



# **Mathematik für die Fachhochschulreife mit Vektorrechnung**

3. Auflage

Bearbeitet von Lehrern und Ingenieuren an beruflichen Schulen  
(Siehe nächste Seite)

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG  
Düsseldorfer Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

**Europa-Nr.: 85021**

Autoren des Buches „Mathematik für die Fachhochschulreife mit Vektorrechnung“

Josef Dillinger	München
Bernhard Grimm	Sindelfingen, Leonberg
Gerhard Mack	Stuttgart
Thomas Müller	Ulm
Bernd Schiemann	Stuttgart, Ulm

Lektorat: Bernd Schiemann

Bildentwürfe: Die Autoren

Bilderstellung und -bearbeitung: Verlag Europa Lehrmittel, 73760 Ostfildern

Das vorliegende Buch wurde auf der Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibregeln erstellt.

3. Auflage 2007, geänderter Nachdruck 2019  
Druck 5 4

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN: 978-3-8085-8504-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2007 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: Idee Bernd Schiemann, Ulm; Ausführung: Michael Maria Kappenstein, 60594 Frankfurt/Main

Satz, Grafik und Bildbearbeitung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Druck: Drukarnia Dimograf Sp.zo.o, 43-300 Bielsko-Biala (PL)

## Vorwort zur 1. Auflage

Das vorliegende Buch realisiert die Vorgaben der neuen Bildungspläne für den Erwerb der Fachhochschulreife im Fach Mathematik. Entsprechend den Vorgaben der Bildungspläne wird großer Wert auf die zunehmende Selbstorganisation des Lernprozesses, d. h. auf immer größer werdende Eigenständigkeit und Eigenverantwortung der Schülerinnen und Schüler im Erwerb von Wissen und Können, gelegt. Die mathematischen Inhalte werden vorwiegend anwendungsbezogen, d. h. an praktischen Beispielen eingeführt und behandelt. Jedoch kommen auch die theoretischen Grundlagen nicht zu kurz. Mit einer Einführung in den grafikfähigen Taschenrechner (GTR) wird ein Beitrag zur Medienkompetenz erfüllt.

Zur Förderung handlungsorientierter Themenbearbeitung enthält das Buch eine große Anzahl von Beispielen, anhand derer eine Vielzahl von Aufgaben zu lösen sind. Zu jeder Aufgabe ist die Lösung auf derselben Seite angegeben. Das Buch ist deshalb auch zum selbstständigen Lernen geeignet. Im Unterricht können bessere Schüler selbstständig die Aufgaben lösen, während schwächere Schüler gezielt durch den Lehrer betreut werden können. Ein didaktisch aufbereiteter Lösungsband mit ausführlichen Schritten zur Lösung sowie eine Formelsammlung ergänzen das Buch.

Um unterschiedliche Vorkenntnisse auszugleichen, beginnt das Buch mit den Kapiteln „Algebraische Grundlagen“ und „Geometrische Grundlagen“. Wenn keine Kennzeichnung des Zahlensystems angegeben ist, wird mit reellen Zahlen gearbeitet.

Die Hauptabschnitte des Buches sind

- **Algebraische Grundlagen**
- **Geometrische Grundlagen**
- **Vektorrechnung**
- **Analysis**
- **Differenzialrechnung**
- **Integralrechnung**
- **Komplexe Rechnung**
- **Prüfungsvorbereitung**
- **Aufgaben aus der Praxis**
- **Projektaufgaben**
- **Grafikfähiger Taschenrechner**
- **Selbstorganisiertes Lernen**
- Übungsaufgaben – Prüfungsaufgaben**

## Vorwort zur 3. Auflage

Das Kapitel „Grafikfähiger Taschenrechner“ enthält parallel zum GTR von CASIO jetzt auch einen GTR von Texas-Instruments.

Für das selbstständige Lernen und Üben ist das Kapitel 12 „Selbst organisiertes Lernen“ mit vielen Übungsaufgaben und Prüfungsaufgaben angefügt worden. Der Benutzer des Buches findet bei den einzelnen Themen unten auf der Buchseite jeweils den Hinweis

⇒ [WEITERE AUFGABEN IM KAPITEL 12]

Ihre Meinung interessiert uns!

Teilen Sie uns Ihre Verbesserungsvorschläge, Ihre Kritik aber auch Ihre Zustimmung zum Buch mit.

Schreiben Sie uns an die E-Mail-Adresse: [info@europa-lehrmittel.de](mailto:info@europa-lehrmittel.de)

# Inhaltsverzeichnis

Mathematische Fachbegriffe ..... 7

## 1 Algebraische Grundlagen

1.1 Term..... 9  
 1.2 Gleichung..... 9  
 1.3 Definitionsmenge..... 9  
 1.4 Potenzen..... 10  
 1.4.1 Potenzbegriff..... 10  
 1.4.2 Potenzgesetze..... 10, 11  
 1.5 Wurzelgesetze..... 12  
 1.5.1 Wurzelbegriff..... 12  
 1.5.2 Rechengesetze beim Wurzelrechnen..... 12  
 1.6 Logarithmengesetze..... 13  
 1.6.1 Logarithmusbegriff..... 13  
 1.6.2 Rechengesetze beim Logarithmus..... 13  
 1.6.3 Basisumrechnung beim Logarithmus..... 14  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 15  
 1.7 Funktionen und Gleichungssysteme..... 16  
 1.7.1 Rechtwinkliges Koordinatensystem..... 16  
 1.7.2 Funktionen..... 17  
 1.7.3 Lineare Funktionen..... 18  
 1.7.3.1 Ursprungsgeraden..... 18  
 1.7.3.2 Allgemeine Gerade..... 19  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 20  
 1.7.4 Quadratische Funktionen..... 21  
 1.7.4.1 Parabeln mit Scheitel im Ursprung..... 21  
 1.7.4.2 Verschieben von Parabeln..... 22  
 1.7.4.3 Normalform und Nullstellen von Parabeln..... 23  
 1.7.4.4 Zusammenfassung der Lösungsarten..... 24  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 25  
 1.7.5 Lineare Gleichungssysteme LGS..... 26  
 1.7.5.1 Lösungsverfahren für LGS..... 26  
 1.7.5.2 Lösung eines LGS mit einer Matrix..... 27  
 1.7.5.3 Grafische Lösung eines LGS..... 28  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 29

## 2 Geometrische Grundlagen

2.1 Flächeninhalt geradlinig begrenzter Flächen..... 30  
 2.2 Flächeninhalt kreisförmig begrenzter Flächen..... 31  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 32  
 2.3 Volumenberechnung..... 33  
 2.3.1 Körper gleicher Querschnittsfläche..... 33  
 2.3.2 Spitze Körper..... 34  
 2.3.3 Abgestumpfte Körper..... 35  
 2.3.4 Kugelförmige Körper..... 36  
 2.4 Trigonometrische Beziehungen..... 37  
 2.4.1 Ähnliche Dreiecke..... 37  
 2.4.2 Rechtwinklige Dreiecke..... 37  
 2.4.3 Einheitskreis..... 38  
 2.4.4 Sinussatz und Kosinussatz..... 39  
 2.4.5 Winkelberechnung..... 40  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 41

## 3 Vektorrechnung

3.1 Der Vektorbegriff..... 42  
 3.2 Darstellung von Vektoren im Raum..... 43  
 3.3 Verknüpfungen von Vektoren..... 45  
 3.3.1 Vektoraddition..... 45  
 3.3.2 Verbindungsvektor, Vektorsubtraktion..... 47  
 3.3.3 Skalare Multiplikation, S-Multiplikation..... 48  
 3.3.4 Einheitsvektor..... 49  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 50  
 3.3.5 Strecke, Mittelpunkt..... 51  
 3.3.6 Skalarprodukt..... 52  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 54  
 3.4 Lineare Abhängigkeit von Vektoren..... 55  
 3.4.1 Zwei Vektoren im Raum..... 55  
 3.4.2 Drei Vektoren im Raum..... 56  
 3.4.3 Vier Vektoren im Raum..... 57  
 3.5 Orthogonale Projektion..... 58  
 3.6 Lotvektoren..... 59  
 3.6.1 Lotvektoren zu einem einzelnen Vektor..... 59  
 3.6.2 Lotvektoren einer Ebene..... 60  
 3.7 Vektorprodukt..... 61  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 64  
 3.8 Vektorgleichung einer Geraden im Raum..... 65  
 3.9 Orthogonale Projektion von Punkten und Geraden auf eine Koordinatenebene..... 69  
 3.10 Gegenseitige Lage von Geraden..... 71  
 3.11 Abstandsberechnungen..... 76  
 3.11.1 Abstand Punkt–Gerade und Lotfußpunkt..... 76  
 3.11.2 Kürzester Abstand zweier windschiefer Geraden.. 78  
 3.11.3 Abstand zwischen parallelen Geraden..... 79  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 80  
 3.12 Ebenengleichung..... 81  
 3.12.1 Vektorielle Parameterform der Ebene..... 81  
 3.12.2 Vektorielle Dreipunkteform einer Ebene..... 82  
 3.12.3 Parameterfreie Normalenform..... 83  
 3.13 Ebene–Punkt..... 84  
 3.13.1 Punkt P liegt in der Ebene E..... 84  
 3.13.2 Abstand eines Punktes P von der Ebene E..... 84  
 3.14 Ebene–Gerade..... 85  
 3.14.1 Gerade parallel zur Ebene..... 85  
 3.14.2 Gerade liegt in der Ebene..... 85  
 3.14.3 Gerade schneidet Ebene..... 85  
 3.15 Lagebezeichnung von Ebenen..... 87  
 3.15.1 Parallele Ebenen..... 87  
 3.15.2 Sich schneidende Ebenen..... 87  
 3.15.3 Schnittwinkel zwischen zwei Ebenen..... 88  
**Ü Überprüfen Sie Ihr Wissen!**..... 89

