

Stolpersteine in der Produktentwicklung

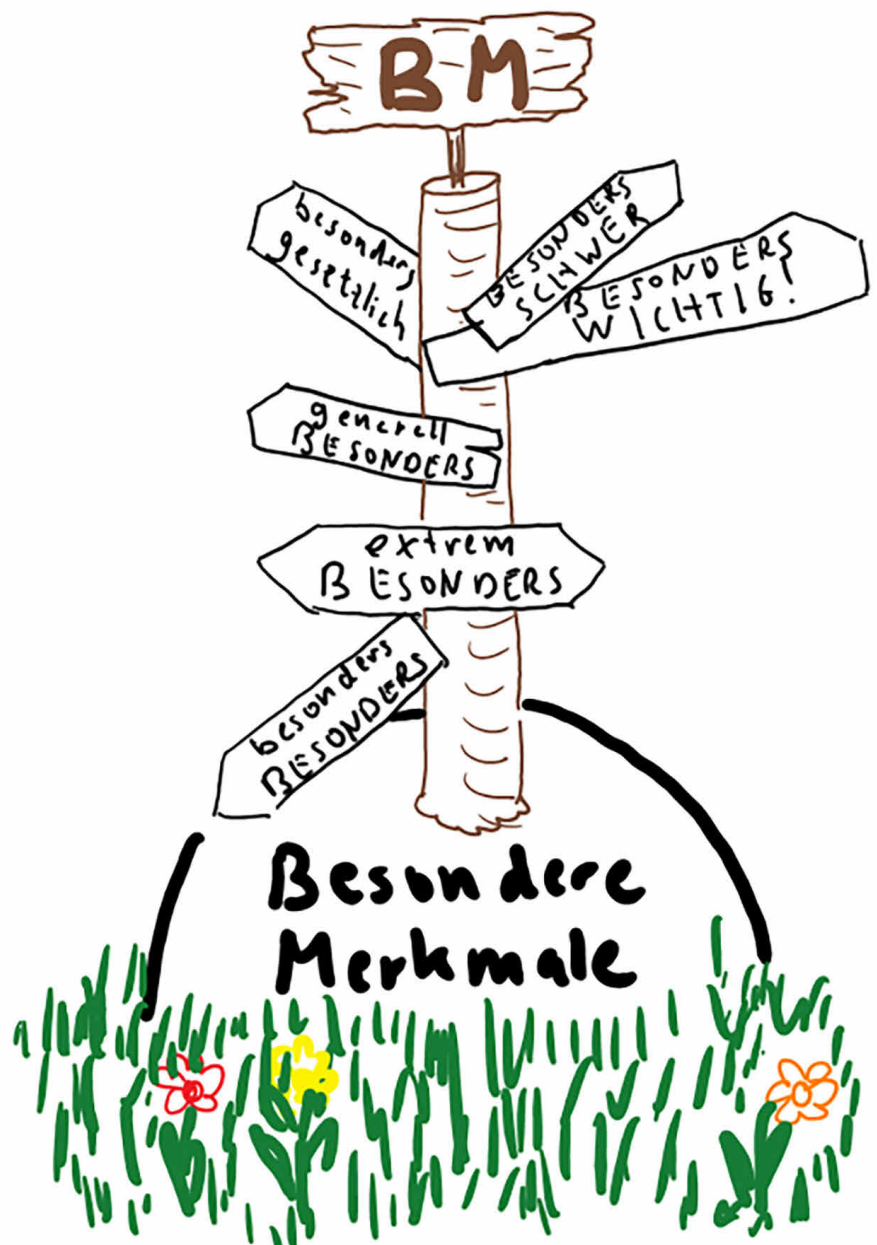
Wie Besondere Merkmale identifiziert und vermieden werden

Seit vielen Jahren kann man die Evolution der „Besonderen Merkmale“ (BM) verfolgen, zuletzt noch einmal gestärkt durch die Verankerung im Automotive Standard IATF 16949:2016. Stolpersteine in Gestalt von BM liegen auf dem Pfad nahezu jeder Produktentwicklung, obwohl ein gut ausgeschilderter Weg jedem Automotive-Wanderer die korrekte Richtung weisen sollte. Tröstlich, dass Besondere Merkmale einer einfachen Grundregel folgen.

