

Statistical Process Control

App zur Anwendung bei kleinen Stückzahlen

Eine Voraussetzung, um die Statistische Prozesslenkung (SPC) anwenden zu können, ist eine große Anzahl an Messdaten eines Merkmals. Dies ist in der Kleinserienfertigung oft schwer zu erfüllen. Im AiF-Forschungsprojekt der FQS – Forschungsgemeinschaft Qualität e. V. mit dem Titel „GriPS – Softwaregestützte Gruppierung ähnlicher Merkmale für die Prozesslenkung bei kleinen Stückzahlen“ wurde eine App entwickelt, die ähnliche Merkmale gruppiert und damit SPC und Prozessfähigkeitsnachweise auch bei kleinen Stückzahlen ermöglicht.

Jonathan Greipel, Alexander Hüttner und Robert H. Schmitt

Die Herausforderung, SPC auf kleine Stückzahlen anzuwenden, besteht in der geringen Anzahl an verfügbaren Daten [1]. So fehlt Unternehmen oft die Basis, um sicherheits- und qualitätsrelevante Entscheidungen treffen zu können. Ihre Prozesse sind nicht steuerbar, nicht vergleichbar, und sie unterliegen dem Qualitätsbewusstsein des Werkers. Um Messdaten für SPC valide auswerten zu

können, ist eine Mindestanzahl von 125 Messdaten üblich [1]. In der Kleinserienfertigung kann diese Anforderung häufig nicht erfüllt werden. Wenn SPC normalerweise angewendet wird, wird oft nur ein Merkmal eines Produkts betrachtet [2]. Um die Datenbasis zu vergrößern, betrachtet man – gemäß ISO/DIS 7870-8: Control Charts: Charting techniques for short runs and small mixed batches – nicht das Pro-

dukt, sondern den Prozess [3]. Es werden ähnliche Merkmale, die vom gleichen Prozess, aber unterschiedlichen Produkten stammen, zu Prozessmerkmalen gruppiert. Prozessmerkmale können z. B. Wellendurchmesser mit unterschiedlichen Nennmaßen sein. Indem die Datenbasis durch das Gruppieren vergrößert wird, kann SPC angewendet und können qualitätsrelevante Entscheidungen getroffen werden. »

