

■ 1.1 Statistische Verfahren in der industriellen Produktion

Die in dem Buch beschriebenen statistischen Verfahren finden ihren Einsatz bzw. ihre Anwendung in erster Linie in der industriellen Produktion. Dazu zählen die Bereiche:

- Fertigungstechnik, mit der Herstellung und Montage von diskreten bzw. zählbaren Teilen
- prozesstechnische Produktion, bei der der Güterausstoß mengen- oder volumenorientiert gemessen wird, wie sie vornehmlich in der chemischen Industrie und der Nahrungsmittelindustrie zum Tragen kommen
- Verfahrenstechnik, mit der Verarbeitung von Rohmaterialien anhand kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozesse.

Sicherlich sind die meisten Verfahren auch auf andere Bereiche wie den Dienstleistungssektor übertragbar. Allerdings beschreibt das Buch keine Anwendungsbeispiele aus diesen Bereichen.

Heute sind diese Verfahren am weitesten in der Automobil- und Zulieferindustrie verbreitet. Insbesondere die Forderung aus Normen (IATF 16949:2016, IATF, 2016), Verbandsrichtlinien wie VDA (2008; 2016; 2020; 2021) oder QS-9000 (A.I.A.G., 1998) haben wesentlich zur Verbreitung beigetragen. Damit waren sowohl die Hersteller als auch die Zulieferer gezwungen, diese Verfahren umzusetzen. Viele Großkonzerne haben darauf basierend ihre eigenen firmenspezifischen Richtlinien (Daimler, 2008; General Motors, 2004; Robert Bosch, 2019; Volkswagen, Audi, 2005a und 2005b) erstellt und in Form von Verfahrensanweisungen verbindlich vorgeschrieben.

In der Automobil- und Zulieferindustrie, die hierfür sicherlich eine Vorreiterrolle spielte, wurden die Machbarkeit, die Sinnhaftigkeit und der Nutzen dieser Verfahren nachgewiesen. Aufgrund dieser positiven Erfahrung haben sie sich mittler-

weile auch auf andere Branchen und Industriezweige ausgebreitet. Zumal die Anwendung statistischer Verfahren beim Aufbau und Betrieb eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001 (DIN, 2015b) gefordert ist. Dabei beschränken sich diese Verfahren nicht nur auf die Massenfertigung, sondern können sehr wohl auch für Kleinserien bis hin zu komplexen Einzelteilen verwendet werden. Bei Kleinserien ist es in erster Linie der Vergleich mit zurückliegenden Chargen, um Trends und Veränderungen zu erkennen. Bei komplexen Einzelteilen mit in der Regel vielen Merkmalen ist es sehr häufig der Vergleich baugleicher Merkmale und deren Dokumentation, um die Rückverfolgbarkeit sicher zu stellen. Die Anwendung statistischer Verfahren ist in der Normung nicht nur gefordert, sondern auch selbst genormt (Abschnitt 1.3 und Abschnitt 1.4).

Die hier beschriebenen statistischen Verfahren können thematisch zu folgenden Anwendungsbereichen zusammengefasst werden:

- Eignungsnachweise von Prüfprozessen (Abschnitt 1.5)
- SPC Statistical Process Control (Prozessregelung und -überwachung) sowie Abnahme von Maschinen und Fertigungseinrichtungen (Abschnitt 1.6)
- DoE – Design of Experiments (Versuchsplanung, Abschnitt 1.7).

In der Ausbildung werden statistische Verfahren oft singulär betrachtet und nicht im Gesamtkontext in Verbindung mit dem jeweiligen Einsatzbereich gesehen. Dies hat sich mit der Einführung von Six Sigma (Abschnitt 1.8) geändert. Dabei wird zwischen Six Sigma für die Produktion nach den DMAIC-Phasen und Six Sigma für die Entwicklung (DFSS – Design for Six Sigma) nach unterschiedlichen Phasenmodellen (z.B. IDOV) unterschieden. Jeder Phase sind dabei die entsprechenden statistischen Verfahren zugeordnet, wie sie sinnvollerweise angewandt werden sollen.

