2) \cdot ab$ .  $a^3b^2 + a^2b^3$       26.  $(6m + 5m^2) \cdot 2m$ .  $12m^2 + 10m^3$   
 27.  $am + bm$ .  $(a+b)m$       28.  $5x^2 + 9x^2$ .  $14x^2$       29.  $3y^3 + 5y^3$ .  $8y^3$   
 30.  $4a + 4b$ .  $(a+b)4$       31.  $ax^2 + ay^2$ .  $(x^2+y^2)a$       32.  $(a+m)x + (a-m)x$ .  $+2ax$   
 33.  $m(b^2 - x^2) + n(b^2 - x^2)$ .  $(m+n)(b^2 - x^2)$       34.  $6m + 6n + 6p$ .  $(m+n+p)6$

35.  $(a - b)z. az + bz$  36.  $(m - 1).m.m^2 - m$  37.  $8x + (7 - x).3. 5x + 21$   
 38.  $(4a - 3b).5c$  39.  $(2x^2 - x).3x.6x^3 - x^2$  40.  $(ax^3 - by^3).mxy. amxy -$   
 41.  $am - bm. (a-b)m$  42.  $a.10^m - b.10^m$  43.  $15ay^2 - 9ay^2. 6ay^2$   
 44.  $3x - 3y. (x-y)$  45.  $7x - 7y + 7(x-y)$  46.  $ax + ay - a. (x+y-1)a$   
 47.  $3a^2 - a^2 + 5b^2 - 3b^2. (a^2 + b^2)$  48.  $5x - 5y + 6a - 6b. (x-y)5 + (a-b)6$   
 49.  $a(3x + 2) - 3b(3x + 2) + 2a(3x + 2) - 3b(3x + 2) = 3(3x + 2)(a - b)$

Addiere

50.  $8mx + 5ny$   
 $3mx - 7ny$   
 $mx - 3ny$   


---

 51.  $6a^4 - 9a^3 + 12a^2$   
 $4a^3 - 6a^2 + 8a$   
 $2a^2 - 3a + 4$

Subtrahiere

52.  $amx + bny - cpz$   
 $3mx - 2ny + pz$   


---

 53.  $15x^3 - 26x^2 + 33x - 10$   
 $15x^3 - 20x^2 + 25x - 10$   


---

 54.  $(x^3 + 3x^2y + 3xy^2 + y^3) - (x^3 - 3x^2y + 3xy^2 - y^3)$   
 55.  $7xy - [7yz - (3xz - 2xy) + 3xy] - (6yz - 2xz)$   
 56.  $b.(x + y)$   
 57.  $5.(a + 1)$   
 58.  $m.(p + 5)$   
 59.  $6.(m + n) - 5m$   
 60.  $3x.(a^2 + b^2)$   
 61.  $12a^2.(3x^2 + 2y^2)$   
 62.  $a.(b - 1)$   
 63.  $b.(x - y)$   
 64.  $8.(3 - m)$   
 65.  $5.(z - 2) + 7z$   
 66.  $5m.(ax^3 - by^3)$   
 67.  $2a^2b^2.(a^2b - ab^2)$   
 68.  $\{a^2.(3a - 2b) - b^2.(2a - 3b) + 2ab.(a + b)\} . 4a^2b^2$

69. Berechne folgende Ausdrücke für  $m = 20, x = 4, y = 3, z = 2$ :

- a)  $m - (x.y + z); = 6$  c)  $(m - x) y + z; = 50$   
 b)  $m - x (y + z); = 8$  d)  $(m - x.y) + z. = 10$

70.  $(x + a)(x + b)$   
 71.  $(x + a)(x - b)$   
 72.  $(x - a)(x + b)$   
 73.  $(x - a)(x - b)$   
 74.  $(a + 1)(b + 1)$   
 75.  $(m + 1)(m + 2)$   
 76.  $(y + 3)(y - 5)$   
 77.  $(z - 4)(z - 6)$   
 78.  $(5x + 3a)(5x + 4a)$   
 79.  $(a^m + b^m)(a^n - b^n)$   
 80.  $(3x^2 + 2y^2)(4x^2 + 5y^2)$   
 81.  $(ax^m - by^n)(bx^n + ay^m)$   
 82.  $(2a^2 + 3b^2)(5a^2 - 4b^2) - (10a^4 - 12b^4)$   
 83.  $(x + y)^2$   
 84.  $(a + 1)^2$   
 85.  $(p + 2)^2$   
 86.  $(x - y)^2$   
 87.  $(a - 1)^2$   
 88.  $(p - 2)^2$   
 89.  $(10m + n)^2$   
 90.  $(2x + y)^2$   
 91.  $(x - 2y)^2$   
 92.  $(3m - 2n)^2$   
 93.  $(3a^2 - 4b^2)^2$   
 94.  $(5p^3 - 3q^3)^2$   
 95.  $(x + 3)^2 - 6x$   
 96.  $(y - 4)^2 + 8y$   
 97.  $(x + a)^2 + (x - a)^2$   
 98.  $(x + a)^2 - (x - a)^2$   
 99.  $(ax^2 + by^2)^2 - 2abx^2y^2$   
 100.  $(a^2x - b^2y)^2 + (a^2x + b^2y)^2$   
 101.  $(x + y)(x - y)$   
 102.  $(a + 5)(a - 5)$   
 103.  $(x + a)(x - a) + a^2$   
 104.  $y^2 - (y + 2)(y - 2)$

105.  $(15a + 9b)(15a - 9b)$ . 106.  $(a^m + b^n)(a^m - b^n)$ .
107.  $(3a^2 - 2b^2)(3a^2 + 2b^2)$ . 108.  $(5x^3 + 3x^2y)(5x^3 - 3x^2y)$ .
109.  $(mx^3 + ny^3)(mx^3 - ny^3) + 2ny^3(mx^3 + ny^3)$ .
110.  $(3a^2 + 5b^2)(3a^2 - 5b^2) - (3a^2 + 7b^2)(2a^2 - 4b^2)$ .
111.  $(5x + a)(2x - a) - (4x - 3a)(7x + a) + (3x - a)(6x + 2a)$ .
112.  $(5a - 2b + 1) \cdot 7 \cdot 5a - 4b + 7$  113.  $(2x + 5y - 3z) \cdot 4xyz$ .
114.  $(m + 2m^2 - 3m^3) \cdot 5m$ . 115.  $(a^2 + 5a - 9) \cdot 6a^2$ .
116.  $(8xy^3 + 5x^2y^2 - 3x^3y) \cdot 12x^2y^2$ .  $96x^3y^5 + 60x^4y^4 - 36x^5y^3$
117.  $(3z^4 + 2z^3 - 5z^2 + 4z) \cdot 6z^2$ .  $18z^6 + 12z^5 - 30z^4 + 24z^3$
118.  $(4m^3 - 3m^2n + 2mn^2 - n^3) \cdot 3m^2n^2$ .  $12m^5n^2 - 9m^4n^3 + 6m^3n^4 - 3m^2n^5$
119.  $(3x^2 + 5x + 7) \cdot 5x - (4x^2 - 6x - 8) \cdot 3x$ .  $3x^3 + 25x^2 + 35x - 12x^2 + 18x + 24$
120.  $mnp \cdot (10m - 7n + 4p)$ . 121.  $3ax \cdot (a^2 + ax + x^2)$ .  $3a^3x + 3a^2x^2 + 3ax^3$
122.  $5a^2 \cdot (3x^2 - 8xy + 2y^2)$ . 123.  $x^3 \cdot (x^3 - x^2 + x - 1)$ .  $x^6 - x^5 + x^4 - x^3$
124.  $4a^2b^4 \cdot (5a^2b^3 - 7a^3b^2 - 5a^4b - 3a^5)$ .  $20a^4b^7 - 28a^5b^6 - 20a^6b^5 - 12a^7b^4$
125.  $7x^2y \cdot (2x^2y - 2xy^2 - 3xz^2 + 3y^2z) + x^2y^2 \cdot (14xy - 21yz)$ .  
 $14x^4y^2 - 21x^3y^2z$
126.  $(a + 2b + 3c)(3m + 2n)$ .  $3am + 6mb + 9mc + 2an + 4bn + 6cn$
127.  $(2a - b + 3c)(5m - n)$ .  $10am - 5bm + 15cm - 2an - bn - 3cn$
128.  $(8x + 6y + 4)(5a^2 - 7)$ .  $40ax + 30ay + 20a - 56x - 42y - 28$
129.  $(7x + 5y - 3)(3a + 5)$ .  $21ax + 15ay - 9a + 35x + 25y - 15$
130.  $(x^2 + xy + y^2)(x - y)(x^3 - y^3)$
131.  $(x^2 - xy + y^2)(x + y)(x^3 + y^3)$
132.  $(z^2 - 2z + 1)(6z + 3)$ .  $6z^3 - 2z^2 + 3z + 3$
133.  $(5y^2 + 6y - 7)(4y - 5)$ .  $20y^3 - 25y^2 + 30y - 35$
134.  $(2a^2b - 3ab^2 - 4b^3)(a - 2b)$ .  $2a^3b - 7a^2b^2 - 10ab^3 - 8b^4$
135.  $(16x^4 + 8x^2y^2 + y^4)(4x^2 - y^2)$ .  $64x^6 + 16x^4y^2 + 4x^2y^4 - 8x^4y^2 - y^6$
136.  $(4a^4 - 12a^2b^3 + 9b^6)(2a^2 - 3b^3)$ .  $8a^6 - 36a^2b^3 + 30a^2b^6 - 27b^9$
137.  $(2x^4 + 3x^3 + 4x^2 + 3x + 2)(x - 1)$ .  $2x^5 + x^4 + x^3 - x^2 - x - 2$
138.  $(a^2 + 2ab + b^2)(a + b) + (a^2 - 2ab + b^2)(a - b)$ .  $2a^3 + 6ab^2$
139.  $(5x^2 + 4x - 3)(4x + 8) - (4x^2 - 3x - 6)(5x + 4)$ .  $55x^2 + 62x - 24$
140.  $(a^4 - a^3 + a^2 - a + 1)(a + 1)$ .  $a^5 + 2a^4 + 2a^3 + 2a^2 + 2a + 1$
141.  $(a^4 + a^3 + a^2 + a + 1)(a - 1)$ .  $(a^5 - 1)$
142.  $(a^3 - a^2 + a - 1)(a + 1)$ .  $(a^4 - 1)$
143.  $(a^5 + a^4 + a^3 + a^2 + a + 1)(a - 1)$ .  $(a^6 - 1)$
144.  $(x^6 - x^5y + x^4y^2 - x^3y^3 + x^2y^4 - xy^5 + y^6)(x + y) \cdot (x^7 - y^7)$
145.  $(x^4 + x^3y + x^2y^2 + xy^3 + y^4)(x - y) \cdot (x^5 - y^5)$
146.  $(x^5 - x^4y + x^3y^2 - x^2y^3 + xy^4 - y^5)(x + y) \cdot (x^6 - y^6)$
147.  $(x^3 + x^2y + xy^2 + y^3)(x - y) \cdot (x^4 - y^4)$

Welche Gesetzmäßigkeit läßt sich in den Multiplicationen 140. bis 147. erkennen?

148.  $(x^{5m} - x^{4m} + x^{3m} - x^{2m} + x^m - 1)(x^m + 1) \cdot (x^{6m} - 1)$
149.  $(x + 1)(x + 2)(x + 3)$ . 150.  $(x + 3)(x - 2)(x + 4)$ .
151.  $(x + a)(x + b)(x + c)$ .  $x^3 + ax^2 + x^2b + abx + x^2c + acx + xbc + abc$
152.  $(x - a)(x - b)(x - c)(x - d)$ .  $a^2d + x^2bd - abcd + x^2cd + acx + xbc + abc$

153.  $(a + b + c)^2$ . 154.  $(3x - 2y + z)^2$ .  
 155.  $(y^2 - 4y + 4)^2$ . 156.  $(ax^2 + by^2 + c)^2$ .  
 157.  $(a + b)^3$ . 158.  $(a - b)^3$ . 159.  $(2x + 3y)^3$ .  
 160.  $(ax^2 - by^2)^3$ . 161.  $(8a^2 + 7b^2)^3$ . 162.  $(ax^m - bx^n)^3$ .  
 163.  $(3a^3 - 4a^2b + 6ab^2 - 2b^3)(4a^2 - 3ab + b^2)$ . *Handwritten:  $12a^5 - 25a^4b + 39a^3b^2 - 30a^2b^3$*   
 164.  $(5x^4 - 2x^3 - 3x^2 - 2x + 7)(6x^2 + 4x - 7)$ . *Handwritten:  $30x^6 + 8x^5 - 61x^4 - 10x^3 + 55x^2 + 42x - 49$*   
 165.  $(4x^3 - 3x^2 + 2x - 1)(7x^3 - 5x^2 + 3x - 1)$ . *Handwritten:  $28x^6 - 41x^5 + 41x^4 - 93x^3 + 44x^2 - 22x + 1$*   
 166.  $(a^3 + 2a^2b + 2ab^2 + b^3)(a^3 - 2a^2b + 2ab^2 - b^3)$ .  
 167.  $(2a^2b - 3ab^2 - 4b^3 + 5)(2a^2b - 3ab^2 + 4b^3 - 5)$ .  
 168.  $(ax^3 + bx^2 + cx + d)(mx^3 + nx^2 + px + q)$ .  
 169.  $(x^{4m} - 2x^{3m}y^n + 2x^{2m}y^{2n} - 4x^m y^{3n} + 4y^{4n})(x^{2m} + 2x^m y^n + 2y^{2n})$ .  
 170.  $(m^4 + 4m^3 + 6m^2 + 4m + 1)(m^3 - 3m^2 + 3m - 1)$ .  
 171.  $(a + b + c)(a - b + c)(a + b - c)$ .  
 172.  $(a^2 - 2ab + 3b^2)(3a^2 + ab - 2b^2)(2a^3 - 3b^3)$ .  
 173.  $(a^2 - 4a - 6)(a^2 - 4a + 6)(a^2 + 4a - 6)$ .  
 174.  $(4x^2 - 3x + 2)(3x^2 + 2x - 1)(x^2 - 2x - 3)$ .  
 175.  $(a^2 + 2ab - 2ac + b^2 - 2bc + c^2)$   
        $(a^2 + 2ab + 2ac + b^2 + 2bc + c^2)$ .  
 176.  $[x^2 + (a + b)x + (a^2 + b^2)][x^2 - (a - b)x + (a^2 - b^2)]$ .

## 2. Division mit absoluten ganzen Zahlen.

Verbindung der Division mit sich selbst und mit der Multiplication.

(§§. 49—54.)

1.  $x^5 : x^3 \cdot x^2$  2.  $a^4 : a \cdot a^3$  3.  $a^{m+n} : a^n \cdot a^m$   
 4.  $15a : 5 \cdot 3a$  5.  $mx : x \cdot m$  6.  $4ab \cdot px : b \cdot 4a \cdot px$   
 7.  $2a(m - 1) : a \cdot m - 2$  8.  $50ab : 2a \cdot 25b$  9.  $8abxy : a \cdot x \cdot 8by$   
 10.  $12x^6 : 3x^4 \cdot 4x^2$  11.  $8a^2c : 4a \cdot 2ac$  12.  $7a^2y^4 : ay^4 \cdot 7a$   
 13.  $9a^2b^2x : 3abx \cdot 3ab$  14.  $(x + y)(x - y) : (x - y)(y - z)$ .  
 15.  $28a^5m^2y^4 : 7a^4my^2 \cdot 4amy^2$  16.  $20a^m b^n x^p : 5a^{m-1} b^{n-2} x^{p-3}$ .  
 17.  $\frac{2a}{b} \cdot c$ . 18.  $\frac{x}{ny} \cdot ny$ . 19.  $\frac{a}{b} \cdot b \cdot m$ . *Handwritten:  $am$*   
 20.  $\frac{2x}{ay} \cdot a$ . 21.  $\frac{a}{bc} \cdot abc$ . 22.  $\frac{2x}{5y} \cdot 5ax$ .  
 23.  $\frac{5a^2}{6bc^3} \cdot 3ab$ . 24.  $\frac{3x^2}{4y^4} \cdot 4z^2$ . 25.  $\frac{16ax^m}{25by^{2n}} \cdot 5y^n$ .  
 26.  $\frac{5ax}{7b} : x$ . 27.  $\frac{mxy}{nz} : my$ . 28.  $\frac{8ax}{5y} : 3b$ .  
 29.  $\frac{15a^3b^2}{4mn} : 5a^2b$ . 30.  $\frac{6a^2x^4}{5by} : 3ax^2$ . 31.  $\frac{4m^2n^3}{7p^2} : 2p^3$ .  
 32.  $(15x^2y^2 : 5x) : 3y$ . 33.  $(2m^3x^3 : ny^2) : 3n^2y$ .

34.  $mn \cdot \frac{m}{np}$ .      35.  $15x \cdot \frac{4y}{3x}$ .      36.  $3x^2y \cdot \frac{2z}{3xy}$ .
37.  $5my^3 \cdot \frac{8abx^2}{5my}$ .      38.  $2a^2x \cdot \frac{3x}{4a^2b^2}$ .      39.  $4a^2bc^2 \cdot \frac{5x}{2a^2b^2c}$ .
40.  $x : \frac{x}{y}$ .      41.  $y : \frac{x}{y}$ .      42.  $xy : \frac{x}{y}$ .
43.  $axy : \frac{x}{z}$ .      44.  $5a^4 : \frac{a^2}{b^2}$ .      45.  $6a^3m^2x : \frac{2ax}{y^2}$ .
46.  $2m(m+1) : \frac{2m}{m-1}$ .      47.  $b^2 + \left[ (b^2 + c^2) : \frac{b^2 + c^2}{a^2 - b^2} \right]$ .
48.  $15m^2n^3 : (6n^2 + 2nx^2)$ .      49.  $4a^3b^5m : (2ab^3 : m)$ .
50.  $\frac{xy}{z} \cdot \frac{xz}{y}$ .      51.  $m^2n^2 \cdot \frac{mp}{n} \cdot \frac{np}{m}$ .
52.  $\frac{ab}{m} : \frac{an}{b}$ .      53.  $\frac{6am}{25bn} : \frac{3a}{5b}$ .      54.  $\frac{8m^3x}{5n^3y} : \frac{4mx}{ny}$ .
55.  $[(a+b)x^2 : (a-b)y^2] : [x : (a-b)y]$ .
56.  $\frac{x^2y^2}{z^2} : \left[ \left( \frac{xy}{z^2} : \frac{yz}{x^2} \right) : \left( \frac{yz}{x^2} : \frac{y^2}{xz} \right) \right] : \frac{y}{z}$ .

Verbindung der Division mit der Addition und Subtraction.  
(§§. 55–59.)

57.  $(ax + bx) : x$ .      58.  $(8x + 8) : 8$ .
59.  $(a^2b + ab^2) : ab$ .      60.  $(12a^3x^2 + 9ax^4) : 3ax^2$ .
61.  $\frac{x}{3a} + \frac{y}{3a}$ .      62.  $\frac{7m}{5} + \frac{3m}{5}$ .      63.  $\frac{3a}{n} + \frac{5a}{n}$ .
64.  $\frac{a+b}{n} + \frac{a-b}{n}$ .      65.  $\frac{2x+3}{x+1} + \frac{3x+2}{x+1}$ .
66.  $(am - bm) : m$ .      67.  $(mp - np) : p$ .
68.  $(5a^2x - 10ax^2) : 5ax$ .      69.  $(8x^3y^3 - 4x^2y^2z^2) : 4x^2y^2$ .
70.  $\frac{b}{4} - \frac{c}{4}$ .      71.  $\frac{6a}{m} - \frac{5a}{m}$ .      72.  $\frac{9x}{4a} - \frac{5x}{4a}$ .
73.  $\frac{a+b}{m} - \frac{a-b}{m}$ .      74.  $\frac{8y-3}{2y+1} - \frac{4y-5}{2y+1}$ .
75.  $\frac{3x-2y}{x-y} + \frac{4x+3y}{x-y} - \frac{3x+5y}{x-y}$ .
76.  $\frac{17x+12x}{x+y} - \frac{3x-7y}{x+y} + \frac{2x-3y}{x+y}$ .
77.  $(45am - 25bm + 35cm) : 5m$ .
78.  $(2a^3 - 6a^2b + 30ab^2) : 2a$ .
79.  $(5m^4x - 4m^3x^2 - 3m^2x^3) : m^2x$ .
80.  $(10x^4y^2z - 25x^3y^2z^2 - 15x^2y^2z^3 + 5xy^2z^4) : 5xy^2z$ .
81.  $(6am - 12bm + 5an - 10bn) : (6m + 5n)$ .
82.  $(a^2 + 2ab + b^2) : (a + b)$ .      83.  $(x^2 - 2xy + y^2) : (x - y)$ .

84.  $(4x^2 - 9y^2) : (2x + 3y)$ .      85.  $(16a^2 - b^2) : (4a - b)$ .  
 86.  $(x^{2m} - y^{2n}) : (x^m - y^n)$ .      87.  $(81m^8 - 16n^6) : (9m^4 + 4n^3)$ .  
 88.  $(a^6 + b^6) : (a + b)$ .      89.  $(a^6 + b^6) : (a - b)$ .  
 90.  $(a^6 - b^6) : (a + b)$ .      91.  $(a^6 - b^6) : (a - b)$ .  
 92.  $(a^5 + b^5) : (a + b)$ .      93.  $(a^5 - b^5) : (a - b)$ .

Welche Gesetze herrschen in den Quotienten 88. bis 93.? Wann läßt sich die Summe oder Differenz gleich hoher Potenzen zweier Zahlen durch die Summe oder Differenz dieser Zahlen ohne Rest theilen?

94.  $(x^{2m} - y^{2m}) : (x + y)$ .      95.  $(x^{2m} - 1) : (x + 1)$ .  
 96.  $(x^{2m} - y^{2m}) : (x - y)$ .      97.  $(x^{2m} - 1) : (x - 1)$ .  
 98.  $(x^{2m+1} + y^{2m+1}) : (x + y)$ .      99.  $(x^{2m+1} + 1) : (x + 1)$ .  
 100.  $(x^{2m+1} - y^{2m+1}) : (x - y)$ .      101.  $(x^{2m+1} - 1) : (x - 1)$ .  
 102.  $(a^{7m} + 1) : (a^m + 1)$ .      103.  $(81x^8 - 16y^8) : (3x^2 - 2y^2)$ .  
 104.  $(14x^2 - 31x + 15) : (2x - 3)$ .  
 105.  $(1 - 2x + x^2 - 6x^4 + 8x^6) : (1 - 2x)$ .  
 106.  $(6x^4 - 11x^3 - 9x^2 + 19x - 5) : (3x - 1)$ .  
 107.  $(3a^2x^2 - abxy - 2b^2y^2) : (ax - by)$ .  
 108.  $(20a^5 - 18a^4b + 4a^3b^2) : (4a^2 - 2ab)$ .  
 109.  $(4a^3 - 16a^2 + 7a + 20) : (2a - 5)$ .  
 110.  $(x^{3m} + x^{2m}y^n - x^m y^{3n} - y^{4n}) : (x^{2m} - y^{3n})$ .  
 111.  $(x^3 y^{3m} - x^{n+1} y^{2m+2} + x^{2n+2} y^{m+1} - x^{3n} y^3) : (x^2 y^m - x^n y^2)$ .  
 112.  $(m^4 - 2m^2 n^2 + n^4) : (m^2 + 2mn + n^2)$ .  
 113.  $(6a^4 - 5a^3 + 4a^2 + 11a - 4) : (2a^2 - 3a + 4)$ .  
 114.  $(12x^4 - x^3 y - 32x^2 y^2 + x y^3 + 20y^4) : (4x^2 + xy - 5y^2)$ .  
 115.  $(2 - 7x + 16x^2 - 25x^3 + 24x^4 - 16x^5) : (2 - 3x + 4x^2)$ .  
 116.  $(15a^4 + 8a^3 b - 41a^2 b^2 + 10ab^3 + 8b^4) : (5a^2 + 6ab - 8b^2)$ .  
 117.  $(63y^8 + 10a^2 y^6 - 155a^4 y^4 + 10a^6 y^2 + 63a^8) : (9y^4 - 5a^2 y^2 - 7a^4)$ .  
 118.  $(49a^6 + 6a^4 - 51a^2 - 25) : (7a^3 - 6a^2 + 3a - 5)$ .  
 119.  $(4x^6 + 15x^4 y^2 + 10x^2 y^4 - 9y^6) : (2x^3 + x^2 y + 4x y^2 + 3y^3)$ .  
 120.  $(4 + 5a - 16a^2 - 4a^3 + 4a^4 - 5a^5 + 4a^6) : (4 - 3a + 2a^2 - a^3)$ .  
 121.  $(32 + 104x + 100x^2 + 26x^3 - 13x^4 + x^5) : (8 + 12x + 6x^2 - x^3)$ .  
 122.  $(27a^6 - 33a^5 b - 45a^4 b^2 + 71a^3 b^3 - 36a b^5 + 16b^6) : (9a^3 - 2a^2 b - 5a b^2 + 4b^3)$ .  
 123.  $\{(x^3 + (a + b - c)x^2 + (ab - ac - bc)x - abc) : (x + a)\} : (x - c)$ .  
 124.  $\{(120 - 326x + 329x^2 - 146x^3 + 24x^4) : (4 - 3x)\} : (6 - 7x + 2x^2)$ .  
 125.  $(2 - 7x + 16x^2 - 17x^3 + 12x^4) : \{(2 - 7x + 12x^2 - 9x^3) : (2 - 3x)\}$ .



## 3. Multiplication und Division mit algebraischen ganzen Zahlen.

## Multiplication algebraischer Zahlen. (§. 61.)

1.  $7a \cdot (-4)$ .
2.  $(-4x^3) \cdot 2y$ .
3.  $(-a^2) \cdot (-3a)$ .
4.  $(-3x) \cdot (5xy)$ .
5.  $7ab \cdot (-bc)$ .
6.  $(-8ay^2) \cdot 2a^2y$ .
7.  $(-6a^4) \cdot 3a^2x$ .
8.  $5a^2z^4 \cdot (-3b^2z)$ .
9.  $ab^2y^3 \cdot (-a^2b)$ .
10.  $(-12m^3xy^2) \cdot (-4x^2y)$ .
11.  $7 \cdot (-3) \cdot (-5)$ .
12.  $(-a) \cdot (-b) \cdot (-c)$ .
13.  $(-my) \cdot (-my) \cdot (-my)$ .
14.  $(-5x) \cdot (-5x) \cdot (-x)$ .
15.  $(-2z)^3$ .
16.  $(+3a^2)^3$ .
17.  $(-4xy)^3$ .
18.  $(-2a^2) \cdot 3ab^2 \cdot 5a^2bx$ .
19.  $4x^2y^3z \cdot (-xy^2z^3) \cdot (-2x^2z)$ .
20.  $a^{2m-4}b^{3n+2} \cdot (-a^mb^{n-4})$ .
21.  $3b^2x^{2n} \cdot (-4b^2x^{2n-2}) \cdot 2bx^2$ .
22.  $3ax \cdot (-4ay) \cdot (-2bx) \cdot ab \cdot (-5bx)$ .
23.  $a^2xy \cdot (-mx^2) \cdot ny^2 \cdot (-bz^2) \cdot (-bmx) \cdot (-bny)$ .
24.  $2ax \cdot (-6by) - (-8bx) \cdot (-ay) + (-3ab) \cdot (-7xy)$ .
25.  $8 \cdot (-3) - (-5) \cdot (-6) - 9 \cdot (-2) + (-7) \cdot (-5)$ .
26. Berechne den Ausdruck  $x^2 - 6x - 16$  für  $x = +8$  und für  $x = -2$ .
27. Welche Form nimmt der Ausdruck  $\frac{xyz}{xy+xz+yz}$  an, wenn sich 1)  $x$  in  $-x$ , 2)  $x$  in  $-x$  und  $y$  in  $-y$ , 3)  $x$  in  $-x$ ,  $y$  in  $-y$  und  $z$  in  $-z$  verwandelt?
28.  $(5x - 4y) \cdot (-3a)$ .
29.  $(3a - 5b + 7) \cdot (-2m)$ .
30.  $(-3x^2 + 3x - 1) \cdot (-5x^2)$ .
31.  $(5 + 4a - 3a^2) \cdot (-6a^2y)$ .
32.  $8x + (2x - 3y) \cdot -4$ .
33.  $(7a^2 - 4b^2) \cdot (-2b^2) + 14a^2b^2$ .
34.  $(6x^2 - 5z^2) \cdot (-2xy^2z) + 3xy^2 \cdot [-(3z^3 + 4x^2z)]$ .
35.  $(5 - 7x + 6x^2) \cdot (-3x^2) + (9x^3 + 4x^2 - x) \cdot 2x$ .
36.  $(a^4 - 4a^3b + 6a^2b^2 - 4ab^3 + b^4) \cdot (-2ab)$ .
37.  $(a + b) \cdot (-2a + 3b)$ .
38.  $(-ax + by)^2$ .
39.  $(a + b - c) \cdot (-a + b + c)$ .
40.  $(-x^2 + 2xy - y^2) \cdot (x^2 + 2xy + y^2)$ .
41.  $(-3x + 5y - 7z) \cdot (-7x - 5y + 3z)$ .
42.  $(a + b - c)(a + b) + (a - b + c)(a + c) + (-a + b + c)(b + c)$ .
43.  $(a + b + c)(a + b - c)(a - b + c)(-a + b + c)$ .

## Division algebraischer Zahlen. (§. 62.)

44.  $(-4x) : 4$ .
45.  $8ab : (-2a)$ .
46.  $(-6bx^2) : (-bx)$ .
47.  $18a^7 : (-6a^4)$ .
48.  $(-12m^4) : (-4m^3)$ .
49.  $(-14a^4b^2) : 2a^2b$ .
50.  $(-15x^2y^5) : 3xy^4$ .
51.  $9ab^2c^3x : (-3ab^2c)$ .
52.  $(-288a^{3n+x-2}) : 9a^{2n-x+1}$ .
53.  $(-25a^{m+n}b^p) : (-5a^n b^{p-q})$ .
54.  $32x^{m-2n+3p}y^{2m-n-p} : (-8x^{m-3n+4p}y^{m-n-2p})$ .

55. Berechne  $\frac{x-14}{5-x} - x + \frac{x-10}{7-x} - \frac{5(x-2)}{3(6-x)}$  für  $x = 8$ .
56.  $(24a^3b^3 - 15a^4b^2) : (-3a^3b^2)$ .
57.  $(18am^2y^3 - 27bmy^2 + 36cy) : (-3y)$ .
58.  $(1 - x^{2m}) : (1 - x^m)$ .      59.  $(1 - a^5) : (1 - a)$ .
60.  $(6x^3 - 23x^2 + 24x - 10) : (-2x + 5)$ .
61.  $(30x^4 + 2x^3 - 16x^2 + 10x - 2) : (-5x^2 + 3x - 1)$ .
62.  $(27 - 51x - 125x^2 - 2x^3 + 30x^4) : (-3 + 8x + 6x^2)$ .
63.  $(1 - 15x + 72x^2 - 54x^3 - 405x^4 - 243x^5) : (-1 + 6x + 9x^2)$ .

#### 4. Zahlensysteme.

(§§. 64—69.)

1. Verwandle in dekadische Zahlen die folgenden Zahlen aus Zahlensystemen mit der neben ihnen angezeigten Grundzahl:

- a) 211021220 [3];      b) 103223013 [4];  
c) 852076 [9];      d) 58329 [12].

2. Verwandle die dekadische Zahl 2897 in eine Zahl a) des Systems [2], b) des Systems [5], c) des Systems [6], d) des Systems [8].

3. Verwandle

- a) 520613 [7] in eine Zahl des Systems [4];  
b) 12112012 [3] " " " " " [8];  
c) 110100101 [2] " " " " " [5].

Führe folgende Rechnungsoperationen aus:

4.  $240978 + 97477 + 504336 + 378264 + 615089$  [10].  
5.  $321402 + 114324 + 403122 + 213440 + 302113$  [5].

Mache hier, wie auch in den weiter folgenden Aufgaben, welche nichtdekadische Zahlen enthalten, die Probe, indem du die gegebenen Zahlen in das dekadische Zahlensystem verwandelst und dann die verlangte Operation ausführst.

6.  $57016 + 124560 + 36425 + 61433 + 225347$  [8].  
7.  $2120221 + 1012112 + 1221012 + 2111021$  [3].  
8.  $875421 - 191086$  [10].      9.  $3355770 - 886644$  [10].  
10.  $3122013 - 2033123$  [4].      11.  $876543 - 234567$  [9].  
12.  $250764.2576$  [10].      13.  $790475.9184$  [10].  
14.  $110101110.101101$  [2].      15.  $2414302.32142$  [5].  
16.  $897715 : 91$  [10].      17.  $5606912 : 752$  [10].  
18.  $777167 : 1145$  [8].      19.  $3365241 : 354$  [7].

## 5. Theilbarkeit der Zahlen.

Größtes gemeinsames Maß. (§§. 72—75.)

Suche das gr. g. Maß folgender Zahlen:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 637 und 4277;  | 2. 2091 und 1353;           |
| 3. 1404 und 8658;   | 4. 3552 und 5143;           |
| 5. 7774 und 3718;   | 6. 27671 und 21708;         |
| 7. 14539 und 25728;   | 8. 55660 und 66055;         |
| 9. 39215 und 73997;   | 10. 24955 und 338625;       |
| 11. 1701, 6426, 10521;  | 12. 120582, 145530, 167706; |
| 13. $12a^2 + 7a + 1$ und $6a^2 + 11a + 3$ ;   |                             |
| 14. $x^3 - 49x - 120$ und $x^2 + 10x + 25$ ;  |                             |
| 15. $4m^3 - 16m^2 + 23m - 20$ und $6m^2 - 7m - 20$ ;                                      |                             |
| 16. $a^3 - a^2b + 3ab^2 - 3b^3$ und $a^2 - 5ab + 4b^2$ ;                                  |                             |
| 17. $x^6 + 6x^4 + 5x^2 - 12$ und $x^6 + 4x^4 + x^2 - 6$ ;                                 |                             |
| 18. $6y^3 + 16y^2 - 22y + 40$ und $9y^3 - 27y^2 + 35y - 25$ ;                             |                             |
| 19. $28a^4 + 10a^3 + 39a^2 + 7a + 15$ und $14a^3 - 37a^2 + 15a - 25$ ;                    |                             |
| 20. $3z^4 - 8z^3 + 11z^2 - 8z + 3$ und $2z^3 - 9z^2 + 9z - 7$ ;                           |                             |
| 21. $15x^4 + 10x^3y + 4x^2y^2 + 6xy^3 - 3y^4$ und<br>$12x^3 + 38x^2y + 16xy^2 - 10y^3$ ;  |                             |
| 22. $6x^5 - 4x^4 - 11x^3 - 3x^2 - 3x - 1$ und<br>$4x^4 + 2x^3 - 18x^2 + 3x - 5$ ;         |                             |
| 23. $6x^4 - 5x^2 - 1$ , $5x^3 - 4x - 1$ und $2x^2 - 2$ ;                                  |                             |
| 24. $a^4 - 4a^3 + 8a^2 - 4a + 7$ , $a^4 - 2a^3 + 10a + 7$ und<br>$a^3 - 5a^2 + 11a - 7$ . |                             |

Kleinste gemeinsames Vielfaches. (§§. 76 und 77.)

Suche das kl. g. Vielfache folgender Zahlen:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| 25. 874 und 943;   | 26. 561 und 1530;    |
| 27. 1716 und 2222;   | 28. 6987 und 8083;   |
| 29. 816, 765, 697;   | 30. 259, 3219, 7548; |
| 31. $x^3 - 3x^2y + 3xy^2 - y^3$ und $2(x^2 - y^2)$ ;                                     |                      |
| 32. $a^3 - 49a - 120$ und $a^2 + 10a + 25$ ;   |                      |
| 33. $6x^3 - 13x^2 - 45x - 25$ und $x^3 + 2x^2 - 20x - 25$ ;                              |                      |
| 34. $a^4 + 3a^3 + 6a^2 + 5a + 3$ und $a^3 + 2a^2 + 2a + 1$ ;                             |                      |
| 35. $2a^5 - a^4 - 2a^3 - 2a^2 - 4a - 1$ und $2a^6 - a^5 - 5a^3 - 5a^2 - a$ ;             |                      |
| 36. $21x^3 + 20x^2 - 3x - 2$ , $6x^3 - 11x^2 - 12x + 5$ und<br>$3x^3 - 10x^2 - 9x + 4$ . |                      |

## Theilbarkeit dekadischer Bahlen. (§§. 78 und 79.)

Durch welche von den Zahlen 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 25, 100, 1000 sind folgende Zahlen theilbar:

37. a) 312; b) 6225; c) 17280; d) 71016; e) 948656?  
 38. a) 720; b) 6472; c) 76450; d) 484572; e) 567000?  
 39. a) 534; b) 8625; c) 10692; d) 734520; e) 350496?

## Zerlegung in Factoren. (§§. 81—87.)

40. Gib alle zwischen 1 und 200 liegenden Primzahlen an.

Zerlege folgende Zahlen in ihre Primfactoren:

41. a) 420; b) 504; c) 1260; d) 1694; e) 2025.  
 42. a) 2268; b) 3075; c) 3828; d) 5376; e) 10528.  
 43. a)  $76a^3$ ; b)  $66ab^2$ ; c)  $26x^2y^2$ ; d)  $72a^3b^2$ ; e)  $60ax^2z^4$ .

Suche alle Prim- und alle zusammengesetzten Factoren folgender Zahlen:

44. a) 48; b) 180; c) 210; d) 315; e) 810.  
 45. a)  $18ab$ ; b)  $36x^2$ ; c)  $27mz^2$ ; d)  $165xyz$ ; e)  $114a^2x^3$ .

Zerlege nach §. 84, 1. in zwei Factoren:

46.  $18ab - 15ac$ . 47.  $9x^2 - 24xy$ .  
 48.  $2a^4 - 4a^3 + 6a^2$ . 49.  $ax^4y^2 + bx^3y^3 + cx^2y^4$ .  
 50.  $a^3b^2x - a^2b^2x^2 + ab^2x^3$ . 51.  $5x^3z^2 - 15x^2z^3 + 25xz^4$ .

Zerlege nach §. 84, 2. in Factoren:

52.  $x^2 + 2x + 1$ . 53.  $m^2 - 2m + 1$ . 54.  $4a^2 + 12a + 9$ .  
 55.  $9b^2 - 12b + 4$ . 56.  $y^2 + 10y + 25$ . 57.  $x^2 - 6xy + 9y^2$ .  
 58.  $4x^2 - 1$ . 59.  $9a^2 - 16b^2$ . 60.  $25x^2 - 16y^2$ .  
 61.  $6x^2 - 54a^2$ . 62.  $a^2 - (b - c)^2$ . 63.  $(b + c)^2 - a^2$ .  
 64.  $x^3 + 1$ . 65.  $x^3 - 1$ . 66.  $x^4 - 1$ .  
 67.  $x^5 + y^5$ . 68.  $x^5 - y^5$ . 69.  $x^6 - y^6$ .  
 70.  $a^{2m+1} \pm b^{2m+1}$ . 71.  $a^{2m} - b^{2m}$ . 72.  $e^n - 1$ .

Zerlege nach §. 84, 3. in zwei Factoren:

73.  $x^2 + (a + b)x + ab$ . 74.  $x^2 + 7x + 10$ .  
 75.  $m^2 + 5mn + 6n^2$ . 76.  $x^2 + 2ax + (a^2 - b^2)$ .  
 77.  $x^2 - (a + b)x + ab$ . 78.  $a^2 - 4a + 3$ .  
 79.  $10x^2 - 7yz + z^2$ . 80.  $x^2 - 2ax + (a^2 - b^2)$ .  
 81.  $x^2 + (a - b)x - ab$ . 82.  $m^2 + m - 12$ .  
 83.  $a^2 + 2ab - 15b^2$ . 84.  $x^2 + 2bx - (a^2 - b^2)$ .  
 85.  $x^2 - (a - b)x - ab$ . 86.  $z^2 - 6z - 16$ .  
 87.  $b^2 - 4bc - 5c^2$ . 88.  $x^2 - 2bx - (a^2 - b^2)$ .



12. a)  $\frac{5 \cdot 12 \cdot 18}{4 \cdot 10 \cdot 27}$ ; b)  $\frac{6 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 28}{4 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 30}$ ; c)  $\frac{6 \cdot 21 \cdot 24 \cdot 36 \cdot 75}{8 \cdot 27 \cdot 50 \cdot 56 \cdot 60}$ .

13. a)  $\frac{391}{989}$ ; b)  $\frac{637}{819}$ ; c)  $\frac{765}{5304}$ ; d)  $\frac{2079}{7029}$ ; e)  $\frac{9082}{67735}$ .

14. Bestimme den Wert von  $\frac{n(n-1)(n-2)(n-3)(n-4)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}$  für  $n = 6$ , dann für  $n = 8$ , und kürze die erhaltenen Brüche ab.