Marc Michalzik

Eigentlich sind Besondere Merkmale doch gar nicht so schwer zu erkennen: „BMs hat man immer dann, wenn ein wackeliges Design auf einen ebenso wackeligen Fertigungsprozess trifft, der dann zu schwerwiegenden Auswirkungen im Endprodukt führt.“ Vielleicht klingt meine Definition etwas unscharf, doch in der Praxis hat sie sich bewährt. Der berüchtigte Stolperstein ist in vielen Fällen gar nicht so unmöglich zu überwinden. Und wir wollen die BMs deswegen kennen und finden, weil genau diese ohne unser weiteres Zutun in der Serienfertigung zu realen Problemen führen werden! BMs bedürfen daher einer *besonderen Sorgfalt*. Wir müssen also etwas tun, um die negativen Auswirkungen, die in ihnen ruhen, bereits präventiv zu verhindern. Tun wir das nicht, geht am Ende mit Sicherheit etwas schief. Das liegt in der Natur Besonderer Merkmale.

Das Ziel muss es daher sein, die Design- und Herstellprozesse bereits von Anfang an so zu gestalten, dass diese besondere Sorgfalt gar nicht erst notwendig wird. Dabei hat man gerade zu Beginn der Produktgestaltungsphasen noch viele Möglichkeiten, dass die gefundene Lösung möglichst einfach und sicher ist – sowohl im Design als auch für die Herstellung. Wenn das erreicht wird, ist besondere Sorgfalt aufgrund der Einfachheit der gefundenen Lösung gar nicht mehr notwendig und Besondere Merkmale sind a priori ausgeschlossen..



Wann treten Besondere Merkmale auf den Plan?

Nehmen wir für die weitere Erläuterung ein praktisches Beispiel, das wir sicher alle kennen: einen Rasenmäher. Unabhängig davon, ob dieser mit Benzin oder mit Strom angetrieben wird, ob er von alleine fährt oder von uns per Hand geschoben werden muss: Im Grunde verfügt fast jedes Modell über eine sich vertikal schnell drehende Welle, an deren Ende ein rotierendes Messer hängt, das schließlich das Gras schneidet. Dass diese sich drehende Welle geeignet gelagert werden muss, damit sie im Betrieb weder wackelt noch klemmt, zwar leicht läuft, aber trotzdem auch noch robust genug ist, um die Unwucht eines möglicherweise schlecht geschliffenen Mähmessers auszuhalten oder bei der Kollision mit einem Stein im Rasen nicht sofort zu versagen, dürfte einleuchten. Schauen wir uns genau diese Lagerstelle einmal in Bezug auf die BMs an.

Vereinfacht könnte man sagen: Für ein Besonderes Merkmal müssen immer *mindestens zwei Ereignisse bzw. Aspekte* unglücklich zusammentreffen.

1. Das Merkmal ist vom Design her schon „grenzwertig“ bzw. „wackelig“ ausgelegt

Man könnte auch sagen: das Merkmal ist *nicht-robust designed*. Es verkräftet schon aus der technischen Betrachtung heraus kaum (oder gar nicht) eine Überschreitung der geforderten Designtoleranz, weil sonst die gewünschte Funktion nicht mehr gegeben ist. Nach nur geringfügigem Überschreiten der Toleranzen aus der Mechanischen Zeichnung wird sofort die Funktion versagen. Sie „*verzeiht*“ keinen Fehler bzw. Ausreißer. Dieses Versagen der Funktion kann manchmal sogar noch weitere Risiken und Gefahren auslösen.

Schauen wir vorher erst etwas genauer auf das Konzept dieser Antriebswelle und ihrer Lagerung. Der mechanische Designer eines solchen Rasenmähers wird in der Konzeptionsphase normalerweise verschiedene Lagerungskonzepte auf eine möglichst gute Eignung hin untersuchen. Das ist keine leichte Aufgabe, denn dabei gilt es, viele Anforderungen gleichzeitig zu berücksichtigen und dennoch jede einzelne möglichst gut zu erfüllen. Hier sind nicht nur die Requirements (leichter Lauf, geringe Reibung, lange Lebensdauer, weitgehende Unemp-