## 4 Analysis

4.1 Potenzfunktionen..... 90  
 4.2 Wurzelfunktionen..... 91

4.3	Ganzrationale Funktionen höheren Grades .....	92	5.7.4.3	Anlegen von Tangenten an $K_f$ von einem beliebigen Punkt aus .....	139
4.3.1	Funktionen des dritten Grades .....	92	5.7.4.4	Zusammenfassung Tangentenberechnung .....	140
4.3.2	Funktionen des vierten Grades .....	93	5.7.5	Ermittlung von Funktionsgleichungen .....	141
4.3.3	Nullstellenberechnung .....	93	5.7.5.1	Ganzrationale Funktion .....	141
4.3.3.1	Nullstellenberechnung bei biquadratischen Funktionen .....	93	5.7.5.2	Ganzrationale Funktion mit Symmetrieeigenschaft .....	144
4.3.3.2	Nullstellenberechnung mit dem Nullprodukt .....	94	5.7.5.3	Exponentialfunktion .....	145
4.3.3.3	Nullstellenberechnung durch Abspalten eines Linearfaktors .....	95	5.7.5.4	Sinusförmige Funktion .....	146
4.3.4	Arten von Nullstellen .....	97	Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	147
4.4	Gebrochenrationale Funktionen .....	98	<b>6</b>	<b>Integralrechnung</b>	
4.4.1	Definitionsmenge .....	98	6.1	Einführung in die Integralrechnung .....	148
4.4.2	Polstellen .....	98	6.1.1	Aufsuchen von Flächeninhaltsfunktionen .....	149
4.4.3	Definitionslücke .....	98	6.1.2	Stammfunktionen .....	150
4.4.4	Grenzwerte .....	99	6.2	Integrationsregeln .....	151
4.4.5	Asymptoten .....	100	6.2.1	Potenzfunktionen .....	151
Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	101	6.2.2	Stammfunktionen ganzrationaler Funktionen .....	151
4.5	Exponentialfunktion .....	102	6.3	Das bestimmte Integral .....	152
4.6	e-Funktion .....	103	6.3.1	Geradlinig begrenzte Fläche .....	152
4.7	Logarithmische Funktion .....	104	6.3.2	„Krummlinig“ begrenzte Fläche .....	153
Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	105	6.4	Berechnung von Flächeninhalten .....	154
4.7	Trigonometrische Funktionen .....	106	6.4.1	Integralwert und Flächeninhalt .....	154
4.7.1	Sinusfunktion und Kosinusfunktion .....	106	6.4.2	Flächen für Schaubilder mit Nullstellen .....	155
4.7.2	Tangensfunktion und Kotangensfunktion .....	107	6.4.3	Musteraufgabe zur Flächenberechnung .....	156
4.7.3	Beziehungen zwischen trigonometrischen Funktionen .....	107	6.4.4	Regeln zur Vereinfachung bei Flächen .....	157
4.7.4	Allgemeine Sinusfunktion und Kosinusfunktion .....	108	Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	159
4.8	Eigenschaften von Funktionen .....	110	6.5	Flächenberechnung zwischen Schaubildern .....	160
4.8.1	Symmetrie bei Funktionen .....	110	6.5.1	Flächenberechnung im Intervall .....	160
4.8.2	Umkehrfunktionen .....	111	6.5.2	Flächen zwischen zwei Schaubildern .....	161
4.8.3	Monotonie und Umkehrbarkeit .....	114	6.5.3	Flächenberechnung mit der Differenzfunktion .....	162
4.8.4	Stetigkeit von Funktionen .....	115	6.5.4	Musteraufgabe zu gelifteten Schaubildern .....	163
Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	116	Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	164
<b>5</b>	<b>Differenzialrechnung</b>		6.6	Numerische Integration .....	165
5.1	Erste Ableitung $f'(x)$ .....	117	6.6.1	Streifenmethode mit Rechtecken .....	165
5.2	Differenzialquotient .....	118	6.6.2	Flächenberechnung mit Trapezen .....	166
5.3	Ableitungsregeln .....	120	6.6.3	Flächenberechnung mit Näherungsverfahren .....	168
5.4	Höhere Ableitungen .....	122	6.7	Volumenberechnung .....	169
Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	124	6.7.1	Rotation um die x-Achse .....	169
5.5	Newtonsches Näherungsverfahren (Tangentenverfahren) .....	125	6.7.2	Rotation um die y-Achse .....	173
5.6	Extremwertberechnungen .....	127	6.7.3	Zusammenfassung von Rotationskörperarten .....	176
5.6.1	Extremwertberechnung mit einer Hilfsvariablen .....	129	Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	177
5.6.2	Randextremwerte .....	130	6.8	Anwendungen der Integralrechnung .....	178
Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	132	6.8.1	Zeitintegral der Geschwindigkeit .....	178
5.7	Kurvendiskussion .....	133	6.8.2	Mechanische Arbeit $W$ .....	178
5.7.1	Differenzierbarkeit von Funktionen .....	133	6.8.3	Elektrische Ladung $Q$ .....	179
5.7.2	Hochpunkte und Tiefpunkte .....	134	6.8.4	Mittelwertsberechnungen .....	179
5.7.3	Wendepunkte .....	135	<b>7</b>	<b>Komplexe Rechnung</b>	
5.7.4	Tangenten und Normalen .....	137	7.1	Darstellung komplexer Zahlen .....	180
5.7.4.1	Tangenten und Normalen in einem Kurvenpunkt .....	137	7.2	Grundrechenarten mit komplexen Zahlen .....	182
5.7.4.2	Tangenten parallel zu einer Geraden .....	138	7.3	Rechnen mit konjugiert komplexen Zahlen .....	182
			Ü	Überprüfen Sie Ihr Wissen! .....	183

## 8 Prüfungsvorbereitung

8.1	Ganzrationale Funktionen.....	184
8.2	Exponentialfunktion .....	186
8.3	Gebrochenrationale Funktionen .....	188
8.4	Vektoraufgabe Prisma.....	189
8.5	Vektoraufgabe Quader.....	190
8.6	Vektoraufgabe Pyramide .....	191

## 9 Aufgaben aus der Praxis und Projektaufgaben

9.1	Kostenrechnung .....	192
9.2	Optimierung einer Oberfläche .....	193
9.3	Optimierung einer Fläche .....	193
9.4	Flächenmoment.....	194
9.5	Sammellinse einer Kamera .....	195
9.6	Abkühlvorgang.....	196
9.7	Entladevorgang .....	196
9.8	Wintergarten.....	197
9.9	Bauvorhaben Kirche.....	197
9.10	Aushub Freibad .....	197
9.11	Berechnung von elektrischer Arbeit und Leistung .....	198
9.12	Sinusförmige Wechselgrößen.....	198
10.13	Effektivwertberechnung.....	199

## 10 Projektaufgaben

10.1	Pyramide .....	200
10.2	Einfülltrichter einer Getreidemühle .....	201

## 11 Grafikfähiger Taschenrechner GTR

11.1	Grafikfähiger Taschenrechner GTR CASIO.....	202
11.1.1	Hauptmenü des GTR.....	203
11.1.2	Erstellen einer Wertetabelle mit dem GTR.....	204
11.1.3	Schaubilder mit dem GTR analysieren.....	205
11.1.3.1	Schaubilder anzeigen.....	205
11.1.3.2	Ermitteln von Koordinatenwerten .....	206
11.1.3.3	Automatische Suche nach Kurvenpunkten.....	206
11.1.3.4	Schnittpunkte von zwei Schaubildern .....	207
11.1.3.5	Ableitungen anzeigen .....	208
11.1.4	Flächenintegrale mit dem GTR berechnen .....	208
11.1.5	Gleichungsberechnungen mit dem GTR.....	209
11.1.5.1	Quadratische und kubische Gleichungen .....	209
11.1.5.2	Lineares Gleichungssystem .....	209
11.1.6	Bestimmen von Tangenten und Berührungspunkten mit dem GTR.....	210
11.1.7	Komplexe Rechnung mit dem GTR .....	211
11.1.7.1	Koordinatenumwandlung.....	211
11.1.7.2	Rechnen mit komplexen Zahlen .....	211
11.1.8	Programmerstellung mit dem GTR .....	212
11.1.9	Rechnen in Zahlensystemen .....	214
11.1.9.1	Zielsystem wählen .....	214
11.1.9.2	Zahlen umwandeln .....	214
11.1.9.3	Zahlen verknüpfen .....	214

11.2	Grafikfähiger Taschenrechner Texas Instruments.....	215
11.2.1	Das Tastenfeld des TI-84 Plus.....	216
11.2.2	Erstellen einer Wertetabelle mit dem TI-84 Plus.....	217
11.2.3	Schaubilder mit dem TI-84 Plus analysieren .....	218
11.2.3.1	Ermitteln von Koordinatenwerten .....	218
11.2.3.2	Werte eines Schaubildes grafisch ermitteln .....	219
11.2.3.3	Schnittpunkt zweier Funktionen.....	219
11.2.3.4	Flächenintegrale berechnen.....	220
11.2.4	Tangenten an das Schaubild $K_f$ .....	221
11.2.5	Lösung linearer Gleichungssysteme (LGS) mit dem GTR.....	222
11.2.6	Komplexe Rechnung mit dem TI-84 Plus.....	223
11.2.6.1	Umwandlung komplexer Zahlen .....	223
11.2.6.2	Grundrechenarten mit komplexen Zahlen.....	223

## 12 Selbst organisiertes Lernen Übungsaufgaben – Prüfungsaufgaben

12.1	Übungsaufgaben.....	225
12.1.1	Algebraische Grundlagen.....	225
12.1.2	Quadratische Funktionen.....	227
12.1.3	Geometrische Grundlagen .....	228
12.1.4	Vektoren 1 .....	230
	Vektoren 2 .....	231
	Vektoren in Ebene $\mathbb{R}^2$ und Raum $\mathbb{R}^3$ .....	232
	Vektoren und Ebenen im Raum $\mathbb{R}^3$ .....	233
12.1.5	Nullstellen .....	234
12.1.6	Exponentialfunktionen .....	235
12.1.7	Sinusfunktion und Kosinusfunktion .....	236
12.1.8	Kurvendiskussion.....	237
12.1.9	Flächenberechnungen .....	238
12.2	Musterprüfungen .....	239
12.2.1	Kurvendiskussion mit ganzrationalen Funktionen .....	239
12.2.2	Extremwertberechnung mit ganzrationalen Funktionen .....	240
12.2.3	e-Funktionen .....	241
12.2.4	Sinusfunktionen .....	243
12.2.5	Gebrochenrationale Funktionen .....	245
12.2.6	e-Funktion und ln-Funktion verknüpft mit rationaler Funktion .....	246
12.2.7	Vektorrechnung .....	247
12.2.8	Extremwertaufgaben .....	248
12.3	Übungsaufgaben für GTR.....	249
12.3.1	Übungsaufgaben zum GTR Casio fx.....	249
12.3.2	Übungsaufgaben zum GTR TI-84 Plus .....	250

## 13 Anhang

Mathematische Zeichen, Abkürzungen und Formelzeichen .....	vordere Umschlagseite innen	
.....	hintere Umschlagseite innen	
Literaturverzeichnis .....		251
Sachwortverzeichnis .....		252

# Mathematische Fachbegriffe

## Ableitungsfunktion

Ist die Funktion  $f'(x)$ , deren Werte die Steigungen des Grafen der Funktion  $f(x)$  angeben.

## Abgestumpfte Körper

Kegelstumpf und Pyramidenstumpf werden so bezeichnet.

## Achsenschnittpunkte

Schnittpunkte mit den Koordinatenachsen, z. B. x-, y- oder z-Achse.

## Äquivalenzumformung

Umformen von Gleichungen, bei denen sich die Lösungsmenge nicht ändert.

## Arkus-Funktion

Als Arkus-Funktionen werden die Umkehrfunktionen der trigonometrischen Funktionen bezeichnet.

## Asymptote

Eine Gerade, der sich eine ins Unendliche verlaufende Kurve beliebig nähert, ohne sie zu berühren oder zu schneiden.

## Biquadratische Gleichung

Es handelt sich um eine Gleichung 4. Grades mit nur geradzahligem Exponenten ( $ax^4 + bx^2 + c = 0$ ).

## Differenzenquotient

Ist die Steigung der Sekante durch zwei Punkte der Funktion.

## Differenzialquotient

Grenzwert des Differenzenquotienten, entspricht der Steigung der Tangente.

## Differenzierbarkeit von Funktionen

Eine Funktion ist differenzierbar, wenn sie an jeder Stelle eine eindeutig bestimmte Tangente mit einer endlichen Steigung hat.

## Ebenengleichung

Fläche, die z. B. durch drei Punkte, die nicht auf einer Geraden liegen, festgelegt ist.

## e-Funktion

Exponentialfunktionen mit der Basis  $e$ , natürliche Exponentialfunktionen genannt.

## Exponentialfunktion

Bei der Exponentialfunktion ist die Hochzahl die unabhängige Variable.

## Funktion

Eindeutige und eineindeutige Zuordnungen von Elementen nennt man Funktionen.

## Ganze Zahlen

Sie können positiv, negativ oder null sein.

## Ganzrationale Funktion

Ganzrationale Funktionen bestehen aus der Addition verschiedener Potenzfunktionen.

## Gebrochenrationale Funktion

Bei einer gebrochenrationalen Funktion steht im Zähler das Zählerpolynom und im Nenner das Nennerpolynom.

## Gerade

Das Schaubild für die Darstellung linearer Zusammenhänge (lineare Funktion) heißt Gerade.

## Gleichung

Eine Gleichung entsteht durch Verbindung zweier Terme durch ein Gleichheitszeichen.

## GTR

Grafikfähiger Taschenrechner. Enthält ein Anzeigefeld zur grafischen Darstellung von z. B. Schaubildern, Wertetabellen.

## Hessesche Normalenform HNF

In der Normalengleichung wird der Normaleneinheitsvektor statt des Normalenvektors verwendet.