■ 1.2 Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns

Prof. Masing (Bild 1.1) hat anlässlich des Q-DAS[®]-Forums am 26. 11. 2003 den folgenden Vortrag gehalten. Er hat den Mitschnitt des Textes selbst korrigiert und der Fa. Q-DAS[®] zur Veröffentlichung freigegeben. Es war einer seiner letzten Auftritte vor seinem Tod am 29. März 2004. Sein Beitrag lebt von dem großen Erfahrungsschatz, den er in seinem langen Berufsleben gesammelt hat. Auch wenn der geschriebene Text nur sehr begrenzt den wundervollen Vortragsstil von Prof. Masing widerspiegeln kann, wollen wir aufgrund der historischen Bedeutung und der hervorragenden geschichtlichen Zusammenfassung die Abschrift hier wiedergeben.

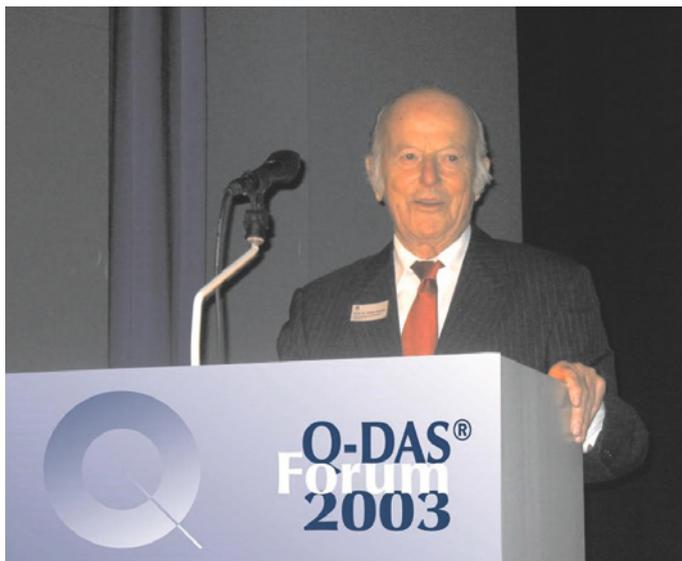


Bild 1.1 Prof. Dr. Masing (* 22. Juni 1915 – † 29. März 2004) beim Q-DAS®-Forum 2003

Niemand anderes als Prof. Masing hätte in der heutigen Zeit besser über die Anwendung statistischer Verfahren in der industriellen Produktion berichten können, zumal er wesentlich an der Einführung und Verbreitung dieser Verfahren in Deutschland beigetragen hat. Für Q-DAS® ist es eine große Ehre, dass Prof. Masing diesen Vortrag ausgearbeitet hat:

1.2.1 Begrüßung

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren,
mir liegt viel daran, den Organisatoren dieser Veranstaltung für die Einladung zu diesem Forum zu danken. Sie gibt mir Gelegenheit, vor einem fachlich qualifizierten Auditorium Anmerkungen zu einem Thema zu machen, dem ein guter Teil meiner Lebensarbeit gewidmet war. Zu dieser Thematik hat ja das Unternehmen, dessen Ehrentag wir heute gemeinsam feiern, bedeutsame Beiträge geleistet.

1.2.2 Einleitung

Wir unterscheiden bekanntlich beschreibende und schließende Statistik. Klassische Beispiele beschreibender Statistik finden wir im Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland mit seinen Angaben über Tausende von Gegebenhei-

ten und deren Entwicklung in unserem Land, wie Bevölkerung, Flächennutzung, Industrieproduktion, Verkehr und vieles andere mehr. Diese Art Statistik wird sicher schon in prähistorischer Zeit genutzt worden sein. Die Archäologie stellt uns zwar darüber keine Beweise zur Verfügung, doch dürfen wir annehmen, dass schon unsere Altvorderen im Neandertal die Anzahl ihrer Schafe und Rinder festgehalten und untereinander verglichen haben.