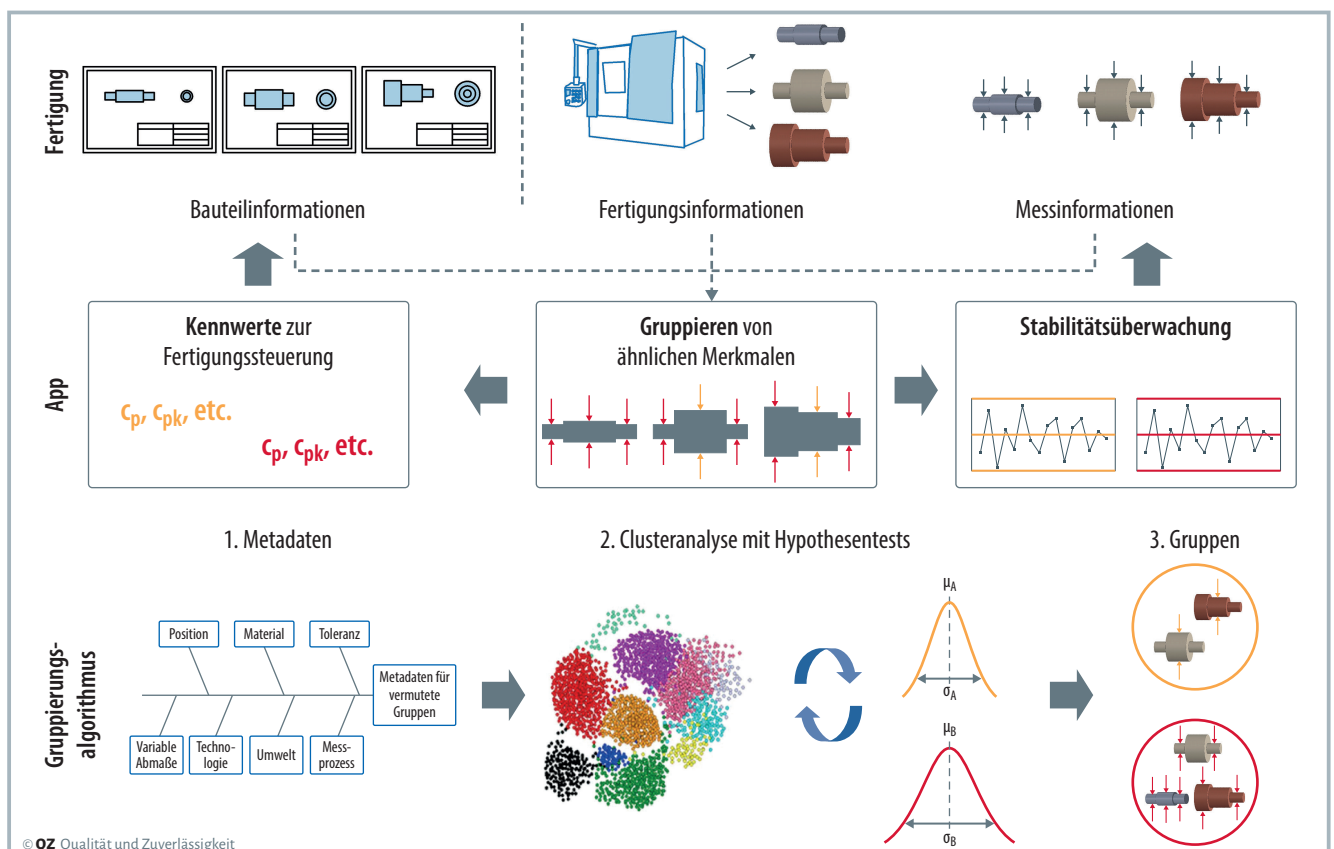


Bild 1. Vorgehen zur Gruppierung ähnlicher Merkmale

INFORMATION & SERVICE

DANKSAGUNG

Das IGF-Vorhaben 18723N der Forschungsgemeinschaft Qualität (FQS) wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert.

LITERATUR

- 1 **Dietrich, E.; Schulze, A.:** Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. Carl Hanser Verlag 2014
- 2 **Montgomery, D. C.:** Statistical Quality Control. 7th Edition: John Wiley & Sons 2012
- 3 **Wiederhold, M.; Greipel, J.; Schmitt, R.; Ottone, R.:** Gemeinsam sind sie stark. Statistical Process Control bei kleinen Stückzahlen. In: Qualität und Zuverlässigkeit 3/2016
- 4 **Wiederhold, M.; Greipel, J.; Ottone, R.; Schmitt, R.:** Clustering of similar processes for the application of statistical process control in small batch and job production. In: Int. J. Metrol. Qual. Eng. 7 (4)/2016, S. 404, DOI: 10.1051/ijmqe/2016018
- 5 **Wiederhold, M.:** Clustering of Similar Features for the Application of Statistical Process Control in Small Batch and Job Production. Apprimus Verlag 2017 (Ergebnisse aus der Produktionstechnik)
- 6 **Greipel, J.; Li, Y.; Schmitt, R. H.:** Concept for Clustering of Similar Quality Features for Optimization of Processes in Low Volume Manufacturing. In: Robert H. Schmitt und Günther Schuh (Hrsg.): 7. WGP-Jahreskongress Aachen, 5.-6. Oktober 2017. Apprimus Wissenschaftsverlag, S. 363–371

AUTOREN

Jonathan Greipel, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Model-based Systems am Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und QM des Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

Alexander Hüttner, B.Sc., ist wissenschaftlicher Hilfsmitarbeiter in der Abteilung Model-based Systems am Lehrstuhl für Fertigungsmesstechnik und QM des WZL.

Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt, ist Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungsmesstechnik und QM sowie Direktor am WZL und am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie.

KONTAKT

Jonathan Greipel
T 0241 80-28383
j.greipel@wzl.rwth-aachen.de

Um jedoch die Validität der Entscheidungen sicherzustellen, müssen die Prozessmerkmale ausreichend ähnlich sein [3]. Wie die Ähnlichkeit gewährleistet wird, beantwortet ISO/DIS 7870-8 nicht [4].

