

Land- und Baumaschinentechnik

von

Hermann Meiners, Hrsg.

Stefan Dietsche

Gerd Lausen

Dr. Rainer Rempfer

Dr. René Rempfer

Ralf Siebecker

Stefanie Szeguhn

21., überarbeitete und erweiterte Auflage

Handwerk und Technik – Hamburg

ISBN 978-3-582-59708-3 Best.-Nr.: 3126

Die Normblattangaben werden wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Maßgebend für das Anwenden der Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich oder durch bundesweite Vereinbarungen zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Die Verweise auf Internetadressen und -dateien beziehen sich auf deren Zustand und Inhalt zum Zeitpunkt der Drucklegung des Werks. Der Verlag übernimmt keinerlei Gewähr und Haftung für deren Aktualität oder Inhalt noch für den Inhalt von mit ihnen verlinkten weiteren Internetseiten.

Verlag Handwerk und Technik GmbH, Lademannbogen 135, 22339 Hamburg;
Postfach 63 05 00, 22331 Hamburg – 2022

Internet-Adresse: www.handwerk-technik.de
E-Mail: info@handwerk-technik.de

Zeichnungen: Grafische Produktionen Neumann, Rimpf
Umschlagmotive: AGCO GmbH, Marktoberdorf; PÖTTINGER Landtechnik GmbH, Grieskirchen, Österreich; Liebherr-Hydraulik-bagger GmbH, Kirchdorf; HSM – Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG, Neu-Kupfer
Satz: tiff.any GmbH & Co. KG, 10999 Berlin
Druck: Himmer GmbH, 86167 Augsburg

Vorwort

Der seit 2014 gültige KMK-Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf „Land- und Baumaschinenmechaniker/Land- und Baumaschinenmechanikerin“ weist eine Strukturierung der Unterrichtsinhalte in Form von Lernfeldern aus. Das vorliegende Fachbuch ist schwerpunktmäßig nach Baugruppen bzw. nach Maschinen, Geräten und Anlagen strukturiert. Zusätzlich aufgenommen und an den Anfang gestellt ist das Kapitel Fertigungs- und Prüftechnik. Die folgende Tabelle zeigt eine Zuordnung der Lernfelder des KMK-Rahmenlehrplanes zu den entsprechenden Kapiteln dieses Fachbuches.

Kapitel-Nr.	Bezeichnung der Kapitel im Buch	Betreffende Lernfelder gemäß Rahmenlehrplan
1	Herstellen von Bauteilen	2, 4, 5, 7, 8, 10, 12a, 12b und 12c
2	Baugruppen und Bauteile von Maschinen	1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12a, 12b und 12c
3	Elektrik und Elektronik	1, 2, 3, 4, 5, 7, 12a, 12b und 12c
4	Hydraulik	1, 2, 3, 5, 8, 12a, 12b und 12c
5	Motorentchnik	1, 2, 6, 7, 12a, 12b und 12c
6	Triebwerkstechnik	9, 12a, 12b und 12c
7	Fahrwerkstechnik	1, 2, 3, 4, 5, 10, 12a, 12b und 12c
8	Komplexe Steuerungs- und Regelungssysteme	3, 6, 11, 12a, 12b und 12c
9	Maschinen, Geräte und Anlagen der Landmaschinentechnik	12a und 13a
10	Maschinen, Geräte und Anlagen der Baumaschinentechnik	12b und 13b
11	Maschinen, Geräte und Anlagen der Forst-, Garten- und Kommunaltechnik	12c und 13c

Mathematische Lerninhalte sind den einzelnen Kapiteln zugeordnet.

Mit Kapitel 3 beginnend ist bei allen Lerngebieten der Bezug zwischen dem Aufbau, dem Funktionsprinzip und dem Instandhalten (Grundlagen der Instandhaltung, siehe DIN 31 051: 2019-06) der Baugruppen, Maschinen, Geräte bzw. Anlagen hergestellt.

In den Kapiteln 5 bis 11 haben sich die Autoren/die Autorin auf das Behandeln typischer Systeme, Maschinen, Geräte und Anlagen beschränkt, um den Umfang des Buches im Rahmen zu halten. Dabei ist es jedoch ohne Weiteres möglich und erwünscht, die Ausführungen auf andere Systeme, Maschinen, Geräte und Anlagen zu übertragen.

Die in den einzelnen Kapiteln aufgeführten Normen, Gesetze und Verordnungen gelten für die Bundesrepublik Deutschland. Die Rechtslage in Österreich und in der Schweiz wurde nicht berücksichtigt.

Ein besonderer Dank gilt den Herren Walter Bucks und Rudolf Hegemann. Sie waren Mitautoren bis zur 16. Auflage und haben uns gestattet, ihre Kapitel mit den zugehörigen fachlichen Inhalten weiterhin zu verwenden.

Meiners

Inhaltsverzeichnis

1	Herstellen von Bauteilen	1	1.4.1.8	Richten	27
1.1	Werkstoffe	1	1.4.2	Trennen	31
1.1.1	Einteilung der Werkstoffe	1	1.4.2.1	Zerteilen	31
1.1.1.1	Metalle	2	1.4.2.2	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	33
1.1.1.1.1	Eisenmetalle	2	1.4.2.2.1	Winkel am Schneidkeil	33
1.1.1.1.2	Nichteisenmetalle	5	1.4.2.2.2	Sägen	33
1.1.1.2	Nichtmetalle	5	1.4.2.2.3	Bohren	34
1.1.1.2.1	Natürliche Werkstoffe	6	1.4.2.2.4	Gewindeschneiden	35
1.1.1.2.2	Künstliche Werkstoffe	7	1.4.2.2.5	Fräsen	36
1.1.1.2.3	Betriebsstoffe	9	1.4.2.3	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	37
1.1.1.3	Verbundstoffe	11	1.4.2.3.1	Schleifen	37
1.1.1.3.1	Schichtverbundstoffe	11	1.4.2.3.2	Trennschleifen	37
1.1.1.3.2	Teilchenverstärkte Verbundstoffe	11	1.4.2.4	Thermisches Trennen	38
1.1.1.3.3	Faserverstärkte Verbundstoffe	11	1.4.3	Fügen	38
1.1.2	Werkstoffeigenschaften	12	1.4.3.1	Lösbare Verbindungen	38
1.1.2.1	Physikalische Eigenschaften von Werkstoffen	12	1.4.3.1.1	Schraubenverbindungen	38
1.1.2.1.1	Mechanische Eigenschaften von Werkstoffen	12	1.4.3.1.2	Schraubensicherungen	40
1.1.2.1.2	Thermische Eigenschaften von Werkstoffen	13	1.4.3.2	Unlösbare Verbindungen	41
1.1.2.1.3	Elektrische Eigenschaften von Werkstoffen	13	1.4.3.2.1	Nieten	42
1.1.2.2	Chemische Eigenschaften von Werkstoffen – Korrosion	14	1.4.3.2.2	Schweißen	42
1.1.2.3	Technologische Eigenschaften von Werkstoffen	14	1.4.3.2.3	Löten	45
1.1.3	Werkstoffprüfung	15	1.4.3.2.4	Kleben	46
1.1.4	Werkstoffnormung	15	2	Baugruppen und Bauteile von Maschinen	49
1.1.4.1	Werkstoffnormung von Stahl	15	2.1	Baugruppen und Bauteile eines Traktors	49
1.1.4.2	Werkstoffnormung von Nichteisenmetall-Legierungen	17	2.2	Baugruppen und Bauteile eines Mähdreschers	50
1.2	Prüfen	18	2.3	Baugruppen und Bauteile eines Radladers	51
1.2.1	Subjektives Prüfen	18	2.4	Baugruppen und Bauteile einer Motorsäge	52
1.2.2	Objektives Prüfen	18	3	Elektrik und Elektronik	53
1.2.2.1	Messen und Messgeräte	18	3.1	Zusammenwirken elektrischer und elektronischer Bauelemente	53
1.2.2.1.1	Messen	18	3.1.1	Stromkreis eines elektrischen Verbrauchers	53
1.2.2.1.2	Messgeräte	19	3.1.1.1	Bauteile eines Stromkreises	54
1.2.2.2	Lehren	21	3.1.1.2	Stromrichtung im Stromkreis	55
1.2.3	Fehler beim Prüfen	21	3.1.2	Stromlaufplan eines Traktors bzw. einer selbstfahrenden Arbeitsmaschine mit Dieselmotor	55
1.3	Anreißen	22	3.1.2.1	Schaltzeichen	55
1.4	Fertigungstechnik	23	3.1.2.2	Klemmenbezeichnungen	56
1.4.1	Umformen	23			
1.4.1.1	Biegemoment	24			
1.4.1.2	Biegespannung	25			
1.4.1.3	Querschnittsänderung beim Biegen	25			
1.4.1.4	Biegeradius	25			
1.4.1.5	Verformungswiderstand beim Biegen	26			
1.4.1.6	Profilbiegen	26			
1.4.1.7	Abkanten	27			

