

DIN ISO 7870-2



ICS 03.120.30

Einsprüche bis 2020-11-04

Entwurf**Regelkarten –
Teil 2: Shewhart-Regelkarten (ISO 7870-2:2013);
Text Deutsch und Englisch**

Control charts –
Part 2: Shewhart control charts (ISO 7870-2:2013);
Text in German and English

Cartes de contrôle –
Partie 2: Cartes de contrôle de Shewhart (ISO 7870-2:2013);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-09-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nqs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 104 Seiten

DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	5
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe und Symbole	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 Symbole	9
4 Beschaffenheit der Shewhart-Regelkarten	11
5 Arten von Regelkarten	13
5.1 Regelkarten ohne zuvor festgelegte Werte	14
5.2 Regelkarten in Bezug auf gegebene, zuvor festgelegte Werte	14
5.3 Arten von Variablen- und Attribut-Regelkarten	14
6 Variablen-Regelkarte	15
6.1 Mittelwert- ($\bar{X}$) und Spannweitenkarte (R) oder Mittelwert- ($\bar{X}$) und Standardabweichungskarte (s)	16
6.2 Urwert-Regelkarte (X) und Regelkarte für gleitende Spannweiten (R_m)	19
6.3 Median-Regelkarten ($\bar{X}$)	19
6.3.1 Median-Regelkarten	20
6.3.2 Spannweiten-Regelkarte	20
7 Regelverfahren und Auswertung bei Variablen-Regelkarten	20
7.1 Erhebung vorläufiger Daten	20
7.2 Untersuchung der s - (oder R -)Regelkarte	21
7.3 Beseitigen zuweisbarer Streuungsursachen und Überarbeitung der Regelkarte	21
7.4 Untersuchung der X -Regelkarte	21
7.5 Fortlaufende Prozessüberwachung	21
8 Musterprüfungen bei zuweisbaren Streuungsursachen	22
9 Prozessregelung, Prozessfähigkeit und Prozessverbesserung	23
10 Attribut-Regelkarten	24
11 Vorbereitende Überlegungen vor dem Anlegen einer Regelkarte	26
11.1 Wahl der qualitätskritischen (CTQ) Merkmale, die den zu regelnden Prozess beschreiben	26
11.2 Prozessanalyse	26
11.3 Wahl natürlicher Untergruppen	26
11.4 Häufigkeit und Umfang von Untergruppen	27
11.5 Vorbereitende Datenerhebung	27
11.6 Maßnahmenplan für nicht stabile Situationen	27
12 Schritte zur Erstellung von Regelkarten	28
12.1 Bestimmung der Strategie zur Datenerhebung	29
12.2 Datenerhebung und Berechnung	30
12.3 Graphische Darstellung der $\bar{X}$ - und R -Regelkarte	30
13 Sorgfalt bei Shewhart-Regelkarten	31
13.1 Allgemeine Sorgfalt	31
13.2 Korrelierte Daten	32
13.3 Verwendung einer alternativen Regel zur 3-Sigma-Regel	32
Anhang A (informativ) Beispiele zur Veranschaulichung	34
A.1 Variablen-Regelkarten	34
A.2 Attribut-Regelkarten	34
A.3 Variablen-Regelkarten	34
A.3.1 $\bar{X}$ -Regelkarte und R -Regelkarte — μ und σ unbekannt	34
A.3.2 $\bar{X}$ -Regelkarte und s -Regelkarte — μ und σ gegeben durch frühere Produktionen	38

A.3.3	Regelkarten für Urwerte und gleitende Spannweiten: μ und σ nicht bekannt	40
A.3.4	Median-Regelkarte und R -Regelkarte: μ und σ nicht bekannt	42
A.4	Attribut-Regelkarten	44
A.4.1	p -Regelkarte: kein Wert für p_0 gegeben	44
A.4.2	np -Regelkarte — kein Wert für p_0 gegeben	48
A.4.3	c -Regelkarte: kein Wert für c_0 gegeben	50
A.4.4	u -Regelkarte — kein Wert für u_0 gegeben	51
Anhang B (informativ)	Praktische Anmerkungen zu den Musterprüfungen für zuweisbare Streuungsursachen	53
Literaturhinweise		55

Bilder

Bild 1	Darstellung einer Regelkarte	11
Bild 2	Arten von Regelkarten	15
Bild 3	Beispiele für Musterprüfungen für zuweisbare Streuungsursachen	22
Bild 4	Strategie zur Prozessverbesserung	24
Bild 5	Allgemeines Format einer Variablen-Regelkarte	29
Bild 6	Systemansatz zum Aufbau von Variablen-Regelkarten	30
Bild 7	Gewöhnliche $\bar{X}$ - und R -Regelkarte während der Frühphase einer Massenfertigung	31
Bild 8	$\bar{X}$ - und R -Regelkarte, bei der die Regelgrenzen für die $\bar{X}$ -Regelkarte aus der Gesamtprozessschwankung und nicht vom Mittelwert für die Spannweiten $\bar{R}$ stammen	32
Bild A.1	Eingetragene Werte	34
Bild A.2	R -Regelkarte — Lagerdurchmesser	36
Bild A.3	$\bar{X}$ -Regelkarte — Lagerdurchmesser	37
Bild A.4	$\bar{X}$ - und R -Regelkarte — Lagerdurchmesser	38
Bild A.5	$\bar{X}$ -Regelkarte und s -Regelkarte — Masse von Batterien	40
Bild A.6	Regelkarte für Urwerte, $\bar{X}$, und gleitende Spannweite, R_m , bei Magermilchpulver	42
Bild A.7	Median-Regelkarte und Spannweiten-Regelkarte für die Stärke von DVDs	44
Bild A.8	p -Regelkarte für nichtkonforme Radiotransistoren	47
Bild A.9	Überarbeitete p -Regelkarte für nichtkonforme Radiotransistoren	48
Bild A.10	np -Regelkarte für Schalter	50
Bild A.11	c -Regelkarte für Daten aus der Produktion von Videobändern	51
Bild A.12	u -Regelkarte für die Daten der Reifenproduktion	52
Bild B.1	Tests für zuweisbare Streuungsursachen	54

Tabellen

Tabelle 1	Gleichungen für die Regelgrenzen bei Shewhart-Variablen-Regelkarten	16
Tabelle 2	Faktoren zur Berechnung der Grenzen bei Regelkarten	17
Tabelle 3	Gleichungen für Regelgrenzen bei Urwert-Regelkarten	19
Tabelle 4	Werte für A_4	20
Tabelle 5	Gleichungen für Regelgrenzen bei Shewhart-Attribut-Regelkarten	25
Tabelle A.1	Ergebnisse für die Untergruppen von den Messungen des Lagerdurchmessers	35
Tabelle A.2	Ergebnisse für die Untergruppen aus der Batterieherstellung	39
Tabelle A.3	Prozentualer Feuchtegehalt für 25 aufeinanderfolgende Stichproben von Magermilchpulver	40
Tabelle A.4	Daten zur Regelung der Stärke von DVDs	42
Tabelle A.5	Radiotransistoren: p -Regelkarte (Erstdaten)	44
Tabelle A.6	Radiotransistoren — Berechnungsergebnisse	46
Tabelle A.7	Vorläufige Daten: Schalter	48
Tabelle A.8	Vorläufige Daten: Videoband	50

Tabelle A.9 — Zahl der Nichtkonformitäten je Auswahleinheit (untersuchte Auswahleinheiten je Untergruppe, $n = 50$)	51
---	-----------

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 7872-2:2013, die vom Technischen Komitee ISO/TC 69 „Application of statistical methods“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von ANSI (Vereinigte Staaten von Amerika) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 147-00-02 AA „Angewandte Statistik“ im DIN-Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) zuständig.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

DIN ISO 7870 besteht unter dem allgemeinen Titel *Regelkarten* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeiner Leitfaden
- Teil 2: Shewhart-Regelkarten
- Teil 3: Annahmeregeln
- Teil 4: CUSUM-Regelkarten
- Teil 5: Fachbezogene Regelkarten

EWMA-Regelkarten werden im künftigen Teil 6 behandelt.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 3534-2	siehe	DIN ISO 3534-2
ISO 5479	siehe	DIN ISO 5479
ISO 22514 (all parts)	siehe	DIN ISO 22514 (alle Teile)

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 3534-2, *Statistik — Begriffe und Formelzeichen — Teil 2: Angewandte Statistik*

DIN ISO 5479, *Statistische Auswertung von Daten — Tests auf Abweichung von der Normalverteilung*

DIN ISO 22514 (alle Teile), *Statistische Methoden im Prozessmanagement — Fähigkeit und Leistung*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in der Erarbeitung Internationaler Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedsländer benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 7870-2 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 69, *Applications of statistical methods*, Unterkomitee SC 4, *Applications of statistical methods in process management*, erarbeitet.

Diese erste Ausgabe ersetzt ISO 8258:1991, die technisch überarbeitet wurde.

ISO 7870 besteht unter dem allgemeinen Titel Regelkarten aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeiner Leitfaden
- Teil 2: Shewhart-Regelkarten
- Teil 3: Annahmeregeln
- Teil 4: CUSUM-Regelkarten
- Teil 5: Fachbezogene Regelkarten

EWMA-Regelkarten werden im künftigen Teil 6 behandelt.

Einleitung

Eine traditionelle Sichtweise auf die Fertigung besteht darin, zur Herstellung eines Produkts von der Produktion und der Qualitätskontrolle abhängig zu sein, die der Überprüfung des Endprodukts und dem Aussortieren von Einheiten, die den Spezifikationen nicht entsprechen, dient. Diese Überprüfungsstrategie ist häufig unwirtschaftlich, da eine Überprüfung erst dann stattfindet, wenn die fehlerhafte Produktion bereits erfolgte. Stattdessen ist es wesentlich effektiver, eine Präventivstrategie zur Vermeidung fehlerhafter Produkte einzuführen, um diese gar nicht erst herzustellen. Dies kann durch die Sammlung von Prozessinformationen und deren Analyse geschehen, so dass zeitnah Maßnahmen ergriffen werden können, die den Prozess als solchen betreffen.

Im Jahr 1924 schlug Dr. Walter Shewhart die Regelkarte als graphisches Mittel zur Anwendung statistischer Signifikanzprinzipien auf die Regelung eines Prozesses vor. Die Regelkarten-Theorie kennt zwei Arten von Streuungen. Die erste ist eine willkürliche Streuung aufgrund „zufälliger Streuungsursachen“ (auch bekannt als „allgemeine/natürliche/zufällige/inhärente/nicht regelbare Streuungsursachen“). Sie tritt aufgrund einer Vielzahl von Ursachen auf, die dauerhaft vorhanden und schwer zu identifizieren sind, wobei jede dieser Ursachen nur einen sehr kleinen Anteil an der Gesamtstreuung hat und nicht wesentlich zu dieser beiträgt. Trotzdem ist die Summe der Beiträge all dieser nicht identifizierbaren zufälligen Streuungsursachen messbar und wird als dem Prozess inhärent angenommen. Der Ausschluss oder die Korrektur allgemeiner Streuungsursachen dürfte wohl eine Entscheidung bezüglich der Zuweisung von Ressourcen erfordern, um Prozess und System grundlegend zu ändern.

Die zweite Art von Streuungen stellt eine tatsächliche Prozessänderung dar. Solch eine Änderung kann einigen identifizierbaren Streuungsursachen, die nicht inhärenter Bestandteil des Prozesses sind, zugeordnet werden und die, zumindest theoretisch, beseitigt werden können. Diese identifizierbaren Ursachen werden als „zuweisbare Streuungsursachen“ (auch bekannt als „systematische/nicht natürliche/ regelbare Ursachen“) bezeichnet. Sie können Vorgängen wie z. B. der mangelhaften Einheitlichkeit des Werkstoffs, einem defekten Werkzeug, der Arbeitsausführung oder den Verfahrensweisen, einer unregelmäßigen Leistung der Ausrüstung oder umgebungsbedingten Änderungen zugeschrieben werden.

Ein Prozess wird als statistisch beherrscht oder einfach als „beherrscht“ angesehen, wenn die Schwankung des Prozesses nur aufgrund zufälliger Streuungsursachen auftritt. Wenn diese Streuungsstufe festgestellt wurde, wird angenommen, dass jede Abweichung von dieser Stufe das Ergebnis zuweisbarer Streuungsursachen ist, die festzustellen und zu beseitigen sind.

Die statistische Prozesskontrolle ist eine Methode zur Einführung und Aufrechterhaltung eines Prozesses auf einer hinreichenden und stabilen Stufe, die die Konformität der Produkte und Dienstleistungen bezüglich festgelegter Anforderungen sicherstellt. Das statistische Hauptwerkzeug, um das zu erreichen, ist die Regelkarte, die eine graphische Methode zur Darstellung und für den Vergleich von Informationen auf Grundlage einer Abfolge von Beobachtungen ist und den aktuellen Stand des Prozesses gegenüber Grenzen, die unter Berücksichtigung der inhärenten Schwankung des Prozesses eingeführt wurden, darstellt, was als „Prozessfähigkeit“ bezeichnet wird. Die Regelkarten-Methode unterstützt zum einen bei der Beurteilung, ob ein Prozess die Stufe des beherrschten Prozesses erreicht hat oder sich auf dieser befindet. Wenn ein Prozess auf dieser Stufe als stabil und vorhersagbar gilt, kann eine weitergehende Analyse bezüglich der Fähigkeit des Prozesses, die Anforderungen des Kunden zufriedenzustellen, durchgeführt werden. Die Regelkarte kann zugleich genutzt werden, um die fortlaufende Aufzeichnung eines Qualitätsmerkmals eines Prozessproduktes bereitzustellen, während die Prozessstätigkeiten andauern. Aufgrund sich periodisch wiederholender Prozesse unterstützen Regelkarten die Erfassung unnatürlicher Streuungsmuster bei Daten und stellen Kriterien zur Erfassung eines mangelhaft beherrschten Prozesses bereit. Die Nutzung einer Regelkarte und deren sorgfältige Analyse führen zu einem besseren Prozessverständnis und häufig zu wertvollen Fortschritten.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm stellt eine Anleitung dar für die Anwendung und das Verständnis des Shewhart-Regelkarten-Ansatzes im Rahmen der Methoden zur Beherrschung eines Prozesses.

