

RICHTER / SCHÖNEBERG / HENNE / GERTSCH / ZINK

# Kunststoffe auswählen



Ein Fachbuch von

**konstruktions  
praxis**



Vogel Business Media



Der **Onlineservice InfoClick** bietet unter [www.vbm-fachbuch.de/infoclick](http://www.vbm-fachbuch.de/infoclick) nach Codeeingabe zusätzliche Informationen und Aktualisierungen zu diesem Buch.

# InfoClick

## In 2 Schritten zum Onlineservice

1. Einfach [www.vbm-fachbuch.de/infoclick](http://www.vbm-fachbuch.de/infoclick) aufrufen.
2. Den unten stehenden Zugangscod in die Suchleiste eingeben und bestätigen.

Sofern Aktualisierungen oder Zusatzinformationen zu Ihrem Buch bereitstehen, werden diese anschließend unterhalb der Eingabemaske aufgeführt.



Ihr persönlicher Zugang  
zum Onlineservice



Richter / Schöneberg / Henne / Gertsch / Zink

Kunststoffe auswählen



Frank Richter / Bernd Schöneberg / Christian Henne /  
Daniel Gertsch / Walter Zink

# **Kunststoffe auswählen**

Vogel Business Media

Dipl.-Ing. (FH) **FRANK RICHTER**

Jahrgang 1970. Studierte Polymerchemie an der FH Reutlingen. Nach Abschluss des Studiums arbeitete er als Projektingenieur am Institut für Angewandte Forschung in Reutlingen, Entwicklungsingenieur Kunststoffcompounds bei Ensinger GmbH in Nufringen. Dort leitete er anschließend den Geschäftsbereich Rohstoffe / Compounds. Seit 2011 ist er freier Berater, Trainer und Gutachter für Kunststoff-Werkstoffe. [www.mentorichter.de](http://www.mentorichter.de)

Dipl.-Ing. (FH) **BERND SCHÖNEBERG**

Jahrgang 1968. Studierte Maschinenbau mit der Studienrichtung Fertigungstechnik Kunststoffverarbeitung an der Märkischen Fachhochschule Iserlohn. Seitdem ist er als Entwicklungs-, Projekt- und Vertriebsingenieur in verschiedenen Unternehmen und Branchen tätig gewesen. Seit 2013 ist er in der Anwendungstechnik bei der Biesterfeld Plastic GmbH aktiv. Details unter [www.kunststoff-ingenieur.de](http://www.kunststoff-ingenieur.de)

**CHRISTIAN HENNE** (M.Sc.)

Jahrgang 1988. Studierte Maschinenbau mit der Fachrichtung Kunststofftechnik an der Dualen Hochschule Stuttgart, Campus Horb, sowie Innovations- und Technologiemanagement an der Wilhelm Büchner Hochschule. Arbeitet seit 2011 als Entwicklungsingenieur für Kunststoffcompounds bei der Ensinger GmbH in Nufringen.

**DANIEL GERTSCH**

Jahrgang 1976. Grundausbildung als Maschinenmechaniker mit Zusatzausbildung zum Technischen Kaufmann. Über 20 Jahre Erfahrung in Produktion und Einkauf von Kunststoffen und Spritzgießwerkzeugen.

Dipl.-Ing. **WALTER ZINK**

Jahrgang 1972. Studierte Maschinenbau / Kunststofftechnik an der RWTH Aachen. Nach seinem Studium arbeitete Hr. Zink in verschiedenen Position in Prozess-, Produkt- und Marktentwicklung in der rohstoffproduzierenden und -verarbeitenden Industrie. Besondere Tätigkeitsschwerpunkte hierbei sind marktorientierte Produktinnovation von HighPerformance Compounds sowie strategische Projektentwicklung in den Segmenten Automotive und Medical. Seit 2017 leitet Hr. Zink die Globale Produktentwicklung bei Lehmann & Voss.

#### **Weitere Informationen:**

**[www.vbm-fachbuch.de](http://www.vbm-fachbuch.de)**

 [www.facebook.com/vogel.fachbuecher](https://www.facebook.com/vogel.fachbuecher)

ISBN 978-3-8343-3370-4

1. Auflage. 2017

Alle Rechte, auch der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Hiervon sind die in §§ 53, 54 UrhG ausdrücklich genannten Ausnahmefälle nicht berührt.

Printed in Germany

Copyright 2017 by Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

## Vorwort

Welchen Kunststoff nehme ich? Standen Sie auch schon einmal vor dieser Frage? Wir hören diese Frage jedenfalls ständig bei unserer täglichen Arbeit. So oft, dass wir gemeinsam beschlossen haben, ein Buch darüber zu schreiben.

Trotz konzentriertem Arbeiten an diesem Buch kam auch unser Spaß dabei nicht zu kurz, was bei dem ein oder anderen Kapitel in Form von eher unwissenschaftlichen Bemerkungen mit eingeflossen ist. Die Diskussion um das Titelbild nahm zeitweise ganz und gar unsachliche Züge an – was aber durch den 3D-Designer ([www.ralph-schoeneberg.de](http://www.ralph-schoeneberg.de)) sehr schön und sachlich gelöst wurde.

Dieses Buch wird Ihnen als hilfreiches Handwerkzeug in der Praxis dienen. Ganz bewusst haben wir auf umfangreiche theoretische Erklärungen verzichtet. Die Praktiker wird es freuen, die Wissenschaftler werden uns vielleicht zürnen (womit wir leben können).

Als kleine Exkursionen finden Sie über das Buch verteilt Berichte von Fachleuten aus verschiedenen Branchen zum Thema «Kunststoffe auswählen», bei denen wir uns an dieser Stelle für ihr Engagement ganz herzlich bedanken möchten. Ebenfalls einen großen Dank an den Verlag für die gewohnt gute Zusammenarbeit.

Zögern Sie nicht, Ideen, Kritiken und Verbesserungsvorschläge direkt an uns weiterzuleiten. Ganz besonders würden wir uns natürlich darüber freuen, wenn Ihnen das Buch bei Ihren Projekten zum Erfolg verhilft.

### Das Autorenteam

- Frank Richter ([www.mentorichter.de](http://www.mentorichter.de))
- Bernd Schöneberg ([www.kunststoff-ingenieur.de](http://www.kunststoff-ingenieur.de))
- Christian Henne
- Daniel Gertsch
- Walter Zink



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Handhabung des Buches</b> .....	11
<b>2 Einleitung</b> .....	13
<b>3 Strategie</b> .....	15
3.1 Entwicklung einer Strategie .....	15
3.2 Projektziel .....	16
3.3 Projektplanung .....	19
3.4 Anforderungsprofil .....	29
3.5 Dokumentation .....	30
3.6 Bewertungsmethoden .....	31
3.6.1 Risikobewertung .....	37
3.6.2 Bewertung .....	38
3.6.3 Maßnahmen .....	38
3.6.4 Materialentscheidung .....	39
3.7 Checkliste .....	40
<b>4 Rechte und Vorschriften</b> .....	45
4.1 Regularien .....	45
4.2 Normen .....	54
4.3 Branchenspezifische Regelwerke .....	55
4.4 Weitere Vorgaben .....	57
4.5 Gewerbliche Schutzrechte / Patente .....	58
<b>5 Kosten</b> .....	63
5.1 Produktkostenermittlung (Produktkalkulation) .....	64
5.2 Einfluss der Materialkosten auf die Produktkalkulation .....	66
5.2.1 Die Materialkostenquote .....	66
5.2.2 Multiplikationseffekte bei den Materialkosten .....	66
5.3 Einflussgrößen auf die Materialkosten .....	67
5.3.1 Dichte .....	67
5.3.2 Bezugsquellen .....	67
5.3.3 Hersteller .....	68
5.3.4 Compoundeure .....	68
5.3.5 Distributoren und Händler .....	69
5.3.6 Internetbörsen .....	69
5.3.7 Materialqualitäten .....	70
5.3.8 Verfügbarkeit .....	71
5.3.9 Fertigungsverfahren .....	72
5.4 Rohwarenpreise .....	72

