

Inhaltsverzeichnis

1	ZUR ENERGIESITUATION IN DEUTSCHLAND	1
1.1	Notwendigkeit zur Einsparung fossiler Energieträger	4
1.1.1	Deutschland im Jahr 2020?	5
1.1.2	Erneuerbare Stromversorgung bis 2050	9
1.1.3	Der Atomausstieg ist aus technischer Sicht möglich	14
1.1.4	Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	15
1.1.5	Die DESERTEC-Initiative – Die Lösung der Energiefrage?	17
1.2	Energieeffizienz-Potenziale im Haus und Zweckbau	24
1.3	Heutige Situation der Energiewirtschaft	25
1.3.1	Voraussetzungen und Ziele der Energiepolitik	26
1.3.2	Methoden der elektrischen Energieerzeugung	27
1.4	Weniger Treibhausgas durch wirksame Energieeffizienz	40
1.5	Elektrochemische Energiespeicher	45
1.5.1	Redoxreaktionen – die Rolle der Elektroden	46
1.5.2	Physikalische Grundlagen elektrischer Batteriegrößen	47
1.6	Ladeverfahren für Sekundärbatterien	51
1.6.1	Konstantstrom-Verfahren	51
1.6.2	Pulsladeverfahren	52
1.6.3	Konstantspannungs-Ladeverfahren	52
1.6.4	CCCV-Ladeverfahren	53
1.6.5	Entladeschluss-Spannung	53
1.6.6	Entladungsgrad	54
1.6.7	Innenwiderstand einer Zelle	54
1.6.8	Kapazitätsmessung einer Zelle	54
1.6.9	Energiedichte und Wirkungsgrad	55
1.6.10	Erstes Faradaysches Gesetz	56
1.6.11	Zweites Faradaysches Gesetz	57
1.6.12	Die Nernstsche Gleichung	57
1.6.13	Der Memory-Effekt	58
1.6.14	Der Lazy-Battery-Effekt	59
1.7	Blei-Akkumulator	60
1.7.1	Entladevorgang	60
1.7.2	Ladung des Blei-Akkus	61

1.8	Nickel-Cadmium-Akkumulator	62
1.8.1	Entladevorgang	63
1.8.2	Ladevorgang des NiCd-Akkus	63
1.9	NiMH-Akkumulator	65
1.9.1	Entladevorgang	65
1.9.2	Ladeverfahren	66
1.10	Lithium-Ionen-Akku	68
1.10.1	Elektrochemische Grundlagen der Li-Ionen-Akkus	69
1.10.2	Aufbau des Lithium-Ionen-Akkus	70
1.10.3	Lade-Entlade-Handling	74
1.10.4	Gefahren beim Umgang mit Li-Ionen-Akkus	76
1.11	Neuere Lithium-Akkumulator-Typen	78
1.11.1	Elektrodenmaterialien für Akkumulatoren der 4. Generation	80
1.12	Lithium-Polymer-Akkumulator	81
1.12.1	Einsatzmöglichkeiten von Li-Poly-Akkus	84
1.13	Super Capacitor oder Doppelschicht-Kondensator	85
1.14	E-Mobility – Windenergie treibt alle PKW elektrisch an	88
1.14.1	Strom oder Wasserstoff?	89
2	MODERNE HEIZUNGSTECHNOLOGIEN	91
2.1	Wärmegewinnung mit etablierten Heizungssystemen	91
2.1.1	Holzpellet-Heizungen	92
2.1.2	Solarthermische Heizungsanlagen	92
2.1.3	Wärmepumpen	93
2.1.4	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mittels Erdgas und Erdöl	94
2.1.5	Nachwachsende Rohstoff-Blockheizkraftwerke (NAWARO-BHKWs)	94
2.2	Heizungs-Systeme mit Brennwerttechnik	95
2.2.1	Funktionsweise der Brennwerttechnik	95
2.2.2	Verbrennungsluft-Vorwärmung	96
2.2.3	Wirkungsgrad	97
2.2.4	Kohlendioxid und Kondenswasserbildung	97
2.3	Solarthermische Anlagen	98
2.4	Pellet-Heizsysteme: Modernes Heizen mit Holzpellets	101
2.4.1	Holzpellet-Einzelöfen	102
2.4.2	Pellet-Heizung als Zentralheizung	102