Die am AiF-Projekt GriPS teilnehmenden Unternehmen hatten dieses Problem. Sie sind im Werkzeugmaschinenbau, Werkzeugbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie der Lohnarbeit tätig und produzieren hauptsächlich Kleinserien mit Losgrößen kleiner 100. Alle Unternehmen haben gemein, dass sie hohe Qualitätsanforderungen erfüllen müssen, fehlerhafte Teile zu hohen Ausschusskosten führen und Kunden oft Prozessfähigkeitsnachweise verlangen. Daher hatten die Unternehmen sich zum Ziel gesetzt, mit der in GriPS entwickelten App Merkmale ähnlicher Bauteile zu gruppieren, um SPC anzuwenden [5, 6].

App zur Gruppierung ähnlicher Merkmale

Die App unterstützt Unternehmen mit einem automatisierten Gruppierungsalgorithmus dabei, ähnliche Merkmale sinnvoll zu Prozessmerkmalen zu gruppieren. Mithilfe des Gruppierens wird die Datenbasis erhöht, damit geeignete Qualitätsregelkarten nach ISO/DIS 7870-8 nutzbar sowie Prozessfähigkeitskennwerte nach DIN ISO 22514-1: „Statistical methods in process management – Capability and performance“ bestimmbar sind.

Die App wurde mit an GriPS teilnehmenden Unternehmen entwickelt, berücksichtigt deren industrielle Anforderungen (Datenformate, Bedienbarkeit etc.) und wurde anhand der Fertigungsprozesse der Unternehmen validiert. In Bild 1 sind das Vorgehen zur Gruppierung und Sicherstellung der Ähnlichkeit der gruppierten Merkmale sowie der benötigte Informationsfluss dargestellt. Das Vorgehen ist als App realisiert. Die App erhält alle Bauteilinformationen wie prüfungsrelevante Produktmerkmale und Toleranzen. Zudem werden sowohl die Fertigungsprozessinformationen wie Werkzeug, Aufspannung etc. als auch die Messinformationen der Merkmale bereitgestellt.

Mit den Informationen und statistischen Methoden werden ähnliche Merkmale gruppiert. Die Gruppen ermöglichen eine Stabilitätsüberwachung und eine Angabe von Fähigkeitskennwerten. Entspre-

chend gliedert sich die App in „Gruppieren von ähnlichen Merkmalen“, „Stabilitätsüberwachung“ und „Kennwerte zur Fertigungssteuerung“. Durch Rückführung der Auswertungsergebnisse in die Fertigung ist die Qualitätssicherung gewährleistet.

Den Kern der App bildet der entwickelte Gruppierungsalgorithmus. Er analysiert historische Messdaten von Merkmalen verschiedener Produkte und fasst diese anhand eines statistischen Ähnlichkeitskriteriums zu Prozessmerkmalen zusammen. Als Ähnlichkeitskriterium wurde das statistische Maß der Homogenität der Lage und der Streuung der Gruppen gewählt. Für die Auswahl des Maßes wurde auf die Grundidee von SPC zurückgegriffen: Bei SPC wird zwischen der kleinen Streuung aufgrund allgemeiner Ursachen (zufällige, nicht kontrollierbare Prozesseinflüsse) und der großen Streuung aufgrund besonderer Ursachen (Maschinen-, Materialfehler etc.) unterschieden. Letztere gilt es zu identifizieren und zu beseitigen. Das Gruppieren verursacht eine neue Streuung: die Streuung aufgrund des Gruppierens. Damit also vertrauenswürdige Aussagen aus den gruppierten Merkmalen getroffen werden können, muss die Streuung durch die Gruppierung vernachlässigbar bzw. die statistische Ähnlichkeit der gruppierten Merkmale gegeben sein. Ansonsten sind Fehlentscheidungen möglich, da gegebenenfalls die Streuung aufgrund der Gruppierung nicht von der Streuung aufgrund besonderer Ursachen unterschieden und diese deshalb nicht valide aufgedeckt werden kann. Das Ähnlichkeitskriterium hilft also, die Streuung aufgrund der Gruppierung vernachlässigbar klein zu halten, indem nur ähnliche Merkmale Gruppen bilden können [6].