Die ersten Beweise für beschreibende Statistik haben wir aus einer Jahrzehntausende späteren Zeit. Es sind statistische Angaben in Keilschrift auf Tontafeln der Sumerer, die knapp 3000 Jahre vor unserer Zeitrechnung entstanden sind. Sie waren gut zwei Jahrtausende in diesem geografischen Raum bis hin nach Ägypten in Gebrauch. Heute zählen zur beschreibenden Statistik z.B. auch die vielen Millionen Daten, die tagein-tagaus in industriellen Produktionsbetrieben anfallen. Ihre Verarbeitung ist nur noch mit den modernsten elektronischen Mitteln möglich, wie sie vor allem unser gastgebendes Unternehmen entwickelt.

So wichtig beschreibende Statistik damals war und heute noch ist: Sie hat in der Öffentlichkeit nicht durchweg den besten Ruf, weil sie bis zum Geht-nicht-mehr manipulierbar ist und auch oft und gern manipuliert wird. Churchill soll gesagt haben: „Ich glaube nur einer Statistik, die ich selber gefälscht habe.“ Und in der Tat: So mancher von uns liest und hört mit großem Unbehagen statistische Angaben, und das besonders, wenn sie von Politikern stammen. Geradezu staunenswert ist ja, wie jemand es durch geschickte Interpretation fertigbringt, auch mit korrekten Daten allein durch deren Auswahl eindrucksvoll zu lügen. Ich habe beim Zuhören gelegentlich den Eindruck, dass der Redner das köstliche Buch von Darrell Huff „How to lie with statistics“ recht aufmerksam studiert haben muss. Das gilt übrigens auch für (gewiss nicht alle, aber doch für zu viele) Journalisten und andere Meinungsmacher.

1.2.3 Beginn

Die Anfänge der schließenden Statistik sind viel jüngeren Datums. Da sind vor allem zwei französische Mathematiker Mitte des 17. Jahrhunderts zu nennen, Blaise Pascal und Pierre de Fermat. Sie haben der Nachwelt nicht hinterlassen, wie sie darauf gekommen sind, sich mit Fragen der Wahrscheinlichkeit zu beschäftigen. Im Umlauf ist aber eine Erklärung, die viel für sich hat. Sie führt uns an den Hof des Sonnenkönigs Ludwigs des XIV in Versailles. Die einzige Aufgabe der meisten adligen Höflinge dort war es, dem Herrscher auf einen Wink hin jederzeit zu Diensten zu sein.

Doch konnten Stunden, ja Tage vergehen, bis jemand antreten musste. Aus Langeweile vertrieb man sich die Zeit mit Glücksspielen. Wenn nun mitten im Spiel einer aus der Runde zum Dienst befohlen wurde, war das Spiel beendet und musste

Index

Symbole

\bar{x} /s-Karte 260
 \bar{x} /R-Karte 260
 \tilde{x} /s-Karte 307
1-/5-Teile Bericht 482
 α -Fehler 212
 χ^2 -Anpassungstest 226
 χ^2 -Netz 110
 χ^2 -Test 465
 χ^2 -Verteilung 165

A

A1 Verteilungsmodell 388 f.
A2 Verteilungsmodell 388, 390
ABC-Bereich 113
Ablehnungsbereich 203
Abnahmebedingungen 475
Abweichungsgrad 87
Alternativhypothese 199
analytische Statistik 40
Annahmehbereich 203
Annahmekarte 333, 360
Annahmequalitätsregelkarten 333
ANOVA 245, 603
Anpassungstests 464
Anteil fehlerhafter Einheiten 271
arithmetischer Mittelwert 60, 62
ARL 372
Asymmetrie 64
Aufbewahrungszeitraum 509
ausfallfreie Zeit 181, 553
Ausfallsteilheit 181

Ausfallverhalten 548
Ausreißertest 236
Ausschussanteil 379
Auswertung 75
automatisierte Datenanalyse 502

B

Balkendiagramm 60
Bartlett-Test 243
beherrscht 406
Benchmark 124
beschreibende Statistik 40
Best Fit Move 432
Betragsverteilung 1. Art 171, 176, 460, 607
Betragsverteilung 2. Art 178, 460, 607
Beurteilungssystem 487
Binomialverteilung 137, 366
Box-Plot 114, 504
B Verteilungsmodell 391

