

Literaturverzeichnis

Lehrbücher der linearen Algebra

- [B 1] E. Brieskorn: *Lineare Algebra und Analytische Geometrie I*. Vieweg 1983.
- [B 2] E. Brieskorn: *Lineare Algebra und Analytische Geometrie II*. Vieweg 1985.
- [Bo] N. Bourbaki: *Éléments de mathématique*, speziell Serie VI. – Livre II. *Algèbre*, Ch. 2. *Algèbre linéaire*. Hermann 1962.
- [J] K. Jänich: *Lineare Algebra*. Springer 1979.
- [Koe] M. Koecher: *Lineare Algebra und analytische Geometrie*. Springer 1983.
- [Kow 1] G. Kowalewski: *Einführung in die Determinantentheorie*. Veit & Co 1909. 4. Auflage, W. de Gruyter 1953.
- [Kow 2] G. Kowalewski: *Einführung in die Analytische Geometrie*. Veit & Co 1910. 4. Auflage, W. de Gruyter 1953.
- [S-S] O. Schreier und E. Sperner: *Einführung in die Analytische Geometrie und Algebra*. Teubner 1931.
- [Str] G. Strang: *Linear Algebra and its Applications*. Academic Press 1976.

Ergänzende Literatur

- [DIN] DIN-Taschenbuch 202: *Formelzeichen, Formelsatz, Mathematische Zeichen und Begriffe*. Beuth 1994.
- [Fi] G. Fischer: *Analytische Geometrie*. Vieweg 1978.
- [F-L] W. Fischer und I. Lieb: *Funktionentheorie I*. Vieweg 1980.
- [Fo 1] O. Forster: *Analysis 1*. Vieweg 1976.
- [Fo 2] O. Forster: *Analysis 2*. Vieweg 1977.
- [Fo 3] O. Forster: *Analysis 3*. Vieweg 1981.
- [F-P] U. Friedrichsdorf und A. Prestel: *Mengenlehre für den Mathematiker*. Vieweg 1985.
- [Fr] F.G. Frobenius: *Zur Theorie der linearen Gleichungen*. Journal für die reine und angewandte Mathematik **129**, 175–180 (1905).
- [F-S] G. Fischer und R. Sacher: *Einführung in die Algebra*. Teubner 1974.
- [K-N] S. Kobayashi and K. Nomizu: *Foundations of Differential Geometry, Vol. 1*. Wiley-Interscience 1963.
- [L] S. Lang: *Algebra*. Addison-Wesley 1965.
- [Le] *Lexikon bedeutender Mathematiker*. Bibliographisches Institut Leipzig, 1990.
- [M-V] R. Meise und D. Vogt: *Einführung in die Funktionalanalysis*. Vieweg 1992.
- [O] G. Opfer: *Numerische Mathematik für Anfänger*. Vieweg 1992.
- [P] J.-P. Petit: *Das Geometrikon*. Vieweg 1995.

-
- [Sch] W. Scharlau: *Schulwissen Mathematik: Ein Überblick*. Vieweg 1994.
- [St] J. Stoer: *Einführung in die numerische Mathematik*. Springer 1972.
- [We] H. Weber: *Lehrbuch der Algebra, Band 1*. Vieweg 1895.
- [Wi] F.A. Willers: *Methoden der praktischen Analysis*, 3. Auflage. W. de Gruyter 1957.
- [Z] H.D. Ebbinghaus et al: *Zahlen*. Springer 1983.

