Fertigungstechnik
für
Führungskräfte

Andere Bücher von Christoph Roser

Alles über Verbrauchssteuerung: Entwerfen, Implementieren und Pflegen von Kanban, CONWIP und anderen Verbrauchssteuerungs-Systemen in der schlanken Produktion. 445 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2022. ISBN 978-3-96382-033-5 (Auch auf Englisch, Spanisch, Portugiesisch, und Chinesisch)

„Faster, Better, Cheaper" in the History of Manufacturing: From the Stone Age to Lean Manufacturing and Beyond, 439 Seiten, Productivity Press, 2016. ISBN 978-1-49875-630-3.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2013, 112 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-007-6.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2014, 332 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-010-6.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2015, 413 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-013-7.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2016, 352 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-016-8.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2017, 371 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-019-9.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2018, 384 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-022-9.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2019, 339 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2020. ISBN 978-3-96382-025-0.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2020, 356 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2021. ISBN 978-3-96382-030-4.

Collected Blog Posts of AllAboutLean.com 2021.301 Seiten, AllAboutLean.com Publishing, 2022, ISBN 978-3-96382-043-4

Font Samples: Common Typefaces for Books and How to Use Them. Offenbach: AllAboutLean.com Publishing, 2021. 184 pages, ISBN 978-3-96382-037-3

Fertigungstechnik für Führungskräfte

3. überarbeitete und erweiterte Auflage

Christoph Roser

Verlag AllAboutLean.com
Offenbach, Deutschland
2022

© Christoph Roser, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022

Das Copyright gilt in Deutschland normalerweise bis 70 Jahre nach dem Tod des Autors (*post mortem auctoris*), was ich unangemessen lang finde. Daher lizenziere ich mit meinem Tod (nicht vorher) dieses Werk unter der Creative Commons Share Alike 4.0 International Lizenz (CC-BY-SA 4.0). Dies geht einher mit der Hoffnung, dass Sie mir jetzt nicht den Tod wünschen … Beachten Sie aber die Bildrechte anderer Autoren.

Verlag AllAboutLean.com, Christoph Roser, Hafeninsel 14, 63067 Offenbach, Deutschland, gedruckt durch Amazon, Inc. oder Lightning Source Inc.

ISBN der verschiedenen Versionen

- 978-3-96382-062-5 Hardcover in Farbe
- 978-3-96382-061-8 E-Book
- 978-3-96382-063-2 Paperback Studentenversion Schwarz-Weiß

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über https://portal.dnb.de/ abrufbar.

Erste Ausgabe	01.03.2018 Version 1.00
Zweite Ausgabe	09.09.2019 Version 2.00
	27.07.2020 Version 2.01
	08.09.2021 Version 2.02
Dritte Ausgabe	15.06.2022 Version 3.00

Herzlicher Dank an alle meine Studenten, die Tippfehler gefunden haben ☺.

Danksagung

Mein Dank gilt allen, die bei der Erstellung dieses Buchs geholfen haben. Das sind insbesondere die Ingenieure Jochen und Hermann sowie Anke und Traude, die im Gegensatz zu den Ingenieuren auch Deutsch können.

Zudem möchte ich den vielen Fotografen und Illustratoren danken, die ihre Arbeit entweder Gemeinfrei oder unter einer freien Lizenz zur Verfügung gestellt haben. Eine detaillierte Liste der Bilder von anderen Autoren findet sich am Ende des Buchs in Kapitel 13 Bildnachweise.

Inhalt

1 Einleitung 1

2 Verhalten in der Fertigung 3
2.1 Sicheres Verhalten in der Fertigung 3
2.2 Persönliche Schutzausrüstung 5
2.3 Wartungssicherung 9
2.4 Sicherheitskennzeichen 10
2.4.1 Verbotszeichen 10
2.4.2 Gebotszeichen 11
2.4.3 Warnzeichen 11
2.4.4 Rettungszeichen 12
2.4.5 Brandschutzzeichen 12
2.5 Umweltschutz 13
2.6 Produktqualität 14
2.7 Umgang mit Mitarbeitern 16
2.7.1 Kündigen Sie Ihren Besuch an 17
2.7.2 Stellen Sie sich vor 17
2.7.3 Erklären Sie, was Sie tun und vor allem warum 17
2.7.4 Machen Sie dem Mitarbeiter nicht das Leben schwer 18
2.7.5 Würdigen Sie die Arbeit und die Arbeiter in der Fertigung 19
2.7.6 Hören Sie zu! 20
2.7.7 Befolgen Sie die lokalen Regeln 20
2.7.8 Nutzen Sie Stoppuhren und Kameras nur mit Erlaubnis 21
2.7.9 Verabschieden und bedanken Sie sich 22
2.7.10 Geben Sie Rückmeldung 22

3 Werkstoffe 23
3.1 Metalle 23
3.1.1 Grundlagen 23
3.1.2 Eisen und Stahl 25
3.1.3 Aluminium 26
3.1.4 Magnesium 26
3.1.5 Kupfer, Messing und Bronze 27
3.1.6 Titan 28
3.1.7 Chrom 28
3.1.8 Nickel 29
3.1.9 Blei 29
3.1.10 Zinn 29
3.1.11 Zink 30
3.2 Nichtmetalle 30
3.2.1 Grundlagen 30
3.2.2 Holz 30
3.2.3 Keramik 31
3.2.4 Glas 31

3.2.5 Textilien ... 32

4 Prozessindustrie ... 33
4.1 Grundlagen ... 33
4.2 Stahlherstellung ... 33
4.3 Aluminiumherstellung ... 35
4.4 Erdölraffinerie ... 36

5 Urformen ... 38
5.1 Grundlagen ... 38
5.1.1 Gießen ohne Form ... 38
5.1.2 Gießen mit oben offener Form ... 38
5.1.3 Gießen mit geschlossener Form ... 39
5.1.4 Gießen mit geschlossener Form mit Kernen ... 40
5.1.5 Hinterschnitte ... 41
5.1.6 Eingusssystem ... 42
5.1.7 Speiser ... 44
5.1.8 Entlüftung ... 45
5.1.9 Putzen des Gussteils ... 46
5.2 Gießen mit verlorener Form ... 46
5.2.1 Sandguss ... 46
5.2.2 Schablonenformen ... 49
5.2.3 Maskenformen ... 50
5.2.4 Feingussverfahren ... 51
5.2.5 Wachsausschmelzverfahren ... 52
5.2.6 Vollformgießen ... 52
5.3 Gießen mit Dauerform ... 53
5.3.1 Die Kokille ... 54
5.3.2 Druckguss ... 55
5.3.3 Niederdruck-Kokillenguss ... 57
5.3.4 Kipptiegelgießen ... 57
5.3.5 Schleuderguss ... 58
5.3.6 Strangguss ... 58
5.3.7 Verbundguss ... 60
5.3.8 Schlickerguss ... 61
5.3.9 Kunststoffspritzguss ... 61
5.4 Gussfehler ... 64
5.4.1 Gussgrat ... 64
5.4.2 Gussversatz ... 64
5.4.3 Unvollständiger Guss ... 64
5.4.4 Schülpen ... 65
5.4.5 Seigerung ... 65
5.4.6 Schlackeeinschlüsse ... 66
5.4.7 Schrumpfung ... 66
5.4.8 Gasblasen und Lunker ... 67
5.4.9 Warmrisse ... 67

5.4.10 Kaltrisse und Spannungen ... 68
5.5 Gussprüfung ... 68
5.5.1 Farbeindringverfahren ... 68
5.5.2 Magnetpulververfahren ... 70
5.5.3 Ultraschall ... 70
5.5.4 Röntgen ... 71
5.6 Sintern ... 71
5.7 3D-Drucken ... 74
5.7.1 Fused Deposition Modelling (FDM) ... 75
5.7.2 Multi-Jet Modelling ... 76
5.7.3 Lamination ... 77
5.7.4 3D-Druck (Binder Jetting) ... 78
5.7.5 Lasersintern, Laserschmelzen, Elektronenstrahlschmelzen ... 79
5.7.6 Stereolithographie ... 81

6 Umformen ... 83
6.1 Druckumformen – Schmieden ... 84
6.1.1 Freiformschmieden Werkzeuge ... 86
6.1.2 Freiformschmieden Grundtechniken ... 87
6.1.3 Maschinelles Freiformschmieden ... 89
6.1.4 Gesenkschmieden ... 89
6.2 Druckumformen – Walzen ... 90
6.2.1 Längswalzen ... 91
6.2.2 Querwalzen ... 94
6.2.3 Ringwalzen ... 94
6.2.4 Schrägwalzen ... 95
6.3 Druckumformen – weitere Verfahren ... 96
6.3.1 Fließpressen ... 96
6.3.2 Strangpressen ... 96
6.3.3 Prägen, Einsenken ... 98
6.3.4 Rändeln ... 98
6.3.5 Körnen ... 99
6.4 Zugdruckumformen ... 99
6.4.1 Durchziehen ... 99
6.4.2 Tiefziehen ... 99
6.4.3 Karosserieziehen ... 100
6.4.4 Drücken ... 101
6.4.5 Kragenziehen ... 102
6.4.6 Knickbauchen ... 102
6.4.7 Hochdruckumformen ... 103
6.5 Zugumformen ... 103
6.5.1 Längen ... 104
6.5.2 Weiten ... 104
6.5.3 Tiefen ... 104
6.6 Biegen ... 105

6.6.1 Grundlagen ... 105
6.6.2 Gesenkbiegen ... 107
6.6.3 Schwenkbiegen ... 107
6.6.4 Rundbiegen ... 108
6.6.5 Walzrichten ... 108

7 Trennen ... 109
7.1 Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide ... 109
7.1.1 Grundlagen ... 109
7.1.2 Schneidwerkstoffe ... 112
7.1.3 Späne ... 116
7.1.4 Drehen ... 116
7.1.5 Bohren ... 119
7.1.6 Senken ... 122
7.1.7 Reiben ... 123
7.1.8 Fräsen ... 123
7.1.9 Hobeln und Stoßen ... 126
7.1.10 Räumen ... 127
7.1.11 Sägen ... 129
7.1.12 Feilen ... 130
7.2 Zerspanen mit geometrisch unbestimmter Schneide ... 131
7.2.1 Grundlagen ... 131
7.2.2 Schleifen ... 132
7.2.3 Honen ... 135
7.2.4 Läppen ... 136
7.2.5 Gleitschleifen ... 138
7.2.6 Strahlspanen ... 139
7.3 Zerteilen ... 140
7.3.1 Grundlagen ... 140
7.3.2 Schneiden mit einer Klinge ... 142
7.3.3 Stanzen, Nibbeln und Knabbern ... 144
7.3.4 Wasserstrahlschneiden ... 145
7.3.5 Autogenes Brennschneiden ... 146
7.3.6 Plasmaschneiden ... 148
7.3.7 Laserschneiden ... 149
7.4 Abtragen ... 152
7.4.1 Grundlagen ... 152
7.4.2 Funkenerosives Abtragen (Erodieren) ... 152
7.4.3 Ätzen ... 154
7.4.4 Thermisch-chemisch Entgraten ... 154
7.4.5 Elektrochemisches Abtragen ... 154