3.1.2.3	Abschnittskennzeichnungen	56	3.4.3	Anzeigergeräte mit Display bzw. Monitor	80
3.1.3	Messen elektrischer Größen im Stromkreis	61	3.4.4	Elektronische Schaltung der Kontrollleuchten und Anzeigergeräte	80
3.1.3.1	Multimeter	61	3.4.5	Warten eines Fahrerinformationssystems	83
3.1.3.2	Messen einer Gleichspannung und Wechselspannung	61	3.5	Spannungsversorgung	84
3.1.3.3	Messen eines Gleichstromes und Wechselstromes	62	3.5.1	Batterie	84
3.1.3.4	Messen eines elektrischen Widerstandes	62	3.5.1.1	Aufbau einer Batterie	84
3.1.4	Berechnungen an Stromkreisen	62	3.5.1.2	Funktionsprinzip einer Batterie	85
3.1.4.1	Berechnen einer elektrischen Leistung	62	3.5.1.3	Kennzeichnung einer Batterie	86
3.1.4.2	Berechnen einer elektrischen Arbeit	63	3.5.1.4	Warten einer Batterie	87
3.1.4.3	Berechnen eines elektrischen Wirkungsgrades	63	3.5.1.5	Instandsetzen einer Batterie	88
3.1.4.4	Ohmsches Gesetz	64	3.5.2	Drehstromgenerator	89
3.1.4.5	Berechnungen an einer Parallelschaltung	65	3.5.2.1	Aufbau eines Drehstromgenerators	89
3.1.4.6	Berechnungen an einer Reihenschaltung	65	3.5.2.2	Arbeitsweise eines Drehstromgenerators	89
3.1.4.7	Berechnungen zum Leitungswiderstand und Spannungsfall	66	3.5.2.3	Stromkreise eines Drehstromgenerators	92
3.1.4.8	Berechnungen zur Batteriekapazität	66	3.5.2.4	Warten eines Drehstromgenerators	93
3.1.5	Störungssuche in elektrischen Stromkreisen	67	3.5.2.5	Instandsetzen eines Drehstromgenerators	93
3.1.5.1	Vorgehensweise bei einer Störungssuche	67	3.6	Starteinrichtung	95
3.1.5.2	Soll-Ist-Vergleich bei einer Störungssuche	67	3.6.1	Starter für Dieselmotoren	95
3.1.6	Instandsetzen von Stromkreisen	67	3.6.1.1	Aufbau eines Schub-Schraubtrieb-Starters	96
3.1.6.1	Austauschen defekter Bauteile	67	3.6.1.2	Arbeitsweise eines Schub-Schraubtrieb-Starters	96
3.1.6.2	Erneuern oder Reparieren von Kabeln und Anschlüssen	70	3.6.1.3	Stromkreise eines Schub-Schraubtrieb-Starters	97
3.2	Beleuchtungsanlage	71	3.6.1.4	Warten eines Schub-Schraubtrieb-Starters	98
3.2.1	Fahrlicht	71	3.6.1.5	Instandsetzen eines Schub-Schraubtrieb-Starters	98
3.2.2	Standlicht	71	3.6.2	Starthilfsanlagen	99
3.2.3	Zusatzrüstung einer Beleuchtungsanlage	71	3.6.2.1	Flammstartanlage mit Heizflansch und elektronischer Steuerung	99
3.2.4	Leuchtmittel	72	3.6.2.2	Flammstartanlage mit elektronischer Steuerung	100
3.2.5	Gesetzliche Vorschriften zur Beleuchtungsanlage	74	3.7	Hochvolttechnik	101
3.2.6	Warten einer Beleuchtungsanlage	74	3.7.1	Elektrische Antriebe	102
3.3	Signalanlage	75	3.7.2	Instandhalten elektrischer Antriebe	103
3.3.1	Blinkanlage	75	4	Hydraulik	107
3.3.2	Bremslicht	76	4.1	Arbeitshydraulik	107
3.3.3	Signalhorn	76	4.1.1	Bauteile der Arbeitshydraulik	107
3.3.4	Rundumleuchte	76	4.1.1.1	Hydraulikpumpen	109
3.3.5	Gesetzliche Vorschriften zur Signalanlage	76	4.1.1.2	Hydraulikventile	111
3.3.6	Warten einer Signalanlage	76	4.1.1.2.1	Stromventile	111
3.4	Fahrerinformationssysteme	77	4.1.1.2.2	Druckventile	113
3.4.1	Kontrollleuchten	78	4.1.1.2.3	Sperrventile	114
3.4.2	Zeigerinstrumente	79	4.1.1.2.4	Wegesteuerventile	115

4.1.1.3	Hydraulische Verbraucher	116	5	Motorentchnik	153
4.1.1.3.1	Hydraulikzylinder	117	5.1	Dieselmotor	155
4.1.1.3.2	Hydraulikmotoren	118	5.1.1	Kraftstoffe für Dieselmotoren	155
4.1.1.4	Verbindungselemente in Hydraulikanlagen	119	5.1.2	Arbeitsweise eines Dieselmotors	156
4.1.1.5	Hydrauliköl	121	5.1.2.1	Viertakt-Dieselmotor	156
4.1.2	Grundschaltungen	122	5.1.2.1.1	Arbeitsspiel eines Viertakt-Dieselmotors	156
4.1.2.1	Schaltungsformen nach Pumpentyp	122	5.1.2.1.2	Abgase eines Dieselmotors	157
4.1.2.2	Schaltungsformen nach der Ausführungsform des Ventilblockes	123	5.1.2.1.3	Steuerdiagramm eines Viertakt-Dieselmotors	158
4.1.2.3	Schaltungsformen nach der Steuerung des Volumenstromes	123	5.1.2.1.4	Arbeitstaktfolgen bei Mehrzylinder-Dieselmotoren	159
4.1.3	Berechnungen	126	5.1.2.2	Gemischbildungsverfahren bei Dieselmotoren	160
4.1.3.1	Volumenstrom, Hubkraft und Hubgeschwindigkeit	126	5.1.3	Baugruppen eines Dieselmotors	161
4.1.3.2	Übersetzung Kraft, Weg und Druck	128	5.1.3.1	Motorgehäuse	161
4.1.3.3	Leistung und Wirkungsgrad	129	5.1.3.2	Kurbeltrieb	163
4.1.4	Warten einer Arbeitshydraulik	130	5.1.3.2.1	Kolben	163
4.1.5	Instandsetzen einer Arbeitshydraulik	130	5.1.3.2.2	Kolbenringe	165
4.1.5.1	Ermitteln des Fehlers einer Arbeitshydraulik	130	5.1.3.2.3	Kolbenbolzen	166
4.1.5.2	Prüfen einer Hydraulikpumpe	131	5.1.3.2.4	Pleuelstange	166
4.1.5.3	Austauschen der Rohr- oder Schlauchleitungen	132	5.1.3.2.5	Kurbelwelle mit Schwungrad	167
4.1.6	Arbeitshydraulik eines Baggers	133	5.1.3.3	Motorsteuerung	168
4.1.6.1	Hydraulikschaltplan eines Baggers	133	5.1.3.4	Motorschmierung	169
4.1.6.2	Warten der Hydraulikanlage eines Baggers	136	5.1.3.5	Motorkühlung	171
4.2	Regelhydraulik	138	5.1.3.6	Ansaug- und Abgasanlage	173
4.2.1	Grundfunktionen der Regelhydraulik eines Traktors	138	5.1.3.6.1	Ansauganlage	173
4.2.2	Mechanische Hubwerkregelung	139	5.1.3.6.2	Aufladung	174
4.2.3	Elektronische Hubwerkregelung	140	5.1.3.6.3	Abgasanlage	175
4.2.4	Instandhalten einer Regelhydraulik	140	5.1.3.7	Kraftstoffanlage	177
4.3	Lenkhydraulik	141	5.1.3.7.1	Kraftstoffanlage mit Reiheneinspritzpumpe	178
4.3.1	Aufbau einer hydrostatischen Lenkung	141	5.1.3.7.2	Kraftstoffanlage mit mechanisch geregelter Verteilereinspritzpumpe	181
4.3.2	Funktion einer hydrostatischen Lenkung	143	5.1.3.7.3	Kraftstoffanlage mit elektronisch geregelter Verteilereinspritzpumpe	182
4.3.3	Instandhalten hydraulischer Lenkungen	145	5.1.3.7.4	Einspritzdüsen	184
4.4	Hydrostatischer Fahrtrieb	146	5.1.3.7.5	Elektronisch geregelte Einzelpumpensysteme	186
4.4.1	Aufbau eines hydrostatischen Fahrtriebes	146	5.1.3.7.6	Common-Rail-Einspritzsystem	187
4.4.2	Funktionsweise eines hydrostatischen Fahrtriebes	148	5.1.4	Instandhalten eines Dieselmotors	188
4.4.3	Instandhalten eines hydrostatischen Fahrtriebes	148	5.1.4.1	Warten eines Dieselmotors	188
			5.1.4.2	Instandsetzen eines Dieselmotors	188
			5.1.5	Berechnungen am Dieselmotor	190
			5.1.5.1	Hubraum, Hubverhältnis, Verdichtungsraum und Verdichtungsverhältnis	190
			5.1.5.2	Gasdruck im Zylinder und Kolbenkraft	193
			5.1.5.2.1	Verdichtungsdruck	193
			5.1.5.2.2	Verbrennungsdruck	195
			5.1.5.2.3	Kolbenkraft	196
			5.1.5.3	Kolbengeschwindigkeit	197
			5.1.5.4	Ventilsteuerung	199
			5.1.5.4.1	Steuerzeiten	199

5.1.5.4.2	Ventilöffnungszeit	200	6	Triebwerkstechnik	237
5.1.5.4.3	Längenausdehnung der Ventile bei Wärme	201	6.1	Kupplung	238
5.1.5.5	Drehmoment, Leistung und Wirkungsgrad	201	6.1.1	Scheiben-Trockenkupplung	238
5.1.5.5.1	Drehmoment	201	6.1.1.1	Einscheiben-Trockenkupplung	238
5.1.5.5.2	Effektive Motorleistung	202	6.1.1.2	Zwei- oder Mehrscheibenkupplung	239
5.1.5.5.3	Drehmomentverlauf	205	6.1.1.3	Instandhalten einer Scheiben- Trockenkupplung	240
5.1.5.5.4	Drehmomentanstieg	205	6.1.2	Lamellenkupplung	241
5.1.5.5.5	Mechanischer Wirkungsgrad	206	6.1.3	Fliehkraftkupplung	241
5.1.5.5.6	Indizierte Motorleistung	207	6.1.4	Magnetpulverkupplung	242
5.1.5.6	Kraftstoffverbrauch	208	6.1.5	Hydrodynamische Kupplung	242
5.2	Ottomotor	212	6.1.6	Hydrodynamischer Dreh- momentwandler	243
5.2.1	Kraftstoffe für Ottomotoren	212	6.1.7	Überholkupplung	244
5.2.2	Viertakt-Ottomotor	214	6.1.8	Überlastkupplung	245
5.2.2.1	Bauteile eines Viertakt-Ottomotors	214	6.1.8.1	Scherbolzenkupplung	245
5.2.2.2	Funktionsweise eines Viertakt- Ottomotors	214	6.1.8.2	Sperrkörperkupplung	246
5.2.2.3	Besonderheiten der Viertakt- Ottomotoren in der Landtechnik	215	6.1.8.3	Freilaufkupplung	246
5.2.2.4	Vergleich Diesel- und Ottomotor	216	6.1.8.4	Automatische Nockenschalt- kupplung	247
5.2.2.5	Instandhalten eines Viertakt-Otto- motors	216	6.1.8.5	Überlast-Reibkupplung	247
5.2.3	Zweitakt-Ottomotor	219	6.1.9	Berechnungen an Kupplungen	248
5.2.3.1	Bauteile eines Zweitakt-Ottomotors	219	6.1.9.1	Reibung	248
5.2.3.2	Funktionsweise eines Zweitakt- Ottomotors	219	6.1.9.2	Flächenpressung	249
5.2.3.3	Spülverfahren bei Zweitakt- Ottomotoren	221	6.1.9.3	Drehmomente	250
5.2.3.4	Besonderheiten eines Zweitakt- Ottomotors	222	6.1.9.4	Übersetzungsverhältnis	250
5.2.3.5	Vergleich der Arbeitsverfahren bei Ottomotoren	223	6.2	Getriebe	252
5.2.3.6	Instandhalten eines Zweitakt- Ottomotors	223	6.2.1	Mechanische Getriebe	252
5.2.4	Gemischbildungssysteme bei Ottomotoren	225	6.2.1.1	Aufbau eines mechanischen Getriebes	252
5.2.4.1	Bauarten von Vergasern	226	6.2.1.2	Bauteile eines mechanischen Getriebes	253
5.2.4.1.1	Drosselklappenvergaser	226	6.2.1.2.1	Getriebegehäuse	253
5.2.4.1.2	Schiebervergaser	228	6.2.1.2.2	Wellen	253
5.2.4.1.3	Membranvergaser	229	6.2.1.2.3	Lager und Wellendichtungen	253
5.2.4.2	Instandhalten des Gemisch- bildungssystems eines Ottomotors	231	6.2.1.2.4	Zahnräder	253
5.2.5	Zündanlagen für Ottomotoren	232	6.2.1.2.5	Schmierungs-system	256
5.2.5.1	Zündkerzen	232	6.2.1.3	Baugruppen eines mechanischen Getriebes	256
5.2.5.2	Aufbau und Arbeitsweise elektroni- scher Zündanlagen	233	6.2.1.3.1	Vorschalt-, Nachschalt- und Kriechgang-Gruppen	256
5.2.5.3	Wartungs- und Prüfarbeiten an Zündanlagen	234	6.2.1.3.2	Synchroneinrichtungen	257
5.2.5.4	Instandsetzen einer Zündanlage	234	6.2.1.3.3	Schaltgestänge	258
5.2.6	Motormanagementsystem	236	6.2.2	Lastschaltgetriebe	259
			6.2.2.1	Lastschaltgetriebe mit Reibungskupplung	259
			6.2.2.2	Doppelkupplungsgetriebe	262
			6.2.2.3	Automatisch schaltbare Lastschaltgetriebe	265
			6.2.3	Stufenlose Getriebe	266
			6.2.3.1	Stufenlose Keilriemengetriebe	266
			6.2.3.2	Stufenlos einstellbare hydro- statisch-mechanische Getriebe	266
			6.2.4	Zapfwellen	272
			6.2.5	Instandhalten eines Getriebes	272