<b>6 Werkstoffeigenschaften</b>	75
6.1 Grundlegende Eigenschaften	80
6.1.1 Polarität	83
6.1.2 Wasseraufnahme	85
6.2 Thermische Eigenschaften	89
6.2.1 Thermische Beständigkeit	89
6.2.2 Wärmeleitfähigkeit	100
6.3 Mechanische Eigenschaften	112
6.4 Elektrische Eigenschaften	124
6.5 Beständigkeiten	131
6.5.1 Umgebungseinflüsse	131
6.5.2 Medienbeständigkeit	134
6.6 Sonstige / Weitere Eigenschaften	138
6.6.1 Dichte	139
6.6.2 Brandverhalten	145
6.6.3 Farbe	147
6.6.4 Transparenz	151
6.6.5 Oberfläche	154
6.6.6 Tribologie	156
6.6.7 Lebensmittelkontakt	159
6.6.8 Fogging	162
<b>7 Fertigungsverfahren</b>	165
7.1 Thermoplaste	167
7.1.1 Spritzgießen	167
7.1.2 Extrusion	171
7.1.3 Extrusionsblasformen	175
7.1.4 Schäumen	177
7.1.5 3D-Druck	179
7.1.6 Rotationsformen	183
7.1.7 Pressen	183
7.1.8 Thermoformen	184
7.1.9 Gießen	185
7.1.10 Weitere spezielle Verarbeitungsverfahren für Thermoplaste	186
7.2 Duroplaste	186
7.2.1 Spritzgießen	188
7.2.2 Laminieren	188
7.2.3 Pressen	188
7.2.4 Pultrudieren	189
7.2.5 Gießen / Streichen	189
7.2.6 3D-Druck	189
7.3 Elastomere	193
7.4 Vorbehandlung	198
7.4.1 Materialbereitstellung	198
7.4.2 Trocknen	198
7.4.3 Mischen	199
7.4.4 Compoundieren	202

7.5	Nachbehandlung .....	202
7.5.1	Verpackung .....	203
7.5.2	Kleben .....	203
7.5.3	Schweißen .....	204
7.5.4	Lackieren .....	205
7.5.5	Metallisierung .....	206
7.5.6	Beschriftung .....	207
7.5.7	Zerspanen .....	208
7.5.8	Entgraten .....	209
7.5.9	Warmlagerung .....	209
<b>8</b>	<b>Verarbeitungsbezogene Materialeigenschaften</b> .....	<b>211</b>
8.1	Materialzusammensetzung .....	211
8.2	Rheologie .....	213
8.3	Anisotropie .....	216
8.4	Kristallinität .....	217
8.5	Schwindung .....	221
8.6	Verzug .....	225
8.7	Bindenähte .....	226
8.8	Verarbeitungszeit .....	228
8.9	Entformungsverhalten .....	230
<b>9</b>	<b>Nachhaltigkeit</b> .....	<b>233</b>
9.1	Lifecycle Assessment .....	233
9.2	Recycling .....	234
9.3	Corporate Social Responsibility .....	237
<b>10</b>	<b>Qualitätsmanagement</b> .....	<b>239</b>
10.1	Zusammenhang Qualität und Materialauswahl .....	239
10.2	Werkstoffdatenblatt vs. Spezifikation .....	239
10.3	Prüfbescheinigungen .....	241
10.4	Wareneingangsprüfung .....	242
10.5	Materialqualität .....	242
<b>11</b>	<b>Supply Chain Management</b> .....	<b>245</b>
11.1	Logistik, Verpackung .....	245
11.2	Verfügbarkeit .....	246
11.3	Vertragsprüfung .....	248
	<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>251</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>253</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>255</b>



# 1 Handhabung des Buches

Dieses Buch ist aus der Erfahrung heraus entstanden, dass bei der Auswahl eines Kunststoffes oft keine Gesamtbetrachtung aller Faktoren erfolgt. Eine umfassende Überprüfung ist vielen Verantwortlichen zu aufwendig. Allerdings spart hier jede eingesetzte Minute unzählige Stunden der Nacharbeit, Reklamation oder gar eine Rückrufaktion.

Umso mehr verwundert uns, wie «schlank» der Materialauswahlprozess häufig in der Praxis gehandhabt wird. Argumente wie «... das Zeug haben wir schon immer genommen», «... Firma Seriös & Schlau nimmt das ja auch ...», «... das habe ich über eine Suchmaschine gefunden ...», oder «... das hatten wir halt grad am Lager ...» begegnen uns überraschend häufig.

Vergessen, die Bestätigung vom Lieferanten für die Eignung zum Lebensmittelkontakt einzufordern? Nun wollen die Behörden den Nachweis dazu – und wir haben keinen. Das Produkt ist erfolgreich und wir verdoppeln die Produktionsmenge. Super – nur die Rohwaren sind in den nächsten Monaten nicht verfügbar.

Der Zeitaufwand für das Anfordern der Lebensmittel-Bestätigung und die Klärung der zukünftigen Rohwarenverfügbarkeit mit den Lieferanten im Zuge der Materialauswahl ist überschaubar. Der Produktrückruf, der Spaß mit den Behörden, die Rufschädigung, ungeplante Zusatzkosten usw. – all das kann bei einer strukturierten Vorgehensweise weitgehend vermieden werden. Hier sind wir genau beim Ziel dieses Buches.

Erfahrung bei der Materialauswahl ist auf jeden Fall wichtig. Die strukturierte Vorgehensweise ist jedoch entscheidend. Von welchen Ärzten möchten Sie operiert werden? Von denen, die prinzipiell wissen, wie es geht, oder von denen, die einen exakten Plan haben?

Dieses Buch verbindet die Einzelthemen der Materialauswahl zu einem Gesamtbild. Es soll zu allen wichtigen Themen der Materialauswahl mögliche Anforderungen aufzeigen, Denkansätze geben und bereits erste Lösungsansätze benennen. Leider können nicht alle Details in der Tiefe erörtert werden. Dazu sind die Anforderungen und die Wechselwirkungen untereinander viel zu komplex. Umfassende Details zu allen Einzelthemen finden Sie in Werkstoffdatenbanken, Tabellenbüchern, Fachliteratur, Online-Veröffentlichungen, bei Anwendungstechnikern usw. Das sind die einzelnen Puzzle-Teile – dieses Buch ist die Anleitung zum Zusammenfügen.

Sie können sowohl über das Abarbeiten der Checkliste ein eigenes Anforderungsprofil (Pflichtenheft) für ein neues Produkt erarbeiten als auch gezielt einzelne Kapitel lesen, um sich in bestimmte Themengebiete einzuarbeiten.

**Wichtiger Hinweis:** Bei der Angabe der vergleichenden Tabellenwerte wurde in vielen Fällen auf die Angabe einer Norm verzichtet. Diese Werte sollen einzig und allein einem groben Vergleich der Werkstoffe dienen. Für die Feinabstimmung kann dann auf Datenbanken und Tabellenbücher zurückgegriffen werden.





## 2 Einleitung

*Wir alle müssen täglich unzählige Entscheidungen treffen – auch Entscheidungen für die richtigen Materialien. Zugegeben, die morgendliche Materialauswahl beim Bäcker hat nicht die Konsequenzen einer Materialentscheidung für ein Serienbauteil im Automobil. Dennoch sind die Prinzipien in vielen Punkten ähnlich, weil auch ähnliche Entscheidungskriterien gelten:*

- «make or buy» (in diesem Fall eher «bake or buy»)
- Produktgruppe (Brötchen, Brezel, Kuchen)
- Lieferantenauswahl (Bäcker, Supermarkt)
- Logistik (zu Fuß oder mit dem Auto)
- Preis (Tafel- oder Rosinenbrötchen)
- Mengenstaffel (5 Brezeln sind im Angebot)
- Verfügbarkeit (Hefezopf gibt es nur freitags und samstags)
- Qualität (eigene Herstellung, Aufback-Ware)
- Optik (hell oder dunkel gebacken)
- Organoleptik (riecht gut und schmeckt lecker)
- B-Ware, Recyclat (Brot vom Vortag)
- Service im Vertrieb (Wartezeit, Lolli fürs Kind)
- Erreichbarkeit (auch am Sonntagmorgen geöffnet)
- Zusatzleistungen (Brot schneiden, individuell belegtes Vesperbrot)
- Umweltfreundlichkeit (ökologischer Getreideanbau, Tüte aus Recyclingpapier)
- rechtliche Kennzeichnung (Angabe von Inhalts- und Zusatzstoffen)
- Reputation (Empfehlungen durch Nachbarn)

*usw.*

*Dieses einfache Beispiel zeigt schon die Vielzahl der Optionen bei einer alltäglichen, eigentlich einfachen Materialauswahl. Jeder hat andere Prioritäten, dementsprechend fallen die Entscheidungen auch sehr unterschiedlich aus. So gehe ich zum Bäcker um die Ecke, weil es gut schmeckt und die Leute dort freundlich sind. Mein Bruder geht dort nicht hin, weil dieser Bäcker morgens um 6 Uhr noch nicht geöffnet hat, wenn er zur Arbeit fährt.*

*Nicht jede Entscheidung wird bewusst getroffen und gerade wie in diesem einfachen Beispiel ist oft die Reduzierung auf die wichtigsten Kriterien sinnvoll. Würde mir jemand sagen, ich müsste für diese morgendliche Materialauswahl die Zusammensetzung der Backwaren und deren Herstellungsprozess kennen, die Preisstrukturen und die Märkte beobachten, die technischen Daten vergleichen und anschließend eine Entscheidungsmatrix erstellen, wäre das doch etwas befremdlich. Die Frühstückbrötchen wären wohl am Abend noch nicht auf dem Tisch.*

Kunststoffe sind typische Werkstoffe für Serienprodukte. Die falsche Materialauswahl ist hier nicht nur «ein Fehler». Nein, er muss mit der jeweiligen Stückzahl des Bauteils multipliziert werden – und das kann durchaus hunderttausend fehlerhafte Produkte bedeuten. Rückrufaktionen von Fahrzeugen und Haushaltsgeräten sind uns allen bekannt.

