

- 18.4 Quanteneinschlusslaser 627
- 18.4.1 Einfach- und Mehrfachquantenschichtlaser 628
- 18.4.2 Quantendraht- und Mehrfachquantendrahtlaser 631
- 18.4.3 Quantenpunkt- und Mehrfachquantenpunktlaser 632
- 18.4.4 Quantenkaskadenlaser 633
- 18.5 Mikroresonatorlaser 636
- 18.5.1 Oberflächenemitter 637
- 18.5.2 Mikrodisk- und Mikroringlaser 640
- 18.5.3 Mikroresonatorlaser aus photonischen Kristallen 641
- 18.6 Nanoresonatorlaser 642

- 19 Photodetektoren 651**
- 19.1 Photodetektoren 652
- 19.1.1 Äußerer und innerer Photoeffekt 652
- 19.1.2 Allgemeine Eigenschaften 655
- 19.2 Photoleiter 660
- 19.2.1 Intrinsische Materialien 660
- 19.2.2 Dotierte Materialien 661
- 19.2.3 Heterostrukturen 662
- 19.3 Photodioden 663
- 19.3.1 Die pn-Photodiode 663
- 19.3.2 Die pin-Photodiode 665
- 19.3.3 Heterostrukturen 666
- 19.4 Lawinenphotodioden 669
- 19.4.1 Konventionelle Lawinenphotodioden 669
- 19.4.2 Dioden mit positions- und verlaufsabhängigen Parametern 675
- 19.4.3 Einzelphotonen- und photonenzahlauflösende Detektoren 676
- 19.5 Arraydetektoren 679
- 19.5.1 Photodetektoren 679
- 19.5.2 Ausleseelektronik 680
- 19.6 Rauschen in Photodetektoren 681
- 19.6.1 Photoelektronenrauschen 682
- 19.6.2 Gewinnrauschen 685
- 19.6.3 Schaltungsrauschen 690
- 19.6.4 Signal/Rausch-Verhältnis und Empfindlichkeit analoger Empfänger 692
- 19.6.5 Bitfehlerrate und Empfindlichkeit digitaler Empfänger 696

- 20 Akustooptik 705**
- 20.1 Die Wechselwirkung von Licht und Schall 706
- 20.1.1 Braggsche Beugung 706
- 20.1.2 Die Theorie gekoppelter Wellen 711
- 20.1.3 Braggsche Beugung von Strahlen 712
- 20.2 Akustooptische Bauelemente 714
- 20.2.1 Modulatoren 715
- 20.2.2 Scanner 716
- 20.2.3 Räumliche Schalter 718
- 20.2.4 Filter, Frequenzschieber und Isolatoren 720
- 20.3 Akustooptik von anisotropen Medien 721
- 20.3.1 Akustische Wellen in anisotropen Materialien 721

- 21 Elektrooptik 727**
 - 21.1 Grundlagen der Elektrooptik 728
 - 21.1.1 Pockels- und Kerreffekt 728
 - 21.1.2 Elektrooptische Modulatoren und Schalter 729
 - 21.1.3 Scanner 732
 - 21.1.4 Richtkoppler 733
 - 21.1.5 Räumliche Lichtmodulatoren 735
 - 21.2 Elektrooptik anisotroper Medien 737
 - 21.2.1 Kristalloptik: Eine kurze Wiederholung 737
 - 21.2.2 Pockels- und Kerreffekt 737
 - 21.2.3 Modulatoren 741
 - 21.3 Elektrooptik von Flüssigkristallen 742
 - 21.3.1 Phasenschieber und Modulatoren 742
 - 21.3.2 Räumliche Lichtmodulatoren und Displays 746
 - 21.4 Photorefraktivität 749
 - 21.4.1 Vereinfachte Theorie der Photorefraktion 750
 - 21.5 Elektroabsorption 753