C

C1 Verteilungsmodell 388, 392
C2 Verteilungsmodell 388, 393
C3 Verteilungsmodell 388, 394
C4 Verteilungsmodell 388, 395
CAD-Zeichnung 127
CAM 426
CDOV 37
charakteristische Lebensdauer 181
c-Karte 260, 262

CNOMO 91, 426
 Cpk 259
 CUSUM-Regelkarten 375
 C-Werte 259

D

d'Agostino 227, 464
 Datenverdichtung 502, 505
 Design of Experiments 28
 deskriptive Statistik 40
 DFSS 36
 Differenzenstreuung 220
 direkter Schluss 41
 diskrete Merkmale 261, 379
 DMADV 37
 DMAIC 34
 DoE 28
 DPMO 379, 381
 DPO 379 ff.
 DPU 379 ff.
 Drehmoment 171
 D Verteilungsmodell 396

E

Ebenheit 171
 einfache lineare Regression 528
 Einflussgrößen 477
 Eingriffgrenze 309
 – Mittelwertkarte 309
 – Standardabweichungskarte 309
 Eingriffsgrenze 254 f., 263, 341, 365 f.
 Eingriffsgrenzenverletzungen 366
 einseitig begrenzte Merkmale 483
 einseitiger oberer Schwellenwert 156
 einseitiger unterer Schwellenwert 156
 Einzelwerte 79
 Einzelwerteverlauf 79
 Einzelwertkarten 328
 Empfindlichkeit 368
 End-of-Life Tests 555
 Epps-Pulley-Test 229
 Ereigniskatalog 82
 erweiterte Grenzen 347

erweiterter Shapiro-Wilk-Test 232
 Erweiterung Eingriffsgrenzen 353
 EWMA-Regelkarten 377
 Exzess 61, 65

F

Fähigkeit 259
 Fähigkeitsindizes 39, 61, 68, 118, 382,
 429 f., 504
 Fehler 1. Art 208
 Fehler 2. Art 208
 Fehlerbeseitigungsaufwand 382
 Fehler je Einheit 278
 Fehlerrisiken 208
 Fehlersammelkarte 297, 299
 Flächenform 171
 Ford Testbeispiele 565
 Formelsammlung 606
 Formnester 85
 Formparameter 181, 552
 Formtoleranz 75
 Formtoleranzen 171, 460
 FSK *siehe* Fehlersammelkarte
 F-Test 242
 F-Verteilung 167

G

geometrischer Mittelwert 62
 Geradheit 171
 gerichtsverwertbare Daten 510
 Gesamtstandardabweichung 359
 gleitende Kennwerte 108, 342, 366
 Größtwert 60, 74
 Grundgesamtheit 40
 GUM 22
 Gut-Schlecht-Denken 24

H

Hampel-Test 239
 Histogramm 90, 152
 Hypergeometrische Verteilung 133

I

ICOV 37
IDOV 37
indirekter Schluss 40
induktive Statistik 40
Irrtumswahrscheinlichkeit 54, 203

J

Johnson-Transformation 183, 460

K

Kendallsche Rangkorrelation 527
Kenngrößen 57, 62
Kennwerte 39, 73
Klassengrenzen 90
Klassierung 90, 95
Kleinstwert 60, 74
Koaxialität 171
Kolmogoroff-Smirnoff-Lillefors-Test
464
kontinuierliche Merkmale 304, 385
Korrelation 40
Korrelationsanalyse 515
kritische Indizes 120
Kruskal-Wallis-Test 247
Kundenzufriedenheit 27
Kurtosis 65, 235
Kurzzeitfähigkeit 403, 439

L

Lagekarte 260, 366
Lageparameter 181, 258, 551
Lagesprünge 221
Lage-Spur 260
Lagetoleranzen 171, 460
Längenmaße 171
Langzeitauswertung 502
Langzeitfähigkeit 403, 441
Levene-Test 249
Lieferant 405
lineare Regression 528

Linienform 171
logarithmische Normalverteilung 175,
460, 607
logarithmische Transformation 172