8 Fügen ... 155
8.1 Grundlagen ... 155
8.2 Welle-Nabe-Verbindung ... 156
8.2.1 Passverzahnung ... 156

8.2.2 Passfeder ... 156
8.3 Schrauben ... 157
8.3.1 Gruppierung von Schrauben ... 157
8.3.2 Schraubenköpfe und Schraubenantriebe ... 161
8.3.3 Muttern ... 164
8.3.4 Gewindeherstellung ... 165
8.4 Nägel ... 171
8.5 Nieten ... 172
8.5.1 Vollnieten ... 172
8.5.2 Hohlnieten und Halbhohlnieten ... 173
8.5.3 Blindnieten ... 174
8.5.4 Stanznieten ... 175
8.6 Clinchen ... 176
8.7 Schweißen ... 176
8.7.1 Grundlagen ... 176
8.7.2 Gasschmelzschweißen ... 180
8.7.3 Lichtbogenhandschweißen ... 182
8.7.4 Schutzgasschweißen ... 184
8.7.5 Plasmaschweißen ... 187
8.7.6 Unterpulverschweißen ... 188
8.7.7 Elektronenstrahlschweißen ... 189
8.7.8 Laserschweißen ... 189
8.7.9 Aluminothermisches Schweißen ... 189
8.7.10 Widerstandsschweißen ... 190
8.7.11 Kaltpressschweißen ... 194
8.7.12 Reibschweißen ... 194
8.8 Löten ... 197
8.8.1 Grundlagen ... 197
8.8.2 Kolbenlöten ... 199
8.8.3 Wellenlöten ... 200
8.8.4 Reflow-Löten ... 200
8.8.5 Löten mit Gasflamme ... 201
8.9 Kleben ... 201
8.9.1 Grundlagen ... 201
8.9.2 Physikalisch abbindende Klebstoffe ... 203
8.9.3 Reaktionsklebstoffe ... 203
8.9.4 Haftklebstoffe ... 204

9 Beschichten ... 205
9.1 Grundlagen ... 205
9.2 Tauchbeschichten ... 205
9.3 Schmelztauchen ... 206
9.4 Spritzlackieren ... 206
9.5 Pulverbeschichten ... 207
9.6 Wirbelsintern ... 208

9.7 Galvanisieren ... 209
9.8 Emaillieren ... 209

10 Stoffeigenschaften ändern ... 211
10.1 Grundlagen ... 211
10.2 Wärmebehandeln ... 211
10.2.1 Grundlagen ... 211
10.2.2 Glühen ... 212
10.2.3 Härten ... 212
10.2.4 Anlassen ... 214

11 Sonderthemen ... 215
11.1 Rohre ... 215
11.1.1 Grundlagen ... 215
11.1.2 Urformen von Rohren ... 215
11.1.3 Mannesmann-Verfahren ... 216
11.1.4 Walzbiegen ... 217
11.1.5 Gleitziehen ... 217
11.1.6 Pilgerschrittverfahren ... 218
11.2 Papierherstellung ... 219
11.3 Glas ... 220
11.3.1 Grundlagen ... 220
11.3.2 Flachglas ... 221
11.3.3 Hohlglas ... 221
11.3.4 Glasfaser ... 222
11.4 Kunststoffe ... 224
11.4.1 Grundlagen ... 224
11.4.2 Streckblasen ... 225
11.4.3 Extrusionsblasformen ... 227
11.4.4 Thermoformen ... 228
11.4.5 Schäumen ... 229
11.5 Chipherstellung ... 230
11.5.1 Grundlagen ... 230
11.5.2 Waferherstellung ... 233
11.5.3 Erzeugen der Schaltkreise ... 234
11.6 Recycling ... 236
11.6.1 Müllvermeidung ... 236
11.6.2 Mülltrennung ... 237
11.6.3 Metalle ... 238
11.6.4 Organische Stoffe ... 239
11.6.5 Glas ... 240
11.6.6 Papier ... 240
11.6.7 Kunststoffe ... 241
11.7 Gentechnik ... 242
11.7.1 Aufbau des Erbguts ... 242
11.7.2 Funktion der DNA ... 244

11.7.3 Methoden zur Genveränderung 245
11.7.4 Arten der Genveränderung 246
11.7.5 Lebensdauer der Genveränderung 246
11.7.6 Nutzen und Risiken 247

12 Ausblick 249

13 Bildnachweise 250

14 Autor 260

1 Einleitung

Die Ergebnisse moderner Fertigung sind überall um Sie herum zu sehen. Sie sind umgeben von tausenden von Produkten, die mit moderner Technik schnell und günstig hergestellt worden sind. Die wenigsten Produkte, die Sie besitzen, sind Handarbeit – und diese schätzen Sie vermutlich besonders, weil sie sehr teuer waren. Ohne die moderne effiziente Produktion könnten wir uns das heutige Leben gar nicht leisten. Ein handgenähter Anzug kostet mindestens zehn Mal mehr als einer von der Stange – und sein Stoff ist trotzdem maschinell gesponnen und gewoben worden, sonst würde er schnell das Hundertfache kosten. Ein modernes handgebautes Auto wäre am ehesten der Rolls Royce, wobei auch hier viele Maschinen die Fertigung vereinfachen.

Falls Sie nicht zufällig zu den oberen 0,1 Prozent gehören, könnten Sie sich ohne moderne Produktion eigentlich nichts mehr leisten. Es wären Zustände wie im Mittelalter – einer Zeit, in der fast Ihr gesamtes Einkommen darauf verwendet worden wäre das Verhungern zu vermeiden. Ohne Garantie, dass das immer genügt hätte.

Die Weltbevölkerung hat sich in den letzten 500 Jahren vervierzehnfacht, aber unsere Produktivität hat sich verzweihundertvierzigfacht. Jeder Arbeiter heutzutage produziert so viel wie 20 Arbeiter vor 500 Jahren. Das kommt offensichtlich nicht von der Leistung des Menschen, sondern von der kontinuierlich verbesserten Fertigungstechnik.

Die Industrie hat ein konstantes Streben, Produkte **schneller, besser und billiger** herzustellen. Das ist zwingend nötig, um profitabel zu sein. Es gibt immer eine Vielzahl von Möglichkeiten, ein Produkt herzustellen, wie in Abbildung 1 dargestellt. Um ein Unternehmen erfolgreich zu führen, müssen Sie hier den schnellsten, besten und billigsten Weg finden – oder zumindest schneller, besser und billiger als die Konkurrenz.

In diesem Buch will ich Ihnen eine Übersicht über ausgewählte wichtige Fertigungsverfahren geben. Dabei erhebt es keinen Anspruch auf Vollständigkeit, denn es gibt mehr Fertigungsverfahren als in jedes Buch passen. Das Streben der Industrie nach „schneller, besser und billiger“ hat eine Vielzahl von Techniken und Verfahren erzeugt, die noch viel vielfältiger miteinander kombiniert werden können. Mein Ziel ist es auch nicht, Ihnen hier im letzten Detail zu erklären, wie eine Fräsmaschine eingestellt und bedient wird. Das werden vermutlich andere für Sie tun (auch wenn es nicht schadet es selbst zu beherrschen).

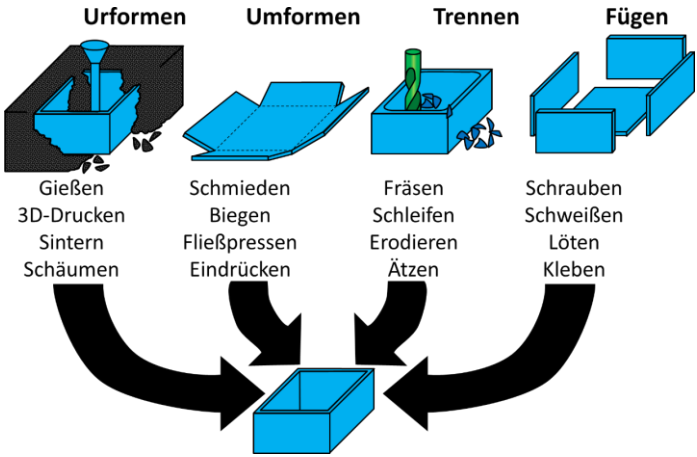

Abbildung 1: Beispielhafte Auswahl an Fertigungstechniken, mit denen man einen Behälter herstellen kann. (Bild Roser)

Was dieses Buch einzigartig macht ist ein Kapitel, das in anderen Büchern zur Fertigungstechnik nicht zu finden ist, das ich aber für enorm wichtig halte für eine erfolgreiche Karriere in der Industrie: Wie verhält man sich in der Fertigung? Wie schütze ich die Produkte, die Umwelt und nicht zuletzt mich selbst vor Schaden? Wie fördere ich eine gute Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern in der Fertigung?

Ein weiteres Kapitel gibt eine kurze Übersicht über ausgewählte Werkstoffe. Die Fertigungstechniken selbst sind ungefähr nach der DIN Norm 8580 gruppiert, wie in Abbildung 2 dargestellt. Diese Norm ist jedoch von deutschen Maschinenbauern geschrieben worden. Trotz des Anspruchs auf Allgemeingültigkeit fokussiert sie deshalb stark den Maschinenbau, andere Bereiche wie z. B. die Prozessindustrie oder Textilien finden sich nur am Rande oder gar nicht wieder. Daher folgt dieses Buch nicht strikt der DIN 8580, sondern fasst Themen aus didaktischen Gründen zum Teil anders zusammen. Die Prozessindustrie hat beispielsweise ihr eigenes Kapitel. Andere Themen sind über mehrere Kategorien der DIN 8580 hinweg in eigene Kapitel zusammengefasst.

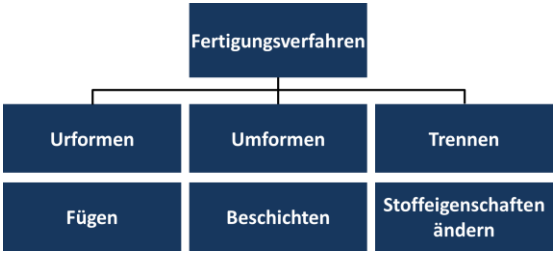

Abbildung 2: Obergruppen der Fertigungstechniken nach DIN 8580. (Bild Roser)

Ich hoffe die nachfolgenden Erklärungen der ausgewählten Techniken sind verständlich beschrieben und bebildert. Dann, so meine Hoffnung, kann Ihnen dieses Buch in Ihrer Ausbildung und Karriere ein gutes Stück weiter helfen.

2 Verhalten in der Fertigung

2.1 Sicheres Verhalten in der Fertigung

Die Fertigung ist ein spannender Bereich, in dem sich immer etwas bewegt. Aber: Sie beinhaltet auch potentielle Risiken für Leib und Leben. Der Aufenthalt in der Fertigung erfordert daher oft besondere Vorsichtsmaßnahmen. Zudem kann durch unbedachtes Verhalten die Qualität und Produktivität der Fertigung negativ beeinflusst werden. Des Weiteren ist die Fertigung auch ein soziales Gefüge. Der Umgang mit anderen sollte hier nicht vernachlässigt werden. Deshalb folgt nun eine ausgewählte Liste von wichtigen Grundregeln für den Aufenthalt in der Fertigung. Später in diesem Kapitel werden einzelne Punkte noch vertieft.

Befolgen Sie die im Werk geltenden Sicherheitsvorschriften! Manche davon mögen Ihnen übertrieben vorkommen, sind aber notwendig. Abgesehen davon: Ein schweres Teil kann Ihnen den Fuß zerquetschen, unabhängig von Ihrem Einkommen, Bildungsstand oder sonstigem Status. Nichteinhaltung der Regeln kann bei einem Unfall sowohl den gesetzlichen Versicherungsschutz einschränken als auch Abmahnung oder sogar Kündigung zur Folge haben. Das Unternehmen will zum einen Sie schützen, zum anderen aber auch sich selbst vor Produktionsausfällen, Krankschreibungen oder Strafzahlungen. Wenn Sie eine Führungskraft sind, haben Sie zudem eine Vorbildfunktion. Und wenn der Chef keine Sicherheitsbrille trägt…

Fassen Sie nichts an, es sei denn Sie sind eingewiesen worden! Dies dient sowohl Ihrem eigenen Schutz als auch der Qualität des Produkts. Die Auswirkungen auf Ihre eigene Sicherheit oder die Produktqualität sind nicht immer offensichtlich. Elektronische Bauteile sind in der Regel empfindlich gegenüber Kontakt mit statischer Aufladung und können durch bloßes Anfassen zerstört werden. Wieder andere Teile wurden sorgfältig gewaschen und entfettet. Ein ganz normaler Fingerabdruck kann hier die Funktion beeinträchtigen. Auch die Optik kann darunter leiden, indem z. B. der Lack am Fingerabdruck nicht haftet.