2.4.3	Förderanlagen für Holzpellets	103
2.4.4	Holzpellet-Heizung – Vor- und Nachteile	105
2.5	Blockheizkraftwerk – Strom und Wärme	106
2.5.1	Funktionsweise eines Mikro-Blockheizkraftwerks	106
2.5.2	Elektrische Energieproduktion	108
2.5.3	Kostenbetrachtung zu Mikro-BHKWs	111
2.6	Wärmepumpe – Heizwärme aus der Erde	112
2.6.1	Energiebilanz	116
2.6.2	Funktionsweise der Wärmepumpe	119
2.6.3	Betriebsarten von Wärmepumpenanlagen	121
2.7	Das Stirlingmotor-Blockheizkraftwerk	122
2.7.1	Arbeitsweise eines Stirlingmotors	123
2.7.2	Typischer Aufbau eines Mikro-BHKW mit Stirlingmotor	127
2.8	Die Brennstoffzellen-Technologie	130
2.8.1	Physikalische Grundlagen zur Brennstoffzellen-Technologie	130
2.8.2	Grundsätzliches zur Brennstoffzellen-Technologie	137
2.8.3	Funktion der Brennstoffzelle	138
2.8.4	Übersicht über die fünf bekannten Brennstoffzellen-Typen	139
2.8.5	Die alkalische Brennstoffzelle AFC	140
2.8.6	Die Polymer-Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle PEMFC	141
2.8.7	Die phosphorsaure Brennstoffzelle PAFC	143
2.8.8	Die Schmelzkarbonat Brennstoffzelle MCFC	144
2.8.9	Die Oxydkeramische Brennstoffzelle SOFC	145
2.8.10	Vor – und Nachteile von Brennstoffzellen-BHKWs	147
3	ERZEUGUNG UND SPEICHERUNG VON ENERGIE	151
3.1	Photovoltaische Energie-Umwandlungssysteme	151
3.1.1	Die anthropogene Kohlendioxid-Produktion	151
3.1.2	Energetische Amortisation und Erntefaktoren	154
3.1.3	Physikalische Grundlagen der Photovoltaik	155
3.1.4	Funktionsweise einer Solarzelle	163
3.1.5	Amorphe PV-Module	165
3.1.6	Monokristalline PV-Module	167
3.1.7	Polykristalline PV-Module	168
3.1.8	Strahlungs- und Temperaturabhängigkeit	169
3.1.9	Definition der Leistung eines Solarmoduls	169
3.1.10	Hagelschlag und Verschmutzung	170
3.1.11	Photovoltaik-Anlage kombiniert mit Dachbegrünung	171
3.1.12	Verschaltungsarten von Solarmodulen	172
3.1.13	Reihen- und Parallelschaltung von Solarzellen	173

3.1.14	Solare Strahlungsenergie der Sonne	175
3.1.15	Deutschland und die Sonnenenergie	175
3.1.16	Einspeisevergütung für Solar-Energie	177
3.1.17	Standort und Ausrichtung in der Photovoltaik	178
3.1.18	Montage von Photovoltaik-Anlagen	180
3.1.19	Betrieb und Haltbarkeit	182
3.1.20	Netzgekoppelte PV-Anlagen	182
3.1.21	Insel-PV-Anlagen	185
3.2	Wirtschaftlichkeit von Solarstrom	190
3.3	Kleinwindkraftanlagen	193
3.3.1	Definition von Kleinwindkraftanlagen	193
3.3.2	Dimensionierung von Kleinwindkraftanlagen	194
3.3.3	Physikalische Grundlagen der Windnutzung	197
3.3.4	Läufervarianten	203
3.3.5	Leistungsberechnung einer Kleinwindkraftanlage	204
3.3.6	Die Schnelllaufzahl	206
3.4	Wärmespeicherung	208
3.4.1	Die latente Wärmespeicherung – Phase Change Material	208
3.4.2	Vorteile latenter Wärme	209
3.4.3	Latent-Wärmespeicher in HKL- und Sanitäranlagen	210
3.4.4	Vorteile der latenten Wärmespeicherung	212
3.4.5	Latent-Wärmeparaffin- gegen Wasser Speichermaterial-System	213
3.4.6	Einsatz von Latentwärmespeichern	213
3.5	Bewertender Vergleich alternativer Energie-Systeme	215
3.5.1	Beurteilung verschiedener Energieangebote	215
3.5.2	Solarthermie – Solarflachkollektor/Vakuumröhrenkollektor	216
3.5.3	Solarthermische Anlagen	217
3.5.4	Photovoltaik	218
3.5.5	Festbrennstoff	219
3.5.6	Wärmepumpen	221
3.5.7	Brennwertheizung	224
3.5.8	Pufferspeicher	225
3.5.9	Blockheizkraftwerke	226
4	WÄRMEDÄMMUNG	229
4.1	Bauphysikalische Grundlagen	229
4.1.1	Kohlendioxid-Ausstoß und Wasserdampf	229
4.1.2	Luftwechselrate	230
4.1.3	Diffusion	230
4.1.4	Feuchte und Tauwasser	232