6.3	Achsantrieb	273	7.2.3.1	Lenkkupplungen und Lenkbremsen	310
6.3.1	Ausgleichsgetriebe	273	7.2.3.2	Differenziallenkung	310
6.3.2	Endantrieb	276	7.2.3.3	Lenksystem für Fahrzeuge mit hydrostatischem Fahrtrieb	311
6.3.2.1	Direkter Endantrieb	276	7.2.4	Instandhalten einer Lenkanlage . . .	311
6.3.2.2	Endantrieb mit Stirnrädern	277	7.3	Bremsanlage	312
6.3.2.3	Planetenrad-Endantrieb	277	7.3.1	Bewegung eines Fahrzeuges	312
6.3.2.4	Kettenrad-Endantrieb	278	7.3.1.1	Gleichmäßig beschleunigte oder verzögerte Bewegung	312
6.4	Leistungsübertragung zwischen Traktor und Maschinen/Geräten . .	279	7.3.1.2	Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsweg	313
7	Fahrwerkstechnik	283	7.3.1.3	Anhalteweg	313
7.1	Räder, Gleisketten- und Gummibandlaufwerke	283	7.3.2	Bremskraft	314
7.1.1	Reifen	283	7.3.3	Unterlegkeile und Bremsanlagen . .	314
7.1.1.1	Reifengrößen und Reifenbezeichnungen	284	7.3.4	Reibungsbremsen	317
7.1.1.2	Reifenbauarten	285	7.3.4.1	Scheibenbremsen	317
7.1.1.2.1	Radialreifen	285	7.3.4.2	Trommelbremsen	319
7.1.1.2.2	Diagonalreifen	285	7.3.4.3	Bremsenkennwert C* für trockene Reibungsbremsen	320
7.1.1.2.3	Reifen-Sonderbauarten	286	7.3.4.4	Anordnung und Ausführung von Bremsen in Land- und Baumaschinen	321
7.1.1.3	Tragfähigkeit und Geschwindigkeitsbereiche	288	7.3.5	Bremsanlage mit hydraulischer Übertragungseinrichtung für Traktoren	322
7.1.1.4	Reifenfüllung und Bodendruck . . .	289	7.3.5.1	Aufbau einer Bremsanlage	322
7.1.2	Felgen	290	7.3.5.2	Arbeitsweise einer Bremsanlage . .	323
7.1.2.1	Felgenarten und Felgenkennzeichnung	290	7.3.5.2.1	Arbeitsweise einer Betriebsbremse	323
7.1.2.2	Veränderung der Spurweite	292	7.3.5.2.2	Arbeitsweise einer Feststellbremse	326
7.1.3	Radaufhängung	293	7.3.5.3	Instand halten von Bremsanlagen mit hydraulischer Übertragungseinrichtung	327
7.1.3.1	Bauteile einer Radaufhängung . . .	293	7.3.6	Bremsanlage mit pneumatischer Übertragungseinrichtung für Traktoren mit Anhänger	327
7.1.3.2	Fahrwerksgeometrie	294	7.3.6.1	Aufbau einer Druckluftbremsanlage	327
7.1.3.3	Federung und Dämpfung	296	7.3.6.2	Arbeitsweise einer Druckluftbremsanlage Traktor und Anhänger	329
7.1.3.3.1	Federn	297	7.3.6.3	Kennzeichnung der Anschlüsse . . .	330
7.1.3.3.2	Schwingungsdämpfer	298	7.3.6.4	Bauteile einer Druckluftbremsanlage am Traktor	330
7.1.3.3.3	Beispiele für Federungs- und Dämpfungssysteme	299	7.3.6.4.1	Kompressor	330
7.1.4	Gleisketten- und Gummibandlaufwerke	301	7.3.6.4.2	Druckluftaufbereitung	331
7.1.4.1	Gleiskettenlaufwerke	301	7.3.6.4.3	Manometer	332
7.1.4.2	Gummibandlaufwerke	302	7.3.6.4.4	Bremspedale, hydraulische Betriebsbremse Traktor	332
7.2	Lenkanlage	304	7.3.6.4.5	Handbremsventil, Feststellbremse .	332
7.2.1	Gesetzliche Vorschriften für Lenkanlagen	304	7.3.6.4.6	Magnetventil Druckluftvoransteuerung	333
7.2.2	Lenkanlagen für Radfahrwerke . . .	304	7.3.6.4.7	Anhängersteuerventil	333
7.2.2.1	Arten von Lenkanlagen nach der Lenkgeometrie	304	7.3.6.4.8	Kupplungsköpfe	333
7.2.2.2	Arten von Lenkanlagen nach der Kraftaufbringung	306	7.3.6.5	Bauteile einer Druckluftbremsanlage am Anhänger	335
7.2.2.3	Arten von Lenkanlagen nach dem Lenkgetriebe	307	7.3.6.5.1	Kupplungsköpfe	335
7.2.2.3.1	Lenkanlage mit mechanischem Zahnstangenlenkgetriebe	307	7.3.6.5.2	Leitungsfilter	336
7.2.2.3.2	Kugelmutter-Hydrolenkung	308	7.3.6.5.3	Anhänger-Bremsventil mit Löseventil	336
7.2.3	Lenkanlagen für Gleisketten- und Gummibandlaufwerke	310			

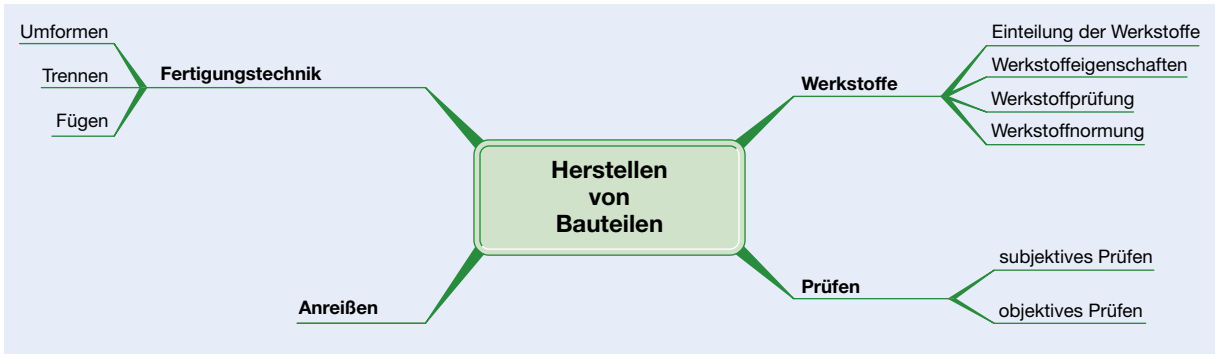
7.3.6.5.4	Luftbehälter Anhänger	338	8.1.3.4	Common-Rail-System mit selektiver katalytischer Reduktion (SCR)	357
7.3.6.5.5	Automatisch lastabhängiger Bremskraftregler	338	8.1.4	Instandhalten eines Common-Rail-Systems	361
7.3.6.5.6	Bremszylinder	339	8.2	Leistungsverzweigtes Getriebe	363
7.3.6.6	Instandhalten einer Druckluftbremsanlage	341	8.2.1	Hydraulik in einem leistungsverzweigten Getriebe	363
7.3.6.6.1	Druckluftbremsanlagen warten	341	8.2.2	Elektronik in einem leistungsverzweigten Getriebe	365
7.3.6.6.2	Bremsanlage auf Dichtheit prüfen	342	8.2.3	Elektronisch-hydraulische Steuerung eines leistungsverzweigten Getriebes	366
7.3.6.6.3	Zweileitungsbremsanlage prüfen	342	8.2.4	Leistungsverzweigter Gesamtantrieb	369
7.3.7	Bremsanlage mit hydraulischer Übertragungseinrichtung für Mobilbagger	342	8.2.5	Instandhalten eines leistungsverzweigten Getriebes	370
7.3.7.1	Betriebsbremse eines Mobilbaggers	342	8.3	Elektronisch-hydraulische Hubwerkregelung EHR	371
7.3.7.2	Feststellbremse eines Mobilbaggers	345	8.3.1	Aufbau einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	371
7.3.8	Bremsregelsysteme	345	8.3.2	Funktion einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	373
8	Komplexe Steuerungs- und Regelungssysteme	347	8.3.2.1	Sensoren einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	373
8.1	Elektronische Steuerung und Regelung der Einspritzanlage eines Dieselmotors	347	8.3.2.1.1	Lagesensor	373
8.1.1	Kraftstoffanlage einer Common-Rail-Einspritzanlage	348	8.3.2.1.2	Zugkraftsensor	374
8.1.2	Bauteile der Elektronik einer Common-Rail-Einspritzanlage	348	8.3.2.2	Bedienteil einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	375
8.1.3	Elektronisch-hydraulische Funktion einer Common-Rail-Einspritzanlage	350	8.3.2.3	Steuergerät einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	375
8.1.3.1	Eingabegeräte	350	8.3.2.4	Regelventil einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	376
8.1.3.1.1	Sensoren zur Erfassung der Drehbewegung in einer Common-Rail-Einspritzanlage	350	8.3.3	Instandhalten einer elektronisch-hydraulischen Hubwerkregelung	377
8.1.3.1.2	Sensoren zur Erfassung der Temperatur in einer Common-Rail-Einspritzanlage	352	8.4	Datenübertragungssysteme	378
8.1.3.1.3	Sensoren zur Erfassung des Druckes in einer Common-Rail-Einspritzanlage	352	8.4.1	CAN-BUS	378
8.1.3.1.4	Sensoren zur Sollwertvorgabe für Drehzahl bzw. Leistung in einer Common-Rail-Einspritzanlage	353	8.4.1.1	Aufbau eines CAN-BUS	379
8.1.3.2	Steuergerät in einer Common-Rail-Einspritzanlage	354	8.4.1.2	Datenübertragung im CAN-BUS	380
8.1.3.3	Aktoren in einer Common-Rail-Einspritzanlage	355	8.4.1.3	Instandhalten eines CAN-BUS	381
8.1.3.3.1	Injektoren in einem Common-Rail-System	355	8.4.2	ISO-BUS	382
8.1.3.3.2	Raildruckregelventil in einem Common-Rail-System	356	8.4.2.1	Aufbau eines ISO-BUS	383
8.1.3.3.3	Regelkreis zum Ausgleich der Druckschwankungen in einer Common-Rail-Einspritzanlage	356	8.4.2.2	Datenübertragung in einem ISO-BUS	384
			8.4.2.3	Geräteinterne Datenübertragung	384
			8.4.2.4	Instandhalten eines ISO-BUS	385
			8.4.3	Sonstige Systeme der Datenübertragung	385
			8.5	Automatisierte und automatische Lenksysteme	388
			8.5.1	Bauarten automatisierter und automatischer Lenksysteme	388
			8.5.1.1	Erkennen der Fahrspur	388