Namensverzeichnis

- ABEL, NIELS HENRIK (1802–1829), 66
BESSEL, FRIEDRICH WILHELM (1784–1846), 286
BOURBAKI, NICOLAS ($n - n + 50$), VI
CAUCHY, AUGUSTIN (1789–1857), 263
CAVALIERI, BONAVENTURA (1598–1647), 167
CAYLEY, ARTHUR (1821–1895), VI, 18, 241
COURANT, RICHARD (1888–1972), V
CRAMER, GABRIEL (1704–1752), 167, 196
DARBOUX, GASTON (1842–1917), 286
DESCARTES, RENÉ (1596–1650), 1, 68
DIRICHLET, PETER (1805–1859), 34
EUKLID (etwa 365–300 v.Chr.), 279
FITTING, HANS (1906–1938), 249
FONTENÉ, G. (?), 123
FOURIER, JEAN-BAPTISTE-JOSEPH (1768–1830), 284
FROBENIUS, FERDINAND GEORG (1849–1917), 123
GAUSS, CARL FRIEDRICH (1777–1855), 19, 63
GOETHE, JOHANN WOLFGANG VON (1749–1832), 49
GRAM, JØRGEN (1850–1916), 201
GRASSMANN, HERMANN (1809–1877), 271
HAMILTON, SIR WILLIAM (1805–1865), 241
HESSE, LUDWIG OTTO (1811–1874), 268
HILBERT, DAVID (1862–1943), VI
JACOBI, CARL GUSTAV (1804–1851), 138, 271, 310
JORDAN, CAMILLE (1838–1922), 252
KOWALEWSKI, GERHARD (1876–1950), VI
KRONECKER, LEOPOLD (1823–1891), 88
LAPLACE, PIERRE SIMON (1749–1827), 193
LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM (1646–1716), VI, 166, 184
MÖBIUS, AUGUST FERDINAND (1790–1868), 211
NOETHER, EMMY (1882–1935), VI
PARSEVAL, MARC-ANTOINE (1755–1836), 286
PEANO, GUISEPPE (1858–1939), 30
PFAFF, JOHANN FRIEDRICH (1765–1825), 175
PLÜCKER, JULIUS (1801–1868), 201

- PYTHAGORAS (etwa 580–500 v.Chr.), 263, 266, 328
ROUCHÉ, EUGENE (1832–1910), 123
SARRUS, PIERRE (1798–1861), 186
SCHMIDT, ERHARD (1876–1959), 282
SCHREIER, OTTO (1901–1929), VI
SCHWARZ, HERMANN AMANDUS (1843–1921), 263
STEINITZ, ERNST (1871–1928), 84
STIRLING, JAMES (1692–1770), 179
STURM, JACQUES (1803–1855), 68
SYLVESTER, JAMES (1814–1897), 306
VANDERMONDE, ALEXANDRE (1735–1796), 188
VIETA, FRANÇOIS (1540–1603), 67
WEBER, HEINRICH (1842–1913), VI
WEIERSTRASS, KARL (1815–1897), 166, 170, 184
WEYL, HERMANN (1885–1955), 38
WRONSKI, JOSEF-MARIA (1778–1853), 191
ZORN, MAX (1906–1993), 84

Einzelheiten zu Leben und Werk findet man zum Beispiel in [L].

Sachwortverzeichnis

- Abbildung 32
 - bilineare 331
 - kanonische 337
 - lineare 103
- abelsch 41
- Abstand 263
- Addition 71
 - von Abbildungen 71, 79
 - von Matrizen 71
 - von Vektoren 2
- Additionstheorem 139
- adjungiert 323
- ähnlich 153, 261
- äquivalent 38, 153
- Äquivalenzklasse 38
- Äquivalenzrelation 38
- äußeres Produkt 347, 350
- affiner Unterraum 109
- alternierend 99, 171, 183, 275, 339, 348, 351
- Annulator 315, 322
- antihermitesch 330
- Anzahl 30
- assoziativ 35, 41, 50, 140
- aufgespannt 75
- Ausartungsraum 305
- Austauschsatz 85
- Automorphismus 103

- Basis 81
 - orthonormale 281
- Basisauswahlsatz 83
- Basisergänzungssatz 86
- Beschränkung 33
- Besselsche Ungleichung 286
- Bidualraum 318

- bijektiv 33
- Bild 33, 107
- Bilinearform 274
 - nicht ausgeartete 321

- Cauchy-Schwarzsche Ungleichung 263, 280
- Cavalierisches Prinzip 167
- Cayley-Hamilton
 - Satz von 241
- Charakteristik 57
- charakteristisches Polynom 220, 221
- Cramersche Regel 167, 196