Kürze folgende Brüche ab:

15. a)  $\frac{3abx}{12bmx}$ ; b)  $\frac{12a^2x}{28ax^2}$ ; c)  $\frac{15amx^3}{40bmx}$ ; d)  $\frac{72mx^2y^3}{96nx^3y^2}$ .

16.  $\frac{a(a+1)}{(a+1)(a+2)}$ ; 17.  $\frac{2m(m-1)}{m^2-1}$ ; 18.  $\frac{15(a+b)(x-y)}{24(a-b)(x-y)}$ .

19.  $\frac{9a+6b-3c}{12ax+8bx-4cx}$ ; 20.  $\frac{12x^3y^3-6x^2y^4}{8x^4y^2+4x^3y^3}$ ; 21.  $\frac{2a-ab-b+2}{3a+ab+b+3}$ .

22.  $\frac{a^2-1}{a^2+2a+1}$ ; 23.  $\frac{1+m-2m^2}{1+3m+2m^2}$ ; 24.  $\frac{8a^2-6a+1}{16a^2-10a+1}$ .

25.  $\frac{m^2+6m-16}{m^2+5m-24}$ ; 26.  $\frac{x^2+3xy+2y^2}{x^2+6xy+5y^2}$ ; 27.  $\frac{a^2-8ax+15x^2}{a^2-11ax+30x^2}$ .

28.  $\frac{x^4+4x^3-5x+2}{x^3-x^2-3x+2}$ ; 29.  $\frac{2a^3-a^2+4a+7}{2a^4-15a^3+29a^2-48a+14}$ .

Berechne:

30.  $\frac{x^2-4x+4}{x^2-4}$  für  $x = 2$ . 31.  $\frac{x^2-a^2}{2x^2-3ax+a^2}$  für  $x = a$ .

32.  $\frac{x^2+6x-16}{x^2+5x-24}$  für  $x = -8$ . 33.  $\frac{x^3-4x^2-3x+18}{3x^3-22x^2+51x-36}$  für  $x = 3$ .

34.  $\frac{y^4+y^3-y^2-4y-12}{y^4-2y^2-8}$  für  $y = 2$  und für  $y = -2$ .

Addition und Subtraction der Brüche. (§§. 93 und 95.)

35.  $\frac{4x}{3} + \frac{2x}{3}$ . 36.  $\frac{3m}{4} - \frac{m}{4}$ .

37.  $\frac{a+b}{2} + \frac{a-b}{2} = a$ . 38.  $\frac{a+b}{2} - \frac{a-b}{2} = b$ .

Drücke die letzten zwei Formeln mit Worten aus.

39.  $\frac{x}{10} - \frac{y+z}{10}$ . 40.  $\frac{x}{8} - \frac{y-z}{8}$ .

41.  $\frac{a+4x}{3} + \frac{2a-x}{3}$ . 42.  $\frac{5m+n}{4} - \frac{m-3n}{4}$ .

43.  $\frac{a+b+c}{3m} + \frac{a-b}{3m} + \frac{a-c}{3m}$ . 44.  $\frac{m-a}{m+n+p} + \frac{n-p}{m+n+p} + \frac{2p+a}{m+n+p}$ .

45.  $a + \frac{b}{a}$ . 46.  $3x - \frac{5y^2}{2x}$ . 47.  $a + \frac{x^2-1}{x}$ .

$\frac{6x^2-5y^2-6}{2x} - \frac{ax^2-1}{x} + \frac{ax^2-1}{x}$

48.  $x - \frac{x^2 - 1}{x}$ .

49.  $m - \frac{m + n}{2}$ .

50.  $\frac{m + n}{2} - n$ .

51.  $1 + \frac{a - b}{a + b}$ .

52.  $1 - \frac{a - b}{a + b}$ .

53.  $\frac{(x + y)^2}{4xy} - 1$ .

54.  $\frac{(x - y)^2}{4xy} + 1$ .

55.  $x + y + \frac{2y^2}{x - y}$ .

56.  $a - 1 + \frac{a^2 + 1}{a + 1}$ .

57.  $m + n - \frac{m^2 + n^2}{m + n}$ .

58.  $a^2 + b^2 - \frac{a^4 - 2b^4}{a^2 - b^2}$ .

59.  $1 + \frac{a^2 - b^2 - c^2}{2bc}$ .

60.  $1 - \frac{a^2 - b^2 - c^2}{2bc}$ .

61.  $x^2 - y^2 - \frac{x^4 - 2x^2y^2 - y^4}{x^2 + y^2}$ .

62.  $x - 1 - \frac{4x^3 - 4x^2 + x}{4x^2 + 4x + 1}$ .

63.  $a^3 + 3a^2 + 3a + 1 - \frac{a^4 + 4a^3 + 6a^2 + 4a}{a + 1}$ .

64.  $\frac{x}{a} \pm \frac{y}{b}$ .

65.  $\frac{3a - 2}{5} + \frac{2a + 3}{2}$ .

66.  $\frac{m + n}{2} + \frac{m + n}{3}$ .

67.  $\frac{a + b}{7} - \frac{a - b}{8}$ .

68.  $\frac{x}{y} + \frac{y}{x} - 2$ .

69.  $1 - \frac{a}{2b} - \frac{b}{2a}$ .

70.  $\frac{a}{m} + \frac{b}{n} + \frac{c}{p}$ .

71.  $\frac{x^2}{bc} + \frac{y^2}{ac} - \frac{z^2}{ab}$ .

72.  $\frac{1}{x} + \frac{1}{x^2} + \frac{1}{x^3}$ .

73.  $\frac{1}{x - 1} + \frac{2}{(x - 1)^2} + \frac{3}{(x - 1)^3}$ .

74.  $\frac{3a + 4}{3} - \frac{7a + 5}{4} - \frac{8 - 7a}{6} + \frac{5 - 3a}{8} - \frac{3 - 7a}{12}$ .

75.  $\frac{1}{x + 1} + \frac{1}{x - 1}$ .

76.  $\frac{a + x}{a} - \frac{2x}{a + x}$ .

77.  $\frac{x}{1 - x} - \frac{y}{1 - y}$ .

78.  $\frac{x}{2(x - y)} - \frac{y}{2(x + y)}$ .

79.  $\frac{m + n}{m - n} + \frac{m - n}{m + n}$ .

80.  $\frac{m + n}{m - n} - \frac{m - n}{m + n}$ .

81. Zähler und Nenner des Bruches  $\frac{a}{b}$  sollen 1) um  $m$  vermehrt, 2) um  $m$  vermindert werden; wie groß ist die Differenz zwischen dem gegebenen und dem jedesmal entstehenden neuen Bruche?

82.  $\frac{6 + 3x^2}{9 - 4x^2} - \frac{2 + 3x^2}{3 + 4x^2}$ .

83.  $\frac{3a^2 - 4a + 5}{6a - 7} + \frac{4a^2 + 5a - 6}{8a - 9}$ .

84.  $\frac{2}{2x - 1} - \frac{5}{3x - 1} + \frac{4}{2x - 3}$ .

85.  $\frac{2x}{x - 1} + \frac{3x + 1}{x - 2} - \frac{4x - 3}{x - 3}$ .

86.  $\frac{2x + 3y}{6x(2x - 3y)} - \frac{2x - 3y}{6x(2x + 3y)}$ .

87.  $\frac{a^2 + 5ab - b^2}{a^2 + 4ab + 4b^2} - \frac{a - b}{a + 2b}$ .

88.  $\frac{2x-5y}{9x+3y} - \frac{6x+5y}{12x+4y} + \frac{3x+4y}{3x+y}$ .
89.  $\frac{1}{4+2a} + \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a+a^2}$ .
90.  $\frac{2m-4n}{3m-3n} - \frac{1}{2} - \frac{m-5n}{6m-6n}$ .
91.  $\frac{1}{x-y} - \frac{x+y}{x^2-xy} + \frac{x-2y}{2xy}$ .
92.  $\frac{1}{x^2-y^2} + \frac{1}{(x+y)^2} + \frac{1}{(x-y)^2}$ .
93.  $\frac{a+1}{a-1} + \frac{a+2}{a-2} + \frac{a+3}{a-3}$ .
94.  $\frac{ab}{a+b} + \frac{ac}{a+c} + \frac{bc}{b+c}$ .
95.  $\frac{a+b-c}{ab} + \frac{a-b+c}{ac} + \frac{b+c-a}{bc}$ .
96.  $\frac{5a-8b}{a+b} + \frac{3a-b}{a-b} - \frac{a-4b}{a+b} + \frac{a+5b}{a-b}$ .
97.  $\frac{1}{a+b} + \frac{1}{a-b} - \frac{2b}{a^2-b^2} - \frac{2a}{a^2+2ab+b^2}$ .
98.  $\frac{y+1}{y-1} + \frac{y-1}{y+1} + \frac{y^2+1}{y^2-1} + \frac{y^2-2y+1}{y^2+2y+1}$ .
99.  $1 - \frac{a-1}{a+1} + \frac{a^2-a+1}{a^2+1} - \frac{a+1}{a-1} + \frac{a^2+a+1}{a^2-1} - \frac{2a-4}{a^4-1}$ .
100.  $\frac{ab}{(a-c)(b-c)} - \frac{ac}{(a-b)(b-c)} + \frac{bc}{(a-b)(a-c)}$ .
101.  $\frac{1}{a-(b+c)} + \frac{1}{b-(a+c)} + \frac{1}{c-(a+b)}$ .
102.  $\left(\frac{2}{3}a + \frac{3}{4}b + \frac{4}{5}c\right) + \left(\frac{1}{2}a + \frac{2}{3}b + \frac{3}{4}c\right)$ .
103.  $\left(\frac{3}{4}x + \frac{7}{6}y\right) + \left(\frac{5}{3}x + \frac{4}{5}y\right) + \left(\frac{3}{2}x + \frac{9}{4}y\right)$ .
104.  $\left(\frac{2a}{3} - \frac{3b}{4} - \frac{4c}{5}\right) - \left(\frac{a}{2} - \frac{2b}{3} + \frac{3c}{4}\right)$ .
105.  $\left(\frac{3x^2}{4} - \frac{2xy}{3} + \frac{y^2}{9}\right) + \left(\frac{5x^2}{6} - \frac{3xy}{5} + \frac{7y^2}{12}\right)$ .
106.  $\left(\frac{5a^2}{4} - \frac{4ab}{3} + \frac{3b^2}{2}\right) - \left(\frac{4a^2}{5} - \frac{3ab}{4} - \frac{2b^2}{3}\right)$ .
107.  $\frac{5x^2+9x+14}{2x^2+3x-2} - \frac{3x-5}{x+2} + \frac{x-4}{x-2}$ .
108.  $\frac{3m+n}{3m^2-mn} - \frac{2m+3n}{12mn-4n^2} + \frac{3m^2-mn-6n^2}{18m^2n-6mn^2}$ .
109.  $\frac{6x-9y}{6x^2-11xy+3y^2} - \frac{2x-3y}{2x^2-7xy+6y^2} + \frac{3x+4y}{3x^2-7xy+2y^2}$ .  $\left[= \frac{1}{x-2y}\right]$
110.  $\frac{x}{2x-y} + \frac{2x^2+2xy}{2xy+3y^2} - \frac{4xy}{4x^2+4xy-3y^2}$ .  $\left[= \frac{x}{y}\right]$
111.  $\frac{x^2y^2}{a^2b^2} + \frac{(x^2-b^2)(b^2-y^2)}{b^2(a^2-b^2)} + \frac{(a^2-x^2)(a^2-y^2)}{a^2(a^2-b^2)}$ .  $\left[= 1\right]$
112.  $\frac{2a^2-3ax}{2a-x} - \frac{2a^2-3ax}{2a+x} + \frac{10a^2x^2-7ax^3}{4a^3-4a^2x-ax^2+z^3}$ .  $\left[= \frac{ax}{a-x}\right]$
113.  $\frac{3x^2}{18x^2-6y} - \frac{27x^4+x^2y}{54x^4-6y^2} + \frac{x^2+6y}{6y} - \frac{x^4-x^2y}{6x^2y+2y^2}$ .  $\left[= 1\right]$

Multiplication und Division eines Bruches durch eine ganze Zahl. (§. 96.)

114.  $\frac{ab}{4m} \cdot 3c.$       115.  $\frac{a}{2m} \cdot 2m.$       116.  $\frac{24x^2}{5y^2} \cdot (-y^2).$  117
117.  $\frac{2a^2x^2}{15b^2y^2} \cdot 5y^2.$       118.  $\frac{a-b}{2ab} \cdot 2b.$       119.  $\frac{a+b}{m} \cdot (a-b).$
120.  $(a + \frac{b^2 - a^2}{a}) \cdot a.$       121.  $(1 + \frac{1-a}{1+a}) \cdot (1+a).$
122.  $(\frac{x^2 + 2xy + y^2}{4xy} - 1) \cdot 2xy.$       123.  $(\frac{3m^3}{4n^3} + \frac{2m^2}{3n^2} + \frac{m}{2n}) \cdot 12n.$
124.  $(\frac{1}{m^3} + \frac{1}{m^2} + \frac{1}{m}) \cdot m^4.$       125.  $(\frac{a^3}{x^3} + \frac{2a^2}{x^2} + \frac{3a}{x} + 4) \cdot x^3.$
126.  $(\frac{1}{n} + \frac{1}{n-1} - \frac{2n}{n^2-1}) \cdot (n+1).$       127.  $(\frac{y^2 + a^2}{a^3 - a^2} - \frac{1}{a-1}) \cdot (a-1).$
128.  $(1 + \frac{a^2b^2 - 2abc^2 + c^4}{4abc^2}) \cdot (a^2b^2 - 2abc^2 + c^4).$
129.  $(\frac{2x^3}{5} - \frac{5x^2y}{8} + \frac{3xy^2}{4} - \frac{7y^3}{10}) \cdot (4x^2 - 5xy + y^2).$

130.  $\frac{2ab}{3m} : 2a.$       131.  $\frac{12amx}{5bc} : -4ax.$       132.  $\frac{2x}{3my} : 3my.$
133.  $\frac{10m^3n^2}{xy^2} : 5m^2n^2.$       134.  $\frac{24p^2q}{13xy} : 8qy.$       135.  $\frac{3x^3y^3}{4a^2b} : 2ab^2.$
136.  $(1 + \frac{m-n}{m+n}) : 2m.$       137.  $(a + b - \frac{a^2 + b^2}{a+b}) : (a+b).$
138.  $(\frac{bx^2}{a} + \frac{ay^2}{b}) : ab.$       139.  $(\frac{8a^3b^2}{m^2n^3} - \frac{12a^2b^3}{m^3n^2}) : 4a^2m^2.$
140.  $\frac{6a^2 + 5ab - 6b^2}{2a + 3b} : (3a - 2b).$   $\frac{2a+3b}{2a+3b} = 1$
141.  $\frac{1 - 2m - 7m^2 - 4m^3}{1 + 4m} : (1 + 2m + m^2).$

Multiplication und Division durch einen Bruch. (§§. 97—100.)

142.  $ax \cdot \frac{2b}{y}.$       143.  $4x^2y^2 \cdot \frac{3ab}{2xy}.$       144.  $2a^2 \cdot \frac{bx^2}{2a^2c^2y^2}.$
145.  $(a - 2b) \cdot \frac{2m}{3n}.$       146.  $(a - x) \cdot \frac{a+x}{ax}.$       147.  $3ax \cdot (a - \frac{b}{3ax}).$
148.  $\frac{2ab}{cd} \cdot (-\frac{3ax}{cm}).$       149.  $\frac{6a}{7b} \cdot \frac{2b}{3d} \cdot (-\frac{14c}{15e}) \cdot (-\frac{5d}{6a}).$
150.  $\frac{2a}{3b} \cdot \frac{4y^3}{9x^3} \cdot \frac{6b}{5a} \cdot \frac{3x^2}{2y^2} = \frac{8y}{15x}$
151.  $\frac{5a^2x^2}{6m^2y^2} \cdot \frac{9b^3y^3}{10a^3z^3} \cdot \frac{4mz^3}{5b^3x} \cdot \frac{2amx}{3y^3}.$
152.  $\frac{a+b}{m-n} \cdot \frac{a-b}{m+n}.$       153.  $(1 + \frac{b}{a}) \cdot \frac{a-b}{2b}.$
154.  $(\frac{2a+3x}{2a-3x})^2 = \frac{4a^2+12ax+9x^2}{4a^2-12ax+9x^2}$
155.  $(\frac{4a^2 - 9b^2}{12ab})^2.$

156.  $\frac{2a^2 - ax}{ax - x^2} \cdot \frac{a^2x^3 - ax^4}{2a - x} = a^2x^2$
157.  $\frac{x^2 + 2x + 9}{x^4 - 5x^2 + 12} \cdot \frac{x^3 - 8x}{x + 7}$
158.  $\left(\frac{x+m}{x} - \frac{2x}{x-m}\right) \cdot \frac{x-m}{x^2+m^2}$
159.  $\left(\frac{a^3}{2b} - \frac{a^2}{3b^2} - \frac{a}{4b^3}\right) \cdot \frac{3b^3}{4a^3}$
160.  $\left(1 + \frac{a}{b}\right) \left(1 - \frac{a}{b}\right) \cdot \frac{a}{a+b} \cdot \frac{b}{b-a} = \frac{a}{b}$
161.  $\left(\frac{3m}{m-1} - \frac{2m}{m+1} - \frac{m^2}{m^2-1}\right) \cdot \frac{m^2-1}{m}$
162.  $\left(\frac{y^2}{x(x+y)} + \frac{x^2}{y(x-y)} - \frac{x^2+y^2}{xy}\right) \cdot \left(1 - \frac{2y}{x+y}\right)$
163.  $\left(\frac{3a}{4} - \frac{2b}{3} + \frac{c}{2}\right) \left(\frac{2a}{3} + \frac{3b}{4} - \frac{4c}{5}\right)$
164.  $\left(\frac{5x^2}{3} + \frac{2x}{5} - 2\right) \left(\frac{7x^2}{10} + \frac{5x}{4} + \frac{2}{3}\right)$
165.  $\left(\frac{5y^2}{12} - yz + \frac{5z^2}{3}\right) \left(\frac{6y}{5} - \frac{3z}{2}\right) \left(\frac{2y}{3} + z\right)$
166.  $\left(\frac{p^2x^2}{2q^2y^2} + \frac{2px^3}{3q^3y} - \frac{3x^4}{4q^4}\right) \left(\frac{4p^2x^2}{3q^2y^2} - \frac{3px^3}{2q^3y} + \frac{2x^4}{q^4}\right)$
167.  $2am : \frac{2m}{b}$
168.  $6a^2x : -\frac{3b^2y}{2x}$
169.  $12a^3b^4 : \frac{4ab^2}{x^2y^2}$
170.  $(x+y) : \frac{x+y}{x-y}$
171.  $3y : \left(1 - \frac{y}{x}\right)$
172.  $(x^2 - y^2) : \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y}\right)$
173.  $(a^2 - b^2) : \frac{a+b}{a-b}$
174.  $\frac{32a^4x^4}{27b^4y^4} : \frac{4a^3x}{9b^3y}$
175.  $\frac{8x^3y^2z}{15mn^2p^3} : \frac{4m^2n^2p}{5xy^2z^3}$
176.  $\frac{21bx^2y^3}{25a^2cz^3} : \frac{14a^2y^2z}{45b^2c^2x}$
177.  $\left(\frac{8x^3}{27y^3} - \frac{2x^2}{9y^2}\right) : \frac{2x}{3y}$
178.  $\left(\frac{1}{x+y} + \frac{1}{x-y}\right) : \frac{xy}{x^2 - y^2}$
179.  $\left(\frac{3x^3}{4y} - \frac{9x^2}{15} + \frac{xy}{10}\right) : \frac{3x}{5y}$
180.  $\left(\frac{x^9}{27} - \frac{8a^6}{125}\right) : \left(\frac{x^3}{3} - \frac{2a^2}{5}\right)$
181.  $\left(\frac{8x^6}{27y^3} - \frac{27a^3}{8b^6}\right) : \left(\frac{2x^2}{3y} - \frac{3a}{2b^2}\right)$
182.  $\left(\frac{2a^2}{9} - \frac{ax}{12} - \frac{3x^2}{16}\right) : \left(\frac{2a}{3} - \frac{3x}{4}\right)$
183.  $\left(\frac{3x^2}{4a^8} - \frac{19y^2}{3a^2} + \frac{12a^4y^4}{x^2}\right) : \left(\frac{x}{2a^4} + \frac{y}{3a} - \frac{2a^2y^2}{x}\right)$
184.  $\left(\frac{3x^4}{a^4} - \frac{4x^2y^2}{a^2b^2} + \frac{8x^2}{a^2} - \frac{4y^4}{b^4} + \frac{8y^2}{b^2} - 3\right) : \left(\frac{3x^2}{a^2} + \frac{2y^2}{b^2} - 1\right)$
185.  $\frac{a^5 + 7a^4y + 25a^3y^2 + 48a^2y^3 + 36ay^4}{a^3y - 27y^4} : \left(a + 7y + \frac{25y^2}{a-3y}\right) \left[ = \frac{a}{y} \right]$
186.  $\left\{\frac{12a^2 + a - 6}{12a^2 - a - 6} - \frac{6a^2 - a - 2}{6a^2 + a - 2}\right\} : \left\{\frac{3a+2}{4a-3} - \frac{12a+8}{12a^2 - a - 6}\right\}$   
 $\left[ = \frac{4a}{6a^2 + a - 2} \right]$

$$187. \left\{ \frac{a^2 - 2ab}{4a^2b - b^3} - \frac{2ab - b^2}{a^3 - 2a^2b} \right\} : \left\{ \frac{\frac{1}{2}a^2 - \frac{3}{8}ab - \frac{3}{4}b^2}{2a^2 - 3ab - 2b^2} - \frac{\frac{3}{8}ab - \frac{1}{2}b^2}{2a^2 - ab} \right\}.$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{(4a^2 - b^2)} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{a^2(a - 2b)} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{\left[ = \frac{a + b}{ab} \right]}$

$$188. \frac{1 + \frac{b}{a}}{1 - \frac{b}{a}}$$

$$189. \frac{\frac{a}{m+n}}{\frac{b}{m-n}}$$

$$190. \frac{\frac{x-1}{x+1}}{\frac{x}{x^2-1}}$$

$$191. \frac{\frac{1+x}{1-x} - 1}{\frac{1-x}{1+x} + 1}$$

$$192. \frac{a + \frac{bx - ay}{x + y}}{a - \frac{bx + ay}{x + y}}$$

$$193. \frac{x - \frac{x^2 - 2x + 3}{x}}{x - \frac{x^2 - 3x + 2}{x}}$$

$$194. \frac{\frac{a+b}{a-b} - 1}{\frac{a-b}{a+b} + 1} : \frac{a+b}{a-b}$$

$$195. \frac{\frac{3x+3y}{2y} - \frac{5x+6y}{4y}}{\frac{x}{x-y} - \frac{x}{x+y}} \cdot \frac{4x + \frac{4y^2}{x}}{\frac{x}{y} - \frac{y}{x}}$$

196. Bestimme den Bruch  $\frac{(1+x)(1+y)(1+z)}{(1-x)(1-y)(1-z)}$

$$\text{für } x = \frac{m-n}{m+n}, \quad y = \frac{n-p}{n+p}, \quad z = \frac{p-m}{p+m}.$$

b) Decimalbrüche.

Verwandeln gemeiner Brüche in Decimalbrüche und umgekehrt.

(§§. 103 und 104.)

Verwandle folgende gemeine Brüche in Decimalbrüche:

- |    |                      |                       |                       |                        |                         |                         |
|----|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. | a) $\frac{89}{16}$ ; | b) $\frac{7}{40}$ ;   | c) $\frac{63}{25}$ ;  | d) $\frac{103}{32}$ ;  | e) $\frac{2359}{128}$ ; | f) $\frac{9084}{625}$ . |
| 2. | a) $\frac{17}{6}$ ;  | b) $\frac{13}{72}$ ;  | c) $\frac{313}{11}$ ; | d) $\frac{53}{37}$ ;   | e) $\frac{107}{176}$ ;  | f) $\frac{2345}{792}$ . |
| 3. | a) $\frac{26}{41}$ ; | b) $\frac{92}{205}$ ; | c) $\frac{131}{14}$ ; | d) $\frac{129}{130}$ ; | e) $\frac{85}{222}$ ;   | f) $\frac{3121}{404}$ . |
| 4. | a) $\frac{50}{73}$ ; | b) $\frac{137}{96}$ ; | c) $\frac{37}{135}$ ; | d) $\frac{259}{444}$ ; | e) $\frac{1211}{825}$ ; | f) $\frac{5432}{615}$ . |

Verwandle folgende Decimalbrüche in gemeine Brüche:

- |    |          |            |             |             |              |
|----|----------|------------|-------------|-------------|--------------|
| 5. | a) 0.25; | b) 7.75;   | c) 0.072;   | d) 17.525;  | e) 0.9518.   |
| 6. | a) 0.6;  | b) 0.18;   | c) 4.06;    | d) 26.752;  | e) 6.324.    |
| 7. | a) 0.81; | b) 0.041;  | c) 8.567;   | d) 0.4378;  | e) 0.90243.  |
| 8. | a) 0.73; | b) 15.351; | c) 0.79324; | d) 0.29074; | e) 0.234684. |

Rechnen mit unvollständigen Decimalbrüchen. (§§. 105—110.)

9. Kürze auf 3 Decimalstellen ab:

a) 25.7917, b) 3.14159, c) 0.8398, d) 81.57924.

10.  $0.91654 + 0.17357 + 0.23408 + 0.16999 + 0.879$ . (3 Decim.)

11.  $19.3875... + 23.473.. + 38.378.. + 8.4531.. + 0.082..$

12. Verwandle die Glieder der Reihe

$$\frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \frac{1}{2 \cdot 3 \cdot 4} + \frac{1}{3 \cdot 4 \cdot 5} + \dots + \frac{1}{10 \cdot 11 \cdot 12}$$

in Decimalbrüche und berechne die Summe auf 3 Decimalen.

13. Berechne ebenso auf 4 Decimalstellen die Reihe

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 10} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 12}$$

14.  $88 \cdot 9397 - 51 \cdot 4823$ . (2 Dec.)    15.  $4 \cdot 37147 - 1 \cdot 6392$ . (3 Dec.)

16.  $8 \cdot 2315 - 3 \cdot 5678$ ..    17.  $35 \cdot 79$ .. -  $10 \cdot 809$ ..

18.  $3 \cdot 1415 \cdot 9 \cdot 2587$ . (3 Dec.)    19.  $0 \cdot 9156 \cdot 23 \cdot 851$ . (2 Dec.)

20.  $12 \cdot 0748 \cdot 1 \cdot 91345$ . (4 Dec.)    21.  $81 \cdot 2867 \cdot 0 \cdot 1234$ . (3 Dec.)

22.  $8 \cdot 14739 \cdot 7 \cdot 10936 \cdot 2 \cdot 51446$ . (4 Dec.)

23.  $1 \cdot 045 \cdot 1 \cdot 045 \cdot 1 \cdot 045 \cdot 1 \cdot 045$ . (6 Dec.)

24. Bestimme auf 4 Decimalstellen

$$p = (a + b + c)(a + b - c)(a - b + c)(b + c - a)$$

$$\text{für } a = 1 \cdot 30785, b = 2 \cdot 09122, c = 2 \cdot 80116.$$

25. Berechne die Reihe

$$1 + \frac{1}{m} \cdot x - \frac{m-1}{2 \cdot m^2} \cdot x^2 + \frac{(m-1)(2m-1)}{2 \cdot 3 \cdot m^3} \cdot x^3 - \frac{(m-1)(2m-1)(3m-1)}{2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot m^4} \cdot x^4$$

für  $m = 3$  und  $x = 0 \cdot 015$  auf 7 Decimalstellen.

26.  $834 \times 2 \cdot 1335$ ..    27.  $0 \cdot 37 \times 15 \cdot 0816$ ..

28.  $2 \cdot 955$ ..  $\times 0 \cdot 1563$ ..    29.  $6 \cdot 04$ ..  $\times 0 \cdot 0085$ ..

30.  $28 \cdot 1354$ ..  $\times 7 \cdot 089$ ..    31.  $0 \cdot 1956$ ..  $\times 0 \cdot 8091$ ..

32. Gib in den Producten 26. bis 31. die Fehlergrenze an.

33.  $45 \cdot 12345 : 3 \cdot 8265$ . (3 Dec.)    34.  $986 \cdot 256 : 127 \cdot 85$ . (2 Dec.)

35.  $13 \cdot 794 : 28 \cdot 376$ . (4 Dec.)    36.  $0 \cdot 7123 : 43 \cdot 566$ . (4 Dec.)

37.  $754 \cdot 06 : 0 \cdot 649$ . (2 Dec.)    38.  $3 \cdot 1416 : 7 \cdot 825$ . (3 Dec.)

39.  $7 \cdot 24257 : 19 \cdot 14$ . (3 Dec.)    40.  $0 \cdot 436861 : 18 \cdot 547$ . (4 Dec.)

41. 1 Kilogramm =  $1 \cdot 785523$  Wiener Pfund; wie viel Kilogramm beträgt 1 Wiener Pfund? (5 Dec.)

42.  $\frac{5 \cdot 3145 \cdot 3 \cdot 4906}{7 \cdot 2084 \cdot 3 \cdot 7449}$ . (3 Dec.)    43.  $\frac{3 \cdot 027 \cdot 8 \cdot 2579}{9 \cdot 461 \cdot 6 \cdot 3047}$ . (3 Dec.)

44.  $\frac{0 \cdot 35791 \cdot 0 \cdot 46802 \cdot 0 \cdot 14235 \cdot 0 \cdot 37281}{0 \cdot 41885 \cdot 0 \cdot 89134 \cdot 0 \cdot 15786 \cdot 0 \cdot 29173}$

45.  $3 \cdot 187 : 5 \cdot 3185$ ..    46.  $912 \cdot 857 : 0 \cdot 118$ ..

47.  $53 \cdot 4428$ .. :  $9 \cdot 157$ .    48.  $71 \cdot 293$ .. :  $8 \cdot 8764$ .

49.  $0 \cdot 3497$ .. :  $4 \cdot 284$ ..    50.  $9 \cdot 2737$ .. :  $0 \cdot 0856$ ..

51.  $0 \cdot 00869$ .. :  $3 \cdot 846$ ..    52.  $30 \cdot 2582$ .. :  $0 \cdot 71356$ ..

53. Gib in den Quotienten 45. bis 52. die Fehlergrenze an.

## 7. Verhältnisse und Proportionen.

a) Verhältnisse.

(§§. 115 und 116.)

1. Drücke folgende Verhältnisse in ganzen Zahlen aus:

a)  $7\frac{3}{8} : 3\frac{5}{8}$ ; b)  $\frac{9}{16} : \frac{7}{12}$ ; c)  $\frac{11}{25} : 5\frac{13}{20}$ ; d)  $23\frac{3}{16} : 15\frac{5}{9}$ ;

e)  $8\frac{3}{5} : 2\cdot 02$ ; f)  $0\cdot 215 : 3\cdot 0816$ ; g)  $(a - b) : \frac{a b}{a + b}$ .

2. Kürze folgende Verhältnisse ab:

a)  $10 : 24$ ; b)  $72 : 56$ ; c)  $120 : 48$ ; d)  $a x (m^2 - n^2) : a b (m + n)$ .

3. Drücke folgende Verhältnisse in den kleinsten ganzen Zahlen aus:

a)  $4 : 6\frac{2}{3}$ ; b)  $12\frac{6}{7} : 8\frac{4}{7}$ ; c)  $\frac{6}{7} : 1\frac{7}{8}$ ; d)  $15\frac{3}{4} : 6\frac{9}{16}$ ;

e)  $0\cdot 75 : 0\cdot 625$ ; f)  $3\cdot 208 : 1\cdot 28$ ; g)  $\frac{x + y}{a x} : \frac{x^2 - y^2}{b x^2}$ .

4. Von zwei Körpern legt A in jeder Minute 80 Meter, A' 96 Meter zurück; wie verhalten sich ihre Geschwindigkeiten?

5. Der Körper A legt in a Zeiteinheiten dieselbe Strecke zurück, wie A' in a' Zeiteinheiten; in welchem Verhältnisse stehen ihre Geschwindigkeiten?

6. Ein Meter verhält sich zu einem Wiener Fuß, wie 174 : 55; wie verhält sich ein Decimeter zu einem Wiener Zoll ( $\frac{1}{12}$  Wiener Fuß)?7. Welches Verhältniß besteht in Osterreich zwischen Gold und Silber, da aus 1 Kilogramm feinen Goldes  $172\frac{2}{9}$  Achtguldenstücke und aus 1 Kilogramm feinen Silbers 90 Gulden geprägt werden, wenn man 1 Achtguldenstück zu  $8\frac{1}{10}$  Gulden in Silber annimmt?

8. Wie verhalten sich die Flächen zweier Rechtecke, von denen das eine 28 Meter lang und 15 Meter breit, das andere 25 Meter lang und 16 Meter breit ist?

9. Von zwei Dampfmaschinen kann die eine in a Secunden b Kilogramm c Meter hoch, die andere in a' Secunden b' Kilogramm c' Meter hoch heben; wie verhalten sich die Leistungskräfte dieser Maschinen?

b) Proportionen.

(§§. 123—129.)

Löse folgende Proportionen auf:

10.  $x : 5 = \frac{2}{3} : \frac{3}{8}$ .

11.  $3\frac{1}{8} : x = 15\frac{5}{8} : 5$ .

12.  $4\frac{1}{2} : 4\frac{4}{5} = x : 8\frac{8}{15}$ .

13.  $3\frac{1}{2} : 5\frac{1}{4} = 7\frac{3}{4} : x$ .

14.  $x : 0\cdot 35 = 2\cdot 38 : 1\cdot 25$ .

15.  $14\cdot 35 : 218\cdot 275 = 9\cdot 18 : x$ .

16.  $\frac{a}{m} : \frac{b}{p} = x : \frac{c}{q}$ .

17.  $x : 3\frac{3}{4} = m^3 : \frac{3 m^2}{2}$ .

18.  $x : (m - 2n) = (6m + 8n) : (2m - 4n)$ .
19.  $(6a - 5b) : x = (12a^2 - 4ab - 5b^2) : (8a^2 - 2ab - 3b^2)$ .
20.  $\frac{m^2 - n^2}{m^2 + n^2} : \frac{m + n}{m - n} = \frac{m^2 - 2mn + n^2}{m + n} : x$ .
21.  $\left(b + \frac{b^3}{a^2 - b^2}\right) : x = \left(b + \frac{b^2}{a - b}\right) : \frac{a + b}{b}$ .
22.  $(x + a) : x = b : c$
23.  $x : (a - x) = \frac{a}{a + b} : \frac{b}{a - b}$  } mit Rücksicht auf §. 127, 1.
24. Führe an der Proportion

$$20a(a + b) : 12a = 25(a^2 - b^2) : 15(a - b)$$

die in den §§. 126 und 127 bezeichneten Formänderungen durch.

25. Wenn  $a : b = 2 : 3$ ,  $b : c = 4 : 9$ ,  $c : d = 3 : 5$  und  $d : e = 3 : 8$  ist, wie verhält sich  $a : b : c : d : e$ ?
26. Gegeben ist  $a : d = 4 : 3$ ,  $c : d = 5 : 6$ ,  $b : e = 20 : 9$ ,  $b : f = 5 : 9$ ;  $e : c = 3 : 5$ ; wie verhält sich  $a : b : c : d : e : f$ ?
27. Ein Kilogramm verhält sich zu einem deutschen Pfund wie  $2 : 1$ , ein deutsches Pfund zu einem Londoner Pfund wie  $43 : 39$ , ein russisches Pfund zu einem Londoner Pfund wie  $65 : 72$ ; wie verhält sich a) das Londoner Pfund, b) das russische Pfund zu einem Kilogramm?

### c) Anwendung der Proportionen.

*Regeldeorie*

Angewandte Aufgaben mit einfachen Verhältnissen. (§§. 131 und 132.)

28. 17 Kilogr. einer Ware kosten 15 fl. 64 fr.; a) wie viel kosten 43 Kilogr.; b) wie viel Kilogr. erhält man für 35 fl. 88 fr.?
29. Wenn die Luft auf eine Fläche von  $1\frac{1}{2}$  Quadratdecimeter einen Druck von 154 Kilogr. ausübt, welcher Luftdruck lastet auf einer Fläche von 1 Quadratmeter?
30. Ein Land von  $m$  Quadratmeilen zählt  $r$  Einwohner; a) wie viele Einwohner kommen bei gleicher relativer Bevölkerung auf  $n$  Quadratmeilen; b) auf wie viele Quadratmeilen kommen  $s$  Einwohner?
31. Das Vorderrad eines Wagens hat  $a$  Meter, das Hinterrad  $b$  Meter im Umfange; wie oft hat sich ersteres umgedreht, wenn letzteres  $m$  Umläufe gemacht hat?
32. Ein sich gleichförmig bewegendes Körper legt in  $a$  Sekunden  $b$  Meter zurück; a) wie viel Meter legt er in  $t$  Sekunden zurück; b) in wie viel Sekunden legt er  $s$  Meter zurück?
33. Die Geschwindigkeiten zweier sich bewegendes Körper verhalten sich wie  $c : c'$ ; wie viel Zeit braucht der zweite zu einem Wege, zu welchem der erste  $t$  Stunden braucht?

34. Von einem Gasometer, welches 11·2 Cubikmeter faßt, werden für eine gewisse Zeit 92 Laternen mit Gas versorgt; wie viel Cubikmeter muß ein Gasometer halten, um 148 Laternen auf ebenso lange Zeit mit Gas zu versehen?
35. Ein Manuscript gibt 162 Seiten, jede zu 50 Zeilen; wie viele Seiten wird es geben, wenn auf jede Seite 45 Zeilen kommen?
36. Ein Vorrath von Lebensmitteln reicht für  $a$  Personen auf  $b$  Tage; für wie viele Personen reicht der nämliche Vorrath  $c$  Tage länger?  
 $a = 72, b = 52, c = 65.$
37. Das aus Platin angefertigte, im Archive zu Paris aufbewahrte Metre prototype ist bei der Temperatur des schmelzenden Eises nach den neuesten astronomischen Messungen der 10000856ste Theil eines Meridianquadranten unserer Erde. Bei wie viel Grad der 100theiligen Scala würde dieser Meterstab, wie ursprünglich angenommen wurde, genau eine dem 10000000sten Theile des Erdquadranten gleiche Länge haben, wenn der Ausdehnungscoefficient bei Platin für jeden Grad der Temperaturerhöhung 0·00000856 ist?
38. Eine Stadt hat 13750 Einwohner; wie viel sind 12% dieser Bevölkerung?
39. Wie viel betragen 3%  $\alpha$ ) auf Hundert,  $\beta$ ) von Hundert,  $\gamma$ ) in Hundert a) von 3758 fl.? b) von 2908 Mark? c) von 5230·65 Franken?
40. Jemand kauft eine Ware für  $a$  fl.; wie theuer muß er dieselbe verkaufen, um  $p$ % zu gewinnen?
41. Eine Ware wird mit  $p$ % Gewinn für  $a$  fl. verkauft; wie viel kostete dieselbe im Einkaufe?
42. Jemand kauft für 3480 fl. Ware, erhält aber bei contanter Bezahlung  $3\frac{1}{2}$ % Sconto (Nachlaß); wie viel beträgt der Sconto, wenn er a) von Hundert, b) auf Hundert gerechnet wird?
43. Jemand erhält für eine verkaufte Ware nach Abzug von 2% Provision 2174 fl.; wie viel beträgt die Provision? (Rechnung in Hundert.)
44. Ein Staatslos im Nominalwerte von 250 fl. wird im Course 122·25 (für 100 des Nominalwertes) gekauft; wie viel kostet es?
45. Jemand kauft eine Eisenbahn-Actie von 200 fl., welche jährlich 5% Zinsen trägt, für 186 fl.; zu wie viel % legt er sein Geld an?
46. Ein Capital bringt in  $t'$  Jahren  $z$  fl. Zins; a) wie viel Zins bringt es bei gleichem Procent in  $t$  Jahren; b) in wie viel Jahren bringt es  $z'$  fl. Zins?
47. Zu wie viel % muß ein Capital angelegt werden, damit es in  $t'$  Jahren ebensoviele Zins bringe, als es in  $t$  Jahren zu  $p$ % Zins bringt?

## Angewandte Aufgaben mit zusammengesetzten Verhältnissen.

(§§. 133 und 134.)