4.1.5	Tauwasser-Bildung auf Bauteiloberflächen	233
4.1.6	Feuchtigkeitsquellen	234
4.1.7	Herstellung luftdichter Gebäudehüllen	235
4.1.8	Blower-Door-Test	236
4.1.9	Klimadifferenz zwischen Innenraum und Außenluft	237
4.1.10	Feuchtebilanz	238
4.1.11	Konvektion	239
4.1.12	Luftdichte Gebäudehülle	239
4.1.13	Sorption	240
4.1.14	Spezifische Wärmekapazität	241
4.1.15	Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl	241
4.1.16	Bauschäden durch Feuchtigkeit	242
4.1.17	Wärmeschutz-Berechnung und (U-Wert)	244
4.1.18	Wärmebrücken	245
4.1.19	Wärmedurchgang	246
4.1.20	Wärmeübertragungsarten	247
4.2	Techniken des baulichen Wärmeschutzes	251
4.2.1	Thermographie	251
4.2.2	Bauteilaktivierung	252
4.2.3	Wärmeschutz	252
4.2.4	Behaglichkeit	254
4.2.5	Raumluftqualität	255
4.2.6	Feuchtegesteuerte Lüftungsanlagen	259
4.3	Berechnung des (U-Wertes)	260
4.3.1	Der Wärmedurchlass-Widerstand	261
4.3.2	Der Wärmedurchgangs-Widerstand	261
4.3.3	Wärmedurchlässigkeit	262
4.4	Wärmeleitfähigkeit	263
4.5	Wärmedämm-Verbundsysteme	264
4.5.1	Der (U-Wert) von Fenstern	266
4.6	Wärmeverhalten von Gebäuden	268
4.6.1	Die Energieeinsparverordnung und der (U-Wert)	269
4.6.2	Der Energieausweis	270
4.6.3	Gesetzliche Verpflichtungen zum Energieausweis	270
4.6.4	Die Energieeinsparverordnung – EnEV	272
4.6.5	KfW-Förderung nach EnEV 2009	272
4.6.6	Heizenergiebedarf	273
4.6.7	Gradtagzahl und Heizgradtage	274
4.6.8	Bauphysikalische Planungsleitlinien	276
4.6.9	Berechnung der Heizlast nach EN 12831	280

4.7	Das Passivhaus	281
4.7.1	Leitfaden zum Bau von Passivhäusern	282
5	LÜFTUNGSTECHNIK UND LUFTHYGIENE	287
5.1	CO₂- und Wasserkonzentration in bewohnten Räumen	287
5.2	Erforderliche Luftmengen	289
5.3	Quantifizierbare Messgrößen der Raumlufthqualität	291
5.3.1	Das Dezipol	291
5.3.2	Kontrollierte Wohnraumlüftung	293
5.3.3	Regeln für das Lüften	293
5.4	Lüftungsanlagen und Wohnqualität	293
5.4.1	Besonderheiten von Lüftungsanlagen	294
5.4.2	Solare Kühlungs- und Klimatisierungstechniken	295
6	KÄLTEANLAGEN	301
6.1	Physikalische Grundlagen zu Kaltdampfanlagen	301
6.1.1	Der Joule-Thompson-Effekt	303
6.2	Die Kompressions-Kältemaschine	304
6.3	Die Absorptions-Kältemaschine	305
6.3.1	Das Absorber-Funktionsprinzip	306
6.3.2	Das Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsprinzip	307
6.4	Die Adsorptionskältemaschine	308
7	BELEUCHTUNGSTECHNIK	311
7.1	Physikalische Grundlagen der Lichterscheinungen	311
7.1.1	Grundlegende radiometrische Größen	311
7.1.2	Die Strahlungsleistung bzw. der Strahlungsfluss	312
7.1.3	Die Strahlstärke	313
7.1.4	Die Strahldichte	314
7.1.5	Die Bestrahlungsstärke	315
7.1.6	Die spezifische Ausstrahlung	315
7.2	Einführung spektraler Leistungsgrößen	316