- Darboux-Basis 286
- darstellende Matrix 275
- Determinante
 - einer Matrix 166, 170, 184, 189
 - eines Endomorphismus 201
- Determinanten-Multiplikationssatz 172
- Determinanten-Multiplikationstheorem 198
- diagonalisierbar 215, 216, 224, 225, 291
 - simultan 229
- Diagonalmatrix 216
- Diagramm
 - kommutatives 149
- Differenzmenge 32
- Dimension 1, 86, 111
- Dimensionsformel
 - für Kern und Bild 111
 - für Summen 95
- direkte Summe 96
- direktes Produkt 36, 79
- Diskriminante 65
- distributiv 51, 53
- Division mit Rest 59

- Drehung 100, 139, 214, 222, 289
Dreieck 167
Dreiecksmatrix 171, 233
Dreiecksungleichung 263
dual 314
Dualraum 313
Durchschnitt 31, 74
- Ebene 11
Eigenraum 217, 222, 247
Eigenvektor 214
Eigenwert 213
Einheitsmatrix 87
Einselement 51
Eintrag 19
Element 30
— inverses 41
— negatives 42
— neutrales 41, 140
Elementarmatrix 156
elementarsymmetrisch 67
Elimination 19, 27
Ellipse 304
endlich erzeugt 81
Endomorphismenring 106
Endomorphismus 103
Entwicklung 193
Erzeugendensystem 81
erzeugt 75
Erzeugung von linearen Abbildungen 131
euklidisch 279
Exponentialfunktion 260
- Fahne 233
Fakultät 179
Familie 36, 76
Faser 107
Fehlstand 181
Fitting-Lemma 249
Fixpunkt 106
- Fourierkoeffizient 286
Fundamentalsatz der Algebra 63
Fundamentalsystem 126
Funktion
— differenzierbare 73
— lineare 100
— rationale 70
— stetige 73
Fußball 291
- Gerade 3, 7
Gleichung
— lineare 2
Gleichungssystem 18, 319
— homogenes 122
— inhomogenes 122
Grad 58
Gramsche Determinante 201
Grassmann-Identität 271
Gruppe 41
— allgemeine lineare 142
— alternierende 183
— orthogonale 288
— spezielle orthogonale 288
— symmetrische 178
— unitäre 288
— zyklische 47
- Hauptachsentransformation 302
Hauptminor 310
Hauptraum 247
hermitesch 278
Hessesche Normalform 268
homogen 69, 277, 350
Homomorphismus
— von Gruppen 46
— von Ringen 52
— von Vektorräumen 103
Hyperbel 304
Hyperebene 268

- Ideal 240, 243
- Indexmenge 31, 36
- Induktion 30
- injektiv 33
- invariant 232
- Invariante 256, 259
- Isometrie 287
- Isomorphismus 46, 103, 111, 142
 - kanonischer 318, 322

- Jacobi-Identität 271
- Jordanmatrix 252
- Jordansche Normalform 256

- kanonisch 39, 205, 262, 318
- kanonische Abbildung 116
- Kern 107
- Koeffizient 4, 58
- Koeffizientenmatrix 18
 - erweiterte 19
- Körper 53
- kommutativ 41, 51, 149
- Komplement 32
 - orthogonales 281, 322
- komplementär 192
- Komplexifizierung 336
- Komponente 1, 36
- Komposition 34
- Koordinaten 147
 - kartesische 1
- Koordinatensystem 131, 146
- Kronecker-Symbol 88
- Kürzungsregel 43

- Länge einer Basis 81
- Laplacescher Entwicklungssatz 193
- linear abhängig 77
- linear unabhängig 17, 77
- Linearfaktor 63
- Linearform 313

- Linearkombination 75
- Lösung 4, 10, 19 122
 - eindeutige 127
 - spezielle 126
 - triviale 24, 123, 127
 - universelle 127
- Lösungsmenge 19

- Matrix 18, 71
 - ähnliche 153
 - äquivalente 153
 - darstellende 132
 - diagonalisierbare 216
 - hermitesche 278, 297
 - inverse 194
 - invertierbare 142, 158
 - komplementäre 192
 - normale 325
 - orthogonale 288
 - positiv definite 279, 304, 310
 - symmetrische 296, 297, 300, 302, 308
 - transponierte 316
 - trigonalisierbare 234
 - unitäre 288, 291
- Matrizenring 141
- Menge 30
 - endliche 30
 - leere 30
 - unendliche 30
- Metrik 280
- Minimalpolynom 244
- Minor 197, 198
- Modul 87
- Möbiusband 211
- Monom 336
- multilinear 346
- Multiplikation
 - mit Skalaren 2, 72
 - von Endomorphismen 106
 - von Matrizen 136