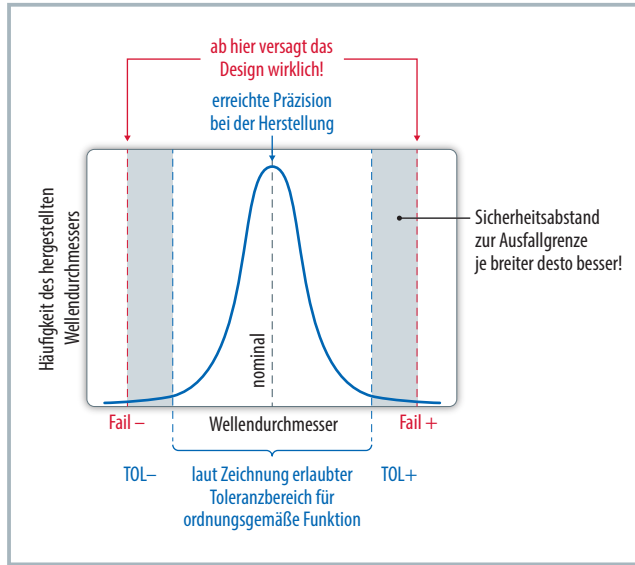


Bild 1. Sobald die geschliffene Rasenmäherwelle (Beispiel) im Durchmesser die Zeichnungstoleranzen stark über- oder unterschreitet, versagt schließlich die Funktion. Quelle: VDA © Hanser

findlichkeit gegen Unwucht, Temperatur usw.) wesentlich, sondern sehr oft auch kommerzielle Kriterien zu beachten (z.B. Materialkosten). Was meiner Erfahrung nach dabei leider oft – zu Unrecht – in den Hintergrund tritt, ist die Berücksichtigung der Herstellbarkeit. Denn das beste Design nützt nichts, wenn die mechanische Zeichnung am Ende Merkmale enthält, deren Herstellung nur noch von speziellen Präzisionsschleifmaschinen bei der NASA im Reinraum gewährleistet werden kann oder ein so exakt arbeitendes Prüfmittel notwendig wird, dass uns nur noch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig helfen kann. Will sagen: ein Design, das vielleicht einen exzellenten technischen Lösungsansatz beinhaltet, aber nicht für eine Serienfertigung geeignet ist, bringt uns nicht weiter. Und damit kommen wir direkt zum zweiten Aspekt eines BMs.

2. Das jeweilige Merkmal kann mit der auf der Zeichnung geforderten Präzision nicht sicher hergestellt werden

Verfolgen wir einmal weiter das Beispiel mit der Rasenmäherwelle. Angenommen, die Mechanik-Designer haben nach vielen Simulationen und sorgfältigen Konzeptreviews herausgefunden, dass ein Sinterbronzelager die geforderten Anforderungen am besten erfüllen würde. Und angenommen, dazu müsse jedoch der Wellendurchmesser extrem präzise hergestellt werden, da das Design hier so gut wie keine Abweichung von der angegebenen Toleranz verträgt.

So eine Designentscheidung stellt sehr

hohe Anforderungen an die Fertigung, denn nehmen wir einmal an, in dem Produktionswerk für Rasenmäherwellen stünden nur alte und betagte Drehmaschinen zu Verfügung. Die können eine Roh-Welle zwar relativ schnell und kosteneffizient auf ein gewünschtes Maß abdrehen, jedoch sei es in diesem Beispiel bei diesen Maschinen nicht sichergestellt, dass sie immer und jederzeit den vom Design her geforderten (extrem engen) Toleranzschlauch für den Wellendurchmesser treffen werden.

Daher erklärt der Fertigungsplaner bereits beim Sichten der mechanischen Zeichnung, dass er hier definitiv „Ausreißer“ (also Teile, die nicht spezifikationskonform sind) erwartet, denn die Prozess- und Herstelltoleranzen seiner Maschinen sind bereits größer als die Anforderungen an das herzustellende Teil (Bild 1)

Und das bedeutet, dass wir in unserem Beispiel tatsächlich kurz vor einem „echten“ BM stehen:

- **Nicht-robust im Design:** Das Merkmal „Wellendurchmesser“ verträgt bereits vom Design her keinerlei Abweichung vom gegebenen Toleranzschlauch.
- **Nicht-robust im Fertigungsprozess:** Die in der Fertigung verwendeten Drehmaschinen können diesen engen Toleranzschlauch für das Merkmal „Wellendurchmesser“ nicht immer zuverlässig treffen

Die beiden „nicht-robust“-Attribute sind die Eintrittskarte in die Welt der Besonderen Merkmale, denn wenn wir ehrlich >>>

sind, wissen wir bereits, dass uns dieses Produkt mit dem aktuellen Design im Markt Probleme bereiten wird. Genau diese Schwächen findet der BM-Prozess, indem er das Denken und die Kommunikation zwischen Entwicklung und Fertigung anregt (Bild 2).