Umso erstaunlicher ist die Erfahrung aus der Praxis, wie selbst sensibelste Materialentscheidungen tatsächlich getroffen werden. Da werden aus Kostengründen technische Rohwaren an-

stelle medizinischer Qualitäten für Implantate eingesetzt oder Extrusionsware spritzgegossen, weil diese «gerade am Lager war». Raumfähren wie die «Challenger» wurden gestartet, obwohl der Dichtungswerkstoff der Treibstofftanks bekanntermaßen nicht für die Umgebungstemperatur geeignet war.

Die Entscheidung für das richtige Material ist oft eine große Herausforderung. Die Folge ist daher eine starke Vereinfachung der Vorgehensweise: mal schauen, was die Konkurrenz einsetzt, was es schon im eigenen Unternehmen gibt oder was mir mein Lieferant empfiehlt. Dieses Vorgehen funktioniert prinzipiell, stellt aber selten die optimale Materialentscheidung dar. Weder weiß ich, ob die Konkurrenz sich viel Gedanken bei der Materialauswahl gemacht hat, noch kann ich sicher sein, dass mein Lieferant eine für mich passende Empfehlung ausgesprochen hat.

Werkstoff-Datenbanken und Datenblätter sind eine gute Unterstützung zum Herausfiltern geeigneter Kunststoffe für eine Anwendung. Das Ergebnis ist eine rein technische Materialauswahl. Die Vorgehensweise hierzu ist vielfach in der Literatur beschrieben und wird auch an Hochschulen gelehrt. Für die konkrete Umsetzung zum Produkt fehlt allerdings der finale Schritt: die Entscheidung!

Für diesen Schritt sind weitere – nicht ganz unwichtige – Informationen wie Preise, Verfügbarkeiten, Einhalten von Regularien usw. zwingend erforderlich. Leider sind diese Informationen entweder gar nicht oder nur vereinzelt über Datenbanken abrufbar. Über eine Suchmaschine im Internet finde ich kaum den aktuellen Rohwarenpreis für ein Polyamid 6 bei Anlieferung frei Haus, als Sackware, mit Spezifikation der Farbe, einer Abnahmemenge von 50 Tonnen im Jahr, bei 5 Einzellieferungen je 10 Tonnen und Chargen-bezogenem Werksprüfzeugnis. Auch ob ein Produkt beispielsweise für eine Anwendung im Schienenfahrzeugbau eingesetzt werden darf (zulässige Inhaltsstoffe entsprechend RISL = *Railway Industry Substance List*), wird so gut wie nie publiziert. Ohne diese grundlegenden Informationen kann jedoch keine sinnvolle Entscheidung getroffen werden.

Entscheidungen hängen logischerweise auch von den «Entscheidern» selbst ab. Ein Einkäufer wird bei mehreren Materialalternativen eine andere Entscheidung treffen als ein Konstrukteur.

Sie sehen, Materialauswahl und Materialentscheidung müssen klar getrennt werden. Das vorliegende Buch (oder e-Book) wird Sie bei Ihren Entscheidungen intensiv unterstützen: Schritt für Schritt mit Checklisten zu den einzelnen Themen, damit kein wichtiger Aspekt übersehen wird, mit vielen Beispielen und Empfehlungen zur «best practice». Die (damit hoffentlich einfache) finale Entscheidung für einen Werkstoff liegt bei Ihnen!

## 3 Strategie

### 3.1 Entwicklung einer Strategie

Wer sich im Rahmen eines Projektes mit der Materialauswahl beschäftigt, wird diese zuerst einmal mit den physikalischen oder chemischen Anforderungen verbinden. Beide Anforderungen sind schließlich notwendig, um die Funktion eines Produktes zu gewährleisten. Ganz selbstverständlich gehören sie zu jedem Projekt dazu. Daher werden diese Thematiken später im Buch sehr detailliert besprochen.

Im Autorenkreis haben wir uns lange über Ursachen für nicht optimale bzw. Fehlentscheidungen bei der Materialauswahl unterhalten. Dabei haben wir festgestellt, dass die Gründe häufig an ganz anderen Stellen zu finden waren als bei der eigentlichen Materialauswahl selbst. Das hat uns dazu bewogen, dieses Kapitel mit in das Buch aufzunehmen. Wir beschäftigen uns daher an dieser Stelle mit der generellen Herangehensweise an eine Produktentwicklung und mit anderen wesentlichen Themen, die nicht direkt mit der Materialauswahl im Zusammenhang stehen, aber maßgeblich zum Erfolg oder Misserfolg eines Projektes / Produktes beitragen.

#### MERKSATZ

Wichtig ist die ganzheitliche Betrachtung der Anwendung eines Produktes. Das erfordert selbstverständlich etwas Mehraufwand zu Beginn eines Projektes, der Gesamtaufwand wird letztendlich aber dadurch deutlich reduziert.



Die Entwicklung einer Strategie zur Materialauswahl dauert garantiert länger als der Sekundenbruchteil, in denen eine Datenbank physikalische Kennwerte ausspuckt. Wir werden oft gefragt, wozu eigentlich Berater zur Materialauswahl benötigt werden – es gibt doch Datenbanken mit Zehntausenden von Datensätzen. Leider wird die Materialauswahl oft allein auf das Filtern von Kennwerten reduziert. Strategie? Fehlannonce! Dauert zu lange. Bei einer Produktentwicklung lassen sich die Materialanforderungen dennoch nicht nur auf physikalische Kennwerte reduzieren. Es gibt immer Wechselwirkungen mit anderen Schnittstellen, wie z.B. Produktion, Konstruktion oder dem Einkauf. Der Prozess der Materialauswahl gestaltet sich demzufolge meist wesentlich komplexer. Entscheiden Sie selbst, ob Sie Themen wie Definition des Projektziels, Projektplanung oder Bewertungsmatrizen von einem Rechner übernehmen lassen wollen (oder ob nicht doch eine umfassendere strategische Herangehensweise vorteilhaft ist).

## 3.2 Projektziel

Zu Beginn eines Projektes ist das Projektziel eigentlich das Einzige, das konkret vorgegeben ist. Genau darin liegt nicht selten bereits das erste Problem. Häufig sind die Projektziele bereits so eng vorgegeben, dass wenig Spielraum für innovative Lösungen vorhanden ist.

Wenn Sie heute einen Blick in die Entwicklungsabteilungen werfen, werden Sie immer wieder feststellen, dass sich ausführlich und intensiv mit der Lösungsfindung beschäftigt wird, aber nur wenig mit dem Umfeld und den Anforderungen eines Produktes. Das führt nicht selten dazu, dass bereits im fortgeschrittenen Projektstadium plötzlich noch neue oder bis dato unbekannte Anforderungen auftreten, die durchaus die Realisierung in Frage stellen bzw. zumindest diese zeitlich weit zurückwerfen können.

Ich werde nie vergessen, wie mir ein Kunde kurz vor Abschluss der Entwicklung einer Einwegspritze für die Medizintechnik eine solche neue Anforderung mitteilte. Wir hatten ca. ein Jahr lang nach der richtigen Materialkombination von Spritzenzylinder und Kolben gesucht, um die gewünschte Betätigungskraft zu erreichen (Projektziel!). Die neue Zusatzforderung war: Der Spritzenkörper muss transparent sein! Somit durften wir mit der Materialauswahl neu beginnen, das hieß, ein Jahr Entwicklungszeit war schlagartig nutzlos geworden.

Bereits an diesem Beispiel ist deutlich zu erkennen, dass die Vorgabe des Projektziels, die Betrachtung des Umfeldes und die daraus abzuleitenden Anforderungen bereits eine zentrale Bedeutung besitzen.

Bei der Definition eines Projektziels sollte berücksichtigt werden, dass jedes Projekt immer in ein größeres Gesamtsystem eingebunden ist. Das heißt, es gibt immer Berührungspunkte und Schnittstellen zu anderen Bereichen, die einen Einfluss auf das eigentliche Projekt haben. Diese Bereiche sind nicht nur technischer Natur (z.B. wenn das Produkt auf den vorhandenen Montagemaschinen montiert werden muss), sondern können sehr vielseitig sein, wie z.B. rechtliche Beschränkungen, Kundenakzeptanz, regionale Sitten und Bräuche usw.

Um bei dem Beispiel der erwähnten Einwegspritze zu bleiben: In diesem Fall war es verheerend, den Endkunden/Anwender erst im Stadium der Nullserie die Spritze zu präsentieren. Die Anforderung «Transparenz» war bei dieser Spritze grundlegend für die Kundenakzeptanz. Der anwendende Arzt möchte sehen, wie viel Medikament er bereits verabreicht hat. Die Festlegung des Projektziels mit dem Endkunden/Anwender (!) in der Planungsphase hätte viel Entwicklungszeit und damit unnötige Kosten gespart.