8.5.1.2	Lenkkorrekturen	389	9.3	Maschinen und Geräte zur Düngung	425
8.5.2	Datenübertragung von der Maschine zum Zentralrechner	390	9.3.1	Stalldungstreuer	425
8.5.3	Vorgewendemanagement	391	9.3.1.1	Streuwerke eines Stalldungstreuers	426
8.6	Klimaanlage	392	9.3.1.2	Kratzboden eines Stalldungstreuers	427
8.6.1	Aufbau einer Klimaanlage	392	9.3.1.3	Antrieb des Streuwerkes und der Kratzketten	427
8.6.2	Elektrohydraulische Funktion einer Klimaanlage	394	9.3.2	Gülletankwagen	428
8.6.2.1	Eingabegeräte einer Klimaanlage	394	9.3.2.1	Pumptankwagen	428
8.6.2.2	Steuergerät in einer Klimaanlage	395	9.3.2.2	Kompressortankwagen	429
8.6.2.3	Aktoren in einer Klimaanlage	395	9.3.2.3	Verteilsysteme für Gülle und Jauche	430
8.6.3	Instandhalten einer Klimaanlage	395	9.3.2.4	Prozessorgesteuerte Gülletechnik	431
9	Maschinen, Geräte und Anlagen der Landmaschinentechnik	397	9.3.3	Mineraldüngerstreuer	432
9.1	Maschinen und Geräte zur Bodenbearbeitung	399	9.3.3.1	Zentrifugalstreuer	432
9.1.1	Pflüge	399	9.3.3.2	Auslegerstreuer	434
9.1.1.1	Bauarten der Pflüge	400	9.4	Maschinen und Geräte zur Pflanzenpflege	435
9.1.1.2	Pflugkörper	401	9.5	Maschinen und Geräte zum Pflanzenschutz	439
9.1.1.3	Zusatzwerkzeuge für Pflüge	402	9.5.1	Pflanzenschutzgesetz	439
9.1.1.4	Überlastsicherungen am Pflugkörper	403	9.5.2	Maschinen und Geräte für chemische Pflanzenschutzmittel	441
9.1.1.5	Inbetriebnehmen und Grundeinstellungen eines Pfluges	403	9.5.2.1	Feldspritzen	441
9.1.2	Pflugfolge- und Pflugersatzgeräte	406	9.5.2.2	Sprühgeräte für Wein-, Obst- und Hopfenanbau	448
9.1.2.1	Gezogene und angebaute Pflugfolge- und Pflugersatzgeräte	407	9.5.2.3	Prozessorgesteuerte Pflanzenschutzgeräte	449
9.1.2.2	Zapfwellengetriebene Pflugfolge- und Pflugersatzgeräte	410	9.5.3	Nichtchemische Verfahren zum Pflanzenschutz	450
9.2	Maschinen und Geräte zur Saat sowie Pflanzmaschinen	413	9.6	Maschinen und Geräte zur Halmfruchternte	451
9.2.1	Drillmaschinen	414	9.6.1	Mähwerke	452
9.2.1.1	Kastendrillmaschinen	414	9.6.1.1	Fingerbalken-Mähwerke	453
9.2.1.2	Pneumatische Drillmaschinen	415	9.6.1.2	Doppelmesserbalken-Mähwerke	454
9.2.1.3	Saatgutablage mit Drillmaschinen	416	9.6.1.3	Trommelmäherwerke	455
9.2.2	Einzelkornsämaschinen	417	9.6.1.4	Scheibenmäherwerke	456
9.2.2.1	Einzelkornsämaschinen mit mechanischem Säsystem	417	9.6.1.5	Aufbereiter für Trommel- und Scheibenmäherwerke	457
9.2.2.2	Einzelkornsämaschinen mit pneumatischem Säsystem	417	9.6.1.6	Mähkombinationen und selbstfahrende Mähaufbereiter	457
9.2.2.3	Antrieb der Säorgane	418	9.6.1.7	Sonderbauformen von Rotationsmähern	458
9.2.3	Kartoffellegemaschinen	418	9.6.1.8	Antrieb eines Mähwerkes	459
9.2.4	Pflanzmaschinen	420	9.6.2	Heuwerbungsmaschinen	460
9.2.5	Berechnungen zur Bestelltechnik	421	9.6.2.1	Kreiselzettwender	461
9.2.5.1	Berechnungen zur Abdrehmenge	421	9.6.2.2	Kreiselschwader	462
9.2.5.2	Berechnungen zum Einstellwert der Spurreißer	422	9.6.3	Ladewagen	464
9.2.5.3	Berechnungen zur Lastveränderung am Traktor durch Bestellkombinationen	423	9.6.4	Aufsammelpressen	467
			9.6.4.1	Kleinballenpressen	467
			9.6.4.2	Großballenpressen	467
			9.6.4.2.1	Rundballenpressen	467
			9.6.4.2.2	Quaderballenpressen	470
			9.6.5	Mähdrescher	472

9.6.5.1	Baugruppen und Bauteile eines Schüttler-Mähdreschers	473	10.1.1.2.3	Leistungsübertragung in Baggern .	516
9.6.5.2	Arbeitsweise eines Schüttler-Mähdreschers	473	10.1.1.2.4	Bedienungsstand eines Baggers . .	517
9.6.5.3	Antrieb eines Schüttler-Mähdreschers	477	10.1.1.2.5	Lenkungen in Baggern	517
9.6.5.4	Alternative Dresch- und Abscheidesysteme für Schüttler-Mähdrescher	479	10.1.1.2.6	Ausleger	517
9.6.5.5	Mähdrescher mit Hangausgleich . .	481	10.1.1.2.7	Werkzeuge für Bagger	517
9.6.5.6	Erntevorsätze für Mähdrescher . . .	482	10.1.1.3	Instandhalten eines Baggers	518
9.6.5.7	Informationssysteme und Regelanrichtungen am Mähdrescher . . .	483	10.1.2	Lader	518
9.6.5.8	Mähdrescher und Precision Farming	486	10.1.2.1	Raupenlader	518
9.6.6	Feldhäcksler	487	10.1.2.2	Radlader	519
9.6.6.1	Selbstfahrende Trommelfeldhäcksler	488	10.1.2.3	Baggerlader	520
9.6.6.2	Arbeitsweise eines Trommelfeldhäckslers	488	10.1.3	Transportfahrzeuge	520
9.6.6.3	Antrieb eines selbstfahrenden Feldhäckslers	490	10.1.3.1	Lastkraftwagen	520
9.6.6.4	Vorsatzgeräte für einen selbstfahrenden Feldhäcksler	491	10.1.3.2	Muldenkipper	521
9.6.6.5	Automation am Feldhäcksler	491	10.1.3.3	Dumper mit Knicklenkung	521
9.7	Maschinen und Geräte zur Hackfruchernte	492	10.1.3.4	Fahrmischer	522
9.7.1	Hackfruchernte	492	10.1.4	Flachbagger	522
9.7.2	Kartoffelerntemaschinen	495	10.1.4.1	Schürfgeräte	522
9.7.2.1	Kartoffelroder mit Sammelbunker .	495	10.1.4.1.1	Scraper	522
9.7.2.2	Kartoffelroder mit Überladeelevators (Überladeroder)	498	10.1.4.2	Schürfraupen	522
9.7.3	Zuckerrübenerntemaschinen	499	10.1.4.2.1	Planiergeräte	523
9.8	Maschinen für den Weinbau	504	10.1.4.2.2	Planiererraupen	523
9.9	Melkanlagen	506	10.1.4.2.3	Radplanierer	525
9.9.1	Milchbildung beim Tier	506	10.1.5	Grader	525
9.9.2	Melkvorgang	506	10.1.5.1	Verdichtungsgeräte	528
9.9.3	Automatische Melksysteme – Melkroboter	506	10.1.5.1.1	Walzen	528
9.9.4	Melkstände	507	10.1.5.1.1	Walzen für das Verdichten durch Gewichtskraft	528
9.10	Futtermischwagen	508	10.1.5.1.2	Walzen für das Verdichten mit Vibration	530
10	Maschinen, Geräte und Anlagen der Baumaschinentechnik . . .	511	10.1.5.2	Vibrationsplatten	533
10.1	Maschinen und Geräte zur Geländebearbeitung	511	10.1.5.3	Stampfer	533
10.1.1	Bagger	512	10.2	Maschinen und Geräte zum Verlegen von Drainagen	535
10.1.1.1	Einteilung von Baggern	512	10.2.1	Drainfräsen	535
10.1.1.2	Aufbau und Funktion eines Baggers	515	10.2.2	Drainpflüge	535
10.1.1.2.1	Fahrwerke von Baggern	515	10.3	Maschinen, Geräte und Anlagen der Fördertechnik	536
10.1.1.2.2	Motoren in Baggern	516	10.3.1	Krane	536
			10.3.1.1	Turmdrehkrane	536
			10.3.1.2	Portalkrane	539
			10.3.1.3	Mobilkrane und Fahrzeugkrane . . .	539
			10.3.2	Pumpen	539
			10.3.2.1	Pumpen für Wasserhaltung	540
			10.3.2.2	Betonpumpen	541
			10.3.3	Förderbänder	541
			10.3.4	Förderschnecken	542
			10.3.5	Bauaufzüge	542
			10.4	Straßenfertiger	543
			10.4.1	Asphaltdeckenfertiger	543
			10.4.1.1	Baugruppen eines Asphaltdeckenfertigers	543
			10.4.1.2	Einbaubohlen	545
			10.4.1.3	Instandhalten eines Asphaltdeckenfertigers	545