7.3	Berechnung radiometrischer Größen	317
7.3.1	Isotrope, punktförmige Lichtquellen	317
7.3.2	Gerichtete, punktförmige Lichtquellen	318
7.3.3	Die Lambert-Fläche	319
7.4	Grundlegende photometrische Größen	322
7.4.1	Der Lichtstrom	322
7.4.2	Die Lichtstärke	323
7.4.3	Die Leuchtdichte	323
7.4.4	Die Beleuchtungsstärke	323
7.4.5	Die spezifische Lichtausstrahlung	324
7.4.6	Umrechnung zwischen radiometrischen und photometrischen Größen	324
7.5	Radiometrische – Photometrische Lichtgrößen	325
7.6	Das xyz-Modell der CIE	325
7.7	Licht – Welle und Strahlung	327
7.7.1	Spektralfarbe und Wellenlänge	328
7.7.2	Das Lichtspektrum	329
7.8	Sehempfindung	330
7.9	Grundlagen der Beleuchtungstechnik	332
7.9.1	Gütemerkmale der Beleuchtung	333
7.9.2	Sehleistung, Sehkomfort und visuelle Empfindungen	333
7.9.3	Beleuchtungsstärke	334
7.9.4	Helligkeitsverteilung	334
7.9.5	Blendungsbegrenzung	334
7.9.6	Licht und Schatten	335
7.9.7	Lichtfarbe	335
7.9.8	Farbwiedergabe	336
7.10	Energieeffiziente Beleuchtungstechnik	337
7.10.1	Langlebigkeit	337
7.10.2	Lichtausbeute	338
7.10.3	Lebensdauer und Kosten	339
7.10.4	Unterschiedliche Lampentypen	339
7.10.5	Glühlampen	340
7.10.6	Halogenlampen	341
7.10.7	Hochvolt-Halogenlampen	341
7.10.8	Niedervolt-Halogenlampen	342
7.10.9	Leuchtstofflampen	342
7.10.10	Kompaktleuchtstoff- und Energiesparlampen	343
7.10.11	Induktionslampen	345
7.10.12	Natriumdampflampen	345

7.10.13	Licht Emittierende Diode – <i>LED</i>	348
7.10.14	Organische Licht-Emittierende Diode – <i>OLED</i>	352
7.10.15	Alternativen zur Glühlampe	355
7.11	Leuchten	357
7.11.1	Lichttechnische Eigenschaften von Leuchten	357
7.11.2	Elektrotechnische Eigenschaften von Leuchten	358
7.11.3	Schutzarten	360
7.11.4	Brandschutz-Kennzeichnung	361
7.11.5	EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit	361
7.11.6	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit – EMVU	362
7.11.7	Biophysikalische Wirkungen schwacher elektromagnetischer Felder	362
7.11.8	Thermische Wirkungen	363
7.11.9	Athermische Wirkungen	363
7.11.10	Elektromagnetische Felder und ihre Quellen	367
7.11.11	Grenzwerte für elektromagnetische Wechselfelder	368
7.11.12	Vorsätze und Filter	371
7.11.13	Energieeffizienz von Leuchten	371
7.11.14	Energieeffiziente Betriebsgeräte	371
7.11.15	Vorschaltgeräte für den Lampenbetrieb	372
7.11.16	Elektronische Vorschaltgeräte	373
7.11.17	Magnetische Vorschaltgeräte	373
7.11.18	Energieeffizienz-Index für Vorschaltgeräte	374
7.11.19	Transformatoren für Niedervolt-Halogenlampen	376
7.11.20	Qualitäts-Betriebsgeräte tragen Prüfzeichen	377
7.12	Energieeffizientes Licht und Umwelt	377
7.13	Lichtmanagement	378
7.14	DALI – Digital Adressable Lightning Interface	380
7.14.1	Beleuchtungsszenen	382
7.14.2	Vom Lux zum Watt	383
8	GEBÄUDE-BUSSYSTEME	391
8.1	Topologien gebräuchlicher Gebäudeautomations-Busse	393
8.2	Der EIB/KNX-Gebäudeautomationsbus	394
8.3	Der Lon-Gebäudeautomations-Bus	396
8.4	BACnet-Gebäudeautomations-Bus	398
8.4.1	Entstehung des BACnet-Standards	399
8.4.2	BACnet in Kürze	400