### TIPP

Bei Neuentwicklungen sollte neben dem Auftraggeber schon der Endanwender so weit wie möglich an der Festlegung des Projektziels beteiligt werden.

Der Auftraggeber für ein Projekt kann z.B. ein Kunde oder intern im Unternehmen die eigene Geschäftsführung sein. Der Einfachheit halber verwenden wir hier den Begriff «Auftraggeber». Die Endanwender, nachfolgend als Anwender bezeichnet, sind die Verbraucher/Konsumenten, für die das Produkt letztendlich entwickelt wird.

Zunächst sollte die Aufgabenstellung möglichst allgemein formuliert und eher das Umfeld und die Randbedingungen hinterfragt werden:

- Was ist das Ziel der Entwicklung?
- Welchen Nutzen hat das Unternehmen von der Realisierung der Entwicklung?

- Welchen Nutzen hat der Anwender von der Entwicklung?
- Gibt es Wettbewerbsprodukte? Wie sind diese im Markt positioniert?
- Was ist über die Aufgabe bekannt?
- Wie kann das Ziel erreicht werden?
- Welche gesellschaftlichen und technologischen Tendenzen können die Entwicklung beeinflussen?

Erst nach Beantwortung dieser (und ergänzender) Fragen ist es sinnvoll, die exakte Aufgabenstellung des Projektes zu formulieren und mögliche Lösungswege aufzuzeigen.

Dabei ist diese Vorgehensweise nicht nur bei Neuentwicklungen sinnvoll, sondern auch bei Projekten, bei denen es um Verbesserungen und Optimierungen geht. Z.B. kennt jeder die Problematik, dass irgendein Bauteil unerwarteterweise bricht, und sofort wird die Suche nach einem mechanisch höher belastbaren Material gestartet. Bei genauerer Betrachtung ist hier jedoch die verkehrte Aufgabe gestellt worden. Die Aufgabenstellung ist eigentlich, das Brechen des Bauteils zu verhindern. Ein mechanisch höher belastbares Material ist nur ein möglicher Lösungsansatz und häufig nicht unbedingt der beste. Bei Betrachtung des Gesamtsystems werden Sie jedoch mehrere Randbedingungen entdecken können, die auf das Brechen der Bauteile Einfluss haben und aus denen dann mögliche Lösungsansätze entwickelt werden können. Dazu gehört z.B. immer der Fertigungsprozess (Produktionsfehler) oder die Bauteilkonstruktion an sich. Sogar die Reduzierung der Belastung wäre ein prinzipiell möglicher Lösungsansatz. Generell gilt es aus den Randbedingungen Lösungsansätze zu generieren, diese einzugrenzen (hier z.B. durch Ausschließen von Fertigungsfehlern) und dann den sinnvollsten Lösungsansatz zu ermitteln und umzusetzen.

Die oben aufgeführten Fragestellungen sollte bereits der Auftraggeber im Vorfeld beantwortet haben. Häufig ist dieses aber nicht der Fall. Umso wichtiger ist es, dass der Projektmanager alle noch unklaren Vorgaben beim Auftraggeber hinterfragt. Sollte der Auftraggeber die offenen Fragen nicht beantworten können (nicht selten gibt es zu Beginn eines Projektes nur eine Vision), dann sollte zumindest erörtert werden, wo der Projektmanager die Antworten erhalten kann. Ein Projektmanager, der unklare Ziele hinterfragt, ist kein Nörgler, sondern er macht seine Arbeit. Wichtig ist, dass der Auftraggeber dies (an-)erkennt.

## MERKSATZ

Unklare Zielvorgaben müssen vor dem Projektstart kritisch hinterfragt werden!



Selbstverständlich sind das meist unangenehme Fragen und die Beantwortung ist meist äußerst schwierig. Aber selbst wenn die Fragen nicht beantwortet werden können und in dieser Phase festgestellt wird, dass noch weitere Vorarbeit notwendig ist, bevor das Projekt tatsächlich gestartet werden kann, dann ist das bereits ein erster Erfolg für das Projekt.

Was spricht dagegen, eine Zielvorgabe zunächst sehr allgemein zu formulieren?

Beispiel Kinder-Trinkbecher: Der neu zu entwickelnde Trinkbecher soll für Kinderhände gut greifbar sein.

Natürlich muss dann geklärt werden, was «für Kinderhände gut greifbar» bedeutet und welche anatomischen Besonderheiten gelten. Aber das kann bereits ein erstes «Vor-Projekt» für ein Projektteam sein, bevor das eigentliche Projekt gestartet wird.

Sehr oft fällt bereits hier die Entscheidung über Erfolg oder Misserfolg eines Projektes!



## Projekte in Bewegung setzen

Verbesserungen bei Produkteigenschaften oder die Suche nach Materialfehlern gestalten sich erheblich einfacher mit entsprechendem Expertenwissen.

Verschenden Sie bei der Kunststoffauswahl keine Zeit, sondern nutzen Sie das Fachwissen von Experten!

Bei mentorichter erhalten Sie exakt die Informationen, die Sie benötigen, um Projekte mit dem richtigen Material mühelos in Bewegung zu setzen.

**mentorichter**

Technische Beratung



Frank Richter  
Arbachtalstraße 6  
72800 Eningen unter Achalm

Telefon 0 71 21 99 43-078  
Mobil 0171 9 96 53 36  
info@mentorichter.de

[www.mentorichter.de](http://www.mentorichter.de)

### 3.3 Projektplanung

Wenn das Projektziel nun definiert ist, gilt es die Detailplanung zu erstellen. In der Regel werden spätestens jetzt das Projektteam und ein Projektleiter bestimmt, der die Federführung des Projektes und somit die Verantwortung für die erfolgreiche Umsetzung übernimmt – nicht selten sogar mit bereits vorgegebenem Zeitrahmen und Budget. Womit für den Projektmanager das Leiden bereits beginnt. Sie fragen, warum? Mit Übergabe des Projektes ist der Weg der Realisierung in der Regel noch völlig unklar. Allerdings übernimmt der Projektmanager bereits jetzt die Verantwortung für die Einhaltung von Terminen, Kosten und Lösungen, die von externen oder internen Spezialisten bzw. Fachabteilungen beigesteuert werden müssen. Letztere haben erfahrungsgemäß aber auf zusätzliche Projektarbeit, neben ihrem Tagesgeschäft, nicht gerade gewartet. Hinzu kommt, dass der Projektmanager in den anderen Fachabteilungen zumeist nicht weisungsbefugt ist. All dies macht eine erfolgreiche Projektrealisierung nahezu unmöglich, wenn nicht klare Regeln geschaffen und diese von allen diszipliniert befolgt werden.

#### MERKSATZ

Aufgabe des Projektteams ist, Lösungsvorschläge für die Erreichung des Projektziels zu erarbeiten, diese gemeinsam mit dem Auftraggeber zu diskutieren und den bestmöglichen erfolgreich umzusetzen.



Zum Start sollte der Projektleiter das Projekt nochmal kritisch hinterfragen (s. Abschnitt Projektziel) und erst dann mit einer eigenen Grobplanung beginnen:

- Welche einzelnen Entwicklungsschritte/Teilaufgaben müssen für die Realisierung gelöst werden?
- Wie soll sich das Projektteam zusammensetzen?
- Welche internen/externen Spezialisten werden für die Realisierung des Projektes/der Teilaufgaben benötigt?
- Welcher Zeitbedarf wird für das Projekt/die einzelnen Teilaufgaben benötigt?
- Wofür werden Pufferzeiten benötigt?
- Welche Kosten entstehen im Projekt?

Spätestens jetzt beginnt aber auch eine der Hauptaufgaben eines Projektmanagers: Die Diskussion und Kommunikation mit anderen Fachbereichen.

#### **Welche einzelnen Entwicklungsschritte/Teilaufgaben müssen für die Realisierung gelöst werden?**

Die erste Grobstrukturierung eines Projektes kann durch Auflösung in Teilaufgaben meist schnell gefunden werden. Beispiele bei Kunststoff-Projekten sind:

- Materialauswahl
- Konstruktion (Artikel, Werkzeuge)
- Herstellung Prototypen
- Funktionstests
- Werkzeugbau

- Bemusterung
- Qualifizierung
- usw.

Die Materialauswahl ist dabei eine dieser Teilaufgaben, die bei manchen Projekten sicherlich bereits zu Beginn des Projektes feststeht, beispielsweise bei der Erweiterung einer Behälter-Produktreihe mit geänderten Maßen. Hier wird gewiss das bereits bei den anderen Behältern eingesetzte Material wieder verwendet.

Oft ist das Material zu Beginn eines Projektes jedoch noch nicht definiert. Dann sollte die Materialauswahl, ebenso wie bei allen anderen Teilaufgaben des Projektes, eingeplant werden.

Von wesentlicher Bedeutung ist es, dass in dieser Phase die Teilaufgaben erkannt werden, bei denen die Umsetzung noch unklar ist. Diesen Teilaufgaben muss eine besondere Beachtung geschenkt werden, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf Realisierbarkeit, Zeitbedarf und Kosten haben werden.