## Imaginäre Zahlen

Scheinbare (unvorstellbare) Zahlen, z. B.  $j$ ;  $3j$ ;  $-2j$ .

## Integrieren

Integrieren heißt, eine abgeleitete Funktion wieder in die ursprüngliche Form zurückzuführen.

## Irrationale Zahlen

Sind Dezimalzahlen mit unendlich vielen, nichtperiodischen Nachkommaziffern, z. B. Wurzelzahlen, die Konstanten  $\pi$  und  $e$ .

## Kartesische Koordinaten

Achsen stehen senkrecht aufeinander und haben die Einheit 1 LE.

## Komplexe Zahlen

Zahlen, die reell und/oder imaginär sind.

## Konstante Funktion

Funktionswert bleibt für alle  $x$  konstant.

## Koordinatensystem

Mit Koordinaten (= Zahlen, die die Lage von Punkten angeben) lassen sich diese in einer Ebene oder im Raum eindeutig festlegen.

## Lineare Funktion

Ganzrationale Funktion 1. Grades.

## Lineares Gleichungssystem LGS

System von Lineargleichungen, deren Variablen die Hochzahl 1 enthalten.

## Logarithmische Funktionen

Sie sind die Umkehrfunktionen der Exponentialfunktionen.

## Logarithmus

Logarithmieren heißt, die Hochzahl (= Exponent) einer bestimmten Potenz berechnen.

## Natürliche Zahlen

Positive, ganze Zahlen einschließlich der Null.

## Numerische Integration

Numerische Integration heißt, den Flächeninhalt näherungsweise berechnen, z.B. durch Auszählen von Flächen. (Anwendung, wenn keine Stammfunktion bekannt ist.)

## Nullstellen

Die x-Werte der Schnittpunkte eines Schaubildes mit der x-Achse nennt man Nullstellen.

## Orthogonal

Rechtwinklig. Orthogonale (rechtwinklige) Geraden haben einen Winkel von  $90^\circ$  zueinander.

## Parabel

Schaubild einer quadratischen Funktion.

## Pol

Stelle, an der eine senkrechte Asymptote vorliegt.

## Polynom

Bezeichnet in der Mathematik eine vielgliedrige Größe.

## Potenz

Die Potenz ist die Kurzschreibweise für das Produkt gleicher Faktoren.

## Potenzfunktion

Sind Funktionen, die den Term  $x^n$  enthalten.

## Quadranten

Zeichenebenen in Koordinatensystemen.

## Quadratische Gleichung

Ist eine Gleichung 2. Grades ( $ax^2 + bx + c = 0$ ).

## Quadratwurzel

Beim Wurzelziehen (Radizieren) wird der Wert gesucht, der mit sich selbst multipliziert den Wert unter der Wurzel ergibt.

## Rationale Zahlen

Zahlen, die durch Brüche darstellbar sind.

## Reelle Zahlen

Zahlen, die rational oder irrational sind.

## Relation

Eindeutige oder mehrdeutige Zuordnung.

## Skalar

Größe, die durch einen bestimmten reellen Zahlenwert festgelegt ist.

## Spitze Körper

Pyramide und Kegel werden als spitze Körper bezeichnet (Prismatische Körper).

## Spurgerade

Die gemeinsamen Punkte (Schnittpunkte) einer Ebene mit einer Koordinatenebene bilden die Spurgerade.

## Spurpunkte

Spurpunkte nennt man die Durchstoßpunkte (Schnittpunkte) einer Geraden mit den Koordinatenebenen.

## Steigung

Als Steigung wird das Verhältnis des  $\Delta y$ -Wertes zum  $\Delta x$ -Wert eines Steigungsdreiecks, z.B. einer Tangente, bezeichnet.

## Stetigkeit von Funktionen

Stetige Funktionen können durch einen lückenlosen, zusammenhängenden Kurvenzug dargestellt werden.

## Term

Mathematischer Ausdruck, der aus Zahlen, Variablen und Rechenzeichen bestehen kann.

## Trigonometrische Funktionen

Winkelfunktionen, z.B.  $\sin x$ ,  $\tan x$ ,  $\arctan x$ .

## Umkehrfunktion

Funktion, bei der die Zuordnung der Variablen vertauscht wird.

## Variablen

Das sind Buchstaben, z.B.  $x$ ,  $y$ , an deren Stelle Zahlen der Grundmenge gesetzt werden.

## Vektor

Physikalische oder mathematische Größe, die durch einen Pfeil dargestellt wird und durch Richtung und Betrag festgelegt ist.

## Wurzelfunktionen

Das sind Potenzfunktionen, die gebrochene Hochzahlen enthalten.



# 1 Algebraische Grundlagen

## 1.1 Term

Terme können Zahlen, z.B.  $-1$ ;  $\frac{1}{2}$ ; 2 oder Variablen, z.B.  $a$ ;  $x$ ;  $y$ , sein. Werden Terme durch Rechenoperationen verbunden, so entsteht wieder ein Term.

## 1.2 Gleichung

Eine Gleichung besteht aus einem Linksterm  $T_l$  und aus einem Rechtsterm  $T_r$ .

Werden zwei Terme durch das Gleichheitszeichen miteinander verbunden, so entsteht die Gleichung  $T_l = T_r$ .

### Beispiel 1: Gleichung

Stellen Sie die beiden Terme  $T_l$ :  $x + 2$  und  $T_r$ :  $-4$  als Gleichung dar.

**Lösung:**  $x + 2 = -4$

Werden an Gleichungen Rechenoperationen durchgeführt, so muss auf jeder Seite der Gleichung diese Rechenoperation durchgeführt werden (**Tabelle 1**). Eine Gleichung mit mindestens einer Variablen stellt eine Aussageform dar. Diese Aussageform kann eine wahre oder falsche Aussage ergeben, wenn den Variablen Werte zugeordnet werden.

Ein Wert  $x$  einer Gleichung heißt Lösung, wenn beim Einsetzen von  $x$  in die Gleichung eine wahre Aussage entsteht.

### Beispiel 2: Lösung einer Gleichung

Ermitteln Sie die Lösung der Gleichung  $x + 2 = -4$

**Lösung:**  $x + 2 = -4$  |  $-2$   
 $x + 2 - 2 = -4 - 2$   
 $x = -6$

## 1.3 Definitionsmenge

Die Definitionsmenge eines Terms kann einzelne Werte oder ganze Bereiche aus der Grundmenge ausschließen (**Tabelle 2**).

### Beispiel 3: Definitionsmenge

Die Definitionsmenge der Gleichung  $\sqrt{x-1} = \frac{2}{(x+1)(x-1)}$ ;  $x \in \mathbb{R}$  ist zu bestimmen.

**Lösung:** Die Definitionsmenge  $D_1$  des Linksterms wird durch die Wurzel eingeschränkt.  
 $D_1 = \{x | x \geq 1 \wedge x \in \mathbb{R}\}$   
 Die Definitionsmenge  $D_2$  des Rechtsterms wird durch den Nenner eingeschränkt.  $D_2 = \mathbb{R} \setminus \{-1; 1\}$   
 Für die Gesamtdefinitionsmenge  $D$  gilt:  
 $D = D_1 \cap D_2 = \{x | x > 1 \wedge x \in \mathbb{R}\}$

Operation	Allgemein	Beispiel
Addition	$T_l + T = T_r + T$	$x - a = 0$   $+ a$ $x - a + a = 0 + a$ $x = a$
Subtraktion	$T_l - T = T_r - T$	$x + a = 0$   $- a$ $x + a - a = 0 - a$ $x = -a$
Multiplikation	$T_l \cdot T = T_r \cdot T$	$\frac{1}{2} \cdot x = 1$   $\cdot 2$ $\frac{1}{2} \cdot x \cdot 2 = 1 \cdot 2$ $x = 2$
Division	$\frac{T_l}{T} = \frac{T_r}{T}$ ; $T \neq 0$	$2 \cdot x = 4$   $: 2$ $\frac{2 \cdot x}{2} = \frac{4}{2}$ $x = 2$

Term	Einschränkung	Beispiel
Bruchterm $T_B = \frac{Z(x)}{N(x)}$	$N(x) \neq 0$	$T(x) = \frac{x+1}{x-1}$ $x - 1 \neq 0$ $x \neq 1$ $D = \{x   x \neq 1\}$
Wurzelterm $T_W = \sqrt{x}$	$x \geq 0$ $x$ größer gleich 0	$T(x) = \sqrt{x-1}$ $x - 1 \geq 0$ $x \geq 1$ $D = \{x   x \geq 1\}$
Logarithmsterm $T_L = \log_a x$	$x > 0$ $x$ größer 0	$T(x) = \log_{10} x$ $x > 0$ $D = \{x   x > 0\}$

Bei Aufgaben aus der Technik oder Wirtschaft ergeben sich häufig einschränkende Bedingungen in technischer, technologischer oder ökonomischer Hinsicht. So kann die Zeit nicht negativ sein oder die Temperatur nicht kleiner 273 K werden. Diese eingeeengte Definitionsmenge ist dann die eigentliche Definitionsmenge einer Gleichung.

### Aufgaben:

1. **Lösungsmenge.** Bestimmen Sie die Lösung für  $x \in \mathbb{R}$ .

- a)  $4(2x - 6) = 2x - (x + 4)$
- b)  $(2x - 1)(3x - 2) = 6(x + 2)(x - 4)$
- c)  $\frac{x+2}{5} - 2 = 4$
- d)  $\frac{2-x}{2} + a = 1$
- e)  $\frac{2x-a}{4} - b = 2$
- f)  $\frac{3x-5}{5} = \frac{2x-3}{4}$

2. **Lösen von Gleichungen.** Lösen Sie die Gleichungen nach allen Variablen auf.

- a)  $h = \frac{1}{2}g \cdot t^2$
- b)  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

3. **Definitions- und Lösungsmenge.** Geben Sie die Definitionsmenge und die Lösungsmenge an.

- a)  $\sqrt{2x+2} = \sqrt{4x-8}$
- b)  $\frac{3x-1}{x+2} = \frac{2-3x}{2-x}$

### Lösungen:

- 1. a)  $x = \frac{20}{7}$  b)  $x = -10$  c)  $x = 28$  d)  $x = 2a$
- e)  $x = \frac{1}{2}a + 2b + 4$  f)  $x = \frac{5}{2}$
- 2. a)  $g = \frac{2h}{t^2}$ ;  $t = \pm \sqrt{\frac{2h}{g}}$  b)  $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ ;  $R_1 = \frac{R \cdot R_2}{R_2 - R}$ ;  $R_2 = \frac{R \cdot R_1}{R_1 - R}$
- 3. a)  $D = \{x | x \geq 2\}_{\mathbb{R}}$ ;  $L = \{5\}$  b)  $D = \mathbb{R} \setminus \{-2; 2\}$ ;  $L = \left\{ \frac{6}{11} \right\}$

## 1.4 Potenzen

### 1.4.1 Potenzbegriff

Die Potenz ist die Kurzschreibweise für das Produkt gleicher Faktoren. Eine Potenz besteht aus der Basis (Grundzahl) und dem Exponenten (Hochzahl). Der Exponent gibt an, wie oft die Basis mit sich selbst multipliziert werden muss.

#### Beispiel 1: Potenzschreibweise

Schreiben Sie

- a) das Produkt  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$  als Potenz und  
 b) geben Sie den Potenzwert an.

*Lösung:* a)  $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^5$       b)  $2^5 = 32$

### 1.4.2 Potenzgesetze

#### Potenz mit negativem Exponenten

Eine Potenz, die mit positivem Exponenten im Nenner steht, kann auch mit einem negativen Exponenten im Zähler geschrieben werden. Umgekehrt kann eine Potenz mit negativem Exponenten im Zähler als Potenz mit positivem Exponenten im Nenner geschrieben werden.