10.4.2	Betondeckenfertiger	545	11.5	Maschinen und Geräte zur Reini-	
10.4.2.1	Baugruppen eines Betondecken-			gung	570
	fertigers	545	11.5.1	Laubsauger und Laubbläser	570
10.4.2.2	Instandhalten eines Betondecken-		11.5.2	Kehrmaschinen	571
	fertigers	546	11.5.3	Hochdruckreiniger	573
10.5	Kompressoren	547	11.6	Trennschleifer	574
10.6	Gabelstapler	548	11.7	Winterdienstgeräte	576
10.6.1	Arten von Gabelstaplern	548	11.7.1	Kehrmaschinen für den Winter-	
10.6.1.1	Elektrogabelstapler	548		dienst	576
10.6.1.2	Diesलगabelstapler	549	11.7.2	Schneeräumer	576
10.6.1.3	Gasgabelstapler	549	11.7.3	Schneefräsen	577
10.6.2	Anbaugeräte für Gabelstapler	549	11.7.4	Räum- und Streufahrzeuge	577
10.6.3	Prüfen eines Gabelstaplers	549	11.8	Universal-Motor-Gerät	578
11	Maschinen, Geräte und Anlagen		Bildquellenverzeichnis		580
	der Forst-, Garten- und Kommun-		Sachwortverzeichnis		583
	naltechnik	551			
11.1	Maschinen zur Holzernte	551			
11.1.1	Motorsägen	551			
11.1.1.1	Arten von Motorsägen	551			
11.1.1.2	Unfallschutz beim Umgang mit Mo-				
	torsägen	552			
11.1.1.3	Instandhalten einer Motorsäge	552			
11.1.2	Vollernter	558			
11.1.3	Rückezüge	558			
11.1.4	Forstspezialschlepper	559			
11.2	Maschinen und Geräte zur				
	Rasenpflege	559			
11.2.1	Rasenmäher	559			
11.2.1.1	Mähwerke von Rasenmähern	559			
11.2.1.2	Arten von Rasenmähern	561			
11.2.1.3	Instandhalten eines Rasenmähers	562			
11.2.2	Motorsensen und Freischneider	563			
11.2.3	Vertikutierer	563			
11.2.4	Aerifizierer	564			
11.2.5	Einachsige Trägerfahrzeuge	564			
11.2.6	Zweiachsige Trägerfahrzeuge	565			
11.3	Motorgartengeräte	566			
11.3.1	Motorhacken	566			
11.3.2	Motorfräsen	566			
11.3.3	Häcksler	567			
11.3.4	Heckenscheren	568			
11.4	Wasserpumpen	569			

1 Herstellen von Bauteilen



1 Herstellen von Bauteilen – Überblick

Das Einsatzgebiet von Land- und Baumaschinenmechanikern/-innen ist vielfältig. Sie müssen selbstverständlich auch Baugruppen von Fahrzeugen demontieren, instand setzen und montieren.

Ein **Bauteil** ist das vorgefertigte Einzelteil einer Baugruppe oder eines Gesamtproduktes. Für die Herstellung von Bauteilen sind Halbzeuge erforderlich.

Halbzeuge sind Produkte, die zur Weiterverarbeitung bestimmt sind, wie z. B. Bleche, Profile, Drähte oder Rohre.

Weitere Informationen zur Herstellung von Bauteilen, siehe Abbildung → 1, sind zu finden unter:

- Werkstoffe, siehe Kap. 1.1,
- Prüfen, siehe Kap. 1.2,
- Anreißen, siehe Kap. 1.3,
- Fertigungstechnik, siehe Kap. 1.4.

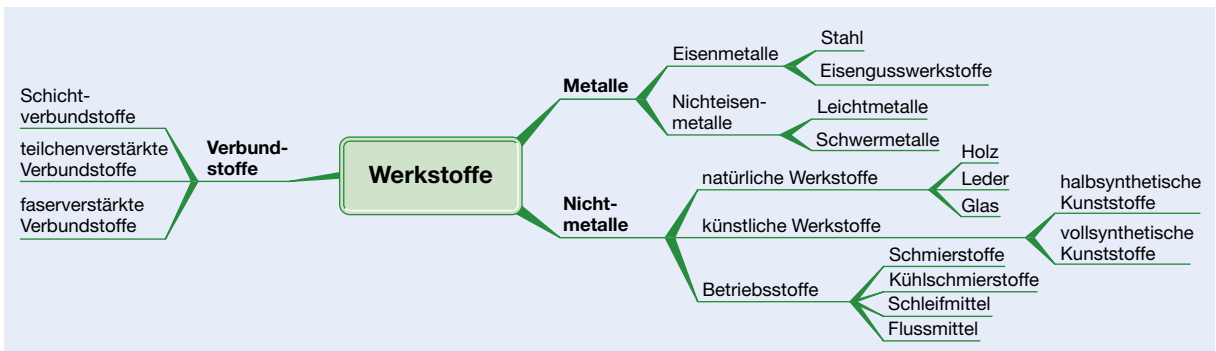
1.1 Werkstoffe

Werkstoffe sind Baustoffe für Maschinen, Geräte und Anlagen. Werkstoffe sind aber auch Materialien für Werkzeuge, um diese Maschinen, Geräte und Anlagen zu fertigen. Zu den Werkstoffen zählen auch Betriebsstoffe wie Schmierstoffe, Kühlmittel.

Weitere Informationen zu Werkstoffen, siehe Abbildung → 1, sind zu finden unter:

- Einteilung der Werkstoffe, siehe Kap. 1.1.1,
- Werkstoffeigenschaften, siehe Kap. 1.1.2,
- Werkstoffprüfung, siehe Kap. 1.1.3,
- Werkstoffnormung, siehe Kap. 1.1.4.

1.1.1 Einteilung der Werkstoffe



2 Einteilung der Werkstoffe – Überblick

Es werden immer neue Werkstoffe entwickelt, um Material und Energie zu sparen. Bei dieser Vielzahl von Werkstoffen lassen sich diese nach vielen Gesichtspunkten einteilen.

Für die Land- und Baumaschinenteknik ist folgende Einteilung, siehe auch Abbildung → 2 sinnvoll:

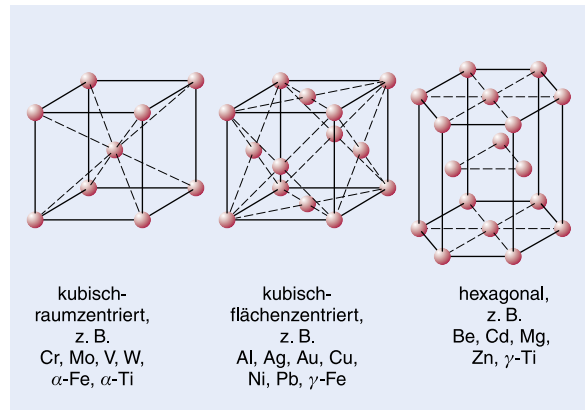
- Metalle, siehe Kap. 1.1.1.1,
- Nichtmetalle, siehe Kap. 1.1.1.2,
- Verbundstoffe, siehe Kap. 1.1.1.3.

1.1.1.1 Metalle

Metalle bilden einen kristallinen Aufbau, wenn sie vom schmelzflüssigen Zustand zur Erstarrung übergehen. Dabei nehmen die Metallionen (= Elektronen auf ihrer äußeren Elektronenschale abgegebene Metallatome) eine regelmäßige räumliche Struktur ein.

Drei Kristallsysteme sind für Metalle bedeutsam, siehe Abbildung → 1:

- kubisch-raumzentriertes Kristallgitter (krz-Kristallgitter)
- kubisch-flächenzentriertes Kristallgitter (kfz-Kristallgitter)
- hexagonales Kristallgitter (hex-Kristallgitter)



1 Kristallgitter

Zwischen den Metallionen bewegen sich die abgegebenen Elektronen der äußeren Elektronenschalen der Atome als freie Elektronen. Die freien Elektronen sind die Ursache für die elektrische und die Wärmeleitfähigkeit. Die kristalline Struktur der Metallionen gibt den Metallen die hohe Festigkeit und die gute plastische Verformbarkeit.

Von den Metallen hat das Eisen als Konstruktionswerkstoff die größte wirtschaftliche und technische Bedeutung.

Daher sind die Metalle weiter unterteilt, siehe Abbildung → 2, vorherige Seite, in:

- Eisenmetalle, siehe Kap. 1.1.1.1.1,
- Nichteisenmetalle, siehe Kap. 1.1.1.1.2.

1.1.1.1.1 Eisenmetalle

Eisenmetalle werden aus Eisenerz und Schrott gewonnen. Der Anteil von Schrott beträgt 55% bis 60%. Eisenmetalle werden also zu einem großen Anteil wieder verwendet. Eisenmetalle sind recycelbar und daher umweltfreundliche Werkstoffe.

Das wichtigste Legierungselement bei Eisenmetallen ist der Kohlenstoff.

Nach der Höhe des Kohlenstoffanteiles sind die Eisenmetalle untergliedert, siehe Abbildung → 2, vorherige Seite, in:

- Stahl,
- Eisengusswerkstoffe.

Stahl

Stahl wird aus Stahlroheisen durch Schmelzverfahren hergestellt und hat einen Kohlenstoffgehalt bis 2%.