Den dritten und letzten Baustein für ein BM finden wir ebenfalls durch logisches Denken, bzw. können manchmal sogar auf Erfahrungen und bekannte Fehlermechanismen zurückgreifen:

3. Wir überlegen uns die Auswirkungen produzierter „out-of-tolerance“-Teile

Stellen die Drehmaschinen im Fertigungswerk aufgrund ihrer Fertigungstoleranzen gerade einmal leicht zu schmale Wellen her, werden diese im fertigen Rasenmäher wackeln. Wenn wir uns vorstellen, dass das zum Versagen des Abdichtkonzepts und damit zum Auslaufen von Schmierstoffen (z. B. Öl) in den Rasen des Hobbygärtners führt, wäre die Konsequenz eine erste Abweichung zu Umweltschutzgesetzen: **Gesetz (G)**

Lassen Sie uns in diesem Beispiel annehmen, dass wir aus der Erfahrung im Design von Rasenmähern ebenfalls folgenden Fehlerpfad kennen: Das Wackeln der Welle führt zu Vibrationen und dies wiederum zum ungewollten Lockern der Halteschraube am Rasenmähermesser. Das kann zu einer ernstesten Gefährdung des Bedieners führen. Also gibt es einen weiteren Risikoaspekt: **Sicherheit(S)**

Bei zu dick gedrehten Wellen hingegen wissen wir, dass die Welle im Lager stark zu reiben beginnt, was zum ungewollten Temperaturanstieg, zur Materialausdehnung und schließlich sogar zum endgültigen Verklemmen führt. Der Rasenmäher wird am Ende stehenbleiben und nicht mehr mähen. Das bedeutet: **Ausfall der Funktion (F)**

Egal, welche der drei Fälle (G, S oder F) am

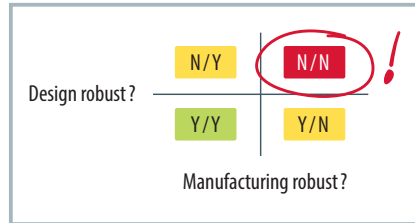


Bild 2. Wenn ein Merkmal „wackelig“ designed ist und dann noch auf einen ebenso wackelige Herstellung trifft- dann ist ein BM nicht mehr fern! BM stammen immer aus dem rot eingerahmten „N/N“-Quadranten. Quelle: VDA © Hanser

Ende vorliegen: Es ist das letzte fehlende Kriterium ein echtes Besonderes Merkmal, denn jede einzelne der betrachteten Auswirkungen wäre ein ernst zu nehmendes Problem für unser Produkt (Bild 3). Gemäß dieser einfachen Formel wären in unserem Beispiel alle drei Kriterien für ein BM erfüllt und wir würden hier tatsächlich über ein *festgelegtes Besonderes Merkmal* reden.

Was tun, um Besondere Merkmale zu vermeiden?

Mathematiker können uns nun mit einem puristisch klingenden Ansatz helfen: Sobald nur eines der o. g. Kriterien entkräftet werden könnte, wäre man das BM bereits los und der Stolperstein auf dem Weg zum funktionstüchtigen Produkt wäre beseitigt (oder zumindest entschärft).

Aber gelingt uns das? Natürlich, denn es gibt in der Formel drei Und-verknüpfte Elemente, damit also auch mindestens drei Möglichkeiten der Entschärfung. Nicht alle sind gleich gut, das werden wir noch sehen, aber auch das kann man sich meistens schon während der Entwicklung überlegen.