#### Beispiel 2: Exponentenschreibweise

Schreiben Sie die Potenzterme a)  $2^{-3}$ ; b)  $10^{-3}$  mit entgegengesetztem Exponenten und geben Sie den Potenzwert an.

*Lösung:*

a)  $2^{-3} = \frac{1}{2^3} = \frac{1}{8} = 0,125$

b)  $10^{-3} = \frac{1}{10^3} = \frac{1}{1000} = 0,001$

#### Beispiel 3: Physikalische Benennungen

Schreiben Sie folgende physikalischen Benennungen mit umgekehrtem Exponenten.

- a)  $m \cdot s^{-2}$       b)  $U \cdot \text{min}^{-1}$       c)  $\frac{m}{s}$

*Lösung:*

a)  $m \cdot s^{-2} = \frac{m}{s^2}$       b)  $U \cdot \text{min}^{-1} = \frac{U}{\text{min}}$       c)  $\frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}$

#### Addition und Subtraktion

Gleiche Potenzen oder Vielfaches von gleichen Potenzen, die in der Basis und im Exponenten übereinstimmen, lassen sich durch Addition und Subtraktion zusammenfassen (**Tabelle 1**).

#### Beispiel 4: Addition und Subtraktion von Potenztermen

Die Potenzterme  $3x^3 + 4y^2 + x^3 - 2y^2 + 2x^3$  sind zusammenzufassen.

*Lösung:*  $3x^3 + 4y^2 + x^3 - 2y^2 + 2x^3$   
 $= (3 + 1 + 2)x^3 + (4 - 2)y^2 = 6x^3 + 2y^2$

$$\underbrace{a \cdot a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n\text{-Faktoren}} = a^n$$

$a^n = b$

$a^n = \frac{1}{a^{-n}}$

$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$

a Basis;  $a > 0$       n Exponent  
 b Potenzwert

**Tabelle 1: Potenzgesetze**

Regel, Definition	algebraischer Ausdruck
<b>Addition und Subtraktion</b> Potenzen dürfen addiert oder subtrahiert werden, wenn sie denselben Exponenten und dieselbe Basis haben.	$r \cdot a^n \pm s \cdot a^n$ $= (r \pm s) \cdot a^n$
<b>Multiplikation</b> Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert, indem man ihre Exponenten addiert und die Basis beibehält.  Potenzen mit gleichen Exponenten werden multipliziert, indem man ihre Basen multipliziert und den Exponenten beibehält.	$a^n \cdot a^m = a^{n+m}$  $a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$
<b>Division</b> Potenzen mit gleicher Basis werden dividiert, indem man ihre Exponenten subtrahiert und die Basis beibehält.  Potenzen mit gleichem Exponenten werden dividiert, indem man ihre Basen dividiert und den Exponenten beibehält.	$\frac{a^n}{a^m} = a^n \cdot a^{-m} = a^{n-m}$  $\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$
<b>Potenzieren</b> Potenzen werden potenziert, indem man die Exponenten miteinander multipliziert.	$(a^m)^n = a^{m \cdot n}$
<b>Definition</b> Jede Potenz mit dem Exponenten null hat den Wert 1.	$a^0 = 1$ ; für $a \neq 0$

**Multiplikation von Potenzen**

Potenzen mit gleicher Basis werden multipliziert, indem man die Potenzen als Produkt schreibt und dann ausmultipliziert oder indem man die Exponenten addiert.

**Beispiel 1: Multiplikation**

Berechnen Sie das Produkt  $2^2 \cdot 2^3$  und geben Sie den Potenzwert an.

*Lösung:*

$$2^2 \cdot 2^3 = (2 \cdot 2) \cdot (2 \cdot 2 \cdot 2) = 32$$

$$\text{oder } 2^2 \cdot 2^3 = 2^{2+3} = 2^5 = 32$$

**Beispiel 2: Flächen- und Volumenberechnung**

- a) Die Fläche des Quadrates mit  $a = 2 \text{ m}$  (**Bild 1**) und
- b) das Volumen des Würfels für  $a = 2 \text{ m}$  ist zu berechnen.

*Lösung:*

a)  $A = a \cdot a = a^1 \cdot a^1 = a^{1+1} = a^2$

$$A = 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} = 2 \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{m} = 2^2 \text{ m}^2 = 4 \text{ m}^2$$

b)  $V = a \cdot a \cdot a = a^1 \cdot a^1 \cdot a^1 = a^{1+1+1} = a^3$

$$= 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} \cdot 2 \text{ m} = 2 \cdot 2 \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

$$= 2^3 \text{ m}^3 = 8 \text{ m}^3$$

**Division von Potenzen**

Potenzen mit gleicher Basis werden dividiert, indem man den Quotienten in ein Produkt umformt und dann die Regeln für die Multiplikation von Potenzen anwendet oder indem man den Nennerexponenten vom Zählerexponenten subtrahiert.

**Beispiel 3: Division**

Der Potenzterm  $\frac{2^5}{2^3}$  ist zu berechnen.

*Lösung:*

$$\frac{2^5}{2^3} = 2^5 \cdot \frac{1}{2^3} = 2^5 \cdot 2^{-3} = 2^{5-3} = 2^2 = 4$$

$$\text{oder } \frac{2^5}{2^3} = 2^{5-3} = 2^2 = 4$$

**Potenzieren von Potenzen**

Potenzen werden potenziert, indem man das Produkt der Potenzen bildet und die Regeln für die Multiplikation von Potenzen anwendet oder indem man die Exponenten multipliziert.

**Beispiel 4: Potenzieren**

Berechnen Sie die Potenzterme

a)  $(2^2)^3$    b)  $(-3)^2$    c)  $-3^2$

*Lösung:*

a)  $(2^2)^3 = 2^2 \cdot 2^2 \cdot 2^2 = 2^{2+2+2} = 2^6 = 64$

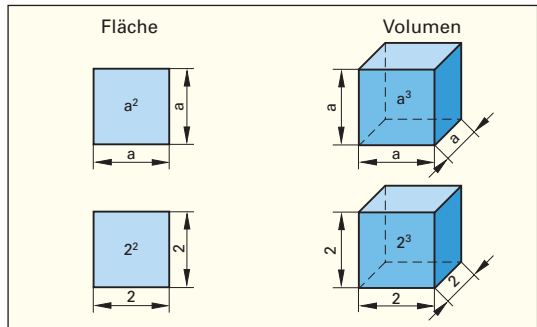
oder  $(2^2)^3 = 2^{2 \cdot 3} = 2^6$

b)  $(-3)^2 = (-3) \cdot (-3) = 9$    c)  $-3^2 = -(3 \cdot 3) = -9$

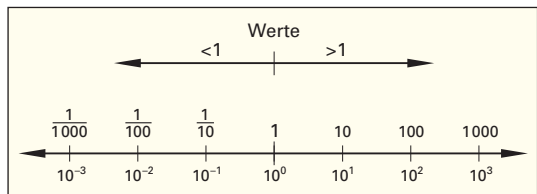
$(-a)^2 = a^2$

$-a^2 = -(-a^2)$

a Basis;  $a > 0$



**Bild 1: Fläche und Volumen**



**Bild 2: Zehnerpotenzen**

Tabelle 1: Zehnerpotenzen, Schreibweise			
ausgeschriebene Zahl	Potenz	Vorsatz bei Einheiten	
1 000 000 000	$10^9$	G	(Giga)
1 000 000	$10^6$	M	(Mega)
1 000	$10^3$	k	(Kilo)
100	$10^2$	h	(Hekto)
10	$10^1$	da	(Deka)
1	$10^0$	-	
0,1	$10^{-1}$	d	(Dezi)
0,01	$10^{-2}$	c	(Centi)
0,001	$10^{-3}$	m	(Milli)
0,000 001	$10^{-6}$	$\mu$	(Mikro)
0,000 000 001	$10^{-9}$	n	(Nano)

**Potenzen mit der Basis 10 (Zehnerpotenzen)**

Potenzen mit der Basis 10 werden sehr häufig als verkürzte Schreibweise für sehr kleine oder sehr große Zahlen verwendet. Werte größer 1 können als Vielfaches von Zehnerpotenzen mit positivem Exponenten, Werte kleiner 1 als Vielfaches von Zehnerpotenzen mit negativem Exponenten dargestellt werden (**Bild 2** und **Tabelle 1**).

**Beispiel 5: Zehnerpotenzen**

Schreiben Sie die Zehnerpotenzen

a) 20  $\mu\text{H}$    b) 10 ml   c) 3 kHz

*Lösung:*

a)  $20 \cdot 10^{-6} \text{ H}$    b)  $10 \cdot 10^{-3} \text{ l}$    c)  $3 \cdot 10^3 \text{ Hz}$

## 1.5 Wurzelgesetze

### 1.5.1 Wurzelbegriff

Das Wurzelziehen oder Radizieren (von lat. radix = Wurzel) ist die Umkehrung des Potenzierens. Beim Wurzelziehen wird derjenige Wurzelwert gesucht, der mit sich selbst multipliziert den Wert unter der Wurzel ergibt. Eine Wurzel besteht aus dem Wurzelzeichen, dem Radikanden unter dem Wurzelzeichen und dem Wurzelexponenten. Bei Quadratwurzeln darf der Wurzelexponent 2 weggelassen werden  
 $\Rightarrow \sqrt[n]{a} = \sqrt{a}$ .

Eine Wurzel kann auch in Potenzschreibweise dargestellt werden. Deshalb gelten bei Wurzeln auch alle Potenzgesetze.

**Beispiel 1: Potenzschreibweise und Wurzelziehen**  
 Der Wurzelterm  $\sqrt[2]{4} = \sqrt{4}$  ist  
 a) in Potenzschreibweise darzustellen und  
 b) der Wert der Wurzel zu bestimmen.  
*Lösung:*  
 a)  $\sqrt[2]{4} = \sqrt[2]{4^1} = 4^{\frac{1}{2}} = 2$     b)  $\sqrt[2]{4} = \sqrt{4} = 2$ ; denn  $2 \cdot 2 = 4$

$\sqrt[n]{a} = x; a \geq 0$

$\sqrt[n]{a^m} = a^{\frac{m}{n}}; a \geq 0$

n Wurzelexponent                      a      Radikand, Basis  
 x Wurzelwert                            m,  $\frac{m}{n}$  Exponent

### 1.5.2 Rechengesetze beim Wurzelrechnen

#### Addition und Subtraktion

Gleiche Wurzeln, die im Wurzelexponenten und im Radikand übereinstimmen, dürfen addiert und subtrahiert werden (**Tabelle 1**).

**Beispiel 2: Addition und Subtraktion von Wurzeln**  
 Die Wurzelterme  $3\sqrt{a}, -2\sqrt[3]{b}, +2\sqrt{a}, +4\sqrt[3]{b}$  sind zusammenzufassen.  
*Lösung:*  
 $3\sqrt{a} - 2\sqrt[3]{b} + 2\sqrt{a} + 4\sqrt[3]{b} = (3 + 2)\sqrt{a} + (4 - 2)\sqrt[3]{b}$   
 $= 5\sqrt{a} + 2\sqrt[3]{b}$

#### Multiplikation und Division von Wurzeln

Ist beim Wurzelziehen der Radikand ein Produkt, so kann entweder aus dem Produkt oder aus jedem einzelnen Faktor die Wurzel gezogen werden. Bei einem Quotienten kann die Wurzel auch aus Zählerterm und Nennerterm gezogen werden (**Tabelle 1**).

