

Einseitige und natürliche Toleranzen in der Prozessfähigkeit

Stephan Conrad, TEQ® Training & Consulting GmbH

Einseitige Toleranzen werfen bei Fähigkeitsberechnungen immer wieder Fragen auf, insbesondere in Bezug auf den Unterschied zwischen „einfach nur einseitigen“ Toleranzen und „einseitigen Toleranzen mit einer natürlichen Grenze“. Dieser Artikel soll einige der wichtigsten Punkte aufzeigen und Lösungsmöglichkeiten darstellen. Vorab gilt es zu klären, was man unter „einseitigen Toleranzen“ versteht, vor allem wie die Abgrenzung zu „einseitig natürlich begrenzten“ Toleranzen zu verstehen ist. Die hier für Prozessfähigkeiten aufgezeigten Vorgehensweisen lassen sich natürlich genauso auf Maschinenfähigkeiten (Cm/Cmk) und vorläufige Prozessfähigkeiten (Pp/Ppk) übertragen.

Zwei – Eins – Null – Natürlich begrenzt?

Zweiseitige Toleranzen

Zweiseitige Toleranzen sind Toleranzen, die einen Merkmalsbereich in zwei Richtungen eingrenzen. Das Merkmal kann beide Toleranzgrenzen überschreiten, was dann zu einer Nonkonformität führt, d. h. zu einem „schlechten“ Produkt.



Beispiele:

- Längenmaße, wie die Breite des KFZ-Kennzeichens
- Netzspannung zum Betrieb der Mikrowelle
- Durchmesser einer Gewindebohrung

Einseitige Toleranzen

Einseitige Toleranzen sind Toleranzen, die ein Merkmal nur in einer Richtung begrenzen. Diese Grenze kann durch das Merkmal über-, bzw. unterschritten werden, was dann zu einer Nonkonformität, d. h. zu einem „schlechten“ Produkt führt. In die jeweils andere Richtung gibt es keine Begrenzung, weil die Merkmalswerte, die der Prozess in dieser Richtung erzeugen kann, nicht zu einer Nonkonformität führen werden.

Beispiele:

- Mindestabzugskräfte für Kabelverbindungen
- Mindestbruchkräfte für Glasregalböden
- Maximale Lagertemperatur für Gefrierprodukte
- Zulässiges KFZ-Gesamtgewicht



oder



Technologische/physikalische/natürliche Toleranzen

Ein Sonderfall bei einseitigen Toleranzen liegt vor, wenn die zweite Grenze nicht einfach nur fehlt, sondern durch eine „natürliche“ Grenze ersetzt werden kann, die das Merkmal aus technologischen/physikalischen Gründen nicht überschreiten kann. Diese „natürliche“ Grenze ist darüber hinaus meist auch der Prozess-Zielwert, das heißt, das „bestmögliche“ Prozessergebnis.

Beispiel:

- Ebenheit einer Tischplatte (Ebener als eben geht nicht)
- Rundheit einer Welle (Runder als rund geht nicht)
- Unwucht-Betrag
- Positionsabweichungsbetrag



oder



Eine weitere Besonderheit dieser technologisch/physikalisch begrenzten Merkmale ist die Tatsache, dass diese „natürliche“ Grenze auch die einzige Art von Toleranzgrenze ist, die das Merkmal „von selbst“ erkennt. Die vom Konstrukteur gesetzten Grenzen können von den Merkmalen beliebig überschritten werden, die natürlichen Grenzen nicht. Der Prozess „weiß“ sehr wohl, dass hier nichts mehr geht, und wird sich diesem Umstand anpassen. Das heißt einerseits, dass

- diese natürlich begrenzten Prozesse tendenziell schiefe Verteilungen produzieren, wenn sie in die „natürlichen“ Grenzen hineinlaufen, andererseits aber auch
- der Streubereich eines stabilen und fähigen Prozesses klar auf den Bereich zwischen Spezifikationsgrenze und technologisch/physikalisch/natürlicher Grenze beschränkt ist.