48. a Kilogramm Garn geben b Meter Leinwand von c Centimeter Breite;  $\alpha$ ) wie viel Meter Leinwand von  $c'$  Centim. Breite geben  $a'$  Kilogr. desselben Garns;  $\beta$ ) wie breit wird die Leinwand, wenn aus  $a'$  Kilogr. Garn  $b'$  Meter gefertigt werden;  $\gamma$ ) wie viel Kilogr. Garn braucht man, um  $b'$  Meter Leinwand von  $c'$  Centim. Breite zu erhalten?
49. Aus einer gewissen Quantität Wolle können 16 Stück 108 Centimeter breites Tuch verfertigt werden, wenn das Stück 35 Meter hält. Aus einem Theile der Wolle werden 5 Stück 98 Centimeter breites Tuch verfertigt, jedes Stück zu 32 Meter; wie viele Stück 1 Meter breites Tuch, das Stück zu 28 Meter, können aus dem Reste verfertigt werden?
50. Eine Mühle mahlt auf a Gängen bei b Umdrehungen pr. Minute in c Secunden d Hektoliter Getreide; auf wie viel Gängen können bei  $b'$  Umdrehungen pr. Minute in  $c'$  Stunden  $d'$  Hektoliter geliefert werden?
51. Von zwei Rädern, welche ineinander greifen, hat das eine a, das andere b Zähne; wenn nun das erste Rad in s Minuten m Umläufe macht, wie vielmal dreht sich das zweite Rad in t Minuten um?
52. Für  $2\frac{7}{10}$  fl. werden auf einer Eisenbahn 14 Centner einer Ware 14 Kilometer weit befördert; a) wie viel Fracht wird man zahlen müssen, damit  $10\frac{1}{2}$  Etr. 76 Kilometer weit befördert werden; b) wie viel Etr. wird die Eisenbahn für  $4\frac{1}{20}$  fl. 63 Kilometer weit befördern; c) wie weit werden  $17\frac{1}{2}$  Etr. für  $3\frac{3}{5}$  fl. geführt? 17.933
53. 6 Arbeiter vollendeten in 4 Tagen einen Graben, welcher 300 Meter lang,  $11\frac{1}{5}$  Decim. breit und  $3\frac{1}{2}$  Decim. tief ist. Bei einem zweiten Graben erfordert die Förderung von 5 Cubikmeter ebensoviel Zeit als beim ersten die Förderung von 6 Cubikmeter. In wie viel Tagen vollenden den zweiten Graben 10 Arbeiter, wenn derselbe 280 Meter lang,  $8\frac{3}{4}$  Decim. breit und 5 Decim. tief ist? 3 Jour
54. Wie viel Zins bringen 3791 fl. zu 4% in 3 Jahren? 494 92, 12,
55. Wie viel Zins geben a) 1287 fl., b) 3745 fl., c) 8391 fl. 34 fr. zu  $5\frac{1}{2}\%$  in  $\alpha$ ) 2 Jahren,  $\beta$ )  $3\frac{1}{2}$  Jahren,  $\gamma$ ) 2 Jahren 4 Monaten 18 Tagen?
56. Wie viel Zins tragen C fl. Capital in T Tagen zu 6%?
57. Wie viel Zins bringen 3600 fl. Capital in 125 Tagen a) zu 6%, b) zu 4%, c) zu  $4\frac{1}{5}\%$ , d) zu 5%?

58. Eine Staatsschuldverschreibung von 500 fl. wird am 17. August zum Course von 82 eingekauft; wie viel muß man dafür bezahlen, wenn die rückständigen Zinsen (des Nominalwertes) à  $4\frac{1}{5}\%$  seit 1. Mai zu vergüten sind?
59. In welcher Zeit geben 4844 fl. Capital, zu  $4\frac{3}{4}\%$  angelegt,  $744\frac{4}{5}$  fl. Zins?
60. Wie groß muß das Capital sein, welches zu  $5\frac{1}{4}\%$  in  $2\frac{7}{12}$  Jahren  $976\frac{1}{2}$  fl. Zins bringt?
61. Zu wie viel % müssen 2424 fl. angelegt werden, damit sie in  $3\frac{1}{3}$  Jahren  $727\frac{1}{5}$  fl. Zins geben?
62. Wenn  $c$  fl. Capital in  $t$  Jahren  $z$  fl. Zins tragen, a) welchen Zins bringen  $c'$  fl. Capital in  $t'$  Jahren; b) welches Capital bringt in  $t'$  Jahren  $z'$  fl. Zins; c) in wie viel Jahren bringen  $c'$  fl. Capital  $z'$  fl. Zins?
63. Ein Capital  $c$  wird nach  $t$  Jahren zurückgezahlt; zu welcher Summe ( $s$ ) ist es bei  $p\%$  einfachen Zinsen angewachsen?

$$s = c \cdot \frac{100 + pt}{100}.$$

*Summe besteht aus dem Capital + die Zinsen für die p% p. t. Jahren*

64. Ein Capital  $c$ , welches nach  $t$  Jahren ohne Zinsen fällig ist, soll zu Anfang dieser Zeit ausgezahlt werden; wie viel ( $b$ ) hat der Schuldner zu entrichten, wenn er wegen der früheren Zahlung  $p\%$  einfache Zinsenvergütung anspricht?

Bei der Rechnung auf Hundert ist  $b = c - \frac{cpt}{100 + pt} = \frac{100c}{100 + p'}$

" " " von Hundert "  $b = c - \frac{cpt}{100}$ .

Welche Rechnung ist die richtige, welche die bequemere? Kaufleute berechnen den Discout bei Wechseln und den Scouto bei Warenbeträgen immer von Hundert.

65. Eine Wechselsumme von 2813 fl. 15 fr. wird 2 Monate vor der Verfallszeit mit  $4\%$  discountirt; a) wie viel beträgt der Discout; b) wie viel hat der Käufer zu bezahlen?
66. Wie viel muß man heute gegen  $6\%$  ausleihen, damit man nach 3 Jahren sammt Zinsen  $3010\frac{4}{5}$  fl. zurückerhalte? (Auf Hundert.)
67. Jemand legt zu Anfang eines jeden Jahres ein Capital von 2000 Mark an und setzt dies durch 5 Jahre fort; wie groß ist der gegenwärtige Wert aller Capital-Anlagen bei  $5\%$  einfacher Verzinsung?
68. Auf ein bestimmtes Kaufobject bietet A 24000 fl. sogleich zahlbar; B 16000 fl. contant und ferner je 3000 fl. nach 1, 2, 3 Jahren unverzinslich zahlbar; C 17000 fl. contant und ferner je 2000 fl. nach  $1\frac{1}{2}$ , 3,  $4\frac{1}{2}$  und 6 Jahren unverzinslich zahlbar. Welches ist das vortheilhafteste Anbot, wenn  $6\%$  Zinsenvergütung angenommen wird?

69. Die Capitalien  $c'$ ,  $c''$ ,  $c'''$  ... sind bezüglich nach  $t'$ ,  $t''$ ,  $t'''$ , ... Zeiteinheiten (Jahren, Monaten, ...) unverzinslich zu zahlen. Alle Zahlungen sollen auf einmal geleistet werden. Wann muß die Gesamtsumme  $s = c' + c'' + c''' + \dots$  gezahlt werden?

Heißt  $m$  der mittlere Zahlungstermin und nimmt man einfache Zinsen zu  $p\%$  an, so ist, je nachdem man auf oder von Hundert rechnet, bezüglich

$$m = \frac{\frac{c't'}{100 + pt'} + \frac{c''t''}{100 + pt''} + \frac{c'''t'''}{100 + pt'''} + \dots}{\frac{c'}{100 + pt'} + \frac{c''}{100 + pt''} + \frac{c'''}{100 + pt'''} + \dots}, \text{ oder}$$

$$m = \frac{c't' + c''t'' + c'''t''' + \dots}{c' + c'' + c''' + \dots}.$$

Diese Rechnung heißt die Terminrechnung; man wendet dabei gewöhnlich die vom Procent unabhängige Berechnung von Hundert an.

70. Jemand hat 2000 fl. nach  $2\frac{1}{2}$  Monaten, 1500 fl. nach 8 Monaten, 3000 fl. nach 10 Monaten, 2500 fl. nach 1 Jahre 4 Monaten unverzinslich zu zahlen; wann muß die Zahlung geschehen, wenn die Summe aller jener Terminzahlungen auf einmal erlegt werden soll?

#### Theilregel. (§§. 135 und 136.)

71. Zu einem Unternehmen gibt A 3100 fl., B 3500 fl., C 4200 fl. her; wenn nun dabei 324 fl. gewonnen werden, wie viel kommt auf jeden?
72. Es soll die Zahl 3710 in 4 Theile getheilt werden, welche sich zu einander verhalten, wie die Brüche  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{4}{5}$ .
73. Vier Gemeinden, von denen A 738 fl. 42 fr., B 815 fl., C 513 fl. 65 fr., D 618 fl. 83 fr. Steuern zahlt, sollen nach Verhältnis der Steuern zu einer Schulbaulichteit, deren Kosten sich auf 924 fl. 30 fr. belaufen, beitragen; welcher Beitrag entfällt auf jede Gemeinde?
74. Eine Summe von  $s$  fl. ist in drei Theile  $a$ ,  $b$ ,  $c$  so zu theilen, daß sich  $a : b = m : n$  und  $b : c = p : q$  verhalte.
75. Unter drei Personen sind 3960 fl. so zu vertheilen, daß B doppelt so viel als A, und C 3 mal so viel als B bekomme; wie viel erhält jeder?
76. Drei Personen sollen 9150 fl. so unter einander theilen, daß A so oft 5 fl. als B 3 fl., und C so oft 3 fl. als B 4 fl. erhalte; wie viel erhält jede Person?
77. 8 Gulden sind in 4 Theile  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  so zu theilen, daß  $a : d = m : n$ ,  $b : d = p : q$  und  $c : b = r : s$  sei.
78. Ein österr. Achtguldenstück enthält  $\frac{9}{10}$  Gold und  $\frac{1}{10}$  Kupfer; wie viel Gold und wie viel Kupfer braucht man, um 1000 Achtguldenstücke zu prägen, da 155 Stücke 1 Kilogramm wiegen?

79. Eine Erbschaft von 18420 fl. soll unter 4 Personen so getheilt werden, daß A  $\frac{1}{3}$ , B  $\frac{1}{4}$ , C  $\frac{3}{10}$  und D den Rest erhalte. Vor der Theilung stirbt jedoch A, und die übrigen drei theilen nun auch den Antheil des A im Verhältnisse ihrer ursprünglichen Antheile unter sich. Wie viel bekommt jeder?
80. Drei Gemeinden erhalten für geleistete Erdarbeiten 750 fl. Aus der Gemeinde A arbeiteten 11 Mann durch 10 Tage zu 9 Stunden, aus der Gemeinde B 9 Mann durch 9 Tage zu 10 Stunden, aus der Gemeinde C 15 Mann durch 5 Tage zu 6 Stunden täglich. Welchen Antheil an jener Entlohnung wird jede der drei Gemeinden haben?
81. A beginnt am Anfange des Jahres ein Unternehmen mit einem Fonde von 8000 fl.; nach zwei Monaten tritt B mit 5000 fl., und noch zwei Monate später auch C mit 3000 fl. dazu. Beim Jahresabschlusse zeigt sich ein Gewinn von 1059 fl.; wie viel bekommt jeder davon?

Kettenregel. (§. 137.)

82. Wie viel Meter sind 2135 russische Fuß, wenn 55 Meter = 175 Wiener Fuß und 82 russische Fuß = 79 Wiener Fuß sind?
83. Wie viel Londoner Pfund wiegt 1 Londoner Cubikfuß reines Wasser, da 1 Cubik-Decimeter davon 1 Kilogramm wiegt? (25 Londoner Cubikfuß = 708 Cubik-Decimeter, 86 Londoner Pfund = 39 Kilogr.)
84. Ein österr. Guldenstück enthält 900 Tausendtheile feinen Silbers; wie viel Gramm wiegt es, wenn 45 Guldenstücke 500 Gramm feinen Silbers enthalten?
85. Wie viel fl. ö. W. ist ein deutsches Zehnmarkstück wert, da  $139\frac{1}{2}$  Zehnmarkstücke 500 Gramm feinen Goldes, 45 fl. ö. W. 500 Gramm feinen Silbers enthalten, wenn sich dem Werte nach Gold zu Silber wie  $15\frac{1}{2} : 1$  verhält?
86. Welchen Wert in Ducaten hat 1 Achtguldenstück, da 155 Achtguldenstücke 1 Kilogramm 0.9 feinen Goldes und 67 Ducaten 1 kölnische Mark  $23\frac{2}{3}$  Karat feinen Goldes enthalten? (1 kölnische Mark à 24 Karat = 233.87 Gramm.)
87. Ein Wiener Kaufmann bezieht von Hamburg Kaffee zu 78 Pfennig das Hamburger Pfund; wie viel % gewinnt er, wenn die Spesen 50% betragen und in Wien das Kilogr. zu 1 fl. 56 kr. verkauft wird? (1 Hamb. Pfund = 0.5 Kilogr., 100 Pfenn. = 1 Mark und 100 Mark = 60 fl.)
- Man beginnt den Aufsatz: x fl. Einnahme geben 100 fl. Ausgabe, wenn u. s. w.

### III. Gleichungen des ersten Grades.

#### 1. Gleichungen des ersten Grades mit einer Unbekannten.

(§§. 140 und 141.)

1.  $x + a = b$ .  $a - b$   
 2.  $x - a = b$ .  $a + b$   
 3.  $a - x = b$ .  $a - b$   
 4.  $ax = b$ .  $\frac{b}{a}$   
 5.  $5x + 8 = 43$ . 7  
 6.  $17 + 8x = 71 - x$ . 6  
 7.  $a + bx = cx - d$ .  $\frac{c-b}{a+d}$   
 8.  $3x - 2a + b = a - 5b$ .  $a - 3b$   
 9.  $92 - 27y = 11$ . 3  
 10.  $7x + 12 = 6x + 20$ . 8  
 11.  $5 + (2x - 15) = x$ . 10  
 12.  $9 - (5 - 2x) = 3x + 1$ . 3  
 13.  $3(x - 5) = 4(10 - 2x)$ . 5  
 14.  $5(x - 2) - 2x = 2(x - 1)$ . 8  
 15.  $(a + b)x = 2a - (a - b)x$ . 1  
 16.  $a(x - b) = b(a - x) - c$ .  $\frac{2a+c}{a-b}$   
 17.  $m(x - a) - n(x - b) = (a + b)x$ .  
 18.  $3(2x + 9) - 9(4 + x) = 3(5 + x) - 2(x + 6)$ .  
 19.  $(x + a) : (x - a) = b : c$ .  
 20.  $(8x - 1) : (4x + 2) = (6x - 9) : (3x - 4)$ .  
 21.  $y(y - 2a) - (b - y)^2 = 3b^2 - 4a^2$ .  $(2b^2 - a)$   
 22.  $(2 - x)(3 - x) = (4 + x)(3 + x)$ .  
 23.  $(z + 1)(z - 1) = z^2 + z + 1$ .  
 24.  $(2 + x)(2x + 1) + (2 - x)(2x - 1) = 0$ .  
 25.  $x(x - 2a) - (b - x)^2 = 3b^2 - 4a^2$ .  
 26.  $(x + 2)(x + 3) - 4 = (x + 4)(5 + x) - 10$ .  
 27.  $\{3(y - 2) - 5\} \cdot 5 - 4(2y - 6) = y - 19$ .  
 28.  $5(x + 10) - 4\{160 - 3(3x - 2) + 2x\} = 2 - x$ .  
 29.  $5\{3 + (2x - 7)\} - 7(x + 5) + 3 = 3\{4(3 - x) - x\} - 70$ .  
 30. Löse die Gleichung  $2s = n(a_1 + a_n)$  nach allen darin vorkommenden allgemeinen Zahlen auf.  
 31.  $\frac{3 - 4x}{7} + 3 = 4x$ .  
 32.  $\frac{x}{2} + \frac{x}{3} + \frac{x}{4} = x + 1$ .  
 33.  $\frac{5 + x}{2} + \frac{13 + 7x}{3} = 72$ .  
 34.  $a - b - \frac{ab}{x} = 0$ .  
 35.  $\frac{a - y}{b} = \frac{b - y}{a}$ .  
 36.  $\frac{a - bx}{c} = \frac{m - nx}{p}$ .  
 37.  $\frac{5x^2 - 6x - 7}{2x^2 - 3x - 1} = \frac{5}{2}$ .  
 38.  $\frac{m(a^2 + x^2)}{ax} - \frac{mx}{a} = cm$ .  
 39.  $\frac{a - b}{b - z} = \frac{a}{z}$ .  
 40.  $\frac{m}{x - n} - \frac{n}{x - m} = 0$ .  
 41.  $\frac{x}{a} - b = \frac{x}{b} - a$ .  
 42.  $\frac{a}{y} + c = \frac{a(b + c)}{by}$ .

43.  $\frac{a-b}{x} + 1 = \frac{a}{b} - \frac{a+x}{x}$ .

44.  $\frac{13}{x-5} + \frac{3}{4} = \frac{65}{2x-10}$ .

45.  $\frac{9x+8}{6x+5} = \frac{3x+2}{2x+1}$ .

46.  $\frac{8x-3}{2x-1} = \frac{3x+4}{x+1} + 1$ .

47.  $\frac{x}{a} + \frac{x}{b} + \frac{x}{c} = \frac{1}{ab} + \frac{1}{ac} + \frac{1}{bc}$ .

48.  $\frac{a+b}{a-b} \cdot x - 4ab = \frac{b-a}{a+b} \cdot x$ .

49.  $\frac{a+b}{a-b} \cdot x = \frac{b-a}{a+b} \cdot x + \frac{a^2+b^2}{2}$ .

50.  $\left\{1 + \frac{a-b}{a+b}\right\} x - 1 = \left\{\frac{a+b}{a-b} - 1\right\} x$ .

51.  $\frac{z}{2} + \frac{z+1}{3} + \frac{z-1}{4} = \frac{2z}{5} + \frac{7}{4}$ .

52.  $\frac{x}{2} + \frac{x}{3} + \frac{x}{5} + \frac{x}{7} + \frac{x}{11} - 9 = x + \frac{23}{66}$ .

53.  $\frac{x}{x+a} - \frac{x}{x-a} = \frac{b}{x+a}$ .

54.  $\frac{ax}{mx-a} + \frac{bx}{nx-b} = \frac{a}{m} + \frac{b}{n}$ .

55.  $(a+b)^2 - \frac{ax}{bc} - \frac{bx}{ac} = \frac{cx}{ab} + \frac{2x}{c} - c^2$ .

56.  $\frac{1}{x-2} - \frac{1}{x-6} = \frac{1}{x-4} - \frac{1}{x-8}$ .

57.  $\frac{1}{ac-cx} - \frac{1}{bd-dx} = \frac{1}{ad-dx} - \frac{1}{bc-cx}$ .

58.  $\frac{7}{3}(2x+5) + 3(2x-3) - \frac{3}{4}(5x-7) = 1$ .

59.  $\frac{4}{3}(3x-7) - 22 = \frac{3}{7}[\frac{7}{9}(8x-63) - (2x+3)]$ .

60.  $\frac{1}{4}(\frac{8}{9}\{\frac{7}{8}(x+1) + 3\} + 2) - 4 = 1$ .

61.  $\frac{3 \cdot 07x}{16} + \frac{x-0 \cdot 08}{5} = \frac{3x}{8} - 0 \cdot 00925$ .

62.  $4 : \frac{2x}{3} = 1 : (15 - \frac{x}{3})$ .

63.  $\frac{a+b}{a+1} : \frac{a-1}{x-1} = \frac{a-b}{a-1} : \frac{a+1}{x+1}$ .

64.  $\frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{x}} + \frac{1}{3} = 3$ .

65.  $\frac{m - \frac{1}{x}}{m + \frac{1}{x}} - \frac{1}{x} = \frac{x - \frac{1}{m}}{x + \frac{1}{m}} - \frac{1}{m}$ .

## 2. Gleichungen des ersten Grades mit zwei oder mehreren Unbekannten.

(§§. 142—145.)

66.  $8x - 5y = 25$ , 67.  $3x + 4y = 4$ , 68.  $16y - 25z = 7$ ,

$3x + 7y = 36$ ,  $12x - 6y = 5$ ,  $5z - 24y = 9$ .

69.  $7x + 8y = 23$ , 70.  $6x + 8y = 7$ , 71.  $3y + 5z = 93$ ,

$14x - 4y = 6$ ,  $2x + 6y = 4$ ,  $4y + 7z = 128$ .

72.  $\left. \begin{array}{l} x + y = s, \\ x - y = d. \end{array} \right\}$  Wie findet man aus der Summe zweier Zahlen und deren Differenz die beiden Zahlen selbst?

73.  $ax + y = m$ , 74.  $x + my = a$ , 75.  $a(x + y) = m$ ,

$x - y = n$ ,  $x - ny = b$ ,  $b(x - y) = n$ .

76.  $y = ax + b$ , 77.  $y = 2x + 3$ , 78.  $4x + 3y = 9$ ,

$y = a'x + b'$ ,  $y + 1 = 4x + 3$ ,  $8x - 3y = 27$ .

$$79. 3x - 4y = 4, \quad 80. x + 2y = 30, \quad 81. \frac{3}{4}x - \frac{1}{3}y = 2,$$

$$\frac{x}{3} + \frac{y}{4} = 6. \quad \frac{3x}{5} + \frac{x}{2} = 11. \quad \frac{1}{2}x + \frac{2}{3}y = 4.$$

$$82. \frac{x+7}{y} = \frac{4}{5}, \quad 83. \frac{28}{x} + \frac{6}{y} = 9, \quad 84. \frac{1}{x-y} = \frac{2}{x+y},$$

$$\frac{x}{y+4} = \frac{1}{2}. \quad \frac{9}{y} - \frac{4}{x} = 2. \quad \frac{2}{3x-7y} = \frac{3}{2x-5}.$$

$$85. \frac{m}{n+y} = \frac{n}{m+x}, \quad 86. \frac{x-a+2b}{b} + \frac{y}{c} = \frac{b}{c},$$

$$\frac{n}{m-y} = \frac{m}{n-x}. \quad \frac{x}{ab} + \frac{y}{bc} = \frac{x+y}{ac}.$$

$$87. ax - by = a^2 + b^2, \quad 88. (a+c)x + (a-c)y = 2bc,$$

$$bx + ay = a^2 + b^2. \quad (b-c)x + (b+c)y = 2ac.$$

$$89. \frac{x}{a+b} - \frac{y}{a-b} = \frac{1}{a+b}, \quad 90. \frac{x}{a+b} + \frac{y}{a-b} = 2,$$

$$\frac{x}{a+b} + \frac{y}{a-b} = \frac{1}{a-b}. \quad \frac{x}{a-b} - \frac{y}{a+b} = \frac{4ab}{a^2 - b^2}.$$

$$91. \frac{2x-b}{a} - \frac{2y-a}{b} = 2, \quad 92. \frac{3x-2y}{5} + \frac{5x-3y}{3} = x+1,$$

$$\frac{2x-a}{b^2} + \frac{2y+b}{a^2} = \frac{a+b}{ab}. \quad \frac{2x-3y}{3} + \frac{4x-3y}{2} = y+1.$$

$$93. x - y = (2a + b) + \frac{4ab^2 - 2a(a^2 + b^2)}{a^2 - b^2},$$

$$ax - by = (a + b)^2 - \frac{a-b}{a+b} + \frac{(a^2 + b^2) - 2ab(a^2 - b^2 + 1)}{a^2 - b^2}.$$

$$94. \frac{x + 42\frac{1}{3}}{2} = y - 42\frac{1}{3}, \quad 95. 41x - 32 \cdot 75y = 10 \cdot 42,$$

$$x - 23\frac{1}{2} = \frac{y + 23\frac{1}{2}}{3}. \quad 5 \cdot 2x - 36y + 2 \cdot 5 = 0.$$

$$96. 5x : 8 = (y + 5) : 2, \quad 97. (4x + y) : (2x - y) = 16 : 5,$$

$$3x : 8 = (y - 2) : 1. \quad (2x + 7y) : (x + 8) = 14 : 5.$$

$$98. (3x + 2y - 4) : (2x + 3y - 1) = 3 : 2,$$

$$(x - 2y - 3) : (2x - 3y - 6) = 2 : 3.$$

$$99. x + 3y = 39, \quad 100. 3x - 4y = 6,$$

$$3x + 2z = 48, \quad 2x + 3z = 26,$$

$$4y - 3z = 18. \quad 5y - 6z = 18.$$

$$101. 3x + y + 2z = 13, \quad 102. 6x - 4y + 3z = 28,$$

$$x + 2y + 3z = 17, \quad 4x - y - 3z = 7,$$

$$2x + 3y + z = 12. \quad 2x - 3y + 4z = 13.$$

$$103. \left. \begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1z &= d_1, \\ a_2x + b_2y + c_2z &= d_2, \\ a_3x + b_3y + c_3z &= d_3. \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Gib das Gesetz an, welches in den für } x, \\ y \text{ und } z \text{ erhaltenen Ausdrücken vorherrscht.} \end{array}$$

$$\begin{aligned} 104. \quad & x + y + z = s, \\ & x : y = a : b, \\ & y : z = b : c. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 106. \quad & \frac{x}{5} + \frac{3y}{4} + \frac{7z}{15} = 18, \\ & \frac{2x}{5} + \frac{5y}{12} + \frac{2z}{3} = 19, \\ & \frac{x}{10} + \frac{5y}{6} + \frac{4z}{5} = 23. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 108. \quad & 3x - y - z = 10, \\ & \frac{x}{3} + \frac{y}{4} + \frac{z}{2} = 13, \\ & \frac{x}{2} + \frac{y}{8} + \frac{z}{5} = 10. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 110. \quad & \frac{x+1}{y+1} = 2, \\ & \frac{y+2}{z+1} = 4, \\ & \frac{z+3}{x+1} = \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 112. \quad & -\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = a, \\ & \frac{1}{x} - \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = b, \\ & \frac{1}{x} + \frac{1}{y} - \frac{1}{z} = c. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 114. \quad & x + z = 18, \\ & z - y = 2, \\ & u + y = 12, \\ & u + 2x = 26. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 116. \quad & 3u - x + y + 2z = 20, \\ & 2u + 3x - y + z = 17, \\ & u + 2x + 3y - z = 21, \\ & -u + x + 2y + 3z = 12. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 118. \quad & 2u - 3w + 4x - 5y + 6z = 6, \\ & 3u + w - 5x + y - 3z = 3, \\ & -u + 4w + 2x - 5y + z = 8, \\ & u - w + x - y + z = 3, \\ & u + w + x + y + z = 15. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 105. \quad & 0.4x + 0.5y + 0.7z = 51, \\ & 0.3x + 0.4y + 0.5z = 38, \\ & 0.2x + 0.3y + 0.4z = 29. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 107. \quad & x + \frac{y}{2} + \frac{z}{2} = 612, \\ & \frac{x}{3} + y + \frac{z}{3} = 612, \\ & \frac{x}{4} + \frac{y}{4} + z = 612. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 109. \quad & \frac{x}{a} - \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1, \\ & \frac{ax - by}{a + b} = \frac{az - cy}{c}, \\ & \frac{by - cz}{b - c} = \frac{bx + az}{a}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 111. \quad & \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = a, \\ & \frac{1}{x} + \frac{1}{z} = b, \\ & \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = c. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 113. \quad & \frac{2}{x} - \frac{3}{y} + \frac{5}{z} = 9, \\ & -\frac{3}{x} + \frac{2}{y} + \frac{8}{z} = 10, \\ & \frac{5}{x} + \frac{4}{y} - \frac{6}{z} = 20. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 115. \quad & u + x + y - z = a, \\ & u + x - y + z = b, \\ & u - x + y + z = c, \\ & -u + x + y + z = d. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 117. \quad & 3u - 4x + 2y = 5, \\ & 4u - 3x - 2z = 4, \\ & 2u + y - 5z = 3, \\ & 3x - 4y + z = 2. \end{aligned}$$

### 3. Anwendung der Gleichungen des ersten Grades.

(§§. 146 und 147.)

119. Das 3fache und das 4fache einer Zahl beträgt zusammen 196; wie groß ist die Zahl?  $3x + 4x = 196;$

$$\begin{aligned} 3x + 4x &= 196 \\ 7x &= 196 \\ x &= 28 \end{aligned}$$

$$7x = 196$$

$$\frac{196}{7} = 28$$

$$\begin{aligned} & 84 \\ & 112 \\ & 196 \end{aligned}$$

120. Von welcher Zahl ist der siebente Theil um 8 kleiner als der dritte Theil?  $\frac{x}{7} + 8 = \frac{x}{3}$ ;  $3x + 168 = 7x$ ;  $4x = 168$ ;  $x = \frac{168}{4} = 42$
121. Wenn man eine Zahl mit 15 multipliciert, zu dem Producte 20 addiert, die Summe durch 4 dividirt und von dem Quotienten 14 subtrahiert, so erhält man das 3fache der fraglichen Zahl; welche Zahl ist es?  $\frac{15x+20}{4} - 14 = 3x$
122. Wie heißt die stetige geometrische Proportion, deren drei Glieder um gleichviel größer sind als 1, 3 und 6?
123. Die Zahl  $a$  soll in zwei Theile so getheilt werden, dass das  $m$ fache des ersten Theiles um  $d$  größer sei als das  $n$ fache des zweiten Theiles.  $mx - d = (a-x)n$
124. In welche zwei Theile muss man 60 zerlegen, damit der größere Theil durch den kleineren dividirt 2 zum Quotienten und 3 zum Reste gebe?
125. Eine Zahl  $a$  in solche zwei Theile zu zerlegen, dass deren Quotient der gegebenen Zahl selbst gleich sei.  $\frac{a-x}{x} = a$
126. Welche Zahl muss man vom Zähler und vom Nenner des Bruches  $\frac{a}{b}$  ( $\frac{7}{13}$ ) subtrahieren, damit der neue Bruch gleich  $\frac{c}{d}$  ( $\frac{1}{3}$ ) werde?  $\frac{7a-x}{13b-x} = \frac{c}{d}$
127. Welche Zahl muss zum Zähler des Bruches  $\frac{a}{b}$  addirt und vom Nenner desselben subtrahirt werden, damit der erhaltene Bruch der reciproke des früheren sei?  $\frac{a+x}{b-x} = \frac{b}{a}$
128. Wenn man zum Zähler und Nenner eines Bruches 7 addirt, so erhält er den Wert  $\frac{4}{5}$ ; subtrahirt man vom Zähler und Nenner 2, so erhält er den Wert  $\frac{1}{2}$ . Welches sind Zähler und Nenner des Bruches?  $\frac{x+7}{y+7} = \frac{4}{5}$ ;  $\frac{x-2}{y-2} = \frac{1}{2}$
129. Zwei Zahlen werden mit denselben zwei Ziffern geschrieben und verhalten sich wie 13 : 31; welche Zahlen sind es, wenn ihre Summe 88 beträgt?  $xy : yx = 13 : 31$ ;  $x+y = 88$
130. Vermehre ich eine zweiziffrige Zahl um das 9fache ihrer Einer, so erhalte ich 80; vermehre ich sie dagegen um 18, so erscheinen in der Summe ihre Ziffern in umgekehrter Ordnung; wie heißt die zweiziffrige Zahl?  $xy + 9y = 80$ ;  $xy + 18 = yx$
131. Jemand wird nach 10 Jahren doppelt so alt sein, als er vor 4 Jahren war; wie alt ist er jetzt?  $x+10 = 2(x-4)$
132. Ein Vater ist jetzt 48, sein Sohn 21 Jahre alt; vor wie viel Jahren war der Vater 10mal so alt als sein Sohn?  $(48-x) = 10(21-x)$
133. Ein Vater ist 36, sein Sohn 10 Jahre alt; wie viel Jahre muss der Vater noch leben, damit er gerade doppelt so alt werde, als es dann sein Sohn sein wird?  $(36+x) = 2(10+x)$
134. A ist jetzt  $m$ mal so alt und wird nach  $a$  Jahren  $n$ mal so alt sein als B; wie alt ist A, wie alt B?  $x = my$ ;  $a+x = ny$

Welche Beziehung muss zwischen  $m$ ,  $n$  und  $a$  stattfinden, damit die Auflösung einen Sinn habe? (S. 147, Beispiel 3.)

135. Ein Vater ist gegenwärtig 3 mal so alt als sein Sohn; vor 12 Jahren war er 9 mal so alt als der Sohn. Wie alt ist jeder?
136. Ein Knabe sagt: meine Mutter ist 25 Jahre älter als ich, mein Vater ist 5 Jahre älter als die Mutter, und wir alle zusammen haben 91 Altersjahre. Wie alt ist der Knabe, die Mutter, der Vater?
137. Bei der Theilung einer gewissen Summe erhält A 1000 fl. und  $\frac{1}{3}$  des Restes, B  $\frac{1}{2}$  des neuen Restes und noch 500 fl. darüber, C die noch übrigen 2500 fl. Wie groß ist die Summe, wie viel erhält A, wie viel B?
138. Bei der Theilung einer gewissen Summe erhält A a fl. mehr als  $\frac{1}{m}$  derselben, B b fl. mehr als  $\frac{1}{n}$  des Restes, C den neuen Rest, welcher c fl. weniger beträgt als  $\frac{1}{p}$  der ganzen Summe. Wie viel erhält jeder?
139. Unter drei Personen wird eine bestimmte Summe so vertheilt, daß B 20 fl. weniger als A, und C 20 fl. weniger als B bekommt; die ganze Summe ist um 25 fl. größer als das 4fache dessen, was C bekommt. Wie viel erhält jeder?
140. Ein Vater schenkt seinem Sohne für jede fehlerfreie Aufgabe 10 Kreuzer; für jede fehlerhafte Aufgabe dagegen muß der Sohn dem Vater 5 kr. zurückzahlen. Bei 20 Aufgaben ergab sich nun, daß dem Sohne von den erhaltenen Geschenken 80 kr. übrig blieben; wie viele Aufgaben hat er ohne Fehler, wie viele fehlerhaft gearbeitet?
141. Jemand dingt einen Gärtner auf einen Monat (30 Tage); er verspricht ihm während dieser Zeit die Kost, und für jeden Tag, an dem er arbeitet,  $\frac{4}{5}$  fl.; für jeden Tag, an dem der Gärtner nicht arbeitet, muß dieser dem Herrn  $\frac{1}{5}$  fl. für die Kost bezahlen. Nach einem Monat erhielt der Gärtner 18 fl.; wie viele Tage hat er gearbeitet und wie viele nicht?
142. Zwei Arbeiter sollen einen Graben von 435 Meter Länge reinigen; der eine macht täglich 42 Meter, der andere 45 Meter fertig; wann wird die ganze Arbeit fertig sein?
143. Zwei Fässer enthalten 351 Liter Wein; nimmt man aus dem ersten den sechsten und aus dem zweiten den dritten Theil heraus, so bleibt in beiden gleichviel übrig. Wie viel Liter enthält jedes Faß?
144. In jedem von zwei Fässern ist eine gewisse Menge Wein. Gießt man aus dem ersten in das zweite so viel, als schon darin ist; dann aus dem zweiten in das erste so viel, als jetzt darin ist; dann wieder aus dem ersten in das zweite so viel, als darin übrig geblieben war, so enthalten beide Fässer gleich viel Wein, nämlich 72 Liter. Wie viel Liter enthielt jedes Faß?



157. Für eine nach vier Jahren fällige Schuld bezahlt jemand bar 2400 fl., der Discout beträgt 480 fl.; wie viel % Discout werden jährlich gerechnet?
158. Ein Kaufmann hat zwei Sorten einer Ware, von der einen kostet das Kilogr. 60 kr., von der andern 40 kr.; er will von beiden eine Mischung von 80 Kilogr. bereiten, die er zu 45 kr. das Kilogr. verkaufen kann. Wie viel Kilogr. muß er dazu von jeder Sorte nehmen?
159. Ein Weinhändler hat zweierlei Weine, von dem ersten kostet das Hektoliter 60 fl., von dem zweiten 32 fl.; er will durch Mischung 7 Hektoliter zu 40 fl. bekommen. Wie viel Hektoliter wird er von jeder Gattung zu der Mischung nehmen müssen?
160. Wie viel Kupfer (Gehalt = 0) muß man mit 26 Kilogr. Silber, das 0.9 fein ist, legieren, um 0.52 feines Silber zu erhalten?
161. Zu 24 Kilogr. 0.8 feinem Silber werden 12 Kilogr. einer andern Silberforte hinzugesetzt, wodurch die Mischung 0.75 fein wird; welchen Feingehalt hat die zweite Sorte?
162. Jemand hat drei Metallstücke, deren jedes aus den Metallen A, B, C besteht. Das erste Stück enthält von A  $a_1$ , von B  $b_1$ , von C  $c_1$  Defagr.; das zweite Stück enthält von A  $a_2$ , von B  $b_2$ , von C  $c_2$  Defagr.; das dritte Stück enthält von A  $a_3$ , von B  $b_3$ , von C  $c_3$  Defagr. Man will nun eine Composition bilden, welche von A  $a$  Defagr., von B  $b$  Defagr., von C  $c$  Defagr. enthalten soll. Wie viel Defagr. muß man dazu von jedem der drei Metallstücke nehmen?

Wird  $a_1 + b_1 + c_1 = s_1$ ,  $a_2 + b_2 + c_2 = s_2$ ,  $a_3 + b_3 + c_3 = s_3$  gesetzt, so erhält man folgende Gleichungen:

$$\frac{a_1 x}{s_1} + \frac{a_2 y}{s_2} + \frac{a_3 z}{s_3} = a,$$

$$\frac{b_1 x}{s_1} + \frac{b_2 y}{s_2} + \frac{b_3 z}{s_3} = b,$$

$$\frac{c_1 x}{s_1} + \frac{c_2 y}{s_2} + \frac{c_3 z}{s_3} = c.$$

163. Von drei Metallstangen enthält

die erste	4	Defagr. Gold,	8	Defagr. Silber,	12	Defagr. Kupfer,
die zweite	8	"	10	"	2	"
die dritte	10	"	6	"	14	"

Aus diesen will man durch Legierung eine Metallstange erhalten, welche 10 Defagr. Gold, 10 Defagr. Silber und 11 Defagr. Kupfer enthält; wie viel Defagr. muß man von jeder der drei Metallstangen dazu nehmen?

164. Ein Wasserbehälter kann durch zwei Röhren gefüllt werden, und zwar durch die erste Röhre allein in  $a$ , durch die zweite allein in  $b$  Stunden. In welcher Zeit wird der Behälter gefüllt sein, wenn man das Wasser durch beide Röhren zugleich fließen läßt?

Man setze die gesuchte Zeit  $= x$  und den Cubikinhalte des Behälters  $= v$ . Die erste Röhre allein füllt in  $x$  Stunden  $\frac{v x}{a}$ , die zweite Röhre allein  $\frac{v x}{b}$ ; beide Röhren füllen also in  $x$  Stunden  $\frac{v x}{a} + \frac{v x}{b}$ , d. i. den ganzen Behälter  $= v$ . Man hat demnach  $\frac{v x}{a} + \frac{v x}{b} = v$ ; oder  $\frac{x}{a} + \frac{x}{b} = 1$ , daher  $x = \frac{a b}{a + b}$ .

165. Ein Wasserbehälter kann durch drei Röhren gefüllt werden; die erste Röhre allein füllt das Gefäß in 4 Stunden, die zweite Röhre allein in 6 Stunden, die dritte Röhre allein in 12 Stunden. In wie viel Stunden wird der Wasserbehälter gefüllt, wenn man das Wasser durch alle drei Röhren zugleich fließen läßt?

166. Ein Wasserbehälter kann durch drei Röhren gefüllt werden, und zwar durch die Röhren  $R_1$  und  $R_2$  in  $a$ , durch  $R_1$  und  $R_3$  in  $b$ , durch  $R_2$  und  $R_3$  in  $c$  Stunden; wie viel Zeit braucht jede Röhre allein dazu, um den Behälter zu füllen?

167. Zu einer Arbeit erbieten sich drei Personen, A, B und C; A und B würden zusammen die verlangte Arbeit in 18 Tagen liefern können, A und C zusammen könnten dies in 12 Tagen, und B und C zusammen in 9 Tagen. In welcher Zeit kann die Arbeit durch alle drei Personen zusammen geleistet werden?

168. Zwei Körper vom specifischen Gewichte  $s_1$  und  $s_2$  sollen so mit einander verbunden werden, daß der entstehende Körper  $p$  Kilogr. wiege und das specifische Gewicht  $s$  habe; wie viel Kilogr. eines jeden Körpers hat man zu nehmen?

Da die Summe der absoluten Gewichte der beiden Bestandtheile dem absoluten Gewichte der Verbindung, und ebenso die Summe der Cubikinhalte der Bestandtheile dem Inhalte der Verbindung gleich sein soll, so hat man, wenn die Verbindung  $x$  Kilogr. des ersten und  $y$  Kilogr. des zweiten Körpers enthält,

$$x + y = p \text{ und } \frac{x}{s_1} + \frac{y}{s_2} = \frac{p}{s}, \text{ und daher}$$

$$x = \frac{s_1 p (s - s_2)}{s (s_1 - s_2)} \text{ und } y = \frac{s_2 p (s_1 - s)}{s (s_1 - s_2)}.$$

Die Auflösung ist nur möglich, wenn  $s$  zwischen  $s_1$  und  $s_2$  liegt.

169. Wie groß sind die specifischen Gewichte zweier Körper A und B, wenn  $a$  Kilogr. vom ersten und  $b$  Kilogr. vom zweiten zusammen das specifische Gewicht  $s$ , dagegen  $a_1$  Kilogr. vom ersten und  $b_1$  Kilogr. vom zweiten zusammen das specifische Gewicht  $s_1$  haben?