- 22 Nichtlineare Optik 759**
 - 22.1 Nichtlineare optische Medien 760
 - 22.1.1 Die nichtlineare Wellengleichung 762
 - 22.2 Nichtlineare Optik zweiter Ordnung 763
 - 22.2.1 Frequenzverdopplung und Gleichrichtung 763
 - 22.2.2 Der elektrooptische Effekt 765
 - 22.2.3 Dreiwellenmischung 766
 - 22.2.4 Phasenbedingung und Abstimmungskurven 769
 - 22.2.5 Quasi-Phasen Anpassung 773
 - 22.3 Nichtlineare Optik dritter Ordnung 775
 - 22.3.1 Die Erzeugung der dritten Harmonischen und der optische Kerreffekt 775
 - 22.3.2 Selbstphasenmodulation, Selbstfokussierung und räumliche Solitonen 776
 - 22.3.3 Kreuzphasenmodulation 778
 - 22.3.4 Vierwellenmischung 778
 - 22.3.5 Optische Phasenkonjugation 780
 - 22.4 Nichtlineare Optik zweiter Ordnung: Die Theorie gekoppelter Wellen 782
 - 22.4.1 Die Gleichungen gekoppelter Wellen 782
 - 22.4.2 Frequenzverdopplung 784
 - 22.4.3 Optische Frequenzkonversion 786
 - 22.4.4 Optische parametrische Verstärkung und Oszillation 787
 - 22.5 Nichtlineare Optik dritter Ordnung: Die Theorie gekoppelter Wellen 789
 - 22.5.1 Vierwellenmischung 789
 - 22.5.2 Dreiwellenmischung und Erzeugung der dritten Harmonischen 791
 - 22.5.3 Optische Phasenkonjugation 792
 - 22.6 Anisotrope nichtlineare Medien 794
 - 22.6.1 Dreiwellenmischung in anisotropen nichtlinearen Medien zweiter Ordnung 795
 - 22.7 Dispersive nichtlineare Medien 796
 - 22.7.1 Beschreibung dispersiver nichtlinearer Medien durch eine Integraltransformation 796
 - 22.7.2 Beschreibung dispersiver nichtlinearer Medien durch eine Differentialgleichung 797

- 23 Ultraschnelle Optik 803**
- 23.1 Eigenschaften von Pulsen 804
- 23.1.1 Zeitliche und spektrale Eigenschaften 804
- 23.1.2 Gaußpulse und gechirpte Gaußpulse 807
- 23.1.3 Räumliche Eigenschaften 808
- 23.2 Pulsformung und Kompression 810
- 23.2.1 Chirpfilter 810
- 23.2.2 Ausführungen von Chirpfiltern 816
- 23.2.3 Pulskompression 819
- 23.2.4 Pulsformung 819
- 23.3 Pulsausbreitung in optischen Fasern 821
- 23.3.1 Die optische Faser als Chirpfilter 821
- 23.3.2 Ausbreitung eines Gaußpulses in einer optischen Faser 823
- 23.3.3 Diffusionsgleichung für langsam variierende Einhüllende 827
- 23.3.4 Analogie zwischen Dispersion und Beugung 828
- 23.4 Ultraschnelle lineare Optik 831
- 23.4.1 Strahlenoptik 831
- 23.4.2 Wellen- und Fourieroptik 832
- 23.4.3 Optik von Strahlbündeln 834
- 23.5 Ultraschnelle nichtlineare Optik 838
- 23.5.1 Gepulste parametrische Prozesse 838
- 23.5.2 Optische Solitonen 842
- 23.5.3 Superkontinuumslicht 848
- 23.5.4 Die Erzeugung höherer Harmonischer und Attosekundenoptik 850
- 23.6 Pulsdetektion 854
- 23.6.1 Die Messung der Intensität 854
- 23.6.2 Die Messung der spektralen Intensität 858
- 23.6.3 Die Messung der Phase 859
- 23.6.4 Messung des Spektrogramms 861

- 24 Optische Verbindungen und Schalter 869**
- 24.1 Optische Verbindungen 871
- 24.1.1 Die Verbindungsmatrix 871
- 24.1.2 Nichtreziproke Verbindungen: Isolatoren und Zirkulatoren 872
- 24.1.3 Brechende und beugende Verbindungen im freien Raum 873
- 24.1.4 Wellenleiterverbindungen 875
- 24.1.5 Nichtreziproke optische Verbindungen 876
- 24.1.6 Optische Verbindungen in Mikroelektronik und Computertechnik 876
- 24.2 Passive optische Router 881
- 24.2.1 Wellenlängenbasierte Router 881
- 24.2.2 Polarisations-, phasen- und intensitätsbasierte Router 885
- 24.3 Photonische Schalter 887
- 24.3.1 Ausführungen von räumlichen Schaltern 887
- 24.3.2 Realisierungen von photonischen räumlichen Schaltern 889
- 24.3.3 Volloptische räumliche Schalter 895
- 24.3.4 Wellenlängenempfindliche Schalter 902
- 24.3.5 Zeitbereichsschalter 904
- 24.3.6 Code- oder Paketschalter 906
- 24.4 Photonische Logikgatter 908
- 24.4.1 Bistabile Systeme 908
- 24.4.2 Das Prinzip der optischen Bistabilität 910
- 24.4.3 Bistabile optische Bauelemente 912