Stahlklasse	Hauptgüteklasse	Eigenschaften
unlegierte Stähle	unlegierte Qualitätsstähle	allgemein festgelegte Anforderungen (z. B. Zähigkeit, Umformbarkeit)
	unlegierte Edelstähle	Stähle mit verbesserten Eigenschaften (z. B. hohe Streckgrenze oder Härtebarkeit, evtl. mit guter Zähigkeit, guter Schweißbarkeit); Sie haben einen höheren Reinheitsgrad als Qualitätsstähle.
nichtrostende Stähle	nichtrostende Stähle	mind. 10,5% Chrom, max. 1,2% Kohlenstoff, korrosionsbeständig, hitzebeständig, warmfest
legierte Stähle	legierte Qualitätsstähle	allgemein festgelegte Anforderungen (z. B. Zähigkeit, Umformbarkeit); Sie sind nicht zum Vergüten oder Oberflächenhärten vorgesehen.
	legierte Edelstähle	Stähle mit verbesserten Eigenschaften (z. B. besondere physikalische Eigenschaften wie kontrollierte Wärmeausdehnung oder besonderer elektrischer Widerstand)

2 Stahl – Unterteilung

In EN 10 020 sind Stähle, siehe Abbildung → 2, wie folgt eingeteilt in:

- unlegierte Stähle,
- nichtrostende Stähle,
- andere legierte Stähle.

Bei **unlegiertem Stahl** ist der Anteil jedes der Legierungselemente kleiner als in Abbildung → 1 angegeben. Die Bezeichnung unlegierter Stahl ist missverständlich, denn die Definition von Stahl besagt, dass Stahl eine Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit einem Anteil von maximal 2% Kohlenstoff ist. Stahl ist also prinzipiell immer eine Legierung.

Nichtrostender Stahl hat einen Legierungsbestandteil von mindestens 10,5% Chrom und höchstens 1,2% Kohlenstoff.

Ein **legierter Stahl** ist ein Stahl, bei dem mindestens einer der Grenzwerte in Abbildung → 1 erreicht wird und der nicht zu den nichtrostenden Stählen zählt.

Die wichtigsten Legierungselemente sind:

- Chrom – Es erhöht die Korrosionsbeständigkeit, Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Verschleißfestigkeit.
- Mangan – Es erhöht die Streckgrenze, Zugfestigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit.
- Molybdän – Es erhöht die Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, Streckgrenze, Festigkeit.
- Nickel – Es erhöht die Streckgrenze, Kerbschlagzähigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Zähigkeit.
- Vanadium – Es erhöht die Streckgrenze, Zugfestigkeit, Warmfestigkeit, Schneidhaltigkeit.
- Wolfram – Es erhöht die Streckgrenze, Zugfestigkeit, Zähigkeit, Härte, Verschleißfestigkeit.

Eine weitere Unterteilung der drei Stahlklassen erfolgt in Hauptgüteklassen, siehe Abbildung → 2, [vorherige Seite](#).

Zur Masseersparung (Leichtbau) werden im Landmaschinenbau Feinkornstähle, vergütete Baustähle, Sonderbaustähle zum Kaltumformen, spezielle Baustähle für Landmaschinen, Mehrphasenstähle (ferritische Matrix, metastabiler Austenit, Martensit) eingesetzt – Sie verfestigen sich beim Umformen.

Hinweis: Bei Reparatur-Schweißungen an Bauteilen, welche aus diesen Werkstoffen gefertigt sind, müssen besondere Herstellervorgaben beachtet werden. Praktische Anwendungen dieser Werkstoffe sind: Pflugrahmen, Streichbleche, Mährescher-Schneidwerke u. a.

Eisengusswerkstoffe

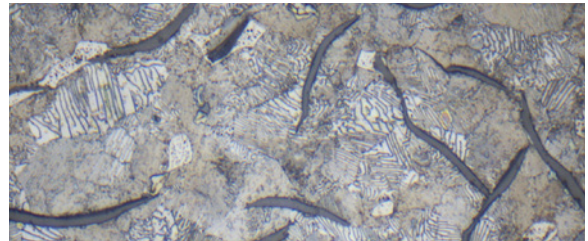
Eisengusswerkstoffe sind Eisen-Kohlenstoff-Legierungen mit über 2% Kohlenstoffgehalt. Die meisten Eisengusswerkstoffe haben 3% bis 4% Kohlenstoffgehalt.

Die Schwindung der Eisengusswerkstoffe beträgt ca. 1%. Unter Schwindung (Schwindmaß) versteht man die gleichmäßige Abnahme des Volumens, wenn sich das Gussteil von Schmelztemperatur bis auf Raumtemperatur abkühlt.

Bei der Erstarrung der Schmelze scheidet der Kohlenstoff als Grafit im Gefüge aus.

Legierungselement	Kurzzeichen	Grenzwert des Massenanteiles in %
Aluminium	Al	0,30
Bor	B	0,0008
Bismut	Bi	0,10
Cobalt	Co	0,30
Chrom	Cr	0,30
Kupfer	Cu	0,40
Lanthanide	La	0,10
Mangan	Mn	1,65
Molybdän	Mo	0,08
Niob	Nb	0,06
Nickel	Ni	0,30
Blei	Pb	0,40
Selen	Se	0,10
Silicium	Si	0,60
Tellur	Te	0,10
Titan	Ti	0,05
Vanadium	V	0,10
Wolfram	W	0,30
Zirkonium	Zr	0,05

1 Legierungen in unlegiertem Stahl – Grenzwerte



2 Gusseisen mit Lamellengrafit

Gusseisen wird benannt und unterschieden nach der Grafitbildung im Gefüge in:

- Gusseisen mit Lamellengrafit,
- Gusseisen mit Kugelgrafit,
- Temperguss,
- Stahlguss.

Gusseisen mit Lamellengrafit

Gusseisen mit Lamellengrafit wird auch graues Gusseisen (früher: **Grauguss**) genannt, weil die Bruchfläche durch den Lamellengrafit grau erscheint, siehe Abbildung → 2.

Gusseisen mit Lamellengrafit kann kaum Zugkräfte übertragen. Wird das Gussteil durch Zug belastet, so entstehen durch die Form der Lamellen Spannungsspitzen und eine Kerbwirkung im Werkstoff. Dadurch kommt es zu Haarrissen und letztlich zur Zerstörung des Gussteiles.

Bauteile aus Gusseisen mit Lamellengrafit dürfen keiner hohen Zugbelastung ausgesetzt werden.

Die Druckfestigkeit des Gusseisens mit Lamellengrafit ist jedoch deutlich höher als die Zugfestigkeit, da der Lamellengrafit nicht zusammendrückbar (inkompressibel) ist.

Weiterhin wirkt der Lamellengrafit schwingungsdämpfend. Daher wird Gusseisen mit Lamellengrafit auch für Bauteile eingesetzt, welche nur eine niedrige Eigenschwingung haben dürfen und mechanische Schwingungen dämpfen müssen.

Gusseisen mit Kugelgrafit

Gusseisen mit Kugelgrafit entsteht durch die Zugabe von Mangan und Cer zur Gusseisenschmelze. Der Kohlenstoff fällt dann nicht als Lamellen aus, sondern kugelförmig, siehe Abbildung → 1. Der Kugelgrafit erzeugt keine Kerbwirkung. Deshalb können vom Gusseisen mit Kugelgrafit erheblich höhere Zugbelastungen aufgenommen werden als vom Gusseisen mit Lamellengrafit. Dieses Gusseisen weist eine ähnliche Festigkeit auf wie Stahl. Die Dämpfung von Schwingungen ist allerdings geringer als bei Bauteilen aus Gusseisen mit Lamellengrafit.

Temperguss

Temperguss wird schnell aus der Schmelze abgekühlt. Die Kohlenstoffatome werden daher nicht als Grafit ausgeschieden, sondern sind im Zementit (Eisen-Kohlenstoff-Verbindung Fe_3C) gebunden. Anschließend erfolgt ein längeres Glühen bei einer Temperatur um $1000\text{ }^\circ\text{C}$ (Tempern). Dadurch werden ähnliche mechanische Eigenschaften erreicht wie beim Gusseisen mit Kugelgrafit.

Nach dem Temperverfahren wird unterschieden in:

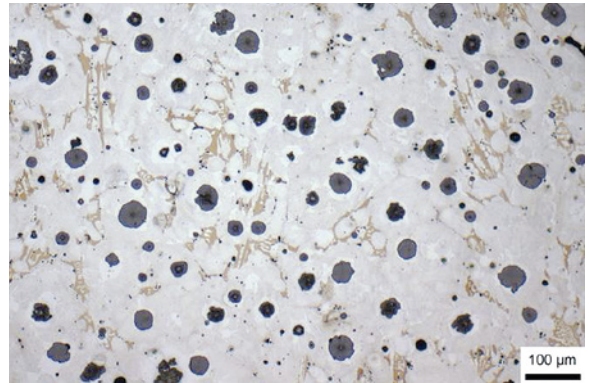
- schwarzer Temperguss,
- weißer Temperguss.

Schwarzer Temperguss wird in neutraler Umgebung getempert, z. B. im Schutzgasofen oder mit Sandabdeckung. So wird verhindert, dass der Luft-sauerstoff den Kohlenstoff aus dem Temperguss entzieht. Durch das Tempern fällt der Kohlenstoff aus dem Zementit aus und bildet im gesamten Querschnitt Grafitflocken (Temperkohle), siehe Abbildung → 2. Diese Temperkohle erzeugt keine Kerbwirkungen und ist der Grund für die hohe mechanische Festigkeit, ähnlich wie beim Kugelgrafit.

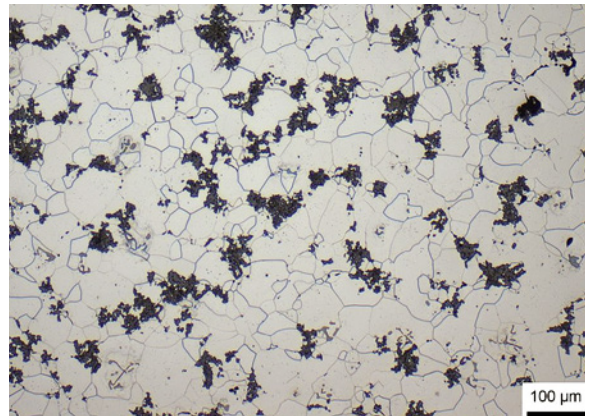
Weißer Temperguss wird in Mitteln getempert, welche Sauerstoff abgeben, z. B. Pulver, Gas. Durch den Sauerstoff werden in den Randbereichen des Gussteiles Kohlenstoffatome entzogen. Die Tiefe des Kohlenstoffentzuges wird durch die Temperzeit gesteuert. Es entstehen so Randbereiche am Gussteil, die so kohlenstoffarm sind wie Stahl, siehe Abbildung → 3. Weißer Temperguss ist gut schweißbar.