8.4.3	Grundlegende Funktionsweise von BACnet	401
8.4.4	BACnet-Dienste	402
8.4.5	Technologische Besonderheiten von BACnet	403
8.4.6	Gebräuchliche Netzwerktechnologien	404
8.4.7	BACnet Adressen	405
8.4.8	Installationstechnik	406
8.4.9	Einsatzgebiete	407
9	BASIS-KONZEPTE DER GEBÄUDESYSTEMTECHNIK	409
9.1	Bedienung eines Gebäude	409
9.2	Brandmeldekonzep	410
9.2.1	Brandmeldeanlagen für private Wohnungen und Wohnhäuser	410
9.2.2	Brandmeldeanlagen für öffentliche Gebäude und größere Gewerbe	411
9.2.3	Alarmierung im Brandfall	417
9.2.4	Verhalten im Brandfall	419
9.3	Einbruchmeldekonzep	419
9.3.1	Einbrucherkennung durch KNX-Sensoren	419
9.3.2	Einbrucherkennung durch eine Einbruchmeldeanlage	420
9.3.3	Sensoren zur Einbrucherkennung	421
9.4	Erfassung und Verarbeitung von Umweltdaten	423
9.4.1	Wettersensor	423
9.4.2	Wetterzentrale	424
9.5	Präsenzerfassung	425
9.5.1	Bewegungsmelder	425
9.5.2	Präsenzmelder	427
9.6	Beleuchtungskonzep	427
9.6.1	Phasen- und abschnitt zur Leistungsregelung	428
9.6.2	Regelmethoden der Beleuchtung	429
9.6.3	Konstantlicht-Regelung	430
9.6.4	Beispiele zur Konstantlicht-Regelung	432
9.6.5	Inbetriebnahme einer Konstantlicht-Regelung	433
9.6.6	Theoretische Grundlagen der Beleuchtungsregelung	433
9.6.7	Master-Slave-Betrieb	436
9.6.8	Ansteuerung der Beleuchtung	437
9.7	Jalousien-Steuerungskonzep	441
9.7.1	Tageslichtlenkung	441
9.7.2	Jalousieregelung bei ungenutzten Räumen, Sturm und Frost	443

9.8	Bodenfeuchtigkeitsmessung	444
9.9	Klimaregelung	445
9.9.1	Temperaturregelung	445
9.9.2	Heizungsventil-Steuerung	451
9.9.3	Vergleich der Temperatur-Regelkonzepte	453
9.9.4	Methoden der Temperaturabsenkung	455
9.9.5	Raumlüftung	456
9.10	Messung des Energieverbrauchs	457
9.10.1	Messung elektrischer Energien	457
9.10.2	Messung der Wärmemenge	459
9.10.3	Messung des Wasserverbrauchs	462
9.11	Zentrale Datenerfassung	462
9.11.1	Gebäudeleittechnik-Server	462
9.11.2	GLT-Funktionen	464
9.11.3	Gebäudeleittechnik-Zentrale	465
9.12	Visualisierung von Gebäude-Daten	466
9.12.1	GLT-Interface Software	466
9.12.2	Anzeigen von Raumfunktionen	466
9.12.3	Darstellung der Verbrauchsdaten	468
9.12.4	Darstellung von Energieerträgen	468
9.13	Zugangskontrolle	469
9.14	Blitzschutz-Konzepte	471
9.14.1	Innerer Blitzschutz	472
9.14.2	Äußerer Blitzschutz	474
10	ENERGIE-MONITORING UND GEBÄUDE-AUTOMATION	481
10.1	Energiemanagement mit Gebäudeautomation	482
10.2	Regelungstechnische Anwendungen in der GA	484
10.2.1	Wertschöpfung durch zusätzliche elektrische Betriebsmittel	485
10.2.2	Zukunftsorientierte Installationskonzepte	485
10.3	Steuerungs- und Regelkreise in Wohn- und Zweckräumen	486
10.4	Energieeffizienz in Liegenschaften	489
10.5	Dezentrale Energieerzeugung und Energierückgewinnung	492

10.6	Bausteine des Energie-Controlling	497
10.7	Energiemanagement im industriellen Umfeld	501
10.7.1	Voraussetzungen für ein betriebliches Energiemanagement	502
10.7.2	Rechtliche Grundlagen	506
11	TECHNISCHES GEBÄUDEMANAGEMENT	509
11.1	IT als Plattform für das Sammeln von Wissen	510
11.2	Offener Standard in der GA-Kommunikation	511
11.2.1	ISO/OSI-7-Schichtenmodell	511
11.2.2	Ethernet – TCP/IP-Netz	515
11.3	Aufbau eines Wärmemanagements	518
11.4	Gebäudesystemtechnik	519
11.5	Elektrische Energietechnik	521
11.6	Smart Metering	521
11.6.1	Wirtschaftliche und Technologische Rahmenbedingungen	522
11.6.2	Smart Energy	524
11.7	Energieeffizienz und Energiemanagement – ein Ausblick	525
	LITERATURVERZEICHNIS	531