Diese Internationale Norm betrachtet ausschließlich Methoden zur statistischen Prozessregelung, die das System der Shewhart-Regelkarten nutzen. Einige zusätzliche Materialien, die mit dem Shewhart-Ansatz vereinbar sind, wie z. B. die Verwendung von Warngrenzen, die Analyse von Trendmustern und die Prozessfähigkeit, werden kurz eingeführt. Dennoch gibt es verschiedene andere Arten von Durchführungsmodi für Regelkarten, für die ISO 7870-1 eine allgemeine Beschreibung enthält.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 3534-2, *Statistics — Vocabulary and symbols — Part 2: Applied statistics*

ISO 16269-4, *Statistical interpretation of data — Part 4: Detection and treatment of outliers*

ISO 5479, *Statistical interpretation of data — Tests for departure from the normal distribution*

ISO 22514 (all parts), *Statistical methods in process management — Capability and performance*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Allgemeines

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 3534-2:2006.

3.2 Symbole

ANMERKUNG Die ISO/IEC-Richtlinien machen es notwendig, von der üblichen SPC-Anwendung in Bezug auf die Unterscheidung zwischen Abkürzungen und Formelzeichen abzuweichen. In ISO-Normen können sich ein abgekürzter Begriff und dessen Formelzeichen auf zweierlei Arten voneinander unterscheiden: durch Schriftart und Anordnung. Um zwischen Abkürzungen und Symbolen zu unterscheiden, werden Abkürzungen in aufrechtstehenden Buchstaben der Schriftart Cambria und Formelzeichen in Cambria oder Griechisch, wie jeweils zutreffend, in kursiv dargestellt. Formelzeichen bestehen nur aus einem einzigen Buchstaben, wohingegen Abkürzungen mehrere Buchstaben enthalten können. So gilt z. B. für den Begriff „obere Regelgrenze“ die herkömmliche Abkürzung UCL, woraus als Formelzeichen in einer Gleichung jedoch U_{CL} wird. Der Grund dafür liegt darin, ein Missverständnis hinsichtlich der Anweisung zur Multiplikation in einer Gleichung durch zusammengezogene Buchstaben zu vermeiden.

In Fällen mit schon langfristig eingeführten Vorgehensweisen, in denen ein Formelzeichen und/oder eine Abkürzung bei verschiedenen Anwendungen verschiedene Bedeutungen annehmen kann, ist es erforderlich, einen Feldbegrenzer zu verwenden, d. h. $\langle \rangle$, um zwischen diesen zu unterscheiden. Das verhindert die Entfremdung praktischer Anwender durch unbekannte Abkürzungen und Formelzeichen auf deren Spezialgebiet, die sich von sämtlichen Bezugstexten, Betriebshandbüchern und zugehörigen Software-Programmen unterscheiden. Ein Beispiel ist die Abkürzung „R“ und das Formelzeichen „ R “, die beide verschiedene Dinge in der Meteorologie und bei der Annahmestichprobenprüfung sowie der statistischen Prozessregelung bezeichnen. Die Abkürzung „R“ wird daher wie folgt unterschieden:

R (Messtechnik)	Wiederholgrenze
R (SPC und Annahmestichprobenprüfung)	Spannweite

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Formelzeichen.

n	Untergruppengröße; Zahl der Stichproben-Beobachtungen je Untergruppe
k	Anzahl der Untergruppen
L	Mindestwert
L_{CL}	untere Regelgrenze
U	Höchstwert
U_{CL}	obere Regelgrenze
X	gemessenes Qualitätsmerkmal (Einzelwerte werden als $(X_1, X_2, X_3, \dots)$ angegeben). Gelegentlich wird für X auch das Formelzeichen Y verwendet
$\bar{X}$	(X Querstrich) Mittelwert der Untergruppe
$\overline{\bar{X}}$	(X Doppelquerstrich) Mittelwert der Untergruppenmittelwerte
μ	wahrer Prozessmittelwert
σ	wahrer Wert für die Standardabweichung in einem Prozess
σ_0	gegebener Wert für σ
$\tilde{X}$	Median einer Untergruppe
$\overline{\tilde{X}}$	Mittelwert der Untergruppen-Mediane
R	Untergruppen-Spannweite: Differenz zwischen der größten und der kleinsten Beobachtung einer Untergruppe
$\bar{R}$	Mittelwert der R -Werte für sämtliche Untergruppen
R_m	gleitende Spannweite: Absolutwert der Differenz zweier aufeinanderfolgender Werte $ X_1 - X_2 , X_2 - X_3 $ usw.
$\bar{R}_m$	Mittelwert der $(n - 1) R_m$ -Werte in einer Reihe mit n beobachteten Werten
s	durch Werte einer Untergruppe ermittelte Standardabweichung in einer Stichprobe: $s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$
$\bar{s}$	Mittelwert der Standardabweichungen in der Stichprobe einer Untergruppe
$\hat{\sigma}$	geschätzter Wert für die Standardabweichung eines Prozesses
p	Anteil der Einheiten mit gegebener Klassifizierung in einer Untergruppe
$\bar{p}$	Mittelwert des Anteils
np	Anzahl der Einheiten mit gegebener Klassifizierung in einer Untergruppe
p_0	gegebener Wert für p
np_0	gegebener Wert für np (bei gegebenem p_0)
c	Anzahl der Ereignisse in einer Untergruppe
c_0	gegebener Wert für c
$\bar{c}$	Mittelwert der Werte für c sämtlicher Untergruppen

- u Anzahl der Ereignisse je Einheit einer Untergruppe
- $\bar{u}$ Mittelwert der Werte für u
- u_0 gegebener Wert für u

4 Beschaffenheit der Shewhart-Regelkarten

Eine Shewhart-Regelkarte ist ein Diagramm, das zur Darstellung einer aus Variablen oder attributiven Daten gewonnenen statistischen Kenngröße verwendet wird. Die Regelkarte erfordert Daten einer natürlichen Untergruppe, die in ziemlich regelmäßigen Abständen vom Prozess abzurufen sind. Die Abstände dürfen durch zeitliche Begriffe festgelegt werden (z. B. stündlich) oder mengenbezogen sein (jedes Los). Normalerweise werden die Prozessdaten in Form von Stichproben oder Untergruppen gewonnen, die aus demselben Prozessmerkmal, Produkt oder derselben Dienstleistung mit denselben messbaren Einheiten und derselben Untergruppengröße bestehen. Aus jeder Untergruppe werden ein oder mehrere Untergruppenmerkmale, wie z. B. der Untergruppenmittelwert $\bar{X}$ und die Untergruppen-Spannweite R , die Standardabweichung s oder ein zählbares Merkmal wie der Anteil der Einheiten mit einer gegebenen Klassifizierung, abgeleitet.

Eine Shewhart-Regelkarte besteht aus der Darstellung der Werte eines gegebenen Untergruppenmerkmals gegenüber der Untergruppennummer. Sie hat eine Mittellinie (CL), die auf einem Referenzwert für das dargestellte Merkmal verläuft. Bei der Untersuchung, ob der Prozess beherrscht ist oder nicht, ist der Referenzwert normalerweise der Mittelwert der betrachteten statistischen Kenngröße. Bei der Prozessregelung kann der Referenzwert der langfristige Wert des Merkmals sein, wie in den Produktspezifikationen angegeben; ein Wert für das abzubildende Merkmal, der auf zuvor gemachten Erfahrungen mit dem Prozess als einem stabilen Prozess oder auf vorausgesetzten Sollwerten für das Produkt oder die Dienstleistung beruht.

Die Regelkarte hat zwei statistisch ermittelte Grenzlinien, je eine auf jeder Seite der Mittellinie, die als „obere Regelgrenze“ (U_{CL}) und „untere Regelgrenze“ (L_{CL}) bezeichnet werden (siehe Bild 1).

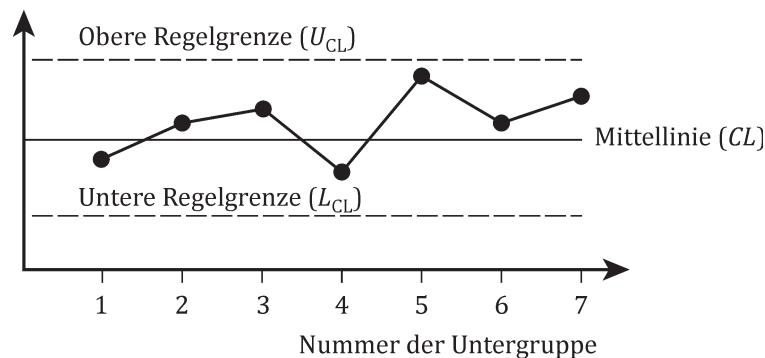


Bild 1 — Darstellung einer Regelkarte

Die Regelgrenzen einer Shewhart-Regelkarte sind in einem Abstand von 3 Sigma beiderseits der Mittellinie angeordnet, wobei Sigma die bekannte oder geschätzte Standardabweichung innerhalb der Grundgesamtheit ist. Shewhart wählte die 3-Sigma-Grenzen, da es ihm aufgrund der finanziellen Abwägung zwischen der Suche nach prozessbezogenen Problemen, wenn solche Probleme nicht vorhanden sind, und der Vernachlässigung dieser Problemsuche, wenn der Prozess nicht die Leistung erbringt, die er sollte, wirtschaftlich sinnvoll erschien. Eine zu enge Anordnung der Grenzen an der Mittellinie führt zu vielen Recherchen bezüglich nicht vorhandener Probleme und ein zu großer Abstand erhöht das Risiko der Nichtwahrnehmung eines vorhandenen Problems. Unter der Voraussetzung, dass die abbildende Kenngröße ungefähr normalverteilt ist, geben die 3-Sigma-Regelgrenzen unter der Voraussetzung, dass es sich um einen stabilen Prozess handelt, an, dass sich ungefähr 99,7 % der Werte für die Kenngröße innerhalb dieses Bereichs befinden. Anders betrachtet besteht ein Risiko von 0,3 % oder liegt im Mittel bei drei zu tausend, dass sich bei einem beherrschten

Prozess ein abgebildeter Punkt außerhalb der unteren oder oberen Regelgrenze befindet. „Ungefähr“ wird verwendet, da Abweichungen von den zugrundeliegenden Voraussetzungen, wie z. B. der Verteilungsform der Daten, die Wahrscheinlichkeitswerte beeinflussen. In der Tat hängt die Wahl von k -Sigma-Regelgrenzen anstelle der 3-Sigma-Regelgrenzen von den Kosten für die Nachprüfung ab und vom Verhältnis des Ergreifens angemessener Maßnahmen im Vergleich zu den Auswirkungen für den Fall, dass keinerlei Maßnahmen ergriffen werden.

Es ist zu beachten, dass einige Anwender anstelle der 3 einen Faktor von 3,09 verwenden, um für die Wahrscheinlichkeit einen Nennwert von 0,2 % bereitzustellen oder einen Mittelwert von einer unechten Beobachtung zu tausend; Shewart wählte jedoch die 3, um nicht der Annahme genauer Wahrscheinlichkeiten zu erliegen. In gleicher Weise verwenden einige Anwender tatsächliche Wahrscheinlichkeitswerte für die Karten basierend auf Nicht-Normalverteilungen, wie z. B. für Spannweiten und den Anteil nichtkonformer Einheiten. Noch einmal: Die Shewhart-Regelkarte verwendete die ± 3 -Sigma-Grenzen, um die empirische Auswertung hervorzuheben.

Die Möglichkeit, dass eine Verletzung der Grenzen tatsächlich eher ein Zufallsereignis als ein richtiges Signal darstellt, wird als so gering eingeschätzt, dass für den Fall, dass ein Punkt außerhalb der Grenzen erscheint, Maßnahmen ergriffen werden sollten. Da Maßnahmen an diesem Punkt erforderlich sind, werden die 3-Sigma-Grenzen gelegentlich auch als die „Eingriffsgrenzen“ bezeichnet.

Häufig ist es von Vorteil, gleichfalls die 2-Sigma-Grenzen in der Karte zu kennzeichnen. Dadurch kann jeder Stichprobenwert, der außerhalb der 2-Sigma-Grenzen liegt, als Warnhinweis für eine bevorstehende, nicht mehr beherrschte Situation dienen. Daher werden die 2-Sigma-Grenzen gelegentlich auch als „Warn Grenzen“ bezeichnet. Während in der Folge solch eines Warnhinweises auf der Regelkarte keinerlei Maßnahmen erforderlich sind, kann es sein, dass einige Nutzer unverzüglich eine weitere Untergruppe derselben Größe auswählen, um zu ermitteln, ob eine Korrekturmaßnahme erforderlich ist.

Wenn der Status eines Prozesses unter Verwendung von Regelkarten bewertet wird, sind zwei Arten von Fehlern möglich. Der erste tritt auf, wenn der betrachtete Prozess eigentlich stabil ist, jedoch ein einzelner eingetragener Punkt sich zufällig außerhalb der Regelgrenzen befindet. Als Ergebnis gibt die Karte ein Signal aus, das zu der falschen Schlussfolgerung führt, dass der Prozess nicht mehr stabil ist. Nachfolgend fallen Kosten bei dem Versuch an, die Ursache für ein nicht vorhandenes Problem zu finden.