25	Faseroptische Kommunikation	919
25.1	Faseroptische Komponenten	920
25.1.1	Optische Fasern	920
25.1.2	Quellen für optische Sender	925
25.1.3	Optische Verstärker	926
25.1.4	Detektoren für optische Empfänger	928
25.1.5	Integriert-photonische Schaltkreise	930
25.2	Faseroptische Nachrichtensysteme	931
25.2.1	Entwicklungsgeschichte faseroptischer Nachrichtensysteme	932
25.2.2	Die Leistungsfähigkeit von faseroptischen Systemen	935
25.2.3	Dämpfungs- und dispersionsbegrenzte Systeme	937
25.2.4	Kompensation und Management von Dämpfung und Dispersion	942
25.2.5	Solitonoptische Kommunikation	944
25.3	Modulation und Multiplexing	945
25.3.1	Modulation	945
25.3.2	Multiplexing	947
25.3.3	Wellenlängenmultiplexing	948
25.3.4	Raummultiplexing	950
25.4	Kohärente optische Kommunikation	952
25.4.1	Der Heterodyndetektor	953
25.4.2	Der symmetrische Homodyndetektor	954
25.4.3	Kohärente Systeme	955
25.5	Faseroptische Netze	958
25.5.1	Netztopologien und Vielfachzugriff	958
25.5.2	Wellenlängenmultiplexnetze	961
	Anhang A Die Fouriertransformation	969
A.1	Die eindimensionale Fouriertransformation	969
A.1.1	Eigenschaften der Fouriertransformation	969
A.1.2	Beispiele	970
A.2	Zeitliche und spektrale Breite	970
A.2.1	Die quadratisch gemittelte Breite	970
A.2.2	Die leistungäquivalente Breite	972
A.2.3	1/e-, Halbwerts- und 3-dB-Breite	973
A.3	Die zweidimensionale Fouriertransformation	973
A.3.1	Eigenschaften	974
	Anhang B Lineare Systeme	977
B.1	Eindimensionale lineare Systeme	977
B.1.1	Lineare Systeme	977
B.2	Zweidimensionale lineare Systeme	979
	Anhang C Die Moden linearer Systeme	981
C.1	Die Moden eines diskreten linearen Systems	982
C.2	Die Moden eines kontinuierlichen durch einen Integraloperator beschriebenen Systems	982
C.2.1	Translationssymmetrie und harmonische Moden	983
C.3	Die Moden eines durch gewöhnliche Differentialgleichungen beschriebenen Systems	983
C.4	Die Moden eines durch eine partielle Differentialgleichung beschriebenen Systems	984
C.4.1	Die Moden des Feldes/der Welle in einem homogenen Medium mit Randbedingungen	984
C.4.2	Moden von Feldern/Wellen in einem periodischen Medium	985

	Lösungen zu den Übungen	987
1	Strahlenoptik	987
2	Wellenoptik	992
3	Optik von Strahlbündeln	994
4	Fourieroptik	996
5	Elektromagnetische Optik	998
6	Polarisationsoptik	998
7	Optik photonischer Kristalle	999
9	Wellenleiteroptik	999
10	Faseroptik	1000
11	Resonatoroptik	1002
12	Statistische Optik	1003
13	Photonenoptik	1004
14	Licht und Materie	1005
15	Laserverstärker	1006
16	Laser	1008
17	Halbleiteroptik	1010
18	LED und Laserdioden	1012
19	Photodetektoren	1014
20	Akustooptik	1015
21	Elektrooptik	1016
22	Nichtlineare Optik	1016
23	Ultraschnelle Optik	1020
24	Optische Verbindungen und Schalter	1020

	Stichwortverzeichnis	1023
--	-----------------------------	-------------