Bei unserem Beispiel des Kinder-Trinkbechers ist der Verkaufspreis mit das wichtigste Kriterium, das über Erfolg oder Misserfolg des Projektes entscheidet. Der Verkaufspreis wird aber durch viele Faktoren beeinflusst:

- Material: über den Materialpreis (Volumenpreis betrachten!!!)
- Konstruktion: Eine dünnere Wand führt zu geringerem Materialanteil und über die kürzere Produktionszeiten zudem zu geringeren Produktionskosten.
- Fertigung: Über die Anzahl der Trinkbecher, die im Werkzeug gleichzeitig produziert werden (Kavitätenzahl), können die Produktionskosten beeinflusst werden.
- Verpackung: Möglichst viele Trinkbecher pro Palette
- usw.

Unklar ist, welches Material bei möglichst dünner Wanddicke die Produkthanforderungen noch erfüllt und so die wirtschaftlich beste Lösung bietet. Im Projektteam wurde gemeinsam entschieden, die Kosten und den Zeitbedarf zu akzeptieren, um über ein günstiges Prototypenwerkzeug die optimale Wanddicke zu ermitteln.

### **Wie soll sich das Projektteam zusammensetzen?**

Das Projektteam sollte aus Mitgliedern bestehen, die für einzelne Teilaufgaben die Verantwortung übernehmen und möglichst folgende Eigenschaften mitbringen:

- Fachkompetenz für ihren Aufgabenbereich,
- Engagement und Teamfähigkeit,
- Kommunikationsfreude und Diskussionsbereitschaft.

Dabei müssen die einzelnen Teammitglieder nicht alles Fachwissen in ihrer Person bündeln, sondern sie sollen die Aufgaben und Fragestellungen koordinieren und mit den jeweiligen Spezialisten abstimmen.

### **Welche internen/externen Spezialisten werden für die Realisierung des Projektes/der Teilaufgaben benötigt?**

Nachdem die Teilaufgaben und die jeweils dafür verantwortlichen Teammitglieder definiert sind, gilt es die benötigten Experten für die Lösung dieser Teilaufgaben mit einzubeziehen. Nachfolgend wird dieses für die Teilaufgabe Materialauswahl näher betrachtet.

Wie häufig, beginnt hier die Schwierigkeit bereits wieder bei der Definition: Was genau sind Materialexperten? In welcher Abteilung arbeiten diese üblicherweise – im Qualitätsmanagement, in der Entwicklung oder in der Konstruktion? Erfahrungsgemäß bezeichnen sich recht viele Personen im Unternehmen als Materialexperten oder werden von der Unternehmensführung zu diesen bestimmt. Das ist dann mal der Produktionsleiter – denn der kennt ja alle Materialien, die verarbeitet werden –, mal der Konstrukteur – denn der muss das Material auf die Zeichnung schreiben – oder der Projektmanager selbst – denn der ist ja so oder so für alles verantwortlich. Manchmal ergeben sich so Materialexperten, deren Materialexpertise lediglich darin besteht, zu wissen dass PA die Abkürzung für Polyamid ist.

Wer sich qualifiziert mit der Materialauswahl von Kunststoffen beschäftigt, sollte zumindest den Unterschied zwischen PA 6 und PA 66 sowie die Grundbegriffe wie «Viskosität», «Kristallinität» (bei Thermoplasten) und «Polarität» erklären können.

Wenn in Ihrem Unternehmen nun ein Materialexperte existiert, dann Gratulation, denn Sie haben Ihren Ansprechpartner für Ihr Projekt bereits gefunden.

Ist dies nicht der Fall, so ist häufig doch Einiges an Materialkenntnissen vorhanden – vorwiegend verteilt über mehrere Abteilungen bzw. Personen und wahrscheinlich auch nur über einige bekannte Kunststoffe. Für viele Projekte kann das aber durchaus ausreichend sein.

Ob das für Ihr aktuelles Projekt ausreichend ist? Diese Frage sollten Sie sich im Vorfeld zu jedem Projekt erneut stellen! Letztendlich ist die Materialauswahl von vielen Faktoren abhängig. Daher sollten zu den Einflussfaktoren auch die entsprechenden Spezialisten interviewt werden.

### **Wo sind die Spezialisten zu finden?**

#### ■ **Technische Materialauswahl**

Wenn Sie in Ihrem Unternehmen einen Materialexperten haben, dann wird dieser die Betreuung der Materialauswahl sicherlich begleiten. Wahrscheinlich haben Sie sich aber gerade für die Lektüre dieses Buches entschieden, weil kein Materialexperte zur Verfügung steht, und es ist auch unser Anspruch, Sie mit diesem Buch zur erfolgreichen Materialauswahl zu führen.

Steht intern kein Materialexperte zur Verfügung, sollte auch auf externe Experten zurückgegriffen werden. Im einfachsten Fall sind dies die Anwendungstechniker Ihrer Zulieferer, die hier für Unterstützung sorgen können. Diese können sowohl von Ihren Teilezulieferern als auch von Rohwarenlieferanten oder von beiden kommen.

Bei einer sehr komplexen oder einer erwünschten herstellernerutralen Auswahl können auch unabhängige externe Materialexperten beauftragt werden.

In vielen Fällen wird die Materialauswahl bereits vom Kunden vorgegeben. Aber auch dann sollte diese Vorgabe kritisch überprüft und dem Kunden gegebenenfalls eine Rückmeldung gegeben werden. Denn auch die Materialauswahl des Kunden muss nicht immer die optimale sein. Welcher Spielraum hier besteht, hängt sicherlich davon ab, in welcher Form die Vorgabe erfolgt. Wird beispielsweise in der Zeichnung nur die Kunststoffgruppe oder die exakte Materialbezeichnung von einem definierten Hersteller festgelegt? In letzterem Fall ist der Spielraum für Änderungen praktisch null.

#### ■ **Einkauf**

Auch der Einkauf sollte in jedem Fall bei der Materialauswahl hinzugezogen werden. Bei den meisten Produkten spielt der Materialpreis eine entscheidende Rolle. Das ideale Material für den Konstrukteur ist selten auch das günstigste. Ein intensiver Dialog zwischen den einzelnen Experten ist daher grundlegend wichtig.

Neben dem reinen Kostenthema sind über den Einkauf auch Punkte wie Liefersicherheit und Zuverlässigkeit der Lieferanten zu klären. Beispielsweise sollte hier das sogenannte «single

*sourcing*» (= ein einzelner Alleinlieferant) von Anfang an bei der Materialauswahl vermieden werden. Eine solche Situation kann für eine starke Abhängigkeit hinsichtlich Preis und Liefermengen sorgen. Eine ausreichende Zahl an Alternativen zu haben, ist in jeder Verhandlungssituation ein entscheidender Vorteil.

#### ■ Artikel- und Werkzeug-Konstruktion

Dass das gewählte Fertigungsverfahren einen Einfluss auf die Artikelkonstruktion hat, ist leicht verständlich. Bei einem spritzgegossenen Artikel müssen entsprechende Entformungsschrägen berücksichtigt werden, während diese bei einem zerspannten Bauteil ggf. nicht benötigt werden. Dafür müssen vielleicht Radien berücksichtigt werden, die sich z.B. durch den benötigten Fräser ergeben.

Bei der Materialauswahl verhält es sich ähnlich. Auch hier kann sich das gewählte Material auf die Artikel- bzw. Werkzeugkonstruktion auswirken oder umgekehrt. Z.B. benötigen beim Spritzgießen weiche Materialien meistens eine rauere Artikeloberfläche, um in der späteren Fertigung störungssicher entformt zu werden.

Andererseits kann z.B. durch eine vorhandene Belastung und einen in der Endanwendung maximal verfügbaren Bauraum ein besonders steifes Material notwendig sein.

Genauso können sich Auswirkungen auf die geplante Werkzeugkonstruktion und die eingesetzte Werkzeugtechnologie ergeben. Nicht jeder Werkstoff ist beispielsweise für die Heißkanalverarbeitung geeignet. Die Verarbeitungsschwindigkeit ist materialabhängig und somit eine entscheidende Grundlage für die Werkzeugkonstruktion. Auch Entformungsschrägen, die Dimension der Auswerfer usw. müssen mit der Konstruktion in Abhängigkeit des Materials abgestimmt werden.

#### ■ Fertigung

Das beste Material für eine Anwendung ist nutzlos, wenn es nicht richtig verarbeitet werden kann. Fachleute aus der Fertigung sind daher unbedingt von Anfang an am Projekt zu beteiligen.