Der zweite Fehler tritt auf, wenn der betrachtete Prozess nicht stabil ist, der abgebildete Punkt jedoch zufällig innerhalb der Grenzen liegt. In diesem Fall stellt die Karte kein Signal bereit und es wird fälschlicherweise angenommen, dass der Prozess stabil ist. Im Zusammenhang mit dem Nichtentdecken einer Änderung der Prozesslage oder der Schwankung des Prozesses, als deren Ergebnisse die Herstellung nichtkonformer Produkte stehen könnte, können gleichfalls erhebliche Kosten entstehen. Das Risiko des Auftretens eines solchen Fehlers ist eine Funktion dreier Dinge: der Breite der Regelgrenzen, des Stichprobenumfangs und des Grades, zu dem der Prozess nicht mehr stabil ist. Im Allgemeinen kann dadurch, dass nichts zum Ausmaß der Prozessänderung bekannt ist, nur wenig zur tatsächlichen Größe des Risikos für diesen Fehler festgestellt werden.

Da es im Allgemeinen unpraktisch ist, in irgendeiner gegebenen Situation eine sinnvolle Schätzung bezüglich des Risikos und der Kosten für die zweite Art von Fehlern abzugeben, wurde das System der Shewhart-Regelkarten entworfen, um die erste Art von diesen Fehlern zu regeln. Unter der Voraussetzung einer Normalverteilung und der Verwendung von 3-Sigma-Regelgrenzen beträgt die Größe für diesen ersten Fehler 0,3 %. Anders ausgedrückt: Dieser Fehler wird bei 1 000 Stichproben nur dreimal auftreten, wenn es sich um einen stabilen Prozess handelt.

Tatsächlich hängt die Wahl von k -Sigma-Grenzen anstelle von 3-Sigma-Grenzen von den Kosten für die Untersuchung und dem Ergreifen entsprechender Maßnahmen im Verhältnis zu den Auswirkungen für den Fall ab, dass keinerlei Maßnahmen ergriffen werden.

Wenn ein Prozess stabil ist, stellt die Regelkarte eine Methode bereit, die in vielerlei Hinsicht analog zum dauerhaften Prüfen der statistischen Nullhypothese ist, dass der Prozess sich nicht geändert hat und stabil bleibt. Da es in Phase 1 häufig zur Unsicherheit bezüglich solcher Angelegenheiten wie der Wahrscheinlichkeitsverteilung des interessierenden Merkmals kommt und Zufälligkeit und die konkreten Abweichungen des Prozess-

merkmals vom Sollwert, der von Bedeutung sein könnte, normalerweise nicht im Vorfeld festgelegt werden, sollte die Shewhart-Regelkarte nicht als eine Prüfung der Hypothese im eigentlichen Wortsinn betrachtet werden. Walter Shewhart betonte den empirischen Nutzen der Regelkarte beim Erkennen der Abweichung von einem „stabilen“ Prozess und maß dem Treffen von Wahrscheinlichkeitsaussagen wenig Bedeutung bei.

Wenn ein abgebildeter Wert außerhalb beider Regelgrenzen liegt oder eine Folge von Werten ein ungewöhnliches Muster, wie das in Abschnitt 8 erörterte, aufweist, kann der Prozess nicht länger als stabil gelten. Wenn dies auftritt, wird eine Untersuchung zur Bestimmung einer zuweisbaren Streuungsursache eingeleitet und der Prozess darf angehalten oder angepasst werden. Wenn die zuweisbare Streuungsursache ermittelt und beseitigt wurde, kann der Prozess fortgeführt werden. Wie vorstehend erörtert, kann in seltenen Fällen keine zuweisbare Streuungsursache ermittelt werden und es muss geschlussfolgert werden, dass der außerhalb der Grenzen liegende Punkt für das Eintreten eines sehr seltenen Ereignisses – einer zufälligen Streuungsursache – steht, die einen Wert außerhalb der Regelgrenzen erzeugte, obwohl der Prozess stabil ist.

Wenn ein Prozess zum ersten Mal mit der Zielsetzung untersucht wird, ihn in einen stabilen Zustand zu überführen, ist es häufig notwendig, historische Daten zu verwenden, die zuvor aus dem Prozess gewonnen wurden oder die Erhebung neuer Daten aus einer Reihe von Stichproben zu veranlassen, bevor der Versuch der Erstellung einer Regelkarte unternommen wird. Diese retrospektive Stufe, während der die Parameter für die Regelkarte eingeführt werden, wird häufig als „Phase 1“ bezeichnet. Es müssen ausreichend viele Daten erhoben werden, um verlässliche Schätzungen für die Mittellinie und die Regelgrenzen der Regelkarte zu erhalten. Die in Phase 1 erstellten Regelgrenzen sind Versuchsgrenzen, da sie auf Daten beruhen, die gesammelt wurden, als der Prozess möglicherweise nicht stabil war. Die Feststellung der genauen Ursachen für die von der Regelkarte auf dieser Stufe ausgegebenen Signale kann sich aufgrund fehlender Informationen zu historischen Betriebsmerkmalen des Prozesses als schwierig erweisen. Dennoch sollten, wenn systematische Streuungsursachen ermittelt und Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden können, die retrospektiven Prozessdaten, soweit sie durch die systematischen Streuungsursachen beeinflusst wurden, nicht weiter berücksichtigt werden, und die Parameter der Regelkarte sollten neu festgelegt werden. Diese iterative Vorgehensweise ist solange fortzuführen, bis die Versuchsregelkarte keine Signale mehr ausgibt, und der Prozess darf dann als geregelt angesehen werden und ist damit stabil und vorhersagbar. Da einige Daten während Phase 1 vielleicht nicht weiter berücksichtigt werden, muss der Nutzer möglicherweise zusätzliche Prozessdaten erheben, um die Verlässlichkeit der Parameterschätzungen aufrechtzuhalten.

Nachdem die statische Prozessregelung eingerichtet wurde, werden sowohl die in Phase 1 bestimmte endgültige Versuchsmittellinie der Regelkarte als auch die Regelgrenzen als Regelkartenparameter zur fortlaufenden Überwachung des Prozesses eingesetzt. Die Zielsetzung bei dem, was anschließend als Phase 2 bezeichnet wird, liegt in der Aufrechterhaltung des stabilen Prozesses sowie in der schnellstmöglichen Ermittlung derjenigen systematischen Streuungsursachen, die gelegentlich einen Einfluss auf den Prozess haben können. Es sollte berücksichtigt werden, dass sich der Übergang von Phase 1 zu Phase 2 sowohl als zeitaufwendig als auch schwierig erweisen kann. Er ist dennoch entscheidend, da ein Fehlschlag bei der Beseitigung systematischer Streuungsursachen dazu führen wird, die Prozessstreuung zu überschätzen. In diesem Fall wird die Regelkarte über Regelgrenzen verfügen, die zu weit voneinander entfernt festgelegt wurden, und eine Regelkarte erzeugen, die nicht ausreichend sensibel ist, um das Vorhandensein systematischer Streuungsursachen anzuzeigen.

Einzelheiten zur Vorgehensweise bei der Erstellung von Regelkarten für einen Prozess werden nachstehend erörtert.

5 Arten von Regelkarten

Es gibt im Wesentlichen zwei Arten von Shewhart-Regelkarten: Variablen-Regelkarten und Attribut-Regelkarten. Für jede der Regelkarten gibt es zwei eindeutige Sachlagen:

- a) wenn keine zuvor festgelegten Werte für Prozessparameter vorliegen;
- b) wenn zuvor festgelegte Werte für Prozessparameter vorliegen.

Die zuvor festgelegten Prozesswerte dürfen festgelegte Anforderungen oder Sollwerte oder Schätzwerte für Parameter sein, die über einen langen Zeitraum, innerhalb dessen der Prozess beherrscht wurde, aus Daten gewonnen wurden.

5.1 Regelkarten ohne zuvor festgelegte Werte

Deren Zweck liegt darin aufzudecken, ob die beobachteten Werte der abgebildeten Merkmale, wie z. B. $\bar{X}$, R oder jede andere Kenngröße, untereinander um einen Betrag variieren, der größer als ein allein durch Zufall hervorgerufener ist. Die Regelkarten sind so aufgebaut, dass sie nur die Daten verwenden, die durch Stichproben des Prozesses gesammelt werden. Die Regelkarten werden zur Bestimmung derjenigen Streuungen verwendet, die keine zufälligen Ursachen haben, wobei der Zweck in der Überführung des Prozesses in einen stabilen Zustand besteht.

5.2 Regelkarten in Bezug auf gegebene, zuvor festgelegte Werte

Deren Zweck liegt darin zu bestimmen, ob sich die beobachteten Werte für $\bar{X}$, s usw. bei den verschiedenen Untergruppen von n Beobachtungen von den entsprechend vorgegebenen Werten für μ_0 , σ_0 usw. durch Beträge unterscheiden, die größer sind als die Beträge, die ausschließlich durch zufällige Streuungsursachen zu erwarten wären. Der Unterschied zwischen Regelkarten mit und ohne zuvor festgelegte Werte ist die zusätzliche Anforderung bezüglich der Festlegung der Lage der Mittellinie und der Prozessstreuung. Die festgelegten Werte können durch Erfahrungen mit Regelkarten ohne zuvor bereitgestellte Informationen oder festgelegte Werte erlangt werden. Sie können gleichfalls auf ökonomischen Werten beruhen, die unter Berücksichtigung des Dienstleistungsbedarfs und der Produktionskosten eingeführt wurden oder durch Produktspezifikationen ausgewiesene Nennwerte sein.

Die festgelegten Werte sollten vorzugsweise durch eine Untersuchung vorläufiger Daten ermittelt werden, die kennzeichnend für alle zukünftigen Daten sein sollten. Die festgelegten Werte sollten mit der inhärenten Schwankung des Prozesses vereinbar sein, damit die Regelkarten effektiv funktionieren. Regelkarten auf der Grundlage solcher zuvor festgelegten Werte werden insbesondere während des Prozessbetriebs zur Prozessregelung eingesetzt und dafür, die Einheitlichkeit des Produkts oder der Dienstleistung auf der gewünschten Stufe aufrechtzuhalten.

5.3 Arten von Variablen- und Attribut-Regelkarten

Folgende Regelkarten werden berücksichtigt:

a) Variablen-Regelkarten für Messungen auf einer kontinuierlichen Skala:

- 1) Mittelwertkarte ($\bar{X}$) und Spannweiten- (R) oder Standardabweichungskarte (s);
- 2) Urwerte (X) und gleitende Spannweiten (R_m);
- 3) Median- ($\tilde{X}$) und Spannweitenkarten (R).

b) Attribut-Regelkarten für zählbare Messungen und kategorisierbare Daten:

- 1) p -Karte für die Anzahl von Einheiten mit gegebener Klassifizierung je Gesamtzahl der Einheiten in der Stichprobe, angegeben als Anteil oder prozentualer Anteil;
- 2) np -Karte für die Anzahl von Einheiten mit gegebener Klassifizierung bei konstantem Stichprobenumfang;
- 3) c -Karte für die Anzahl von Ereignissen, wenn die Möglichkeit des Auftretens festgelegt ist;
- 4) u -Karte für die Anzahl von Ereignissen je Einheit, wenn die Möglichkeit des Auftretens variabel ist.

Bild 2 stellt den Prozess der Wahl einer geeigneten Regelkarte für eine gegebene Situation dar.

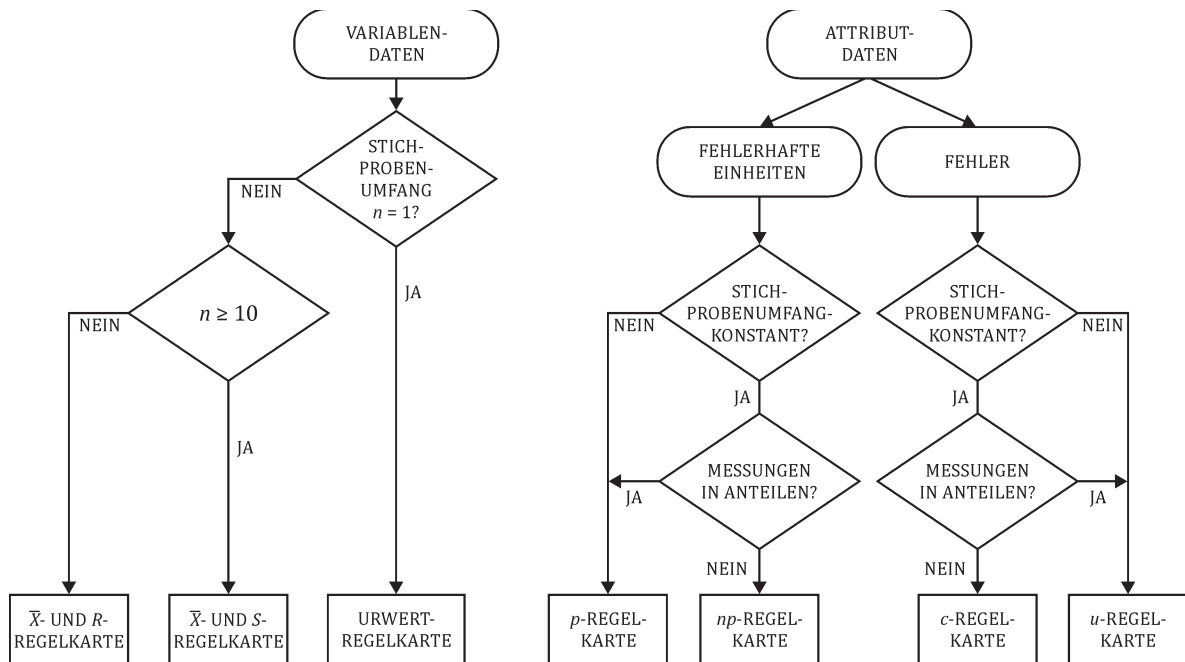


Bild 2 — Arten von Regelkarten

6 Variablen-Regelkarte

Regelkarten für Variable oder Regelkarten für Variablen­daten und insbesondere deren gebräuchlichste Art, die $\bar{X}$ - und R -Regelkarten stehen für die klassische Anwendung der Regelkarten auf die Prozessregelung.