Variante 1: Änderung des Designs bzw. Konzepts

Wir suchen uns ein anderes Design, das mit größeren Toleranzen auskommt. Beispielsweise könnte man statt des Sinterbronzelagers ein Kugel- bzw. Kegelrollenlager benutzen, das möglicherweise höhere Fertigungstoleranzen verträgt. Vielleicht geht

man aber sogar einen Schritt weiter und ändert das Gesamtkonzept des Mähers von einem vertikal rotierenden Schneidmesser auf einen horizontalen Walzenmäher, der gänzlich andere Antriebskonzepte ermöglicht.

Natürlich hätte das alles eklatante Auswirkungen auf Kosten und Termine. Darum ist es ja auch sehr wichtig, dass man solche Konzept- und Designentscheidungen so früh als möglich hinsichtlich BMs analysiert und Maßnahmen trifft. Sind die Sinterbronzelager erst einmal beauftragt, die Drehmaschinen und Werkzeuge für die geplante Serienproduktion gekauft und die Bedienungsanleitung gedruckt, wird niemand mehr begeistert das gesamte Rasenmäherkonzept nachträglich umstellen wollen – nur weil man inzwischen schlauer ist und ein paar potenzielle Schwachstellen entdeckt hat. Daher ist es ratsam, die BM-Analyse so früh als möglich im Entwicklungsprozess durchzuführen. Andernfalls setzt man Lösungsoptionen auf 's Spiel!

Variante 2: Änderung des Herstellverfahrens

Ist es nicht (mehr) möglich, das Design zu verändern oder die Toleranzen aufzuweiten, um der Fertigung mehr Spielraum für eine robuste Merkmalsherstellung zu geben, kann man versuchen, die Präzision der Fertigungsmaschinen selbst zu verbessern. In unserem Beispiel könnte man vielleicht die alten Drehmaschinen durch brandneue Maschinen in besonderer Präzisionsausführung ersetzen, die auch mit dem Herstellverfahren „Drehen“ die geforderten Toleranzen sicher einhalten.

Reicht aber auch das nicht aus, wird man notgedrungen das Herstellverfahren selbst wechseln müssen: Die Wellen werden vielleicht nicht mehr auf Maß gedreht, sondern stattdessen mit Rundschleifmaschinen geschliffen, was bereits durch das andere Herstellverfahren eine viel größere Grundpräzision mit sich bringt. Hier sind aber wieder Kosten- und Zeitaspekte abzuwägen, denn *Rundschleifen* ist zwar von der Natur heraus präziser als *Drehen* – aber leider auch viel langsamer (und damit auch teurer). Dies zeigt auch, dass es für verschiedene Herstellverfahren unterschiedliche Bewertungen der BM geben kann (und muss)!

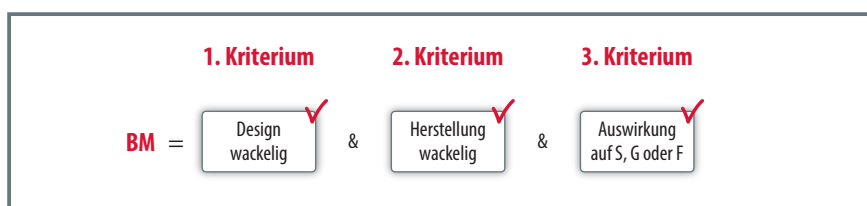


Bild 3. Alle drei Kriterien müssen erfüllt sein, um ein Besonderes Merkmal zu erzeugen. Quelle: VDA © Hanser

Variante 3: 100-Prozent-Prüfung („besondere Sorgfalt“)

Nützt alles nichts, bleibt am Ende eigentlich nur noch das Aussortieren bzw. Selektieren der „out-of-tolerance“-Teile. Es mag Anwendungen geben, die an die Grenze des technisch aktuell Machbaren gehen und für die es weltweit weder bessere Konzepte noch bessere (robustere, präzisere) Herstellverfahren gibt. Dann mag es sein, dass man um eine Ausschussfertigung mit finaler 100-Prozent-Prüfung nicht mehr herumkommt.

Produkte dieser Art sollten aber die absolute Ausnahme sein, denn es ist die teuerste (und schlechteste!) aller Lösungen und daher sicher nur für absolute High-End-Produkte in geringen Stückzahlen sinnvoll (z. B. Formel 1-Rennwagen oder Raumfahrt). Kein Automobilhersteller mit laufender Volumenproduktion wird mit einem solchen 100-Prozent-Ansatz glücklich sein. Daher ist dies die schlechteste aller Lösungsvarianten.