M

Maschine 258, 403
Maschinenfähigkeit 439
Masing 2
Median 60, 62
Mediankarte 326, 338
Merkmal 40
– diskret 133, 261
– kontinuierlich 304
Merkmalsarten 42
Merkmalsübersicht 76
Messmanagementsysteme 22
Messprozesse 22
Messunsicherheit 22
Messwertkurven 86
Messwertreihe 60, 62
Methode M1 412
Middle Third 256, 315, 320
Mischverteilung 186
Mittellinie 254
Mittelwert 54, 62, 241
– gleitender 108
Mittelwertkarte 75, 326, 338
Modellanpassung 459
Modell I 603f.
Modell II 603f.
Momentenmethode 186

N

Näherung 264
Neigung 171
Nelson Rules 322
Nichteingriffswahrscheinlichkeit 366
Normalverteilung 151, 171, 460, 606
– logarithmische 175, 460
– standardisierte 155
– zweidimensional 188, 429
Normung 15, 19

np-Karte 260
 Nullhypothese 199
 numerische Testverfahren 197
 siehe Testverfahren

O

Operationscharakteristik 39, 209

P

Parallelität 171
 Pareto-Analyse 111, 302
 PDCA 36
 PDF-Format 507
 Pearson 182, 460
 Pearson-Qualitätsregelkarten 345
 Percentile 61
 p-Karte 260, 262
 Planlauf 171
 Poisson-Verteilung 144
 Polardarstellung 105
 Portfolio 124, 381
 Positionstoleranz 171, 431
 Potenzial 118 f.
 Power 210
 Pre-Control-Karten 374
 Produktbeurteilung 439
 Produktbewertung 487
 Produktmerkmale 42
 Produzentenhaftung 511
 Prozess 258 f., 365 f., 403 f.
 Prozessanalyse 404
 Prozessbeurteilung 439
 Prozesseigner 260
 Prozessfähigkeit 401
 Prozesslage 75, 352
 Prozesslage 358
 Prozesslageverschiebung 370
 Prozessleistung 399
 Prozesspotenzial 399
 Prozessstreuung 74 f.
 Prozessstreuung 75
 Prüffrequenz 259

Prüfgröße 201
 P-Wert Methode 205

Q

QRK *siehe* Regelkarte
 Qualifikationsphasen 403
 qualitative Merkmale 379
 Qualitätsfähigkeit 397
 Qualitätsregelkarte 39, 253, 366, 368, 374
 Qualitätsregelkarten 379
 Qualitätsregelkartentechnik 253
 Quantil 65
 Quantile 61, 75
 quantitative Merkmale 379
 quasilineare Regression 541

R

Range 63
 Rangkorrelation
 – Kendallsche 527
 – Spearmansche 526
 Rauheit 171
 Rayleigh-Verteilung 171, 178, 460
 rechtliche Aspekte 509
 Rechtwinkligkeit 171
 Regelkarten 253
 – \bar{x}/s -Karte 307
 – CUSUM-Karte 375
 – EWMA 377
 – Fehlersammelkarte 297
 – Pre-Control-Karte 374
 – Urwertkarte 330
 Regression 40, 515, 541
 Regressionskoeffizient 462
 Regressionsmodell 529
 Repeatability 22
 Reproducibility 22
 R-Karte 260
 Run 256, 317 f.
 Rundheit 171
 Rundlauf 171

S

Schadensfall 509
Schätzer
– Prozesslage 311
– Prozessstreuung 311
Schiefe 61, 64
Schwellenwert 157
Selektionskriterien 506
Serienanlauf 403
Shapiro-Wilk-Test 231, 464
Shewhart 7
Shewhart-Karte 325, 342
Signifikanztest 536
Six Sigma 30
s-Karte 260
Spannweite 60, 63
Spannweitenkarte 327
Spearman'sche Rangkorrelation 526
Spezifikationsgrenze 74 f.
Spiegelung 173
s-Spur 307
stabil 406
Stabilität 366
Stabilitätskriterien 39, 314, 364
Stabilitätsstufen 364
Stabilitätsverletzungen 315
Standardabweichung 54, 60, 63
Standardabweichungskarte 327
Standardisierte Normalverteilung 155
Statistical Process Control 23
Statistik 40
statistische Kenngrößen 57
statistische Kennwerte 39, 504
Stichprobe 40, 258 f., 366
Stichprobenentnahme 258
Stichprobenfrequenz 258
Stichprobenkennwerte 77
Stichprobenumfang 259, 365
Streuung 483
Streuung der Mittelwerte 351, 358
Streuungskarte 260, 366
Streuungs-Spur 260
Streuzahl 64
s über \bar{x} -Darstellung 125
Success-Run-Test 561