Variablen-Regelkarten sind aus verschiedenen Gründen sehr nützlich:

- Die meisten Prozesse und deren Ergebnisse haben Merkmale, die messbar sind und daher Variablen­daten erzeugen, wodurch das Anwendungspotential breit gefächert ist.
- Variablen-Regelkarten sind informativer als Attribut-Regelkarten, da spezielle Informationen zum Prozessmittelwert und zur Streuung direkt ausgegeben werden. Variablen-Regelkarten zeigen häufig ein Prozessproblem an, bevor der Prozess nichtkonforme Einheiten erzeugt.
- Obwohl das Erlangen einer Einheit gemessener Daten im Regelfall kostenintensiver ist als das Erlangen von Gut/Schlecht-Daten, sind die Umfänge der Untergruppen bei gleicher Überwachungsleistung für Variable fast immer sehr viel geringer als diejenigen für Attribute. Das unterstützt in einigen Fällen die Verringerung der Gesamtprüfkosten sowie die Verkleinerung des zeitlichen Abstandes zwischen dem Auftreten eines Problems und der Korrekturmaßnahme.
- Ungeachtet der Spezifikationen stellen diese Karten ein visuelles Mittel für die direkte Bewertung der Prozessleistung bereit. Eine intensive Betrachtung der Variablen-Regelkarten wird gemeinsam mit einer Prüfung von Histogrammen in geeigneten zeitlichen Abständen zu Ideen oder Vorschlägen bezüglich einer Verbesserung des Prozesses führen.

Bei sämtlichen, in dieser Internationalen Norm behandelten Regelkarten-Anwendungen wird unterstellt, dass die Qualitätsmerkmale normalverteilt sind (Gaußsche Verteilung), und Abweichungen von dieser Annahme beeinträchtigen die Leistung der Regelkarten. Die Faktoren zur Berechnung der Regelgrenzen wurden unter Verwendung der Normalverteilungsannahme abgeleitet. Da die meisten Regelgrenzen beim Treffen von Entscheidungen als empirische Richtlinien verwendet werden, sollten geringe Abweichungen von der Normalverteilung keinerlei Schwierigkeiten bereiten. Mittelwerte tendieren wegen des zentralen Grenzwertsatzes in jedem Fall dazu, normalverteilt zu sein, selbst wenn die Einzelbeobachtungen es nicht sind; daher ist es für die

Beurteilung der Regelung sinnvoll, bei den $\bar{X}$ -Regelkarten eine Normalverteilung anzunehmen, selbst wenn der Stichprobenumfang nur 4 oder 5 beträgt. Beim Umgang mit Einzelbeobachtungen zur Untersuchung der Prozessfähigkeit ist die wahre Form der Verteilung wichtig. Eine regelmäßige Überprüfung der fortdauernden Validität solcher Annahmen ist ratsam, insbesondere um sicherzustellen, dass ausschließlich Daten aus einer einzigen Grundgesamtheit verwendet werden. Es ist zu beachten, dass die Verteilungen von Spannweiten und Standardabweichungen nicht normalverteilt sind. Obwohl bei der Bestimmung der Konstanten zur Berechnung der Regelgrenzen für die Spannweiten- oder Standardabweichungsregelkarten notwendigerweise eine Normalverteilung angenommen wird, sollten geringe Abweichungen von der Normalverteilung der Prozessdaten bei der Verwendung dieser Regelkarten als Verfahren zur empirischen Entscheidungsfällung keine große Bedeutung haben.

Variablen-Regelkarten können Prozessdaten hinsichtlich der Streuung (Prozessschwankung) und der Lage (Prozessmittelwert) beschreiben. Deshalb werden Variablen-Regelkarten immer paarweise vorbereitet und analysiert – eine Regelkarte für die Lage und eine weitere für die Streuung. Die Streuungskarte wird normalerweise zuerst analysiert, da sie die Verifizierung und Begründung für die Schätzung der Prozessstandardabweichung bereitstellt. Die resultierende Schätzung der Prozessstandardabweichung kann anschließend für die Einrichtung der Regelgrenzen in der Regelkarte für die Lage verwendet werden.

Jede Karte kann entweder unter Verwendung geschätzter Regelgrenzen dargestellt werden, wobei die Grenzen in diesem Fall auf den in der Karte abgebildeten Stichprobendaten beruhen, oder unter Nutzung zuvor festgelegter Daten, die auf übernommenen festgelegten Werten beruhen, die auf die in der Karte abgebildeten statistischen Messgrößen angewendet werden. Der Index 0 wird in Tabelle 1 und Tabelle 3 verwendet, um die spezifizierten Werte zu kennzeichnen, wie z. B. μ_0 für den festgelegten Mittelwert oder σ_0 für die festgelegte Standardabweichung des Prozesses.

Nachstehend sind die meistverwendeten Variablen-Regelkarten aufgeführt.

6.1 Mittelwert- ($\bar{X}$) und Spannweitenkarte (R) oder Mittelwert- ($\bar{X}$) und Standardabweichungskarte (s)

$\bar{X}$ - und R -Karten können verwendet werden, wenn der Stichprobenumfang der Untergruppe gering oder relativ gering (normalerweise weniger als 10) ist. $\bar{X}$ - und s -Karten sind im Falle großer Stichprobenumfänge bei Untergruppen ($n \geq 10$) zu bevorzugen, da die Leistungsfähigkeit der Spannweite bei der Schätzung der Prozessstandardabweichung mit zunehmendem Stichprobenumfang geringer wird. Falls elektronische Geräte zur Berechnung der Regelgrenzen vorhanden sind, ist die Standardabweichung zu bevorzugen.

Tabelle 1 und Tabelle 2 stellen die Gleichungen für die Regelgrenzen sowie die Faktoren für jede dieser Variablen-Regelkarten bereit.

Tabelle 1 — Gleichungen für die Regelgrenzen bei Shewhart-Variablen-Regelkarten

Kenngröße	Geschätzte Regelgrenzen		Zuvor festgelegte Regelgrenzen	
	Mittellinie (CL)	U_{CL} und L_{CL}	Mittellinie (CL)	U_{CL} und L_{CL}
$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ oder $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s}$ (4.1)	μ_0	$\mu_0 \pm A\sigma_0$
R	$\bar{R}$	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$ (4.2)	$d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$
s	$\bar{s}$	$B_4 \bar{s}, B_3 \bar{s}$	$c_4 \sigma_0$	$B_6 \sigma_0, B_5 \sigma_0$
ANMERKUNG μ_0 und σ_0 sind zuvor festgelegte Werte.				

- Entwurf -

Tabelle 2 — Faktoren zur Berechnung der Grenzen bei Regelkarten

Beobachtungen in Untergruppen der Größe n	Faktoren für Regelgrenzen											Faktoren für die Mittellinie	
	$\bar{X}$ -Karte			s -Karte				R -Karte*				unter Verwendung von s^*	unter Verwendung von R^*
	A	A_2	A_3	B_3	B_4	B_5	B_6	D_1	D_2	D_3	D_4	C_4	d_2
2	2,121	1,880	2,659	—	3,267	—	2,606	—	3,686	—	3,267	0,797 9	1,128
3	1,732	1,023	1,954	—	2,568	—	2,276	—	4,358	—	2,575	0,886 2	1,693
4	1,500	0,729	1,628	—	2,266	—	2,088	—	4,698	—	2,282	0,921 3	2,059
5	1,342	0,577	1,427	—	2,089	—	1,964	—	4,918	—	2,114	0,940 0	2,326
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	—	5,079	—	2,004	0,951 5	2,534
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,205	5,204	0,076	1,924	0,959 4	2,704
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,307	0,136	1,864	0,965 0	2,847
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,394	0,184	1,816	0,969 3	2,970
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,686	5,469	0,223	1,777	0,972 7	3,078
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	3,173
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,923	5,594	0,283	1,717	0,977 6	3,258
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	3,336
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	3,407
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,740	0,347	1,653	0,982 3	3,472
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	3,532
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	3,588
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,609	0,985 5	3,640

- Entwurf -

Tabelle 2 (fortgesetzt)

Beob- achtungen in Unter- gruppen der Größe n	Faktoren für Regelgrenzen											Faktoren für die Mittellinie	
	$\bar{X}$ -Karte			s -Karte				R -Karte*				unter Verwen- dung von s^*	unter Verwen- dung von R^*
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,489	5,889	0,404	1,596	0,986 2	3,689
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	3,735
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,606	5,951	0,425	1,575	0,987 6	3,778
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,660	5,979	0,435	1,567	0,988 2	3,819
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,711	6,006	0,443	1,557	0,988 7	3,858
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,032	0,452	1,548	0,989 2	3,895
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,805	6,056	0,459	1,541	0,989 6	3,931
* Nicht empfohlen für einen Stichprobenumfang von $n > 10$.													

6.2 Urwert-Regelkarte ($\bar{X}$) und Regelkarte für gleitende Spannweiten (R_m)

In einigen Situationen der Prozessregelung ist es entweder unmöglich, unpraktisch oder wenig sinnvoll, natürliche Untergruppen zu bilden. Es ist dann erforderlich, die Prozessregelung aufgrund einzelner Ablesewerte unter Verwendung von $\bar{X}$ - und R_m -Regelkarten zu bewerten.

Da es im Falle von Regelkarten für Urwerte keine natürlichen Untergruppen für eine Schätzung der Streuung gibt, beruhen die Regelgrenzen auf einer Messung der Schwankung, die sich aus den gleitenden Spannweiten zweier aufeinanderfolgender Beobachtungen ergibt. Eine gleitende Spannweite ist der Absolutwert der Differenz zweier aufeinanderfolgender Messungen in einer Reihe, d. h. der Absolutwert der Differenz zwischen den ersten und zweiten Messungen, dann zwischen den zweiten und dritten Messungen usw. Aus den gleitenden Spannweiten wird die mittlere gleitende Spannweite $\bar{R}_m$ berechnet und zur Einrichtung der Regelkarten verwendet. Gleichfalls wird aus der gesamten Datensammlung der Gesamtmittelwert $\bar{X}$ berechnet. Tabelle 3 enthält die Gleichungen für die Regelgrenzen für Urwert-Regelkarten und für Regelkarten mit gleitenden Spannweiten.

Beim Umgang mit Urwert-Regelkarten sollte einiges beachtet werden:

- Urwert-Regelkarten reagieren auf Prozessänderungen nicht so sensibel wie Regelkarten auf der Grundlage von Untergruppen.
- Für den Fall, dass der Prozess nicht der Normalverteilung unterliegt, muss die Auswertung von Urwert-Regelkarten sorgfältig erfolgen.
- Urwert-Regelkarten separieren die Prozessschwankung von einem Mittelwert für aufeinanderfolgende Differenzen zwischen Beobachtungen. Damit wird unterstellt, dass die Daten zeitlich geordnet sind und dass keine wesentlichen Änderungen am Prozess zwischen der Erhebung zweier beliebiger aufeinanderfolgender Urwerte aufgetreten sind. Es wäre z. B. unklug, Daten zweier nicht verbundener Produktionsvorgänge eines Fertigungsloses eines chemischen Produkts zu erheben und die gleitende Spannweite zwischen dem letzten Los des ersten Produktionsvorgangs und dem ersten Los des folgenden Produktionsvorgangs zu berechnen, wenn die Produktionslinie zwischen diesen beiden unterbrochen wurde.

Tabelle 3 — Gleichungen für Regelgrenzen bei Urwert-Regelkarten

Kenngröße	Geschätzte Regelgrenzen		Zuvor festgelegte Regelgrenzen	
	Mittellinie	U_{CL} und L_{CL}	Mittellinie	U_{CL} und L_{CL}
Urwert, $\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X} \pm 2,660 \bar{R}_m$ (4.3)	μ_0	$\mu_0 \pm 3\sigma_0$
gleitende Spannweite, R_m	$\bar{R}_m$	$3,267 \bar{R}_m$ (4.4)	$1,128 \sigma_0$	$3,686 \sigma_0$
ANMERKUNG 1 μ_0 und σ_0 sind zuvor festgelegte Werte.				
ANMERKUNG 2 $\bar{R}_m$ bezeichnet den Mittelwert für die gleitenden Spannweiten von 2 Beobachtungen.				