170. Eine aus Gold und Silber gemachte Krone des Königs Hiero von Syracus wog 20 Pfund, unter Wasser getaucht nur  $18\frac{3}{4}$  Pfund; wenn nun Gold im Wasser scheinbar  $\frac{1}{19}$  und Silber  $\frac{1}{10}$  von seinem Gewichte verliert, wie viel Gold und wie viel Silber war in der Krone?

171. Ein Pendel, das  $a$  Millimeter lang ist, macht bei der Acceleration  $g$  in einer Minute  $n$  Schwingungen; wie lang muß ein anderes sein, das bei der Acceleration  $g_1$  in einer Minute  $n_1$  Schwingungen machen soll?

$$x : a = \frac{g_1}{n_1^2} : \frac{g}{n^2}.$$

172. Das Secundenpendel hat in Paris eine Länge von 0.99385 Meter; wie lang muß ein Pendel sein, das in Wien in jeder Minute 80 Schwingungen machen soll, wenn die Acceleration für Paris 9.809, für Wien 9.808 Meter beträgt?

173. Ein Dampfschiff legt in einer Stunde stromaufwärts einen Weg von 10.2 Kilometer, stromabwärts einen Weg von 17.7 Kilometer zurück; welchen Weg würde das Schiff durch die Kraft der Maschine allein (bei stillstehendem Wasser), welchen Weg durch die Kraft des Stromes allein (bei stillstehender Maschine) in einer Stunde zurücklegen?

174. Zwei Körper  $K'$  und  $K''$  bewegen sich auf einer geraden Linie in derselben Richtung von den Punkten  $A'$  und  $A''$  gleichförmig mit den Geschwindigkeiten  $c'$  und  $c''$ . Der Körper  $K'$  verläßt den Punkt  $A'$ , welcher um  $d$  Längeneinheiten rückwärts von  $A''$  liegt, um  $t$  Zeiteinheiten später, als der Körper  $K''$  den Punkt  $A''$  verläßt. Nach wie viel ( $T$ ) Zeiteinheiten, von dem Abgange des Körpers  $K''$  von  $A''$  an gerechnet, werden beide zusammentreffen? (Vergl. S. 147, 4.)

Der Körper  $K'$  legt den Weg  $c'(T - t)$ , der Körper  $K''$  den Weg  $c''T$  zurück; die Differenz beider Wege ist die Distanz  $d$ , daher  $c'(T - t) - c''T = d$  und daraus

$$T = \frac{c't + d}{c' - c''}.$$

Discutiere dieses Resultat a) für positive Werte von  $d$ ,  $t$ ,  $c'$  und  $c''$ , und für  $c' \geq c''$ ; b) für  $d \leq 0$ ; c) für  $t \leq 0$ ; d) für  $c'' < 0$ .

175. Behalte die Daten der vorhergehenden Aufgabe und bestimme die Entfernung ( $D$ ) des Punktes, in welchem die beiden Körper zusammentreffen, von dem näher gelegenen Punkte  $A''$ .

$$D = c''T = \frac{c''(c't + d)}{c' - c''}.$$

176.  $A'$  und  $A''$  sind durch eine Eisenbahn verbunden, deren Endpunkte 225 Kilometer von einander abstehen. Von  $A'$  geht gegen  $A''$  ein Personenzug ab, der in jeder Stunde 30 Kilometer zurücklegt; zu gleicher

Zeit geht von A'' gegen A' ein Lastenzug ab, der in jeder Stunde 20 Kilometer zurücklegt. Wann begegnen sich die beiden Züge?

177. Vom Orte A' aus geht des Morgens 5 Uhr eine Locomotive ab, welche in 4·5 Stunden 105 Kilometer zurücklegt. Eine halbe Stunde später wird von A'' aus, welcher Ort 52·5 Kilometer hinter A' liegt, der ersten Locomotive eine zweite nachgesendet, die 105 Kilometer in 3 Stunden fährt. Wann wird die zweite Locomotive die erste einholen?
178. Ein Courier M' geht von A' nach A'', ein anderer Courier M'' von A'' nach A'; M' tritt die Reise um 5 Tage früher an als M'', dagegen legt M'' täglich 20 Kilometer mehr zurück als M'. Nachdem M'' 240 Kilometer zurückgelegt hatte, trifft er mit M' zusammen und dann brauchte M' noch 4 Tage bis A'', und M'' noch 6 Tage bis A'. Wie viel Kilometer hat jeder täglich zurückgelegt und wie groß ist die Entfernung zwischen A' und A''?
179. A' und A'' sind durch eine 152 Kilometer lange Eisenbahn verbunden. Von A' geht um 8 Uhr 30 Min. vormittags ein Zug nach A'' ab mit der Geschwindigkeit von 10 Meter per Secunde; an demselben Vormittage um 9 Uhr 15 Min. geht von A'' ein Zug mit der Geschwindigkeit von 9 Meter per Secunde nach A' ab. Wann und in welcher Entfernung von A'' begegnen sich diese Züge?
180. Ein Courier soll von A aus einem Regimente, das vor 6 Tagen von dort abmarschirt ist und täglich 28 Kilometer vorwärts geht, Ordre bringen. In welcher Entfernung von dem gemeinschaftlichen Abgangsorte wird er dasselbe erreichen, wenn er täglich 84 Kilometer zurücklegt?
181. Von A' geht ein Courier, welcher täglich 14 Meilen zurücklegt, nach A''; zu gleicher Zeit wird von A'' ein Courier, welcher dem ersten nach 5 Tagen begegnen soll, nach A' abgeschickt. Wie viel Meilen muß der zweite Courier täglich zurücklegen, wenn die Entfernung A' A'' 150 Meilen beträgt?
182. Um 8 Uhr morgens fährt von A' nach A'' ein Eilwagen, der jede Stunde 9 Kilometer zurücklegt; 20 Minuten nach 2 Uhr nachmittags verläßt ein Dampfwagen den Ort A'' und langt auf einer neben der Landstraße liegenden Eisenbahn, indem er stündlich 30 Kilometer zurücklegt, zu derselben Zeit in A' an, zu welcher der Eilwagen in A'' ankommt; Wie groß ist die Entfernung zwischen A' und A''?
183. Von A' nach A'' sind 315 Kilometer. Um Mittag geht von A'' ein Eilwagen ab, der 10 Kilometer in der Stunde macht. Um wie viel Stunden früher muß von A' eine Fahrpost, die in der Stunde nur 6 Kilometer zurücklegt, abgehen, damit sie mit dem Eilwagen gleichzeitig in A'' eintreffe?

184. Zwei Körper bewegen sich von den Punkten  $A'$  und  $A''$ , deren Entfernung  $d$  Meter beträgt, gegen einander. Fängt der erste  $t'$  Stunden früher an sich zu bewegen, so treffen sie  $T'$  Stunden nach dem Abgange des zweiten zusammen; fängt der zweite  $t''$  Stunden früher an sich zu bewegen, so treffen sie  $T''$  Stunden nach dem Abgange des ersten zusammen. Wie viel Meter legt jeder in einer Stunde zurück?
185. Einem Körper  $K''$ , welcher in jeder Zeiteinheit  $e''$  Längeneinheiten zurücklegt, folgt  $t$  Zeiteinheiten später von demselben Punkte aus ein zweiter  $K'$ , welcher in jeder Zeiteinheit  $e'$  Längeneinheiten zurücklegt. Nach wie viel ( $T$ ) Zeiteinheiten, vom Abgange des Körpers  $K'$  an gerechnet, werden beide Körper  $d$  Längeneinheiten von einander entfernt sein?
186. Zwei Körper bewegen sich auf der Peripherie eines Kreises, welche  $p$  Längeneinheiten beträgt, zu gleicher Zeit von demselben Punkte aus in derselben Richtung mit den Geschwindigkeiten  $e'$  und  $e''$ . Nach wie viel ( $T$ ) Zeiteinheiten werden sie wieder zusammentreffen?
- Nimmt man an, daß der erste Körper den Umfang  $p$  in  $t'$ , der zweite in  $t''$  Zeiteinheiten zurücklegt, so ist  $e' = \frac{p}{t'}$ , und  $e'' = \frac{p}{t''}$  und man hat für das weitere Zusammentreffen derselben
- $$T e' - T e'' = p, \text{ daher } T = \frac{p}{e' - e''} = \frac{t' t''}{t'' - t'}$$
187. Wie viel Zeit verfließt von einem Zusammentreffen der beiden Zeiger einer Uhr bis zum nächsten Zusammentreffen derselben?
188. Wie viel Minuten nach vier Uhr wird der Minutenzeiger einer Uhr über den Stundenzeiger zu stehen kommen?
189. Es sind 20 Minuten über 12 Uhr; nach wie viel Minuten werden sich beide Zeiger der Uhr decken?
190. Der Mond vollendet, von der Erde aus gesehen, seinen Umlauf am Himmel in 27·32158 Tagen (tropischer Monat), die Sonne dagegen vollendet ihren scheinbaren Umlauf in 365·24222 Tagen (tropisches Jahr); beide Himmelskörper schreiten durch die Sternbilder des Tierkreises von Westen gegen Osten fort. Geht während dieser Bewegung der Mond vor der Sonne vorbei, so haben wir Neumond. Wie viel Tage verfließen von einem Neumonde bis zum andern (synodischer Monat)? 29 530
191. Auf der Peripherie eines Kreises bewegen sich zwei Körper gleichförmig und in derselben Richtung; der erste beschreibt den Umfang in  $t$  Secunden und trifft mit dem zweiten alle  $T$  Secunden zusammen. In welcher Zeit vollendet der zweite einen Umlauf?

## IV. Potenzieren, Radizieren und Logarithmieren.

## 1. Potenzen mit positiven ganzen Exponenten.

Verbindung des Potenzierens mit sich selbst. (§. 149.)

- |                    |                    |                        |                            |
|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| 1. $(a^3)^2$ .     | 2. $(x^3)^m$ .     | 3. $(x^m)^3$ .         | 4. $(a^m)^{n-1}$ .         |
| 5. $[(p^2)^4]^3$ . | 6. $[(a^5)^0]^3$ . | 7. $(x^{a+b})^{a-b}$ . | 8. $(y^{3a-2b})^{2a-3b}$ . |

Verbindung des Potenzierens mit der Multiplication und Division. (§§. 151—154.)

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 9. $(3a)^4$ .  | 10. $(2ax)^3$ .   | 11. $(abcd)^m$ .  |
| 12. $(2a^2)^4$ .   | 13. $(ax^m)^p$ .  | 14. $(2a^3x^4)^2$ .   |
| 15. $(5x^2y^2z^3)^3$ .   | 16. $[(xy^2)^2 \cdot z^2]^2$ .  | 17. $[a^2(b-c)^3]^4$ .  |
| 18. $(7x)^3(3y)^4(2az)^5$ .  | 19. $(a^{m+n}b^{m-n})^{m+n}$ .  | 22. $(5a^2)(3b)^2$ .  |
| 20. $a^3 \cdot x^3$ .  | 21. $25^4 \cdot 4^4$ .  | 24. $(3x)^5 \cdot (2y)^5 \cdot (4z)^5$ .  |
| 23. $(x+a)^4 \cdot (x-a)^4$ .  | 25. $x^n \cdot \left(\frac{1}{x}\right)^n$ .  | 26. $\left(1 + \frac{b}{a}\right)^n \cdot a^n$ .                                  |
| 27. $\left(\frac{2a}{5x}\right)^3 \cdot \left(\frac{15x}{2a}\right)^3$ .   | 28. $\left(\frac{2x}{3y}\right)^3$ .  | 29. $\left(\frac{8mn}{4pq}\right)^3$ .  |
| 30. $\left(\frac{a^2b^3}{cd^4}\right)^2$ .   | 31. $\left(\frac{3ab^2}{2x^2y}\right)^5$ .  | 32. $\left(\frac{a^m x^n}{b^n y^m}\right)^p$ .                                    |
| 33. $\left(\frac{a^4 b^5 c^2}{x^5 y^7}\right)^3$ .   | 34. $\left(\frac{3c^3 x^2}{6a^2 b^3}\right)^3 \cdot \left(\frac{10a^4 b}{9c^3 x^2}\right)^3$ .                | 35. $\left(\frac{2ax-3by}{3b} + y\right)^4$ .                                     |
| 36. $\left(1 - \frac{2bx-3a}{2bx}\right)^5$ .  | 37. $(8ab)^4 : (2b)^4$ .  | 38. $(x^2 - y^2)^m : (x - y)^m$ .   |
| 39. $x^n : \left(\frac{1}{y}\right)^n$ .   | 40. $\left(\frac{3ax}{4by}\right)^5 : \left(\frac{2x}{3b}\right)^5$ .   | 41. $\left(\frac{a-b}{a}\right)^m : \left(\frac{a+b}{a}\right)^m$ .               |
| 42. $\left(x - \frac{y^2}{x}\right)^n : \left(\frac{x}{y} + 1\right)^n$ .  | 43. $a x^m \cdot b x^n$ .   | 44. $7a^3 \cdot 3a^2$ .   |
| 45. $2m^4 n^3 \cdot 5m^4 n$ .  | 46. $3(a+b)^3 \cdot 4(a+b)^2$ .   | 47. $(3a^2 \cdot 2b^2)^4 \cdot (4ab)^3$ .   |
| 48. $(ab)^{m-2n} \cdot (ac)^{2m-n} \cdot (bc)^{n-m}$ .   | 49. $6a^{m+n} : 2a^n$ .   | 50. $9a^{2n+1} : 3a^3$ .  |
| 51. $\left(\frac{3x^2}{2y}\right)^3 : \left(\frac{3y^2}{4x}\right)^2$ .  | 52. $\left(\frac{ab}{2cd}\right)^4 \cdot \left(\frac{2c}{3ab}\right)^3 \cdot \left(\frac{3bc}{5a}\right)^2$ . | 53. $\frac{5ax^4}{6by^3} \cdot \frac{b^2x^2}{ay} \cdot \frac{3a^2y^4}{5b^3x^3}$ . |
| 54. $\frac{8a^6xy^4}{3bc^2z^5} : \frac{4a^5x^3y}{5b^2cz^4}$ .  | 55. $\left(\frac{a^4 b^3 c^2}{x^5 y^7}\right)^3 \cdot \left(\frac{x^4 y^6}{a^3 b^4 c}\right)^4$ .             | 56. $\left\{ \frac{(2x^3 y^2)^3 (3x^4 y^3)^2}{6x^2 y^2} \right\}^3$ .             |
| 57. $\left(\frac{2a^2 x^2}{3by^3}\right)^3 : \left(\frac{6ax^2}{5b^2 y}\right)^2 \cdot \left(\frac{3b^2}{4a^2}\right)^4$ . | 58. $\left\{ \frac{(2xy^2)^5 (3x^2 z^2)^4 \cdot (5y^3 z)^3}{(10x^3 y^2)^2 \cdot (6y^2 z^4)^3} \right\}^2$ .   |   |

## Verbindung des Potenzierens mit der Addition und Subtraction. (§. 155.)

59.  $3a^2 + 4a^2 + 6a^2$ .      60.  $5m^4 - 2m^4$ .  
 61.  $ax^3 + bx^2 + cx - x^3 - 2x^2 + 3x$ .  
 62.  $4x^m - 5x^n + 6x^p - x^n - 2x^m - 3x^p$ .  
 63.  $(2a^3 + 3b^3) \cdot a^2b^2$ .      64.  $(6x^4y^2 - 10x^3y^3) : 2xy^2$ .  
 65.  $(3a^3x^2 + 4b^2y^3)(3a^3x^2 - 4b^2y^3)$ .  
 66.  $(x^{3a-b} - x^{2a} + x^{a+b} - x^{2b} + x^{3b-a})(x^a + x^b)$ .  
 67.  $(x^{3m-n} - x^{2m} + x^{2n} - x^{3n-m}) : (x^m - x^n)$ .  
 68.  $(a^8 - b^8) : (a^5 + a^4b + ab^4 + b^5)$ .  
 (Aufgaben 163. bis 174. Seite 220, ferner 104. bis 122. Seite 222.)
69.  $(x^2 + a)^2$ .      70.  $(a^2 - x)^2$ .      71.  $(2a^2 + 3b^2)^2$ .  
 72.  $(x^m - y^n)^2$ .      73.  $(5x^3 - 6y^3)^2$ .      74.  $(mx^4 - n)^2$ .  
 75.  $(2a + b)^3$ .      76.  $(3x - 2y)^3$ .      77.  $(a^2 - 3b^2)^3$ .  
 78.  $(ax^3 - by^3)^3$ .      79.  $(2ax + 3ay)^3$ .      80.  $(mx^6 - nx^3)^3$ .  
 81.  $(5a^2 - 4x^2)^2 + (5a^2 + 4x^2)^2$ .      82.  $(ax^3 + by^3)^2 - (ax^3 - by^3)^2$ .  
 83.  $(a + bx + cx^2)^2$ .      84.  $(x^2 - abx + a^2b^2)^2$ .

## Potenzen mit algebraischer Basis. (§. 157.)

85.  $(-a)^4$ .      86.  $(-x)^6$ .      87.  $[(-y)^3]^5$ .  
 88.  $(-a^2)^3$ .      89.  $(-a^3)^2$ .      90.  $[(-z^2)^3]^4$ .  
 91.  $(-a^{2m})^{2n-1}$ .      92.  $(-a^{2n-1})^{2m}$ .      93.  $(-a)^4 \cdot (-a)^3$ .  
 94.  $(-a)^{2m+1} \cdot (-a)^{2n-1}$ .      95.  $(-4b)^2 \cdot (3x)^3$ .  
 96.  $(5x)^3 \cdot (-2y)^4$ .      97.  $(-8a)^2 \cdot (-3b)^5$ .      98.  $(m^3)^4 \cdot (-n^2)^6$ .  
 99.  $(-\frac{3a^3x}{4b^2y^2})^4$ .      100.  $[(-\frac{ab^2x^3}{c^3d^2z})^3]^2$ .

## 2. Wurzeln mit positiven ganzen Exponenten.

Verbindung des Radicierens mit sich selbst und mit dem Potenzieren. (§§. 161—165.)

1.  $\sqrt[m]{a^{mx}}$ .      2.  $\sqrt[3]{a^6}$ .      3.  $\sqrt[5]{a^{30}}$ .      4.  $\sqrt[p]{x^{mnp}}$ .  
 5.  $\sqrt[an]{x^{bm}}$ .      6.  $\sqrt[n]{a^{np+nr}}$ .      7.  $\sqrt{x^{am+an}}$ .  
 8.  $(\sqrt{a^3})^2$ .      9.  $(\sqrt{ab^2c^3})^3$ .      10.  $4a^2(\sqrt{x^2})^n$ .  
 11.  $(\sqrt[p]{a^m})^{pq}$ .      12.  $(\sqrt[m]{\frac{a^u b^p}{c^q}})^r$ .      13.  $(\sqrt[3]{\frac{ax\sqrt{x}}{\sqrt{ax^3}}})^4$ .  
 14.  $\sqrt[3]{\sqrt[n]{x}}$ .      15.  $\sqrt[3]{\sqrt{a}}$ .      16.  $\sqrt[3]{\sqrt{x^3}}$ .      17.  $\sqrt[8]{\sqrt[5]{a^{12}}}$ .  
 18.  $\sqrt[3]{\sqrt[3]{64}}$ .      19.  $\sqrt[m]{\sqrt[n]{\sqrt[p]{x}}}$ .      20.  $(\sqrt[m]{\sqrt[n]{a^m}})^n$ .      21.  $(\sqrt[4]{\sqrt[3]{a^8}})^6$ .

22. Wenn  $\sqrt[3]{262144} = 64$  ist, wie groß ist a)  $\sqrt[6]{262144}$ , b)  $\sqrt[9]{262144}$ ,  
c)  $\sqrt[18]{262144}$ ? 8 9 4

23. Stelle folgende Wurzeln mit einem gemeinsamen Wurzelexponenten dar:

a)  $\sqrt{x}$  und  $\sqrt[3]{x^2}$ ;      b)  $\sqrt[4]{x^3}$  und  $\sqrt[6]{y^5}$ ;

c)  $\sqrt[mn]{a^r}$  und  $\sqrt[mp]{b^s}$ ;      d)  $\sqrt[3]{a}$ ,  $\sqrt[3]{b^2}$  und  $\sqrt[5]{c^3}$ .

24. Kürze folgende Wurzeln ab:

a)  $\sqrt[4]{x^2}$ ;      b)  $\sqrt[6]{y^{15}}$ ;      c)  $\sqrt[18]{a^{12}}$ ;      d)  $\sqrt{x^{mpq}}$ .

*6 a^6 a^3 a^3*

Verbindung des Radicierens mit der Multiplication und Division.

(§§. 166 und 167.)

25.  $\sqrt[m]{x^a y^b}$ .      26.  $\sqrt{9 \cdot 49}$ .      27.  $\sqrt[3]{27 a^3 b^6}$ .

28.  $\frac{a}{b} \sqrt[3]{b^3 x^3}$ .      29.  $\sqrt{\sqrt[3]{16^3 \cdot 81^3}}$ .      30.  $\sqrt{\sqrt[3]{8^m \cdot 27^m}}$ .

31.  $\sqrt{(x^2 + y^2)^2 - (x^2 - y^2)^2}$ .      32.  $\sqrt{\sqrt[m]{a^2 b^4 c^6}}$ .

Befreie in den folgenden Wurzeln jene Factoren des Radicands, aus denen sich die Wurzel ziehen läßt, von dem Wurzelzeichen:

33.  $\sqrt[n]{a^n b}$ .      34.  $\sqrt[2m]{a^{4m} x}$ .      35.  $\sqrt[x]{a^{2x} b^x c}$ .      36.  $\sqrt{4 \cdot 5}$ .

37.  $\sqrt{1200}$ .      38.  $7 \sqrt{75}$ .      39.  $\sqrt[3]{48}$ .      40.  $2 \sqrt[3]{81}$ .

41.  $\sqrt[4]{80}$ .      42.  $\sqrt[m]{x^{m+n}}$ .      43.  $\sqrt{x^3}$ .      44.  $\sqrt{4 a^3 b}$ .

45.  $x \sqrt{y^3 z^3}$ .      46.  $m \sqrt[a^6 b^5 c^4]{}$ .      47.  $\frac{1}{xy} \sqrt[m]{x^{m+1} y^{m+1}}$ .

~~48.~~  $\sqrt{8} \cdot \sqrt{2}$ .      ~~49.~~  $\sqrt[3]{5} \cdot \sqrt[3]{200}$ .      ~~50.~~  $6 \sqrt{6} \cdot 5 \sqrt{2}$ .

~~51.~~  $\sqrt[n]{a^n} \cdot \sqrt[n]{a^q}$ .      ~~52.~~  $\sqrt[n^5]{n} \cdot \sqrt[n]{n}$ .      ~~53.~~  $\sqrt[3]{a^7} \cdot \sqrt[3]{a^5}$ .

54.  $\sqrt{\frac{x}{y}} \cdot \sqrt{xy}$ .      55.  $\sqrt[3]{\frac{4a}{9b}} \cdot \sqrt[3]{\frac{2b}{3a}}$ .

56.  $\sqrt{9x^2 - 4} \cdot \sqrt{\frac{3x-2}{(3x+2)^3}}$ .      57.  $\sqrt[n]{a x^{n+1}} \cdot \sqrt[n]{b x^{n-1}}$ .

~~58.~~  $\sqrt[m]{x y^2 z^3} \cdot \sqrt[m]{x^2 y^{m-2} z^{2m-8}} \cdot \sqrt[m]{x^{m-3} z^{5-m}}$ .

~~59.~~  $\sqrt[3]{a} \cdot \sqrt[3]{a}$ .      ~~60.~~  $\sqrt[3]{x^2} \cdot \sqrt[4]{x^3}$ .      ~~61.~~  $\sqrt[6]{a^5} \cdot \sqrt[9]{a^7}$ .

~~62.~~  $3 \sqrt[3]{b^2} \cdot 5 \sqrt[4]{b^3} \cdot \sqrt[12]{b}$ .      ~~63.~~  $a \sqrt{xy} \cdot b \sqrt{x^3 y^3} \cdot c \sqrt{x^7 y^7}$ .

Bringe in den folgenden Wurzeln den Factor unter das Wurzelzeichen:

64.  $a \sqrt{x}$ .      65.  $4 \sqrt{5a}$ .      66.  $4x \sqrt[3]{x}$ .

67.  $x \sqrt{\frac{a}{x}}$ .      68.  $\frac{x}{y} \sqrt{\frac{y^2}{x^2}}$ .      69.  $ab \sqrt[\frac{p}{ap-1}]{\frac{1}{bp-1}}$ .

70.  $(a + b) \sqrt{\frac{a-b}{a+b}}$     71.  $\frac{x^2 y}{a^2 b} \sqrt{\frac{a^2 b}{x^2 y}}$     72.  $\sqrt[5]{a^2 \sqrt[3]{a^8}}$
73.  $\sqrt[m]{a^p \sqrt[q]{a^q}}$     74.  $x \sqrt[m]{x \sqrt[n]{x}}$     75.  $\sqrt{2\sqrt{2\sqrt{2}}}$
76.  $\sqrt[m]{\frac{a m n}{b m p}}$     ~~77.  $\sqrt{\frac{49}{64}}$~~     ~~78.  $\sqrt[3]{\frac{27}{125}}$~~     ~~79.  $\sqrt{2\frac{7}{9}}$~~
80.  $\sqrt{\frac{25}{16} + \frac{3}{2}}$     81.  $\sqrt{\frac{49}{16} - \frac{5}{2}}$     82.  $\sqrt[5]{\frac{a^5 x^{10}}{b^5 y^{10}}}$     83.  $\sqrt[3]{\frac{8 a^4 b}{27 c^4}}$
84.  $5 \sqrt{\frac{3x}{25 a^2}}$     85.  $\sqrt[n]{\frac{1}{a m n}}$     86.  $\sqrt[3]{\frac{a^p}{a^6}}$     87.  $\sqrt{a^{m-2}}$
88.  $\sqrt[m]{\frac{a m n b m p c m q}{x m r y m s}}$     89.  $\sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2} + \frac{a^2 + b^2}{b^2}}$
- ~~90.  $\sqrt{75} : \sqrt{3}$~~     ~~91.  $\sqrt[3]{108} : \sqrt[3]{4}$~~     ~~92.  $3\sqrt{8} : 2\sqrt{2}$~~
93.  $\sqrt[m]{a x} : \sqrt[m]{a}$     94.  $\sqrt[3]{48 x} : \sqrt[3]{6 x}$     95.  $\sqrt{a b} : \sqrt{b x}$
96.  $\sqrt[5]{a^4} : \sqrt[5]{a^3}$     97.  $\sqrt{a} : \sqrt{\frac{a}{b}}$     98.  $\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{\sqrt{a - b}}$
99.  $1 : \sqrt[n]{\frac{a}{b}}$     100.  $1 : \sqrt{0 \cdot 25}$     ~~101.  $1 : \sqrt{\frac{x-2y}{x^3 - 3xy^2 - 2y^3}}$~~
- ~~102.  $\sqrt[4]{a} : \sqrt[6]{a}$~~     ~~103.  $\sqrt[5]{a^4} : \sqrt[3]{a^2}$~~     ~~104.  $m \sqrt{a} : \sqrt{a}$~~
105.  $\sqrt[4]{a^3} : \sqrt[3]{a}$     106.  $a : \sqrt[n]{a}$     107.  $\frac{a}{x} : \sqrt{a x}$
108.  $\sqrt{\frac{a+x}{a^2-x^2}}$     109.  $a \sqrt[3]{\frac{b^2}{a \sqrt{a b}}}$     110.  $(x+y) : \sqrt[m]{\frac{(x+y)^{m-1}}{x-y}}$

Verbindung des Radicierens mit der Addition und Subtraction. (§. 168.)

111.  $\sqrt[3]{a} + 4\sqrt[3]{a} + 5\sqrt[3]{a}$     112.  $a \sqrt[m]{x^n} - b \sqrt[m]{x^n}$
113.  $a + b \sqrt{m} + c - d \sqrt{m}$     114.  $5\sqrt[8]{a^3} - 2\sqrt[8]{a^3} + 3\sqrt[8]{a^3}$
115.  $m \sqrt{a} + n \sqrt[3]{a} + 2\sqrt{a} - 3\sqrt[3]{a}$
116.  $a \sqrt[m]{b} - 2b \sqrt[n]{a} - 2a \sqrt[m]{b} + 8b \sqrt[n]{a} - 5b \sqrt[n]{a} + 6a \sqrt[m]{b}$
- Stelle mit gleichen Radicanden dar und reducire:
117.  $\sqrt{2} + \sqrt{8} + 3\sqrt{50}$     118.  $4\sqrt{50} + 2\sqrt{72} + \sqrt{128}$
119.  $6\sqrt{125} - 3\sqrt{80} + 2\sqrt{20}$     120.  $4\sqrt[3]{2} - 2\sqrt[3]{54} + \sqrt[3]{128}$
- ~~121.  $6\sqrt{12} - 4\sqrt{27} + 7\sqrt{48} - 5\sqrt{75} + 2\sqrt{108}$~~

122.  $\sqrt{a^5} + \sqrt{a^3} + \sqrt{a}$ .

123.  $\sqrt{a^2x} + 2\sqrt{b^2x} + 3\sqrt{c^2x}$ .

124.  $5a\sqrt{12x^3} - 2x\sqrt{27a^2x}$ .

125.  $4\sqrt[3]{3x} - 2\sqrt[3]{24x} + \sqrt[3]{192x}$ .

126.  $\sqrt[3]{a}\sqrt[3]{a^2} + 3\sqrt[3]{a^2}\sqrt[3]{a}$ .

127.  $3\sqrt[4]{a}\sqrt[4]{a}\sqrt[4]{a} - 2\sqrt[4]{a^2}\sqrt[4]{a^3}$ .

128.  $\sqrt{4x^3y} - 5y\sqrt{xy} - x\sqrt{4xy} + \sqrt{25xy^3}$ .

129.  $4\sqrt{1+a^2} - \sqrt{9+9a^2} - 2\sqrt{x^2+a^2x^2} + \sqrt{x^4(1+a^2)}$ .

130.  $(x-y)\sqrt{\frac{xy}{x^2-2xy+y^2}} - xy\sqrt{\frac{1}{xy}} + x\sqrt{\frac{y}{x}}$ .

131.  $(\sqrt[3]{a} - 2\sqrt[3]{b})\sqrt[3]{x}$ .

132.  $(3\sqrt[3]{2a} + 4)\sqrt[3]{4a^2}$ .

133.  $(2\sqrt{8} - 7\sqrt{18} - \sqrt{50} + 4\sqrt{72})\sqrt{2}$ .

134.  $(4 + 3\sqrt{2})(3 - 2\sqrt{2})$ .

135.  $(8 - 3\sqrt{5})(7 + 21\sqrt{5})$ .

136.  $(a + \sqrt{b})(a - \sqrt{b})$ .

137.  $\sqrt{3 + \sqrt{5}}\sqrt{3 - \sqrt{5}}$ .

138.  $\sqrt{(x+y) + \sqrt{2xy}}\sqrt{(x+y) - \sqrt{2xy}}$ .

139.  $\sqrt{\sqrt{a+x} + \sqrt{a-x}}\sqrt{\sqrt{a+x} - \sqrt{a-x}}$ .

140.  $(\sqrt{x} + \sqrt{y} + \sqrt{z})(\sqrt{x} + \sqrt{y} - \sqrt{z})$ .

141.  $(\sqrt{a+b} - \sqrt{a} + \sqrt{b})(\sqrt{a+b} + \sqrt{a} - \sqrt{b})$ .

142.  $\frac{x + \sqrt{x^2-1}}{x - \sqrt{x^2-1}} - \frac{x - \sqrt{x^2-1}}{x + \sqrt{x^2-1}}$ .

143.  $\frac{1 - \sqrt{x}}{1 + \sqrt{x}} + \frac{3\sqrt{x}}{1 - \sqrt{x}} - \frac{3x + \sqrt{x}}{1 - x}$ .

144.  $(\sqrt[3]{(x+1)^2} + \sqrt[3]{(x-1)^2} + \sqrt[3]{x^2-1})(\sqrt[3]{x+1} - \sqrt[3]{x-1})$ .

145.  $(3\sqrt[4]{7} + 4\sqrt[4]{3})(2\sqrt[4]{7} - 2\sqrt[4]{3})$ .

146.  $(\sqrt[3]{ab} + 3\sqrt[3]{xy})(5\sqrt[3]{ab} + 4\sqrt[3]{xy})$ .

147.  $(\sqrt[4]{x} - \sqrt[4]{y})(\sqrt[4]{x} + \sqrt[4]{y})(\sqrt[4]{x} + \sqrt[4]{y})$ .

148.  $(3\sqrt{8} - 5\sqrt{20}) : \sqrt{2}$ .

149.  $(\sqrt[3]{a^2b} - \sqrt[3]{ab^2}) : \sqrt[3]{ab}$ .

150.  $(2\sqrt[3]{54} - 3\sqrt{2}) : \sqrt[3]{2}$ .

151.  $(6\sqrt{x} + 8x) : 2\sqrt{x}$ .

152.  $(\sqrt{ax} - \sqrt{cx} + \sqrt{az} - \sqrt{cz}) : (\sqrt{a} - \sqrt{c})$ .

153.  $(B - b) : (\sqrt{B} - \sqrt{b})$ .

154.  $(x - y) : (\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{y})$ .

155.  $\sqrt{\frac{m+n+2\sqrt{mn}}{m-n}} : \sqrt{\frac{\sqrt{m} + \sqrt{n}}{\sqrt{m} - \sqrt{n}}}$ .

156.  $(a + \sqrt{b})^2$ . 157.  $(\sqrt{a} - \sqrt{b})^2$ .  
 158.  $(5 - 2\sqrt{5})^2$ . 159.  $(3\sqrt{2} + 2\sqrt{3})^2$ .  
 160.  $(\sqrt{5} + \sqrt{10} + \sqrt{15})^2$ . 161.  $(1 - 2\sqrt{2} + 3\sqrt{2})^2$ .  
 162.  $(3x\sqrt{y} - 2y\sqrt{x})^2$ . 163.  $(\sqrt{2x+a} - \sqrt{2x-a})^2$ .  
 164.  $(\sqrt{x} + \sqrt{y})^2 + (\sqrt{x} - \sqrt{y})^2$ . 165.  $(\sqrt{5} + \sqrt{3})^2 - (\sqrt{5} - \sqrt{3})^2$ .  
 166.  $\left\{ \sqrt{\frac{3+\sqrt{8}}{2}} + \sqrt{\frac{3-\sqrt{8}}{2}} \right\}^2$ . 167.  $\left\{ \sqrt{\frac{4+\sqrt{11}}{2}} - \sqrt{\frac{4-\sqrt{11}}{2}} \right\}^2$ .  
 168.  $\left\{ \sqrt{\frac{a+\sqrt{a^2-b}}{2}} \pm \sqrt{\frac{a-\sqrt{a^2-b}}{2}} \right\}^2$ .  
 169.  $[\sqrt{\sqrt{a+b} + \sqrt{a-b}} \pm \sqrt{\sqrt{a+b} - \sqrt{a-b}}]^2$ .  
 170.  $[\sqrt{\sqrt{a^3} + \sqrt{a^6-b^6}} - \sqrt{\sqrt{a^3} - \sqrt{a^6-b^6}}]^2$ .  
 171.  $(4a\sqrt[3]{b} - 3b\sqrt[3]{a})^3$ . 172.  $(a - 3\sqrt[3]{a^2} + 4\sqrt[3]{a})^3$ .

Umformung von irrationalen Wurzelausdrücken. (§§. 170—173.)

Befreie folgende Brüche von dem irrationalen Nenner:

173.  $\frac{2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}$  174.  $\frac{6r}{\sqrt{3}}$  175.  $\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{a^2}}$  176.  $\frac{m}{\sqrt{x}\sqrt{x}}$   
 177.  $\frac{8x}{\sqrt[5]{(2x)^3}}$  178.  $\frac{3a^2}{5\sqrt[3]{2a}}$  179.  $\frac{2x\sqrt{x}}{3\sqrt[3]{3x}}$  180.  $\frac{3x\sqrt[4]{5a}}{2\sqrt[2]{2a}}$   
 181.  $\frac{a+x}{\sqrt{a^2-x^2}}$  182.  $\frac{\sqrt{2x+3y}}{\sqrt{2x-3y}}$  183.  $\frac{\sqrt{1-x}}{\sqrt[3]{1-x^2}}$   
 184.  $\frac{2s}{\sqrt{5-1}}$  185.  $\frac{\sqrt{2}}{2-\sqrt{2}}$  186.  $\frac{4\sqrt{3}}{1+3\sqrt{3}}$   
 187.  $\frac{2+\sqrt{3}}{2-\sqrt{3}}$  188.  $\frac{3-\sqrt{7}}{3+\sqrt{7}}$  189.  $\frac{2a+3\sqrt{b}}{3a-2\sqrt{b}}$   
 190.  $\frac{x+\sqrt{x^2-1}}{x-\sqrt{x^2-1}}$  191.  $\frac{a+b+\sqrt{a^2+b^2}}{a+b-\sqrt{a^2+b^2}}$  192.  $\frac{m}{a\sqrt{b}+b\sqrt{a}}$   
 193.  $\frac{\sqrt{ab}}{\sqrt{\frac{a}{b}} - \sqrt{\frac{b}{a}}}$  194.  $\frac{1}{\sqrt{\frac{2}{3}} + \sqrt{\frac{3}{5}}}$  195.  $\frac{2\sqrt{5} + \sqrt{3}}{3\sqrt{5} - 2\sqrt{3}}$   
 196.  $\frac{\sqrt{x+y} + \sqrt{x-y}}{\sqrt{x+y} - \sqrt{x-y}}$  197.  $\frac{a\sqrt{1-a^2} + b\sqrt{1-b^2}}{a\sqrt{1-b^2} + b\sqrt{1-a^2}}$   
 198.  $\frac{1+2\sqrt{3}}{2+\sqrt{3}+\sqrt{5}}$  199.  $\frac{\sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{5}}{\sqrt{2} + \sqrt{3} - \sqrt{5}}$   
 200.  $\frac{\sqrt{10}}{\sqrt{2} - \sqrt{3}}$  201.  $\frac{2s}{\sqrt{10} - 2\sqrt{5}}$  202.  $\sqrt{\frac{3+\sqrt{2}}{3-\sqrt{2}}}$

$$203. \frac{\sqrt{x^2 + \sqrt{x^4 - y^4}}}{\sqrt{x^2 - \sqrt{x^4 - y^4}}}$$

$$205. \frac{4\sqrt{2} + 2\sqrt{3}}{3\sqrt{2} + 2\sqrt{3} - 2\sqrt{6}}$$

$$207. \frac{\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x} - \sqrt{1+y} + \sqrt{1-y}}{\sqrt{1+x} + \sqrt{1-x} + \sqrt{1+y} + \sqrt{1-y}}$$

$$208. \frac{a}{\sqrt[4]{x} - \sqrt[4]{y}}$$

$$209. \frac{3 + \sqrt{5}}{\sqrt{3} + \sqrt{5}}$$

$$210. \frac{5}{\sqrt[8]{5} + \sqrt[8]{3}}$$

$$211. \frac{2}{\sqrt[3]{5} - \sqrt[3]{2}}$$

$$212. \frac{\sqrt[3]{10}}{2 + \sqrt[3]{7}}$$

$$213. \frac{\sqrt[3]{2}}{\sqrt[3]{4} - \sqrt[3]{2}}$$

$$214. \frac{\sqrt[3]{3} - 2\sqrt[3]{9}}{4\sqrt[3]{9} - 3\sqrt[3]{3}}$$

$$215. \frac{5\sqrt[3]{6} - 2\sqrt[3]{12}}{4\sqrt[3]{12} + 2\sqrt[3]{6}}$$

$$216. \frac{2 + 7\sqrt{5}}{\sqrt{3} - \sqrt{6}}$$

Verwandle folgende Summen und Differenzen von Quadratwurzeln in eine Quadratwurzel:

$$217. \sqrt{2} + \sqrt{3} + \sqrt{2} - \sqrt{3} \quad 218. \sqrt{3} + \sqrt{5} + \sqrt{3} - \sqrt{5}$$

$$219. \sqrt{12} + \sqrt{23} - \sqrt{12} - \sqrt{23} \quad 220. \sqrt{3} + 2\sqrt{2} - \sqrt{3} - 2\sqrt{2}$$

$$221. \sqrt{5} + 2\sqrt{6} \pm \sqrt{5} - 2\sqrt{6} \quad 222. \sqrt{11} + 6\sqrt{2} \pm \sqrt{11} - 6\sqrt{2}$$

$$223. \sqrt{7} + 2\sqrt{10} \pm \sqrt{7} - 2\sqrt{10} \quad 224. \sqrt{14} + 6\sqrt{5} \pm \sqrt{14} - 6\sqrt{5}$$

$$225. \sqrt{1 + 2a} \sqrt{1 - a^2} \pm \sqrt{1 - 2a} \sqrt{1 - a^2}$$

$$226. \sqrt{2a + 2\sqrt{a^2 - b^2}} \pm \sqrt{2a - 2\sqrt{a^2 - b^2}}$$

Verwandle jede der folgenden Quadratwurzeln in die Summe oder die Differenz zweier Quadratwurzeln:

$$227. \sqrt{6} + \sqrt{11} \quad 228. \sqrt{3} - \sqrt{5} \quad 229. \sqrt{7 - 4\sqrt{3}}$$

$$230. \sqrt{8} + 3\sqrt{7} \quad 231. \sqrt{11 \pm 2\sqrt{10}} \quad 232. \sqrt{11 \pm 2\sqrt{30}}$$

$$233. \sqrt{18 \pm 8\sqrt{2}} \quad 234. \sqrt{37 \pm 20\sqrt{3}} \quad 235. \sqrt{99 \pm 54\sqrt{2}}$$

$$236. \sqrt{7\sqrt{2} \pm 4\sqrt{6}} \quad 237. \sqrt{2\sqrt{5} \pm \sqrt{15}} \quad 238. \sqrt{6\sqrt{5} \pm 4\sqrt{10}}$$

$$239. \sqrt{x + y + 2\sqrt{xy}} \quad 240. \sqrt{x^2 + yz + 2x\sqrt{yz}}$$

$$241. \sqrt{x^2 - 2y\sqrt{x^2 - y^2}} \quad 242. \sqrt{2x^2 + y^2 + 2x\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$243. \sqrt{a^2 + b^2 + ab + 2\sqrt{ab(a^2 + b^2)}}$$

$$244. \sqrt{10a^4 + a^2b^2 + 6a^3\sqrt{a^2 + b^2}}$$

Löse folgende irrationale Gleichungen auf:

245.  $3\sqrt{x-1} = 4.$

246.  $\sqrt{4x^2 + 8x - 11} = 2x + 1.$

247.  $\sqrt{2x+1} + 5 = 4(\sqrt{2x+1} - 1).$

248.  $(b - a\sqrt{x}) : (a - b\sqrt{x}) = a(b^2 - 1) : b(a^2 - 1).$

249.  $\sqrt{x+1} + \sqrt{x-1} = p.$  250.  $\sqrt{x+4} + \sqrt{x-1} = \sqrt{4x+5}.$

251.  $\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{x}}} = 2.$  252.  $\sqrt{x + \sqrt{x + \sqrt{x + \dots}}} = a.$

253.  $4 - \sqrt{x} + \sqrt{4+x}.$  254.  $\sqrt{x+2a} + \sqrt{x+a} = a.$

255.  $\sqrt{a-x} + \sqrt{b-x} = \sqrt{a-x}.$

256.  $\sqrt{8x-7} - \frac{2x-2}{\sqrt{2x+3}} = \sqrt{2x+3}.$

257.  $x - 2a - \sqrt{x^2 - b^2} = (x - a) \left\{ 1 - \frac{x}{\sqrt{x^2 - b^2}} \right\}.$

258.  $\left. \begin{array}{l} 3\sqrt{x} - 2\sqrt{y} = 9, \\ 2\sqrt{x} - 3\sqrt{y} = 1. \end{array} \right\} \text{ Setze } \sqrt{x} = u, \sqrt{y} = v.$

259.  $b\sqrt{x} + a\sqrt{y} = ab(c+d),$  260.  $2\sqrt{x+5} - 3\sqrt{y-2} = 3,$   
 $d\sqrt{x} + c\sqrt{y} = cd(a+b).$   $3\sqrt{x+5} - 4\sqrt{y-2} = 5.$

261.  $\frac{4}{\sqrt{x}} - \frac{3}{\sqrt{y}} = 6,$

262.  $\frac{5}{\sqrt{x-2}} + \frac{4}{\sqrt{y+2}} = 2,$

$\frac{3}{\sqrt{x}} - \frac{4}{\sqrt{y}} = 1.$

$\frac{15}{\sqrt{x-2}} - \frac{8}{\sqrt{y+2}} = 1.$

Wurzeln mit algebraischem Radicand. (§. 174.)