Um den Gruppierungsalgorithmus in der App anzuwenden, werden die in Bild 1 dargestellten zwei Schritte durchlaufen:

- 1. Metadaten: Um die Ähnlichkeit der Merkmale nachzuweisen, werden aus den Bauteil-, Fertigungs- und Messinformationen Metadaten abgeleitet. Die Metadaten dienen als Grundlage, um homogene Gruppen zu bilden. Sie geben die Unterschiede der als ähnlich vermuteten Merkmale wieder und werden mit Expertenwissen, z. B. mithilfe eines Ishikawa-Diagramms, identifiziert. Dazu lautet die Frage: „Was könnten zu Gruppen bei Merkmalen führen?“

Mit diesem Wissen werden aus den Bauteil-, Fertigungs- und Messinformationen Metadaten wie Aufspannung, Werkstoff etc. entnommen und den Messwerten der einzelnen Merkmale zugeordnet.

- 2. Clusteranalyse und Homogenitätstests: Anhand der Metadaten werden die Merkmale mithilfe ihrer historischen Messwerte auf vermutete Gruppen untersucht. Dafür wird aus den Messwerten die Abweichung vom Nennwert gebildet, um beispielsweise ungleiche Durchmesser zu kompensieren. Die vermuteten Gruppen werden durch Clusteranalysen und Homogenitätstests auf Lage und Streuung bestätigt oder verworfen. Erweisen sich mehrere Merkmale unterschiedlicher Teile gemäß ihrer Lage und Streuung als homogen, werden Gruppen gebildet. Die vergrößerte Datenbasis ist nun für Qualitätsregelkarten und Prozessfähigkeitsnachweise anwendbar.

Anwendung der App auf ein Praxisbeispiel

Um die praktische Anwendbarkeit des Gruppierungsalgorithmus nachzuweisen,

wurde er mit Monte-Carlo-Simulationen und einem Design of Experiments validiert sowie auf die Daten teilnehmender Unternehmen angewendet.

Experten der Unternehmen haben die Ergebnisse validiert und die Prozessmerkmalsgruppen für physikalisch sinnvoll erachtet. Als reales Anwendungsbeispiel wurde der Fertigungsprozess von Drehteilen mit der App ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt.

Die Drehteile werden in Kleinserien – acht Varianten mit einer durchschnittlichen Losgröße von 50 – gefertigt. Eines der Merkmale ist der Außendurchmesser der Drehteile. Durch Experten wurden folgende Metadaten identifiziert:

- über Bauteilinformationen: Nenn-durchmesser, Länge und Werkstoff;
- über Fertigungsprozessinformationen: Aufspannung (weitere Informationen wurden im Unternehmen leider nicht dokumentiert);
- über Messprozessinformationen: keine, da alle Teile mit einer Koordinatenmessmaschine gemessen wurden.

Bild 2 stellt den Gruppierungsbaum dar, der mit den Daten und dem Gruppierungs-

algorithmus erreicht wird. Oben zeigt er, welche Metadaten zu den Gruppen (Werkstoff, Aufspannung) führen, und im untersten Knoten, welche Außendurchmesser gruppiert sind. Die übrigen Metadaten (Nenn-durchmesser, Länge) zeigen keinen Einfluss auf, sodass keine weiteren Gruppen gebildet werden.

Die Gruppen wurden auf Qualitätsregelkarten und zur Berechnung von Prozessfähigkeitskennwerten angewendet. Bei Gruppe 1 liegen drei Grenzwertverletzungen vor. Die Ursachen dafür konnten nicht mehr identifiziert werden, da die Analyse auf historischen Daten basiert und der Zeitraum der Produktion zu lange zurücklag. Für zwei Gruppen wurde eine Prozessfähigkeit von größer 1,33 nachgewiesen.

Die App ist auf Nachfrage verfügbar und unterstützt Unternehmen bei der Einführung von Statistischer Prozesslenkung bei kleinen Stückzahlen. Ohne statistisches Wissen seitens des Anwenders vorauszusetzen, gruppiert die App ähnliche Merkmale zur Vergrößerung der Datenbasis. Die App ermöglicht die Anwendung von ISO 7870-8 und die Bestimmung der Prozessfähigkeit ohne großen Personalaufwand. ■

Regionalkreis Mittelrhein

Kooperationsveranstaltung „Digitalisierung verändert alles – und was bei uns?“

Unternehmer brauchen Visionen und den Mut, Entscheidungen für die Zukunft zu treffen. Um dafür eine fundierte Basis zu haben, die auf relevanten und konkreten Informationen über laufende gesellschaftliche und ökonomische Entwicklungen beruht, ist einerseits der Blick von oben auf das Ganze wichtig. Andererseits sind aber auch gezielte Kenntnisse über Details notwendig. Dies gilt insbesondere bei weitreichenden Entwicklungen wie der Digitalisierung.