Hier ein Beispiel:

Thermoplastisches **Polyurethan** (TPU) ist scher- und temperaturempfindlich. Bei einem 2K-Bauteil wurde eine kleine Dichtlippe an eine Hartkomponente angespritzt. Aufgrund des geringen Materialvolumens und der längeren Zykluszeit ergab sich für das TPU eine so lange Verweilzeit im Zylinder der Spritzgießmaschine, dass das Material bereits bei der Verarbeitung geschädigt war. Die Lösung der Problematik wäre ein neues Spritzaggregat gewesen, was aus Kostengründen jedoch nicht erwünscht war. Letztendlich wurde das Material gewechselt und Abstriche bei der Artikelqualität in Kauf genommen. Kosten entstanden trotzdem, da aufgrund anderer Schwindungswerte das Werkzeug erneut überarbeitet werden musste.

Hinzu kommt, dass eine direkte Verbindung zwischen Material und den späteren Fertigungskosten besteht. Kann der geplante Durchsatz in der Fertigung mit dem geplanten Material erreicht werden? Muss bei bestimmten Rohwaren mit erhöhtem Ausschuss in der Serie gerechnet werden?

All dies sind Fragen, die im Vorfeld geklärt werden sollten.

#### ■ Anwender

Die zuvor genannten Gruppen führen das Projekt durch, die Anwender entscheiden dann, ob es erfolgreich ist. Diese Entscheidung ist knallhart und ohne jegliche Emotion. Wenn ein Anwender nicht bereit ist, für ein Produkt Geld auszugeben, hilft die genialste Entwicklung nichts.

Umso erstaunlicher ist es, dass bei vielen Produktentwicklungen diese entscheidende Gruppe nicht oder nur wenig beachtet wird. Manchmal sind es vermeintliche Kleinigkeiten, die den Anwender stören – beispielsweise die Farbe. Wem sagt der Name «Zune» noch etwas? Dieser MP3-Player wurde von Microsoft als Konkurrent zum iPod von Apple ins Rennen gebracht. Im Gegensatz zum edlen Weiß der Apple-Geräte hatte sich Microsoft für ein

schmutziges Dunkelbraun entschieden. Dieser Fehler wurde zwar bei der zweiten Geräte-Generation durch eine erweiterte Farbauswahl korrigiert, das Produkt schaffte es aber dennoch nicht einmal in den Handel bis nach Europa [3.1].

Die Anwender können aus einem sehr großen Personenkreis bestehen. Dazu zählen neben den Endkunden auch alle Anwender des Produktes entlang der Lieferkette. Diese Anwender können sich alle direkt oder indirekt gegen ein Produkt entscheiden. Ein Monteur macht das indirekt, indem er sich über die Bruchanfälligkeit eines Bauteils bei der Montage beschwert. Ein Einkäufer entscheidet dann direkt durch Reklamation und keine weiteren Bestellungen.

Eine Befragung von Anwendern liefert meist sehr wertvolle Erkenntnisse und sollte daher bereits in einem sehr frühen Stadium des Projektes erfolgen. Dazu muss ein Produkt noch gar nicht existieren – oft reicht eine Skizze oder eine Animation bereits aus. Im fortgeschrittenen Projektstadium können auch Prototypen für eine Anwender-Befragung genutzt werden.

Bei Neuentwicklungen besteht oft die Angst, dass Informationen nach außen gelangen. Im einfachsten Fall können natürlich auch «neutrale» (nicht am Projekt beteiligte) Kollegen in der Kaffeepause befragt werden. Dass «Dunkelbraun» nicht die ideale Farbgebung für ein trendiges Elektronik-Produkt ist, wäre hier vermutlich schnell und direkt geäußert worden.

#### ■ Weitere Spezialisten

Im Projektverlauf werden meist noch weitere Fachleute benötigt: aus dem Qualitätswesen, der Rechtsabteilung, dem Controlling usw. Deren Einfluss auf die Materialauswahl ist im Gegensatz zu den bereits genannten Abteilungen eher indirekt. Dennoch muss zumindest eine Abstimmung erfolgen. Beispiel Rechtsabteilung: Diese ist am eigentlichen Auswahlprozess üblicherweise nicht beteiligt, muss aber spätestens bei der Prüfung der Kunden- und Lieferantverträge hinzugezogen werden.

Aber wie hilft Ihnen das jetzt weiter? Sie wissen nun, dass es viele Faktoren gibt, die auf Ihr Produkt einen entscheidenden Einfluss haben können. Unglücklicherweise wird es auch wichtige Einflussfaktoren geben, von denen Sie momentan noch gar nicht wissen, dass diese überhaupt existieren. Sie haben eine Vielzahl von Ansprechpartnern, Experten und solche, die sich dafür halten. Wie sollen Sie da die Spreu vom Weizen trennen?

Natürlich gibt es keine allgemeingültige Lösung. Durchweg gilt:

#### TIPP

Hinterfragen Sie jegliche Information und Aussage Ihrer Materialexperten kritisch. So lassen sich schnell vermeintliche von tatsächlichen Spezialisten unterscheiden.



Generell können Sie z.B. folgende allgemeine Fragen stellen:

- Gibt es bereits Erfahrung mit diesem Material?
- Welche Besonderheiten sind zu beachten?

Diese Fragen können Sie jedem Ansprechpartner bzw. Spezialisten stellen – dem Konstrukteur genauso wie dem Fertigungsspezialisten sowie Ihrem Zulieferer oder Werkzeugbauer.

Liegen keine Erfahrungen mit dem Material vor, sollten Sie Wege und Quellen suchen, die Ihnen diese Informationen liefern können. Das können z.B. andere Zulieferer sein, die mit der Verarbeitung des Materials bereits Erfahrung haben, evtl. sogar ähnliche Bauteile bereits gefertigt haben. Aus-

fürliche Konstruktions- und Verarbeitungshinweise erhalten Sie oft über die Rohwarenhersteller. Ggf. sollte das fehlende Know-how über externe Spezialisten zugekauft werden.

Beispiel: Sie haben einen eigenen Werkzeugbau und wollen neu in die 2K-Technologie einsteigen, mit der Ihr Werkzeugbau noch keinerlei Erfahrungen hat. Hier empfiehlt sich, zumindest das erste 2K-Werkzeug bei einem erfahrenen Hersteller für 2K-Werkzeuge bauen zu lassen. Hier kann die Lösung studiert und analysiert werden. Damit ist der erste Schritt in der Lernkurve getan, ohne teure Anfängerfehler zu begehen. Sie müssen das Rad nicht neu erfinden.

### **Welcher Zeitbedarf wird für das Projekt/die einzelnen Teilaufgaben benötigt?**

Eine exakte Planung des Zeitbedarfs für ein Projekt ist unmöglich, auch wenn noch so ausgefeilte Software und schlaue Kollegen dieser Meinung sind. Es ist eine simple Tatsache, dass es bisher keine Möglichkeit gibt, in die Zukunft zu schauen. Selbst was morgen passiert, weiß keiner. Insofern ist es oft verwunderlich, mit welcher Sicherheit Projekte auf Tage oder gar auf Stunden exakt geplant werden.

Dabei liegt die Ursache, warum die meisten Zeitpläne nicht eingehalten werden, in der unrealistischen Zeitplanung begründet. Es wurde aber noch nie ein Projekt zum gewünschten Endtermin pünktlich beendet, indem der Zeitplan unrealistisch geplant oder zurechtgekürzt wurde.

Der bessere – und in den meisten Fällen auch der genauere – Weg ist die Abschätzung aus der Erfahrung mit anderen Projekten.

Wieder ein Beispiel:

Für ein neues 64-fach-Spritzgießwerkzeug wurde 1 Woche für die Erstbemusterung geplant. Dies umfasste die Bemusterung auf der Spritzgießmaschine (1 Tag Bemusterung zzgl. 1 – 2 Tage, bis eine Produktionsmaschine verfügbar ist) und die anschließende Vermessung durch das Qualitätsmanagement (die Vermessung durfte erst 48 h nach der Bemusterung erfolgen). Hinzu kam eine geplante Woche für die benötigten Werkzeuganpassungen. Aus der Erfahrung mit früheren vergleichbaren Werkzeugen war bekannt, dass jedes neue Werkzeug mindestens zwei Anpassungsschleifen durchlief. Somit wurden eine zweite Bemusterung mit Werkzeuganpassung – erneut zwei Kalenderwochen (KW) – und eine dritte Abmusterung – nur 1 KW, da ohne weitere Werkzeuganpassung – geplant. Der Serienstart ergab sich somit 5 KW nach Fertigstellung des Serienwerkzeuges. Der Zeitplan wurde von der Geschäftsführung nicht akzeptiert. Der Serienstart wurde auf eine Woche nach Fertigstellung des Werkzeuges festgesetzt. Abgesehen davon, dass dieser Zeitplan völlig unrealistisch war, erhöhte das zudem die Frustration des Projektleiters, da schon zu Beginn des Projektes klar war, dass der Termin nicht eingehalten werden konnte. Sicherlich ist der Zeitbedarf für eine zweite und dritte Bemusterung nicht so lang wie für die erste, dafür konnte aber auch noch eine dritte Änderungsschleife benötigt werden. Tatsache ist: Sie können nicht voraussagen, welche Änderungen auftreten und wie aufwendig diese sind. Sie müssen sich aber für solche Eventualitäten Pufferzeiten einplanen. In den fünf Kalenderwochen hätte das Projektteam (Projektmanagement, Werkzeugbau, QM) Zeit gehabt, auf nahezu jegliches auftretende Problem irgendwie zu reagieren. Jetzt durften keine Probleme auftreten, was aus Erfahrung aber unrealistisch war.