Im weiteren Text werden diese Grenzen vereinfachend „natürliche Grenzen“ genannt.

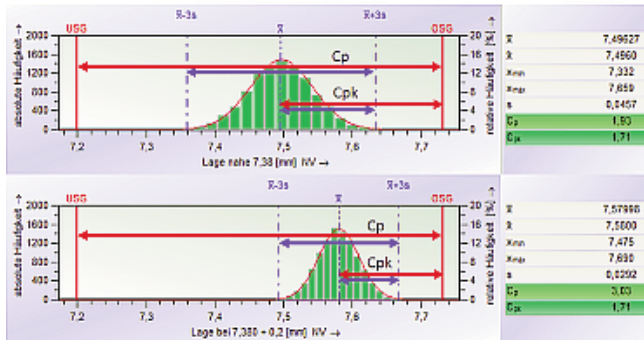
Sie können das Phänomen der schiefen Verteilungen sehr gut beobachten, wenn Sie das Kinderspiel „Fuchsen“ kennen. Man schnippt dabei mit dem Daumen eine Münze in Richtung einer Wand. Der Spieler, dessen Münze am nächsten an der Wand liegt, hat gewonnen. Dieser Prozess wird zu schiefen Münzverteilungen führen. Ersetzen Sie die Wand durch eine weiße Linie auf dem Boden, und Sie werden bei gleichem „Schnippverhalten“ eine schöne Normalverteilung erzeugen.

Welche Auswirkungen haben diese Toleranzen auf die Fähigkeitsberechnungen?

Zweiseitige Toleranzen

Die Fähigkeitsberechnungen bei zweiseitigen Toleranzen dürften im Allgemeinen bekannt sein:

- Der Cp beschreibt das Verhältnis von Toleranz zur 99,73%-Prozessstreuung
- Der Cpk beschreibt das Verhältnis der Abstände „Mittellage - kritischen Toleranzgrenze“ zur jeweiligen „Mittellage - Prozessstreuung“



Bei zweiseitigen Toleranzgrenzen gelten auch Merksätze wie

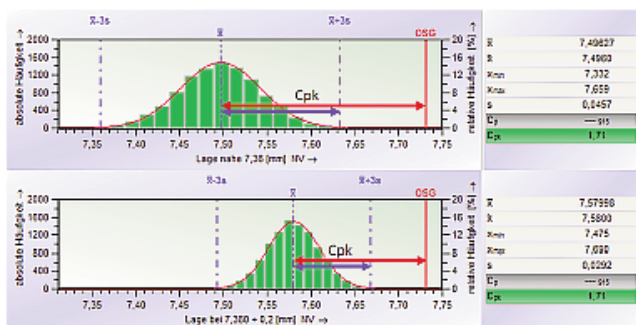
- Cpk ist immer kleiner/gleich Cp ($C_{pk} \leq C_p$)
- wenn der Prozess optimal zentriert in der Toleranz liegt, dann ist $C_{pk} = C_p$
- Der Cpk beschreibt die „tatsächliche Qualität“
- Der Cp beschreibt die „optimal erreichbare Prozessqualität“

Einseitige Toleranzen

Bei einseitigen Toleranzgrenzen kann auf Grund der fehlenden zweiten Grenze keine Toleranzbreite errechnet werden, also entfällt auch die Berechnung des Cp.

Bei einseitigen Toleranzgrenzen gelten die Merksätze

- Cp kann nicht berechnet werden
- Der Cpk beschreibt die „tatsächliche Qualität“