- Negatives 72
nicht ausgeartet 351
nilpotent 245, 252
Norm 262, 273, 279, 280
normal 325
Normalform 153, 292
normiert 58, 171
Nullelement 42
Nullpolynom 58
Nullstelle 61
— mehrfache 62
— Vielfachheit 62
nullteilerfrei 52
Nullvektor 3, 72
- Orientierung 205
orthogonal 281, 287, 288, 292, 315
orthonormal 281
Orthonormalisierung 282, 307
- paarweise verschieden 30
parallel 327
Parallelogramm 167
Parallelogramm-Gleichung 266, 284
Parallelotop 169
Parameter 3, 22
Parameterdarstellung 9
Parametrisierung 3, 12, 19, 28, 124
Parsevalsche Ungleichung 286
Permutation 42, 178
— gerade 181
— ungerade 181
Pffafsches Polynom 175, 190
Pivot 21, 27
Plückerkoordinaten 201
Polarisierung 277, 278
Polynom 58, 69, 100, 331
— charakteristisches 220, 221
Polynomring 59, 69
positiv definit 279
Projektion 36
quadratische Ergänzung 309
quadratische Form 277
Quotientenvektorraum 116
- Rang 108, 141, 152, 197, 317
reflexiv 38
Repräsentant 39
Resultante 176
Ring 50
- Sarrussche Regel 186
Satz von Pythagoras 266
Scherung 169
schiefsymmetrisch 99, 175, 275
Schwingung 228
selbstadjungiert 296
semilinear 277
senkrecht 266
sesquilinear 278
Signum 181
Skalarprodukt 262, 273, 279
Spaltenrang 91, 152
Spaltenraum 91
Spaltenumformung 157
Spat 169
Spiegelung 214, 222, 289
Spur 220
Standardraum 70
— reeller 1
stetig verformbar 206
Stirlingsche Formel 179
Summand
— direkter 96
Summationsindex 19
Summe 94
— direkte 96, 97
— orthogonale 281
Summenzeichen 19
surjektiv 33
symmetrisch 38, 99, 275, 339, 348, 350
symmetrische Gruppe 42

- symmetrisches Produkt 345, 350
- symplektisch 286

- Teiler 59
- Teilmenge 30, 31
- Tensor 330, 334
 - kontravarianter 347
 - kovarianter 347
- Tensorprodukt 334, 346
- Trägheitssatz 306
- Transformationsformel 150, 276, 278
- Transformationsmatrix 147
- transitiv 38
- Translation 44
- Transposition 90, 179, 319
- trigonalisierbar 234

- Umkehrabbildung 33
- Unbestimmte 4, 58, 69, 174
- unitär 279, 287, 288, 291
- universelle Eigenschaft 116, 333, 339
- Untergruppe 46
- Unterring 52
- Untervektorraum 73
 - invarianter 232
- Urbild 33
- Ursprung 2

- Vandermonde-Determinante 188
- Variable 22
 - freie 22
 - gebundene 22
- Vektor 1
- Vektorprodukt 269
- Vektorraum 72
- Vereinigung 31
- Verknüpfung 41
- Vielfachheit 62
- Vorzeichenregel 68, 305

- windschief 9, 327
- Winkel 264
- wohldefiniert 48, 117
- Wronski-Determinante 191
- Wurzelsatz 67

- Zahlen
 - ganze 31
 - komplexe 31, 54
 - natürliche 30
 - rationale 31
 - reelle 31
- Zeilenrang 91, 152
- Zeilenraum 89
- Zeilenstufenform 20, 25, 89
- Zeilenumformung 24, 88, 157