Achten Sie auf Fahrverkehr! In vielen Werken ist der Fahrverkehr (Gabelstapler und andere Flurförderzeuge) räumlich nicht vom Fußgängerverkehr getrennt. Oft gibt es farbige Markierungen für Fahr- und Laufwege, aber nicht immer. Falls separate Wege und Türen für Fußgänger vorhanden sind, nutzen Sie diese. Achten Sie insbesondere bei Kreuzungen, Ausgängen und Fahrtoren auf Querverkehr. Die Fahrer sind zwar entsprechend ausgebildet, und manche Fahrzeuge haben zudem Licht- und Tonsignale, aber die Sicht ist oft durch die Ladung eingeschränkt (siehe Abbildung 3) – und es gibt auch eine Dunkelziffer an alkoholisierten Fahrern.

Abbildung 3: Gabelstaplerfahrer und Fahrwegmarkierungen. Beachten Sie die eingeschränkte Sicht nach vorne! (Bild Patsy Lynch, Gemeinfrei)

Halten Sie Abstand zu bewegten Fahrzeugen und solchen, die bald bewegt werden. Eine häufige Gefahrenquelle stellen z. B. Routenzüge oder Schlepper dar, die an verschiedenen Stellen halten, Waren ein- und ausladen und weiterfahren. Hier ist das Durchgehen zwischen den Anhängern eine gern genommene, aber hochgefährliche Abkürzung. Wenn der Routenzug weiterfährt, wird die Person zwischen den Anhängern mit- und umgerissen (siehe Abbildung 4).

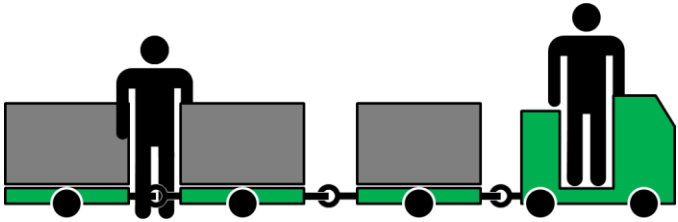

Abbildung 4: Gefährlicher Aufenthaltsbereich zwischen den Anhängern beim Routenzug. (Bild Roser)

Gehen Sie nicht unter hängenden Lasten durch! In vielen Werken finden sich Kräne zum Transport schwerer Lasten. Die Mitarbeiter sind entsprechend ausgebildet und die Vorrichtungen gewartet. Es kommt aber trotzdem manchmal vor, dass eine Last abstürzt, egal ob durch Bedienungsfehler oder Materialverschleiß. Auch ein nur kurzfristiger Aufenthalt unter einer hängenden Last ist in der Regel verboten.

Halten Sie Abstand von Maschinen, es sei denn Sie sind entsprechend eingewiesen worden! Von Fertigungsmaschinen gehen sichtbare und unsichtbare Gefahren aus. Angetriebene Maschinen wie Drehmaschinen oder Fräsmaschinen entwickeln eine enorme Kraft. Insbesondere langes Haar ist hier riskant, aber ein offener Hemdsärmel hat auch schon zu tödlichen Unfällen geführt. Andere Maschinen bergen unsichtbare Gefahren wie Hitze, Strom oder Laserlicht. Neben diesen Gefahren kann ein Annähern an die Maschine auch einen Produktionsstopp bedeuten, indem unbeabsichtigt eine Sicherheitseinrichtung ausgelöst wird. So sind z. B. viele Maschinen mit einem

Lichtvorhang aus mehreren Lichtschranken gesichert (siehe Abbildung 5). Sobald auch nur eine der Lichtschranken unterbrochen wird, stoppt die Maschine.

Abbildung 5: Beispiel eines Lichtvorhangs um eine Laserschneidanlage. (Bild Roser, bei TRUMPF Japan)

Behandeln Sie die Mitarbeiter mit Respekt! Die Fertigung hat auch eine soziale Struktur. Entsprechende Umgangsformen sind hier wichtig für eine gute Zusammenarbeit. Der Chef ist Chef von wertvollen, meist gut ausgebildeten Mitarbeitern und sollte sie entsprechend behandeln. Auch als Besucher sind die Umgangsformen wichtig. Versuchen Sie, die Arbeit nicht durch Ihre Anwesenheit zu behindern. Wenn Sie länger an einem Arbeitsplatz verweilen, stellen Sie sich den Mitarbeitern an diesem Platz kurz vor und erklären Sie den Grund Ihrer Anwesenheit. Behandeln Sie die Mitarbeiter mit Respekt oder Sie verlieren den Respekt der Mitarbeiter.

2.2 Persönliche Schutzausrüstung

Die Fertigung ist insgesamt ein sicherer Arbeitsplatz. Die Anzahl der Unfälle ist seit Jahren rückläufig. Dennoch gab es 2015 noch 168 tödliche Arbeitsunfälle [1] in der gewerblichen Wirtschaft (ohne Bergbau und ohne öffentlichen Straßenverkehr) und ein Vielfaches davon an meldepflichtigen Unfällen (Krankschreibung für mehr als drei Tage). Befolgen Sie daher die Sicherheitshinweise und Vorschiften im entsprechenden Werk, auch wenn Sie ggf. „nur“ ein Besucher sind. Das Unternehmen muss Ihnen die nötige Schutzausrüstung bereitstellen, auch wenn Sie nur ein Besucher sind.

Die häufigsten persönlichen Schutzeinrichtungen sind **Sicherheitsschuhe**, **Sicherheitsbrille**, **Gehörschutz**, **Warnweste** sowie **Sicherheitshelm**.

[1] Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Unfallanalyse

Handschuhe sind für Arbeiter ebenfalls häufig. Seltener gibt es auch noch **Atemschutz** und **Schutzanzüge**. Je nach Werk und Werksteil sind alle, keine oder manche davon vorgeschrieben. In deutschen Werken werden die vorgeschriebenen Standards (meist) gut eingehalten. Besucher ohne die vorgeschriebene Schutzeinrichtung werden oft von den Mitarbeitern angesprochen und aufgefordert, den Bereich zu verlassen oder die Ausrüstung anzulegen.

Sicherheitsschuhe gibt es in vielen verschiedenen Ausführungen. In der Regel beinhalten sie eine Zehenschutzkappe (Umgangssprachlich Stahlkappe, aber meist aus Kunststoff), um die Zehen vor Verletzungen wie Quetschen oder Schnittverletzungen zu schützen. Oft sind noch weitere Eigenschaften zum Schutz des Trägers vorhanden, z. B.:

- durchtrittsicher (z. B. gegen Nägel)
- (bedingt) wasserdicht
- antistatisch
- leitfähig oder isolierend
- kälteisolierend (z. B. im Kühlhaus) oder wärmeisolierend (z. B. in der Gießerei oder beim Schweißen)
- schnittfest
- öl- und benzinresistent
- rutschhemmend

Manager tragen gerne Sicherheitsschuhe, die äußerlich normalen Lederschuhen ähneln. In der Fertigung sind aber manchmal auch Stiefel vorgeschrieben, die den Knöchel schützen (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: Sicherheitsstiefel und bürotauglicher Sicherheitshalbschuh. (Bilder von Francis Flinch und Naturelle unter der CC-BY 3.0 und CC-BY-SA 3.0 Germany Lizenz)

Schutzbrillen sind ebenfalls häufig vorgeschrieben. Sie schützen die empfindlichen Augen vor Fremdkörpern und – je nach Ausführung – auch vor grellem Licht (siehe Abbildung 7). Häufige Fremdkörper sind Staub, aber auch viel gefährlichere größere Teile, welche z. B. bei einem Werkzeug- oder Werkstückbruch mit hoher Geschwindigkeit weggeschleudert werden können.

Spezielle Schweißerbrillen schützen vor grellem Licht beim Schweißen. Laserschutzbrillen schützen vor oft unsichtbaren, aber sehr energiereichen Laserstrahlen. Bei bestimmten Gefährdungen kann auch ein Vollgesichtsschutz verwendet werden.

Abbildung 7: Schutzbrille und Vollgesichtsschutz. (Bild Nickfrom und US Navy Yan Kennon, Gemeinfrei)

In lärmintensiven Bereichen ist oft auch ein **Gehörschutz** vorgeschrieben, um entweder Schädigungen durch einmalige kurze, aber laute Geräusche (Knalltrauma) oder – häufiger – Langzeitschäden durch konstante Hintergrundgeräusche zu vermeiden (siehe Abbildung 8). Für Besucher werden oft Ohrstöpsel aus Schaumstoff zum Einmalgebrauch verwendet. Sie werden mittels Rollen zwischen den Fingern zusammengedrückt und ins Ohr gesteckt, wo sie sich wieder ausdehnen. Lärmbelastete Bereiche haben häufig am Eingang einen Spender mit Einmal-Ohrstöpseln. Fest angestellte Mitarbeiter haben oft mehrfach verwendbare, bessere und bequemere Ohrstöpsel oder einen Kapselgehörschutz. Es gibt auch Ohrstöpsel, die mit einem Schlauch ähnlich einem Stethoskop verbunden sind. Dies ermöglicht trotz Gehörschutz Gespräche, indem das Gegenüber in das Ende des Schlauchs spricht.

Abbildung 8: Verschiedene Formen des Ohrschutzes, nicht maßstabsgetreu; Links ein Kapselgehörschutz, Einwegstöpsel in der Mitte unten, dem Gehörgang angepasste Stöpsel in der Mitte oben, und mehrfach verwendbare Stöpsel rechts. (Bilder von AGoodGuinness, Simon A. Eugster, Toby Bateson, und Bill Ebbesen unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz)

Zur Unfallvermeidung ist manchmal auch das Tragen einer **Warnweste** vorgeschrieben. Dabei handelt es sich normalerweise um eine leichte ärmellose Weste in Signalfarben und mit Reflektoren, die über der normalen Kleidung getragen wird (siehe Abbildung 9). Es gibt aber auch Varianten mit langen Ärmeln oder sogar Overalls. In manchen Fällen müssen nur Besucher die Warnweste tragen (mit dem für die Fertigung angenehmen Nebeneffekt, dass man Externe schon von Weitem erkennt).

Abbildung 9: Warnwesten in verschiedenen Ausführungen mit Reflektoren sowie Schutzhelme. (Bild US Army Corps of Engineering, Gemeinfrei)

Nicht ganz so häufig, aber auch gelegentlich vorgeschrieben ist ein **Sicherheitshelm** oder eine andere Form des Kopfschutzes. Der Schutzhelm schützt vor herabfallenden Lasten, pendelnden Lasten oder Quetschungsrisiken. Um das Anstoßen an überhängenden Strukturen zu vermeiden, genügt oft schon eine Anstoßkappe. Diese ähnelt meist einer Baseballkappe mit eingearbeiteter Verstärkung.

Handschuhe schützen vor allem bei Arbeitern die Hände. Am häufigsten ist der mechanische Schutz vor Schnittverletzungen etwa durch scharfkantige Bleche oder vor Schürfwunden. Handschuhe können auch vor Chemikalien, Hitze, Kälte, Röntgenstrahlen, UV-Strahlen, biologischen Verunreinigungen wie z. B. Infektionen, elektrischem Strom oder Schmutz im Allgemeinen schützen.

Der **Atemschutz** ist für Besucher sehr selten, an manchen Arbeitsstellen jedoch nötig (siehe Abbildung 10). Oft ist auch zusätzlich noch eine Absaugung installiert. Prinzipiell wird unterschieden zwischen umluftabhängigen (d. h. die Umgebungsluft wird gefiltert) und umluftunabhängigen Geräten mit separater Luftversorgung. Letztere sind bei der Feuerwehr und beim Industrietauchen häufig, aber sonst sehr selten. Bei umluftabhängigen Geräten gibt es Halbmasken, welche die Augen frei lassen und Vollmasken, die das komplette Gesicht schützen. Es gibt auch batteriebetriebene Filtersysteme, insbesondere beim Schweißen. Hier ist in der Regel am Gürtel hinten ein Filter mit batteriebetriebenem Ventilator angebracht, der Luft ansaugt, filtert und über einen Schlauch in den Helm zum Gesicht pumpt. Je nach Anwendung kommen

verschiedene Filter zum Einsatz, vom Herausfiltern von Staub und anderen Partikeln bis hin zum Neutralisieren von Chemikalien, z. B. über Aktivkohle.