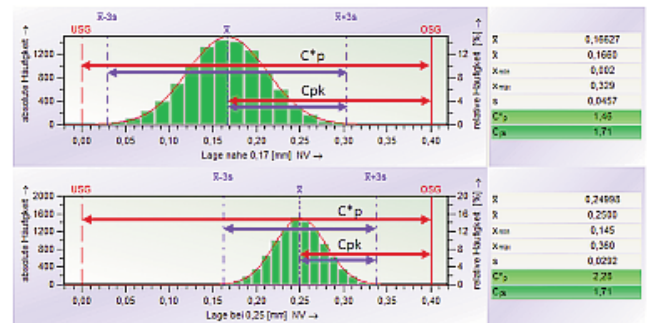


Leider kann es wie im hier gezeigten Fall passieren, dass die „tatsächliche Qualität“ zweier sehr unterschiedlicher Prozesse scheinbar identisch ist. Dass der untere Prozess in der Realität der geringer streuende, aber näher

an der Toleranzgrenze liegende Prozess ist, geht aus den Fähigkeitsindizes nun nicht mehr hervor. Beide Prozesse haben einen Cpk von 1,71 und sind nun anscheinend „gleich gut“. Spätestens hier wird deutlich, dass die durch den Cpk ausgedrückte „tatsächliche Qualität“ nur die Qualität in Sinne „erwarteter Toleranzüberschreitungen“ meint. Fähigkeit ist aber mehr als nur ein anderes Wort für Überschreitungsanteil. Natürlich zeigt der untere Prozess ein höheres Potential, hat also auf Grund der geringeren Streuung eine deutliche höhere prozessinhärente Qualität. Diese Information steckt im Zusammenhang der Fähigkeitsindizes Cp und Cpk. Bei einseitigen Grenzen kann Cp nicht berechnet werden und der Cpk alleine kann diese Information nicht darstellen.

Technologische/physikalische/natürliche Toleranzen

Was passiert nun bei einseitigen Toleranzen mit natürlichen Grenzen? Auch hier ist es so, dass der Cpk die „tatsächliche Prozessqualität“ beschreibt. Allerdings bietet die Nullgrenze nun die einmalige Chance, die Unterschiede in der prozessinhärenten Qualität zu beschreiben. Nimmt man einfach die natürlichen Grenzen als Ersatz für die zweite Grenze, dann kann man nun wieder einen „Pseudo-Cp“ errechnen, der die Unterschiede der Prozesse sehr deutlich aufzeigen kann.



In diesem Falle gelten folgende Merksätze:

- Der Cpk beschreibt die „tatsächliche Qualität“
- Der Cpk kann größer sein als der C* p, was darauf hinweist, dass der Prozess näher an der natürlichen und „guten“ Grenze/Zielwert liegt.
- Der Cp beschreibt hier nicht die „optimal erreichbare Prozessqualität“

Dass dieser C* p nun ein besonderer Cp ist, sollte in Formblättern deutlich gemacht werden. In qs-STAT® gibt es mehrere Hinweismöglichkeiten. Wie oben zu sehen, kann dieser C* p z. B. mit einem Stern gekennzeichnet werden. Auch die strichlierten natürlichen Toleranzen können so markiert werden. Darüber hinaus zeigen die Hinweis-Codes 15 und 915 und die Farbcodierung in den Formblättern die Besonderheiten an. Ebenso kann in der Auswertestrategie festgelegt werden, ob ein C* p zur automatischen Bewertung der Prozessqualität herangezogen wird oder nicht.

Industrielle Praxis

Diese Option wird in der Industrie sehr unterschiedlich gehandhabt. Hier drei typische Interpretationen, die in dieser Struktur von diesen Firmen in qs-STAT® konfiguriert und freigegeben wurden:

Zielsetzung: „Wir wollen alle Informationen erhalten, bewerten natürlich begrenzte Merkmale aber nur mit dem Cpk.“

Lösung: Berechnen Sie Cp, zeigen ihn an, bewerten ihn aber nicht an einem Grenzwert.

Vertreter: GM Powertrain und Volkswagen



Zielsetzung: „Für unsere Prozesslandschaft sind Prozesse mit geringer Streuung wichtig. Deshalb fordern wir immer $C_p >= 1,xx$ und $C_{pk} >= 1,yy$ “

Lösung: Legen Sie auch für Cp einen sinnvollen Grenzwert festlegen.