263.  $\sqrt[3]{+25}.$

264.  $\sqrt[3]{+27}.$

265.  $\sqrt[3]{-27}.$

266.  $\sqrt[3]{-m^6}.$

267.  $\sqrt[5]{(-a)^{30}}.$

268.  $\sqrt[3]{(-x)^5} \cdot -x.$

269.  $\sqrt[3]{(-a)^5}.$

270.  $\sqrt[3]{(-a^2)^4}.$

271.  $\sqrt[3]{x} \cdot \sqrt[3]{-x}.$

272.  $7\sqrt[3]{3} - 2\sqrt[3]{-24} + 4\sqrt[3]{-81} - \sqrt[3]{-192}.$

3. Potenzen und Wurzeln mit negativen und gebrochenen Exponenten.

Negative Exponenten. (§§. 175—178.)

1. Bestimme die Werte folgender Potenzen:

a)  $2^{-6},$  b)  $6^{-2},$  c)  $4^{-3},$  d)  $0 \cdot 4^{-1},$  e)  $0 \cdot 125^{-3},$

f)  $\frac{1}{3^{-4}},$  g)  $\left(\frac{1}{x}\right)^{-5},$  h)  $\left(\frac{5}{8}\right)^{-3},$  i)  $\left(\frac{15}{16}\right)^{-1},$  k)  $\frac{1}{x^2} \cdot \left(\frac{m}{x}\right)^{-2}.$

2. Befreie von den negativen Exponenten:

a)  $2x^2y^{-2}$ ,

b)  $3a^3b^{-3}$ ,

c)  $ab^{-1}x^{-1}y$ ,

d)  $\frac{ax-m}{by-m}$ ,

e)  $\frac{3a^2m^{-3}y^{-1}}{4b^2n^{-2}x^{-2}}$ ,

f)  $\frac{13a^{-2}b^{-1}c^5}{8x^3y^{-5}z^{-2}}$ .

3. Bringe auf die Form von ganzen Zahlen:

a)  $\frac{5x}{y} = 5xy^{-1}$

b)  $\frac{2ax^{-2}}{b^{-1}}$ ,

c)  $\frac{m^3x^2}{y^3z^{-2}}$ ,

d)  $\frac{12a^{-4}b}{25x^{-3}y^2}$ .

Berechne und stelle die Resultate mit positiven Exponenten dar:

4.  $(x^{-2})^4$ .

5.  $(x^{-1})^{-1}$ .

6.  $[(x^{-m})^n]^{-p}$ .

7.  $(-a^3)^{-2n}$ .

8.  $(-a^{-2})^{2n-1}$ .

9.  $(-a^{2n-1})^{-2}$ .

10.  $(a^{-3}b^4)^{-2}$ .

11.  $(3a^2b^{-1}x^3y^{-1})^3$ .

12.  $(-2x^{-3}y^3z^{-1})^4$ .

13.  $\left(\frac{x+y}{x-y}\right)^{-2}$ .

14.  $\left(\frac{2a^2b^3}{3mx^{-2}}\right)^{-1}$ .

15.  $\left(\frac{1}{x}\right)^5 \cdot \left(\frac{1}{y}\right)^{-7} \cdot \left(\frac{y}{x}\right)^{-6}$ .

16.  $5^{-2} \cdot \left(\frac{2}{5}\right)^{-3}$ .

17.  $(5a^{-1})^{-2} \cdot (3b)^{-2}$ .

18.  $(x^{-p})^{-s} \cdot (y^{-q})^{-s}$ .

19.  $\left(\frac{x}{x+y}\right)^{-m} : \left(\frac{x}{x-y}\right)^{-m}$ .

20.  $\frac{(a^2b^{-3})^{-1}}{(x^2y^{-2})^{-1}}$ .

21.  $a^5 \cdot a^{-3}$ .

22.  $x^{m+2} \cdot x^{-3}$ .

23.  $(-3a^{-5}) \cdot (-2a^{-1})$ .

24.  $x^{n-3} : x^{-5}$ .

25.  $a^{-1} : a^4$ .

26.  $-4a : a^{-1}$ .

27.  $6a^3b^{-2} : 2a^4b^{-3}$ .

28.  $36a^{-1}b^{-2}c^{-3} : 6a^{-2}b^{-3}c^{-4}$ .

29.  $(ax^{-4} + bx^{-3} + cx^{-2} + dx^{-1} + e) \cdot x^4$ .

30.  $(x^{-1}y^{-5} - 2xy^{-3} + 3x^3y^{-1})(3x^{-1}y^{-5} + 2xy^{-3} - x^3y^{-1})$ .

31.  $(a^{-5} + b^{-5}) : (a^{-1} + b^{-1})$ .

32.  $(3a^{-3}x^2 - 4a^2x^{-3})^2$ .

33. Bestimme die Werte folgender Wurzeln:

a)  $\sqrt[n]{x}$ ,

b)  $\sqrt[3]{27}$ ,

c)  $\sqrt[4]{16}$ ,

d)  $\sqrt[2]{0 \cdot 25}$ ,

e)  $\sqrt[m]{a^{-mn}}$ .

Stelle folgende Ausdrücke in ihrer einfachsten Form ohne negative Exponenten dar:

34.  $\sqrt[2]{\sqrt[3]{64}}$ .

35.  $\sqrt[2]{\sqrt[3]{a^{-mn}}}$ .

36.  $\sqrt[n]{x^{np}y^{nq}}$ .

37.  $\sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{a}$ .

38.  $a \cdot \sqrt[n]{a}$ .

39.  $\sqrt[n]{a^3} \cdot \sqrt[n]{a}$ .

40.  $\sqrt[3]{a^2} : \sqrt[2]{a}$ .

41.  $\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{a}$ .

42.  $\sqrt[n]{a} : \sqrt[n]{a}$ .

43.  $\sqrt[2]{\frac{a^2}{b^2}}$ .

44.  $\sqrt[3]{\frac{8}{125}}$ .

45.  $\sqrt[3]{\frac{a^{-3}b^6c^{-9}}{x^{-6}y^3}}$ .

Gebrochene Exponenten. (§§. 179 und 180.)

46. Verwandle in Wurzeln und berechne:

a)  $25^{\frac{1}{2}}$ ,

b)  $16^{\frac{1}{4}}$ ,

c)  $8^{\frac{2}{3}}$ ,

d)  $32^{\frac{3}{5}}$ ,

e)  $49^{0 \cdot 5}$ ,

f)  $81^{0 \cdot 25}$ ,

g)  $64^{1 \cdot 5}$ ,

h)  $16^{1 \cdot 75}$ ,

i)  $9^{-\frac{1}{2}}$ ,

k)  $125^{-\frac{1}{3}}$ ,

l)  $\left(\frac{1}{16}\right)^{-\frac{3}{4}}$ ,

m)  $\left(\frac{27}{64}\right)^{-\frac{2}{3}}$ .

47. Verwandle in Wurzeln mit ganzen Exponenten und berechne:

$$\begin{array}{llll} \text{a) } \sqrt[1/3]{3}, & \text{b) } \sqrt[3/4]{8}, & \text{c) } \sqrt[5/6]{5\frac{1}{6}}, & \text{d) } \sqrt[0.4]{9}, \\ \text{e) } \sqrt[2/3]{49}, & \text{f) } \sqrt[3/5]{36}, & \text{g) } \sqrt[4/8]{\frac{1}{81}}, & \text{h) } \sqrt[0.2]{2}. \end{array}$$

Berechne und stelle die Resultate als Wurzeln und Potenzen mit positiven ganzen Exponenten dar:

$$\begin{array}{llll} 48. (x^n)^{1/2} & 49. (x^n)^{1/n} & 50. (x^{-1/n})^{-1/m} & 51. (a^{2/3})^{3/4} \\ 52. (a^{-3/5})^{-2/3} & 53. (a^{m+p})^{-n/m-p} & 54. \sqrt[m]{x^{-2m}} & 55. \sqrt[3]{a^{3/4}} \\ 56. \sqrt[3]{(x^{1/2})^{5/2}} & 57. (4.25)^{1/2} & 58. (xy^{-2}z^3)^{2/3} & 59. (a^{2/3}b^{5/6})^6 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} 60. \left(\frac{a^2}{b^2}\right)^{1/2} & 61. \left(\frac{x^{2/3}}{y^{1/2}}\right)^{3/5} & 62. \left(\frac{81n^5p^4}{16m^9q^6}\right)^{-3/4} \\ 63. a^{1/2} \cdot b^{1/2} & 64. x^{-2/3} \cdot (32y)^{-3/5} & 65. \left(\frac{4}{5}\right)^{1/2} \cdot \left(3\frac{1}{8}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^{1/2} \\ 66. a^{2/3} \cdot a^{1/4} & 67. 5^{2/3} \cdot 5^{1/2} \cdot 5^{5/6} & 68. x^{0.1} \cdot x^{0.02} \cdot x^{0.005} \\ 69. a^{m/n} : a^{n/m} & 70. a^{5/3} : a^{-2/3} & 71. a^{m/n} \cdot x^{1/n} : x^{m-1/n} \end{array}$$

$$72. (x^{2/3} + y^{2/3})(x^{1/2} - y^{5/6}) \quad 73. (2a - 3b^{5/6})(5a^{2/3} + 6b^{1/3})$$

$$74. (a + a^{1/2} - a^{2/3} - a^{5/6})(1 + a^{1/3} + a^{2/3} + a^6)$$

$$75. (6x^{7/6} - 8x^{5/3} + 3x^{2/3} - 4x^{1/6}) : (3x^{1/3} - 4x^{2/3})$$

$$76. (24a^{3/4} + 3^3 a^{2/3} + \frac{3}{2}) : (6a^{2/3} + a^{1/2} + \frac{1}{2})$$

$$77. (2a^{1/2} + 3b^{-3/4})^2$$

$$78. (x^{-1/2} - y^{2/3})^3$$

#### 4. Imaginäre und komplexe Zahlen.

(§§. 181—184.)

1. Bringe auf die Form  $b\sqrt{-1} = bi$  folgende imaginäre Zahlen:

$$\text{a) } \sqrt{-16}, \quad \text{b) } \sqrt{-49}, \quad \text{c) } \sqrt{-64}, \quad \text{d) } \sqrt{-100},$$

$$\text{e) } \sqrt{-a^2}, \quad \text{f) } \sqrt{-x^4}, \quad \text{g) } \sqrt{-b^{2n}}, \quad \text{h) } \sqrt{-y^{2m+2}},$$

$$\text{i) } \sqrt{-2}, \quad \text{k) } \sqrt{-3}, \quad \text{l) } \sqrt{-45}, \quad \text{m) } \sqrt{-72},$$

$$\text{n) } \sqrt{-a}, \quad \text{o) } \sqrt{-a^2b}, \quad \text{p) } \sqrt{-x^5}, \quad \text{q) } \sqrt{-x^{2n+1}y}.$$

$$2. i + 3i. \quad 3. ai - (a - b)i. \quad 4. 5\sqrt{-2} + 3\sqrt{-2}.$$

$$5. \sqrt{-12} + \sqrt{-75}. \quad 6. \sqrt{-4} + \sqrt{-9} + \sqrt{-16}.$$

$$7. \sqrt{-4} - 2\sqrt{-36} + \sqrt{-100}.$$

$$8. 2a\sqrt{-x^2} - b\sqrt{-4x^2}.$$

9.  $+i + i$ .      10.  $+i - i$ .      11.  $-i - i$ .  
 12.  $5i \cdot 3$ .      13.  $\sqrt{-x^2} \cdot \sqrt{-y^2}$ .      14.  $\sqrt{-2} \cdot -\sqrt{-2}$ .  
 15.  $a\sqrt{-a} \cdot -b\sqrt{-b}$ .      16.  $\sqrt{-xy} \cdot \sqrt{-xy^2} \cdot \sqrt{-x^2y^3}$ .  
 17.  $\sqrt{-ab} \cdot \sqrt{-a^3b} \cdot \sqrt{-ab^3} \cdot \sqrt{-a^3b^5}$ .  
 18.  $(\sqrt{-a} + \sqrt{-b})(\sqrt{-a} - \sqrt{-b})$ .  
 19.  $(\sqrt{-2} + \sqrt{-3} - \sqrt{-4})(\sqrt{-2} - \sqrt{-3} + \sqrt{-4})$ .  
 20.  $\sqrt{-ab} : \sqrt{b}$ .      21.  $\sqrt{-ab} : \sqrt{-b}$ .  
 22.  $x : \sqrt{-x}$ .      23.  $\sqrt{80} : 2\sqrt{-5}$ .  
 24.  $5\sqrt{-6} : \sqrt{-3}$ .      25.  $\sqrt{-xy^3} : \sqrt{-x^3y}$ .  
 26.  $(\sqrt{-ab} + \sqrt{-ac}) : \sqrt{-a}$ .  
 27.  $(\sqrt{-20} - \sqrt{-15}) : \sqrt{-5}$ .  
 28.  $(4\sqrt{-8} - 8\sqrt{-12} + 12\sqrt{-16}) : 4\sqrt{-4}$ .  
 29.  $i^7$ .      30.  $i^9$ .      31.  $i^{12}$ .      32.  $i^{14}$ .  
 33.  $(\sqrt{-3})^2$ .      34.  $(-2\sqrt{-3})^4$ .      35.  $(a\sqrt{-bx})^6$ .

36.  $(3 + 2i) + (6 + 5i)$ .      37.  $(4a + bi) \pm (2a - 3bi)$ .  
 38.  $(1 - \sqrt{-4}) + (3 - \sqrt{-25}) - (2 - \sqrt{-49})$ .  
 39.  $(3 + 2i)(3 - 2i)$ .      40.  $(5 + 6i)(3 - 4i)$ .  
 41.  $(\sqrt{a} + \sqrt{-b})(\sqrt{a} - \sqrt{-b})$ .  
 42.  $(\sqrt{2} + 2\sqrt{-2})(\sqrt{2} - 2\sqrt{-2})$ .  
 43.  $(x + 1 + \sqrt{-3})(x + 1 - \sqrt{-3})$ .  
 44.  $(x + 1)(x - 1)(x + i)(x - i)$ .  
 45.  $(a + bi)(a - bi)(c + di)(c - di)$ .

Multipliziert man hier den ersten und zweiten, den dritten und vierten Factor, und dann die Producte mit einander, hierauf ebenfalls den ersten und dritten, den zweiten und vierten Factor, und dann die erhaltenen Producte, so geben die beiden Endproducte die merkwürdige Gleichung

$$(a^2 + b^2)(c^2 + d^2) = (ac - bd)^2 + (ad + bc)^2.$$

46.  $(2 - 3i)^2$ .      47.  $(\sqrt{x} - yi)^2$ .  
 48.  $(3 - \sqrt{-5})^2$ .      49.  $(\sqrt{2} - \sqrt{-2})^2$ .  
 50.  $\frac{a + \sqrt{-b}}{a - \sqrt{-b}} + \frac{a - \sqrt{-b}}{a + \sqrt{-b}}$ .      51.  $\left(\frac{-1 \pm \sqrt{-3}}{2}\right)^3$ .  
 52.  $(-1 + \sqrt{5} + \sqrt{-10} - 2\sqrt{5})^2 \cdot (-1 + \sqrt{5} - \sqrt{-10} - 2\sqrt{5})^2$ .  
 53.  $(1 + \sqrt{-3})^4 + (1 - \sqrt{-3})^4$ .

Befreie folgende Brüche von ihren imaginären Nennern:

54.  $\frac{5}{2i}$

55.  $\frac{\sqrt{a}}{bi}$

56.  $\frac{2x^2}{3\sqrt{-2x}}$

57.  $\frac{1}{1-i}$

58.  $\frac{2}{3+4i}$

59.  $\frac{a-b}{a+bi}$

60.  $\frac{a + \sqrt{-b}}{a - \sqrt{-b}}$

61.  $\frac{1 - 20\sqrt{-5}}{7 - 2\sqrt{-5}}$

62.  $\frac{\sqrt{2 + \sqrt{-3}}}{\sqrt{3 - \sqrt{-2}}}$

63.  $\frac{\sqrt{-a} - \sqrt{-b}}{\sqrt{-a} + \sqrt{-b}}$

64.  $\frac{6\sqrt{-6} + 5\sqrt{-5}}{6\sqrt{-5} - 5\sqrt{-6}}$

65.  $\frac{a+bi}{a-bi} + \frac{x+yi}{x-yi}$

66.  $\frac{a-bi}{a+bi} - \frac{x+yi}{x-yi}$

Verwandle folgende Summen oder Differenzen von Quadratwurzeln in eine Quadratwurzel:

67.  $\sqrt{-3+4i} + \sqrt{-3-4i}$

68.  $\sqrt{-3+4i} - \sqrt{-3-4i}$

69.  $\sqrt{2 + \sqrt{-5}} \pm \sqrt{2 - \sqrt{-5}}$

70.  $\sqrt{2 + 2\sqrt{-35}} \pm \sqrt{2 - 2\sqrt{-35}}$

Verwandle folgende Quadratwurzeln in Summen oder Differenzen von Quadratwurzeln:

71.  $\sqrt{-3+4i}$

72.  $\sqrt{-3-4i}$

73.  $\sqrt{8-6i}$

74.  $\sqrt{1+\frac{3}{4}i}$

75.  $\sqrt{7+6\sqrt{-2}}$

76.  $\sqrt{6+8\sqrt{-10}}$

77.  $\sqrt{12-10\sqrt{-13}}$

78.  $\sqrt{20-10\sqrt{-5}}$

79.  $\sqrt{4-60\sqrt{-3}}$

80.  $\sqrt{-a+2a\sqrt{-2}}$

81.  $\sqrt{\sqrt{-4}} = \sqrt{0 + \sqrt{-4}} = \dots$

82.  $\sqrt{-3\sqrt{-1}}$

### 5. Quadrieren und Cubieren, Ausziehen der Quadrat- und Cubikwurzel.

Quadrieren. (§§. 185 und 186.)

1.  $(3x + 2y)^2$

2.  $(2a^2 - 4b^2)^2$

3.  $(2 \cdot 3a - 1 \cdot 5b)^2$

4.  $\left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right)^2$

5.  $\left(\frac{3a^2}{4x} - \frac{2b^2}{9y}\right)^2$

6.  $\left(\frac{x\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{3\sqrt{3}}\right)^2$

7.  $(a + 2b - 3c)^2$

8.  $(4 + 2y - y^2)^2$

9.  $(3x - 5y + 8z)^2$

10.  $(6x^3 - 5x^2 + 4x - 3)^2$

11.  $(27x^6 - 54x^4 + 36x^2 - 8)^2$

12.  $\left(2 - \frac{a}{2} + \frac{2a^2}{3}\right)^2$

13.  $\left(\frac{2a}{3b} + \frac{3b}{4c} - \frac{4c}{5d}\right)^2$

14.  $\left(\frac{3y^2}{4b^2} + \frac{2y}{3b} - \frac{1}{2}\right)^2$

15.  $(-a + b + c)^2 + (a - b + c)^2 + (a + b - c)^2$

16.  $[(a+x)^2 + (b-y)^2]^2 - [(a+x)^2 - (b-y)^2]^2$

17.  $249^2$ .      18.  $5019^2$ .      19.  $72902^2$ .      20.  $73215^2$ .  
 21.  $135709^2$ .      22.  $4612048^2$ .      23.  $5 \cdot 91^2$ .      24.  $0 \cdot 887^2$ .  
 25.  $0 \cdot 738 \dots^2$ .      26.  $0 \cdot 1509 \dots^2$ .      27.  $(78)^2$ .      28.  $317^4$ .

Ausziehen der Quadratwurzel. (§§. 187—190.)

29.  $\sqrt{4a^2 - 12ab + 9b^2}$ .      30.  $\sqrt{9m^4 - 12m^2n^2 + 4n^4}$ .  
 31.  $\sqrt{\{x^4 - 6ax^3 + 11a^2x^2 - 6a^3x + a^4\}}$ .  
 32.  $\sqrt{\{16m^6 + 16m^5 + 4m^4 - 16m^3 - 8m^2 + 4\}}$ .  
 33.  $\sqrt{\{16a^6 - 24a^5 + 25a^4 - 20a^3 + 10a^2 - 4a + 1\}}$ .  
 34.  $\sqrt{\{9y^6 - 12y^5 + 10y^4 - 28y^3 + 17y^2 - 8y + 16\}}$ .  
 35.  $\sqrt{\{25 - 70a + 139a^2 - 236a^3 + 235a^4 - 198a^5 + 121a^6\}}$ .  
 36.  $\sqrt{\{0 \cdot 16a^4 - 2 \cdot 4a^3 - 0 \cdot 16a^2b + 9a^2 + 1 \cdot 2ab + 0 \cdot 04b^2\}}$ .  
 37.  $\sqrt{\left[\frac{9x^6}{16y^6} - \frac{x^5}{2y^5} - \frac{26x^4}{9y^4} + \frac{53x^3}{6y^3} + \frac{2x^2}{3y^2} - \frac{20x}{y} + 25\right]}$ .  
 38.  $\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \frac{1}{16}x^3 - \frac{5}{128}x^4 + \dots$   
 39.  $\sqrt{a^2+b} = a\sqrt{1+\frac{b}{a^2}} = \dots$       40.  $\sqrt{a^2-b} = a\sqrt{1-\frac{b}{a^2}} = \dots$

41.  $\sqrt{135424}$ .      42.  $\sqrt{556516}$ .      43.  $\sqrt{226576}$ .      44.  $\sqrt{53993104}$ .  
 45.  $\sqrt{395850816}$ .      46.  $\sqrt{422220304}$ .      47.  $\sqrt{54782211136}$ .  
 48.  $\sqrt{1406 \cdot 25}$ .      49.  $\sqrt{27 \cdot 973521}$ .      50.  $\sqrt{0 \cdot 00178929}$ .  
 51.  $\sqrt{785 \cdot 6809}$ .      52.  $\sqrt{0 \cdot 97535376}$ .      53.  $\sqrt{44105 \cdot 040144}$ .  
 54.  $\sqrt{\frac{676}{1681}}$ .      55.  $\sqrt{\frac{178929}{797449}}$ .      56.  $\sqrt[29]{485380 \frac{29}{169}}$ .  
 57.  $\sqrt[4]{29986576}$ .      58.  $\sqrt[4]{362673936}$ .      59.  $\sqrt[8]{1475789056}$ .  
 60.  $\sqrt{0 \cdot 1907 \dots}$ .      61.  $\sqrt{335 \cdot 779 \dots}$ .      62.  $\sqrt{0 \cdot 8423 \dots}$ .

Berechne folgende irrationale Wurzeln auf 5 Decimalen:

63.  $\sqrt{28}$ .      64.  $\sqrt{320}$ .      65.  $\sqrt{6584}$ .      66.  $\sqrt{3 \cdot 92}$ .  
 67.  $\sqrt{0 \cdot 101}$ .      68.  $\sqrt{0 \cdot 07854}$ .      69.  $\sqrt{0 \cdot 123457}$ .  
 70.  $\sqrt{2}$ .      71.  $\sqrt{2 - \sqrt{2}}$ .      72.  $\sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{2}}}$ .  
 73.  $\sqrt{\frac{67}{3}} = \sqrt{\frac{201}{9}} = \dots$       74.  $\sqrt{\frac{591}{67}}$ .      75.  $\sqrt[7]{251 \frac{7}{12}}$ .

Bestimme mit Rücksicht auf die Aufg. 38., 39. und 40. mit 4 Decimalstellen:

76.  $\sqrt{50} = \sqrt{7^2 + 1} = \dots$       77.  $\sqrt{79} = \sqrt{9^2 - 2} = \dots$   
 78.  $\sqrt{26}$ .      79.  $\sqrt{146}$ .      80.  $\sqrt{35}$ .      81.  $\sqrt{220}$ .

Cubicieren. (§§. 191 und 192.)

82.  $(2x + 3y)^3$ .      83.  $(5a^2 - 4bx^3)^3$ .      84.  $(0.8x^2 + 0.5y^2)^3$ .  
 85.  $\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right)^3$ .      86.  $\left(\frac{a}{b} - \frac{b}{a}\right)^3$ .      87.  $\left(\frac{3a^2}{8x^2} - \frac{2x}{9a}\right)^3$ .  
 88.  $(y^2 + 2y - 3)^3$ .      89.  $(x^2 - 3xy + 2y^2)^3$ .  
 90.  $(1 - 2x - 3x^2 + 4x^3)^3$ .      91.  $(1 - 2a^2 + 4a^4 - 8a^6)^3$ .  
 92.  $\left(\frac{x^2}{3} - \frac{x}{2} - 1\right)^3$ .      93.  $\left(4a - \frac{2x^2}{3a} + \frac{9x^4}{8a^3}\right)^3$ .  
 94.  $933^3$ .      95.  $1585^3$ .      96.  $6045^3$ .      97.  $21704^3$ .  
 98.  $90216^3$ .      99.  $357946^3$ .      100.  $45 \cdot 09^3$ .      101.  $5 \cdot 99203^3$ .  
 102.  $0.858 \dots^3$ .      103.  $0.8079 \dots^3$ .      104.  $(29^3)^3$ .      105.  $0.865^6$ .

Ausziehen der Cubikwurzel. (§§. 193—196.)

106.  $\sqrt[3]{a^3x^6 - 3a^2bx^4y^2 + 3ab^2x^2y^4 - b^3y^6}$ .  
 107.  $\sqrt[3]{8x^6 - 36x^5 + 78x^4 - 99x^3 + 78x^2 - 36x + 8}$ .  
 108.  $\sqrt[3]{64x^6 - 144ax^5 + 204a^2x^4 - 171a^3x^3 + 102a^4x^2 - 36a^5x + 8a^6}$ .  
 109.  $\sqrt[3]{8a - 60\sqrt[3]{a^2b} + 150\sqrt[3]{ab^2} - 125b}$ .  
 110.  $\sqrt[3]{1 + \frac{6x}{a} + \frac{15x^2}{2a^2} - \frac{10x^3}{a^3} - \frac{45x^4}{4a^4} + \frac{27x^5}{2a^5} - \frac{27x^6}{8a^6}}$ .  
 111.  $\sqrt[3]{1+x} = 1 + \frac{1}{3}x - \frac{1}{9}x^2 + \frac{5}{81}x^3 - \frac{10}{243}x^4 + \dots$   
 112.  $\sqrt[3]{a^3+b} = a\sqrt[3]{1+\frac{b}{a^3}} = \dots$       113.  $\sqrt[3]{a^3-b} = a\sqrt[3]{1-\frac{b}{a^3}} = \dots$   
 114.  $\sqrt[3]{262144}$ .      115.  $\sqrt[3]{3241792}$ .      116.  $\sqrt[3]{8615125}$ .  
 117.  $\sqrt[3]{746142643}$ .      118.  $\sqrt[3]{1767172329}$ .      119.  $\sqrt[3]{627881709547}$ .  
 120.  $\sqrt[3]{0.778688}$ .      121.  $\sqrt[3]{474.552}$ .      122.  $\sqrt[3]{78.402752}$ .  
 123.  $\sqrt[3]{\sqrt[3]{20661046784}}$ .      124.  $\sqrt[6]{1126162419264}$ .  
 125.  $\sqrt[3]{\frac{704969}{1601613}}$ .      126.  $\sqrt[3]{32.856 \dots}$       127.  $\sqrt[3]{0.00008427 \dots}$

Berechne folgende irrationale Wurzeln auf 5 Decimalen:

128.  $\sqrt[3]{100}$ .      129.  $\sqrt[3]{5213}$ .      130.  $\sqrt[3]{8135}$ .      131.  $\sqrt[3]{47838}$ .  
 132.  $\sqrt[3]{0.3}$ .      133.  $\sqrt[3]{25.648}$ .      134.  $\sqrt[3]{0.0957}$ .      135.  $\sqrt[3]{0.12345}$ .  
 136.  $\sqrt[3]{\frac{5}{6}} = \sqrt[3]{\frac{180}{216}} = \dots$       137.  $\sqrt[3]{\frac{37}{70}}$ .      138.  $\sqrt[3]{8\frac{7}{12}}$ .

Bestimme mit Rücksicht auf die Aufg. 111., 112. und 113. in 4 Decimalen:

$$139. \sqrt[3]{65} = \sqrt[3]{4^3 + 1} = \dots \quad 140. \sqrt[3]{24} = \sqrt[3]{3^3 - 3} = \dots$$

$$141. \sqrt[3]{218}. \quad 142. \sqrt[3]{130}. \quad 143. \sqrt[3]{62}. \quad 144. \sqrt[3]{508}.$$

### 6. Logarithmen.

(§§. 197—210.)

<del>1.</del> $\log abc.$	2. $\log 6xyz.$	3. $\log 3a(c + d).$
<del>4.</del> $\log (a + b)(m + n).$	5. $\log (a^2 - b^2).$	<del>6.</del> $\log a(x^2 - 1).$
<del>7.</del> $\log \frac{2ab}{3x}.$	<del>8.</del> $\log \frac{1}{ab}.$	<del>9.</del> $\log \frac{ab - cd}{mn - pq}.$
<del>10.</del> $\log \frac{5mx}{1 - m^2}.$	<del>11.</del> $\log \frac{x^2 - y^2}{2xy}.$	<del>12.</del> $\log \frac{3(a^2 - b^2)x}{(3a + 2b)y}.$
<del>13.</del> $\log a^x.$	<del>14.</del> $\log ab^2.$	<del>15.</del> $\log (ab)^2.$
<del>16.</del> $\log 2a^3.$	<del>17.</del> $\log 5a^2x^3.$	<del>18.</del> $\log (a + b)^{x+y}.$
19. $\log \frac{ax^m y^n}{b z^p}.$	20. $\log \frac{2a^8}{3bx^2}.$	21. $\log \frac{8m^2 x^3}{5p q y^4}.$
22. $\log \frac{1}{(2a^2)^3 (5b^3)^2}.$	23. $\log \left[ \left( \frac{a}{b} \right)^2 \cdot \left( \frac{m}{n} \right)^3 \right].$	
<del>24.</del> $\log \sqrt{ab}.$	<del>25.</del> $\log \sqrt[3]{xy^3}.$	<del>26.</del> $\log 8a^2 \sqrt[4]{bx^3}.$
<del>27.</del> $\log \sqrt[n]{\frac{ap}{bq}}.$	<del>28.</del> $\log \frac{2\sqrt{x}}{3\sqrt{y}}.$	<del>29.</del> $\log \frac{x^2 \sqrt{a}}{5by^3}.$
30. $\log (\sqrt[m]{x^n} \sqrt[p]{y^q}).$	31. $\log \sqrt[n]{x^2 b^3 c^4}.$	32. $\log \sqrt[m]{(1/a^p)^q}.$
33. $\log (a \sqrt{a} \sqrt{a}).$	34. $\log (a \sqrt[3]{a})^{\frac{1}{x}}.$	35. $\log x^{\log x}.$
36. $\log \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}}.$	37. $\log \frac{1}{b^2 \sqrt{a^3 c}}.$	38. $\log \frac{a(a+1) \sqrt[3]{a^2}}{b(b+1) \sqrt{b}}.$

Bestimme den Ausdruck, dessen Logarithmus gleich ist:

<del>39.</del> $\log x + \log y - \log z.$	<del>40.</del> $\log a - (\log b + \log c).$
41. $3 \log a - 2 \log b + 4 \log c.$	42. $\frac{1}{2} \log a - \frac{1}{3} \log b - \frac{1}{4} \log c.$
43. $\log a + \frac{1}{x} \log a - \frac{1}{y} (\log a + \log b).$	
44. $\frac{n}{m} \log a - \left( \frac{q}{p} \log b + \frac{s}{r} \log c \right).$	
45. $2 \log (x - y) - \frac{1}{2} \log (x + y) - \frac{1}{2} \log (x^2 - xy + y^2).$	
46. $x \log (\log a).$	47. $x \log x - \log (\log x).$

Berechne auf 5 Decimalstellen mit Hilfe der Tabelle in §. 203, 2, die Briggs'schen Logarithmen folgender Zahlen:

48. 37.      49. 103.      50. 257.      51. 661.      52. 3383.

Suche aus den Logarithmentafeln zu folgenden Zahlen die Briggs'schen Logarithmen:

- | a)            | b)      | c)       | d)       | e)         |
|---------------|---------|----------|----------|------------|
| 53. 7;        | 38;     | 218;     | 683;     | 995.       |
| 54. 1035;     | 4719;   | 5755;    | 7899;    | 9011.      |
| 55. 39070;    | 586100; | 59·13;   | 9·015;   | 0·4792.    |
| 56. 86127;    | 78008;  | 0·68315; | 85·201;  | 0·0075536. |
| 57. 0·091457; | 364228; | 17·8193; | 4·48197; | 129·356.   |

Suche zu folgenden Briggs'schen Logarithmen die zugehörigen Zahlen:

- | a)               | b)           | c)           | d)       |
|------------------|--------------|--------------|----------|
| 58. 0·24055;     | 1·57287;     | 2·98547;     | 0·61278. |
| 59. 3·89009;     | 0·66058;     | 0·27161 — 1; | 1·02816. |
| 60. 2·95742;     | 1·01396;     | 0·46370 — 3; | 2·40016. |
| 61. 0·73048 — 2; | 2·81350;     | 3·91001;     | 3·69831. |
| 62. 0·55342 — 3; | 0·68012 — 1; | 1·85603;     | 4·43065. |
| 63. 4·89195;     | 0·05168 — 2; | 0·69960 — 1; | 1·99828. |

Berechne mit Hilfe der Logarithmen folgende Ausdrücke:

64.  $1·2345 · 1·3456$ .      65.  $9·68453 · 0·29758$ .
66.  $1·025 · 1·0792 · 1·05625 · — 1·0751$ .
67.  $0·35679 · 1·0765 · 1·92234 · 0·33258$ .
68.  $2·00415 · 0·56 · 0·0741 · 0·09972 · 1·25463$ .
69.  $\frac{17·846}{9·157}$ .      70.  $\frac{1}{3·14159}$ .      71.  $\frac{2488 · — 1926}{521347}$ .
72.  $\frac{2·3456·5·2913}{769·0·12345}$ .      73.  $\frac{413·5124·21358}{425·4998·76143}$ .
74.  $\frac{2·1457·9·1248·1385·31·273}{277·10·7285·2·2812·125·092}$ .
75.  $(1·05)^{12}$ .      76.  $(1·045)^9$ .      77.  $2^{1·285}$ .
78.  $(42·456)^{-2}$ .      79.  $2·45^{5·172^{1·05}}$ .
80.  $\left(-\frac{323}{313}\right)^{17}$ .      81.  $\left(\frac{54·139}{55·817}\right)^{11}$ .
82.  $\frac{2035·(0·00876)^7}{3164·(0·00592)^5}$ .      83.  $\frac{3·14159^2·2·0489^3·1·07938^4}{4·0932^4·0·859^2·210·895^3}$ .
84.  $\frac{4r^3\pi}{3}$  für  $r = 1·06234$  und  $\pi = 3·14159$ .
85.  $(3·905)^{\frac{4}{5}}$ .      86.  $\left(-\frac{89}{113}\right)^{\frac{2}{5}}$ .      87.  $(11·716)^{-\frac{3}{4}}$ .

03181  
03222  
41

88.  $\sqrt[6]{29}$ . 89.  $\sqrt[3]{918}$ . 90.  $\sqrt[5]{7135}$ .
91.  $\sqrt[6]{1 \cdot 8354}$ . 92.  $\sqrt[8]{314 \cdot 2789}$ . 93.  $\sqrt[13]{13^0 \cdot 3414}$ .
94.  $\sqrt[5]{\frac{126}{115}}$ . 95.  $\sqrt[12]{\left(\frac{395}{129}\right)^7}$ . 96.  $\sqrt[9]{\frac{9}{13}} \sqrt[3]{6}$ .
97.  $\sqrt{\frac{(a+b+c)(a+b-c)}{ab}}$  für  $a = 2 \cdot 145$ ,  $b = 3 \cdot 087$ ,  $c = 3 \cdot 248$ .
98.  $\frac{35^4}{57^8} \cdot \sqrt[5]{30 \cdot 9}$ . 99.  $\frac{\sqrt[3]{37 \cdot 8} \cdot \sqrt[4]{13^2}}{\sqrt[5]{7 \cdot 13945^8}}$ . 100.  $\sqrt[4]{\frac{87 \cdot \sqrt[3]{8105}}{93 \cdot 24^2}}$ .
101.  $\frac{3 \sqrt[4]{4 \sqrt[6]{6}}}{11 \sqrt[5]{5 \sqrt[12]{24}}}$ . 102.  $\sqrt[7]{340} \cdot \sqrt[5]{\frac{24 \cdot 105 \cdot 58 \cdot 937}{1 \cdot 47939^8}}$ .
103.  $\sqrt{10} + \sqrt{10}$ . 104.  $\frac{347 \sqrt[5]{0 \cdot 35} + \sqrt[3]{55} 33^2}{4 \cdot 9275^8}$ .
105.  $\sqrt{\frac{4 \cdot 31957^3 \cdot \sqrt[3]{3 \cdot 19338} \cdot \sqrt[5]{17 \cdot 39}}{15^4 \cdot \sqrt[3]{91 \cdot 34} \cdot \sqrt[5]{3 \cdot 4071}}}$ .