Die Kooperationsveranstaltung des DGQ-Regionalkreises Mittelrhein, der IHK Koblenz und der Fachhochschule Koblenz bietet unter dem Titel „Digitalisierung verändert alles – und was bei uns?“ am 22. November 2019 in der Hochschule Koblenz beide Perspektiven.

Dafür stehen Experten aus Wissenschaft und Praxis zur Verfügung.

Dr. Benedikt Sommerhoff, Leiter Innovation und Transformation bei der Deutschen Gesellschaft für Qualität, der sich mit Trends und Innovationen und ihren Auswirkungen auf die unternehmerische Entwicklung beschäftigt, gibt wichtige Impulse für die Gesamtperspektive.

Professor Bert Leyendecker von der Fachhochschule Koblenz, Mitinitiator der Modellfabrik, zeigt mit seinem Institut auf, wie Digitalisierung in Unternehmen konkret umgesetzt werden kann.

Professor Walter Wincheringer gibt Informationen zum „Digitalen Zwilling“.

Guido Jost, IT-Geheimsschutzverantwortlicher im Landesministerium, zeigt

wichtige Informationen zur Cybersicherheit auf.

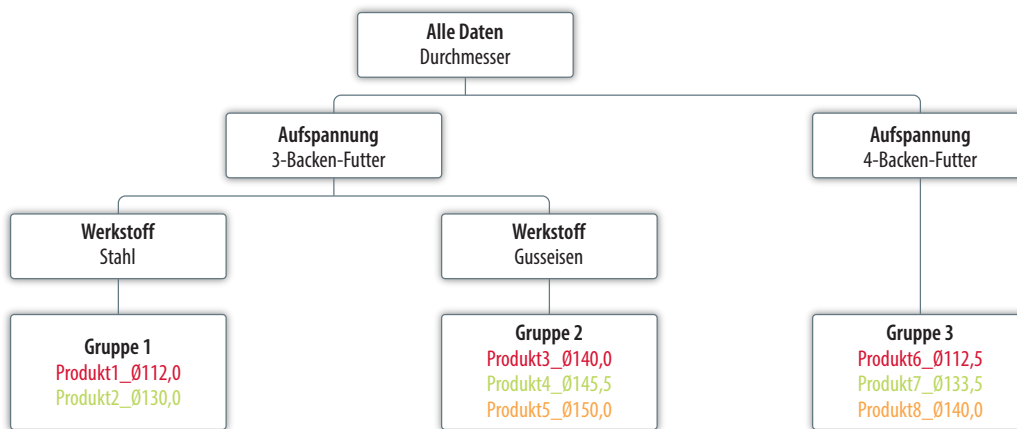
Auch Themen rund um die Cloud werden von Experten wie Bernhard Müller von Adartis mit den Teilnehmern diskutiert. Diese und weitere Felder werden im Plenum und in Kleingruppen behandelt. Die Veranstaltung unterstützen unter anderem Partner wie die IHK Koblenz, der Six Sigma Club oder die Wirtschaftsförderung. Die Gesamtmoderation übernimmt Sabine A. Pehl, Regionalkreisleiterin der DGQ im Bereich Mittelrhein und selbstständige Beraterin für Persönlichkeits- und Unternehmensentwicklung.