Vertreter: Renault oder auch exemplarisch „Q-DAS 1 Part“

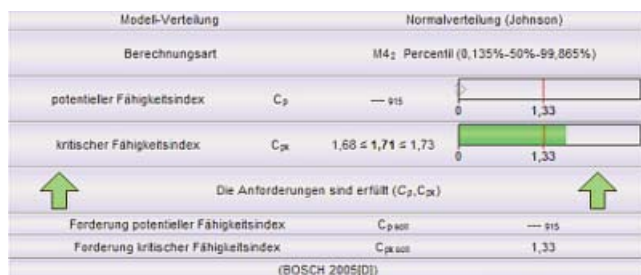


Zielsetzung: „Es reicht, den Cpk zu bewerten, der Cp ist uns nicht so wichtig.“

Oftmals wird argumentiert, man wolle die Belegschaft nicht mit den notwendigen Ausnahmeregelungen irritieren.

Lösung: Dann lassen Sie die Berechnung einfach weg.

Vertreter: Daimler, BMW und Bosch

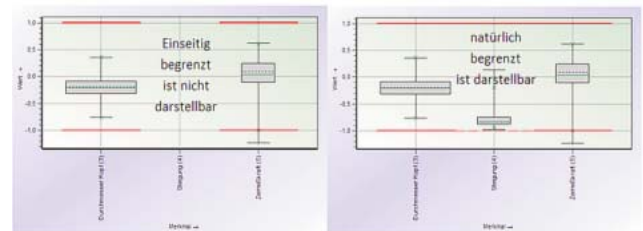


Der Blick über den Tellerrand

Die Vorgehensweise, natürliche Grenzen als „Pseudo“-Spezifikationsgrenzen zu nutzen, ist nicht auf diese Anwendung begrenzt.

Bei Messsystemanalysen ist es üblich, die Kennwerte Cg/Cgk und %GRR mit natürlichen Grenzen zu berechnen. Es ist klar, dass der zu erwartenden Streubereich sich wie bei zweiseitigen Grenzen aus der natürlichen und der gesetzten Toleranz ergibt, also sind die Berechnungen identisch. In diesem Fall wird auch der Cg immer an einem Grenzwert bewertet!

Für manche Darstellungen, die auf Normierungen zurückgreifen, ist die Angabe zweier Grenzen unumgänglich. So kann ein Boxplot mit normierter Skala kein Merkmal darstellen, das nur eine Grenze besitzt. Alleine dafür macht es Sinn, natürliche Grenzen anzugeben.



Bei der Suche nach beschreibenden Verteilungen kann es Sinn machen, den Offset-Parameter der Verteilung einzuschränken, so dass er nicht in einen in der Praxis unmöglichen Bereich rutscht. Auch dafür macht es Sinn, natürliche Grenzen anzugeben.

Eine klare Vorgehensweise vermeidet Missverständnisse. Oftmals werden nur Abmaße statt Absolutwerte notiert. Eine Toleranz $8+0,01/-0$ mit den Abmaßen 0,01 und 0 führt dann schnell zu Fehlinterpretationen im Zusammenspiel mit dem umgangssprachlichen Ausdruck „natürlich nullbegrenzt“. Ebenso eine maximale Lagertemperatur von 5°C im Kühlschrank, die natürlich auch nicht unter 0°C liegen sollte. In beiden Fällen ist die „Null“ keine natürliche Grenze.

Damit sind wir bei der nächsten Irritation. Selbst wenn nur eine maximale Lagertemperatur angegeben wurde, ist eine Temperatur „natürlich nullbegrenzt“, und zwar bei 0 Kelvin, d. h. -273,2° Celsius. Aber diese natürliche Grenze ist für unsere Lagertemperatur weder prozessrelevant noch eine Zielgröße. Ebenso verhält es sich mit allen Längenmaßen. Oder kennen Sie negative Längen? Also verzichtet man auf die Berücksichtigung dieser irrelevanten natürlichen Grenzen und nennt den Prozess „einseitig begrenzt“.

Was sagen die Normen?