Stahlguss

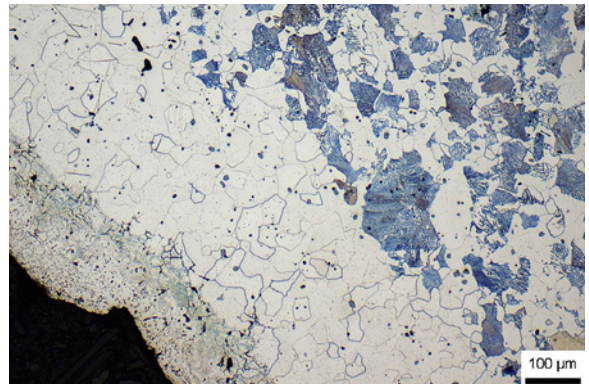
Stahl kann zu Formstücken vergossen werden – dem Stahlguss. Man verwendet ihn für Stahlbauteile mit komplizierter Form, die nicht durch Schmieden



1 Gusseisen mit Kugelgrafit



2 Schwarzer Temperguss



3 Weißer Temperguss

oder nur als aufwendige Schweißkonstruktionen hergestellt werden können.

Grundsätzlich können alle Stahlsorten für die Herstellung von Stahlgussbauteilen verwendet werden. Die Eigenschaften richten sich dann im Wesentlichen nach den Anteilen der verschiedenen Legierungsbestandteile.

Die Stahlgussbauteile müssen immer wärmebehandelt werden, da bei der Abkühlung die Schrumpfung von 1,6% bis 2,5% hohe Werkstoffspannung hervorruft. Es können dadurch sogar Spannungsrisse im Stahlgussbauteil entstehen.

1.1.1.1.2 Nichteisenmetalle

Nichteisenmetalle sind unlegierte und legierte Metalle, bei denen Eisen nicht der Hauptlegierungsbestandteil ist. Man bezeichnet Nichteisenmetalle auch als **NE-Metalle**.

Die Nichteisenmetalle werden nach ihrer Dichte unterteilt, siehe Abbildung → 2, Seite 1, in:

- Leichtmetalle,
- Schwermetalle.

Leichtmetalle

Leichtmetalle haben eine Dichte $\rho < 5 \text{ kg/dm}^3$. Sie werden überwiegend als legierte Metalle für die Herstellung von Bauteilen verwendet. Im Vergleich zu Stahlkonstruktionen ergibt sich eine hohe Masseinsparung bei ähnlicher Festigkeit.

Häufig verwendete Leichtmetalle sind:

- Aluminium,
- Magnesium,
- Titan.

Aluminium wird unter hohem Energieaufwand aus Bauxit gewonnen. Es kann aber auch durch Einschmelzen von Aluminiumschrott gewonnen werden. Das Einschmelzen von Aluminiumschrott erfordert nur einen Bruchteil des Energieaufwandes der Erstgewinnung. Daher ist das Recycling sehr bedeutsam und wichtig.

In Land- und Baumaschinen werden Aluminiumlegierungen verwendet. Die wichtigsten Legierungselemente sind: Kupfer (Cu), Magnesium (Mg), Silicium (Si), Zink (Zn).

Magnesium wird aus Magnesit, Dolomit und auch aus Meerwasser gewonnen. Der Energieaufwand für die Gewinnung ist hoch. Reines Magnesium kann nicht als Konstruktionswerkstoff verwendet werden, da es nur eine geringe Festigkeit hat und leicht entzündlich ist. Es brennt mit sehr heller Flamme und wird daher auch für die Herstellung von Feuerwerkskörpern verwendet. Hauptsächlich Verwendung findet Magnesium als Legierungsmetall für Aluminium.

Titan wird aus Titaneisen und Titandioxid unter hohem Energieaufwand gewonnen. Titan wird überwiegend als Titanlegierung verwendet.

Legierungselemente sind: Aluminium (Al), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Kohlenstoff (C), Mangan (Mn), Molybdän (Mo), Sauerstoff (O), Stickstoff (N), Kupfer (Cu), Tantal (Ta), Vanadium (V).

Schwermetalle

Schwermetalle haben eine Dichte $\rho > 5 \text{ kg/dm}^3$. Sie werden als Reismetalle und als legierte Metalle verwendet.

Häufig verwendete Schwermetalle sind:

- Blei,
- Kupfer,
- Zink.

Blei wird aus Bleiglanz gewonnen. Blei und Bleiverbindungen sind giftig, sie gehören zu den gesundheitsgefährdenden Stoffen.

Blei- und Bleilegierungen werden wegen der Gesundheitsgefährdung nach Möglichkeit durch andere Werkstoffe ersetzt.

Kupfer wird aus Kupferglanz, Buntkupfererz und Kupferkies gewonnen. Als Werkstoff verwendet man reines Kupfer und Kupferlegierungen. Halbzeuge aus Kupfer lassen sich leicht umformen. Im umgeformten Bereich kommt es zur Kaltverfestigung – Sie kann durch Weichglühen bei 400 °C bis 600 °C wieder rückgängig gemacht werden kann.

An der Luftatmosphäre bildet sich auf dem Kupfer eine rotbraune bis grüne dichte Korrosionsschutzschicht (Patina). Sie gibt dem Kupfer das typische dekorative Aussehen.

Kupfer-Zink-Legierungen werden auch **Messing** genannt. Sie sind gut gießbar, spanend zu bearbeiten und korrosionsbeständig. Aus Messing werden Rohre, Armaturen, Schlossteile und Beschläge hergestellt.

Kupfer-Zinn-Legierungen werden auch **Bronze** genannt, sie sind besonders korrosionsbeständig und besitzen gute Gleiteigenschaften. Aus Bronze werden Gleitlager, Ventil- und Pumpengehäuse gefertigt.

1.1.1.2 Nichtmetalle

Bei Nichtmetallen haben die Atome eine regellose Anordnung im Werkstoff. Man nennt diese Anordnung **amorph**.

Zu den Nichtmetallen zählen, siehe Abbildung → 2, Seite 1:

- natürliche Werkstoffe, siehe Kap. 1.1.1.2.1,
- künstliche Werkstoffe, siehe Kap. 1.1.1.2.2,
- Betriebsstoffe, siehe Kap. 1.1.1.2.3.

1.1.1.2.1 Natürliche Werkstoffe

Natürliche Werkstoffe werden auch **Naturstoffe** genannt, weil sie aus der Natur stammen.

Wichtige natürliche Werkstoffe sind, siehe Abbildung → 2, Seite 1:

- Holz,
- Leder,
- Glas.

Holz

Das Holz ist keine homogene Masse, sondern von zahlreichen Zellhohlräumen durchsetzt. Entsprechend der Holzart ist die Zellform und Zellanordnung unterschiedlich und bestimmt die Rohdichte und die Härte des Holzes.

Für die Auswahl der richtigen Holzart sind die physikalischen und technischen Eigenschaften von Bedeutung.

Eigenschaften des Holzes:

- Dichte
- Härte und Festigkeit
- Elastizität und Biegsamkeit
- Schwinden und Quellen

Die **Dichte** der zusammengesetzten Zellwände ohne Hohlräume und ohne Holzfeuchte ist $\rho = 1560 \text{ kg/m}^3$. Dieser Wert ist bei allen Holzarten annähernd gleich. Aber jede Holzart hat unterschiedliche Zellhohlräume, sodass die Rohdichte für eine bestimmte Holzfeuchte erheblich niedriger liegen kann, siehe Abbildung → 1.

Bei der **Härte** von Holz wird unterschieden, siehe Abbildung → 2a) in:

- sehr weich,
- weich,
- mittelhart,
- hart,
- sehr hart.

Zu beachten ist: Hirnholz ist härter als Langholz.

Als **Festigkeit** wird hier nur der Widerstand gegen die Beanspruchungen auf Zug und Druck betrachtet. Die Festigkeit in Faserrichtung ist größer als quer zur Faserrichtung. In Abbildung → 2b) sind Härte und Festigkeit für einige Nadel- und Laubhölzer angegeben.

Elastizität und Biegsamkeit hängen von der Holzart und der Holzfeuchte ab: Je trockener ein Holz ist, desto elastischer ist es.

Holz leicht	ρ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Holz mittel-schwer	ρ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Holz schwer und sehr schwer	ρ $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Balsa	150	Limba	580	Eiche	720
Abachi	380	Kirschbaum	610	Rotbuche	730
Weide	460	Lärche	630	Esche	730
Pappel	470	Ahorn	640	Birnbaum	740
Fichte	480	Sapelli-		Teak	750
Tanne	480	Mahagoni	670	Afzelia	780
Kiefer	550	Rüster	670	Weißbuche	820
Brasilkiefer	560	Birke	680	Buchsbaum	1100
Linde	560	Nussbaum	700	Pockholz	1360

1 Rohdichte ρ (Rho) von Hölzern bei 15% Feuchtegehalt

Härte	Holzart
sehr weich	Pappel, Linde, Balsa, Weide
weich	Abachi, Fichte, Tanne, Birke
mittelhart	Kirschbaum, Brasilkiefer, Kiefer, Lärche, Limba, Ahorn, Nussbaum
hart	Sapelli-Mahagoni, Eiche, Esche, Rotbuche, Rüster, Birnbaum, Teak
sehr hart	Afzelia, Buchsbaum, Weißbuche, Pockholz

a) Einteilung nach Härte der Holzart

Nadelbaum	Laubbaum	Härte	Druckfestigkeit in Faserrichtung in $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Zugfestigkeit in Faserrichtung in $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Fichte Tanne	Pappel Linde Birke	sehr weich u. weich	35...50	15...20
Kiefer Lärche	Kirschbaum Ahorn Nussbaum	mittel hart	50...90	30...40
Eibe	Eiche Esche Rotbuche Rüster Pockholz	hart und sehr hart	70...120	30...70

b) Härte- und Festigkeitswerte der Holzarten

2 Härte und Festigkeit von Nadel- und Laubbäumen

Das **Schwinden und Quellen** des Holzes wird auch als **Arbeiten** bezeichnet. Die Ursache für das Schwinden und Quellen ist das Abgeben und Aufnehmen von Wasser. Da Holz hygroskopisch¹ ist, nimmt es bei höherer Umgebungsfeuchtigkeit Wasser auf und quillt. Sinkt die Umgebungsfeuchtigkeit wieder, so gibt das Holz über Verdunstung Wasser ab, und es schwindet. Die Schwind- und Quellmaße sind je nach Holzart, aber auch bei gleichem Holz, unterschiedlich.