.....
Anmeldung zur kostenlosen Veranstaltung:
www.dgq.de/u/digitalkoblenz

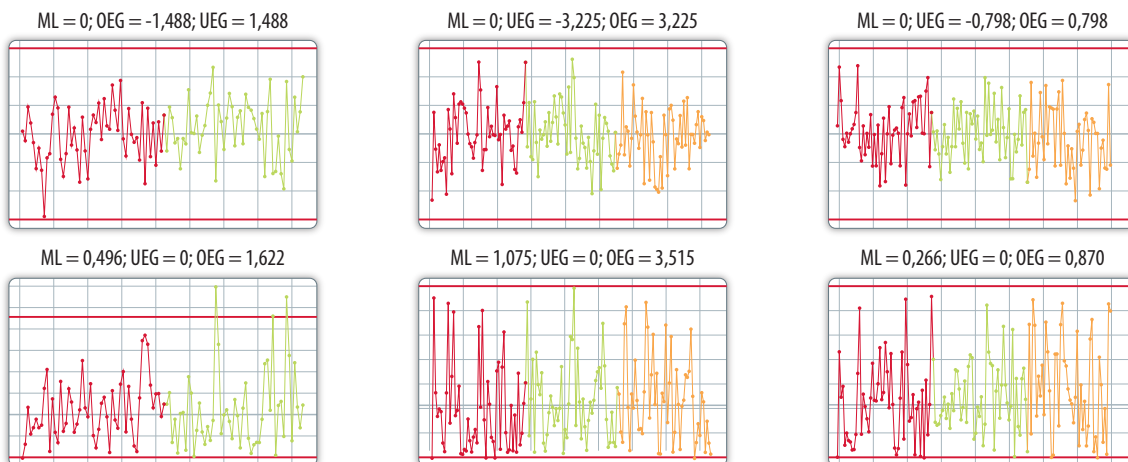
1. Ausschnitt an Input-Daten für die App

Merkmal	Nenndurchmesser	Länge	Messwert	Abweichung	Obere Toleranzgrenze	Untere Toleranzgrenze	Toleranz	Aufspannung	Werkstoff
Produkt1_Ø112,0	112,0	200	112,051	0,051	1,5	-1,5	3	3-Backen-Futter	Gusseisen
Produkt1_Ø112,0	112,0	200	111,892	-0,108	1,5	-1,5	3	3-Backen-Futter	Gusseisen
Produkt2_Ø130,0	130,0	233	129,548	-0,452	1,5	-1,5	3	3-Backen-Futter	Gusseisen
Produkt2_Ø130,0	130,0	233	130,646	0,646	1,5	-1,5	3	3-Backen-Futter	Gusseisen
Produkt3_Ø140,0	140,0	312	140,404	0,404	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt3_Ø140,0	140,0	312	140,522	0,522	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt4_Ø145,5	145,5	284	145,198	-0,302	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt4_Ø145,5	145,5	284	145,704	0,204	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt5_Ø150,0	150,0	200	150,009	0,009	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt5_Ø150,0	150,0	200	149,493	-0,507	1,1	-1,1	2,2	4-Backen-Futter	Stahl
Produkt6_Ø112,6	112,5	410	112,176	-0,324	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl
Produkt6_Ø112,5	112,5	420	112,486	-0,014	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl
Produkt7_Ø133,5	133,5	220	132,373	-1,127	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl
Produkt7_Ø133,5	133,5	220	132,114	-1,386	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl
Produkt8_Ø140,0	140,0	238,5	139,765	-0,235	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl
Produkt8_Ø140,0	140,0	238,5	139,975	-0,025	4,5	-4,5	9	3-Backen-Futter	Stahl

2. Gruppen nach dem in GriPS erstellten Gruppierungsalgorithmus



3. Variable Einzelwertregelkarten und Gleitende Spannweitenregelkarte nach ISO/DIS 7870-8



4. Fähigkeitskennwerte nach DIN ISO 22514-1

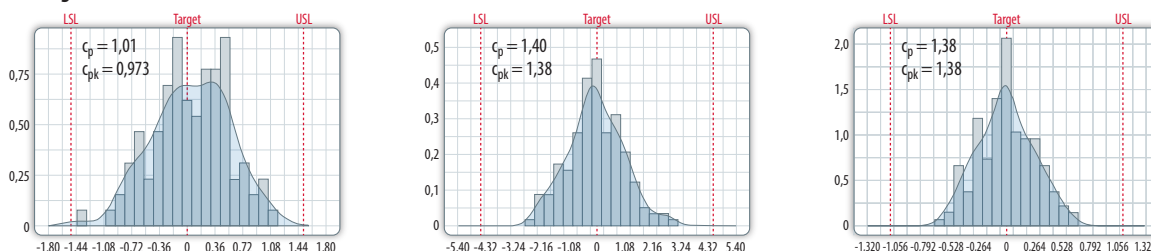


Bild z. Auswertung als Report, erstellt mit der in GriPS programmierten App