Löse folgende Exponentialgleichungen auf:

106.  $a^{x+2} = a^5$ . 107.  $b^{4-x} = b^2$ . 108.  $m^{2x+3} = m^{8-3x}$ .
109.  $a^{mx+n} = b$ . 110.  $a^{n-x} = nb^x$ . 111.  $a^x \cdot b^{mx} = c$ .
112.  $(m^{x-1})^5 = n^x$ . 113.  $(a^{x-3})^{x-1} = (a^{5-x})^{4-x}$ .
114.  $m^{ax+\alpha} = n^{bx+\beta}$ . 115.  $m \cdot a^{x-\alpha} = n \cdot b^{x-\beta}$ .
116.  $47^x = 255$ . 117.  $10^x = 2 \cdot 71828$ . 118.  $25^{-x} = 11$ .
119.  $5^{3x-4} \cdot 2^{2+x} = 5^x$ . 120.  $3^{2x} \cdot 5^{3x-4} = 7^{x-1} 11^{2-x}$ .
121.  $2^x \cdot 3^{x-1} \cdot 4^{x-2} = 5$ . 122.  $4096^x \cdot 0 \cdot 5 = 4^{x+\frac{1}{2}}$ .
123.  $\frac{a^x}{b^{x-1}} = c$ . 124.  $m^x \cdot n^{x-2} = \frac{a}{p^{x-4}}$ .
125.  $\frac{a^{mx} \cdot b^{nx}}{c^{px} \cdot d^{qx}} = s$ . 126.  $\left(\frac{123}{234}\right)^{\frac{x+1}{x+2}} = \frac{345}{456}$ .
127.  $\sqrt[10]{10} = 2$ . 128.  $\sqrt[10]{2^{5+3x}} = 5$ . 129.  $\sqrt[10]{10} = \sqrt[2]{2 \cdot 57812}$ .
130.  $3^x \cdot 5^y = 405$ ,  $2^x \cdot 7^y = 112$ . 131.  $a^x + b^y = m$ ,  $a^x - b^y = n$ . 132.  $3^x + 2^y = 63145$ ,  $3^x - 2^y = 54953$ .
133.  $a^x b^y = m$ ,  $\frac{a^x}{b^y} = n$ . 134.  $t = ax^{y-1}$ ,  $s = \frac{tx - a}{x - 1}$ . 135.  $2^x \cdot 5^y = 2000$ ,  $3^x \cdot 6^z = 2916$ ,  $4^y \cdot 7^z = 3136$ .
136.  $\sqrt[10]{a} = m \sqrt[10]{b}$ ,  $\sqrt[10]{c} = n \sqrt[10]{d}$ . 137.  $\sqrt[10]{a^{y+1}} = m$ ,  $\sqrt[10]{b^{x+1}} = n$ .

## V. Gleichungen des zweiten Grades.

## 1. Quadratische Gleichungen mit einer Unbekannten.

(§§. 211—219.)

1.  $(x + 2)(x - 2) = 0.$
2.  $(3x + 4)(3x - 4) = 0.$
3.  $x^2 = 9.$
4.  $x^2 + 4 = 0.$
5.  $2x^2 - 1 = 2 - 4x^2.$
6.  $3x^2 - 4093 = x^2 + 139.$
7.  $(x + 7)(x - 7) = 51.$
8.  $(2x - 3)(2x + 3) = 7.$
9.  $(9 + x)(7 - x) + (9 - x)(7 + x) = 76.$
10.  $a + x = \frac{2ab}{a+x}.$
11.  $\frac{x}{a} + \frac{b}{x} = \frac{ab+1}{x}.$
12.  $\frac{x}{150} = \frac{3}{2x}.$
13.  $(x + \frac{1}{2})(x - \frac{1}{2}) = \frac{5}{16}.$
14.  $\frac{x+a}{x+b} + \frac{x-a}{x-b} = 0.$
15.  $\frac{(12+x)(x-3)}{12-x} = x + 3.$
16.  $\frac{x}{x+2} + \frac{x}{x-2} = \frac{8}{3}.$
17.  $\frac{x+1}{x-1} + \frac{x-1}{x+1} = \frac{5}{2}.$
18.  $\frac{a-x}{1-ax} = \frac{1-bx}{b-x}.$
19.  $\frac{a}{1+2x} + \frac{a}{1-2x} = 2b.$
20.  $\sqrt{3x^2 + 9} = 2x.$
21.  $\sqrt{33 + 2x - x^2} = x + 1.$
22.  $\frac{ax^2 + b^2}{\sqrt{bx^2 + a^2}} = \sqrt{bx^2 + a^2}.$
23.  $\sqrt{x+a} - \sqrt{x-a} = \frac{x+a-b}{\sqrt{x+a}}.$
24.  $\frac{1}{1+\sqrt{1-x}} + \frac{1}{1-\sqrt{1-x}} = \frac{2x}{9}.$
25.  $\frac{\sqrt{1+x} + \sqrt{1-x}}{\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}} = \frac{a}{b}.$
26.  $\frac{2a^2}{x + \sqrt{4a^2 - x^2}} + \frac{2a^2}{x - \sqrt{4a^2 - x^2}} = x.$
27.  $\sqrt{x^2 + a^2} - 2a\sqrt{x^2 - b^2} + x = \frac{ax}{\sqrt{x^2 - b^2}}.$
28.  $\sqrt[3]{\sqrt{5+x}} + \sqrt[3]{\sqrt{5-x}} = \sqrt[3]{5\sqrt{5}}.$
29.  $(x - 3)(x - 2) = 0.$
30.  $(2x - 5)(3x + 8) = 0.$
31.  $x^2 - 4x = 21.$
32.  $x^2 = 12x - 35.$
33.  $x^2 + 15x + 56 = 0.$
34.  $x^2 + x - 56 = 0.$
35.  $x^2 - 4x + 4 = 0.$
36.  $x^2 - 2x = 15.$
37.  $x^2 - 6x + 7 = 0.$
38.  $x^2 - 13x = 140.$
39.  $x^2 + 9x + 5 = 0.$
40.  $x^2 + 19x + 10 = 0.$
41.  $x^2 - 7x = 7.$
42.  $x^2 + 2x + 4 = 0.$
43.  $5x^2 + 7x = 24.$
44.  $12x^2 = 20x - 3.$
45.  $5x^2 + 13x + 17 = 0.$
46.  $18x^2 + 3x = 10.$
47.  $16x^2 - 24x + 11 = 0.$
48.  $x^2 - 12x + 100 = 0.$
49.  $x^2 - 0.9x = 0.1.$
50.  $x^2 - 6.8x + 10.92 = 0.$
51.  $x^2 + 1.28x = 0.3825.$
52.  $x^2 - 0.2392 = 0.81x.$
53.  $x^2 - 0.685 = 0.1141.$
54.  $x^2 = 8.712x - 7.23726.$

55.  $x^2 + 2ax = 2ab + b^2$ .      56.  $x^2 - 2abx = a^4 + a^2b^2 + b^4$ .
57.  $x^2 - (a + b)x + ab = 0$ .      58.  $x^2 - (a - b)x - ab = 0$ .
59.  $(a - b)x^2 - bx = a$ .      60.  $m^2x^2 - m(a - b)x = ab$ .
61.  $\frac{5x^2}{6} - \frac{x}{2} = 9$ .      62.  $x + \frac{1}{x-2} = 3$ .
63.  $\frac{10x + 3}{3x + 2} = x$ .      64.  $\frac{6x - 5}{2x - 3} = 4x - 15$ .
65.  $\frac{x + 18}{x + 6} = \frac{6}{x - 3}$ .      66.  $\frac{(2a - b)x - b^2}{2a + b - x} = \frac{2a(a - b)}{2a - x}$ .
67.  $\frac{3x - 4}{x - 4} - 10 = \frac{2 - x}{2} - 1$ .      68.  $\frac{5}{x} - \frac{5}{x + 1} = \frac{12}{x + 2}$ .
69.  $\frac{2a}{x} - \frac{1}{x^2} = a^2 - b^2$ .      70.  $\frac{a^2 - b^2}{2x} = \frac{a^2 + b^2}{x^2 + 1}$ .
71.  $ax - bx = \frac{a}{x} \cdot \frac{a - 2bx}{a + b}$ .      72.  $\frac{ab}{x} + abx = a^2 + b^2$ .
73.  $x + \frac{1}{x} = a + \frac{1}{a}$ .      74.  $\frac{x}{x - 1} - \frac{x}{x + 1} = \frac{a}{b}$ .
75.  $\frac{a + x}{a - x} + \frac{a - x}{a + x} = \frac{2ax}{a^2 - x^2}$ .      76.  $\frac{a - x}{b + x} - \frac{b + x}{a - x} = \frac{b}{a} - \frac{a}{b}$ .
77.  $\left(\frac{8 + x}{4 - x}\right)^2 = 8\left(\frac{8 + x}{4 - x}\right) - 15$ .      Setze  $\frac{8 + x}{4 - x} = y$ .
78.  $\frac{x + 1}{x + 2} - \frac{2x - 3}{3x - 4} = \frac{1}{5}$ .      79.  $\frac{5x + 4}{2x + 1} + \frac{x - 1}{3x - 4} - 3 = 0$ .
80.  $\frac{2x - a}{4x + 5a} = \frac{x + 6a}{2x} + 7$ .      81.  $\frac{3x^2 - 3}{x + 9} + \frac{6x^2 - 4}{2x - 1} = 6x - 6$ .
82.  $\frac{3a + 5b}{2(a + b)} - \frac{a - b}{a - x} = \frac{b - x}{a + b}$ .      83.  $\frac{2a - (1 + a^2)x}{1 + a^2 - 2ax} = \frac{2b + (1 + b^2)x}{1 + b^2 + 2bx}$ .
84.  $x : (x + 1) = (2x + 3) : (3x + 4)$ .
85.  $x^2 + 2x\sqrt{5} = 2\sqrt{6}$ .      86.  $x(x + 2\sqrt{11}) = 6\sqrt{2}$ .
87.  $x + 7\sqrt{x} = 30$ .      88.  $ax - b\sqrt{x} = c$ .
89.  $2x - 3\sqrt{x - 1} = 4$ .      90.  $x - 10 = 2\sqrt{x^2 - 3x + 5}$ .
91.  $\sqrt{3x - 2} - \sqrt{4x - 7} = 1$ .
92.  $\sqrt{a(b + x)} = a + b - \sqrt{b(a - x)}$ .
93.  $\sqrt{2x + 1} - 2\sqrt{2x + 3} = 1$ .      94.  $\sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2 + \dots}}} = x$ .
95.  $\sqrt{x} + \frac{1}{\sqrt{x}} = \frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{\sqrt{a}} + \frac{\sqrt{a} - \sqrt{b}}{\sqrt{b}}$ .
96.  $\sqrt{7x - 13} - 12 = \sqrt{5x + 1}$ .      97.  $\sqrt{2x + 2} + \sqrt{x + 2} = x$ .
98.  $\sqrt{\frac{a + x}{a + b}} + \sqrt{\frac{b - x}{a + b}} = 1$ .      99.  $\frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{x - b}{\sqrt{c^2 + (b - x)^2}} = 0$ .
100.  $\frac{\sqrt{x - a} + \sqrt{x - b}}{\sqrt{x - a} - \sqrt{x - b}} = \sqrt{\frac{x - a}{x - b}}$ .

Für welche Werte von  $x$  werden folgende Ausdrücke positiv, und für welche Werte negativ?

101.  $x^2 - 8x + 16.$

102.  $x^2 - 3x - 4.$

103.  $x^2 + 8x + 15.$

104.  $x^2 - 14x + 45.$

105.  $x^2 - 6x + 9.$

106.  $x^2 - 4x + 5.$

107.  $2x^2 - x - 2 = 2(x^2 + \frac{x}{2} - 1).$

108.  $-2x^2 - x + 10 = -2(x^2 + \frac{x}{2} - 5).$

109.  $8x^2 + 4x - 1.$

110.  $12 - x - 6x^2.$

Bilde Gleichungen, welche folgende Wurzel haben:

111.  $+5$  und  $-5.$

112.  $+3\sqrt{2}$  und  $-3\sqrt{2}.$

113.  $-3$  und  $+7.$

114.  $12$  und  $7.$

115.  $10$  und  $-1.$

116.  $-9$  und  $-13.$

117.  $\frac{3}{2}$  und  $\frac{1}{2}.$

118.  $\frac{7}{3}$  und  $-\frac{2}{3}.$

119.  $0.7$  und  $-2.4.$

120.  $1.36$  und  $0.75.$

121.  $\frac{2+b}{2}$  und  $\frac{a-b}{2}.$

122.  $1 + \sqrt{2}$  und  $1 - \sqrt{2}.$

123.  $2a + 3b\sqrt{2}$  und  $2a - 3b\sqrt{2}.$

124.  $2 + \sqrt{-1}$  und  $2 - \sqrt{-1}.$

Zerlege folgende Trinome in Factoren:

125.  $x^2 - 17x + 70.$

126.  $x^2 + 3x - 88.$

127.  $x^5 + x + 1.$

128.  $x^2 - 9x - 10.$

129.  $3x^2 - 14x + 8.$

130.  $3x^2 + 10x - 153.$

131.  $6x^2 + x - 1.$

132.  $20x^2 + 17x - 24.$

133.  $x^2 - ax + c(a - c).$

134.  $x^2 + 4abx - (a^2 - b^2)^2.$

135.  $abx^2 + (a + b)x + 1.$

136.  $abx^2 + (a^2 - b^2)x - ab.$

137.  $acx^2 - (a^2 + bc)x + ab.$

138.  $acx^2 - (3ab - bc)x - 3b^2.$

Anwendung der quadratischen Gleichungen mit einer Unbekannten.

139. Welche Zahl gibt mit ihrer Hälfte multipliziert 162?

140. Das Product aus dem dritten und vierten Theile einer Zahl beträgt 108; welches ist die Zahl?

141. Welche Zahl muß um  $d$  vermehrt und um  $d$  vermindert werden, damit das Product der beiden neuen Zahlen  $a$  sei?

142. Das 12fache einer Zahl um 45 vermehrt gibt das Quadrat derselben; welches ist die Zahl?

143. Wenn man zu einer Zahl 40 addiert und die Summe durch die ungewandelte Zahl dividiert, so ist der Quotient um 2 kleiner als die ursprüngliche Zahl; wie groß ist diese?

144. Wenn man eine gewisse Zahl um 5 vermehrt und um 5 vermindert, so ist die Summe der Quadrate der so erhaltenen Zahlen 178; welches ist die Zahl?
145. Welche Zahl gibt zu ihrem reciproken Werte addiert a zur Summe?
146. Suche zwei Zahlen, deren Summe 30 und deren Product 189 ist.
147. Die Zahl 15 in zwei Theile so zu theilen, daß die Summe ihrer Quadrate 113 wird.
148. Die Zahl 15 in zwei Theile zu theilen, deren Quadrate sich wie 4:9 verhalten?
149. Eine Zahl a in zwei Theile so zu zerlegen, daß der eine Theil die mittlere geometrische Proportionale zwischen a und dem andern Theile wird.
150. Eine Strecke von der Länge a in zwei solche Abschnitte zu theilen, daß die Differenz ihrer Quadrate dem Rechtecke der Abschnitte gleich sei.
151. Eine Strecke a in zwei Abschnitte so zu theilen, daß ihr Product p sei?
152. In einem rechtwinkligen Dreiecke, dessen eine Kathete das 6 $\frac{2}{3}$ fache der andern ist, beträgt die Hypotenuse 82 Meter; wie groß ist jede der beiden Katheten?
153. Jemand kauft für 117 fl. Weizen, und zwar kostet jedes Hektoliter davon um 4 fl. weniger als Hektoliter sind; wieviel Hektoliter Weizen hat er gekauft?
154. Jemand kaufte für 400 fl. Tuch; hätte das Meter 1 fl. weniger gekostet, so würde er für jenes Geld 20 Meter mehr erhalten haben. Wie viel Meter hat er gekauft?
155. Wie lautet die Lösung der vorigen Aufgabe, wenn anstatt 400, 1 und 20 die allgemeinen Zahlen a, b und c gesetzt werden?
156. Die Kosten einer Reise, welche mehrere Personen unternommen, betragen 432 fl.; da zwei Personen frei gehalten wurden, mußte jede der übrigen Personen um 3 fl. mehr bezahlen. Wie viel Personen waren?
157. Ein Vater hinterließ seinen Kindern ein Vermögen von 14400 fl. zu gleichen Theilen; bald nach seinem Tode starben zwei Kinder, und es erhielt infolge dessen jedes der übrigen Kinder um 1200 fl. mehr, als es sonst bekommen hätte. Wie viele Kinder hinterließ der Vater?
158. Ein Mittagessen, bei dem doppelt so viel Herren als Damen speisten, kostete 176 Zehner; jeder Herr zahlte doppelt so viel Zehner, als Herren waren, und jede Dame dreimal so viel Zehner, als Damen waren. Wie viel Herren und wie viel Damen waren da?
159. Ein Baumgarten bildet ein Rechteck, in welchem 560 Bäume in gleichen Entfernungen von einander stehen; eine Reihe nach der Länge enthält

- 8 Bäume mehr als eine Reihe nach der Breite. Wie viele Bäume stehen in jeder Reihe?
160. Ein Acker von 6936 Quadratmeter Inhalt hat die Gestalt eines Rechteckes, in welchem die Länge um 34 Meter länger ist als die Breite; wie groß ist die Länge und wie groß die Breite?
161. In einem Rechtecke, dessen Länge um  $n$  Meter länger ist als die Breite, beträgt die Diagonale  $d$  Meter; wie groß sind die Seiten?
162. Der Umfang eines Rechteckes ist  $2a$ , der Flächeninhalt  $b$ ; wie groß sind die Seiten?
163. Wie groß ist der Halbmesser eines Kreises, wenn die Maßzahlen des Flächeninhaltes und des Halbmessers  $s$  zur Summe geben?
164. Um welche Strecke muss man den Halbmesser  $r$  eines Kreises verlängern, damit die vom Endpunkte der Verlängerung an den Kreis gezogene Tangente die Länge  $a$  habe?
165. Jemand leiht 5600 fl. zu einem gewissen Zinsfuße aus; von den Zinsen des ersten Jahres verwendet er 152 fl. für sich, den Rest schlägt er zum Capital, welches dann im zweiten Jahre 256·5 fl. Zinsen bringt. Zu wie viel % war das Capital ausgeliehen?
166. Jemand erhält von einem Capitale 120 fl. Zinsen und von einem zweiten, welches um 6000 fl. größer ist und 2% mehr einbringt als das erste, 540 fl. Zinsen; wie groß sind die beiden Capitalien?
167. Man lässt einen Stein in einen Brunnen fallen und zählt  $t$  Secunden, bis man das Aufschlagen des Steines im Wasser hört. Wie tief ist der Brunnen, wenn die Acceleration  $g$ , und die Geschwindigkeit des Schalles  $c$  ist?

Die Zeit  $t$  ist die Summe aus der Zeit  $\tau$ , welche der Stein zum Falle bis in die Tiefe des Brunnens braucht, und aus der Zeit  $\tau'$ , in welcher der Schall aus der Tiefe des Brunnens in unser Ohr gelangt. Da sowohl die von dem Steine, als die von dem Schalle zurückgelegte Strecke der Tiefe  $x$  des Brunnens gleich ist, so hat man nach den Gesetzen der Physik  $x = \frac{g\tau^2}{2}$  und  $x = c\tau'$ , daher  $\tau = \sqrt{\frac{2x}{g}}$  und  $\tau' = \frac{x}{c}$ . Es ist somit  $\sqrt{\frac{2x}{g}} + \frac{x}{c} = t$ , woraus man erhält

$$x = \frac{c}{g} \left( c + gt \pm \sqrt{c^2 + 2cgt} \right).$$

168. Berechne die vorhergehende Aufgabe für  $t = 3$  Secunden,  $g = 9\cdot81$  Meter und  $c = 332\cdot25$  Meter.
169. Wie viel Zeit braucht ein mit der Geschwindigkeit  $c$  senkrecht in die Höhe geworfener Körper, um die Höhe  $h$  zu erreichen?

In  $x$  Secunden würde der Körper vermöge der ihm ertheilten Geschwindigkeit die Höhe  $cx$  erreichen; in derselben Zeit würde der Fallraum desselben  $\frac{gx^2}{2}$

betragen, wo  $g$  die Acceleration bedeutet. Für die wirklich zurückgelegte Strecke  $h$  hat man demnach die Gleichung

$$h = cx - \frac{g x^2}{2}.$$

170. Ein Körper wird mit der Geschwindigkeit  $c$  senkrecht in die Höhe geworfen,  $t$  Secunden später wird ein zweiter Körper mit der Geschwindigkeit  $c'$  in die Höhe geworfen; nach wie viel Secunden erreicht dieser mit dem ersten die gleiche Höhe?

Discussion der erhaltenen Gleichung.

171. Zwei Körper  $K'$  und  $K''$  bewegen sich auf einer geraden Linie gleichförmig und in derselben Richtung zu gleicher Zeit von den Punkten  $A'$  und  $A''$ , von denen  $A'$  um  $d$  Längeneinheiten rückwärts von  $A''$  liegt, und kommen beide nach  $t$  Zeiteinheiten zu dem Punkte  $B$ . Dabei braucht der Körper  $K'$  zu einer Längeneinheit  $\frac{1}{n}$  Zeiteinheiten weniger als  $K''$ . Wie viel ( $D$ ) Längeneinheiten beträgt die Entfernung des Punktes  $B$  von  $A''$ ?

$K'$  braucht zu einer Längeneinheit  $\frac{t}{d+D}$ ,  $K''$  dagegen  $\frac{t}{D}$  Zeiteinheiten;

$$\text{folglich } \frac{t}{D} - \frac{t}{d+D} = \frac{1}{n}, \text{ und } D = -\frac{d}{2} + \sqrt{\frac{d^2}{2} + ndt}.$$

Welche Bedeutung haben in dieser Gleichung negative Werte von  $D$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $n$ ?

172. Zwei Punkte bewegen sich gleichförmig mit den Geschwindigkeiten  $c'$  und  $c''$  auf zwei sich rechtwinklig schneidenden geraden Linien zu dem Schnittpunkte hin. Ihre Entfernungen vom Schnittpunkte sind zu einer gewissen Zeit  $d'$  und  $d''$ . Nach wie viel ( $t$ ) Zeiteinheiten werden die beiden Punkte die Entfernung  $d$  von einander haben?

Nach  $t$  Zeiteinheiten ist

$$\text{die Entfernung des Punktes } K' \text{ vom Schnittpunkte} = d' - c't,$$

$$\text{„ „ „ „ „ } K'' \text{ „ „ „ „ „} = d'' - c''t;$$

folglich ist nach dem Pythagoräischen Lehrsätze

$$d^2 = (d' - c't)^2 + (d'' - c''t)^2, \text{ und daher}$$

$$t = \frac{c'd' + c''d'' \pm \sqrt{d^2(c'^2 + c''^2) - (c'd'' - c''d')^2}}{c'^2 + c''^2}.$$

Discussion. a) Soll  $t$  reell sein, so muß  $d^2(c'^2 + c''^2) \geq (c'd'' - c''d')^2$  also  $d \geq \frac{c'd'' - c''d'}{\sqrt{c'^2 + c''^2}}$  sein. Die kleinste Entfernung, in welche die Punkte kommen können, ist demnach  $d = \frac{c'd'' - c''d'}{\sqrt{c'^2 + c''^2}}$ .

b) Für die Zeit, nach welcher die Punkte diese kleinste Entfernung haben werden,

$$\text{hat man } t = \frac{c'd' + c''d''}{c'^2 + c''^2}.$$

c) Sollen die beiden Punkte im Schnittpunkte der zwei Geraden zusammenfallen, so muß ihre kleinste Entfernung  $d = 0$  werden, d. i.

$$c'd'' = c''d' \text{ oder } \frac{c'}{c''} = \frac{d'}{d''} \text{ sein.}$$

173. Die Entfernung zweier leuchtender Punkte ist  $d$ , die Lichtintensität des ersten  $a$ , des zweiten  $b$ . Welcher Punkt in der durch die leuchtenden Punkte gehenden Geraden ist von beiden leuchtenden Punkten gleich stark erleuchtet?

Da die Stärke der Beleuchtung mit der Lichtintensität des leuchtenden Punktes gerade, mit dem Quadrate der Entfernung von demselben aber verkehrt proportioniert ist, so hat man, wenn die Entfernung des gesuchten Punktes von dem ersten leuchtenden Punkte  $x$  heißt,

$$\frac{a}{x^2} = \frac{b}{(d-x)^2}, \text{ daher } x = d \cdot \frac{a \pm \sqrt{ab}}{a-b}.$$

Discutiere dieses Resultat.

174. Zwei Himmelskörper, deren Massen sich wie  $a : b$  verhalten, haben die Entfernung  $d$ . In welchem Punkte ihrer Verbindungsstrecke wird ein dritter Körper von beiden gleich stark angezogen?
175. In welcher Entfernung von der Erde würde zwischen dieser und dem 51800 Meilen von ihr entfernten Monde ein Körper schweben bleiben, wenn die Masse des Mondes  $\frac{1}{81}$  der Erdmasse beträgt?

## 2. Höhere und Exponentialgleichungen mit einer Unbekannten, welche sich auf quadratische Gleichungen zurückführen lassen.

(§§. 220—223.)

Löse folgende binomische Gleichungen auf:

1.  $x^3 = 125.$       2.  $x^3 + 64 = 0.$       3.  $x(x^2 - 8) = 8(1 - x).$   
 4.  $x^4 - 81 = 0.$       5.  $x^4 + 16 = 0.$       6.  $(x^2 - 4)(x^2 + 4) = 240$   
 7.  $x^5 - a^5 = 0.$       8.  $c = ax^n.$       9.  $3x^6 = 2187.$

10.  $\frac{a^2}{x^3 - b} = x^3 + b.$       11.  $\frac{a - x^2}{\sqrt{x^3 - b}} = \sqrt{x^3 - b}.$

12.  $\frac{11x^4}{2} - 18x^2 = 9(x^2 - 1)^2 - 65.$

13.  $\frac{9(x^3 - 4)}{x\sqrt{x-3}} = x\sqrt{x+3}.$       14.  $\frac{3x^2 + 4}{3x^2 - 4} + \frac{3x^2 - 4}{3x^2 + 4} = \frac{26}{5}.$

Löse folgende höhere Gleichungen auf:

15.  $x^4 - 13x^2 + 36 = 0.$       16.  $6x^4 - 11x^2 = 35.$

17.  $x^4 - 4x^2 = 45.$       18.  $\frac{4x^4}{3} - \frac{2x^2}{3} = \frac{3}{64}.$

19.  $x^6 + 27 = 28x^3.$       20.  $3x^6 - 7x^3 = 6.$

21.  $(x + a)^2 + \frac{1}{(x + a)^2} = b.$       22.  $x^2 + \left(\frac{32}{x}\right)^2 = 260.$

23.  $(x - 2)^2 + \frac{1}{(x - 2)^2} = \frac{82}{9}.$       24.  $\frac{x^2 + 3}{17 - x^2} = \frac{1}{x^2 + 3}.$

25.  $x^4 - 2(a^2 + b^2)x^2 + 4a^2b^2 = 0$ . 26.  $x\sqrt{25 - x^2} = 12$ .

27.  $\sqrt[3]{x} - 8\sqrt[4]{x} = 9$ . 28.  $\sqrt[3]{x^4} - 3\sqrt[3]{x^2} = 54$ .

29.  $\sqrt[3]{x^2} - n^2 = n + \sqrt[3]{x}$ . 30.  $\sqrt{x^3} + ax^3 = b$ .

31.  $(x^2 + ax)^2 + b(x^2 + ax) = c$ . Setze  $x^2 + ax = y$ .

32.  $(x^2 - 3)^2 - 7(x^2 - 3) + 6 = 0$ .

33.  $(2x^2 - 3x + 1)^2 = 22x^2 - 33x + 1$ .

34.  $x^2 - 8x + 5 = 2\sqrt{x^2 - 8x + 40}$ . Setze  $x^2 - 8x = y$ .

35.  $2x^2 + 3\sqrt{x^2 - x + 1} = 2x + 3$ .

36.  $(2x + \sqrt{2x})^4 - (2x + \sqrt{2x})^2 = 1260$ .

Löse folgende reciprofe Gleichungen auf:

37.  $x^3 + x^2 + x + 1 = 0$ . 38.  $x^3 + 3x^2 - 3x - 1 = 0$ .

39.  $x^3 + \frac{7x^2}{2} + \frac{7x}{2} + 1 = 0$ . 40.  $x^3 - \frac{7x^2}{3} + \frac{7x}{3} - 1 = 0$ .

41.  $2x^3 + 3x^2 - 3x - 2 = 0$ . 42.  $5x^3 - 21x^2 - 21x + 5 = 0$ .

43.  $x^4 - 2x^3 + 2x^2 - 2x + 1 = 0$ .

44.  $x^4 - 12x^3 + 29x^2 - 12x + 1 = 0$ .

45.  $x^4 - \frac{x^3}{3} - 8x^2 - \frac{x}{3} + 1 = 0$ .

46.  $2x^4 + 5x^3 - 5x - 2 = 0$ .

47.  $24x^4 - 50x^3 - 173x^2 - 50x + 24 = 0$ .

48.  $x^5 - \frac{13x^4}{6} + x^3 - x^2 + \frac{13x}{6} - 1 = 0$ .

49.  $36x^5 - 15x^4 - 29x^3 - 29x^2 - 15x + 36 = 0$ .

Löse folgende Exponentialgleichungen auf:

50.  $\sqrt{a} = b^x$ . 51.  $2^{x+1} = \sqrt[5]{5}$ . 52.  $\sqrt[2]{2} = 4^{x+3}$ .

53.  $3 \cdot 2^x = 4\sqrt[3]{9}$ . 54.  $\sqrt[mx+n]{a} = b \cdot c^{px+q}$ .

55.  $3 \cdot 4^{x+2} = 4 \cdot 3^{\frac{2x+1}{x}}$ . 56.  $3^{2x} = 100(3^{x-1} - 1)$ .

57.  $x^{\log x} = 578$ . 58.  $\sqrt{x^{\log \sqrt{x}}} = 10$ .

59.  $3^{x^2-45x+5} = 1200$ . 60.  $a^{(x-m)(x-n)} = 1$ .

61.  $6 \cdot 7^{2x} + 7^x = 301$ . 62.  $3 \cdot 4^{2x^2-2x+4} - 5 \cdot 4^{x^2-x+2} = 28$ .

63.  $\frac{10(3^x + 100)}{3^x} = 15 \cdot 3^x + 2$ .  $3^x = 2$

64.  $5\sqrt[2x]{3} + 3\sqrt[3]{3} = 10$ . 65.  $13\sqrt[3x]{10} - 5\sqrt[6x]{10} = 25$ .

## 3. Quadratische Gleichungen mit mehreren Unbekannten

(§§. 224 und 225.)

1.  $x^2 + y^2 = 90,$   
 $x = 3y.$
2.  $xy + x = 40,$   
 $x + y = 12.$
3.  $xy = a,$   
 $x - y = b.$
4.  $2x^2 - 3y^2 = 71,$   
 $3x^2 + 2y^2 = 165.$
5.  $xy + x = 4,$   
 $xy + y = 3.$
6.  $xy + x = 18,$   
 $xy - y = 10.$
7.  $x^2 + y^2 = r^2,$   
 $y = ax + b.$
8.  $y^2 = 2px,$   
 $y = ax + b.$
9.  $b^2x^2 + a^2y^2 = a^2b^2,$   
 $y = Ax + B.$
10.  $b^2x^2 - a^2y^2 = a^2b^2,$   
 $y = Ax + B.$
11.  $x^2 + y^2 = a^2,$   
 $\frac{x}{y} = \frac{b}{c}.$
12.  $x^2 - y^2 = 32,$   
 $\frac{x}{y} = 3.$
13.  $x + y = 4,$   
 $\frac{8}{x} - \frac{12}{y} = 4.$
14.  $\frac{a}{x^2} - \frac{b}{y^2} = c,$   
 $\frac{1}{x} - \frac{1}{y} = 1.$
15.  $y = a + (x - 1)d,$   
 $s = \frac{x}{2}(a + y).$
16.  $22 = x + 3(y - 1),$   
 $92 = \frac{y}{2}(x + 22).$
17.  $x : y = 4 : 1,$   
 $x : 6 = 6 : y.$
18.  $x^2 : y^2 = a^2 : b^2,$   
 $x - y = a^2 - b^2.$
19.  $x^2 - y = 604,$   
 $x - y = 4.$
20.  $x^2 - y^2 = 12,$   
 $x^2 + y = 14.$
21.  $x^2 + y^2 = a,$   
 $x - y = b.$
22.  $x^2 + y^2 = 2a^2 + 2b^2,$   
 $x + y = 2a.$
23.  $x^2 - y^2 = a,$   
 $xy = b. \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Setze } x^2 = u, y^2 = v.$
24.  $x(x + y) = 40,$   
 $y(x + y) = 24.$
25.  $x^2 + y^2 + x + y = a,$   
 $x^2 + y^2 - x - y = b.$
26.  $x^2 + y^2 + x + y = 8,$   
 $xy = 2.$
27.  $x^2 + y^2 - x - y = 12,$   
 $xy = 9.$
28.  $x^2 + xy + y^2 = a,$   
 $x^2 + y^2 = b.$
29.  $x^2 - xy + y^2 = a,$   
 $x - y = b.$
30.  $x + y = 74,$   
 $\sqrt{x} + \sqrt{y} = 12.$
31.  $x : 11 = 704 : y,$   
 $\sqrt{x} + \sqrt{y} = 19.$

Setze  $\sqrt{x} = u, \sqrt{y} = v.$

$$32. \quad x - y + \sqrt{\frac{x-y}{x+y}} = \frac{20}{x+y},$$

$$x^2 + y^2 = 34.$$

Setze  $x^2 - y^2 = u^2$ .

$$33. \quad \frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{5}{6},$$

$$x^2 y + x y^2 = 30.$$

Setze  $xy = u$ ,  $x + y = v$ .

$$34. \quad x(x + y + z) = a,$$

$$y(x + y + z) = b,$$

$$z(x + y + z) = c.$$

$$36. \quad \frac{xy}{z} = m,$$

$$\frac{xz}{y} = n,$$

$$\frac{yz}{x} = p.$$

$$38. \quad \frac{y+z}{xyz} + a^2 = 0,$$

$$\frac{x+z}{xyz} + b^2 = 0,$$

$$\frac{x+y}{xyz} + (a+b)^2 = 0.$$

$$39. \quad x : y = y : z,$$

$$x + y + z = 26,$$

$$x^2 + y^2 + z^2 = 364.$$

$$35. \quad x^2 + y^2 + z^2 = 94,$$

$$x(y+z) = 45,$$

$$x + y + z = 14.$$

$$37. \quad \frac{1}{xy} + \frac{1}{xz} = 22,$$

$$\frac{1}{xy} + \frac{1}{yz} = 40,$$

$$\frac{1}{xz} + \frac{1}{yz} = 42.$$

Auflösung:  $x = \pm \frac{1}{a},$

$$y = \pm \frac{1}{b},$$

$$z = \mp \frac{1}{a+b}.$$

$$40. \quad x : y = z : u,$$

$$x + u = 13,$$

$$y + z = 20,$$

$$x^2 + y^2 + z^2 + u^2 = 425.$$

$$41. \quad x^3 + y^3 = a,$$

$$x + y = b.$$

$$43. \quad \left. \begin{array}{l} x^4 + y^4 = a, \\ x + y = b. \end{array} \right\} \text{ Setze } x - y = u.$$

$$45. \quad x^2 + y^2 = 97,$$

$$\sqrt{x} - \sqrt{y} = 1.$$

$$47. \quad \left. \begin{array}{l} x^3 + y^3 = 1512, \\ x^2 y + x y^2 = 1440. \end{array} \right\} \text{ Suche zuerst } x + y, \text{ dann } xy.$$

$$48. \quad \left. \begin{array}{l} x^2(x + y) = a, \\ y^2(x + y) = b, \end{array} \right\}$$

$$49. \quad \left. \begin{array}{l} (x + y)(x^2 + y^2) = a, \\ (x - y)(x^2 - y^2) = b. \end{array} \right\}$$

$$50. \quad \left. \begin{array}{l} x^2 + y^2 + x - y = a, \\ (x^2 + y^2)(x - y) = b. \end{array} \right\} \text{ Setze } x^2 + y^2 = u, \\ x - y = v.$$

$$51. \quad \left. \begin{array}{l} x^2 + y \sqrt{xy} = 9, \\ y^2 + x \sqrt{xy} = 18. \end{array} \right\} \text{ Setze } y = t^2 x.$$

$$52. \quad x + (x + y) + (x + 2y) + (x + 3y) = b, \\ x(x + y)(x + 2y)(x + 3y) = c.$$

Man erhält  $x = \frac{1}{4} \{b \mp \sqrt{5b^2 \pm 4m}\}$  und  $y = \pm \frac{1}{6} \sqrt{5b^2 \pm 4m}$ ,  
wenn  $\sqrt{b^4 + 144c} = m$  gesetzt wird.

$$53. \quad x(x + y)^2(x + 2y) = p, \\ x^2 + (x + 2y)^2 = s.$$

$$54. \quad x(x + y)(x + 2y)(x + 3y) = p, \\ (x + 2y)^2 - (x + y)^2 = d.$$

$$55. \quad x + xy = b, \\ x^2 + x^2y^2 = c.$$

$$56. \quad x + xy + xy^2 = b, \\ x^2 + x^2y^2 + x^2y^4 = c.$$

In der Aufgabe 56. erhält man zunächst  $xy = \frac{b^2 - c}{2b}$  und dann durch  
Substitution in den beiden Gleichungen und durch weitere Transformationen

$$x = \frac{1}{4b} (b^2 + c \pm m) \text{ und } y = \frac{1}{2(b^2 - c)} (b^2 + c \mp m),$$

wenn  $\sqrt{(3b^2 - c)(3c - b^2)} = m$  gesetzt wird.

### Anwendung der quadratischen Gleichungen mit mehreren Unbekannten.

57. Das Product zweier Zahlen ist 64, ihr Quotient 4; wie heißen die beiden Zahlen?
58. Man suche zwei Zahlen, deren Quadrate 45 zur Summe und 27 zur Differenz geben.
59. Die Zahl 18 in zwei Factoren zu zerlegen, deren Quadrate 27 zur Differenz geben.
60. Zwei Zahlen verhalten sich wie 3:4, die Summe ihrer Quadrate ist 100; welche Zahlen sind es?
61. Der Zähler und der Nenner eines Bruches betragen zusammen 33. Wäre der Zähler um 39, und der Nenner um 20 größer, so würde der Bruch doppelt so groß sein; welches ist der Bruch?
62. Von welchen zwei Zahlen ist das Product um 84 kleiner als die Summe der Quadrate, und um 44 größer als die Differenz der Quadrate?
63. Dividirt man eine zweiziffrige Zahl durch das Product ihrer Ziffern, so erhält man 6; vertauscht man die Ziffern, so ist die so erhaltene Zahl um 9 größer als die gesuchte; wie heißt die Zahl?
64. Der Unterschied der Quadrate zweier Zahlen beträgt 88; vergrößert man die erste Zahl um 2 und die zweite um 3, so beträgt der Unterschied der Quadrate nur 81; welches sind die beiden Zahlen?
65. Suche zwei Zahlen von der Beschaffenheit, dass ihre Summe, ihr Product und die Differenz ihrer Quadrate gleich sind.
66. In einem Rechtecke, dessen Flächeninhalt  $f$  ist, verhält sich die Länge zu der Breite wie  $m:n$ ; wie groß ist die Länge und wie groß die Breite?

67. In einem Rechtecke ist die Diagonale  $d$  und das Verhältniß  $m : n$  der Seiten gegeben; wie groß sind die Seiten?
68. Wie groß ist der Umfang eines Rechteckes, dessen Diagonale  $d$  und dessen Flächeninhalt  $f$  ist?
69. Die Diagonale eines Rechteckes von bestimmter Länge und Breite ist  $d$ ; vergrößert man die Länge um  $m$  und die Breite um  $n$ , so wird die Diagonale  $d'$ . Welche Länge und Breite hat das Rechteck?
70. In einem rechtwinkligen Dreiecke wird die Hypotenuse durch ihre Höhe in zwei Abschnitte getheilt; die Hypotenuse ist  $a$ , die eine Kathete ist gleich dem nicht anliegenden Hypotenusenabschnitte. Wie groß sind die Katheten?
71. In einem gleichschenkligen Dreiecke ist gegeben die Höhe  $h$  und die Summe  $s$  aus der Grundlinie und dem Schenkel; wie groß sind die Seiten?
72. Drei Zahlen bilden eine stetige geometrische Proportion; ihre Summe ist 14, die Summe ihrer Quadrate 84; welche Zahlen sind es?
73. Die Summe dreier Zahlen, die eine stetige Proportion bilden, ist 39, ihr Product 729; welches sind die Zahlen?
74. In einer geometrischen Proportion ist die Summe der äußeren Glieder 18, die Summe der inneren Glieder 17 und die Summe der Quadrate aller vier Glieder 325; wie heißt die Proportion?
75. Die Summe der vier Glieder einer geometrischen Proportion ist 72, das Product der inneren Glieder 140, die Summe der Quadrate aller vier Glieder 2050; wie heißt die Proportion?
76. Eine bestimmte Arbeit kann von A und B ausgeführt werden; A allein braucht zu derselben um 2 Tage mehr, B allein um  $4\frac{1}{2}$  Tage mehr, als sie beide brauchen würden, wenn sie zusammen arbeiten. Wie viel Tage brauchen beide zusammen zur Vollendung der Arbeit?
77. A und B verkauften zusammen 100 Meter einer Ware, und zwar der eine mehr als der andere, aber beide nahmen dennoch dieselbe Geldsumme ein; hätte A so viel Meter gehabt als B, so würde er 63 fl. dafür eingenommen haben; hätte B so viel Meter als A gehabt, so würde er nur 28 fl. dafür erhalten haben. Wie viel Meter hat jeder verkauft?
78. Zwei Röhren liefern zusammen in 20 Minuten 540 Liter Wasser; die erste Röhre braucht, um allein diese Quantität Wasser zu liefern, 9 Minuten mehr als die zweite. Wie viel Liter liefert jede in 1 Minute?
79. In einem rechtwinkligen Dreiecke sind die Hypotenuse  $a$  und der Flächeninhalt  $f$  gegeben; bestimme die beiden Katheten.
80. In einem rechtwinkligen Dreiecke sind die Hypotenuse  $a$  und die Differenz  $d$  der beiden Katheten gegeben; wie groß ist jede Kathete?