Abbildung 10: Von links nach rechts: Halbmaske, Vollmaske und Schweißerhelm mit batteriebetriebenem Luftfilter. (Bilder AlexChirkin und NIOSH, NPPTL, Gemeinfrei)

Für manche Anwendungen gibt es auch spezielle **Schutzkleidung**, die den ganzen Körper schützt. Ähnlich wie die Handschuhe gibt solche Kleidung Schutz vor Schnittverletzungen, Chemikalien, Hitze, Kälte, Röntgenstrahlen, UV-Strahlen, elektrischem Strom oder biologischen Verunreinigungen (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Von links nach rechts: Hitzeschutz in einer Gießerei, allgemeiner Schutz vor Schmutz und Nässe beim Hochdruckreinigen, und Chemikalienschutzanzug bei der Feuerwehr. (Bilder CEphoto, Uwe Aranas und Admin-2000 unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz sowie skeeze als Gemeinfrei)

2.3 Wartungssicherung

Als Wartungssicherung (oder auf Englisch Lock-Out-Tag) bezeichnet man Vorrichtungen, die das unbeabsichtigte Öffnen, Einschalten oder Bewegen von Stromkreisen, Hydraulik, Pneumatik, Kinematik und generell von Gefahrenquellen verhindern. Es gibt hier Plomben und Siegel, häufig kommen aber mit mehreren Vorhängeschlössern abschließbare Sicherungen wie in Abbildung 12 zum Einsatz.

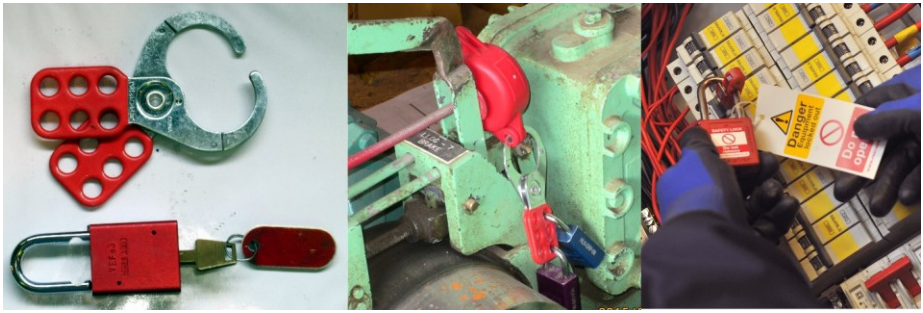

Abbildung 12: Eine geöffnete Wartungssicherung sowie eine gesicherte Wartungssicherung für eine Bremse und an einem Sicherungskasten. (Bild Wtshymanski unter der CC-BY-SA 4.0 Lizenz sowie Senior Airman Jerilyn Quintanilla, gemeinfrei.)

Insbesondere bei größeren Maschinen und Anlagen ist es möglich, dass ein Mitarbeiter in der Anlage (z.B. bei Wartungs- und Reparaturarbeiten) nicht sichtbar ist. Falls nun ein anderer Mitarbeiter die Anlage einschalten würde, könnte der Wartungsmitarbeiter verletzt oder sogar getötet werden. Jeder Mitarbeiter, der an der Wartung beteiligt ist, schließt mit seinem persönlichen Vorhängeschloss die Wartungssicherung ab. Dieses ist oft mit dem Namen des Mitarbeiters versehen. Die Anzahl der Vorhängeschlösser entspricht dabei der Anzahl der Mitarbeiter. Nur der jeweilige Mitarbeiter selbst darf sein eigenes Schloss nach Beendigung der Arbeit wieder entfernen. Wenn alle Schlösser entfernt sind ist sichergestellt, dass sich kein Mitarbeiter mehr im gefährlichen Bereich befindet. Erst dann darf und kann die Anlage wieder eingeschaltet werden.

2.4 Sicherheitskennzeichen

In Fertigungen sind in der Regel verschiedene Sicherheitskennzeichen (auch bekannt als Sicherheitszeichen) angebracht. Sie dienen der Verhütung von Unfällen, dem Schutz der Umwelt, der Rettung und Hilfe bei Unfällen sowie in geringerem Maße auch dem Schutz der Anlagen und Produkte. Das Anbringen von Sicherheitskennzeichen ist in Deutschland durch die Berufsgenossenschaft geregelt und vorgeschrieben. Die Zeichen sind europaweit und teilweise auch international abgestimmt.

2.4.1 Verbotszeichen

Verbotszeichen verbieten bestimmte Aktionen und Verhalten. Ein Verbotszeichen besteht aus einem weißen runden Schild mit einen roten, durchgestrichenen Kreis sowie einem schwarzem Piktogramm zum jeweiligen verbotenen Verhalten. Eine Auswahl an Verbotszeichen ist in Abbildung 13 dargestellt. Diesen Verboten ist Folge zu leisten!

Abbildung 13: Ausgewählte Verbotszeichen nach DIN EN ISO 7010. (Bilder von Maxxl2 und Bloody666, Gemeinfrei)

2.4.2 Gebotszeichen

Gebotszeichen sind Anweisungen zu bestimmten Verhalten, meist bezüglich des Tragens von persönlicher Schutzausrüstung. Gebotszeichen sind runde blaue Schilder mit einem weißen Piktogramm zum passenden Gebot. Eine Auswahl ist in Abbildung 14 dargestellt. Diesen Geboten ist Folge zu leisten!

Abbildung 14: Ausgewählte Gebotszeichen nach DIN EN ISO 7010. (Bilder von Maxxl2 und Bloody666, Gemeinfrei)

2.4.3 Warnzeichen

Warnzeichen warnen vor Risiken und Gefahren. Ein Warnzeichen ist ein gelbes Dreieck mit schwarzem Rand und einem schwarzen, zur Gefahr passenden Piktogramm. Eine Auswahl ist in Abbildung 15 dargestellt.

Abbildung 15: Ausgewählte Warnzeichen nach DIN EN ISO 7010. (Bilder von Maxxl2 und Bloody666, Gemeinfrei)

2.4.4 Rettungszeichen

Rettungszeichen sind Zeichen, die auf Einrichtungen und Geräte zur Rettung sowie Rettungswege hinweisen. Es handelt sich dabei um rechteckige Schilder mit weißem Piktogramm auf grünem Hintergrund. Eine Auswahl ist in Abbildung 16 dargestellt.

Abbildung 16: Ausgewählte Rettungszeichen nach DIN EN ISO 7010. (Bilder von Maxxl, Boody666, und Virtruv, Gemeinfrei)

2.4.5 Brandschutzzeichen

Brandschutzzeichen sind Zeichen, die auf Hilfsmittel zur Meldung und Bekämpfung von Bränden hinweisen. Diese Zeichen sind weiße Piktogramme auf rotem rechteckigem Grund. Eine Auswahl ist in Abbildung 17 dargestellt.

Abbildung 17: Ausgewählte Brandschutzzeichen nach DIN EN ISO 7010. (Bilder von Maxxl, Gemeinfrei)

2.5 Umweltschutz

In Fertigungsbereichen werden häufig Chemikalien und andere Stoffe benutzt, welche die Umwelt schädigen können. Das Unternehmen ist hier sowohl gesetzlich als auch moralisch verpflichtet die Umwelt zu schützen. Dies bedeutet vor allem zu vermeiden, dass Luft, Wasser oder Boden verschmutzt werden. Darüber hinaus sind weitere Belastungen reglementiert, etwa Grenzwerte für das Abführen von Wärme über Kühlwasser sowie Licht- und Lärmbelästigung von Umwelt und Nachbarschaft. So hat mir beispielsweise ein Werksleiter berichtet, dass er im Hochsommer das aus dem Fluss entnommene Kühlwasser eigentlich kälter wieder zurückführen müsse als es entnommen wurde.

Zum Schutz der Umwelt gibt es in der Fertigung oft eine Vielzahl an Regeln und Einrichtungen, und zwar sowohl für den normalen Betrieb als auch für den Fall von Unfällen. Beispielhaft ist in Abbildung 18 eine Auffangwanne dargestellt, die gegebenenfalls bei undichten Fässern die enthaltene Flüssigkeit zurückhalten kann, um Verunreinigungen zu verhindern. Die Fässer stehen auf einem Gitterrost, die Wanne darunter hat genügend Volumen, um ihren kompletten Inhalt aufzunehmen. Auch Luftfilter und Kläranlagen werden in der Industrie häufig eingesetzt um Luft und Wasser rein zu halten. Zudem gibt es Auffangbecken für Löschwasser im Brandfall, damit kein mit giftigen Stoffen vermischtes Löschwasser in die Umwelt gelangt. Es ist aber natürlich besser, Schadstoffe gar nicht erst zu erzeugen anstatt diese im Nachhinein aufzufangen oder herauszufiltern. Halten Sie in der Fertigung stets die Umweltschutzvorschriften ein, um Schaden von der Umwelt fernzuhalten.

Abbildung 18: Skizze einer Auffangwange, die auslaufende Flüssigkeiten auffangen kann. (Bild Roser)

2.6 Produktqualität

Weitere Verhaltensvorschriften in der Fertigung betreffen die Produktqualität. Abhängig vom Produkt kann eine falsche Handhabung schnell Schäden hervorrufen.

Ein häufiges Risiko vor allem für Elektronikbauteile sind elektrostatische Entladungen, oft mit ESD für *Electrostatic Discharge* abgekürzt. Dies ist statische Elektrizität, die sich in einem kleinen Blitz entladen kann. Für den Menschen ist das in der Regel ungefährlich, die Spannung kann aber elektronische Bauteile zerstören. Deshalb ist in Elektronikfertigungen oft Kleidung vorgeschrieben, die diese Spannungen ableiten kann. Dabei handelt es sich vor allem um ESD-Schuhe und ESD-Jacken oder auch um geerdete ESD-Armbänder. Für Besucher gibt es auch Überschuhe oder Kontaktbänder. Abbildung 19 zeigt ein Beispiel einer Elektronikfertigung im ESD-Reinraum.

Abbildung 19: Fertigung mit ESD- und Reinraum-Schutzanzügen. Beachten Sie das geerdete ESD-Armband, welches rechts nochmals im Detail dargestellt ist. Im rechten Bild ist auch das gelbe ESD Symbol zu sehen. (Bild Steve Jurvetson unter der CC-BY 2.0 Lizenz sowie Sebastian Kling, Gemeinfrei)

Elektronische Bauteile, aber auch Lebensmittel müssen vor Verunreinigungen geschützt werden. Insbesondere die Fertigung von integrierten Schaltkreisen erfordert höchste Reinraumbedingungen. Dies sind mit die saubersten Räume in der Industrie. Hierzu gibt es Ganzkörperschutzanzüge mit Handschuhen, Masken und Schuhen oder Überschuhen, so dass ja kein Haar oder keine Hautschuppe in das Produkt gelangen kann – wie in Abbildung 20 dargestellt. Die Reinräume werden durch Überdruck-Luftschleusen betreten, welche die Außenluft aus dem Reinraum heraushalten. Zusätzlich können in der Luftschleuse über Düsen Staubpartikel von der Kleidung abgeblasen sowie Schuhsohlen gereinigt werden.

Abbildung 20: Reinraumbekleidung bei der Chipherstellung. (Bild Matthias ic unter der CC-BY-SA 4.0 Lizenz)

Weniger penibel, aber auch auf Sauberkeit bedacht ist die Lebensmittelherstellung. Neben Händewaschen und Schuhabstreifen ist es hier vor allem wichtig, Haare in den Lebensmitteln zu vermeiden. Hierzu sind meist Haarnetze oder -hauben vorgeschrieben sowie bei Bartträgern oft zusätzlich Bartnetze (siehe Abbildung 21). Ein Mundschutz reduziert das Risiko der Verunreinigung durch Niesen oder Husten.