So schwindet Splintholz stärker als Kernholz, siehe Abbildung → 1a), nächste Seite. Zusätzlich schwindet das gleiche Holz in seinen Wuchsrichtungen unterschiedlich, siehe Abbildung → 1b), nächste Seite.

¹ hygroskopisch (griech.-lat.): Wasser an sich ziehen

Aus Holz können Plattenwerkstoffe hergestellt werden, z. B.:

- Furnierplatten,
- Tischlerplatten,
- Spanplatten.

Leder

Leder wird aus Tierhaut, meist Rinderhaut, durch Gerben hergestellt. Leder als **Arbeitsschutzartikel**, z. B. für Lederhandschuhe, Lederschürzen, Arbeitsschuhe, wird als **ASA-Leder** bezeichnet.

Glas

Das in der Technik eingesetzte Glas wird aus einer Schmelze mit dem Gemisch Kalk (CaCO_3), Natron (chemisch: Soda Na_2CO_3) und Quarzsand (SiO_2) hergestellt. Die Abkühlung der Schmelze erfolgt ohne Kristallisation, daher ist die Schmelze auch ein amorphes¹ Gemenge. Dieses Glas wird nach seiner Schmelzzusammensetzung auch **Kalk-Natron-Silikat-Glas** genannt.

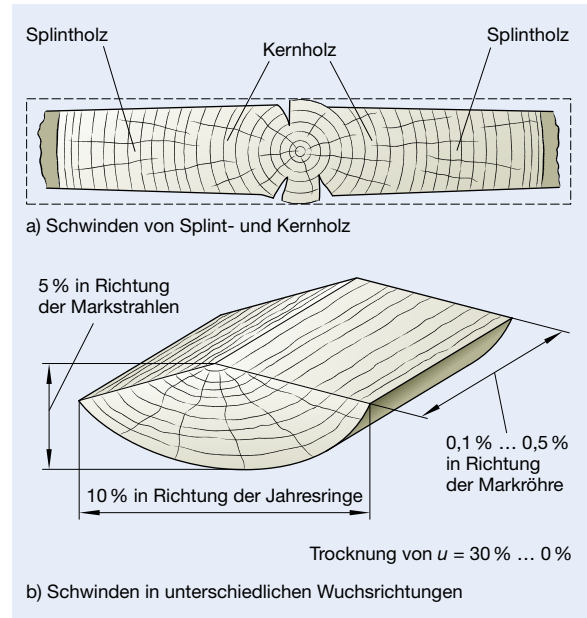
Aus Kalk-Natron-Silikat-Glas wird **Sicherheitsglas** hergestellt. Sicherheitsglas ist schlagfest, und bei Zerstörung ist die Verletzungsgefahr durch Glassplitter gering im Vergleich zu Fensterglas.

Es werden zwei Arten von Sicherheitsglas unterschieden:

- vorgespanntes Glas,
- Verbundglas.

Das **vorgespannte Glas** wird auch **Einscheibensicherheitsglas** genannt. Die Vorspannung erreicht man durch einseitiges Erwärmen der fertigen Scheibe mit anschließendem Abschrecken. Dadurch entstehen an der Scheibenoberfläche Druckspannungen, und es erhöht sich die Schlagfestigkeit gegenüber normalem Glas erheblich. Durch Stoß oder Schlag können unzählige feinste Risse entstehen und die Scheibe undurchsichtig machen. Wird das Einscheibensicherheitsglas zerstört, so zerfällt es in kleine Glaskrümel. Dies mindert eine Verletzungsgefahr.

Das **Verbundglas** ist ein Mehrscheibensicherheitsglas. Es werden zwei oder mehr Glasscheiben mit durchsichtigen, weichen Kunststofffolien miteinander verklebt. Bei Zerstörung zersplittert die Scheibe an der Stoßstelle und die Splitter bleiben an der Kunststoffolie kleben. Die Verletzungsgefahr durch Glassplitter ist gering, und die Sichtbehinderung ist geringer als bei vorgespanntem Glas.



1 Schwinden des Holzes

1.1.1.2 Künstliche Werkstoffe

Künstliche Werkstoffe sind **Kunststoffe**, auch **Plaste** genannt. Die Kunststoffe werden synthetisch aus organischen Stoffen hergestellt. Dabei versteht man unter Synthese den chemischen Aufbau von Verbindungen und unter organischen Stoffen Kohlenstoffverbindungen.

Aufgrund der synthetischen Herstellung von Kunststoffen können ihre Eigenschaften gezielt der speziellen Verwendung angepasst werden. Kunststoffe gibt es daher mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie: leicht (Dichte $\rho = 0,9 \text{ kg/dm}^3$ bis $2,2 \text{ kg/dm}^3$), weich, hart, elastisch, plastisch verformbar, gießbar, korrosionsbeständig, isolierend gegen Wärme und Elektrizität.

Wegen dieser vielen möglichen unterschiedlichen Eigenschaften ersetzen die Kunststoffe heute immer mehr alte Werkstoffe. Zusätzlich sind die meisten Kunststoffe kostengünstig.

Kunststoffe haben aber auch nachteilige Eigenschaften, welche ihre Anwendung begrenzen:

- geringe Wärmebeständigkeit,
- hohe Wärmedehnung,
- brennbar,
- geringe Dauerstandfestigkeit,
- schwieriges Recycling.

¹ amorph (griech.): gestaltlos

Die Kunststoffe können eingeteilt werden, siehe Abbildung → 2, Seite 1, in:

- halbsynthetische Kunststoffe,
- vollsynthetische Kunststoffe.

Halbsynthetische Kunststoffe stellt man durch chemische Umwandlung von Naturstoffen her. Bekannte halbsynthetische Kunststoffe sind:

- Papier,
- Vulkanfiber (Bremsbeläge, Kupplungsscheiben, Koffer),
- Zellophan (Isolierfolie für Kabel, Folie für Lebensmittel),
- Zelluloid (Zeichengeräte, Brillengestelle),
- Naturgummi (meist verwendet als Beimischung zu Synthekautschuk).

Die wichtigsten Ausgangsstoffe für **vollsynthetische Kunststoffe** sind Erdöl, Kohle, Erdgas, Kalk, Wasser und Luft.

Bei der chemischen Synthese unterscheidet man:

- Polymerisation,
- Polyaddition,
- Polykondensation.

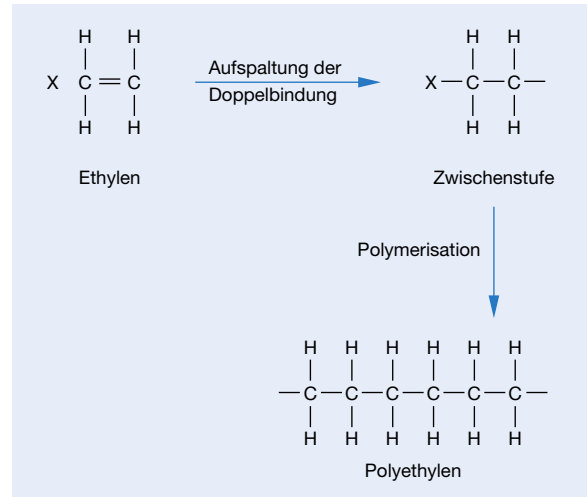
Bei der **Polymerisation** werden aus Monomeren durch Aufsprengen der Doppelbindungen des Kohlenstoffatoms die Makromoleküle gebildet. Damit kann sich jedes Monomer mit dem freigewordenen Bindungsarm an das nächste Monomer anhängen, siehe Abbildung → 1.

Bei der **Polyaddition** verbinden sich gleiche oder verschiedene Monomere zu Makromolekülen. Dabei wandert ein Atom eines Monomers zum anderen Monomer und bindet sich dort an. Es wird so ein Bindungsarm eines Monomers frei und damit der Zusammenschluss zum anderen Monomer hergestellt, siehe Abbildung → 2.

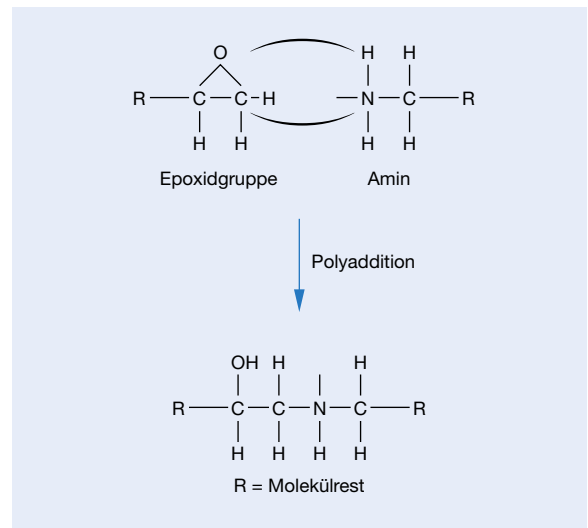
Bei der **Polykondensation** verbinden sich gleiche oder verschiedene Monomere unter Abspaltung eines Spaltproduktes. Der Zusammenschluss erfolgt, indem jedes Monomer ein oder mehrere Atome freigibt und sich mit den frei gewordenen Bindungsarmen mit den anderen Monomeren verbindet, siehe Abbildung → 3.

Die abgespaltenen Moleküle bilden das Spaltprodukt.

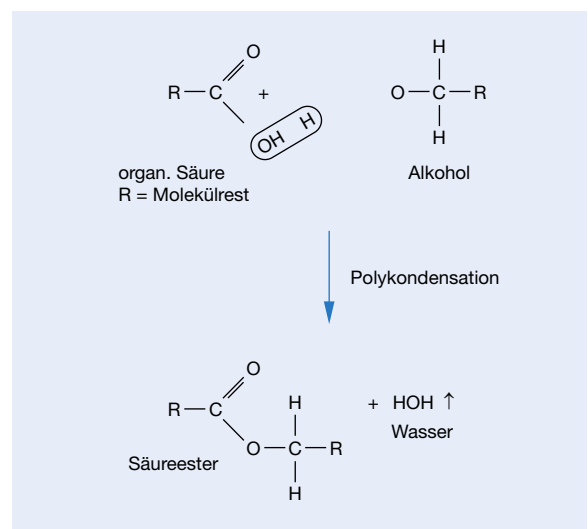
Die Eigenschaften der Kunststoffe beruhen in erster Linie auf dem strukturellen Aufbau sowie dem Vernetzungsgrad der Makromoleküle. Erst in zweiter Linie beruhen die Eigenschaften auf der chemischen Zusammensetzung.



1 Polymerisation (Beispiel)



2 Polyaddition (Beispiel)



3 Polykondensation (Beispiel)