**Beispiel 3: Multiplikation und Division**  
 Berechnen Sie aus den Wurzeltermen  $\sqrt{9 \cdot 16}$  und  $\sqrt{\frac{9}{16}}$  den Wert der Wurzel.  
*Lösung:*  
 $\sqrt{9 \cdot 16} = \sqrt{144} = 12$   
 oder  $\sqrt{9 \cdot 16} = \sqrt{9} \cdot \sqrt{16} = 3 \cdot 4 = 12$   
 $\sqrt{\frac{9}{16}} = 0,75$   
 oder  $\sqrt{\frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{9}}{\sqrt{16}} = \frac{3}{4} = 0,75$

Tabelle 1: Wurzelgesetze	
Regel	algebraischer Ausdruck
<b>Addition und Subtraktion</b> Wurzeln dürfen addiert und subtrahiert werden, wenn sie gleiche Exponenten und Radikanden haben.	$r \cdot \sqrt[n]{a} \pm s \cdot \sqrt[n]{a} = (r \pm s) \cdot \sqrt[n]{a}$
<b>Multiplikation</b> Ist der Radikand ein Produkt, kann die Wurzel aus dem Produkt oder aus jedem Faktor gezogen werden.	$\sqrt[n]{a \cdot b} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b}$
<b>Division</b> Ist der Radikand ein Quotient, kann die Wurzel aus dem Quotienten oder aus Zähler und Nenner gezogen werden.	$\sqrt[n]{\frac{a}{b}} = \frac{\sqrt[n]{a}}{\sqrt[n]{b}}$
<b>Potenzieren</b> Beim Potenzieren einer Wurzel kann auch der Radikand potenziert werden.	$(\sqrt[n]{a})^m = \sqrt[n]{a^m}$

#### Allgemeine Lösung des Wurzelterms $\sqrt[n]{a^n}$

Bei der Lösung des Wurzelterms  $\sqrt[n]{a^n}$  sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- gerader Exponent:  $\sqrt[n]{a^n} = |a|$
- ungerader Exponent:  $\sqrt[n]{a^n} = a$

Die Lösung einer Quadratwurzel ist immer positiv.

**Beispiel 4: Zwei Lösungen**  
 Warum müssen beim Wurzelterm  $\sqrt[2]{a^2}$  zwei Fälle unterschieden werden?  
*Lösung:*  
 $\sqrt[2]{a^2} = |a|$   
 Fall 1:    **a** für  $a > 0$   
 Fall 2:    **-a** für  $a < 0$   
 Beispiel 1: Für  $|a| = 2$  gilt  $\sqrt{(-2)^2} = \sqrt{(2)^2} = \sqrt{4} = 2$

## 1.6 Logarithmengesetze

### 1.6.1 Logarithmusbegriff

Der Logarithmus (von griech. logos = Verhältnis und arithmos = Zahl) ist der Exponent (Hochzahl), mit der man die Basis (Grundzahl)  $a$  potenzieren muss, um den Numerus (Potenzwert, Zahl) zu erhalten.

Einen Logarithmus berechnen heißt den Exponenten (Hochzahl) einer bestimmten Potenz zu berechnen.

Für das Wort Exponent wurde der Begriff Logarithmus eingeführt.

#### Beispiel 1: Logarithmus

Suchen Sie in der Gleichung  $2^x = 8$  die Hochzahl  $x$ , sodass die Gleichung eine wahre Aussage ergibt.

*Lösung:*

$$2^x = 8; 2^3 = 8; \Rightarrow x = 3$$

Die Sprechweise lautet:  $x$  ist der Exponent zur Basis 2, der zum Potenzwert 8 führt.

Die Schreibweise lautet:  $x = \log_2 8 = 3$

### 1.6.2 Rechengesetze beim Logarithmus

Die Logarithmengesetze ergeben sich aus den Potenzgesetzen und sind für alle definierten Basen gültig (**Tabelle 1**).

Mit dem Taschenrechner können Sie den Logarithmus zur Basis 10 und zur Basis  $e$  bestimmen. Dabei wird  $\log_{10}$  mit  $\log$  und  $\log_e$  mit  $\ln$  abgekürzt (**Tabelle 2**).

#### Multiplikation

Wird von einem Produkt der Logarithmus gesucht, so ist dies gleich der Summe der einzelnen Faktoren.

#### Beispiel 2: $\log_{10} 1000$

Bestimmen Sie den Logarithmus von 1000 zur Basis 10

- mit dem Taschenrechner und
- interpretieren Sie das Ergebnis.

*Lösung:*

a) Eingabe: 1000 log oder log 1000 (taschenrechnerabhängig)

$$\text{Anzeige: } 3 \Rightarrow \log_{10} 1000 = 3$$

Wird der Wert 1000 faktorisiert, z.B. in  $10 \cdot 100$ , gilt Folgendes:  $\log_{10} 1000 = \log_{10} (10 \cdot 100) = \log_{10} 10 + \log_{10} 100 = 1 + 2 = 3$

b)  $\log_{10} 1000 = 3$ , denn  $10^3 = 1000$

#### Quotient

Wird von einem Quotienten der Logarithmus gesucht, so ist dies gleich der Differenz der Logarithmen von Zähler und Nenner.

Bei der Berechnung eines Logarithmus kann die Eingabe der Gleichung, abhängig vom Taschenrechner, unterschiedlich sein.

$$x = \log_a b$$

$$a^x = b$$

$x$  Logarithmus (Hochzahl)

$a$  Basis;  $a > 0$

$b$  Numerus (Zahl)

**Tabelle 1: Logarithmengesetze**

Regel	algebraischer Ausdruck
<b>Produkt</b> Der Logarithmus eines Produktes ist gleich der Summe der Logarithmen der einzelnen Faktoren.	$\log_a (u \cdot v) = \log_a u + \log_a v$
<b>Quotient</b> Der Logarithmus eines Quotienten ist gleich der Differenz der Logarithmen von Zähler und Nenner.	$\log_a \left(\frac{u}{v}\right) = \log_a u - \log_a v$
<b>Potenz</b> Der Logarithmus einer Potenz ist gleich dem Produkt aus dem Exponenten und dem Logarithmus der Potenzbasis.	$\log_a u^v = v \cdot \log_a u$

**Tabelle 2: Spezielle Logarithmen**

Basis	Art	Schreibweise	Taschenrechner
10	Zehnerlogarithmus	$\log_{10}; \lg$	log-Taste
$e$	Natürlicher Logarithmus	$\log_e; \ln$	ln-Taste
2	Binärer Logarithmus	$\log_2; \lg$	—

#### Beispiel 3: Division

Berechnen Sie  $\log_{10} \left(\frac{10}{100}\right)$  mit dem Taschenrechner.

$$\text{Lösung: } \log_{10} \left(\frac{10}{100}\right) = \log_{10} 10 - \log_{10} 100$$

Eingabe: 10 log - 100 log =

Anzeige: 1            2            -1

$$\Rightarrow \log_{10} 10 - \log_{10} 100 = 1 - 2 = -1$$

oder durch Ausrechnen des Numerus  $\left(\frac{10}{100}\right) = 0,1$

Eingabe: 0,1 log

Anzeige: -1

$$\Rightarrow \log_{10} 0,1 = -1$$

**Potenz**

Soll der Logarithmus von einer Potenz genommen werden, so gibt es die Möglichkeit, die Potenz zu berechnen und dann den Logarithmus zu nehmen oder das Rechengesetz für Logarithmen anzuwenden und dann die Berechnung durchzuführen.

**Beispiel 1: Berechnung einer Potenz**

Berechnen Sie den Logarithmus der Potenz  $10^2$  zur Basis 10

- a) durch Ausrechnen der Potenz und
- b) durch Anwendung der Rechengesetze für Logarithmen.

*Lösung:*

- a)  $\log_{10} 10^2 = \log_{10} 100 = 2$
- b)  $\log_{10} 10^2 = 2 \cdot \log_{10} 10 = 2 \cdot 1 = 2$

**Beispiel 2: Berechnung einer Wurzel**

Der Logarithmsterm  $\log_{10} \sqrt[3]{1000}$  ist zu berechnen

- a) in Wurzelschreibweise,
- b) in Potenzschreibweise.

*Lösung:*

$\sqrt[3]{1000} = 10 \Rightarrow \log_{10} \sqrt[3]{1000} = \log_{10} 10 = 1$  oder  
 $\log_{10} \sqrt[3]{1000}$  kann umgeformt werden in  $\log_{10} (1000)^{\frac{1}{3}}$   
 $\Rightarrow \log_{10} \sqrt[3]{1000} = \log_{10} (1000)^{\frac{1}{3}} = \frac{1}{3} \cdot \log_{10} 1000$   
 $= \frac{1}{3} \cdot 3 = 1$

**1.6.3 Basismrechnung beim Logarithmus**

Der Taschenrechner bietet zur Berechnung der Logarithmen nur die Basis 10 ( $\log_{10} = \log$ ) und die Basis e ( $\log_e = \ln$ ) an.

In der Physik oder Technik sind jedoch andere Basen erforderlich. Um Berechnungen mit dem Taschenrechner durchführen zu können, muss die Basis so umgeformt werden, dass Lösungen mit log oder ln möglich sind.

**Beispiel 3: Logarithmus mit der Basis 2**

Berechnen Sie  $\log_2 8$  mit dem Taschenrechner.

*Lösung:*

Die Berechnung kann a) mit log oder b) mit ln durchgeführt werden.

a)  $\log_2 8 = \frac{\log_{10} 8}{\log_{10} 2} = \frac{\log 8}{\log 2}$

Eingabe: z. B. 8 log : 2 log =

Anzeige: 0,903089987 0,301029995 3

$\Rightarrow \log_2 8 = \frac{\log 8}{\log 2} = \frac{0,90309}{0,30103} = 3$

b)  $\log_2 8 = \frac{\log_e 8}{\log_e 2} = \frac{\ln 8}{\ln 2}$

Eingabe: z. B. 8 ln : 2 ln =

Anzeige: 2,07944154 0,69314718 3

$\Rightarrow \log_2 8 = \frac{\ln 8}{\ln 2} = \frac{2,07944154}{0,69314718} = 3$

$$\log_a b = \frac{\log_u b}{\log_u a}$$

a, u Basen                      a, b Numerus (Zahl)

Bei der Basismrechnung können die Basen der Logarithmen auf dem Taschenrechner verwendet werden. Es gilt:

$$\log_a b = \frac{\log_{10} b}{\log_{10} a} = \frac{\log b}{\log a}$$

$$\log_a b = \frac{\log_e b}{\log_e a} = \frac{\ln b}{\ln a}$$

**Aufgaben:**

1. Die Gleichungen  $x = \log_a b$  und  $b = a^x$  sind gleichwertig. Geben Sie in der **Tabelle 1** für die Aufgaben a) bis d) jeweils die gleichwertige Beziehung und die Lösung an.