Symbolverzeichnis

\square	Ende eines Beweises oder Beweis klar	$(,)$	Skalarprodukt, 262
$a := b$	a ist definiert durch b , 30	$\ \ $	Norm, 262
$a \Rightarrow b$	aus a folgt b	\sphericalangle	Winkel, 264
$a \Leftrightarrow b$	a und b sind gleichwertig	d	Abstand, 263
$\{ \}$	Mengenklammern	\mathbb{C}	komplexe Zahlen, 31, 54
\emptyset	leere Menge, 30	\mathbb{K}	\mathbb{R} oder \mathbb{C} , 278
\in	Element, 30	\mathbb{N}	natürliche Zahlen, 30
\subset	Teilmenge, 30	\mathbb{Q}	rationale Zahlen, 31
\cup	Vereinigung, 31	\mathbb{R}	reelle Zahlen, 1, 31
\cap	Durchschnitt, 31	\mathbb{R}_+	nicht-negative reelle Zahlen, 33
\setminus	Differenzmenge, 32	\mathbb{R}_+^*	positive reelle Zahlen, 41
\times	direktes Produkt, 36 oder Vektorprodukt, 260	\mathbb{R}^n	reeller Standardraum, 1
\rightarrow, \mapsto	Abbildungspfeile, 32	\mathbb{Z}	ganze Zahlen, 31
\circ	Komposition von Abbildungen, 34	$\mathbb{Z}/m\mathbb{Z}$	zyklische Gruppe, 48, 51
$ $	Beschränkung von Abbildungen, 33	K^*	Elemente ungleich Null, 53
f^{-1}	Umkehrabbildung von f , 33	V^*	dualer Vektorraum, 313
\sim	äquivalent, 38	K^n	Standardraum, 70
$(x_i)_{i \in I}$	Familie, 37	$K[t]$	Polynomring über K , 58, 59
\sum	Summenzeichen, 19	\mathcal{K}	kanonische Basis, 81
\sum'	eingeschränkte Summe, 332	e_i	kanonischer Basisvektor, 76
\prod	Produktzeichen, 181	δ_{ij}	Kronecker-Symbol, 88
$+$	Summe, 97	\mathcal{C}	stetige Funktionen, 73
\oplus	direkte Summe, 96	\mathcal{D}	differenzierbare Funktionen, 73
\bigoplus	orthogonale Summe, 273	A_n	alternierende Gruppe, 183
\otimes	Tensorprodukt, 333	S_n	symmetrische Gruppe, 42
\bigotimes^k	k -faches Tensorprodukt, 348	$M(m \times n; K)$	Matrizenring, 71
\wedge	äußeres Produkt, 340	$GL(n; K)$	allgemeine lineare Gruppe, 142
\bigwedge^k	k -faches äußeres Produkt von V , 348	$O(n)$	orthogonale Gruppe, 288
\vee	symmetrisches Produkt, 345	$SO(n)$	spezielle orthogonale Gruppe, 288
\bigvee^k	k -faches symmetrisches Produkt, 350	$U(n)$	unitäre Gruppe, 288

A^{-1}	inverse Matrix, 143	Abb	Abbildungen, 32
tA	transponierte Matrix, 90	Alt	alternierende Abbildungen, 341 351
$A^\#$	komplementäre Matrix, 191	Bil	bilineare Abbildungen, 331, 341
E_i^j	Basismatrix, 81	char	Charakteristik, 57
E_n	n -reihige Einheitsmatrix, 87	deg	Grad, 58
M_B^A	darstellende Matrix, 132	det	Determinante, 167, 170, 184, 203
M_B	darstellende Matrix, 133, 151, 275	dim	Dimension, 86
T_B^A	Transformationsmatrix, 147	Eig	Eigenraum, 217
Q_i^j	Elementarmatrix, 155	Hau	Hauptraum, 247
$Q_i^j(\lambda)$	Elementarmatrix, 156	End	Endomorphismen, 106
$S_i(\lambda)$	Elementarmatrix, 155	Hom	Homomorphismen, 105
P_i^j	Elementarmatrix, 156	Im	Bild, 107
Φ_B	Koordinatensystem, 131	Ker	Kern, 107
F_i^j	Basishomomorphismen, 132	Lös	Lösungsmenge, 19, 12
F^{ad}	adjungierte Abbildung, 323	rang	Rang, 108, 152
\mathcal{I}_F	Ideal von F , 240	sign	Signum, 181
		span	aufgespannter Vektorraum, 75