### **Wofür werden Pufferzeiten benötigt?**

Einer der größten Fehler bei der Planung des Zeitbedarfs liegt in den fehlenden Pufferzeiten. Über den Projektzeitraum kann viel passieren: Prioritäten innerhalb des Unternehmens oder beim Kunden ändern sich, Anforderungen ändern sich oder neue kommen hinzu, Kollegen wechseln die Abteilung oder kündigen, Materialien werden aus dem Programm genommen, Preise ändern sich usw.

Natürlich können nicht alle Eventualitäten dieser Welt in einem Zeitplan berücksichtigt werden. Das Ergebnis wäre eine unendlich lange Projektlaufzeit. Trotzdem werden auch bei Ihrem Projekt solche Eventualitäten auftreten. Genau dafür benötigen Sie Pufferzeiten.

Greifen Sie also, bei der Zeitplanung auf Erfahrungswerte aus Ihrem Unternehmen bzw. früheren Projekten zurück. Sollten Sie mal keine Erfahrungswerte haben, müssen Sie diese schätzen und zusätzlich Pufferzeiten planen. Im obigen Beispiel wurde über Abschätzung der einzelnen Änderungsschleifen versucht, den Zeitbedarf zu schätzen. Dem Projektteam war bewusst, dass diese Planung im Detail nie so eintreffen wird, aber abteilungsübergreifend waren sich alle einig, dass in 5 Wochen nach der Erstbemusterung das Werkzeug serienreif zu bekommen war. Deshalb wurde eine Pufferzeit von 5 Wochen geplant. Letztendlich wurde die Serienreife sogar in 4 Wochen geschafft, was nach dem zurechtgekürzten Zeitplan aber trotzdem zu spät war.

Pufferzeiten sind wichtig für die «Korrekturschleifen»: Ein komplett neues Produkt gelingt nie im ersten «Wurf». Dies gilt sowohl für die Materialauswahl als auch für die Verfahrenstechnik. Kaum ein Werkzeug geht ohne eine Nachbesserung in die Serienfertigung, auch werden die geforderten Materialeigenschaften oft nicht in der ersten Runde erreicht. Die Anforderung von regulatorischen Dokumenten, die Vereinbarung von Spezifikationen, die Verhandlung von Preisen usw. – alles benötigt seine Zeit.

### TIPP

Bei zu Beginn noch völlig unklaren oder schwer definierbaren Teilaufgaben innerhalb eines Projektes sollten Sie sich nicht scheuen, durchaus 100% Pufferzeit *zusätzlich* zum geschätzten Zeitbedarf zu planen.



Sind für ein Projekt straffe Zeitvorgaben einzuhalten, werden solche Pufferzeiten gerne gestrichen. Dies hat mit realistischer Projektplanung allerdings nichts zu tun und rächt sich unweigerlich in Form von Projektverzögerungen. Die weitere Folge sind blinder Aktionismus, Hektik und Stress – was wiederum zu Fehlern führt, die weitere Verzögerungen, Aktionismus, Hektik usw. erzeugen. Das entstehende Chaos hat nichts mehr mit Projektmanagement zu tun.

Wenn ein Zeitplan gestrafft werden muss, erarbeiten Sie Lösungsvorschläge, durch die Sie definitiv Zeit einsparen werden. Beschränken Sie sich nicht auf das Streichen von Pufferzeiten, Sie werden diese benötigen. Z.B. kann bei Kapazitätsengpässen im Werkzeugbau durch externe Vergabe eventuell Zeit eingespart werden, oder durch eine FEM-Belastungsberechnung kann die Materialauswahl möglicherweise bereits im Vorfeld getroffen werden. In der Regel hat das natürlich Einfluss auf andere Faktoren, wie z.B. die Kosten. Aber auch diese Diskussion sollte zwischen Projektmanager und Auftraggeber offen und realistisch geführt werden. Das liegt im Interesse aller.

Vergessen Sie nicht, die Materialauswahl in Ihrer Zeitplanung genauso zu berücksichtigen wie alle anderen Teilaufgaben. Inzwischen wissen Sie, dass die Materialauswahl auf viele der nachfolgenden Teilaufgaben durchaus Einfluss besitzt. Bei einigen Projekten kann es daher sinnvoll sein, erst die Materialauswahl abzuschließen, bevor manch andere Teilaufgaben starten.

### Wofür sollte bei der Materialauswahl Zeitbedarf geplant werden?

Bei der Zeitplanung sind hinsichtlich der Materialauswahl folgende Schritte einzuplanen und demzufolge auch Entwicklungszeiten zu berücksichtigen:

- **Anforderungsprofil (s. Abschnitt 3.4):** Im Rahmen der Erarbeitung und Festlegung des Lösungsansatzes zur Erreichung des Projektzieles müssen die Anforderungen an das Material messbar spezifiziert werden. Das sollte über die Diskussion mit allen erforderlichen Beteiligten erfolgen (s. auch vorhergehender Abschnitt «Interne/externe Spezialisten»).
- **Bewertungsmatrix (s. Abschnitt 3.6):** Priorisierung der wichtigsten Faktoren und der K.o.-Kriterien. Hört sich kompliziert an, kann aber relativ einfach (aus wenigen Faktoren) aufgebaut sein. Beispiel (mit absteigender Priorität): keine in der Automobilindustrie verbotenen oder deklarationspflichtigen Substanzen, Preis, Druckfestigkeit, niedrige Viskosität für den thermoplastischen Spritzgießen.  
Beispiel Kinder-Trinkbecher: Die Lebensmittelkonformität ist eine Muss-Voraussetzung, der E-Modul ein Indiz für die Steifigkeit, die Kerbschlagzähigkeit ein Indiz für die Zähigkeit, die Transparenz ist ein weiteres Kriterium mit einer Abhängigkeit von der Wanddicke.
- **Materialvorauswahl:** Bestimmte Werkstoffgruppen können auf Basis der Bewertungsmatrix bereits von vornherein ausgeschlossen werden. Für preissensitive Produkte kommen keine teuren Hochtemperaturkunststoffe in Frage. Ein Thermoplastverarbeiter wird keine Duroplaste als Werkstoff auswählen.  
Beispiel Kinder-Trinkbecher: Aufgrund der Preisanforderungen und der Spülmaschinenbeständigkeit wurde von vornherein ein PP festgelegt.
- **Detaillierte Auswahl:** Aus der Vorauswahl der Werkstoffgruppe(n) erfolgt eine detaillierte Auswahl von Materialtypen (mit Additivierung).  
Beispiel Kinder-Trinkbecher: PP-Typen mit unterschiedlichen Steifigkeiten.
- **Anforderung regulatorischer Bestätigungen (s. Abschnitt 4.1):** Dieser Punkt muss unbedingt vorab geprüft werden! Immer daran denken: Für manche Anwendung ist das Vorliegen der Bestätigung eine gesetzliche Grundanforderung. Beispiel Nahrungsmittelkontakt: Innerhalb der EU ist das Vorliegen einer Konformitätserklärung für den Nahrungsmittelkontakt in allen Stufen des Herstellprozesses gesetzlich vorgeschrieben. Die Erklärung muss vom Rohwarenhersteller und vom Hersteller des Produktes separat erstellt werden.  
Beispiel Kinder-Trinkbecher: Lebensmittelkonformität.
- **Prüfung der regulatorischen Bestätigungen:** Auch die Prüfung auf regulatorische Anforderungen sind in die Zeitplanung mit einzubeziehen. Dies betrifft den Fall, dass regulatorische Anforderungen beim Lieferanten noch nicht durchgeführt wurden oder die Prüfungen selbst beauftragt werden. Trinkwassertests können je nach Vorschrift eine Wasserlagerung von mehreren Monaten vorschreiben. Migrationsprüfungen für Lebensmittelkontaktmaterialien werden ebenfalls nicht von einem Tag auf den anderen durchgeführt.
- **Verfügbarkeit:** Prüfung der generellen Verfügbarkeit für die Anwendung in der geplanten Menge. Wird meist nicht explizit geprüft. Für Standardanwendungen ist dies auch nicht unbedingt erforderlich. Grundlegend wichtig wird die Prüfung der Verfügbarkeit bei Materialien, die nur von wenigen Lieferanten weltweit produziert werden, was außerhalb der Standardpolymere wie PP, ABS usw. allerdings oft der Fall ist.
- **Bemusterung:** Je nach Unternehmen erfolgen Bemusterungen auf unterschiedlichen Wegen: Teilweise steht ein Technikum zur Verfügung, in den meisten Fällen wird das Material jedoch auf den späteren Fertigungsmaschinen geprüft. Dies erfordert eine enge Abstimmung des Bemusterungszeitraums mit der Fertigung, um ein entsprechend freies Zeitfenster zwischen den Produktionsaufträgen zu reservieren. Bei der Zeitplanung sollte besonders vor diesem Termin ein ausreichender Zeitpuffer eingeplant werden. Eine Terminverschiebung würde hier besonders schmerzen, da insbesondere bei hoher Fertigungsauslastung Folgetermine für die Bemusterung nur schwer zu organisieren sind. Zudem werden Fertigungsplaner wenig erfreut sein über die ungenutzte Belegung freier Kapazitäten.