Es gibt manchmal aber auch weitere Möglichkeiten.

„Variante 0“: sichere Rückfallebene

Ähnlich den Gedankengängen, die man häufig in der Analyse von Sicherheitskonzepten verfolgt, lässt sich manchmal auch eine Art „sichere Rückfallebene“ realisieren, die bei geschickter Auslegung auch dafür geeignet sein kann, BMs zu verhindern. Angenommen, es handelt sich in unserem Beispiel um einen elektrisch betriebenen Rasenmäher, so könnte eine zusätzlich integrierte Stromüberwachung des Motors dafür sorgen, dass das Gerät bei zu leichtgängiger oder auch zu schwergängiger Welle (Stromaufnahme wird zu klein oder zu groß) der Antrieb abgeschaltet wird und damit ein betriebs sicherer Zustand erreicht wird, der in diesem Beispiel immerhin das Sicherheitsrisiko wirksam ausschließen kann.

Solche Gedanken mit Rückfallebenen oder auch technischen Redundanzen sind häufig dazu geeignet, BMs zu vermeiden. Am allerbesten ist es aber, ein Konzept zu finden, das gänzlich ohne BMs oder zusätzlich installierte Rückfallebenen auskommt und sowohl vom Design her robust ist als auch in all seinen Merkmalen robust hergestellt werden kann.

Kommen wir künftig ohne Besondere Merkmale aus?

In einer BM-Schulung habe ich mich einmal zu der saloppen Aussage „Je mehr BMs ihr im Produkt identifiziert habt, desto schlechter ist es!“ hinreißen lassen. So darf man das fairerweise nicht stehen lassen, aber dennoch erfüllte es den beabsichtigten Zweck: Es rüttelte die Seminarteilnehmer auf und bewog sie zum Nachdenken und Hinterfragen. Das Bewusstsein, dass Merkmale hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit und ihrer Auswirkungen auf das Endprodukt bereits in der Designphase zwingend analysiert werden müssen (besser noch: in der Konzeptphase), sollte schnellstmöglich Einzug in unsere Köpfe finden, denn nur mit diesem Wissen können wir unsere Produktqualität sauber steuern und dazu beitragen, negative Auswirkungen unserer Produkte auf unsere Kunden weitestgehend zu verhindern. Dann reicht nämlich auch die „übliche Sorgfalt“ – ohne Sondermaßnahmen!

Die Systematik der Robustheitsanalyse in Design und Fertigung kann übrigens in der logischen Evolution dieser Methode nicht nur dazu führen, die *negativen Kombinationen* zu finden (die wir dann „BM“ nennen), sondern auch in deren *positiven Fällen* (robustes Design in Verbindung mit robuster Fertigung) schließlich Fertigungsschritte zu vereinfachen oder manche Tests sogar komplett entfallen zu lassen.

Man könnte sagen: der *BM-Prozess* allein identifiziert erst einmal die Risiken. Nebenprodukte der Analyse sind schließlich auch Chancen! Es wäre töricht, diese erst zu identifizieren, aber dann das mühsam gefundene Vereinfachungspotenzial nicht zu nutzen. Das Unternehmen Bosch betreibt daher einen Ansatz, der deutlich über die IATF-Forderungen nach einem BM-Prozess hinausgeht: Er identifiziert einerseits nicht nur die Risiken, sondern versucht andererseits auch, die sich in der Analyse ergebenden Chancen zu nutzen, um die Produktion einfacher zu machen – aber ohne dabei Risiken einzugehen. ■

INFORMATION & SERVICE

QUELLE

- IATF 16949:2016: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme für die Serien- und Ersatzteilproduktion in der Automobilindustrie. VDA, Oktober 2016

AUTOR

Marc Michalzik ist Qualitäts-Prozesskoordinator bei der Robert Bosch GmbH und verantwortlich für FMEA und Besondere Merkmale im Geschäftsbereich XC. Nebenberuflich arbeitet er als Fachreferent vorwiegend für den VDA und im Bereich der Besonderen Merkmale.

KONTAKT

Marc Michalzik
marc.michalzik@bymm.de