6.3 Median-Regelkarten ($\tilde{X}$)

Bei der Regelung der Prozesslage sind Median-Regelkarten die Alternative zu $\bar{X}$ -Regelkarten, wenn die Verminderung des Einflusses von Extremwerten innerhalb der Untergruppe gewünscht wird. Dies kann der Fall sein, wenn Untergruppen aus vielen automatisierten Messungen höchst unterschiedlicher Stichproben bestehen, wie z. B. beim Messen der Zugfestigkeit. Median-Regelkarten sind einfach anzuwenden und erfordern nicht so viele Berechnungen, insbesondere bei Untergruppen geringen Umfangs, die eine ungerade Anzahl an Beob-

achtungen enthalten. Dies kann die Zustimmung der Produktionsstätte zum Regelkarten-Ansatz erhöhen und sogar noch weiter steigern, wenn die Einzelwerte der Untergruppe gemeinsam mit ihrem Median auf derselben Karte abgebildet werden. Die Karte zeigt zugleich die Streuung innerhalb der Prozessprodukte und liefert ein kontinuierliches Bild der Prozessstreuung. Es ist zu beachten, dass die Median-Regelkarte ein geringfügig langsames Ansprechverhalten gegenüber nicht stabilen Bedingungen aufweist als die $\bar{X}$ -Regelkarte.

Regelgrenzen für Median-Regelkarten werden auf zweierlei Art berechnet: Zum einen unter Verwendung des Medians der Untergruppen-Mediane und des Medians der Spannweite oder zum anderen durch Verwendung des Mittelwerts der Untergruppen-Mediane und des Mittelwerts für die Spannweiten. In dieser Internationalen Norm wird nur der letztere Ansatz, der einfacher und praktischer ist, berücksichtigt.

Die Regelgrenzen werden wie folgt berechnet.

6.3.1 Median-Regelkarten

Mittellinie = $\bar{\bar{X}}$ = Mittelwert der Untergruppen-Mediane

$$U_{CL\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_4 \bar{R}$$

$$L_{CL\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_4 \bar{R}$$

Die Werte für den Faktor A_4 sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 — Werte für A_4

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_4	1,880	1,187	0,796	0,691	0,548	0,508	0,433	0,412	0,362

6.3.2 Spannweiten-Regelkarte

Die Spannweiten-Regelkarte ist wie die Regelkarte für $\bar{X}$ und R in 6.1 aufgebaut.

7 Regelverfahren und Auswertung bei Variablen-Regelkarten

Das System der Shewhart-Regelkarten legt fest, dass, wenn Lage und Schwankung des Prozesses auf ihren aktuellen Stufen konstant blieben, die einzeln dargestellten Kenngrößen (z. B. $\bar{X}$, R , s) ausschließlich zufallsbedingt schwanken und kaum jenseits der Regelgrenzen abgebildet würden. Genauso gäbe es in den Daten jenseits dessen, was zufallsbedingt abgebildet würde, keine offensichtlichen Trends oder Muster. Die Lage-Regelkarten zeigen an, wo sich der Prozessmittelwert befindet und geben an, ob der Prozess in Bezug auf den Mittelwert stabil ist. Die $\bar{X}$ -Regelkarte z. B. deckt im zeitlichen Verlauf die Streuungen zwischen Untergruppen zu einem gegebenen Zeitpunkt auf und wurde für die Bestimmung von Verschiebungen beim Mittelwert zwischen den Untergruppen entworfen. Die s - oder R -Regelkarte deckt Streuungen innerhalb einer Untergruppe zu einem bestimmten Zeitpunkt auf und wurde zur Bestimmung von Änderungen bei der Prozessstreuung entworfen. Die s - oder R -Regelkarte muss stabil sein, bevor eine Lage-Regelkarte ausgewertet wird. Das nachstehende Regelverfahren gilt für $\bar{X}$ - und s - (oder R -) Regelkarten. Ein gleichartiges Verfahren kann für andere Regelkarten einschließlich der Urwert-Regelkarte (X), bei der die Bildung natürlicher Untergruppen nicht zulässig ist, verwendet werden.

7.1 Erhebung vorläufiger Daten

Aus einem Prozess unter Standardbetriebsbedingungen werden vorläufige, natürliche Untergruppen (siehe 11.3) gewonnen. Für jede Untergruppe wird s (oder R) berechnet. Für die Untergruppen-Kenngrößen wird der Mittelwert ($\bar{s}$ oder $\bar{R}$) berechnet. Um eine verlässliche Schätzung ($\bar{s}$ oder $\bar{R}$) der Schwankung des

Prozesses und dementsprechend auch der Regelgrenzen sicherzustellen, wird üblicherweise ein Mindestwert von 25 vorläufigen Untergruppen gewählt.

7.2 Untersuchung der s - (oder R -) Regelkarte

Versuchsmittellinie und Regelgrenzen der s - (oder R -) Regelkarte werden berechnet und eingetragen. Die Datenpunkte werden bezüglich der Versuchsregelgrenzen daraufhin untersucht, ob sich Punkte außerhalb dieser Grenzen befinden oder ob es ungewöhnliche Muster oder Trends gibt. Für jedes einzelne dieser Signale auf der Karte wird eine Analyse des Prozessablaufs durchgeführt, um (eine) zuweisbare Streuungsursache(n) zu identifizieren und zu beseitigen.

ANMERKUNG 1 Beide Stichprobenverteilungen von s und R sind um den Mittelwert herum asymmetrisch. Dennoch ist aus Gründen der Einfachheit und des einfachen Aufbaus der s - und R -Regelkarte die Übernahme von 3-Sigma-Grenzen weit verbreitet. Eine niedrigere Regelgrenze von 0 wird verwendet, wenn der berechnete untere Grenzwert ein negativer Wert ist.

ANMERKUNG 2 Falls keine zuweisbare Streuungsursache für ein außerhalb des stabilen Bereichs abgebildeten Datenpunkt identifiziert werden kann, ist dieser Punkt in die Berechnung der Regelgrenzen einzubeziehen.

7.3 Beseitigen zuweisbarer Streuungsursachen und Überarbeitung der Regelkarte

Sämtliche, durch zuweisbare Streuungsursachen beeinflusste Untergruppen werden ausgeklammert; anschließend werden die Mittellinie und die Regelgrenzen erneut berechnet und eingetragen. Die Regelkarte wird untersucht um zu bestimmen, ob alle verbleibenden Datenpunkte stabil sind im Vergleich zu den Regelgrenzen; falls erforderlich, wird die Abfolge zur Identifizierung/Neuberechnung erneut durchgeführt.

ANMERKUNG Der Verbleib von wenigstens 2/3 der Untergruppen ist sicherzustellen. Falls erforderlich, werden zusätzliche Untergruppen erfasst.

7.4 Untersuchung der $\bar{X}$ -Regelkarte

Wenn die Standardabweichungen (oder Spannweiten) stabil sind wird angenommen, dass die Prozessschwankung (die Streuung innerhalb einer Untergruppe) stabil ist. Anschließend können die Mittelwerte analysiert werden um zu untersuchen, ob sich die Prozessmittellage im zeitlichen Verlauf ändert. Mittellinie und Regelgrenzen der $\bar{X}$ -Regelkarte werden berechnet und eingetragen. Die Datenpunkte werden auf ungewöhnliche Muster oder Trends und in Bezug auf die Regelgrenzen daraufhin untersucht, ob sich Punkte außerhalb befinden. Jeder außerhalb liegende Punkt, dem eine zuweisbare Streuungsursache zugeordnet werden kann, wird ausgeschlossen und die überarbeitete Mittellinie sowie die Regelgrenzen werden erneut berechnet und eingetragen. Anschließend wird überprüft, ob sämtliche Datenpunkte stabil sind im Vergleich zu den überarbeiteten Regelgrenzen; falls erforderlich, wird der Ablauf zur Identifizierung/Neuberechnung erneut durchgeführt.

Jede Untergruppe, die von der Erstellung der s -(oder R -) Regelkarte ausgeschlossen wurde, ist gleichfalls aus der Erstellung der $\bar{X}$ -Regelkarte auszuschließen.

ANMERKUNG 1 Der Ausschluss von Untergruppen, die nicht stabile Bedingungen repräsentieren, geschieht um sicherzustellen, dass Regelgrenzen berechnet werden, die ausschließlich eine Prozessstreuung aufgrund zufälliger Ursachen darstellen.

ANMERKUNG 2 Die bei der Festlegung der Regelgrenzen ausgeschlossenen, nicht stabilen Fälle dürfen von der eingetragenen Karte nicht entfernt werden, damit entscheidende Hinweise zum Verständnis des Prozessverhaltens und zur Unterstützung von Untersuchungen bereitgestellt werden.

7.5 Fortlaufende Prozessüberwachung

Wenn die statistische Prozessregelung so eingerichtet wurde, dass es keine Signale mehr auf den Karten gibt, sind die überarbeiteten Regelgrenzen für eine zukünftige, fortlaufende Überwachung des Prozesses zu übernehmen. Da nachgewiesen wurde, dass der Prozess stabil ist, müssen die Regelgrenzen nicht geändert werden,

wenn zusätzliche Untergruppen während dieser Überwachungsphase hinzugenommen werden. Dennoch dürfen die Regelgrenzen gelegentlich oder bei jeder Prozessänderung aktualisiert werden.

Für den Fall der Ausgabe eines Signals auf der Karte und einer festgestellten zuweisbaren Streuungsursache, deren Beseitigung die Durchführung grundlegender Änderungen am Prozess erforderlich machen würden, ist es möglich oder wahrscheinlich, dass zum erneuten Einrichten der Prozessregelung das unter 7.1 bis 7.4 aufgeführte Verfahren zur Identifizierung/Neuberechnung erforderlich ist.

8 Musterprüfungen bei zuweisbaren Streuungsursachen

Systematische oder nicht zufällige Muster auf der Regelkarte können kleinere Verschiebungen beim Prozessmittelwert oder der Prozessschwankung anzeigen, die zu gering sein können, um kurzfristig einen Datenpunkt außerhalb der Regelgrenzen zu erzeugen. Der Analyst sollte wachsam gegenüber jeglichen Mustern auf der Regelkarte sein, die möglicherweise den Einfluss zuweisbarer Streuungsursachen auf den Prozess anzeigen. Zur Auswertung von Mustern auf den Shewhart- $\bar{X}$ - und X -Regelkarten kann eine Reihe von Musterprüfungen verwendet werden, die schematisch in Bild 3 dargestellt werden.

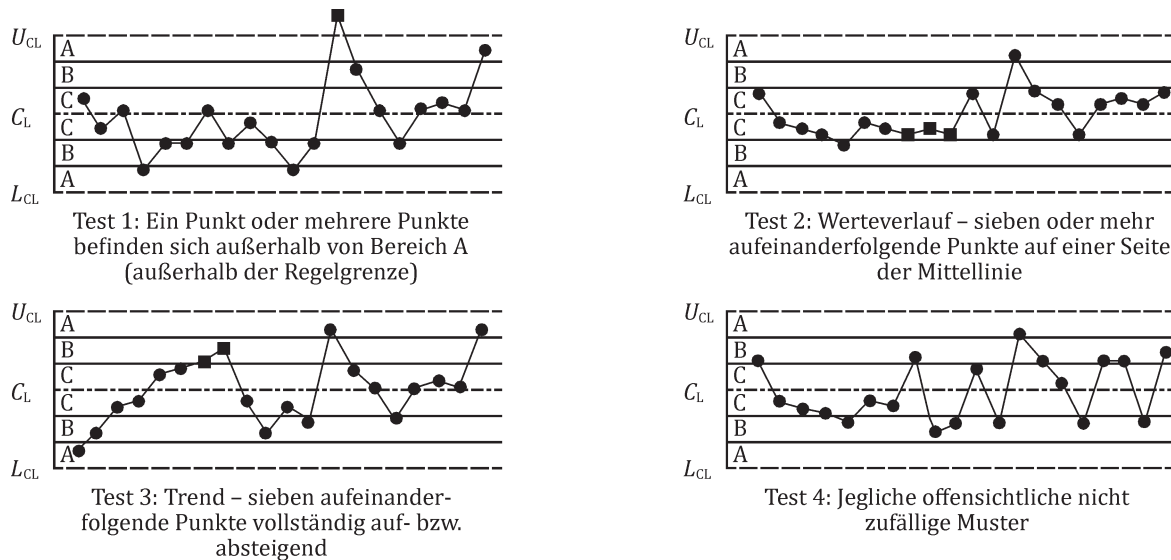


Bild 3 — Beispiele für Musterprüfungen für zuweisbare Streuungsursachen

ANMERKUNG 1 Einige Industriebereiche können andere Musterprüfungen anwenden.

ANMERKUNG 2 In Bezug auf die Regelkarten p , np , c und u , bei denen für die untere Regelgrenze null festgelegt wurde, wird es nicht möglich sein, die drei 1-Sigma-Bereiche unterhalb der Mittellinie einzurichten.

Für die Anwendung dieser Prüfungen wird die Regelkarte auf jeder Seite der Mittellinie zu gleichen Teilen in die drei Bereiche A, B und C aufgeteilt, wobei jeder Bereich die Breite von ein Sigma aufweist. Diese Einteilung macht es für einen Prüfer einfach, Muster zu ermitteln, die von einem stabilen Prozess wegführen. So können z. B. die „offensichtlich nicht zufälligen Muster“ aus Prüfung 4 einfacher ermittelt werden, wenn solche Einteilungen angewendet werden. Es ist zu erwarten, dass etwa 2/3 der abgebildeten Punkte in Bereich C in einem stabilen Prozess liegen. Falls sich, wie in Bild 3, Prüfung 4, dargestellt, erheblich weniger als 2/3 der abgebildeten Punkte in Bereich C befinden, geben diese nicht zufälligen Muster auf der Abbildung Anlass zur Beunruhigung. Solch ein Muster erfordert eine weiterführende Untersuchung des Prozesses auf eventuell zuweisbare Streuungsursachen. Nachstehend sind die vier typischen Signale aufgeführt, die durch die vier Prüfungen in Bild 3 bereitgestellt werden:

a) Prüfung 1 zeigt das Vorhandensein eines nicht stabilen Zustandes an.