Beispiel Kinder-Trinkbecher: Das Prototypenwerkzeug wird mit einer Wanddicke von 1 mm gebaut. Nach der Bemusterung wird das Werkzeug so lange zu dickeren Wanddicken hin angepasst, bis das beste Material und die optimale Wanddicke ermittelt sind (Pufferzeit einplanen!).

- **Auswertung:** Die Zeiten für die Prüfung der Muster können je nach Anforderungsprofil einen extrem großen Zeitraum einnehmen – vor allem, wenn Langzeitversuche für die Bauteiltests notwendig sind. Diese betrifft beispielsweise die Prüfung der Bewitterungsbeständigkeit, des Kriechverhaltens unter Last oder der Dauergebrauchstemperatur.  
Beispiel Kinder-Trinkbecher: Funktionstests, wie z.B. Falltest und Drucktest.
- **Folgebemusterung:** Sollten die Anforderungen nicht vollständig erreicht werden, so erfolgt eine weitere Bemusterungsrunde auf Basis der Erfahrungen der ersten Bemusterung. Beispiel: Die Fließfähigkeit der ausgewählten Rohware war nicht optimal, es werden bei der Folgebemusterung leichter fließende Rohwaren geprüft.
- **Entscheidung:** Treffen der Materialentscheidung in Absprache mit den Spezialisten. Für diese Abstimmung sollte ausreichend Zeit eingeplant werden. Selbst wenn eine Bewertungsmatrix vorliegt, stehen oft mehrere Materialien zur Diskussion. Beispiel: Es soll doch das teurere Produkt mit den geringeren Fertigungsschwankungen gewählt werden.
- **Materialspezifikation:** Die wichtigsten Kennwerte müssen in einer Spezifikation definiert und mit den Lieferanten rechtsverbindlich vereinbart werden. Sehr häufiger (leider gravierender) Fehler: Es wird keine Spezifikation mit dem Lieferanten ausgetauscht, man verlässt sich auf die Angaben im Werkstoffdatenblatt. Die Werte dort enthalten jedoch weder Toleranzangaben noch sind sie in irgendeiner Form eine Zusicherung der Eigenschaften. Lesen Sie zur Übung einfach öfters das Kleingedruckte in den Werkstoffdatenblättern. Denken Sie daran: ohne Spezifikation keine Reklamation!
- **Preisverhandlung:** Als Verhandlungsbasis für den Einkauf muss das Projektteam vorab die detaillierten Dispositionsdaten und logistischen Anforderungen mitteilen: Jahresbedarf (ggf. auch für die Folgejahre), Einzelabnahmemengen, Lieferform (Sackware, BigBag usw.). Auch hier muss mit «Korrekturschleifen» geplant werden, da hier Wechselwirkungen mit den technischen Anforderungen bestehen. Beispiel: Ein Lieferant bietet besonders günstige Rohware an, die jedoch einen etwas höheren Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Hier muss mit der Fertigung abgestimmt werden, ob die Kosten für den zusätzlichen Trocknungsaufwand höher als der Preisvorteil der günstigeren Rohware sind.
- **Vertragsklärung/Vertragsabschluss:** Die von Nichtjuristen nur sehr ungern gelesenen **Allgemeinen Geschäftsbedingungen** (AGB) und die möglicherweise speziell vereinbarten Lieferbedingungen müssen geprüft werden.

### Welche Kosten entstehen im Projekt?

Parallel zu der Definition der Teilaufgaben eines Projektes und Ermittlung des Zeitbedarfs gilt es auch die Kosten abzuschätzen. Das erfolgt am besten bei separater Betrachtung der Kosten für die einzelnen Teilaufgaben. Bei der ersten Grobplanung reicht auch eine grobe Kostenplanung, aber auch hier sollten genau wie bei der Zeitplanung Puffer eingeplant werden. Ungeplante Ereignisse führen nicht nur zu Terminverzögerungen, sondern meist auch zu zusätzlichen Kosten.

Zudem haben der Zeitplan und die Kosten meistens einen direkten Einfluss aufeinander. Will ich die Kosten niedrig halten, muss ich meistens mehr Zeit investieren. Wenn z.B. das spätere Produkt mit einem günstigeren Material gefertigt werden soll, dann muss wahrscheinlich mehr Zeit in die konstruktive Auslegung investiert und ggf. Funktionstests aufgrund von Korrekturschleifen mehrmals durchgeführt werden. Der Serienstart verschiebt sich nach

hinten. Soll der Zeitplan gekürzt werden, ist das erfahrungsgemäß mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Beispiel: Der Zeitplan bei der Markteinführung für ein neues Produkt mit 16 Spritzgießwerkzeugen war so eng, dass der beauftragte Werkzeugbauer nur auf eine kleine Änderung wartete, um den engen Zeitplan nach hinten zu verschieben. Um den bereits feststehenden Serienstart nicht zu gefährden, entschloss man sich, parallel zur Herstellung der Serienwerkzeuge zusätzlich noch 16 Prototypenwerkzeuge zu bauen. Durch die Prototypenwerkzeuge konnten vorab die Funktion der Baugruppe überprüft, Anpassungen definiert und erprobt werden. Verzögerungen, die sich daraus bei den Serienwerkzeugen ergaben, wurden bei Serienstart durch Bauteile aus den bereits überarbeiteten Prototypenwerkzeugen aufgefangen. Das primäre Ziel «Einhaltung des Zeitplans» wurde durch die Akzeptanz zusätzlicher Kosten erreicht.

### Wofür fallen speziell bei der Materialauswahl Kosten an?

Neben den Kosten für den im letzten Kapitel erwähnten (und nicht unerheblichen) Zeitaufwand können auch direkte Kosten durch die Materialauswahl anfallen, wie z.B.:

- **Materialkosten:** Kleinmengen an Mustermaterial (z.B. Sack mit 25 kg) werden von Lieferanten bei Standardware teilweise kostenlos zur Verfügung gestellt. Ansonsten – gerade auch, wenn ein Material speziell für die Bemusterung produziert werden muss – findet in der Regel eine Berechnung der Kosten statt. Manche Lieferanten verrechnen diese Kosten mit einer späteren Serienbestellung.
- **Konstruktionskosten:** Möglicherweise müssen vorhandene Konstruktionen angepasst oder sogar komplett neu erstellt werden.
- **Fertigungskosten:** Der Einsatz neuer Materialien kann Anpassungen in den Verarbeitungsprozessen erforderlich machen, beispielsweise zusätzliche Trocknungseinrichtungen oder neue Schneckenwellen in einer Verarbeitungsmaschine.
- **Prüfkosten:** Für die Prüfung der Musterteile können sowohl firmeninterne als auch externe Kosten entstehen. Müssen spezielle Anforderungen getestet werden, sind diese Kosten ebenfalls im Zuge der Projektplanung einzukalkulieren. Beispiel Brandprüfungen: In manchen Branchen sind diese Prüfungen eine grundlegende Voraussetzung für die Produktzulassung (Elektronik, Luftfahrt). Da diese Prüfungen direkt am Bauteil vorgenommen werden müssen, kann hier keine theoretische Abschätzung vorgenommen werden.
- **Zulassungskosten:** Für manche Produkte sind Bauteil-bezogene Zulassungen erforderlich, die je nach Vorschrift relativ umfangreich und dementsprechend teuer sind. Beispiele hierfür sind Medizinprodukte oder Komponenten in der Raumfahrt.
- **Beratungskosten:** Werden externe Berater im Zuge der Materialauswahl beauftragt, sind die entsprechenden Kosten einzuplanen. Das betrifft nicht nur die rein technische Beratung, sondern kann auch die Beauftragung von Patentanwälten oder Compliance-Experten umfassen.
- **Simulation:** Kosten für die Berechnung des Materialverhaltens: z.B. eine FEM-Berechnung oder für eine Füll- und Verzugssimulation.

Ist die Grobplanung erstellt, werden Sie feststellen, dass Ihr geschätzter Zeitbedarf und Ihr Kostenrahmen wahrscheinlich nicht mit den Vorstellungen des Auftraggebers übereinstimmen. Auch hier gilt es nun sinnvolle Lösungsansätze zu entwickeln, um einen von allen akzeptierten Projektplan zu erhalten. Seien Sie sich aber gewiss, dass die erfolgreiche Lösung nur über Kompromisse aller Beteiligten (auch der Auftraggeber) erreicht wird.