Die Normen bezüglich Prozessfähigkeiten sind derzeit im Umbruch. Noch gültig ist die DIN ISO 21747, sie wird aber vermutlich Anfang 2013 ersetzt durch die ISO/FDIS 22514-2, die im Rahmen der ISO Reihe 22514 „Statistical methods in process management – Capability and performance“ den Bereich der Prozessfähigkeit abdeckt. In diesen Normen wird nur die Berechnung bei zweiseitigen und einseitigen Toleranzen beschrieben. Der Sonderfall mit natürlichen Grenzen wird nicht erwähnt, weder im positiven noch im negativen Sinne, wohl auch deshalb, weil die Experten der DIN- und ISO-Gremien, wie oben ersichtlich, noch unterschiedliche Konzepte nutzen. Dass die Methode der natürlichen Grenzen weder erwähnt noch ausgeschlossen wird, heißt bei weitem nicht, dass sie nicht erlaubt wäre. Würde man sich dieser Interpretation anschließen, wäre ein Großteil der üblichen Qualitätsmethoden nicht erlaubt. Im Gegenteil: Die Methoden entwickeln sich in der praktischen Anwendung und werden dann nach ausreichender Erprobung und bei ausreichendem wirtschaftlichem Interesse als technischer Standard in der Normung manifestiert. Nur wenn die Normen spezielle Vorgehensweisen vorschreiben, dann können andere Methoden als falsch definiert werden. Das ist hier definitiv nicht der Fall.

Zusammenfassung

Die Nutzung technologischer/physikalischer/natürlicher Grenzen ist sinnvoll, um die tatsächlichen Verhältnisse im Rahmen der Prozessqualität zu beschreiben. Das Zusammenspiel von Cp und Cpk kann bei einseitig begrenzten Merkmalen nicht genutzt werden, wichtige Informationen über die Prozessqualität können dadurch verloren gehen. Bei natürlich begrenzten Merkmalen

kann die natürliche Grenze ersatzweise zur Berechnung des Cp herangezogen werden, wodurch das Verhältnis Cp zu Cpk wiederum weitere Informationen zur eigentlichen Prozessqualität liefert.

Passend zu den erweiterten Berechnungstechniken müssen die Merksätze für Fähigkeitsindizes erweitert werden.

- Der Cpk beschreibt immer die „tatsächliche Qualität“
- Der Cp
 - beschreibt bei zweiseitigen Grenzen die „optimal erreichbare Prozessqualität“ und ist somit immer größer/gleich Cpk. Bei Cpk=Cp liegt der Prozess optimal zentriert in der Toleranz
 - kann bei einer natürlichen Grenze auch kleiner als Cpk sein, wenn der Prozess nahe am Zielwert liegt („Cpk größer Cp nur bei natürlichen Grenzen möglich!“)
 - ist bei einseitigen Grenzen nicht berechenbar

Diese Methode steht in keinem Widerspruch zu einer Normforderung und wird in der Praxis in unterschiedlichen Ausprägungen genutzt. Die Interpretation hängt von der jeweiligen Qualitätsphilosophie der Unternehmen ab. Grundsätzlich ist immer zu hinterfragen, warum auf die Mehrinformation des Cp bei natürlichen Grenzen verzichtet werden sollte.



infra - DAT
Kabellose
Messdatenübertragung

Übertragen Sie die Messdaten Ihrer Handmessmittel schnell und fehlerfrei per Funk.

CONTROL 2012, Halle 3, Stand 3111

ELIAS GmbH, Westring 303, 44629 Herne, Tel.: +49 2323 925 501, Fax: +49 2323 925 502, www.elias-gmbh.de, info@elias-gmbh.de



Nr.	Beschreibung	Toleranz		Istwert/ Actual value	Abw. Dev.
		Sollwert/ Desired value	UG		
23	Ø 3,5	7,8	78,2	78,53	right ✓
24	Ø 60	1,3	59,7		✓
25	Ø 70	0,3	6		✓
26	Ø 28,2	2			✓
27	Ø 2	2,2	1		
28	Ø 7,2	6,8			
29	Ø 3,0	2,8			