81. Aus der Summe  $s$  der Hypotenuse und der einen Kathete und der Summe  $s'$  der Hypotenuse und der andern Kathete die Seiten des rechtwinkligen Dreiecks zu berechnen.
82. In zwei Quadraten ist die Differenz der Diagonalen  $d$ , die Summe der Flächeninhalte  $s$ ; wie groß sind die Seiten?
83. Die Diagonale eines Rechtecks ist 85 Meter; verlängert man jede Seite um 2 Meter, so wächst der Flächeninhalt um 230 Quadratmeter; wie groß sind die Seiten?
84. Ein Grundstück von der Form eines Rechtecks ist  $a$  Meter lang und  $b$  Meter breit; um wie viel Meter muss die Länge verkleinert und um wie viel Meter die Breite vergrößert werden, damit das Grundstück an Inhalt gleich bleibe, an Umfang aber um  $a - 2b$  Meter kleiner werde?
85. Ein Reisender braucht zu einem Wege von 520 Kilometer 3 Tage mehr als ein anderer, weil dieser täglich 12 Kilometer mehr zurücklegt als der erstere. Wie viel Tage braucht jeder zu dieser Reise?
86. Von zwei Orten, die 270 Kilometer von einander entfernt sind, gehen gleichzeitig zwei Eisenbahnzüge ab, von denen der eine zu einem Kilometer 0.5 Minuten mehr braucht als der andere. Wenn sich nun diese Züge 5 Stunden nach ihrer Abfahrt begegnen, wie viel Minuten braucht jeder zu einem Kilometer?
87. Zwei Reisende gehen gleichzeitig, der eine von  $A'$  gegen  $A''$ , der andere von  $A''$  gegen  $A'$  ab. Der erste kommt in  $A''$  in  $a'$  Stunden, der zweite in  $A'$  in  $a''$  Stunden nach ihrer gegenseitigen Begegnung an. Wie verhalten sich ihre Geschwindigkeiten  $c'$  und  $c''$ ?

Bezeichnet  $d$  die Entfernung der Orte  $A'$  und  $A''$ , so findet die Begegnung nach  $\frac{d}{c' + c''}$  Zeiteinheiten statt; bis dahin haben die Reisenden die Wege  $\frac{c' d}{c' + c''}$  und  $\frac{c'' d}{c' + c''}$  gemacht, sie haben daher bezüglich noch die Wege  $\frac{c'' d}{c' + c''}$  und  $\frac{c' d}{c' + c''}$  zurückzulegen und brauchen dazu  $\frac{c'' d}{c' (c' + c'')}$  und  $\frac{c' d}{c'' (c' + c'')}$  Zeiteinheiten. Man hat daher  $\frac{c'' d}{c' (c' + c'')} = a'$  und  $\frac{c' d}{c'' (c' + c'')} = a''$ .

Dividiert man die zweite Gleichung durch die erste, so erhält man

$$\frac{c''^2}{c'^2} = \frac{a''}{a'}, \text{ folglich } \frac{c''}{c'} = \frac{\sqrt{a''}}{\sqrt{a'}}.$$

88. Zwei Punkte bewegen sich gleichförmig auf zwei sich senkrecht durchschneidenden geraden Linien nach dem Schnittpunkte hin, von dem sie die Entfernungen  $d'$  und  $d''$  haben. Nach  $t$  Zeiteinheiten haben beide Punkte die kleinste Entfernung  $d$  von einander. Welche Geschwindigkeiten haben die beiden Punkte? (Siehe Aufg. 172, Seite 276.)

## VI. Unbestimmte Gleichungen.

## 1. Unbestimmte Gleichungen des ersten Grades.

(§§. 227—232.)

Löse in ganzen Zahlen auf:

1.  $2x - 3y = 1.$

2.  $2x + 3y = 17.$

3.  $6x + 5y = 128.$

4.  $7x + 11y = 18.$

5.  $7x - 13y = 152.$

6.  $8x - 11y = 200.$

7.  $12x + 13y = 319.$

8.  $5x - 7y = 1.$

9.  $9x - 22y = 5.$

10.  $7x - 4y = 5.$

11.  $8x + 5y = 111.$

12.  $18x - 25y = 10.$

13.  $15x + 14y = 225.$

14.  $13x + 19y = 73.$

15.  $37x - 22y = 307.$

16.  $23x - 13y = 2.$

17.  $7x + 17y = 408.$

18.  $25x - 11y = 20.$

19.  $x + y + z = 12,$

20.  $x - 4y + 13z = 16,$

$7x + 8y + 4z = 73.$

$7x + y + z = 45.$

21.  $5x + 3y + 7z = 36.$

22.  $8x + 11y - 20z = 6.$

Löse in ganzen positiven Zahlen auf:

23.  $5x - 7y = 13.$

24.  $5x + 7y = 94.$

25.  $7x - 12y = 300.$

26.  $17x + 14y = 76.$

27.  $23x + 57y = 412.$

28.  $25x = 36y - 7.$

29.  $29x + 17y = 250.$

30.  $17x - 1 = 12y - 5.$

31.  $28x + 12 = 19y + 17.$

32.  $24x - 31y = 196.$

33.  $6x + 17y = 500.$

34.  $18x + 7y = 600.$

35.  $19x - 10y = 7,$

36.  $x + y + z = 48,$

$19x - 8z = 15.$

$2x + 3y - 3z = 11.$

Anwendungen.

37. Suche zwei Zahlen von solcher Beschaffenheit, dass das 8fache der ersten um das 3fache der zweiten vermehrt 91 zur Summe gibt.

38. Die Zahl 200 in zwei Theile zu zerlegen, von denen der eine durch 14, der andere durch 23 theilbar ist.

39. Suche zwei um 10 verschiedene Zahlen, deren kleinere durch 21, deren größere durch 34 theilbar ist.

40. Zerlege die Zahl 300 in zwei Theile so, dass der erste um 1 vermindert durch 9, der zweite um 7 vermehrt durch 11 theilbar sei.

41. Suche eine Zahl, welche durch 7 theilbar ist, aber durch 29 dividirt 13 zum Reste gibt.

42. Welche ist die allgemeine Form der positiven Zahlen, welche durch 19 dividirt 1, und durch 28 dividirt 3 zum Reste geben?

43. Welche positive Zahlen geben durch 24 dividiert 18, durch 13 dividiert 1 zum Reste?
44. Welche zwischen 1000 und 2000 liegende Zahlen lassen sich, wenn sie um 5 größer werden, durch 13, und wenn sie um 5 kleiner werden, durch 17 ohne Rest theilen?
45. Zerlege den Bruch  $\frac{101}{110}$  in zwei Brüche mit den Nennern 5 und 22.
46. Jemand kauft für 90 fl. zweierlei Sorten Tuch; von der einen kostet das Meter 4 fl., von der anderen 3 fl. Wie viel ganze Meter erhält er von jeder Sorte?
47. Jemand kaufte Kaffee und Zucker, zusammen für 48 fl. 15 kr.; 1 Kilogr. Kaffee kostete 1 fl. 55 kr., 1 Kilogr. Zucker 40 kr. Wie viel ganze Kilogr. Kaffee und wie viel ganze Kilogr. Zucker hat er gekauft?
48. Der Durchmesser der Achtguldennstücke beträgt 21, jener der Bierguldennstücke 19 Millimeter. Wie viel Acht- und Bierguldennstücke muß man in gerader Linie nebeneinander stellen, damit die Summe der Durchmesser 1 Meter betrage?
49. Von zwei gezahnten Rädern hat das eine 13, das andere 17 Zähne; beim Beginne der Bewegung greift der erste Zahn des ersten Rades in die erste Zahnücke des zweiten Rades ein. Nach wie vielen Umdrehungen des ersten Rades wird der Zahn 1 dieses Rades wieder in die Lücke 1 des zweiten eingreifen?
50. Welche dreiziffrige Zahlen mit der Ziffernsumme 18 werden, wenn man ihre Ziffern in umgekehrter Ordnung schreibt, um 198 kleiner?
51. Welche Zahlen geben der Reihe nach durch 11, 19, 29 dividiert bezüglich die Reste 5, 12, 4?
52. Die Zahl 50 ist in drei Theile zu zerlegen, die folgeweise durch 5, 6, 7 theilbar sind.
53. Der Bruch  $\frac{121201}{4400}$  soll in drei Brüche zerlegt werden, deren Nenner 11, 16, 25 sind.
54. Für 30 Personen, Männer, Frauen und Kinder, sind 60 fl. ausgegeben worden. Wenn nun die Ausgabe für einen Mann 4 fl., für eine Frau 2 fl. und für ein Kind 50 kr. beträgt, wie viel waren Männer, wie viel Frauen und wie viel Kinder?
55. Ein Kaufmann mischt drei Gattungen Spiritus, zu 70%, 64% und 50%, um 561 Liter Spiritus von 60% zu erhalten. Wie wird die Mischung geschehen, wenn er von jeder einzelnen Gattung nur eine ganze Zahl von Liter verwenden will?
56. Jemand hat Banknoten zu 10 fl. und Staatsnoten zu 5 fl. und 1 fl.; er will mit denselben eine Schuld von 328 fl. bezahlen. Wie viele Noten jeder Sorte wird er zur Zahlung verwenden, wenn die Zahl der Noten

zu 10 fl. so groß sein soll als die Zahl der Noten zu 5 fl. und zu 1 fl. zusammen?

57. Bezeichnet  $N$  eine Jahreszahl der christlichen Zeitrechnung, so heißt

der Rest der Division  $\frac{N+1}{19}$  die goldene Zahl,

" " " "  $\frac{N+9}{28}$  der Sonnenzirkel,

" " " "  $\frac{N+3}{15}$  die Römerzinszahl

für jenes Jahr. Für welche Jahreszahlen ist a) die goldene Zahl 15 und der Sonnenzirkel 9; b) die goldene Zahl 14 und die Römerzinszahl 3; c) der Sonnenzirkel 10 und die Römerzinszahl 5; d) die goldene Zahl 5, der Sonnenzirkel 18 und die Römerzinszahl 13?

## 2. Unbestimmte Gleichungen des zweiten Grades.

(§§. 234—236.)

Löse in ganzen positiven Zahlen auf:

- |                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. $5xy - 3y = 168.$           | 2. $xy + x - y = 64.$               |
| 3. $3xy - 5y = 16x.$           | 4. $7xy + 10y = 136x.$              |
| 5. $5xy - 2x - 3y = 18.$       | 6. $x^2 + xy - 2x - 3y = 29.$       |
| 7. $12x^2 - xy - 3y + 87 = 0.$ | 8. $x^2 - 2xy + y = 4.$             |
| 9. $3x^2 - 2xy - y + 1 = 0.$   | 10. $x^2 - 2xy - 3x + 5y + 20 = 0.$ |
| 11. $x^2 + 3xy - 2x + 2y = 8.$ | 12. $2x^2 - 2xy - 4x + 3y = 0.$     |

Löse in rationalen Zahlen auf:

- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 13. $y^2 = 16x^2 + 5x + 7.$ | 14. $y^2 = 25x^2 - 39x + 12.$ |
| 15. $y^2 = 4x^2 - x + 3.$   | 16. $y^2 = x^2 - 4x - 3.$     |
| 17. $y^2 = 4x^2 - 5.$       | 18. $y^2 = x^2 + 1.$          |
| 19. $y^2 = 5x^2 - 7x + 4.$  | 20. $y^2 = 3x^2 - 2x + 1.$    |
| 21. $y^2 = 7x^2 + 9.$       | 22. $y^2 = 2x^2 + 3x + 4.$    |
| 23. $y^2 = 6x^2 - 5x - 6.$  | 24. $y^2 = 3x^2 + 17x + 10.$  |
| 25. $y^2 = 1 - x^2.$        | 26. $y^2 = 5x^2 + 42x + 16.$  |

Gib die Werthe von  $x$  an, für welche folgende Ausdrücke rational werden:

- |                            |                              |                              |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 27. $\sqrt{x^2 - 4}.$      | 28. $\sqrt{9x^2 - 5x + 7}.$  | 29. $\sqrt{16x^2 + 9x - 8}.$ |
| 30. $\sqrt{2x^2 + x + 4}.$ | 31. $\sqrt{3x^2 + 2x + 9}.$  | 32. $\sqrt{8x^2 - 3x + 1}.$  |
| 33. $\sqrt{x^2 - 1}.$      | 34. $\sqrt{6x^2 + 2x - 20}.$ | 35. $\sqrt{8x^2 + 2x - 3}.$  |

Löse folgende Gleichungen in rationalen Zahlen auf:

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 36. $x^2 - y^2 = 25.$                     | 37. $3x^2 - 4xy + y^2 + 1 = 0.$ |
| 38. $3x^2 - 4xy + y^2 + 3y = 7.$          | 39. $4y^2 - 4xy + 6x - 8y = 1.$ |
| 40. $2x^2 + 2xy - y^2 - 2x + 4y + 5 = 0.$ |                                 |

41.  $5x^2 - 12xy - 4y^2 - 6x + 4y = 3$ .  
 42.  $4x^2 + 2xy - y^2 + 11x - 4y + 12 = 0$ .  
 43.  $7x^2 - 6xy + y^2 + 8x - 2y + 13 = 0$ .

## Anwendungen.

44. Zwei ganze positive Zahlen zu finden, deren Summe zu dem Producte addirt 47 gibt.  
 45. Von welchen zwei ganzen positiven Zahlen ist das Product um 33 größer als ihre Differenz?  
 46. Zwei ganze positive Zahlen zu finden, deren Quotient und Summe zusammen 35 betragen.  
 47. Suche zwei ganze positive Zahlen, deren Quotient und Differenz gleich sind.  
 48. Von welchen zwei ganzen Zahlen geben die Quadrate 35 zur Differenz?  
 49. Welche zweiziffrige Zahl gibt durch das Product ihrer Ziffern dividirt den Quotienten 5 mit dem Reste 2?  
 50. Zwei Zahlen von der Beschaffenheit anzugeben, daß die Differenz ihrer Quadrate wieder ein Quadrat sei.  
 51. Suche die allgemeine Form einer Zahl, welche, wenn man sie entweder um 1 vermehrt oder um 1 vermindert, in beiden Fällen ein Quadrat gibt.

Setzt man  $x + 1 = a^2$  und  $x - 1 = a^2 - 2 = b^2$ , ferner  $b = \sqrt{a^2 - 2}$   
 $= a - p$ , so folgt  $a = \frac{p^2 + 2}{2p}$  und  $x = \frac{p^4 + 4}{4p^2}$ .

(Vergleiche auch Aufgabe 249, Seite 261.)

52. Die Summe zweier Quadrate  $a^2 + b^2$  in die Summe zweier anderer Quadrate zu verwandeln.

$a^2 + b^2 = x^2 + y^2$ . Setzt man  $y = \sqrt{a^2 + (b+x)(b-x)} = a + p(b-x)$   
 so folgt  $x = \frac{2ap + bp^2 - b}{1 + p^2}$  und  $y = \frac{2bp - ap^2 + a}{1 + p^2}$ .

53. Drei Zahlen von solcher Beschaffenheit anzugeben, daß die Summe der Quadrate der beiden ersten dem Quadrate der dritten Zahl gleich sei.

$$x^2 + y^2 = z^2.$$

Setzt man für beliebige Werte  $s^2 + m^2 = (s+n)^2$ , so folgt daraus  $s = \frac{m^2 - n^2}{2n}$   
 und  $s + n = \frac{m^2 + n^2}{2n}$ , daher

$$\left(\frac{m^2 - n^2}{2n}\right)^2 + m^2 = \left(\frac{m^2 + n^2}{2n}\right)^2,$$

oder, wenn man mit  $4n^2$  multipliciert,

$$(m^2 - n^2)^2 + (2mn)^2 = (m^2 + n^2)^2.$$

Demnach sind

$$x = m^2 - n^2, \quad y = 2mn, \quad z = m^2 + n^2$$

rationale Werte von  $x, y, z$ , welche der vorgelegten Aufgabe genügen, mögen für  $m$  und  $n$  was immer für rationale Zahlen gewählt werden. Nimmt man für  $m$  und  $n$  ganze Zahlen, so erhält man auch für  $x, y, z$  ganze Zahlen.

Diese Aufgabe hat in der Planimetrie ihre Anwendung, um rechtwinklige Dreiecke zu erhalten, deren Seiten commensurabel sind (Pythagoräische Dreiecke). Drücken  $x$  und  $y$  die Katheten aus, so ist  $z$  die Hypotenuse, und man hat für

$$\begin{array}{l} m = 2 \ 3 \ 4 \ 4 \ 5 \ 5 \ 6 \ 6 \dots \\ n = 1 \ 2 \ 1 \ 3 \ 2 \ 4 \ 1 \ 5 \dots \\ x = 3 \ 5 \ 15 \ 7 \ 21 \ 6 \ 35 \ 11 \dots \\ y = 4 \ 12 \ 8 \ 24 \ 20 \ 40 \ 12 \ 60 \dots \\ z = 5 \ 13 \ 17 \ 25 \ 29 \ 41 \ 37 \ 61 \dots \end{array}$$

54. Vier Zahlen von solcher Beschaffenheit anzugeben, daß die Summe der Quadrate der ersten drei dem Quadrate der vierten Zahl gleich sei.

$$x^2 + y^2 + z^2 = u^2.$$

Setzt man  $s^2 + m^2 + n^2 = (s + p)^2$ , so erhält man

$$s = \frac{m^2 + n^2 - p^2}{2p} \text{ und } s + p = \frac{m^2 + n^2 + p^2}{2p}; \text{ folglich ist}$$

$$\left(\frac{m^2 + n^2 - p^2}{2p}\right)^2 + m^2 + n^2 = \left(\frac{m^2 + n^2 + p^2}{2p}\right)^2,$$

oder, wenn man mit  $4p^2$  multipliciert,

$$(m^2 + n^2 - p^2)^2 + (2mp)^2 + (2np)^2 = (m^2 + n^2 + p^2)^2.$$

Daher ist  $x = m^2 + n^2 - p^2$ ,  $y = 2mp$ ,  $z = 2np$  und  $u = m^2 + n^2 + p^2$ .

Diese Aufgabe findet in der Stereometrie ihre Anwendung, um rechtwinklige Parallelepipede zu erhalten, in denen die drei Kanten und die Diagonale commensurabel sind.

## VII. Kettenbrüche.

(§§. 238—248.)

Verwandle folgende Brüche in Kettenbrüche:

1. a)  $\frac{92}{381}$ ;      b)  $\frac{61}{437}$ ;      c)  $\frac{115}{151}$ ;      d)  $\frac{67}{551}$ ;      e)  $\frac{113}{355}$ .
2. a)  $\frac{49}{235}$ ;      b)  $\frac{137}{196}$ ;      c)  $\frac{188}{487}$ ;      d)  $\frac{108}{887}$ ;      e)  $\frac{349}{1478}$ .
3. a)  $\frac{104}{31}$ ;      b)  $\frac{284}{83}$ ;      c)  $\frac{519}{53}$ ;      d)  $\frac{373}{250}$ ;      e)  $\frac{8658}{1405}$ .
4. a)  $0.513$ ;      b)  $0.0934$ ;      c)  $0.7307$ ;      d)  $5.13722$ .

$$5. \frac{rst + r + t}{prst + pr + pt + st + 1} \quad 6. \frac{12x^2 + 17x + 7}{24x^2 + 46x^2 + 35x + 10}$$

Verwandle folgende Kettenbrüche in gemeine Brüche:

7.  $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4}$ .
8.  $\frac{1}{5} + \frac{1}{1} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2}$ .
9.  $\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{1} + \frac{1}{7}$ .
10.  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a+1} + \frac{1}{a+2} + \frac{1}{a+3} + \frac{1}{a+4}$ .

## Näherungsbrüche.

Verwandle folgende Brüche in Kettenbrüche und bestimme deren Näherungsbrüche:

11. a)  $\frac{129}{164}$ ;      b)  $\frac{111}{53}$ ;      c)  $\frac{135}{328}$ ;      d)  $\frac{100}{137}$ ;      e)  $\frac{157}{972}$ .
12. a)  $\frac{999}{439}$ ;      b)  $\frac{3361}{900}$ ;      c) 0.357;      d) 0.8282;      e) 2.7041.
13. Gib die ersten fünf Näherungswerte des Decimalbruches 0.65438 und die Fehlergrenze eines jeden derselben an.
14. Verwandle  $\frac{625}{3178}$  in einen Kettenbruch und weise an den Näherungsbrüchen die in den §§. 242 und 243 begründeten Eigenschaften nach.
15. Ein Wiener Pfund hat 0.56006 Kilogramm; welches sind die ersten fünf Näherungswerte dieser Verhältniszahl?
16. Ein Liter ist = 0.70685 Wiener Maß; suche die Näherungswerte.
17. Ein österr. Achtguldenstück enthält 5.80645, ein deutsches Zehnmarkstück 3.58423 Gramm feines Gold; drücke das Verhältnis zwischen diesen beiden Goldmünzen in kleineren Zahlen möglichst genau aus.
18. Der synodische Monat, d. i. die Zeit von einem Neumonde zum andern, hat 29.53059, das tropische Sonnenjahr 365.24222 Tage; bestimme die ersten acht Näherungswerte des Verhältnisses beider Zeiträume.

Auf dem sechsten Näherungsbrüche  $\frac{19}{285}$ , welcher ausdrückt, daß 19 Sonnenjahre sehr nahe 235 synodische Monate ausmachen, beruht der Meton'sche Cyklus von 19 Jahren, nach deren Verlauf die Mondesphasen wieder nahezu auf die nämlichen Tage des Jahres fallen, sowie die goldene Zahl, welche anzeigt, das wievielte Jahr in diesem Cyklus ein bestimmtes Jahr ist.

Berechne mittelst der Kettenbrüche folgende irrationale Quadratwurzeln auf 5 Decimalen:

19.  $\sqrt{10}$ .      20.  $\sqrt{23}$ .      21.  $\sqrt{47}$ .      22.  $\sqrt{129}$ .  
 23.  $\sqrt{61}$ .      24.  $\sqrt{205}$ .      25.  $\sqrt{531}$ .      26.  $\sqrt{2222}$ .

Löse mittelst der Kettenbrüche folgende unbestimmte Gleichungen in ganzen Zahlen auf:

27.  $9x + 23y = 400$ .      28.  $25x - 36y = 14$ .  
 29.  $18x - 25y = 10$ .      30.  $39x + 14y = 137$ .  
 31.  $47x - 11y = 7$ .      32.  $24x - 35y = 10$ .  
 33.  $34x - 1 = 37y$ .      34.  $21x = 59y + 1$ .  
 35.  $61x + 28y = 206$ .      36.  $36x - 115y = 643$ .  
 37.  $39x - 56y = 11$ .      38.  $32x + 45y = 552$ .

## VIII. Progressionen.

## 1. Arithmetische Progressionen.

(§§. 250—252.)

Suche das allgemeine und das Summenglied der arithmetischen Reihen:

1. 1, 2, 3, 4, 5, 6, ...
2. 2, 4, 6, 8, 10, 12, ...
3. -28, -25, -22, -19, ...
4. 100, 97, 94, 91, ...
5.  $100, 92\frac{1}{2}, 85, 77\frac{1}{2}, 70, \dots$
6. Wie groß ist die Differenz einer Progression, deren erstes Glied 109, und deren 34stes Glied 10 ist?
7. Mit welcher Zahl fängt eine Progression an, deren Differenz 5, und deren 27stes Glied 139 ist?
8. Eine Progression fängt mit 1 an und steigt nach der Differenz 5; das wievielte Glied ist 116?
9. Das erste Glied einer arithmetischen Progression ist 20, die Zahl der Glieder 10, das letzte Glied -16; wie groß ist die Summe?
10. Wie viele Anfangsglieder einer Progression muß man addieren, um 2808 zur Summe zu erhalten, wenn das erste Glied 2 und die Differenz 10 ist?
11. Die Summe einer Progression, deren Differenz 3 und deren letztes Glied 97 ist, beträgt 1612; wie groß ist a) das erste Glied, b) die Anzahl der Glieder?
12. Leite die allgemeinen Formeln ab, durch welche aus je dreien der Größen  $a_1$ ,  $d$ ,  $n$ ,  $a_n$  und  $s_n$  (§. 251) die beiden anderen bestimmt werden.

Löse folgende Aufgaben:

	$a_1$	$d$	$n$	$a_n$	$s_n$
13.	125	35	13	$a_n$	$s_n$
14.	50	-5	$n$	15	$s_n$
15.	1	9	$n$	$a_n$	260
16.	250	$d$	18	1100	$s_n$
17.	1·8	$d$	27	$a_n$	926·1
18.	8	$d$	$n$	$-23\frac{1}{2}$	$-77\frac{1}{2}$
19.	$a_1$	-2	6	0	$s_n$
20.	$a_1$	0·27	16	$a_n$	52·08
21.	$a_1$	$8\frac{5}{11}$	$n$	99	630
22.	$a_1$	$d$	12	$7\frac{1}{4}$	54

23. Interpoliere in der Reihe 1, 5, 9, 13, 17, 21, ... zwischen je zwei Glieder 8 Glieder, so daß wieder eine arithmetische Progression entsteht.
24. Zwischen  $p$  und  $q$  sollen  $r$  Glieder interpoliert werden; wie groß ist das  $n$ te dieser Glieder?
25. Wie viele Zahlen muß man zwischen 16 und 250 einschalten, damit man eine arithmetische Progression mit der Summe 1995 erhalte?
26. Wie viele durch  $p$  theilbare Zahlen liegen zwischen 0 und  $a$ ?
27. Wie viele Zahlen, welche durch 6 theilbar sind, liegen zwischen 0 und 100? Wie groß ist ihre Summe?
28. Die Zahl 225 soll in mehrere Theile so getheilt werden, daß jeder folgende um 2 größer als der vorhergehende, und der letzte 29 ist. Wie groß ist der erste Theil und wie groß die Anzahl der Theile?
29. Eine Summe Geldes wird unter mehrere Personen so vertheilt, daß die erste 80 fl. und jede folgende 4 fl. weniger bekommt; die letzte erhält 28 fl. Wie viel Personen sind theilhaft worden, und wie groß ist die ganze Geldsumme?
30. Ein Diener war bei einem Herrn 6 Jahre im Dienste und erhielt in jedem folgenden Jahre 12 fl. an Lohn mehr als im vorhergehenden, zusammen 900 fl. Wie viel erhielt er das erste, wie viel das letzte Jahr?
31. Es ist ein Brunnen von 12 Meter Tiefe zu graben; für das erste Meter zahlt man 4 fl. 40 kr., für jedes folgende 40 kr. mehr; wie viel zahlt man für das letzte Meter, wie viel für den ganzen Brunnen?
32. Ein Körper legt in der ersten Secunde  $a$  Meter, in jeder folgenden  $d$  Meter mehr zurück als in der vorhergehenden. a) Wie groß ist der in  $n$  Secunden zurückgelegte Raum; b) in welcher Zeit legt der Körper  $s$  Meter zurück?
33. Ein frei fallender Körper durchläuft in der ersten Secunde 4·9 Meter, und in jeder folgenden 9·8 Meter mehr als in der vorhergehenden; wie groß ist der Fallraum der 5ten Secunde, wie groß der Fallraum in 5 Secunden? (Der Widerstand der Luft bleibt unbeachtet.)
34. Eine vertical in die Höhe geschossene Kugel legt in der ersten Secunde 200 Meter, und in jeder folgenden 9·8 Meter weniger zurück; wie hoch wird sie steigen und in wie viel Zeit wieder auf die Erde zurückfallen?
35. Um einen Punkt herum liegen 6 anstoßende Winkel, von denen jeder folgende um  $9^\circ 12'$  größer ist als der vorhergehende; wie groß sind die einzelnen Winkel?
36. Jemand setzt in die Lotterie auf eine Nummer 20 fr. und, solange er nicht gewinnt, jedes folgendemal um 20 fr. mehr als das vorhergehendemal. Wenn nun der Treffer einer Nummer mit dem 14fachen Einsetze

bezahlt wird, bei welchem Spiele würde der Gewinnende sein ganzes, bis dahin eingesetztes Geld zurückerhalten?

37. Eine unverzinsliche Schuld wird in sechs Jahreszahlungen getilgt. Im ersten Jahre bezahlt man 600 fl., in jedem folgenden um eine bestimmte Summe mehr; für das sechste Jahr beträgt die Zahlung 850 fl.; wie groß ist die ganze Schuld?
38. Ein Capital  $c$  wird nach  $n$  Jahren sammt den einfachen Zinsen zu  $p\%$  zurückgezahlt; wie viel beträgt die Zahlung?
39. Durch  $n$  Jahre wird am Anfange eines jeden Jahres ein Capital  $c$  zu  $p\%$  auf einfache Zinsen angelegt; zu welchem Werte  $s$  sind sämtliche Anlagen bis zum Schlusse des  $n$ ten Jahres angewachsen?

$$s = c \left\{ n + \frac{n(n+1)p}{200} \right\}.$$

40. Das dritte Glied einer arithmetischen Reihe ist 5, das siebente 11; wie groß ist das zehnte Glied?
41. Die Summe der ersten 6 Glieder einer arithmetischen Progression ist 17, das vierte Glied ist 3; wie heißt die Progression?
42. In einer arithmetischen Progression beträgt die Summe der ersten 5 Glieder 75, die Differenz zwischen dem fünften und zweiten Gliede 18; wie groß ist a) das erste Glied, b) die Differenz?
43. Vier Zahlen bilden eine arithmetische Progression, deren Differenz 4 ist; das Product der letzten zwei Zahlen beträgt 165; welche Zahlen sind es?
44. Zwei arithmetische Progressionen haben gleich viele Glieder, die erste fängt mit 1 an und endet mit 15, die zweite fängt mit 3 an und endet mit 24; wie groß ist die Summe jeder Reihe? (Die Lösung führt auf eine unbestimmte Gleichung.)
45. In einer arithmetischen Reihe, deren Glieder die Summen der gleichstelligen Glieder zweier arithmetischen Progressionen mit den Anfangsgliedern 2 und 3 sind, ist das  $n$ te Glied  $9n - 4$ . Wie heißen die beiden Progressionen, wenn die Differenz der zweiten doppelt so groß ist als die Differenz der ersten?
46. Die Summe von drei Zahlen, welche eine arithmetische Progression bilden, ist 36, die Summe ihrer Quadrate 482; welche Zahlen sind es?
47. Vier Zahlen bilden eine arithmetische Progression; ihre Summe ist 2, ihr Product 40; welche Zahlen sind es? (Vergl. Aufg. 52, Seite 281.)
48. In einer arithmetischen Progression von vier Gliedern ist das Product aller Glieder 880, die Differenz der Quadrate der beiden mittleren Glieder 39; welche Progression ist es?
49. Zwei Körper bewegen sich gleichzeitig von A aus in derselben Richtung; der eine legt in einer Secunde 20 Meter zurück, der andere in der ersten

Secunde 12 Meter und in jeder folgenden 2 Meter mehr als in der vorhergehenden. Nach wie viel Secunden holt dieser den ersten ein?

## 2. Geometrische Progressionen.

(§§. 253—257.)

Suche das allgemeine und das Summenglied der geometrischen Reihen:

1.  $5, 15, 45, 135, \dots$
2.  $6, 4\frac{1}{2}, 3\frac{3}{8}, 2\frac{17}{32}, \dots$
3.  $10 \cdot 5, 2 \cdot 625, 0 \cdot 65625, \dots$
4.  $3, -12, 48, -192, \dots$
5. Wie groß ist das erste Glied einer Progression, deren Quotient  $1\frac{1}{2}$ , deren 7tes Glied  $68\frac{11}{32}$  ist?
6. Wie viele Anfangsglieder der geometrischen Progression  $1, 3, 9, 27, \dots$  muß man addieren, um 3280 zur Summe zu erhalten?
7. Wie groß ist der Quotient einer Progression, deren erstes Glied 2, deren 12tes Glied 4096 ist?
8. Wie groß ist die Summe der ersten 8 Glieder der geometrischen Progression

$$a, -b, \frac{b^2}{a}, -\frac{b^3}{a^2}, \dots$$

9. Bestimme die Summe der Reihe

$$\frac{r}{e} + \frac{r}{e^2} + \frac{r}{e^3} + \dots + \frac{r}{e^{n-1}} + \frac{r}{e^n}.$$

10. Leite die allgemeinen Formeln ab, durch welche aus je dreien der Größen  $a_1, q, n, a_n$  und  $s_n$  (§. 255) die beiden anderen bestimmt werden.

Sind  $a_1, n$  und  $s_n$  gegeben, so erhält man für  $q$  und  $a_n$ ; sind  $n, a_n$  und  $s_n$  gegeben, für  $a_1$  und  $q$  Gleichungen des  $(n-1)$ ten Grades.

Löse folgende Aufgaben:

	$a_1$	$q$	$n$	$a_n$	$s_n$
11.	7	4	9	$a_n$	$s_n$
12.	6	$\frac{3}{4}$	$n$	$1\frac{217}{512}$	$s_n$
13.	4	3	$n$	$a_n$	118096
14.	4096	$q$	14	0.5	$s_n$
15.	31	$q$	$n$	$3827\frac{13}{81}$	$5454\frac{7}{81}$
16.	$a_1$	-0.5	5	0.75	$s_n$
17.	$a_1$	2	14	$a_n$	$2047\frac{7}{8}$
18.	$a_1$	3	$n$	177147	265720

Bestimme die Summe folgender Progressionen:

19.  $1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^{n-2} + x^{n-1}$ .

20.  $x^4 + x^3y + x^2y^2 + xy^3 + y^4$ .

21.  $a^6 - a^5b + a^4b^2 - a^3b^3 + a^2b^4 - ab^5 + b^6$ .

22. Suche in der Progression  $1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} + \dots$  a) die Summe der ersten 2, 3, 4, 5, 6 Glieder, b) die Summe der Reihe selbst.

Bestimme die Summe folgender fallender Reihen:

23.  $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \dots$       24.  $1 - \frac{3}{4} + \frac{9}{16} - \frac{27}{64} + \dots$

25.  $1 + \frac{1}{1.05} + \frac{1}{1.05^2} + \frac{1}{1.05^3} + \dots$

26.  $1 - \frac{b}{a} + \frac{b^2}{a^2} - \frac{b^3}{a^3} + \frac{b^4}{a^4} - \dots$  für  $b < a$ .

27. Die Summe einer fallenden geometrischen Progression, die mit 1 beginnt, ist 3; wie groß ist ihr Quotient?

28. Wie heißt das fünfte Glied einer fallenden geometrischen Reihe, deren Quotient  $\frac{3}{4}$  und deren Summe 20 ist?

29. Ein rein periodischer Decimalbruch  $x$  mit der  $n$ ziffrigen Periode  $b$  soll in einen gemeinen Bruch dadurch verwandelt werden, daß man ihn als eine fallende geometrische Progression darstellt und diese summiert. (Vergl. §. 104, 2.)

30. Verwandle ebenso in gemeine Brüche:

a)  $0.6\bar{6}$ ;      b)  $0.8\bar{1}$ ;      c)  $0.10\bar{5}$ ;      d)  $8.\bar{7}$ .

31. In einem gemischt periodischen Decimalbruche  $x$  seien  $b$  die Ziffern der Periode,  $n$  die Anzahl derselben, ferner  $a$  die der Periode vorangehenden Decimalen und  $m$  ihre Anzahl; verwandle den Decimalbruch mit Anwendung der geometrischen Progression in einen gemeinen Bruch. (Vergl. §. 104, 3.)

32. Bestimme ebenso a)  $x = 0.6\bar{4}$ ; b)  $x = 0.125\bar{4}$ ; c)  $x = 9.351\bar{3}$ .

33. Zwischen 5 und 405 sollen 3 Glieder so eingeschaltet werden, daß dann alle fünf Glieder eine geometrische Progression bilden.

34. Interpoliere zwischen je zwei Glieder der Progression 1, 10, 100, 1000, ... 5 neue Glieder.

35. Zwischen 1 und  $\frac{1}{2}$  sind 11 Glieder einer geometrischen Progression zu interpolieren. (Anwendung in der Tonlehre.)

36. Interpoliere zwischen  $x^8$  und  $y^8$  noch 7 Glieder, so daß eine geometrische Progression entsteht.

37. Zwischen das erste und zweite Glied der Reihe  $16, \frac{1}{4}, \frac{1}{256}, \dots$  sollen mehrere Glieder so eingeschaltet werden, daß sie mit 16 und  $\frac{1}{4}$  eine

geometrische Progression bilden und mit diesen  $31\frac{3}{4}$  zur Summe geben; wie viele Glieder sind einzuschalten und wie heißen sie?

38. Eine Summe von 248 fl. soll unter 5 Personen so vertheilt werden, daß jede folgende doppelt so viel als die vorhergehende erhalte; wie viel erhält jede?
39. Jemand setzt sechsmal in die Lotterie; das erstemal 10 Kreuzer und jedes folgendemal doppelt so viel als für die frühere Ziehung; das sechstemal gewinnt er und es wird ihm der letzte Einsatz 4800 mal zurückgezahlt. Wie viel beträgt dieser Gewinn und wie viel hat er im ganzen eingesetzt?
40. Es legt jemand im Monate Zänner einen Kreuzer zurück, in jedem folgenden Monate 3 mal so viel als im vorhergehenden; wie viel hat er im ganzen Jahre zurückgelegt?
41. Eine Schuld von 13000 fl. soll in 4 Raten, deren jede 3 mal so groß ist als die vorhergehende, zurückgezahlt werden; wie groß ist jede Ratenzahlung?
42. Der Erfinder des Schachspieles erbat sich als Belohnung die Summe Weizenkörner, die herauskommt, wenn für das erste Feld des Schachbrettes 1 Korn, für das zweite 2, für das dritte 4, und so fort für jedes folgende der 64 Felder doppelt so viel Körner gerechnet werden als für das vorhergehende. Wie viel Tonnen à 1000 Kilogramm würden diese Körner ausmachen, wenn 20000 Körner 1 Kilogramm wiegen?
43. In einem Fasse sind 100 Liter Wein. Man nimmt daraus 1 Liter und gießt dafür 1 Liter Wasser hinein; aus dieser Mischung nimmt man wieder 1 Liter und gießt eben so viel Wasser hinein. Wie oft kann man so verfahren, bis in der Mischung nur noch 50 Liter Wein übrig sind?
44. Ein Lichtstrahl verliert bei dem Durchgange durch eine Glasplatte  $\frac{1}{10}$  seiner Intensität; wie groß wird diese noch sein, wenn er durch 10 hintereinander aufgestellte Platten hindurch gegangen ist?
45. Der Recipient einer Luftpumpe enthält  $5\cdot3$  Cubikdecimeter, der Stiefel sammt dem Verbindungsrohre  $0\cdot6$  Cubikdecimeter; nach wie viel Kolbenzügen wird die Luft im Recipienten nur noch den 10ten Theil der ursprünglichen Dichtigkeit betragen?
46. Drei Zahlen, von denen die zweite um 15 größer ist als die erste, die dritte um 60 größer ist als die zweite, bilden eine geometrische Progression; welche Zahlen sind es?
47. Die Summe von drei Anfangsgliedern einer geometrischen Reihe ist 156, das erste Glied 16; wie groß ist der Quotient?

48. Die Summe des ersten und dritten Gliedes einer geometrischen Progression ist  $9\frac{3}{4}$ , die Summe des zweiten und vierten Gliedes  $14\frac{5}{8}$ ; wie heißt die Progression?
49. Acht Zahlen bilden eine geometrische Progression, die Summe der ersten vier ist 15, die Summe der letzten 240; welche Zahlen sind es?
50. In einer geometrischen Progression ist die Summe des dritten und vierten Gliedes  $b$ , die Differenz des dritten und fünften  $d$ ; bestimme den Quotienten und das erste Glied.
51. In einer geometrischen Progression von 10 Gliedern ist die Summe der ungeraden Glieder 36905, die Summe der geraden 110715; wie groß ist der Quotient, wie groß das erste Glied?
52. Die Summe dreier Zahlen, welche eine geometrische Progression bilden, ist 21, die Summe ihrer Quadrate 189; welche Zahlen sind es? (Vergl. Aufg. 56, Seite 281.)
53. Zerlege jedes Glied der geometrischen Progression 3, 48, 768, 12288, ... in 4 Theile so, daß alle diese Theile untereinander wieder eine geometrische Progression bilden?