- b) Prüfung 2 zeigt an, dass sich Prozessmittelwert oder Prozessschwankung von der Mittellinie verschoben haben.
- c) Prüfung 3 zeigt einen systematischen, linearen Trend innerhalb des Prozesses an.
- d) Prüfung 4 zeigt ein nicht zufälliges oder zyklisches Muster innerhalb des Prozesses an.

Bezüglich einer vollständigeren Erörterung dieser Prüfungen siehe Nelson, L.S. (1984) [2] und Nelson, L.S. (1985) [3]. Beispiele sind in Anhang B aufgeführt.

Ein Prozess, bei dem eine Abfolge von Datenpunkten auf der Karte eine oder mehrere dieser Prüfreden verletzt, wird als „nicht beherrscht“ bezeichnet und die zuweisbaren Streuungsursachen müssen diagnostiziert und korrigiert werden. Diese ergänzenden Prüfreden verbessern die Fähigkeit der Regelkarten, kleinere Verschiebungen beim Prozessmittelwert zu entdecken, haben jedoch auch höhere Falschalarmquoten zur Folge. Eine Shewhart- $\bar{X}$ - oder X -Regelkarte, auf die die Musterprüfungen 1 bis 3 zeitgleich angewendet werden, weist eine Falschalarmquote von 10 je 1 000 auf, wobei der Anteil bei 3 je 1 000 liegt, wenn nur die erste Prüfung angewendet wird.

9 Prozessregelung, Prozessfähigkeit und Prozessverbesserung

Es ist die Aufgabe des Systems zur Prozessregelung, statistische Signale bereitzustellen, die die nicht zuweisbaren von den zuweisbaren Streuungsursachen trennen, wodurch nur die nicht zuweisbare Streuung verbleibt. Die systematische Beseitigung zuweisbarer Ursachen für eine zu hohe Streuung durch kontinuierlich zielstrebige Anstrengungen zur Beseitigung der Ursachen überführt den Prozess in einen stabilen Prozess. Wenn der Prozess stabil ist, ist seine Leistung vorhersagbar und seine Fähigkeit zur Einhaltung der Spezifikationen kann bewertet werden. Da Vorhersage die Essenz der Führungstätigkeit ist, ist die Fähigkeit zu wissen, was erwartet werden kann, dahingehend, dass der Prozess einheitlicher, vorhersagbarer und verlässlicher abläuft, unschätzbar.

Die Prozessfähigkeit wird durch die Gesamtstreuung bestimmt, die aus zufälligen Streuungsursachen entsteht – die geringstmögliche Streuung, die erreicht werden kann, nachdem alle zuweisbaren Streuungsursachen beseitigt wurden. Prozessfähigkeit stellt die Leistung des Prozesses selber dar, wenn, wie dargelegt, der Prozess als stabiler Prozess ausgeführt wird (siehe Normenreihe ISO 22514). Als solcher muss der Prozess zunächst in einen stabilen Prozess gebracht werden, bevor seine Prozessfähigkeit bewertet werden kann. Daher beginnt die Bewertung der Prozessfähigkeit erst, nachdem Regelungsfragen sowohl für die $\bar{X}$ - als auch für die R -Regelkarten gelöst wurden; diese bestehen darin, systematische Streuungsursachen zu bestimmen, zu analysieren, zu beheben und am erneuten Auftreten zu hindern, und die fortgeführten Regelkarten zeigen einen stabil gebliebenen Prozess, vorzugsweise für wenigstens die letzten 25 Untergruppen. Ganz allgemein: Die Verteilung der Produkte des Prozesses wird mit den technischen Spezifikationen verglichen, um zu erfahren, ob diese Spezifikationen dauerhaft erfüllt werden können.

Prozessfähigkeit wird üblicherweise hinsichtlich des Prozessfähigkeitsindex C_p und C_{pk} gemessen. Siehe Normenreihe ISO 22514. Ein C_p -Wert von weniger als 1 zeigt an, dass die Prozessfähigkeit nicht gegeben ist, wohingegen $C_p = 1$ bedeutet, dass die Prozessfähigkeit gerade noch gegeben ist. In der Praxis wird im Allgemeinen ein C_p -Wert von 1,33 als unterster zulässiger Wert verwendet, da es stets eine Streuung in den Stichproben gibt und nur wenige Prozesse dauerhaft stabil bleiben.

Dennoch ist zu beachten, dass der C_p -Wert nur das Verhältnis der Regelgrenzen zur Prozessstreuung misst; die Lage oder Zentrierung des Prozesses wird nicht berücksichtigt. Bei einem hohen C_p -Wert wäre es möglich, dass ein beliebiger Prozentsatz der Werte außerhalb der Spezifikationsgrenzen liegt. Aus diesem Grund ist es wichtig, die skalierte Entfernung zwischen dem Prozessmittelwert und der nächsten Spezifikationsgrenze zu berücksichtigen.

Angesichts der vorstehenden Erörterungen kann eine Verfahrensweise, wie in Bild 4 schematisch dargestellt, als Anleitung verwendet werden, um zentrale Schritte auf dem Weg zu Prozessregelung, Prozessfähigkeit und Prozessverbesserung zu veranschaulichen. Festgelegte Mindestanforderungen bezüglich der Prozessfähigkeit sind das Ergebnis von Verhandlungen zwischen Lieferant und Kunde.

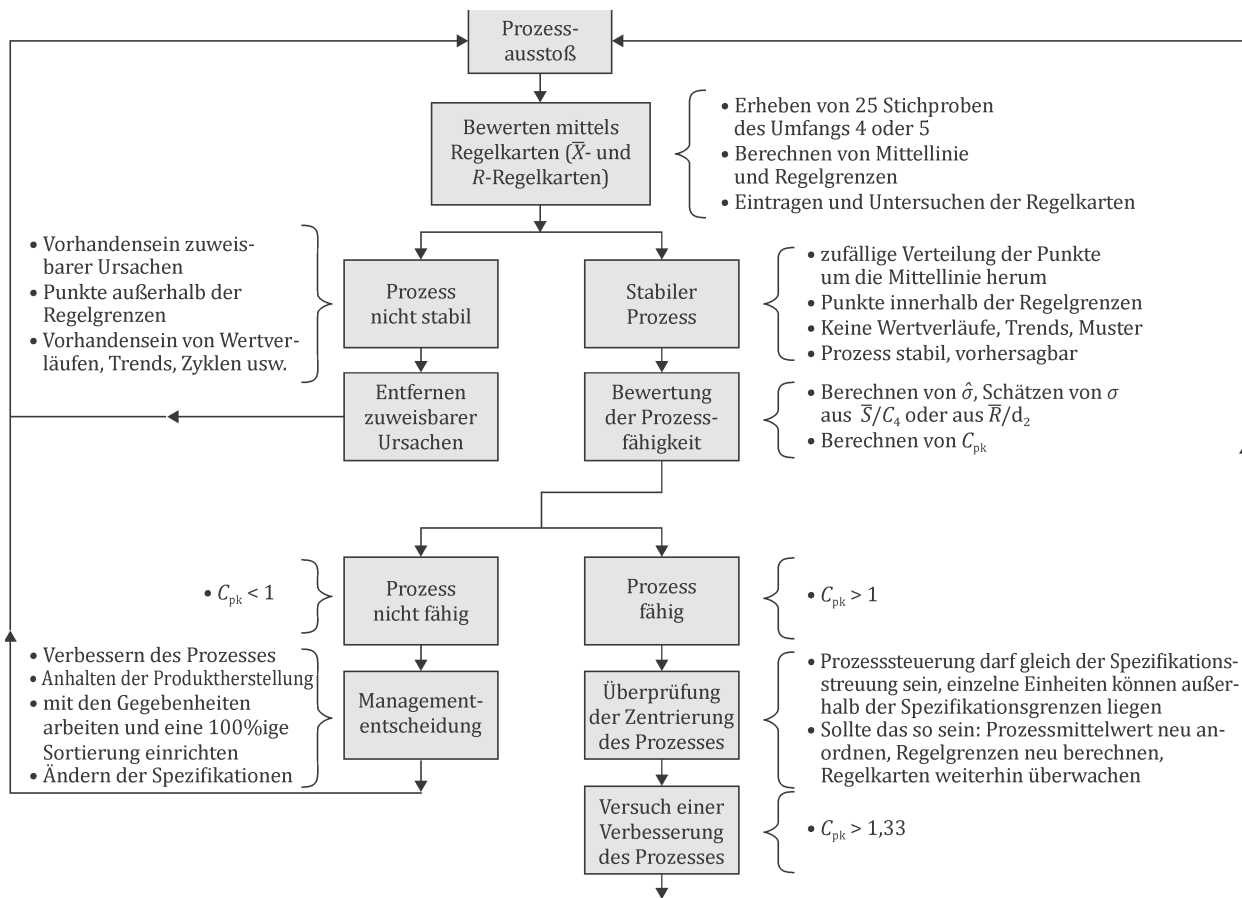


Bild 4 — Strategie zur Prozessverbesserung

ANMERKUNG Der optimale Stichprobenumfang ist eine Funktion von Komponenten innerhalb und zwischen der Streuung von Stichproben.

10 Attribut-Regelkarten

Attributive Daten stellen Beobachtungen dar, die durch die Wahrnehmung der An- oder Abwesenheit einiger Merkmale (oder Attribute) in jeder Einheit der betrachteten Untergruppe erlangt werden, wobei anschließend gezählt wird, wie viele Einheiten dieses Attribut besitzen oder nicht besitzen oder wie viele dieser Ereignisse es in der Einheit, Gruppe oder dem Bereich gibt. Attributive Daten sind im Allgemeinen schnell und kostengünstig zu erlangen und erfordern häufig keine speziellen Erhebungsfähigkeiten. Tabelle 5 enthält Gleichungen für Regelgrenzen bei Attribut-Regelkarten.

Der Nutzung von Variablendaten zur Prozessverbesserung wird sehr viel Aufmerksamkeit gewidmet, Rückmeldungsdaten aus bedeutenden Industriezweigen legen jedoch nahe, dass über 80 % der Qualitätsprobleme von Natur aus attributiv sind. Daher ist eine stärkere Gewichtung der Verbesserung attributiver Merkmale unter Verwendung von Regelkarten erforderlich.

Im Falle von Variablen-Regelkarten ist es allgemein übliche Praxis, ein Paar von Regelkarten vorzuhalten – eine für die Regelung des Mittelwerts und die andere zur Verteilungsregelung. Dies ist notwendig, da die den Variablen-Regelkarten zugrundeliegende Verteilung die Normalverteilung ist, die von diesen beiden Parametern abhängt. Dennoch genügt im Falle von Attribut-Regelkarten eine einzelne Regelkarte, da die vorausgesetzte Verteilung nur über einen unabhängigen Parameter, die Lage des Mittelwerts, verfügt. Die p - und np -Regelkarten beruhen auf der Binominalverteilung, während die c - und u -Regelkarten auf der Poisson-Verteilung beruhen.

Die Berechnungen für diese Karten sind ähnlich außer in Fällen, in denen die Schwankung des Untergruppenumfangs die Situation beeinflusst. Ist der Umfang der Untergruppe konstant, kann derselbe Satz an Regelgrenzen für jede Untergruppe verwendet werden. Es müssen dennoch getrennte Regelgrenzen für jede Untergruppe berechnet werden, wenn die Zahl der geprüften Einheiten in jeder Untergruppe schwankt. Somit werden vernünftigerweise np - und c -Regelkarten bei einem konstanten Stichprobenumfang verwendet, während p - und u -Regelkarten in jeder Situation verwendet werden können.

Wenn sich der Stichprobenumfang von Stichprobe zu Stichprobe ändert, werden für jede Stichprobe getrennte Regelgrenzen berechnet. Je kleiner der Stichprobenumfang, desto weiter die Regelbänder und andersherum. Falls ein Stichprobenumfang nicht nennenswert schwankt, kann ein einzelner Satz von Regelgrenzen auf Grundlage des mittleren Untergruppenumfangs verwendet werden. Aus praktischen Gründen: Dies ist gut in Situationen anwendbar, in denen der Untergruppenumfang innerhalb von $\pm 25\%$ des Sollumfangs einer Untergruppe liegt.

ANMERKUNG Ersatzweise dürfen Regelgrenzen für den geringsten und den größten Untergruppenumfang verwendet werden. Bei nachfolgenden Punkten, die dazwischen liegen, dürfen nur die Regelgrenzen berechnet werden.

Tabelle 5 — Gleichungen für Regelgrenzen bei Shewhart-Attribut-Regelkarten

Kenngröße	Keine vorgegebenen Standardwerte		Vorgegebene Standardwerte	
	Mittellinie	3σ - Regelgrenzen	Mittellinie	3σ - Regelgrenzen
p	$\bar{p}$	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$ (4.5)	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	$\bar{c}$	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	$\bar{u}$	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u_0	$u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$
ANMERKUNG 1 p_0, np_0, c_0 und u_0 sind vorgegebene Standardwerte.				
ANMERKUNG 2 Wenn die berechnete untere Regelgrenze negativ ist, wird 0 als untere Regelgrenze verwendet.				