Abbildung 21: Haarnetze, Jacken, und Handschuhe in der Lebensmittelindustrie. (Bild Auremar mit Genehmigung)

In den Endmontagen der Automobilindustrie findet sich häufig spezielle Kleidung zum Schutz des Produkts. Sie hat keine Metallknöpfe oder Schnallen, sondern Gummiknöpfe. Hierdurch werden Kratzer am Produkt vermieden. Zusätzlich werden oft Schutzmatten über kritische Teile wie Kotflügel gelegt, damit beim Hineinbeugen in der Montage keine Kratzer entstehen.

Abbildung 22: Endmontage in der Automobilfertigung. Gut sichtbar ist die Rosa Abdeckung am Kotflügel zum Schutz gegen Kratzer. (Bild Ford Motor Company unter der CC-BY-SA 2.0 Lizenz)

Es gibt etliche weitere Vorschriften und Regeln, um das jeweilige Produkt vor Schaden zu schützen und um die bestmögliche Qualität zu erreichen. Allgemein sollten Sie die Regeln zum Schutz der Umwelt und des Produkts sowie Ihrer Kollegen und Mitarbeiter und nicht zuletzt zu Ihrem eigenen Schutz stets einhalten.

2.7 Umgang mit Mitarbeitern

Ein weiterer wichtiger Aspekt für den Erfolg in der Produktion ist der Umgang mit den Mitarbeitern. Dieser wird in der Praxis leider oft vernachlässigt. Ein nachlässiger und überheblicher Umgang mit den Mitarbeitern hat bedauerlicherweise Tradition. So sagte zum Beispiel Frederick Taylor, der Begründer der Arbeitswissenschaften, „*einen intelligenten Gorilla könnte man so abrichten, dass er ein mindestens ebenso tüchtiger [Arbeiter] würde als irgendein Mensch*“. Auch Henry Ford klagte: „*Warum kriege ich jedes Mal, wenn ich ein Paar Hände benötige, auch einen Kopf dazu?*“

Abbildung 23: Der gute Umgang mit den Mitarbeitern ist wichtig! (Bild Cherie A. Thurlby, United States Department of Defense, Gemeinfrei)

Ein respektloser Umgang mit den Mitarbeitern fällt aber über kurz oder lang auf Sie zurück. Sie sind auf die Mitarbeiter und deren guten Willen mehr angewiesen als Sie glauben. Daher hier zehn Gebote für einen guten Umgang mit den Mitarbeitern. Je nachdem, welche Rolle Sie innehaben, müssen Sie natürlich nicht jedes Gebot jedes Mal sklavisch einhalten. So sollten Sie sich als neuer Vorgesetzter am Anfang einmal vorstellen, dann aber natürlich nicht bei jedem Besuch noch einmal.

2.7.1 Kündigen Sie Ihren Besuch an

Idealerweise informieren Sie kurz vor Ihrem Besuch die Vorarbeiter in der Fertigung: Wer kommt, wann und vor allem warum? Diese können die Informationen dann an die Mitarbeiter in der Fertigung weitergeben. Dadurch können Fragen oder Probleme im Zusammenhang mit dem Besuch im Vorfeld angesprochen werden. Wichtig: Stellen Sie sicher, dass Sie die richtige Schicht informieren. Es ist keinem geholfen, wenn die Vormittagsschicht weiß, dass am Nachmittag Besuch kommt (alles schon passiert – und zwar mehr als einmal). Natürlich ist das nur für Besucher sinnvoll, die nicht sowieso regelmäßig in der Fertigung sind, also beispielsweise für Führungskräfte von außerhalb des Werks, externe Berater oder andere externe Besucher.

2.7.2 Stellen Sie sich vor

Jedes Mal, wenn Sie einen Prozess in der Fertigung beobachten, sollten Sie sich den dort arbeitenden Menschen vorstellen. Sagen Sie hallo, Ihren Namen und aus welchem Bereich/welcher Firma sie kommen. Seien Sie offen, freundlich und befolgen Sie die Regeln der Etikette. Zum Beispiel ist es in Deutschland üblich die Hände zu schütteln. In Asien ist eine höfliche Verbeugung angemessen (mit der Tiefe der Verbeugung je nach Rang der beteiligten Personen). Und in den USA ist ein freundliches *"How are you?"* weit verbreitet. Ob Sie sich mit dem Vornamen oder dem Nachnamen vorstellen, hängt sehr stark von den lokalen Gepflogenheiten ab. In den USA wird z. B. oft der Vorname verwendet, während in Europa Vornamen meist nur unter Freunden genutzt werden. In Asien sind Vornamen oft lediglich für Kinder und Hunde gebräuchlich.

Natürlich hängt die Begrüßung auch vom Umfang des Besuchs ab. Wenn Sie das ganze Werk besichtigen, werden Sie sich nicht jedem Einzelnen vorstellen. Wenn Sie sich auf einen Prozess fokussieren, sollten Sie dies aber auf jeden Fall tun.

2.7.3 Erklären Sie, was Sie tun und vor allem warum

Jetzt, da Sie eingetroffen sind und sich vorgestellt haben, wollen die Anwesenden natürlich wissen, warum Sie da sind. Eventuell haben die Mitarbeiter bereits über eine Vorankündigung ein paar Informationen bekommen, aber es ist trotzdem hilfreich, hierzu noch ein paar Worte zu sagen. Am interessantesten ist für die Leute vor Ort, ob es Pläne gibt etwas an ihrer

Arbeit zu verändern. Am einfachsten ist die Situation, wenn Sie nur den aktuellen Status sehen möchten und keine Änderungen planen. Schwieriger ist es, wenn Sie tatsächlich das Arbeitsumfeld verändern möchten. Am schwierigsten ist es natürlich dann, wenn diese Änderungen unangenehm für die Mitarbeiter sein könnten.

Die Mitarbeiter sind gegenüber Veränderungen meist skeptisch eingestellt. Zum einen sind Veränderungen für die meisten Menschen eine Zeit der Unsicherheit. Zum anderen kann es sein, dass die Mitarbeiter schlicht und einfach negative Erfahrungen in der Vergangenheit gemacht haben. Oft ist es so, dass angekündigten positiven Veränderungen wenig Glauben geschenkt wird, während negative Veränderungen noch viel schlimmer erwartet werden als angedeutet. Auch das sind leider oft Erfahrungswerte der Mitarbeiter aus der Vergangenheit. Insgesamt kann dies ein ziemliches Minenfeld sein.

Daher sollten Sie für alle möglichen negativen Aspekte einen wasserdichten Grund haben. Wenn Sie zum Beispiel vorhaben, die Anzahl der Mitarbeiter zu reduzieren, könnte eine Argumentation sein, dass die Arbeitskraft für eine andere Linie oder ein anderes Produkt benötigt wird. Im schlimmsten Fall, wenn Sie die Veränderungen überhaupt nicht positiv darstellen können, sagen Sie vielleicht besser gar nichts.

Auch hier gilt natürlich die Verhältnismäßigkeit. Wenn Sie nur das Werk sehen wollen, kann man diesen Schritt auch überspringen. Die meisten Mitarbeiter sind es gewöhnt, dass Manager mit Helikopterperspektive durch das Werk schwirren und von der eigentlichen Sache nicht wirklich etwas mitkriegen.

2.7.4 Machen Sie dem Mitarbeiter nicht das Leben schwer

Dieser Punkt sollte eigentlich selbstverständlich sein. Die Fertigung steht meist unter hohem Zeit- und Kostendruck, und viele Mitarbeiter werden nach Akkord bezahlt. Wenn Sie im Weg stehen, schaden Sie dem Werk im Allgemeinen und dem Einkommen des Mitarbeiters im Speziellen. Hier sind ein paar Punkte, auf die Sie achten sollten.

Blockieren Sie nicht die Mitarbeiter bei der Arbeit! Den Arbeitern soll klar sein, dass sie Sie bei Bedarf auffordern dürfen, aus dem Weg zu gehen. Das gilt insbesondere für größere Besuchergruppen. In solchen Gruppen sollten alle Teilnehmer diese Regeln kennen. Eventuell kann man auch größere Gruppen aufteilen, um die Behinderung an einzelnen Stationen zu reduzieren. Behinderungen zu vermeiden gilt es natürlich auch gegenüber der internen Logistik. Blockieren Sie keine Gabelstapler oder Transportzüge!

Halten Sie die Augen offen für Sicherheitslichtschranken, meist gelbe Säulen um den Arbeitsbereich einer Maschine. Diese stoppen eine Maschine, sobald etwas den Lichtstrahl unterbricht. Natürlich ist das eine wichtige Sicherheitseinrichtung, aber auch ein Ärgernis, wenn ein Besucher durch seine Unachtsamkeit die Arbeit zum Stillstand bringt. Ich kann Ihnen aus eigener

Erfahrung sagen, dass es für Besucher durchaus peinlich ist, durch eine Unaufmerksamkeit die Arbeit anderer zu unterbrechen.

Halten Sie die Lärmbelästigung in Grenzen. Eine Fertigung ist meist ordentlich laut, aber eine größere Gruppe kann noch mehr Krach erzeugen. Verwenden Sie auf gar keinen Fall ein Megaphon, sondern stattdessen bei Bedarf Kopfhörer und ein Funkmikrofon.

Berühren Sie nichts, es sei denn Sie wissen wirklich was Sie tun. Als junger und weniger erfahrener Student hatte ich die Gelegenheit ein Werk genauer zu studieren. An einer Stelle nahm ich ein kleines Metallteil von einem Förderband, um es mir im Detail anzusehen und danach zurückzulegen. Die Mitarbeiterin nebenan nahm mit einem Seufzer dieses und die danebenliegenden Teile vom Band und schmiss sie in eine Kiste. Auf Nachfrage stellte sich heraus, dass die Teile gewaschen und fettfrei waren (bzw. durch meinen Fehler natürlich nicht mehr und nun nochmals gewaschen werden mussten). Machen Sie nicht den gleichen Fehler! Das ist aber immer noch besser als der Besucher einer Gießerei, der aus Neugier ein Metallteil vom Boden aufhob – nur um festzustellen, dass es noch 500°C heiß war. Dem Teil war das egal, es war ohnehin Abfall. Den Fingerspitzen war es aber nicht egal, der Besucher trug Verbrennungen dritten Grades davon. Derartige Vorfälle sind weder für das Werk noch für den Besucher schön.

Seien Sie pünktlich. Eigentlich auch eine Selbstverständlichkeit, aber seien Sie für Meetings und Treffen mit den Mitarbeitern pünktlich bzw. sogar etwas zu früh. Wenn Sie z. B. einen Umrüstvorgang beobachten wollen, wäre es sehr unpassend wenn alle auf Sie warten müssten.

Keine Souvenirs, zumindest nicht ohne Erlaubnis. Auch diese Regel sollte eigentlich jedem klar sein, aber leider gibt es immer noch zu viele Ausnahmen. Auch wenn ein Teil nicht wertvoll aussieht, kann sein Fehlen dennoch die gesamte Fertigung zum Stillstand bringen. Daher definitiv keine Souvenirs ohne Erlaubnis, da es sich dabei letztendlich um Diebstahl handelt. So habe ich z. B. schon Entwicklungsabteilungen erlebt, die die Fertigung als persönliche Ersatzteilkiste angesehen haben, und – bevorzugt nach Schichtende – Teile für eigene Projekte entnommen haben, ohne nach Erlaubnis zu fragen oder auch nur zu informieren. Am nächsten Tag ist dann oft die Fertigung stillgestanden, weil von zehn Teilen nur noch neun da waren.

2.7.5 Würdigen Sie die Arbeit und die Arbeiter in der Fertigung

Damit die Mitarbeiter Ihre Arbeit wertschätzen können ist es wichtig, dass Sie Ihrerseits die Arbeit der Mitarbeiter schätzen.

Nehmen Sie die Hände aus den Taschen. In der Fertigung wird in der Regel körperlich gearbeitet. Wenn Sie mit den Händen in den Taschen entlangspazieren, wirkt das respektlos gegenüber den Arbeitern und deren

Tätigkeiten. Falls Sie länger an einer Stelle bleiben, lehnen Sie sich nicht an die Wand oder die Maschine an. Das wirkt überheblich und bequem und ist respektlos gegenüber den Mitarbeitern, die sich diese Bequemlichkeit nicht leisten können.