54. Multipliciere die gleichstelligen Glieder der arithmetischen Progression  $a, 2a, 3a, 4a, \dots$  und der geometrischen Progression  $1, q, q^2, q^3, \dots$  und bestimme das Summenglied  $S_n$  der dadurch entstehenden Reihe.

Bestimme ebenso die Summe folgender Reihen:

55.  $1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + 5x^4 + \dots + nx^{n-1}$ .

56.  $1 + 5x + 9x^2 + 13x^3 + 17x^4 + \dots + (4n - 3)x^{n-1}$ .

57.  $1 + \frac{3}{2} + \frac{5}{4} + \frac{7}{8} + \frac{9}{16} + \dots + \frac{2n-1}{2^{n-1}} + \dots$

58.  $\frac{1}{2} + \frac{4}{2 \cdot 3} + \frac{7}{2 \cdot 3^2} + \frac{10}{2 \cdot 3^3} + \dots + \frac{3n-2}{2 \cdot 3^{n-1}} + \dots$

59. Wie groß ist die Summe von a) 6, b) 9, c) 15 Anfangsgliedern der Reihe  $1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + \dots$ ?

60. Bestimme die Summe von a) 5, b) 8, c) 12 Anfangsgliedern der Reihe  $1^3 + 2^3 + 3^3 + 4^3 + \dots$

### 3. Zinseszins- und Rentenrechnung.

(§§. 261—264.)

1. Zu welchem Werte wächst ein Capital von 5800 fl. in 15 Jahren bei 5% Zinseszins an?
2. Jemand legt 5042 fl. in eine Sparcasse, welche die Einlagen zu 4% und zwar halbjährig verzinst, ein; nach 20 Jahren hebt er das Capital sammt Zins und Zinseszins; wie groß ist die Summe?

3. Wie viel werden 7324 fl. 20 fr. bei  $4\frac{1}{2}\%$  Verzinsung nach  $23\frac{3}{4}$  Jahren wert sein, wenn man die Zinsen ganzjährig zum Capitale schlägt?
4. Der Bestand eines Waldes wird gegenwärtig auf 42350 Cubikmeter geschätzt; wie groß wird derselbe bei einem jährlichen Zuwachs von 3% nach 10 Jahren sein?
5. Ein Land hat gegenwärtig 548200 Einwohner, wie groß wird die Bevölkerung bei einer jährlichen Zunahme von  $1\frac{1}{2}\%$  nach 14 Jahren sein?
6. Ein Capital von 9000 fl. ist nach 10 Jahren unverzinslich fällig; wie groß ist sein Barwert, wenn Zinsezinsen zu 5% gerechnet werden?
7. Für ein durch 9 Jahre zu  $4\frac{1}{2}\%$  Zinsezins angelegtes Capital erhält man 5234 fl.; wie groß war das ursprüngliche Capital?
8. Eine Stadt zählt gegenwärtig 36230 Einwohner; wie groß war bei einer jährlichen Zunahme von 2% die Bevölkerung vor 30 Jahren?
9. Ein Waldbestand wird gegenwärtig auf 180000 Cubikmeter veranschlagt; wie stark war derselbe vor 15 Jahren, wenn man annimmt, daß er sich während dieser Zeit regelmäßig jährlich um 3% vermehrt hat?
10. Ein Capital von 7537 fl. 80 fr. wächst in 20 Jahren mittelst Zinsezinsen auf 20000 fl. an; zu wie viel % war es verzinsset?
11. 3200 fl. sind vor 80 Jahren angelegt worden und während dieser Zeit sammt Zinsezins auf 34059.83 fl. angewachsen; zu wie viel % war das Capital angelegt?
12. Wien hatte zu Ende 1869 622927, zu Ende 1880 726105 Einwohner; wie viel % beträgt die jährliche Zunahme der Bevölkerung?
13. In wie viel Jahren wird ein Capital  $a$  bei  $p\%$  Zinsezins  $m$  mal so groß als es ursprünglich war?

Hier muß man  $a e^n = m a$  setzen, daher ist  $n = \frac{\log m}{\log e}$ .

14. In welcher Zeit verdoppelt sich ein Capital zu 5% Zinsezins?
15. In wie viel Zeit wird ein Capital zu 4% Zinsezins a) bei ganzjähriger, b) bei halbjähriger Capitalisierung auf das Dreifache anwachsen?
16. In wie viel Jahren erhöht sich die Bevölkerung eines Ortes bei  $1\frac{1}{4}\%$  jährlicher Zunahme von 5200 Einwohnern auf 9433 Einwohner?
17. Von einer Schuld von 10000 fl. werden nach 3 Jahren 2500 fl., nach 6 Jahren 1000 fl. bezahlt; wie groß ist noch die Schuld nach 10 Jahren, wenn 5% Zinsezinsen gerechnet werden?
18. Ein Capital  $a$  wird zum Zinsfuße  $e$  verzinst, die Verwaltungskosten betragen  $v\%$  und werden am Ende jedes Jahres abgerechnet; zu welcher Summe wächst das Capital in  $n$  Jahren an?

$$a_n = a e^n \left(1 - \frac{v}{100}\right)^n.$$

19. Durch 20 Jahre werden zu Anfang eines jeden Jahres 200 fl. angelegt; zu welchem Werte werden diese Capitalien bei 4% Zinseszins zur Zeit der letzten Anlage angewachsen sein? *20 Jahren*
20. jemand erspart jährlich 280 fl. und legt diese am Ende eines jeden Jahres auf 5% Zinseszinsen an; über welche Summe wird er nach 15 Jahren auf diese Weise verfügen können?
21. Durch  $n$  Jahre wird jährlich ein Capital  $r$  zum Zinsfuße  $e$  angelegt, die Verwaltungskosten betragen jährlich  $v\%$  und werden am Ende des Jahres abgerechnet; zu welcher Summe sind diese Capitalbeträge zur Zeit der letzten Anlage angewachsen?
22. *Doz.* Jemand hat durch 12 Jahre am Anfange eines jeden Jahres den gleichen Geldbetrag zu  $4\frac{1}{2}\%$  Zinseszins angelegt, und bezieht dafür nach dieser Zeit 1939 fl. 18 kr.; wie groß war die jährliche Einlage?
23. Ein Capital von 12500 fl. ist nach 7 Jahren fällig; es soll durch gleiche, am Anfange eines jeden der 7 Jahre zahlbare Summen getilgt werden. Wie groß sind die Teilzahlungen bei 5% Zinseszins?
24. Wie hoch müssen die am Ende eines jeden Jahres zu leistenden Abschlagszahlungen sein, damit eine nach 10 Jahren unverzinslich fällige Schuld von 8000 Mark getilgt werde, den Zins zu 4% gerechnet?
25. Ein Gutsbesitzer will seine Feldfrüchte im veranschlagten Werte von 6800 fl. gegen Hagel versichern; wie hoch wird die Assuranz-Gesellschaft die jährliche Versicherungsprämie bei 5% Zinseszins ansetzen, wenn angenommen wird, daß der Hagelschlag die Feldfrüchte jener Gegend durchschnittlich alle 16 Jahre gänzlich vernichtet?
26. Ein zu  $4\frac{1}{2}\%$  Zinseszins ausstehendes Capital von 5000 fl. wird am Ende jedes Jahres um 500 fl. vermehrt; wie hoch wird es in 8 Jahren anwachsen?
27. Von einem Walde, dessen jährlicher Zuwachs  $2\frac{1}{4}\%$  beträgt, ist der gegenwärtige Bestand 145678 Cubikmeter; wie groß wird der Bestand nach 18 Jahren sein, wenn am Ende eines jeden Jahres 1175 Cubikmeter gefällt werden?
28. Jemand will eine Schuld von 10000 fl., die zu 5% zu verzinsen ist, in 10 gleichen Jahresraten abtragen; wie groß wird eine Ratenzahlung sein?
29. Dem Vormunde eines Kindes von 5 Jahren wird eine Summe von 6000 fl. mit der Verpflichtung überwiesen, das Kind bis zum 18ten Jahre zu erziehen; welches ist der Betrag des nachschußweise zahlbar angenommenen jährlichen Erziehungsgeldes, wenn 5% Zinseszinsen berechnet werden?

30. Eine Stadt will bei einer Bank ein Anlehen mit der Verpflichtung aufnehmen, dasselbe durch einen am Ende jedes Jahres zahlbaren Betrag von 28000 fl. binnen 25 Jahren zu tilgen; welche Summe wird die Bank der Stadt bei 5% Zinsezins darleihen?
31. Wie viel bleibt von einer Schuld von 26000 fl. bei 5% Zinsezins nach 10 Jahren übrig, wenn für Zinsen und Tilgung eines Theiles der Schuld jährlich 2000 fl. gezahlt werden?
32. Wie groß ist ein auf Zinsezinsen zu  $4\frac{1}{2}\%$  angelegtes Capital, wenn von demselben bei einer am Ende eines jeden Jahres eintretenden Verminderung um 250 fl. nach 15 Jahren noch 1300 fl. übrig sind?
33. Ein Vater hinterlässt seinen 5 Kindern ein Vermögen von 20000 fl., welches zu 5% Zinsezins angelegt ist; davon beziehen die Kinder am Ende eines jeden Jahres 1500 fl. Wie viel erhält dann jedes der Kinder nach 6 Jahren, wenn der Rest des Vermögens zu gleichen Theilen unter sie vertheilt wird?
34. Jemand kauft ein Haus und bezahlt den Kaufschilling dadurch, dass er durch 20 Jahre am Schlusse eines jeden derselben eine Abschlagszahlung von 1200 fl. leistet; wie groß ist der Kaufpreis, wenn jede Abschlagszahlung zugleich 5% Zinsen für die noch unbezahlte Schuld enthält?
35. Wie viel muss man am Schlusse eines jeden Jahres zu einem Capitale von 4500 fl. hinzufügen, damit es sich bei 4% Zinsezins in 6 Jahren verdopple?
36. Jemand hat ein Capital von 12532 Mark zu  $4\frac{1}{2}\%$  ausstehen und gebraucht davon jährlich 1000 Mark; nach wie viel Jahren wird das Capital erschöpft sein?
37. Ein Wald, dessen Bestand auf 150000 Cubikmeter Holz mit einem jährlichen Zuwachs von 2% veranschlagt wird, soll innerhalb 12 Jahren abgestockt werden; wie viel Holz wird man jährlich schlagen, um jedes Jahr gleich viel Holz zu erhalten?
38. Eine Eisenbahn-Gesellschaft macht eine Anleihe von 4 Millionen Gulden zu 5% und will dieselbe dadurch amortisieren, dass sie jährlich 250000 fl. zur Zinsenzahlung und theilweisen Tilgung des Anlehens verwendet; nach wie viel Jahren wird die Schuld getilgt sein?
39. Jemand ordnet in seinem Testamente an, dass seinem treuen Diener bis zu dessen Tode jährlich 100 fl. ausgezahlt werden. Die Erben werden mit dem Diener einig, ihm dafür auf einmal einen Betrag von 1200 fl. zu zahlen. Wie viel Jahre müsste der Diener noch leben, wenn er von dem Übereinkommen weder Schaden noch Vortheil haben sollte, die Zinsen zu 5% gerechnet?

40. Jemand nimmt bei einer Sparcasse ein Capital von 8000 fl. auf, das er durch gleiche Theilzahlungen, die am Ende eines jeden Jahres fällig sind, in 15 Jahren tilgen will; wie groß ist eine Theilzahlung, wenn die Sparcasse verausgabte Gelder mit 5%, empfangene dagegen mit 4% Zinsezins in Rechnung bringt?
41. Ein Herr will seinem Diener bei einer Versicherungsanstalt ein nach 11 Jahren zahlbares Capital von 1000 fl. versichern; welchen Betrag muß er an die Anstalt zahlen, wenn dieselbe zu 5% verzinst?
42. Welchen Barwert hat eine durch 14 Jahre am Ende jedes Jahres mit 420 fl. zu leistende Rente, wenn 4% Zinsen gerechnet werden?
43. Jemand verkauft eine nachschußweise Jahresrente von 620 Mark, die er noch durch 10 Jahre zu genießen hat; wie viel wird er dafür erhalten, wenn 4% Zinsezinsen gerechnet werden?
44. Ein Vater will für seinen Sohn, wenn dieser das 24ste Jahr erreicht hat, eine Summe versichern; er zahlt zu diesem Zwecke von der Geburt des Sohnes angefangen bis zu jener Zeit an eine Versicherungsanstalt am Anfange jedes Jahres 400 fl. Welchen Betrag wird die Anstalt bei 5% Zinsezins nach 24 Jahren auszusahlen haben?
45. Jemand will für seinen Sohn bei einer Bank eine Summe von 1000 fl. versichern, welche dieselbe beim Beginne des 15ten Jahres auszahlen soll; welchen jährlichen Betrag muß er am Anfange eines jeden Jahres bis zu jener Zeit zum Zinsfuße 1.045 leisten?
46. Ein Capital von 20000 fl. soll bei 4% Zinsezins durch eine jährliche Rente getilgt werden, die vom Ende des ersten Jahres beginnt und 30 Jahre dauert; wie groß muß die Rente sein?
47. Jemand erlegt 12000 fl. zu 4%, und will dafür durch 24 Jahre am Ende jedes derselben eine Rente beziehen; wie groß wird dieselbe sein?
48. Bei einer Anstalt werden 1000 fl. gegen Entrichtung einer jährlichen Prämie von 27 fl. versichert; nach wie viel Jahren ist bei  $4\frac{3}{4}\%$  das versicherte Capital durch Prämien gedeckt?
49. Ein Capital von 8000 fl. soll durch die nachschußweise jährliche Rente von 801.12 fl. bei 4% Zins getilgt werden; wie lange muß die Rente gezahlt werden?
50. Wie viele Jahre hat eine nachschußweise Rente zu laufen, die jährlich 600 fl. beträgt und gegenwärtig einen Wert von 10000 fl. hat, die Zinsen zu 5% gerechnet?
51. Jemand versichert bei einer Anstalt auf den Todesfall 5000 fl. und muß am Anfange jedes Jahres eine Prämie von 180 fl. zahlen; wenn er

nun nach 24 Jahren stirbt, wie groß ist der Gewinn oder Verlust der Anstalt bei 4% Zinsezins?

52. Wie groß muß die Jahresrente sein, die 10 Jahre hindurch zu zahlen ist, wenn sie einen gleichen gegenwärtigen Wert haben soll mit einer Jahresrente von 500 fl., die 15 Jahre zu laufen hat, die Zinsezinsen zu 4% gerechnet?

53. *Don* Jemand hat eine Jahresrente von 1800 Mark auf 30 Jahre zu beziehen; er wünscht aber statt derselben eine größere auf 20 Jahre zu haben; wie groß wird diese bei  $4\frac{1}{2}\%$  Zins sein?

54. Eine Jahresrente  $r$ , die zum Zinsfuße  $e$  durch  $n$  Jahre zu zahlen ist, soll in eine andere  $r'$  zum Zinsfuße  $e'$  verwandelt werden; wie viel Jahre wird die neue Rente zu zahlen sein?

55. Jemand will durch 18 Jahre am Anfange eines jeden Jahres eine bestimmte Summe bezahlen, damit nach Verlauf dieser Zeit er selbst oder eine andere Person 10 Jahre hindurch eine am Ende jedes Jahres fällige Jahresrente von 500 fl. genieße; wie groß ist die jährlich zu zahlende Summe, wenn 5% gerechnet werden?

56. Welche Einlage muß man durch 20 Jahre am Anfange jedes Jahres an eine Versicherungsanstalt machen, um nach Verlauf dieser Zeit bei 4% Verzinsung eine Jahresrente von 300 fl. durch 12 Jahre zu genießen?

57. Jemand zahlt durch 30 Jahre zu Anfang eines jeden Jahres 68 fl. in eine Rentenbank, welche zu 4% verzinst; welche nachschußweise Rente wird ihm die Bank durch die 7 folgenden Jahre geben?

58. Welche nachschußweise Jahresrente wird man durch 15 Jahre beziehen, wenn man vorher durch 25 Jahre zu Anfang eines jeden Jahres einen Betrag von 125 fl. eingezahlt hat und 5% Zinsezinsen rechnet?

59. Jemand hält sich noch auf 20 Jahre für arbeitsfähig; wie viel muß er in dieser Zeit jährlich auf Zinsen à  $4\frac{1}{2}\%$  legen, um nach Ablauf derselben noch 15 Jahre eine Jahresrente von 300 fl. zu genießen?

60. Jemand, der sich noch 15 Jahre für arbeitsfähig hält, spart in dieser Zeit jährlich 250 fl. und legt sie zu 4% auf Zinsen an; wie lange kann er dafür nach Ablauf jener Zeit eine Jahresrente von 400 fl. ansprechen?

61. Eine Rente, welche im ersten Jahre 400 fl. beträgt und in jedem folgenden Jahre um 50 fl. wächst, wird 10 Jahre hindurch am Ende eines jeden Jahres ausgezahlt; welches ist ihr Barwert, wenn  $4\frac{1}{2}\%$  Zinsezinsen gerechnet werden?

*arith. geom. Reihe  
wenn groß ist f. nach 10 Jahr.*

## IX. Combinationslehre.

### 1. Permutationen, Combinationen und Variationen.

#### Permutationen. (§§. 266—268.)

1. Wie viele und welche Permutationen erhält man aus den Buchstaben des Wortes ROMA?
2. Stelle für die Elemente  $abcde$  lexikographisch die Permutationen dar, die 1) mit  $a$ , 2) mit  $c$  anfangen.
3. Bilde die Permutationen aus den Elementen  $aaabbc$ .
4. Wie groß ist die Zahl der Permutationen aus  $a^5b^3$ ?
5. Wie viele vierziffrige Zahlen gibt es, deren jede die Ziffern 3, 0, 7, 4 enthält?
6. Wie viele fünfziffrige Zahlen enthalten die Ziffer 6 2mal, die Ziffer 3 2mal und die Ziffer 5 1mal?
7. Wie viele neunziffrige Zahlen lassen sich aus den neun arabischen Ziffern bilden, wenn die Ziffern jeder Zahl ungleich sein sollen?
8. Wie oft können 5 Tischgenossen ihre Plätze am Tische wechseln, bis sie in allen Ordnungen gegessen sind?
9. Wie viele verschiedene Stellungen geben 3 weiße, eine blaue und 2 rothe Kugeln?

#### Combinationen. (§§. 269—272.)

10. Bilde für die Elemente  $abcde$  die Amben und Ternen a) ohne Wiederholung, b) mit Wiederholung.
11. Bilde alle Combinationen ohne Wiederholung von den Elementen 123456.
12. Wie viele Amben und Ternen enthalten 6 Elemente a) ohne Wiederholung, b) mit Wiederholung?
13. Wie viele Elemente muß man haben, die mit Wiederholung combinirt für irgend eine Classe eben so viel Combinationen geben, als 10 Elemente ohne Wiederholung für dieselbe Classe combinirt?
14. Wie viele Unionen, Amben, Ternen, Quaternen und Quinternen geben a) die 90 Nummern der gewöhnlichen Zahlenlotterie, b) die in einer Ziehung herausgehobenen 5 Nummern?
15. Welche und wie viele Würfe durchaus ungleicher Felder können mit 2 Würfeln geworfen werden?
16. Wie viele Dreiecke können durch 6 sich schneidende gerade Linien gebildet werden?
17. Wie viele und welche Verbindungen zu drei sind aus den Seiten  $a, b, c$  und den Winkeln  $\alpha, \beta, \gamma$  eines Dreiecks möglich?

18. Welche Arten des Wechsels von je drei der 6 Farben: roth, orange, gelb, grün, blau, violett sind möglich?
19. Auf wie viele Arten läßt sich das Product  $abcde$  in zwei Producte zerlegen, von denen das eine 2, das andere 3 Factoren enthält?
20. Auf wie viele Arten läßt sich a) das Product  $abcd$  in Producte von 2 Factoren, b) das Product  $abcdef$  in Producte von 3 Factoren zerlegen?
21. Auf wie vielerlei Art lassen sich 32 Karten unter 4 Spieler so vertheilen, daß jeder 8 Karten erhält?

Variationen. (§§. 273—276.)

22. Bilde die Variationen der 2ten Classe ohne Wiederholung von den Elementen  $abcde$ .
23. Bilde die Variationen der 2ten und 3ten Classe mit Wiederholung von den Elementen  $abc$ .
24. Stelle die ersten 20 Variationen der 3ten Classe mit Wiederholung von den Elementen  $abcd$  dar.
25. Wie viele Variationen der 2ten, 3ten, 4ten Classe a) ohne Wiederholung, b) mit Wiederholung geben 10 Elemente?
26. Wie viele dreiziffrige Zahlen gibt es, deren Ziffern von einander verschieden sind?
27. Wie viele vierziffrige Zahlen sind mittelst der Ziffern 3, 4 und 5 darstellbar?
28. Wie viele fünfziffrige Zahlen, deren jede mit 5 beginnt, lassen sich aus den Ziffern 1, 5, 9 bilden?
29. Wie viele verschiedene Würfe sind mit 2 Würfeln möglich?
30. Welche verschiedene Würfe geben bei drei Würfeln 10 zur Summe?
31. Auf wie viele Arten kann man mit 4 Würfeln die Summe 15 werfen?
32. Wie viele Würfe sind mit 3 Würfeln möglich, von denen der eine weiß, der zweite gelb, der dritte roth ist, wenn man annimmt, daß Würfe von gleichviel Augen, aber in verschiedenen Farben als verschieden zu betrachten sind?
33. Ein optischer Telegraph hat 6 Arme, von denen jeder 4 verschiedene Stellungen einnehmen kann; wie viele verschiedene Zeichen kann der Telegraph geben?
34. Es sind 4 Fächer mit 7 verschiedenfarbigen Kugeln zu besetzen, so daß in jedes Fach eine Kugel zu liegen kommt; auf wie vielerlei Art kann dies geschehen?

## 2. Potenzen von Binomen.

(§. 279.)

1.  $(x + a)^4$ .      2.  $(x - y)^{10}$ .      3.  $(x + 3)^5$ .  
 4.  $(2 - a)^8$ .      5.  $(a - 2b)^6$ .      6.  $(3x + 4y)^5$ .  
 7.  $(5a - 3b)^6$ .      8.  $(x^2 + 2y^2)^4$ .      9.  $(3a^2 - 2b^2)^6$ .  
 10.  $(a + b)^n \pm (a - b)^n$ .      11.  $(x^2 + 3)^5 - (x^2 - 3)^5$ .  
 12. Wie heißt a) das sechste Glied der Potenz  $(5x^2 + 6a^2)^{10}$ ;  
 b) das achte Glied in  $(3a - 2)^{12}$ ?

13. Bestimme den Coefficienten

- a) von  $x^5$  in der Entwicklung von  $(5x + 3)^9$ ;  
 b) von  $a^{10}$  in  $(3a^2 - 2b^2)^{10} - (2a^2 - 3b^2)^{10}$ ;

14.  $(\frac{x}{2} + 1)^5$ .      15.  $(\frac{y}{3} - 2)^6$ .      16.  $(\frac{a}{2} + \frac{b}{3})^5$ .  
 17.  $(x - \frac{1}{x})^8$ .      18.  $(\frac{2a}{3b} + \frac{3b}{4a})^5$ .      19.  $(\frac{4m}{3n} - \frac{9n}{4m})^6$ .  
 20.  $(x^2 + \frac{y^2}{3})^5$ .      21.  $(\frac{ax^2}{4by^2} + \frac{4b^2y}{a^2x})^4$ .      22.  $(\frac{3ab^2}{4cy^2} - \frac{2c^2y}{3a^2b})^6$ .

23. Gib an a) das fünfte Glied der Reihe  $(\frac{x}{2} - \frac{2}{3})^9$ ;b) das siebente Glied in  $(\frac{5ax^2}{6by^2} + \frac{3by}{5ax})^{10}$ .24. Wie heißt der Coefficient von  $x^9$  in  $(\frac{3x^2}{5a} - \frac{5a^2}{3x})^{12}$ ?

25.  $(1 \cdot 03)^5 = (1 + \frac{3}{100})^5 = \dots$       26.  $(0 \cdot 997)^4 = (1 - \frac{3}{1000})^4 = \dots$

Bestimme ebenso auf 6 Decimalstellen:

27.  $(1 \cdot 025)^{15}$ ;      28.  $(1 \cdot 035)^{12}$ ;      29.  $(1 \cdot 055)^{14}$ ;  
 30.  $(0 \cdot 98)^{18}$ ;      31.  $(0 \cdot 996)^{20}$ ;      32.  $(1 \cdot 999)^{16}$ .  
 33.  $(4 + \sqrt{3})^6$ .      34.  $(6 - 5\sqrt{2})^5$ .      35.  $(\sqrt{x} + \sqrt{y})^8$ .  
 36.  $(a\sqrt{b} - b\sqrt{a})^8$ .      37.  $(2x - \sqrt{\frac{a}{2}})^7$ .      38.  $(\frac{2}{3}\sqrt{\frac{x}{y}} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{y}{x}})^6$ .  
 39.  $(1 + \sqrt{-1})^6$ .      40.  $(3 - i)^5$ .      41.  $(1 + 2i)^6$ .  
 42.  $(a + bi)^5$ .      43.  $(\sqrt{-4} + \sqrt{-2})^6$ .      44.  $(2\sqrt{a - bi})^5$ .  
 45.  $(a + bi)^n \pm (a - bi)^n$ .      46.  $(1 + i\sqrt{5})^6 + (1 - i\sqrt{5})^6$ .  
 47.  $(\frac{\sqrt{3+i}}{2})^6$ .      48.  $(\frac{3+i\sqrt{2}}{2})^5 + (\frac{3-i\sqrt{2}}{2})^5$ .

## 3. Wahrscheinlichkeitsrechnung.

Absolute und relative Wahrscheinlichkeit. (§§. 282 und 283.)

1. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, beim Aufwerfen eines Münzstückes „Bild“ zu werfen?

2. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit einem Münzstücke eher „Bild“ als „Schrift“ zu werfen?
3. In einer Urne sind 15 Kugeln; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, a) eine ungerade Zahl, b) eine gerade Zahl von Kugeln herauszuziehen?
4. In einer Urne befinden sich 10 weiße und 6 rothe Kugeln; welches ist die Wahrscheinlichkeit, eine weiße Kugel zu ziehen?
5. In einer Urne sind 4 weiße, 3 rothe und zwei blaue Kugeln; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, unter 4 Kugeln eine weiße, zwei rothe und eine blaue zu greifen?
6. Wie groß ist bei einem Spiel von 32 Karten die Wahrscheinlichkeit, a) eine rothe Karte, b) einen König zu ziehen?
7. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit drei Würfeln zwei gleiche Felder (einen Pasch) zu werfen?
8. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit 2 Würfeln 8 Augen zu werfen?
9. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit 3 Würfeln auf einen Wurf a) gerade 3, 4 und 6, b) die Summe 6 zu werfen?
10. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln a) eher 7 als 10, b) eher 7 als 5 zu werfen?
11. Von 8500 Prioritäts-Obligationen eines Eisenbahnanlehens werden 125 Stück verlost; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit für die Verlosung eines Stückes?
12. Die gewöhnliche Zahlenlotterie enthält 90 Nummern, von denen jedesmal 5 herausgezogen werden; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, a) eine genannte Nummer (Extrate) zu treffen, b) mit zwei genannten Nummern einen Ambo zu machen, c) mit drei genannten Nummern einen Terno zu machen?

B sammengesetzte W ahrscheinlichkeit. (§§. 284—288.)

13. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass man mit 2 Würfeln auf den ersten Wurf einen Pasch, auf den zweiten die Augenzahl 8 werfe?
14. Wie groß ist bei 3 Würfeln die Wahrscheinlichkeit, zuerst die Summe 5, dann die Summe 4 zu werfen?
15. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit 2 Würfeln mehr als 9 Augen zu werfen?
16. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit einem Würfel a) in zwei Würfen das erstemal 1, das zweitemal 2 zu werfen, b) in sechs Würfen das erstemal 1, das zweitemal 2, ... das sechstemal 6 zu werfen?
17. In einer Urne befinden sich 8 weiße, 6 rothe, 10 blaue und 5 schwarze Kugeln; welche Wahrscheinlichkeit ist vorhanden, beim Herausziehen zweier Kugeln eher eine weiße und eine blaue, als eine rothe und eine schwarze Kugel zu ziehen?

18. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, mit zwei Würfeln 3 mal nacheinander einen Pasch zu werfen?
19. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß man mit einem Würfel 3 mal nacheinander 1 wirft?
20. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, aus einem Spiele von 32 Karten in den ersten zwei Zügen König und Dame derselben Farbe, jedoch in beliebiger Ordnung zu ziehen?
21. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, aus einem Spiele von 32 Karten zuerst eine Zehn, darauf, wenn die zuerst gezogene Karte nicht wieder hinzugelegt wird, einen König zu ziehen?
22. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, aus einem Kartenspiel von 52 Blättern, 3 mal hintereinander ein Ass zu ziehen?
23. In einer Urne sind 3 weiße, 4 rothe, 5 gelbe und 6 blaue Kugeln; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, eine weiße, rothe oder gelbe Kugel zu ziehen?
24. In einer Urne A befinden sich 4 weiße und 6 rothe Kugeln, in einer zweiten B 6 weiße und 8 rothe Kugeln; wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß man, wenn man aus beiden Urnen zugleich zieht, aus jeder eine weiße Kugel ziehe?
25. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, beim zweimaligen Herausziehen je einer Nummer aus einer Urne von 90 Nummern das erstemal die Nummer 1, das zweitemal die Nummer 90 zu ziehen, a) wenn die zuerst gezogene Nummer wieder in die Urne zurückgelegt wird, b) wenn das nicht geschieht?
26. In einer Urne sind 12 weiße und 9 schwarze Kugeln. Man zieht 8 mal je eine Kugel heraus. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß in den ersten fünf Ziehungen 5 weiße, und in den späteren drei Ziehungen 3 schwarze Kugeln gezogen werden, a) wenn man nach jeder Ziehung die Kugel in die Urne zurückwirft, b) wenn das nicht geschieht?

Mathematischer Hoffnungswert. (§§. 289 und 290.)

27. Jemand kann, wenn er mit zwei Würfeln die Summe 5 wirft, 2 fl. gewinnen; wie groß ist sein mathematischer Hoffnungswert?
28. Wie hoch kann der Einsatz sein, wenn beim Spiel mit zwei Würfeln jeder Pasch 1 fl. gewinnt, andere Würfe aber nicht zählen?
29. Zwei Spieler A und B kommen mit einander überein, daß derjenige den ganzen Einsatz erhalten solle, welcher zuerst 3 Partien gewinnt; nachdem aber A 1, B 2 Partien gewonnen hat, trennen sie sich; in welchem Verhältnisse ist nun der Einsatz zu theilen?

30. Jemand erbietet sich, demjenigen, der aus einer Urne mit 5 weißen, 6 rothen und 7 blauen Kugeln mit einem Griffe 2 weiße, 3 rothe und 4 blaue heraushebt, 1 fl. zu geben, wenn er selbst jedesmal 8 Kreuzer erhält, sobald 9 andere Kugeln herausgezogen werden; hat er zu seinem Vortheile oder zu seinem Nachtheile gewettet?
31. Nach unseren Lottogesetzen wird a) für den Ambo der 240fache Einsatz, b) für den Terno der 4800fache Einsatz als Gewinn bezahlt; wie viel % Gewinn hat das Lotto, wenn man von den Verwaltungskosten abzieht?

Wahrscheinlichkeit in Bezug auf die menschliche Lebensdauer. (§. 292.)

32. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß eine 20jährige Person a) das 30ste, b) das 56ste, c) das 70ste Jahr erreiche?
33. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß a) eine 18jährige, b) eine 35jährige, c) eine 50jährige Person 60 Jahre alt werde?
34. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß a) ein neugeborenes Kind, b) eine 12z, c) 18z, d) 36z, e) 55jährige Person nach 20 Jahren nicht mehr am Leben sei?
35. Ein Mann ist 50, seine Frau 40 Jahre alt. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, daß nach 20 Jahren a) noch der Mann lebe, b) noch die Frau lebe, c) noch beide leben; daß d) schon der Mann todt sei, e) schon die Frau todt sei, f) schon beide todt seien; daß g) der Mann die Frau überlebe, h) die Frau den Mann überlebe, i) wenigstens eines noch lebe, k) wenigstens eines schon todt sei, l) nur eines noch lebe?

Lebensversicherungsrechnung. (§§. 293—297.)

36. Welchen Betrag muß man an eine Versicherungsanstalt für ein 2 jähriges Kind einzahlen, damit dieses nach erreichtem 24sten Lebensjahre, falls es dann lebt, ein Capital von 3500 fl. erhalte, die Zinsen zu 4% berechnet?
37. Ein 34jähriger Mann zahlt in eine Versicherungsanstalt 1000 fl.; welches Capital wird ihm die Anstalt nach 16 Jahren, falls er noch lebt, bei 5% Verzinsung auszahlen? Wie groß ist seine Reserve nach 10 Jahren?
38. Zwei Eheleute, welche gegenwärtig 30 und 25 Jahre alt sind, wollen ein Capital von 4000 fl. versichern, das ihnen nach 30 Jahren, wenn sie dann noch beide leben, ausgezahlt werden soll; welchen Betrag müssen sie an die Versicherungsanstalt bei 4% Zins einzahlen?
39. Wie groß ist bei 4% Zinseszins der gegenwärtige Wert einer Leibrente, welche eine 36jährige Person am Ende eines jeden Jahres im Betrage von 280 fl. zu beziehen hat?

40. Eine 56 jährige Person will sich eine jährliche Leibrente von 300 fl. versichern; wie viel hat sie bei 4% Verzinsung an eine Rentenbank sogleich einzuzahlen? Wie groß ist die Reserve nach 8 Jahren?
41. Eine 45 jährige Person kauft sich mit einer Einlage von 6000 fl. eine Jahresrente, welche von dem Ende des laufenden Jahres angefangen bis an das Lebensende dauern soll; wie groß ist die Leibrente bei 5% Zinsezins?
42. Ein 60 jähriger Diener erhält von seinem Herrn für seine vieljährige treue Dienstleistung ein Abfertigungscapital von 2000 fl.; welche lebenslängliche Rente kann er sich bei 4% Zinsezins dafür kaufen?
43. Eine  $n$  jährige Person wünscht nach  $p$  Jahren eine Leibrente  $B$ , zahlbar am Ende jedes Jahres, zu erhalten; wie groß wird die Einlage  $M$  für eine solche auf  $p$  Jahre aufgeschobene Leibrente sein?

$$M = \frac{B \cdot a_{n+p}}{a_n e^p} \cdot r_{n+p}.$$

44. A ist 42 Jahre alt und will auf den Todesfall seinen Erben ein Capital von 4800 fl. versichern; welche Einlage muß er zu diesem Zwecke bei 4% Zinsezins bei einer Versicherungsanstalt machen? Wie groß ist die Reserve nach 12 Jahren?
45. Eine 38 jährige Person zahlt an eine Versicherungsanstalt 1000 fl. ein; welches Capital wird dafür bei 5% Verzinsung nach ihrem Tode die Anstalt an die Erben auszuzahlen haben?
46. Welche Prämie muß eine 32 jährige Person zu Anfang jedes Jahres zahlen, um bei ihrem Ableben den Erben eine Summe von 2000 fl. zu sichern, den Zinsezins zu 4% gerechnet? Wie groß ist die Reserve für diese Person, wenn sie 45 Jahre alt wird?
47. Eine  $n$  jährige Person will sich gegen eine am Anfange jedes Jahres zahlbare Prämie  $P$  ein Capital  $C$  so sichern, daß ihr dieses nach  $k$  Jahren, wenn sie dann noch lebt, ausgezahlt werden soll; welche Beziehung findet zwischen  $P$  und  $C$  statt?

$$P \cdot [a_n e^k (1 + r_n) - a_{n+k-1} e \cdot r_{n+k-1}] = C \cdot a_{n+k}.$$

48. Ein Vater zahlt an eine Versicherungsanstalt zu Anfang jedes Jahres eine Prämie von 300 fl., damit die Anstalt seiner neugeborenen Tochter, falls sie das 18te Jahr erreichen sollte, ein gewisses Capital auszahle; wie groß wird dieses bei 5% Verzinsung ausfallen?

### X. Höhere numerische Gleichungen.

Bestimme für folgende Gleichungen den Quotienten  $\frac{f(x)}{x-a}$  und das Resultat  $f(a)$  nach §. 303:

1.  $x^3 - 5x^2 - 18x + 72 = 0$  für  $a = 2$ .

2.  $x^3 - 9x^2 + 26x - 24 = 0$  für  $a = 3$ .

3.  $x^4 + 3x^3 - 39x^2 - 47x + 210 = 0$  für  $a = 4$  und  $a = 5$ .  
 4.  $x^4 - 2x^3 + 5x^2 + 7x - 93 = 0$  für  $a = 3$  und  $a = -4$ .  
 5.  $x^4 - 13x^3 + 46x^2 - 52x + 168 = 0$  für  $a = 3$ ,  $a = 6$  und  $a = 7$ .  
 6.  $x^4 + 2x^3 - 41x^2 - 42x + 360 = 0$  für  $a = 3$ ,  $a = 4$  und  $a = -6$ .  
 7.  $x^5 + 5x^4 - 5x^3 - 25x^2 + 4x + 20 = 0$  für  $a = -3$  und  $a = 4$ .  
 8.  $x^6 - 6x^5 - 28x^4 - 158x^3 - 9x^2 - 536x + 420 = 0$  für  $a = 5$   
 und  $a = -5$ .

Suche die rationalen Wurzeln folgender Gleichungen (§§. 307 u. 308):

9.  $x^3 - 6x^2 + 5x + 12 = 0$ .    10.  $x^3 - 6x^2 + 11x - 6 = 0$ .  
 11.  $x^3 - 3x^2 - 10x + 24 = 0$ .    12.  $x^3 - 39x - 70 = 0$ .  
 13.  $x^4 - 5x^3 + 5x^2 - 5x - 6 = 0$ .  
 14.  $x^4 + 4x^3 - x^2 - 16x - 12 = 0$ .  
 15.  $x^4 + 4x^3 - 7x^2 - 22x + 24 = 0$ .  
 16.  $x^4 - 14x^3 + 59x^2 - 94x + 48 = 0$ .  
 17.  $x^4 - 2x^3 - 19x^2 + 68x - 60 = 0$ .  
 18.  $x^5 + 2x^4 - 42x^3 - 8x^2 + 257x - 210 = 0$ .  
 19.  $x^3 - \frac{3}{4}x + \frac{1}{4} = 0$ .    20.  $x^3 - \frac{1}{6}x^2 + x - \frac{1}{6} = 0$ .  
 21.  $x^3 - \frac{4}{3}x^2 - \frac{1}{4}x - \frac{1}{3} = 0$ .    22.  $x^3 - \frac{25}{12}x^2 + \frac{29}{4}x - \frac{5}{12} = 0$ .  
 23.  $x^4 - \frac{1}{6}x^3 - \frac{28}{3}x^2 + \frac{3}{2}x + 3 = 0$ .  
 24.  $x^4 - \frac{2}{3}x^3 - \frac{1}{36}x^2 + \frac{2}{7}x - \frac{1}{108} = 0$ .

Berechne die irrationalen Wurzeln folgender Gleichungen nach der Newton'schen Methode (§. 310):

25.  $x^3 - 7x + 7 = 0$ .    26.  $x^3 - 2x - 5 = 0$ .  
 27.  $x^3 + 3x - 5 = 0$ .    28.  $x^3 - 7x + 1 = 0$ .  
 29.  $x^3 - 5x^2 + 7 = 0$ .    30.  $x^3 - 2x^2 - 6x + 8 = 0$ .  
 31.  $x^4 - 15x^2 + 20x - 3 = 0$ .    32.  $x^4 - 2x^2 + 4x - 8 = 0$ .

Löse folgende Gleichungen nach der Regula falsi auf (§. 311):

33.  $x^3 + 5x - 4 = 0$ .    34.  $x^3 - 5x - 3 = 0$ .  
 35.  $x^3 - x^2 + 2x - 4 = 0$ .    36.  $x^3 - 4x^2 - 2x + 4 = 0$ .  
 37.  $x^4 - 3x^2 - 4x = 2$ .    38.  $x^4 - 20x^2 + 28x + 15 = 0$ .  
 39.  $x^x = 100$ .    40.  $\sqrt{x} = \frac{1}{6}$ .  
 41.  $\log x = 3x$ .    42.  $x \log x = 17$ .  
 43.  $x + \log x = 5$ .    44.  $x - \log x = 2$ .



NARODNA IN UNIVERZITETNA  
KNJIŽNICA

COBISS



00000390015



f1-

2  
2



Handwritten signature or initials, possibly 'H. H. H.' or similar, enclosed in a circular scribble.

NARODNA IN UNIVERZITETNA KNJARNICA

579 098

COBISS ■