Tabelle 1: Gleichwertigkeit und Lösung				
	$x = \log_2 8$	$8 = 2^x$	$8 = 2^3$	$x = 3$
a)	$x = \log_2 32$			
b)	$x = \log_2 \sqrt{2}$			
c)		$81 = 3^x$		
d)		$10^{-3} = 10^x$		

2. Geben Sie den Logarithmus an und überprüfen Sie die Ergebnisse durch Potenzieren.  
 a)  $\log_{10} 1$     b)  $\log_{10} 10$     c)  $\log_e 1$     d)  $\log_3 \frac{1}{27}$
3. Zerlegen Sie die Logarithmenterme nach den gültigen Logarithmengesetzen.  
 a)  $\log_a (3 \cdot u)$     b)  $\log_a \frac{1}{u}$     c)  $\log_a \frac{u^3}{\sqrt{2}}$
4. Berechnen Sie mit dem Taschenrechner:  
 a)  $\log 16$     b)  $\log 111$     c)  $\log 8^2$     d)  $\log \sqrt{100}$   
 e)  $\ln 16$     f)  $\ln 111$     g)  $2 \cdot \ln 8$     h)  $\ln 8^2$
5. Mit dem Taschenrechner sind zu berechnen:  
 a)  $\log_2 12$     b)  $\log_3 12$     c)  $\log_4 12$     d)  $\log_5 12$

**Lösungen:**

1. a)  $32 = 2^x; x = 5$                       b)  $\sqrt{2} = 2^x; x = \frac{1}{2}$   
 c)  $x = \log_3 81; x = 4$                   d)  $x = \log_{10} 10^{-3}; x = -3$
2. a) 0, denn  $10^0 = 1$                       b) 1, denn  $10^1 = 10$   
 c) 0, denn  $e^0 = 1$                         d) -3, denn  $3^{-3} = \frac{1}{27}$
3. a)  $\log_a 3 + \log_a u$   
 b)  $-\log_a u$   
 c)  $3 \cdot \log_a u - 2 \cdot \log_a v$
4. a) 1,204 12    b) 2,045 32    c) 1,806 18    d) 1  
 e) 2,772 59    f) 4,709 53    g) 4,158 88    h) 4,158 88
5. a) 3,584 96    b) 2,261 86    c) 1,792 48    d) 1,543 9

**Überprüfen Sie Ihr Wissen!**

**Gleichungen**

1. Bestimmen Sie aus den Gleichungen die Lösung

a)  $(x + 2)^2 + 6 = x^2 + 20$       b)  $\frac{4(17 + 20x)}{11} = 8$   
 c)  $\frac{6(x+7)}{17(x-4)} = 1$       d)  $\frac{4x}{5} - \frac{3}{4} = \frac{2x+3}{4} + 6$

2. Lösen Sie die Gleichungen nach den geforderten Größen auf.

a)  $F_1 = \frac{F_2 \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot R}$       Auflösen nach h und nach R

b)  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$       Auflösen nach h

c)  $H = \frac{l \cdot N^2}{\sqrt{4r^2 + l^2}}$       Auflösen nach l und l

d)  $A = \frac{l_1 + l_2}{2} b$       Auflösen nach  $l_2$  und b

**Definitions- und Lösungsmenge**

3. Geben Sie die Definitionsmenge folgender Terme an.

a)  $\sqrt{2x + 100}$       b)  $\frac{1}{\sqrt{2x + 100}}$       c)  $\log_a (x + 2)$

4. Bestimmen Sie die Definitionsmenge und geben Sie die Lösung der Gleichung an.

a)  $\frac{x-9}{x} = \frac{4}{5}$       b)  $\frac{15ac}{x} = \frac{9bc}{6bd}$   
 c)  $\sqrt{x+1} - 2 = \sqrt{x-11}$       d)  $7 + 4 \cdot \sqrt{x+7} = 23$

**Potenzen**

5. Schreiben Sie die Potenzterme und physikalischen Benennungen nur mit positiven Exponenten.

a)  $2 \cdot 10^{-2}$       b)  $\text{min}^{-1}$       c)  $\frac{a^{-2}bc^2}{(a+b)^{-1}}$

6. Schreiben Sie die Potenzterme und physikalischen Benennungen mit umgekehrtem Exponenten.

a)  $10^{-2}$       b)  $\frac{1}{10^3}$       c)  $\frac{1}{m}$       d)  $\frac{V}{m}$

7. Geben Sie die Zahlen in Zehnerpotenzen an.

a) Rauminhalt der Erde:  $1083000000000000000 \text{ m}^3$   
 b) Oberfläche der Erde:  $51000000000000 \text{ m}^2$   
 c) Entfernung Erde-Sonne:  $149500000000 \text{ m}$

8. Vereinfachen Sie die Terme.

a)  $\frac{(a+b)^0}{2^{-1}}$       b)  $\frac{x \cdot x^{-2}}{(n^2 \cdot x)^{-1}}$       c)  $\frac{x^{m-1} \cdot y^{n-1} \cdot y^3}{y^{n+2} \cdot x^{m+2}}$   
 d)  $\frac{n^{-2} \cdot x}{n^{x-1}}$       e)  $((n^2)^{-1}) \cdot n^{a-2}$       f)  $\frac{(n^{-4} \cdot m^{-2})^{-3}}{(n^{-2} m^{-3})^5}$

9. Vereinfachen Sie die Wurzeln unter Verwendung der Potenzschreibweise.

a)  $\sqrt[3]{\frac{x-3}{x-9}}$       b)  $\sqrt[n+m]{(x^2)^{3n+3m}}$       c)  $\sqrt[an]{3^{n(a+b)}}$

**Logarithmengesetze**

10. Geben Sie den Logarithmus an und überprüfen Sie die Ergebnisse durch Potenzieren.

a)  $\log_{10} 100$       b)  $\log_{10} 300$       c)  $\log_e 2,71$       d)  $\log_{\frac{1}{2}} 32$

11. Zerlegen Sie die Logarithmsterme in Summen, Differenzen und Produkte.

a)  $\log_a (u^2)$       b)  $\log_a \frac{m^2 \cdot \sqrt{n}}{p^3}$       c)  $\log_a \sqrt[3]{n^2}$

12. Berechnen Sie mit dem Taschenrechner

a)  $3 \cdot \log 10$       b)  $\log 8^4$       c)  $\ln \sqrt[5]{500}$       d)  $\ln 5^{30}$

13. Berechnen Sie mit dem Taschenrechner

a)  $\log_2 256$       b)  $\log_7 4$       c)  $\log_{16} 256$       d)  $\log_8 \sqrt[6]{6400}$

**Lösungen:**

1. a)  $x = 2,5$       b)  $x = \frac{1}{4}$       c)  $x = 10$       d)  $x = 25$

2. a)  $h = \frac{F_2 2\pi R}{F_1}$ ;  $R = \frac{F_2 h}{F_1 2\pi}$       b)  $h = \frac{v^2}{2g}$

c)  $l = \frac{H \cdot \sqrt{4r^2 + l^2}}{N^2}$ ;  $l = \pm \sqrt{\frac{l^2 N^4}{H^2} - 4r^2}$

d)  $b = \frac{2A}{l_1 + l_2}$ ;  $l_2 = \frac{2A}{b} - l_1$

3. a)  $x \geq -50$       b)  $x > -50$       c)  $x > -2$

4. a)  $D = \mathbb{R} \setminus \{0\}$ ;  $x = 45$

b)  $D = \mathbb{R} \setminus \{0\}$ ;  $b, d \neq 0$ ;  $x = 10ad$

c)  $D = \{x | x \geq 11\}_{\mathbb{R}}$ ;  $x = 15$

d)  $D = \{x | x \geq -7\}_{\mathbb{R}}$ ;  $x = 9$

5. a)  $\frac{2}{10^2}$       b)  $\frac{1}{\text{min}}$       c)  $\frac{(a+b)bc^2}{a^2}$

6. a)  $\frac{1}{10^2}$       b)  $10^{-3}$       c)  $m^{-1}$       d)  $Vm^{-1}$

7. a)  $1,083 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$       b)  $5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$

c)  $1,495 \cdot 10^{11} \text{ m}$

8. a) 2      b)  $n^2$       c)  $\frac{1}{x^3}$       d)  $\frac{1}{n}$       e)  $n^a$       f)  $n^{22} \cdot m^{21}$

9. a)  $x^2$       b)  $x^6$       c)  $3 \cdot \sqrt[3]{b}$

10. a) 2, denn  $10^2 = 100$

b) 2,477, denn  $10^{2,477} = 300$

c) 1, denn  $e^1 = 2,718$

d) -5, denn  $\left(\frac{1}{2}\right)^{-5} = 32$

11. a)  $2 \cdot \log_a u$

b)  $2 \cdot \log_a m + \frac{1}{2} \cdot \log_a n - 3 \cdot \log_a p$       c)  $\frac{2}{3} \cdot \log_a n$

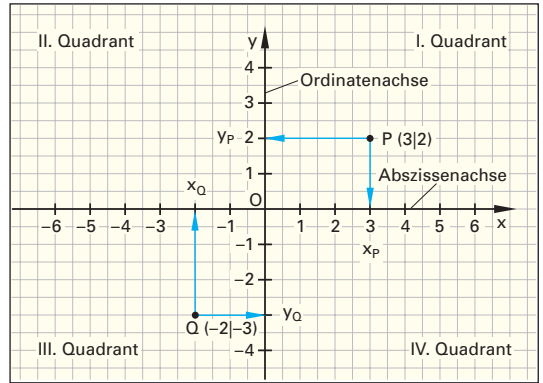
12. a) 3      b) 3,61235      c) 1,243      d) 48,283

13. a) 8      b) 0,7124      c) 2      d) 2,1073

## 1.7 Funktionen und Gleichungssysteme

### 1.7.1 Rechtwinkliges Koordinatensystem

Durch ein rechtwinkliges Koordinatensystem lassen sich Punkte in einer Ebene eindeutig festlegen. Das Koordinatensystem wird auch Achsenkreuz genannt. Die waagrechte Achse wird als x-Achse (Abszisse) und die senkrechte Achse als y-Achse (Ordinate) bezeichnet (**Bild 1**). Der Ursprung des Koordinatensystems ist der Punkt O (0|0). Ein Punkt in einem Achsenkreuz wird durch jeweils einen Achsenabschnitt für jede Achse festgelegt. Der Abschnitt auf der x-Achse wird als x-Koordinate (Abszisse) und der Abschnitt auf der y-Achse als y-Koordinate (Ordinate) bezeichnet. Der Punkt P (3|2) hat die x-Koordinate  $x_P = 3$  und die y-Koordinate  $y_P = 2$  (**Bild 1**).



**Bild 1: Zweidimensionales Koordinatensystem**

**Beispiel 1: Koordinatendarstellung**

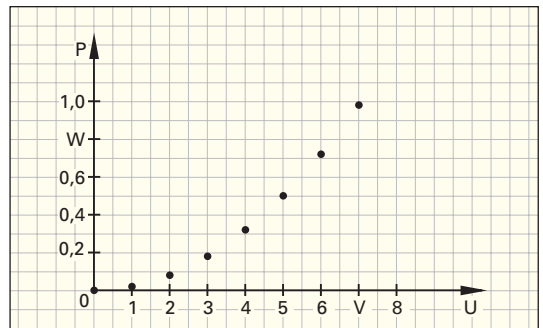
Welche Koordinaten hat der Punkt Q (-2|-3) ?

*Lösung:*

$x_Q = -2$  und  $y_Q = -3$

Ein Achsenkreuz teilt eine Ebene in 4 Felder. Diese Felder nennt man auch Quadranten (**Bild 1**). Die Quadranten werden im Gegenuhrzeigersinn mit den römischen Zahlen I bis IV bezeichnet. Für Punkte P (x|y) im ersten I. Quadranten gilt  $x > 0 \wedge y > 0$ . Im zweiten Quadranten gilt  $x < 0 \wedge y > 0$ , im dritten  $x < 0 \wedge y < 0$  und im vierten  $x > 0 \wedge y < 0$ .

Quadranten erleichtern die Zuordnung von Punkten.



**Bild 2: Leistungskurve im I. Quadranten**

Für viele physikalische Prozesse ist eine Darstellung im I. Quadranten ausreichend.

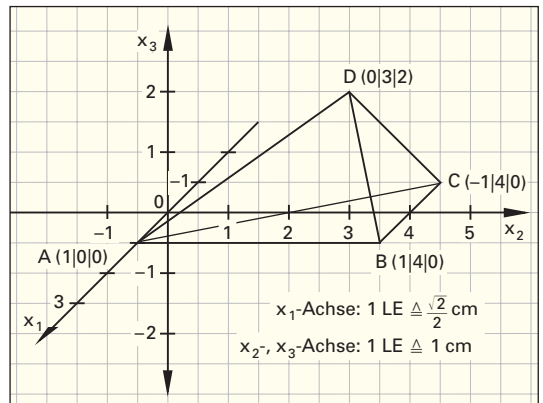
**Beispiel 2: Leistungskurve**

Ermitteln Sie die Leistung P in einem Widerstand mit  $50\Omega$  mit  $P = \frac{1}{R} \cdot U^2$ , wenn die Spannung von 0V in 1-V-Schritten auf 7V erhöht wird.