Eine alternative Vorgehensweise in Fällen, in denen der Stichprobenumfang stark schwankt, besteht in der Verwendung einer standardisierten Zufallsvariable. Anstatt also p einzuzichnen, wird z. B. je nachdem, ob der Richtwert für p spezifiziert ist oder nicht, einer der folgenden standardisierten Werte eingezeichnet:

$$Z = \frac{p - p_0}{\sqrt{p_0(1-p_0)/n}}$$

oder

$$Z = \frac{p - \bar{p}}{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}}$$

Mittellinie sowie Regelgrenzen verschieben sich unabhängig vom Untergruppenumfang nicht mehr und werden wie folgt angegeben:

Mittellinie = 0

$U_{CL} = +3$

$L_{CL} = -3$

Die p -Regelkarte wird verwendet, um den mittleren prozentualen Anteil vorgelegter nichtkonformer Einheiten innerhalb eines Zeitraums zu bestimmen. Sie lenkt die Aufmerksamkeit von Prozesspersonal und Leitung auf jegliche Änderungen dieses Mittelwerts. Die Beurteilung des Prozesses als stabil erfolgt auf dieselbe Art, wie bei den $\bar{X}$ - und R -Regelkarten. Wenn sich sämtliche Datenpunkte der Stichprobe innerhalb der Versuchsregelgrenzen befinden und kein Anzeichen für eine zuweisbare Streuungsursache aufweisen, ist der Prozess als stabil anzusehen. In solch einem Fall wird der mittlere Anteil nichtkonformer Einheiten $\bar{p}$ als Richtwert für den Anteil nichtkonformer Einheiten p_0 genommen.

Mit niedrigen Ergebnissen auf den Regelkarten (Punkte unterhalb der unteren Regelgrenzen) sollte anders als mit hoch eingetragenen umgegangen werden. Innerhalb des Prozesses zeigen sie Änderungen durch das Entfernen zufälliger Streuungsursachen an, jedoch ist Vorsicht geboten: Das kann zugleich auf niedrigere Prüfstandards verweisen. Wenn ein deutlicher Durchtritt durch die L_{CL} auftritt, ist es wichtig, die Ursachen zu verstehen und die Änderung in den Arbeitsstandard aufzunehmen.

11 Vorbereitende Überlegungen vor dem Anlegen einer Regelkarte

11.1 Wahl der qualitätskritischen (CTQ) Merkmale, die den zu regelnden Prozess beschreiben

Merkmale, die die Leistung eines Produkts, eines Prozesses oder einer Dienstleistung entscheidend beeinflussen und die dem Kunden einen Mehrwert verschaffen, sollten während der Phase der Qualitätsplanung klassifiziert werden. An Stellen, an denen Streuung der maßgebliche Prozessfaktor ist, sollten diese Merkmale ausgewählt werden, um die Qualität des Produkts oder der Dienstleistung entscheidend zu beeinflussen und um die Stabilität und Vorhersagbarkeit des Prozesses sicherzustellen. Diese Merkmale können direkt auf die Leistungsbewertung des Prozesses bezogene Aspekte sein – z. B. bezogen auf Umwelt, Gesundheit, Kundenzufriedenheit – oder ein Prozessparameter, dessen Leistung grundlegend für das Erfüllen der Planungsabsicht ist. Regelkarten sollten während der Frühphase der Prozessentwicklung eingeführt werden, um Daten und Informationen zu einem neuen Produkt oder zur Machbarkeit des Prozesses zu erheben, damit die Prozessfähigkeit vor der Produktion erreicht wird. Das ermöglicht eine Optimierung des Prozesses und die Umsetzung jedes Entwurfs oder jeder Prozessverbesserung im Sinne eines besseren Endprodukts oder einer besseren Dienstleistung.

11.2 Prozessanalyse

Falls möglich, sollte eine detaillierte Prozessanalyse durchgeführt werden, um Folgendes zu bestimmen:

- a) Art und Lage der Ursachen, die Unregelmäßigkeiten auslösen können;
- b) Auswirkung der Auferlegung von Spezifikationen;
- c) Methode und Ort der Überprüfungen;
- d) alle weiteren verbleibenden Faktoren, die den Produktionsprozess beeinflussen können.

Eine Analyse sollte gleichfalls durchgeführt werden, um die Stabilität des Prozesses zu bestimmen, die Genauigkeit der Prüfausrüstung, die Qualität der Prozessprodukte sowie die Beziehungsmuster zwischen den Arten und Ursachen der Nichtkonformitäten. Die Betriebsbedingungen sind erforderlich, um, falls nötig, Vorkehrungen zur Anpassung von Produktionsprozess und Ausrüstung zu treffen und um einen Plan zur Stabilisierung der Prozesse zu entwickeln. Das unterstützt bei der Festlegung der optimalen Stelle zur Einführung der Regelung und bei der schnellen Feststellung jeglicher Unregelmäßigkeiten in der Prozessleistung und gestattet umgehende Korrekturmaßnahmen.

11.3 Wahl natürlicher Untergruppen

Grundlegend für Shewharts Regelkarten ist die Unterteilung von Beobachtungen in das, was „natürliche Untergruppen“ genannt wird; dabei handelt es sich um die Klassifizierung der in Frage kommenden Beobachtungen in Untergruppen, innerhalb derer die Streuungen als allein durch zufällige Ursachen erzeugt angesehen wer-

den können, zwischen denen jedoch jede Differenz das Ergebnis zuweisbarer Streuungsursachen sein könnte, zu deren Ermittlung die Regelkarte vorgesehen ist.

Dies hängt von einem gewissen technischen Wissen und der Vertrautheit mit den Prozessbedingungen und den Bedingungen, unter denen die Daten erhoben wurden, ab. Durch die Identifizierung jeder Untergruppe über einen Zeitstempel oder eine Quelle können bestimmte, Schwierigkeiten verursachende Streuungsursachen leichter aufgespürt und korrigiert werden, falls vorteilhaft. Überprüfung und Prüfberichte, die in der Reihenfolge angegeben werden, in der die Beobachtungen gemacht wurden, stellen eine Grundlage für das Bilden von Untergruppen in Bezug auf die Zeit dar. Das ist im Allgemeinen bei der Herstellung nützlich, wo es wichtig ist, das der Fertigung zugrundeliegende System aufrechtzuhalten.

Beim Erheben von Daten sollte immer beachtet werden, dass es für die Analyse äußerst hilfreich ist, wenn sorgfältig dabei vorgegangen wird, Stichproben auszuwählen, die sachgerecht als getrennte natürliche Untergruppen behandelt werden können. Falls möglich, sollte der Umfang der Untergruppe konstant gehalten werden, um Berechnungen und Analysen zu unterstützen. Dennoch ist anzumerken, dass die Prinzipien für Shewhart-Regelkarten genauso in Situationen angewandt werden können, in denen der Untergruppenumfang schwankt.

11.4 Häufigkeit und Umfang von Untergruppen

Es können keine allgemeinen Regeln für die Häufigkeit oder den Umfang von Untergruppen festgelegt werden. Häufigkeit und Umfang von Untergruppen können von den Kosten für Probenahme und Analyse von Stichproben und damit verbundenen praktischen Überlegungen abhängen. So können z. B. große, in längeren Abständen entnommene Untergruppen eine kleine Verschiebung des Prozessmittelwerts genauer ermitteln, kleine, in kürzeren Abständen entnommene Untergruppen entdecken jedoch eine große Verschiebung schneller. Häufig wird ein Untergruppenumfang von 4 oder 5 gewählt, wobei die Häufigkeit der Probenahme zu Beginn allgemein hoch ist und niedrig, nachdem der Prozess stabil ist. Im Normalfall werden 25 Untergruppen mit einem Umfang von 4 oder 5 als angemessen zur Bereitstellung vorläufiger Schätzungen betrachtet.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass Häufigkeit der Probenahme, stabiler Prozess und Prozessfähigkeit gemeinsam betrachtet werden müssen. Die Argumentation ist die folgende. Der Mittelwert der Spannweiten $\bar{R}$ wird häufig zur Schätzung von σ verwendet. Die Anzahl der Streuungsquellen steigt mit der Zunahme des zeitlichen Abstandes zwischen den Stichproben innerhalb einer Untergruppe. Daher wird die Verteilung der Stichproben innerhalb einer Untergruppe im zeitlichen Verlauf $\bar{R}$ erhöhen, die Schätzung von σ erhöhen, die Regelgrenzen erweitern und dadurch den Prozessfähigkeitsindex verringern. Andersherum ist es möglich, die Prozessfähigkeit durch eine Probenahme aufeinanderfolgender Stücke zu erhöhen und einen kleinen Wert für $\bar{R}$ sowie eine Schätzung für eine geringe σ auszugeben.

11.5 Vorbereitende Datenerhebung

Nach der Entscheidung bezüglich des zu regelnden Qualitätsmerkmals und zu Häufigkeit und Umfang der anzulegenden Untergruppe müssen erste Prüfdaten oder -messungen erhoben und analysiert werden, um vorläufige Regelkartenwerte bereitzustellen, die für eine Festlegung der auf der Karte einzuzeichnenden Mittellinie und Regelgrenzen benötigt werden. Die vorläufigen Werte dürfen für jede Untergruppe einzeln gesammelt werden, bis die empfohlenen 25 Untergruppen aus dem kontinuierlichen Ablauf des Produktionsprozesses gewonnen wurden. Es ist darauf zu achten, dass während dieser ersten Datenerhebung der Prozess nicht zu sehr durch wechselnde äußere Faktoren, wie z. B. die Änderung der Zufuhr von Rohmaterial, der Bearbeiter, den Abläufen, der Maschineneinstellung usw., beeinflusst wird. Mit anderen Worten: Der Prozess sollte während des Zeitraums der Erhebung der vorbereitenden Daten einen stabilen Status aufweisen.

11.6 Maßnahmenplan für nicht stabile Situationen

Es gibt eine wichtige Verbindung zwischen den zwei bestimmten Streuungsarten und den zu ihrer Eindämmung notwendigen Arten von Maßnahmen. Regelkarten können systematische Streuungsursachen aufdecken. Das Entdecken der Quelle für die systematische Streuungsursache sowie das Ergreifen von Maßnahmen zu deren Beseitigung liegen normalerweise in der Verantwortung des Bearbeiters, Aufsichtsführenden oder Ingenieurs, der unmittelbar mit dem Prozess verbunden ist. Die Leitung ist zu mehr als 80 % für die Ursachen verantwortlich und muss Maßnahmen bezüglich der allgemeinen Ursachen im System ergreifen. Systema-

tische Streuungsursachen werden vor Ort identifiziert, und ihnen kann vom Prozesseigentümer normalerweise begegnet werden. Prozesse werden häufig mittels Ausgleichsmaßnahmen angepasst, wenn grundlegende Maßnahmen der Leitung am System notwendig sind, was zum Beispiel unterschiedliche Quellen für Rohmaterial, Instandhaltung der Maschinen, Eichung oder eine nicht verlässliche Methode sein können. Eine enge Zusammenarbeit im Team ist der Schlüssel zu einer langanhaltenden, kontinuierlichen Verbesserung.

Wenn das Fehlen der Prozessfähigkeit inhärent ist oder die Prozessfähigkeit vorhanden, der Prozess jedoch nicht mehr stabil ist und nicht konforme Produkte erzeugt, wird normalerweise eine 100%-Überprüfung durchgeführt, bis der Prozess korrigiert ist.

Die Einheitlichkeit der Überprüfung muss sichergestellt werden. Die Unsicherheitsmessung muss innerhalb unbedenklicher zulässiger Grenzen gehalten werden.

12 Schritte zur Erstellung von Regelkarten

Die Schritte zur Erstellung der $\bar{X}$ -Regelkarte und der R -Regelkarte sind, für den Fall, dass keine Standardwerte vorgegeben sind, unter 12.1 bis 12.3 beschrieben. In Anhang A werden sie in Form eines Beispiels beschrieben. Bei der Erstellung anderer grundlegender Regelkarten sind dieselben einfachen Schritte zu befolgen, die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Regelgrenzen und der Mittellinie sind jedoch verschieden. Ein typisches Format für eine Standard-Regelkartenform wird in Bild 5 aufgeführt. Änderungen an dieser Form können in Übereinstimmung mit den besonderen Anforderungen einer Prozessregelsituation vorgenommen werden.

[illegible]

Bild 5 — Allgemeines Format einer Variablen-Regelkarte

12.1 Bestimmung der Strategie zur Datenerhebung

Falls die vorläufigen Daten nicht nach dem vorgeschriebenen Plan in Untergruppen erfasst wurden, wird der gesamte Datensatz der beobachteten Werte, wie unter 10.3 erörtert, nach den Kriterien für natürliche Untergruppen in aufeinanderfolgende Untergruppen unterteilt. Die Untergruppen müssen dieselbe Struktur und denselben Umfang aufweisen. Die Einheiten ein- und derselben Untergruppe sollten so etwas wie einen wichtigen gemeinsamen Faktor haben, z. B. innerhalb desselben kurzen Zeitraums erzeugt worden sein oder aus einer der verschiedenen unterschiedlichen Quellen oder Standorte stammen. Die verschiedenen Untergruppen sollten mögliche oder vermutete Unterschiede im Prozess, durch den sie erzeugt wurden, repräsentieren, z. B. unterschiedliche Zeitbereiche oder verschiedene Quellen oder Standorte.