Essen und trinken Sie nichts in der Fertigung außer in den dafür vorgesehenen Pausenbereichen, selbst wenn es überall erlaubt sein sollte. Wenn Sie mit einer Kaffeetasse durch die Fertigung laufen, erinnert das die Mitarbeiter daran, dass sie wegen ihrer Arbeit eben keine Zeit für einen Kaffee haben.

Understatement! Anzug und Krawatte mögen Ihnen im Konferenzraum Respekt verschaffen, in der Fertigung werden Sie dadurch zu einem Fremdkörper. Abhängig von den Gegebenheiten wäre ein Blaumann aber meist auch wieder zu viel der Anpassung. Finden Sie hier einen Mittelweg. Das Gleiche gilt für akademische Titel. Wenn Sie sich als *Prof. Dr.* vorstellen, kommen sie kaum noch auf einen grünen Zweig bei Gesprächen mit den Leuten vor Ort. Persönlich vermeide ich es, meine Titel zu erwähnen. Die einzige Ausnahme wäre ggf. ein *Meister*-Titel, der in der Fertigung oft ein hohes Ansehen genießt (und dies im Konferenzraum auch haben sollte).

2.7.6 Hören Sie zu!

Das ist vielleicht eine der wichtigsten Regeln. Zum einen kann man sich durch Zuhören, insbesondere durch aktives Zuhören mit Rückfragen, enormen Respekt verschaffen. Es kann sogar sein, dass die Fertigungsmitarbeiter überrascht sind, dass sich überhaupt jemand für ihre Meinung interessiert. Sobald sie ihre Verblüffung überwunden haben, werden sie Ihnen Achtung und Interesse entgegenbringen.

Darüber hinaus sind die Fertigungsmitarbeiter natürlich auch eine wichtige Informationsquelle. Niemand kennt die Maschinen und Prozesse so gut wie die Leute, die täglich damit arbeiten. Insbesondere bei Verbesserungsprojekten kommen oft viele gute Ideen direkt aus der Fertigung – wenn man die Leute nur danach fragt. Natürlich ist nicht jeder Mitarbeiter ein Genie, und manche Ideen sind auch Mist – aber das gilt genauso für Sachbearbeiter und Manager. Hören Sie alle Ideen an und trennen Sie danach die guten von den schlechten. Alleine durch das Zuhören werden Sie sich Respekt verschaffen.

2.7.7 Befolgen Sie die lokalen Regeln

Als Besucher sollten Sie selbstverständlich die lokalen Regeln und Richtlinien befolgen. Das betrifft z. B. die **Sicherheitsausrüstung**. Wenn Sicherheitsschuhe, Sicherheitsbrille, reflektierende Weste, Gehörschutz, Helm oder Ähnliches vorgeschrieben ist, dann gilt das natürlich für alle. Letztendlich dient das Ihrem eigenen Schutz. Leider sieht man allzu oft Manager, die diese Regeln ignorieren. Auch wenn es *„nur ganz kurz“* ist und Sie *„eigentlich gar nicht da“* sind: Sie riskieren zum einen Ihre eigene Gesundheit, zum anderen

stellen Sie ein schlechtes Vorbild für andere dar. Persönlich habe ich immer meine eigene Schutzausrüstung im Kofferraum, also Schuhe, Brille und Weste. Letztere ist sogar mit Namen und Logo bedruckt, wobei ich wie oben empfohlen konsequent alle Titel weggelassen habe.

Das Gleiche gilt natürlich für den **Schutz des Produkts**. ESD-Jacken in der Elektronikfertigung oder Schutzanzüge im Reinraum gelten ebenfalls für alle. Auch hier halten sich manche Vorgesetzte für etwas Besseres. In einem Werk war es zum Beispiel strikt verboten, über die Förderbänder zu laufen, weil dadurch die Produkte (Karton) verschmutzen könnten. Diese Regel hat aber die eigene Werksleitung konsequent ignoriert. Innerhalb kürzester Zeit sind natürlich alle über die Bänder gegangen.

Halten Sie sich auch an alle **anderen sonstigen Regeln**. In manchen Werken gibt es z. B. markierte Laufwege, die man nicht verlassen darf. Des Weiteren gibt es zur Sicherheit oft unterschiedliche Türen für Fußgänger und Fahrzeuge. Halten Sie sich daran und laufen Sie nicht diagonal durchs Gelände. Wieder ein anderer Werksleiter hat den Behindertenparkplatz konsequent als seinen Privatparkplatz genutzt. Aber es gilt auch hier: Dummheit ist keine Behinderung! Er hätte ja als Werksleiter problemlos das Schild austauschen lassen und den Parkplatz auch offiziell zu seinem eigenem machen können.

2.7.8 Nutzen Sie Stoppuhren und Kameras nur mit Erlaubnis

Ein ganz heißes Thema in der Fertigung sind Zeiterfassungen, Fotos und Videoaufnahmen. Zum einen geht es hier um den Schutz des geistigen Eigentums. In der Regel dürfen Sie als Besucher nicht fotografieren. Auch als Mitarbeiter oder Führungskraft ist normalerweise eine Genehmigung erforderlich. Das ist hier aber das kleinere Problem.

Viel wichtiger ist der Einfluss auf die Mitarbeiter und deren Persönlichkeitsrechte. Insbesondere Stoppuhren sind ein rotes Tuch. Ich habe schon mehr als einen Praktikanten gesehen, der in bester Absicht Zeitmessungen begonnen hat, nur um innerhalb kürzester Zeit durch einen hinzugerufenen Betriebsrat vor die Türe gesetzt zu werden. In einem Fall war die Messung beispielsweise nach Absprache mit den Mitarbeitern und dem Betriebsrat doch kein Problem, aber den ganzen Ärger hätte man vermeiden können, indem man die Absprache **vorab** durchführt. Gleiches gilt für Fotos und Videos, auf denen Personen zu sehen sind. Oft ist es hilfreich, solche Messungen und Aufnahmen durch Fertigungsmitarbeiter selbst durchführen zu lassen, um eine bessere Akzeptanz zu erzeugen.

Auch wenn in anderen Ländern die Mitarbeiter nicht immer das Recht haben, solche Aufnahmen zu unterbinden, ist es auch hier zielführend, die Mitarbeiter vorab zu informieren. Dies vermeidet offene oder versteckte Konfliktsituationen.

2.7.9 Verabschieden und bedanken Sie sich

Genauso wie Sie sich am Anfang kurz vorgestellt haben, sollten Sie sich am Ende verabschieden. Falls es passt, kann man sich auch noch für die Unterstützung und Geduld bedanken. Ähnlich wie bei der Vorstellung ist das natürlich eher dann sinnvoll, wenn Sie an einer Stelle länger mit den Leuten zusammen waren. Laufen Sie aber in jedem Fall möglichst nicht einfach weg, weil das einen bleibenden negativen Eindruck hinterlässt.

2.7.10 Geben Sie Rückmeldung

Je nachdem, warum Sie die Fertigung besucht haben, können daraus verschiedene Excel-Tabellen oder PowerPoint-Slides entstehen – oder vielleicht sogar echte Verbesserungsmaßnahmen. Wenn Sie hierzu enger mit den Mitarbeitern zusammengearbeitet haben, gebietet es die Höflichkeit, sie auch über die Ergebnisse zu informieren. Das sollte natürlich nicht in einer dreistündigen Präsentation passieren, sondern sowohl in Länge als auch in Inhalt den Fertigungsmitarbeitern angepasst sein. Daher auch keine *Executive Summary*, sondern eher eine *Operative Summary* mit vielleicht den wichtigsten ein oder zwei Diagrammen, die Sie den Leuten kurz vorstellen. Achten Sie aber darauf, dass keine vertraulichen Informationen aus der Führungsebene enthalten sind.

Wenn die Mitarbeiter Sie nicht nur toleriert, sondern aktiv unterstützt haben, können Sie sich mit einer kleinen Aufmerksamkeit bedanken. Ich selbst habe gute Erfahrungen mit einer Großpackung Gummibärchen gemacht. Ein Eimer Süßigkeiten kostet nur wenige Euro, aber der positive Eindruck bei den Mitarbeitern ist oft unbezahlbar. Das Teilen von Naschwerk kann natürlich auch schon während der gemeinsamen Arbeit in der Fertigung hilfreich sein.

3 Werkstoffe

3.1 Metalle

3.1.1 Grundlagen

Metalle sind in der Industrie enorm wichtige Materialien. Denn sie haben frei bewegliche Elektronen, was vier charakteristische Eigenschaften erzeugt: Eine gute **elektrische Leitfähigkeit**, eine gute **Wärmeleitfähigkeit**, **Duktilität** (Verformbarkeit) und einen **metallischen Glanz**.

Metalle können auf verschiedene Arten eingeteilt werden. Eine Unterteilung ist die in Leichtmetalle mit einer Dichte unter 5g/cm^3 wie Aluminium, Magnesium, Lithium oder Titan und die häufigeren Schwermetalle mit über 5g/cm^3. Zu den Schwermetallen gehören z. B. Eisen, Kupfer, Blei, Wolfram, Zinn, Zink, Chrom, Kobalt, und Nickel. Eine weitere wichtige Gruppe sind Edelmetalle, also Gold, Silber, Platin und Palladium, die normalerweise nur langsam oder gar nicht korrodieren. Alle Edelmetalle sind auch Schwermetalle.

Die Abbildung 24, Abbildung 25, Abbildung 26, und Abbildung 27 zeigen die Schmelztemperatur, Dichte, elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Metalle und Legierungen. Abbildung 28 gibt einen Überblick über die Preise ausgewählter Metalle und Legierungen. Anders als die physikalischen Eigenschaften sind diese über die Zeit hinweg jedoch stark veränderlich und können nur als Orientierung genutzt werden. So hat sich beispielsweise der Goldpreis zwischen 2002 und 2017 mehr als verdreifacht. Beachten Sie auch die logarithmische Skala der Preise. Abbildung 29 zeigt die ungefähre Weltproduktion ausgewählter Metalle in 2016, ebenfalls auf einer logarithmischen Skala.

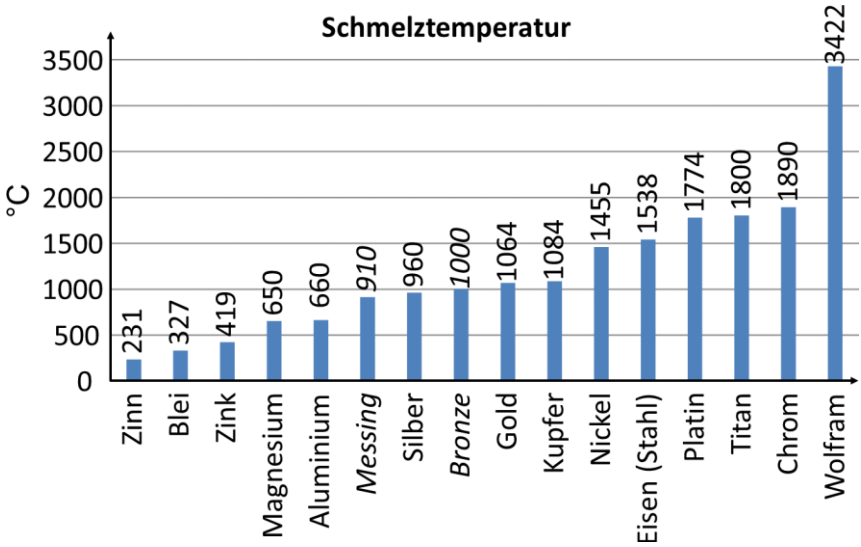

Abbildung 24: Schmelztemperatur ausgewählter Metalle und Legierungen. Werte für Legierungen ungefähr. (Bild Roser)