*Lösung:*

**Bild 2** und Wertetabelle 1:

U/V	0	1	2	3	4	5	6	7
P/W	0	0,02	0,08	0,18	0,32	0,5	0,72	0,98



**Bild 3: Dreidimensionales Koordinatensystem**

Für räumliche Darstellungen werden Koordinatensysteme mit drei Koordinatenachsen verwendet. Diese werden z. B. mit x, y, z im Gegenuhrzeigersinn bezeichnet. In der Vektorrechnung werden die Bezeichnungen  $x_1, x_2, x_3$  verwendet (**Bild 3**). Der Punkt A wird mit A (1|0|0) bezeichnet.

**Aufgaben:**

- Geben Sie je einen Punkt für jeden Quadranten zu **Bild 1** an.
- Geben Sie die Vorzeichen der Punktemengen in den vier Quadranten an.

**Lösungen:**

1.  $P_1 (1|1), P_2 (-2|1), P_3 (-2|-4), P_4 (2|-3)$

2.

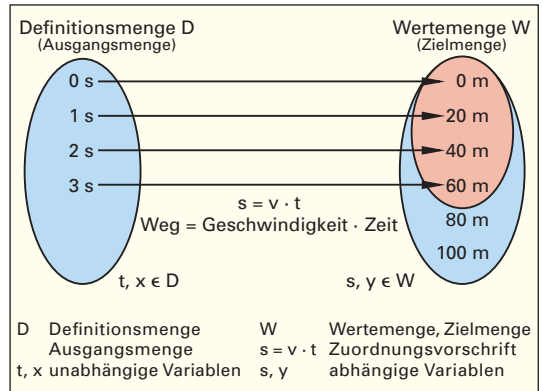
Quadrant	I	II	III	IV
x-Wert	> 0	< 0	< 0	> 0
y-Wert	> 0	> 0	< 0	< 0



### 1.7.2 Funktionen

Mengen enthalten Elemente. Man kann die Elemente einer Menge den Elementen einer anderen Menge zuordnen. Diese Zuordnung kann z.B. mit Pfeilen vorgenommen werden (**Bild 1**). Mengen, von denen Pfeile zur Zuordnung ausgehen, nennt man Ausgangsmengen (Definitionsmengen D), Mengen in denen die Pfeile enden, Zielmengen (Wertemengen W). Die Elemente von D sind unabhängige Variablen, z.B. x, t. Die Menge W enthält die abhängigen Variablen, z.B. y, s.

Zuordnungen können durch Pfeildiagramme, Wertetabellen, Schaubilder oder Gleichungen dargestellt werden. Alle Pfeilspitzen, die z.B. in einem Element enden, fasst man als neue Menge, die Wertemenge, zusammen.



**Bild 1: Elementezuordnung in Mengen mit dem Pfeildiagramm**

Führen von mindestens einem Element der Ausgangsmenge D Pfeile zu unterschiedlichen Elementen der Zielmenge W, liegt keine Funktion, sondern eine Relation vor.

$x \triangleq t$ in s	0	1	2	3	4	5
$y \triangleq s$ in m	0	20	40	60	80	100

**Bild 2: Wertetabelle für das Weg-Zeit-Diagramm**

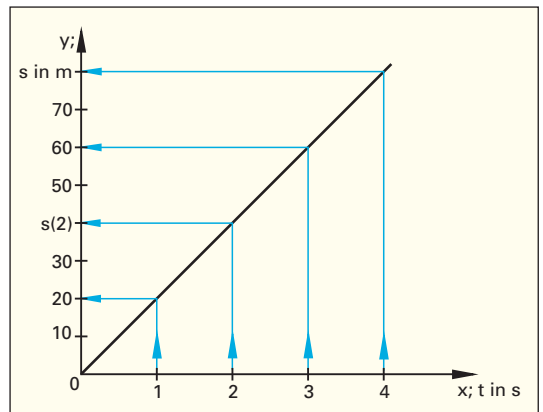
Kann man jedem Element einer Ausgangsmenge genau ein Element der Zielmenge zuordnen, nennt man diese Relation eine Funktion.

Eindeutige Zuordnungen nennt man Funktionen.

Im Pfeildiagramm erkennt man eine Funktion daran, dass von jedem Element ihrer Ausgangsmenge genau ein Pfeil zur Zielmenge ausgeht.

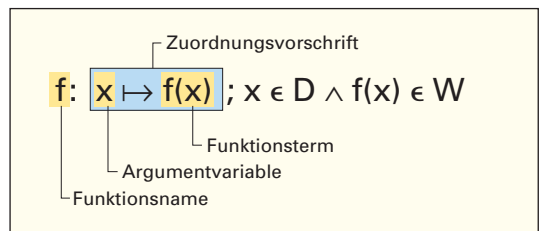
Bestehen eindeutige Zuordnungsvorschriften, können Zuordnungsvorschriften als Terme angegeben werden. Die Elemente lassen sich dann nach derselben Vorschrift berechnen. Dies wird z.B. oft bei physikalischen Gesetzen angewendet.

Die grafische Darstellung einer Funktion heißt Schaubild, Graf oder Kurve.



**Bild 3: Wertetabelle und Schaubild des Weg-Zeit-Diagramms**

**Beispiel 1: Konstante Geschwindigkeit**  
 Ein Motorrad fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit  $v = 20 \frac{m}{s}$ . Stellen Sie  
 a) mit einer Wertetabelle den Weg s als Funktion der Zeit t mit der Funktion  $s(t) = v \cdot t$  dar,  
 b) den Grafen (Schaubild) der Funktion im Koordinatensystem dar  
*Lösung:*  
 a) **Bild 2**, b) **Bild 3**



**Bild 4: Allgemeine Zuordnungsvorschrift**

Funktionen werden in der Mathematik mit Kleinbuchstaben wie f oder g bezeichnet. Ist  $x_0$  ein Element der Ausgangsmenge D einer Funktion f, so schreibt man  $f(x_0)$  für das dem  $x_0$  eindeutig zugeordnete Element in der Zielmenge W und nennt  $f(x_0)$  den Funktionswert der Funktion an der Stelle  $x_0$ . Ist z.B.  $x_0 = 4$ , so ist der Funktionswert an der Stelle 4:  $f(4) = 80$  (**Bild 3**). Für die Zuordnungsvorschrift einer Funktion verwendet man auch symbolische Schreibweisen (**Bild 4** und **Bild 5**).

Funktion als Zuordnung  
 $f: x \mapsto f(x); x \in D \wedge f(x) \in W$   
 Funktion als Gleichung  
 f mit  $f(x) = y; x \in D \wedge f(x) \in W$

**Bild 5: Funktion als Zuordnung oder Gleichung**

**1.7.3 Lineare Funktionen**

**1.7.3.1 Ursprungsgeraden**

Bei der Darstellung proportionaler Zusammenhänge in der Physik und der Mathematik kommen lineare Funktionen, z. B. in der Form  $g(x) = m \cdot x$ , vor. Das Schaubild einer linearen Funktion heißt Gerade.

**Beispiel 1: Ursprungsgerade**

Gegeben ist die Funktion  $g(x) = 1,5 \cdot x$ . Erstellen Sie eine Wertetabelle und zeichnen Sie das Schaubild von g.

*Lösung:* **Bild 1**

Überprüfen Sie, ob der Punkt  $P_1 (2|3)$  auf der Geraden g mit  $g(x) = 1,5 \cdot x$  liegt. Dazu setzt man die feste Stelle  $x_1 = 2$  in die Funktion ein und erhält  $y_1 = g(2) = 3$ . Der Punkt P (2|3) liegt also auf der Geraden g.

$P_1 (x_1|y_1)$  liegt auf g, wenn  $y_1 = g(x_1)$  ist.

Geraden durch den Ursprung O (0|0) heißen Ursprungsgeraden. Die Schaubilder aller Ursprungsgeraden unterscheiden sich durch das Verhältnis von y-Wert  $\Delta y_1$  zu x-Wert  $\Delta x_1$ . Dieses Verhältnis wird bei Ursprungsgeraden als Steigung  $m = \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1}$  bezeichnet. Die Steigung m lässt sich aus dem Steigungsdreieck mit  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$  berechnen.

**Beispiel 2: Steigung m**

Bestimmen Sie die Steigungen der Geraden f, g und h in **Bild 2** mit jeweils einem Punkt  $P_1$  und dem Ursprung.

*Lösung:*

f:  $m = \frac{2}{5} = 0,4$       g:  $m = \frac{3}{3} = 1$       h:  $m = \frac{5}{1} = 5$

Das Verhältnis  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$  wird auch Differenzenquotient genannt.  $\Delta y$  und  $\Delta x$  sind die Differenzen der Koordinatenwerte von  $P_1 (x_1|y_1)$  und  $P_2 (x_2|y_2)$ .

**Beispiel 3: Steigung aus Punktepaaren**

Bestimmen Sie die Steigungen der Geraden f, g und h durch Bildung der Differenzwerte von jeweils zwei geeigneten Punktepaaren.

*Lösung:*

f:  $m = \frac{2-1}{5-2,5} = 0,4$       g:  $m = \frac{4-3}{4-3} = 1$   
 h:  $m = \frac{5-2,5}{1-0,5} = 5$

**Aufgaben:**

- Bestimmen Sie die Steigung für die Ursprungsgerade durch den Punkt  $P_3$  in **Bild 1**.
- Welche Steigung hat die Gerade durch  $P_1 (1|1)$  und  $P_2 (3|6)$  ?

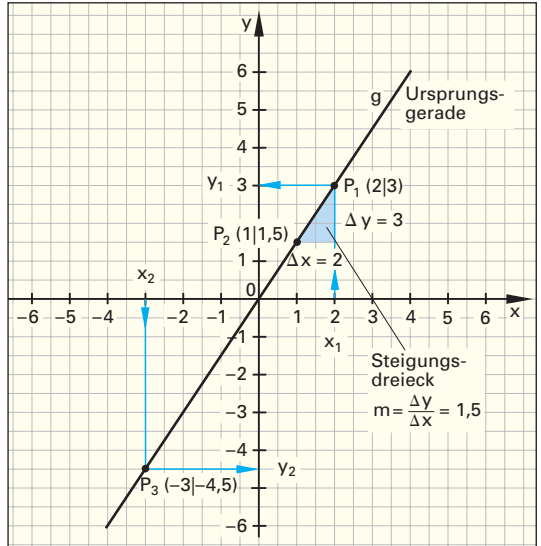
$g: y = m \cdot x$

$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

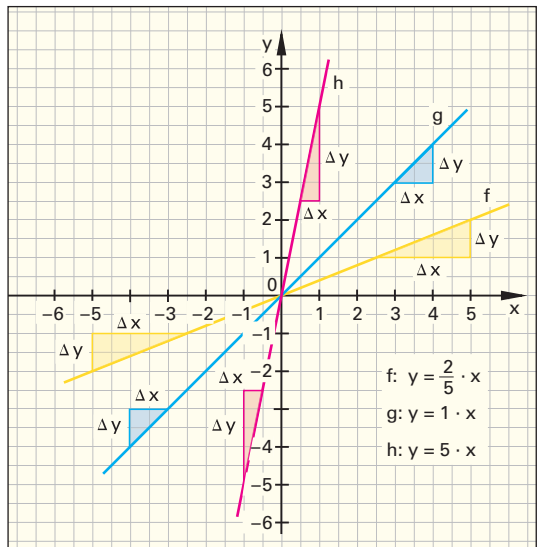
$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

m Steigung  
 $\Delta x$  Differenz der x-Werte     $x_1, y_1$  Koordinaten von  $P_1$   
 $\Delta y$  Differenz der y-Werte     $x_2, y_2$  Koordinaten von  $P_2$

x	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
g(x)	-6	-4,5	-3	-1,5	0	1,5	3	4,5	6



**Bild 1: Wertetabelle und Schaubild der Ursprungsgeraden**



**Bild 2: Ursprungsgeraden und Steigungen**

**Lösungen:**

1.  $m = \frac{-4,5}{-3} = 1,5$       2.  $m = 2,5$

**1.7.3.2 Allgemeine Gerade**

Schaubilder von Geraden, die nicht durch den Ursprung gehen, haben Achsenabschnitte auf der x-Achse und der y-Achse.