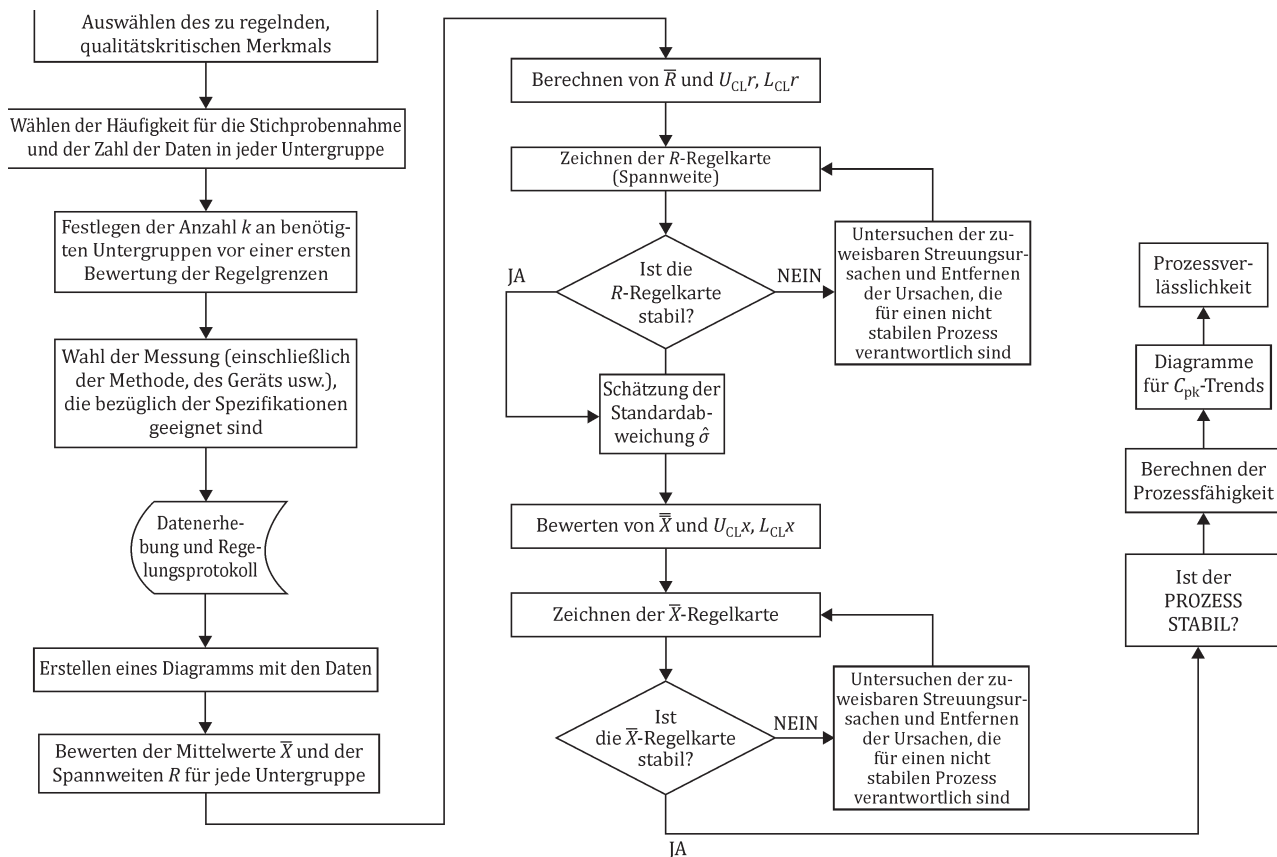


Bild 6 — Systemansatz zum Aufbau von Variablen-Regelkarten

ANMERKUNG Eine Liste bekannter Quellen für zufällige und zuweisbare Streuungsursachen wird erstellt.

12.2 Datenerhebung und Berechnung

Für jede Untergruppe wird der Mittelwert $\bar{X}$ und die Spannweite R berechnet. Anschließend wird der übergeordnete Mittelwert $\bar{\bar{X}}$ für sämtliche beobachteten Werte und die mittlere Spannweite $\bar{R}$ berechnet.

12.3 Graphische Darstellung der $\bar{X}$ - und R-Regelkarte

Die $\bar{X}$ - und die R-Regelkarte werden auf einem geeigneten Formular oder einem Diagrammpapier angelegt. Die Ordinate wird für $\bar{X}$ und R verwendet, die Abszisse für die Untergruppennummer. Die berechneten Werte für $\bar{X}$ werden in die Karte für Mittelwerte und die berechneten Werte für R in die Karte für Spannweiten eingetragen.

In diese entsprechenden Regelkarten werden durchgehende horizontale Linien eingetragen, die $\bar{\bar{X}}$ und $\bar{R}$ abbilden.

Die Regelgrenzen werden in die Karten eingetragen. In die $\bar{X}$ -Regelkarte werden bei $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ zwei unterbrochene Linien eingetragen und in der R-Regelkarte werden zwei unterbrochene Linien bei $D_3 \bar{R}$ und $D_4 \bar{R}$ eingetragen, wobei A_2 , D_3 und D_4 auf n beruhen, der Zahl für die Beobachtungen je Untergruppe, und in Tabelle 2 aufgeführt sind. L_{CL} wird für die R-Regelkarte nicht benötigt, wenn n kleiner als 7 ist, da der sich ergebende Wert für D_3 als null angesehen wird.

13 Sorgfalt bei Shewhart-Regelkarten

Es gibt einige praktische Situationen, wie nachstehend aufgeführt, in denen beim Umgang mit Shewhart-Regelkarten Vorsicht geboten ist.

13.1 Allgemeine Sorgfalt

Die Streuung innerhalb einer Untergruppe muss nicht notwendigerweise nur auf zufällige Streuungsursachen zurückzuführen sein. Die Untergruppe besteht aus einem Behandlungslos; das heißt, dass die Schwankung innerhalb einer Untergruppe die Schwankung innerhalb eines Loses ist. Die Untergruppe hat vom Standpunkt sowohl der physischen Aspekte als auch der Qualitätssicherung eine Bedeutung. Daher ist es erforderlich, die Schwankung innerhalb eines Behandlungsloses unter Verwendung der R -Regelkarte zu regeln.

Bild 7 zeigt eine $\bar{X}$ - und R -Regelkarte während der Massenfertigungsfrühphase eines Wärmebehandlungsprozesses. Bei dieser $\bar{X}$ - und R -Regelkarte sind keine Standardwerte vorgegeben. Die R -Regelkarte zeigt an, dass der Prozess stabil ist, die $\bar{X}$ -Regelkarte hingegen weist viele Punkte und Lagen auf, die nicht stabil sind.

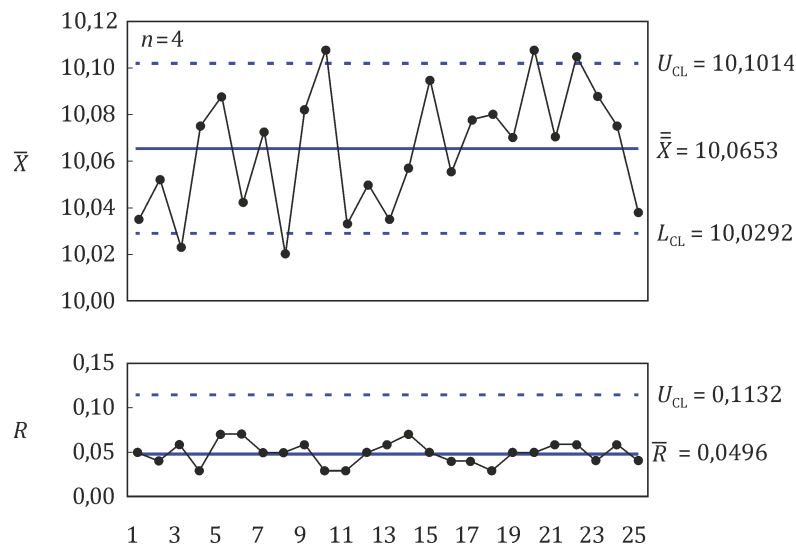


Bild 7 — Gewöhnliche $\bar{X}$ - und R -Regelkarte während der Frühphase einer Massenfertigung

Andererseits zeigt Bild 8 eine andere $\bar{X}$ - und R -Regelkarte für dieselben Daten wie in Bild 7, bei der die Regelgrenzen für die $\bar{X}$ -Regelkarte auf Grundlage der Gesamtprozessschwankung anstelle des Mittelwertes für die Spannweiten ($\bar{R}$) berechnet wurde.

Bild 8 zeigt an, dass der Prozess beherrscht ist. Zu diesem Zeitpunkt kann, wenn die Prozessleistung zufriedenstellend ist, entschieden werden, dass der Prozess von der Frühphase in die Routine-Phase der Massenfertigung übergehen kann. Anschließend werden die Regelgrenzen der $\bar{X}$ - und R -Regelkarte in Bild 8 als Standard-Regelungsstufe für die Routine-Phase der Massenfertigung verwendet. Das bedeutet, dass die zufällige Streuung aufgrund zulässiger Ursachen zwischen den Untergruppen während der Massenfertigungsfrühphase als Streuung aufgrund zufälliger Ursachen aufgenommen wurde.

Daher sollte beachtet werden, dass die Streuung innerhalb einer Untergruppe nicht notwendigerweise eine Streuung aufgrund ausschließlich zufälliger Ursachen bedeutet. Dennoch liegen 17 bis 24 Punkte in der $\bar{X}$ -Regelkarte oberhalb der Mittellinie und ein von 9 auf 24 Punkte verstärkter Trend zeigt gemeinsam mit Punkthäufungen auf der Spannweitenkarte um $\bar{R}$ herum eine Möglichkeit für Verbesserungen durch die Bestimmung und Entfernung zuweisbarer Streuungsursachen an.

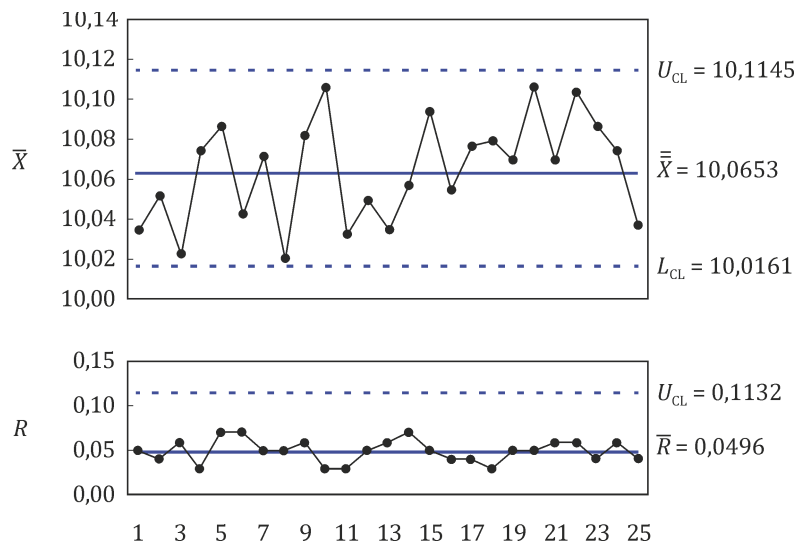


Bild 8 — $\bar{X}$ - und R -Regelkarte, bei der die Regelgrenzen für die $\bar{X}$ -Regelkarte aus der Gesamtprozessschwankung und nicht vom Mittelwert für die Spannweiten $\bar{R}$ stammen

13.2 Korrelierte Daten

Ist eine Datenkorrelation vorhanden, gilt die folgende Gleichung, die eine grundlegende Gleichung beim Ausführen einer $\bar{X}$ -Regelkarte mit dem Stichprobenumfang n ist, nicht:

$$\sigma^2(\text{Urwerte}) = \frac{\sigma^2(\bar{X})}{n}$$

Daher sind die Regelgrenzen, falls sie mittels der üblichen Verfahrensweise berechnet wurden, falsch angeordnet.

In solch einem Fall sollte das Prozessmodell identifiziert werden und die Restgrößen des Modells sollten als die Beobachtungen behandelt werden. Ein alternativer Weg sollte in der Berechnung der Regelgrenzen aus der Streuung von $\bar{X}$ bestehen. Für Hinweise sollte ein Fachmann hinzugezogen werden.

13.3 Verwendung einer alternativen Regel zur 3-Sigma-Regel

Die Shewhart-Regelkarte für den Mittelwert wird eine große und andauernde Verschiebung der mittleren Prozesslage schnell ermitteln. Dennoch zeigt eine Shewhart- $\bar{X}$ -Regelkarte eine geringe Verschiebung der Mittellage, Größenordnung 1,5 oder weniger, nur unzureichend an. Daher werden in den Fällen, in denen eine kleine Verschiebung des Prozessmittelwerts aus einer erwünschten Lage so schnell wie möglich ermittelt werden muss, im Normalfall zusätzliche Musterprüfungen durchgeführt. Dennoch können solche zusätzlichen Regeln die Falschalarmquote erhöhen, das heißt, dass sich die Wahrscheinlichkeit für die Beobachtung eines Signals auf der Karte durch die Anwendung dieser Regeln wesentlich vergrößert. Andererseits sollten die in Abschnitt 8 aufgeführten zusätzlichen Regeln bezüglich einer Verbesserung der Prozessleistung berücksichtigt werden, wenn die Regelkarte während der Frühphase der Massenfertigung ohne Standardwerte verwendet wird. Eine alternative Strategie besteht in der Verwendung von Regelkarten, für z. B. den exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwert (EWMA) oder eine CUSUM-Regelkarte.

Eine weitere Regel besteht darin, das übliche Signalkriterium für einen nicht stabilen Prozess sowie die Stelle der Regelgrenzen auf der Karte zu ersetzen. Eine $\bar{X}$ -Regelkarte gibt ein Signal aus, wenn zwei von drei Datenpunkten jenseits der 2σ -Grenze abgebildet werden. Bei der Verwendung dieses „zwei von drei“-Kriteriums wird empfohlen, die üblichen 3-Sigma-Regelgrenzen einer $\bar{X}$ -Regelkarte durch Linien für Regelgrenzen bei 1,78 Sigma beiderseits der Mittellinie zu ersetzen. Die Verwendung dieser Regel sowie dieser Regelgrenzen