Summenlinie 97, 153
Summenwahrscheinlichkeit 157
Symmetrie 171
systematischer Trend 355
systematische Streuung 314

T

Tabellen 608
Taguchi 25
Teileprotokoll 75
Teileübersicht 76
Test
– Normalverteilung 225
TESTA 11
Testentscheidung 204
Testergebnisse 251
Testverfahren 39, 197
– Asymmetrie 234, 464
– Bartlett-Test 243
– d'Agostino 227
– David, Hartley und Pearson 236 f.
– Epps-Pulley 229
– erweiterter Shapiro-Wilk 232
– F-Test 242
– Grubbs 238
– Hampel-Test 239
– Kruskal und Wallis 247
– Kurtosis 235, 464
– Levene-Test 249
– Shapiro-Wilk 231
– Swed und Eisenhart 218
– Trend 220
– t-Test 244
– Zufälligkeit 218
– Zweistichproben t-Test 246
– χ^2 -Anpassungstest 226
Toleranzausnutzung 131
Toleranzbetrachtung 127
Transformation 171 f.
Transformation von Messwertreihen 39
Trend 220, 256, 315, 319
Trendprozess 356
t-Test 244
t-Verteilung 162

U

Überlagerung 83, 187
 Überschreitungsanteil 60, 96
 u-Karte 260, 262
 Unwucht 171
 Urwertkarte 326, 338

V

Varianz 60, 63, 108
 Varianzanalyse 40, 351, 357, 603
 Variationskoeffizient 61, 63
 Vergleichspräzision 22
 Vergleich von Varianzen 241
 Verlauf Einzelwerte 79
 Verletzung der Eingriffsgrenzen 262
 Verlustfunktion 25, 380
 Verschiebung 173
 Verteilung
 – hypergeometrische 133
 Verteilungsmodell 39, 361, 387, 458
 – A1 388 f.
 – A2 388, 390
 – B 391
 – C1 388, 392
 – C2 388, 393
 – C3 388, 394
 – C4 388, 395
 – D 396
 Verteilungsmodelle und deren Beurteilung 39
 Vertrauensbereich 40, 50, 61, 138, 190, 192, 194
 – Fähigkeitsindizes 61
 – Mittelwerte 61
 – Überschreitungsanteile 61
 – Varianzen 61
 Vertrauensniveau 50
 Viewer 508
 Vorlauf 481
 Vorlauf 1-Teil 484
 Vorlauf 5-Teile 484
 Vorläufige Prozessfähigkeit 403, 439
 Vorlauftest 482

W

Wahrscheinlichkeitsfunktion 53
 Wahrscheinlichkeitsnetz 100, 109
 Wahrscheinlichkeitsverteilungen 39, 133
 Warmlaufphase 481
 Warngrenze 254 f.
 Weibullverteilung 180, 460, 548, 607
 Werkzeug 258
 Wertepaare 104
 Wertestrahle 89
 Western Electric Rules 322
 Westgard Rules 322
 Wiederholbarkeit 22
 W-Netz 110
 Wölbung 61, 65

X

x-Karte 260, 262
 x(t)-Plot 81
 x-y-Plot 104

Z

Zeichnungswerte 74
 Zeitabhängige Verteilungsmodelle 387
 zeitzensierte Tests 557
 Zentralwert 62
 zerstörende Prüfung 259
 zufällige Schwankungen 347
 zufällige Streuung 314
 Zufälligkeit 218
 Zufallsstreuungsbereich 41, 52, 138, 190, 366
 Zusatzdaten 59
 Zusatzinformationen 81
 Zuverlässigkeit 547
 zweidimensionale Darstellung 106
 zweidimensionale Normalverteilung 188, 429, 607
 zweidimensionale Rangkorrelation 526
 zweiseitiger symmetrischer Schwellenwert 157
 Zweistichproben t-Test 246
 Zylinderform 171