**Beispiel 1: Wasserbecken**

Ein Wasserbecken mit der Füllhöhe  $h_1 = 3$  m wird geleert (**Bild 1**). Die Abflussmenge ist konstant. Bestimmen Sie die Geradengleichung mit der Steigung  $m$  aus den Punkten  $H_1$  und  $H_2$  und dem Achsenabschnitt  $b$ .

*Lösung:*  $m = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{2-3}{3-0} = -\frac{1}{3}$ ;  $b = 3 \Rightarrow y_1 = -\frac{1}{3}t + 3$

Durch Verlängern der Geraden (**Bild 1**) erhält man den Schnittpunkt mit der x-Achse (Nullstelle) und damit die Entleerungszeit  $t$  in min.  $0 = -\frac{1}{3}x + 3 \Leftrightarrow x = 9 \Rightarrow t = 9$  min.

**Geradenschar**

Je nach Füllhöhe  $h$  des Wasserbeckens ist die Entleerungszeit  $t$  unterschiedlich.

**Beispiel 2: Geradenschar**

**Bild 2** enthält die Gerade für die Füllhöhe  $h_1$ .

- a) Zeichnen Sie von dieser Geraden ausgehend, die Geraden für die Füllhöhen  $h_2 = 1,5$  m und  $h_3 = 6$  m durch Parallelverschieben in ein Schaubild.
- b) Wie lauten die Gleichungen der Geraden für die Füllhöhen  $h_2$  und  $h_3$ ?

*Lösung:*

a) **Bild 2**    b)  $g_2(x) = -\frac{1}{3}x + \frac{3}{2}$  und  $g_3(x) = -\frac{1}{3}x + 6$

Geradenscharen haben die gleiche Steigung  $m$  aber unterschiedliche Achsenabschnitte.

Geraden mit verschiedenen Steigungen und einem gemeinsamen Schnittpunkt  $S$  nennt man auch Geradenbüschel.

**Beispiel 3: Unterschiedliche Abflussmenge im Wasserbecken**

Die Abflussmenge wird a) verdoppelt, b) halbiert. Berechnen Sie die Auslaufzeiten für beide Fälle.

*Lösung:*

a)  $0 = -\frac{2}{3}x + 3 \Rightarrow x = 4,5 \Rightarrow t = 4,5$  min

b)  $0 = -\frac{1}{6}x + 3 \Rightarrow x = 18 \Rightarrow t = 18$  min

**Orthogonale Geraden**

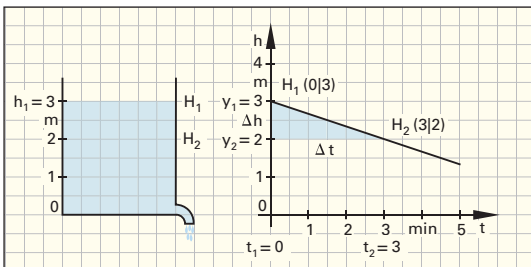
Den Winkel zwischen einer Geraden und der x-Achse erhält man mit  $m = \tan \alpha$ . Die Gerade  $g_6$  (**Bild 3**) hat die Steigung  $m = 1$ , also ist  $\tan \alpha = 1 \Rightarrow \alpha = \arctan(1) \Rightarrow \alpha = 45^\circ$ . Zur Prüfung, ob zwei Geraden senkrecht aufeinander stehen, verwendet man die Formel  $m_1 \cdot m_2 = -1$ .

**Beispiel 4: Orthogonale Geraden**

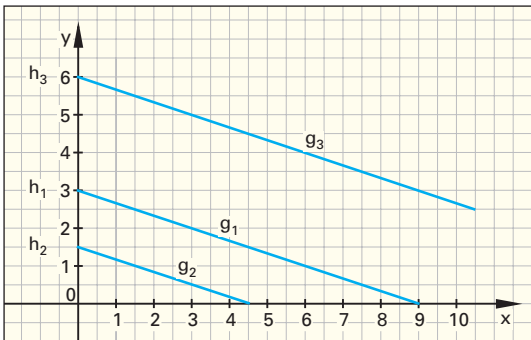
Zeigen Sie, dass die Geraden  $g_6$  mit  $y = x + 3$  und  $g_7$  mit  $y = -x + 3$  senkrecht aufeinander stehen (**Bild 3**).

*Lösung:*  $m_6 = 1, m_7 = -1 \Rightarrow m_6 \cdot m_7 = 1 \cdot (-1) = -1$

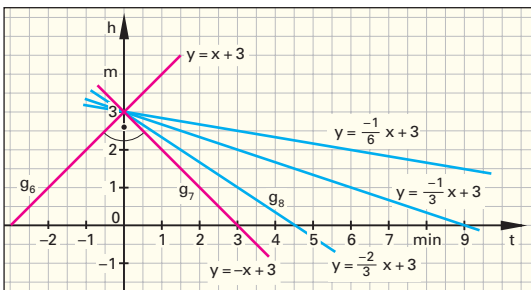
$g: y = m \cdot x + b$	$m = \tan \alpha$	mit $g \perp h$ $m_1 \cdot m_2 = -1$
$x$ Abszissenwert	$m$	Steigung
$y$ Ordinatenwert	$g, h$	Geraden
$b$ Achsenabschnitt auf der y-Achse		
$\alpha$ Winkel zwischen Gerade und x-Achse		



**Bild 1: Entleerung eines Wasserbeckens**



**Bild 2: Geradenschar**



**Bild 3: Geradenbüschel und orthogonale Gerade**

**Aufgaben:**

1. Berechnen Sie den Schnittpunkt der Geraden  $g_6: y = -\frac{1}{3}x + 3$  mit der x-Achse (**Bild 3**).
2. Wie wirkt sich die Halbierung der Auslaufmenge (**Bild 3**) auf die Gleichung der Geraden aus?

**Lösungen:**

1.  $y = 0 \Rightarrow -\frac{1}{3}t + 3 = 0 \Leftrightarrow t = 9 \Rightarrow N(9|0)$
2. Die Steigung wird doppelt so groß, die Auslaufzeit halbiert.

**Überprüfen Sie Ihr Wissen!**

**Rechtwinkliges Koordinatensystem**

1. Geben Sie die Koordinaten aller Eckpunkte des Quaders **Bild 1** an.

**Ursprungsgeraden**

2. Bestimmen Sie

a) aus der Wertetabelle die Gleichung der Geraden.

x	0	1	2	3	4	5	...
f(x)	0	-2	-4	-6	-8	-10	...

b) Welche Werte y ergeben sich für  $x = -1, -2, -3$ ?

3. Prüfen Sie, ob die Punkte P (2|-3) und Q (-3|-4,5) auf der Geraden  $y = \frac{3}{2} \cdot x$  liegen.

**Allgemeine Geraden**

4. Erstellen Sie den Funktionsterm der linearen Funktion, deren Schaubild

a) die Steigung 5 hat und durch den Punkt (2|-4) geht;

b) durch die Punkte P (-1|-5) und Q (4|7) geht.

5. Die Gerade g geht durch die Punkte P (2|3) und Q (4|2), die Gerade h durch den Punkt A (2|1) mit der Steigung  $m = 2$ .

a) Bestimmen Sie die Funktionsterme der zugehörigen Funktionen,

b) berechnen Sie die Nullstellen der Funktionen.

c) Ermitteln Sie den Schnittpunkt der Geraden g und h.

6. Ein Parallelogramm hat die Eckpunkte A (2|1), B (8|1), C (9|5) und D (3|5).

a) Geben Sie die vier Geradengleichungen durch die Eckpunkte an.

b) Bestimmen Sie die Funktionsterme der Funktionen der Diagonalen.

c) Berechnen Sie den Schnittpunkt der Diagonalen.

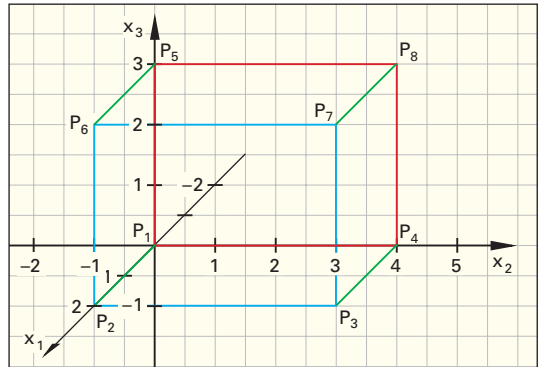
7. Bestimmen Sie die Gleichung der Geraden, die auf der Geraden mit der Funktion  $f(x) = \frac{3}{2}x + \frac{5}{2}$  senkrecht steht und durch den Punkt P (1|4) geht.

8. Ein Auto, das für 16000 € beschafft wurde, wird mit 15% jährlich linear abgeschrieben.

a) Stellen Sie die Funktion auf, die den Buchwert des Autos in Abhängigkeit von seinem Alter beschreibt.

b) Nach wie viel Jahren ist das Auto ganz abgeschrieben?

c) Nach welcher Zeit beträgt der Buchwert 24% des Beschaffungswertes?



**Bild 1: Quader**

9. Die Gerade f hat die Steigung  $m = 0,5$  und geht durch den Punkt P (1|1).

a) Zeichnen Sie das Schaubild.

b) Ergänzen Sie das Schaubild mithilfe der parallelen Geraden g und h zur Geradenschar, dass g eine Einheit oberhalb und h eine Einheit unterhalb von f verläuft.

c) Bestimmen Sie die Gleichung der Geraden, die senkrecht auf der Geraden f steht und durch den Punkt Q (3|2) geht.

d) Berechnen Sie die Schnittpunkte mit den Geraden g und h.

**Lösungen:**

1.  $P_1(0|0|0)$ ,  $P_2(2|0|0)$ ,  $P_3(2|4|0)$ ,  $P_4(0|4|0)$ ,  $P_5(0|0|3)$ ,  $P_6(2|0|3)$ ,  $P_7(2|4|3)$ ,  $P_8(0|4|3)$ .

2. a)  $y = -2 \cdot x$

b)  $x = 1 \Rightarrow y = 2$ ;  $x = 2 \Rightarrow y = 4$ ;  $x = 3 \Rightarrow y = 6$

3. P nein; Q ja

4. a)  $f(x) = 5 \cdot x - 14$       b)  $g(x) = 2,4 \cdot x - 2,6$

5. a)  $g(x) = -0,5 \cdot x + 4$ ;  $h(x) = 2 \cdot x - 3$

b) für  $g(x) \Rightarrow x = 8$ ; für  $h(x) \Rightarrow x = 1,5$

c) S (2,8|2,6)

6. a) f:  $y = 5$ , g:  $y = 1$ , h:  $y = 4 \cdot x - 7$ ; i:  $y = 4 \cdot x - 31$

b)  $d_1(x) = \frac{4}{7} \cdot x - \frac{1}{7}$ ,  $d_2(x) = -\frac{4}{5} \cdot x + \frac{37}{5}$

c) S (5,5|3)

7.  $h(x): y = -\frac{2}{3} \cdot x + \frac{14}{3}$

8. a)  $k(x) = -2400 \cdot x + 16000$

b)  $x = 6\frac{2}{3}$  Jahre      c)  $x = 5,06$  Jahre

9. a)  $f(x) = 0,5 \cdot x + 0,5$ ;  $g(x) = 0,5 \cdot x + 1,5$ ;

$h(x) = 0,5 \cdot x - 0,5$       b)  $y = -2 \cdot x + 8$

c)  $g(x) \Rightarrow x = 2,6$ ;  $y = 2,8$ ;  $h(x) \Rightarrow x = 3,4$ ;  $y = 1,2$