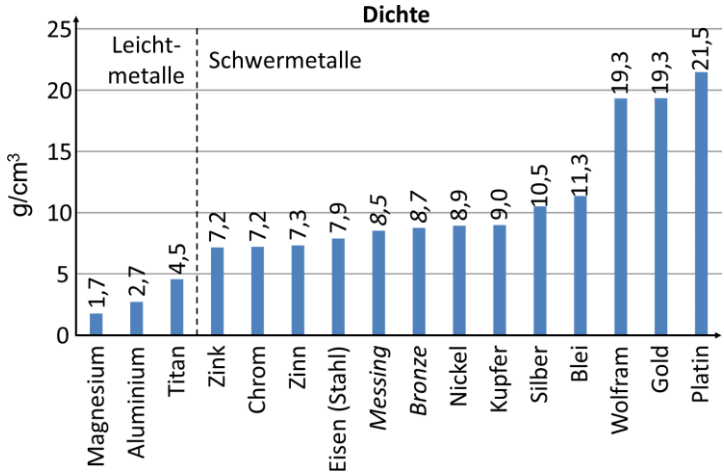

Abbildung 25: Dichte ausgewählter Metalle und Legierungen. Werte für Legierungen ungefähr. (Bild Roser)

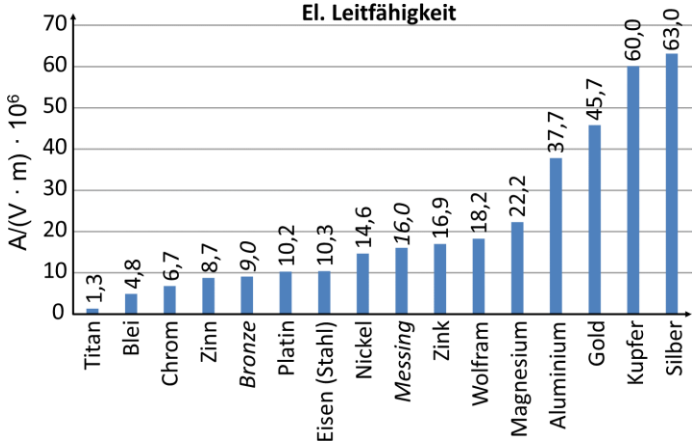

Abbildung 26: Elektrische Leitfähigkeit ausgewählter Metalle und Legierungen. Werte für Legierungen ungefähr. (Bild Roser)

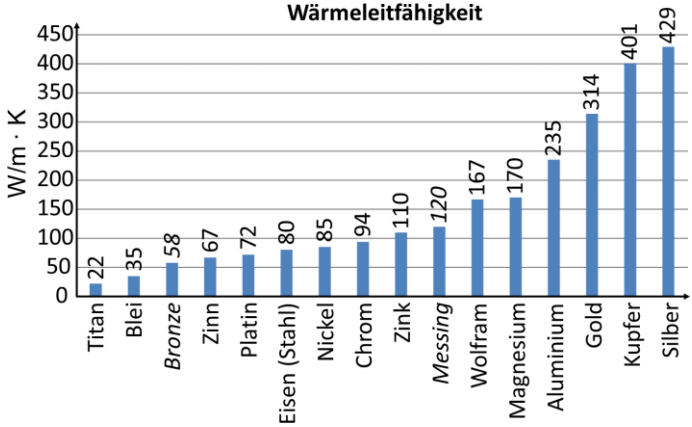

Abbildung 27: Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Metalle und Legierungen. Werte für Legierungen ungefähr. (Bild Roser)

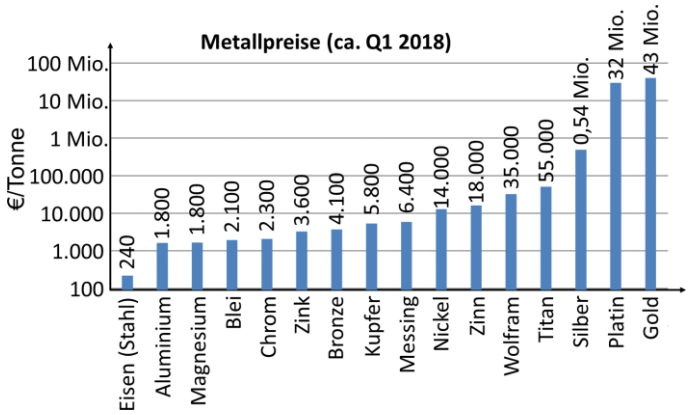

Abbildung 28: Preise ausgewählter Metalle und Legierungen. Beachten Sie die logarithmische Skala. Beachten Sie auch, dass sich diese Preise über die Zeit hinweg verändern, und auch stark von der Reinheit des Materials und der Legierung abhängen. (Bild Roser)

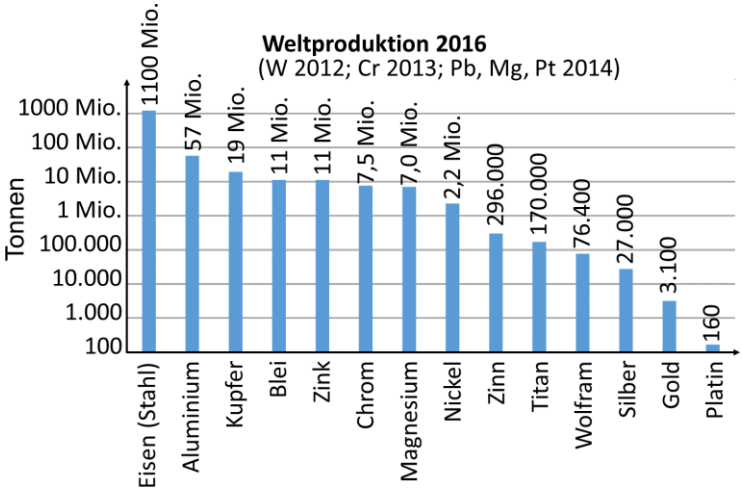

Abbildung 29: Weltproduktion ausgewählter Metalle in Tonnen. Beachten sie die logarithmische Skala. (Bild Roser)

3.1.2 Eisen und Stahl

Das wichtigste industrielle Metall ist Eisen, da es auch das günstigste ist. Wie die meisten anderen Metalle wird das chemische Element Eisen nicht in reiner Form verwendet, sondern in Mischung mit anderen Elementen, einer **Legierung**. Dies kann die Eigenschaften des Metalls signifikant verändern und verbessern.

Bei Eisen sind insbesondere Legierungen mit bis zu 2% Kohlenstoff häufig – der **Stahl**. Diese Legierungen sind wesentlich härter als reines Eisen (siehe auch 10.2.3). Eisenlegierungen mit 2 bis ca. 4% Kohlenstoff sind **Gusseisen**, welche man gut gießen, aber nur schlecht umformen oder härten kann. Eisen mit über 5% Kohlenstoff ist **Roheisen**, das für eine industrielle Verwendung

erst aufbereitet werden muss (siehe 4.2). Eine Auswahl dieser Eisenlegierungen ist in Abbildung 30 dargestellt.

Abbildung 30: Von links nach rechts: Reines Eisen, Zahnrad aus Stahl, Wasserrohrflansch aus Gusseisen und Roheisen, in unterschiedlichen Maßstäben. (Bilder W. Oelen unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz, Roser, und pxhere gemeinfrei)

Weitere häufige Legierungsbestandteile sind Aluminium oder Bor für höhere Härte; Chrom, Kupfer, Nickel oder Mangan für bessere Festigkeit; Chrom ab 12% auch für Rostbeständigkeit bei Edelstahl; sowie Molybdän für bessere Zugfestigkeit und Warmfestigkeit.

3.1.3 Aluminium

Aluminium ist nach Eisen das zweitgünstigste und auch zweithäufigste Metall in der Industrie. Der Jahresverbrauch an Aluminium entspricht etwa 10% des Jahresverbrauchs an Eisen. Im Gegensatz zu Eisen ist es sehr leicht. Es oxidiert schnell an der Luft, diese Oxidschicht schützt dann aber das darunterliegende Aluminium vor weiterer Korrosion. Je nach Legierung kann Aluminium Festigkeiten nahe dem Stahl erreichen, ist aber wesentlich leichter. Daher findet dieses Metall häufig in der Luft- und Raumfahrt sowie im Automobilbau, aber auch bei Verpackungen und Kochtöpfen Verwendung. Aluminium ist häufig legiert mit Kupfer, Mangan, Magnesium und Zink. Abbildung 31 zeigt Beispiele für Aluminium und Magnesiumteile.

Abbildung 31: Von links nach rechts: Druckguss-Kühlkörper aus Aluminium sowie Aluminiumhalterung aus einem Projektor, komplexes Magnesium-Druckgussteil und Magnesium-Strukturplatte aus einem Smartphone, in unterschiedlichen Maßstäben. (Bilder Roser)

3.1.4 Magnesium

Magnesium ist das leichteste Metall, aber recht teuer und wesentlich weniger fest und hart als Aluminium. Zudem kann es brennen. Trotzdem wird es oft eingesetzt, wenn das Gewicht die kritische Größe ist. Viele Mobiltelefone und Laptops enthalten strukturelle Teile aus Magnesium, aber auch in Luft- und Raumfahrt sowie im Automobilbau wird das Material verwendet. Es ist zudem ein häufiger Bestandteil in Legierungen mit anderen Metallen.

Magnesiumlegierungen sind sehr gut zu gießen und auch im Druckguss häufig. Abbildung 31 zeigt Beispiele hierzu.

3.1.5 Kupfer, Messing und Bronze

Kupfer ist ein hervorragender Leiter von Elektrizität und Wärme, nur das teurere Silber ist besser. Neben Gold ist es eines der wenigen Metalle mit einer Farbe. Kupfer ist weich, leicht verformbar und teuer und wird daher für Strukturelemente meist nicht eingesetzt. Es ist das einzige Metall, das häufig in reiner Form verwendet wird, und zwar für Stromkabel, die oft 99,9% reines Kupfer enthalten. Zusätze würden hier die Leitfähigkeit herabsetzten. Es wird auch häufig für Kühlkörper benutzt.

Kupfer wird auch in Legierungen mit anderen Metallen eingesetzt. Insbesondere die Legierungen mit Zinn und Zink sind so häufig, dass sie eigene Namen bekommen haben. **Messing** ist eine Legierung aus mehr als 60% Kupfer und bis zu 40% Zink. Optional sind auch Blei- und Nickelanteile oft zu finden. Diese Legierung ist sehr hart und korrosionsbeständig und wird daher häufig für Armaturen (Wasserhähne etc.) und Schiffsteile (Beschläge, Schiffsschrauben) verwendet. Während sich Stahlteile ohne Schmierung schnell festfressen („Kolbenfresser“), hat Messing gute Notlaufeigenschaften und wird oft für Lager von beweglichen Teilen eingesetzt.

Abbildung 32: Beispiele für Kupfer und Kupferlegierungen in unterschiedlichen Maßstäben. Links oben im Detail Kupferdrähte mit fast reinem Kupfer. Rechts daneben eine Düse aus einer Kupferlegierung für das autogene Brennschneiden. Darunter ein T-Stück für Wasserrohre aus Messing. Ganz rechts die Bronzestatue des Faustkämpfers vom Quirinal etwa aus dem 3. Jahrhundert v. Chr. (Bilder Petar Milošević unter der CC-BY-SA 4.0 Lizenz, Roser, und MatthiasKabel unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz)

Bronze ist allgemein eine Legierung ab 60% Kupfer, aber mit wenig oder gar keinem Zink. Häufige Anteile sind bis zu 20% Zinn oder bis zu 26% Blei. Diese ebenfalls sehr harte Legierung wird oft eingesetzt für Skulpturen und Glocken. Abbildung 32 zeigt Beispiele für ausgewählte Kupferlegierungen. Die Farbtöne bei Bronze und Messing können je nach Legierung sehr unterschiedlich sein.

3.1.6 Titan

Titan hat eine sehr hohe Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Da es bei sehr geringer Dichte eine ähnliche Festigkeit wie Stahl aufweist, wird Titan trotz seiner hohen Kosten in vielen Anwendungen eingesetzt. Teile aus Titan werden häufig für Luft- und Raumfahrt, Schiffskomponenten, Turbinen, Implantate, High-End-Sportausstattung und Schmuck verwendet. Ein bekanntes Beispiel ist der Lockheed SR-71 Blackbird, ein Aufklärungsflugzeug, das hauptsächlich aus Titan hergestellt wird.

Häufiger ist Titan jedoch als Zusatzkomponente in Legierungen zu finden, insbesondere bei Stahllegierungen. Noch viel häufiger ist allerdings die Verwendung des wesentlich günstigeren Titanoxids, welches das häufigste Pigment für weiße Farbe ist. Beispiele für diese Anwendung sind Zahnpasta, Papier, Sonnencreme, Farben, Bonbons und vieles mehr. Abbildung 33 zeigt einige Anwendungsbeispiele.

Abbildung 33: Beispiele für die Verwendung von Titan. Von links ein 3D-gedrucktes Teil für Airbus, der Lockheed SR-71 Blackbird sowie Titanoxid. (Bilder Roser sowie USAF / Judson Brohmer und Benjah-bmm27 Gemeinfrei)

3.1.7 Chrom

Chrom ist ein sehr korrosionsbeständiges und hartes Metall. Die häufigste Verwendung ist die als Legierungsbestandteil, wofür circa 85% der Weltproduktion genutzt wird. So erhöht sich die Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit der Legierungen. Chrom wird aber auch häufig als Beschichtung verwendet. Chromverbindungen sind oft Grundlagen für Farbstoffe.

Abbildung 34: Beispiele für die Verwendung von Chrom. Von links reines Chrom, Rostfreies Besteck aus Stahl mit 18% Chrom, sowie verchromte Motorradteile. (Bilder Jurii unter der CC-BY 3.0, Phrontis unter der CC-BY-SA 3.0, und Bengt Nyman unter der CC-BY 2.0 Lizenz)

3.1.8 Nickel

Nickel wird in reiner Form als Beschichtung eingesetzt, z. B. in Katalysatoren oder zum Korrosionsschutz. Vernickelte Schrauben sind beispielsweise sehr häufig. Auch in Legierungen ist Nickel oft zu finden. Stahllegierungen nutzen etwa 68% der Weltproduktion von Nickel. Früher wurden auch Münzen und Knöpfe mit Nickelanteilen hergestellt. Da Nickel aber bei längerem Kontakt Allergien auslösen kann, wird das heutzutage vermieden. Abbildung 35 zeigt Beispiele für Nickel und Blei.

Abbildung 35: Von links nach rechts: Reines Nickel, Schweizer Münzen aus Nickel von 1909, reines Blei sowie ein Taucherblei, Bilder in unterschiedlichen Maßstäben. (Bilder Materialscientist unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz, Jurii unter der CC-BY 3.0 Lizenz, sowie J. Courtois und Sergey S. Dukachev, Gemeinfrei)

3.1.9 Blei

Blei ist ein weiches und schweres Metall, aber immer noch leichter als Gold und Platin – und auch wesentlich billiger. Es hat einen sehr niedrigen Schmelzpunkt. In der Vergangenheit fand es häufig Verwendung für Wasserrohre und als Zusatzstoff für Farben und Benzin. Das Aufnehmen von Blei über die Lunge oder das Verdauungssystem führt jedoch zu einer Bleivergiftung, die das Nervensystem schädigen kann. Blei wird daher heutzutage weitestgehend vermieden. 60% der Weltproduktion geht in Bleibatterien. Blei wird auch als Abschirmung gegenüber Radioaktivität verwendet. In Form von Gewichten wird es beim Tauchen oder Angeln eingesetzt. Und nicht zuletzt ist es Bestandteil von manchen Legierungen. Abbildung 35 zeigt Beispiele hierzu.

3.1.10 Zinn

Abbildung 36: Von links nach rechts: Reines Zinn, Zinnkrug möglicherweise mit Blei gestreckt, und Probe aus Zink (Bilder Leiem unter der CC-BY-SA 4.0 Lizenz, Danie van der Merwe unter der CC-BY 2.0 Lizenz, und Hi-Res Images of Chemical Elements unter der CC-BY 3.0 Lizenz)

Zinn ist ein sehr weiches Metall mit niedrigem Schmelzpunkt. Es ist in manchen Legierungen enthalten, etwa Bronze. Zinn ist lebensmittelecht und wird häufig als Beschichtung (siehe 9.3) oder zum Löten (siehe 8.8) verwendet. Es ist aber ein recht teures Metall. Insbesondere ältere Zinnkrüge sind daher oft mit dem wesentlich billigeren Blei legiert, was den Preis deutlich senkt, das Produkt aber als Trinkgefäß ungeeignet macht. Abbildung 36 zeigt ausgewählte Beispiele für Zinn und Zink

3.1.11 Zink

Zink findet ebenfalls häufig Verwendung als Beschichtung (siehe 9.3), ist aber wesentlich günstiger als Zinn. Es ist zudem in manchen Legierungen enthalten, vor allem in Messing. Fenster- und Türgriffe, Möbelbeschläge sowie Reißverschlüsse und Knöpfe sind oft aus Zinkdruckguss.

3.2 Nichtmetalle

3.2.1 Grundlagen

Nichtmetallische Werkstoffe sind allgemein Werkstoffe, die nicht aus Metall bestehen. Sie können dennoch Metalle in chemischen Verbindungen enthalten. Stein und Sand sind die nichtmetallischen Werkstoffe mit dem weltweit größten Verbrauch. Die Nutzung findet aber hauptsächlich beim Bau von Gebäuden oder Straßen statt, was nicht Fokus dieses Buches ist. Im Folgenden sind einzelne ausgewählte Materialien dargestellt. Für Kunststoffe siehe 11.4.

3.2.2 Holz

Holz ist ein nachwachsender, natürlicher Rohstoff. Der Weltverbrauch an Holz übertrifft den von Stahl. Holz wird geschätzt für das angenehme Gefühl im Kontakt mit der Haut. Eine Holzdecke wirkt viel wohnlicher und wärmer als eine Metalldeckenkonstruktion. Holz ist auch ein guter thermischer Isolator, und wird auch häufig als Strukturelement genutzt.

Da Holz ein gewachsener Rohstoff ist, sind seine Eigenschaften wesentlich weniger konstant als bei industriell produzierten Materialien. Die Qualität des Holzes hängt nicht nur von der Spezies des Gewächses ab (meist, aber nicht immer Bäume), sondern auch von Lage, Schädlingsbefall, Wetter und anderen Faktoren. Für hochwertige und belastete Anwendungen wie etwa Stiele von Äxten ist die Auswahl des richtigen Holzes wesentlich anspruchsvoller als der Kauf einer Stahlsorte.

Holz hat eine sehr gute Zugfestigkeit im Vergleich zum Gewicht, die Festigkeit ist aber richtungsabhängig. Holz kann sich auch durch Austrocknen oder Aufnahme von Feuchtigkeit verziehen und reißen.

Holz wird häufig als Baustoff verwendet, aber auch für Möbel, Papier (siehe 11.2), Bahnschwellen, Verpackungen, Griffe, Boote, Parkette und Vertäfelungen und vieles mehr. Dünnere Schichten oder Schnipsel aus Holz

können zu größeren Objekten zusammengeklebt werden. Holz kann man mit heißem Dampf auch plastisch biegen.

3.2.3 Keramik

Keramik ist ein Sammelbegriff für anorganische, nichtmetallische Werkstoffe. In der Regel ist die Struktur **kristallin** oder zumindest teilkristallin, was das Material von Gläsern unterscheidet. Es gibt eine Vielzahl an Untergruppen (Porzellan, Steinzeug, Glaskeramik, technische Keramik u.ä.). Keramik ist oft sehr hitzebeständig, chemisch resistent, hart und spröde und wird deshalb häufig für Geschirr, Ziegel, Fliesen, Kacheln, Sanitärkeramik, Kanalisation etc. verwendet. Abbildung 37 zeigt ausgewählte Beispiele für Keramik und Glas.

Abbildung 37: Von links nach rechts: Keramikfigur aus der Bronzezeit, Technische Keramik für Gleitlager, Vulkanisches Glas Obsidian, und hitzebeständiges Glasgeschirr (Bilder Zde, MT Aerospace, G, Augsburg, Germany, ArnoWinter und soultea.de/André Helbig unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz)

3.2.4 Glas

Glas ist ein Sammelbegriff für **amorphe** Feststoffe. Während Keramiken kristallin sind, ist die Struktur von Glas amorph. Dies kann aber auch durch das Herstellverfahren beeinflusst werden: Das gleiche Material kann je nach Herstellung eine Keramik oder ein Glass sein. So ist z. B. Quarz (Bergkristall) kristallines Siliziumdioxid und chemisch identisches Quarzglas amorphes Siliziumdioxid – wie in Abbildung 38 dargestellt.

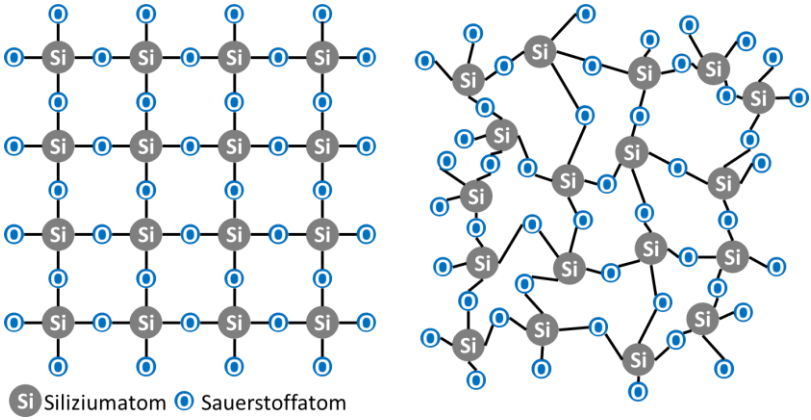

Abbildung 38: Quarz (links) und Quarzglas bestehen aus dem gleichen Material Siliziumdioxid, nur die Struktur unterscheidet sie voneinander. Die Abbildung ist in das Zweidimensionale vereinfacht. (Bild Roser)

Die wichtigste Gruppe der Gläser sind die Silikat-Gläser aus Siliziumdioxid mit Zusatzwerkstoffen. Sie können sowohl transparent als auch undurchsichtig sein. Glas ist oft spröde und bricht leicht. Es ist aber sehr korrosionsbeständig und elektrisch isolierend. Die genaue Struktur ist noch nicht vollständig erforscht. Kapitel 11.3 geht detaillierter auf die Herstellung von Glasprodukten ein.

3.2.5 Textilien

Der Begriff Textilien umfasst die große Gruppe der faserförmigen Werkstoffe. Ursprünglich waren diese Fasern pflanzlicher (Baumwolle, Leinen etc.) oder tierischer Natur (Wolle, Seide, Dachshaar etc.), heutzutage sind zudem Fasern aus Kunststoffen häufig. Auch Fasern aus Mineralien sind möglich (Glasfaser, Steinwolle, Asbest).

Diese Fasern sind in der Regel flexibel und ineinander verworren. Im einfachsten Fall ergibt das einen Filz mit einer ungeordneten Struktur. Häufiger werden die Fasern aber gesponnen, was Fäden, Stränge oder Garne erzeugt. Diese können dann mit einer Vielzahl an Techniken weiterverarbeitet werden, etwa durch Weben, Stricken, Häkeln, Nähen, Klöppeln, Flechten, Seile drehen etc. Abbildung 39 zeigt Beispiele für Textilien.

Abbildung 39: Beispiele für Textilien. Von Links Schafscheren, Baumwolle, Gewobene Blue Jeans, Klöppeln, und Stricken. (Bilder von Cstaffa unter der CC-BY-SA 3.0 Lizenz, Michael Bass-Deschenes, Mark Michaelis und hottholler unter der CC-BY 2.0 Lizenz, und Hobbsansak unter der CC-BY-SA 4.0 Lizenz)

Textilien werden häufig genutzt für Bekleidung und andere Wäsche, aber auch für Möbel oder Innenarchitektur, Segel, Seile, Airbags und vieles mehr. Auch als Komponenten in Verbundwerkstoffen (z. B. Fiberglas) und Papier werden Textilfasern verwendet.