

Statistische Methoden in der Sensorik (Teil 1): „Analytische Prüfungen“



STATISTISCHE METHODEN IN DER SENSORIK (Teil 1): „Analytische Prüfungen“

Ergänzend zu den sensorischen Tests als solche ist der Einsatz von geeigneten statistischen Verfahren erforderlich. Damit lassen sich die sensorischen Ergebnisse in ihrer Signifikanz, d.h. in ihrer Bedeutsamkeit und in der „Nicht-Zufälligkeit“ analysieren und mathematisch abgesichert darstellen. Der nachfolgende Beitrag möchte einen ersten Einblick in die bei analytischen Prüfungen eingesetzten wichtigsten statistischen Methoden geben. Für weiterführende Detail-Informationen ist der Blick in die entsprechende Fachliteratur erforderlich.

1. Grundbegriffe statistischer Tests

Durch die sensorische Analyse wird eine große Anzahl an Messdaten gewonnen. Bei der analytischen Sensorik werden die Ergebnisse durch die Prüfpersonen eigenständig notiert. Dies kann entweder auf einem ausgedruckten Fragebogen geschehen oder durch direkte Eingabe am PC. Dafür eignen sich spezielle Programme wie FIZZ oder Compusense. Diese berücksichtigen die Anforderungen der Sensorik, denn hier kann u. a. die Abgabe einer Antwort erzwungen werden (forced choice). Ein Weiterarbeiten ist erst nach erfolgter Antwort möglich. Darüber hinaus werden Eingabe- und Übernahmefehler vermieden. Egal ob die Prüfer ihre Daten auf Papier oder direkt über eine Tastatur eingeben, die Einzelergebnisse müssen zusammengefasst und ausgewertet werden.

Durch die Statistik wird das Ergebnis auf seine Vertrauenswürdigkeit geprüft. Dazu wird stets eine statistische Hypothese aufgestellt und die dazu gehörende Irrtumswahrscheinlichkeit geprüft. Die **Nullhypothese H_0** wird in der Sensorik folgendermaßen formuliert:

Die beiden Stichproben sind gleich, es ist kein sensorischer Unterschied wahrnehmbar und der Unterschied ist zufällig zustande gekommen. Nun geht man immer davon aus, dass es keinen Unterschied gibt und berechnet die Wahrscheinlichkeit, mit der dieses Ergebnis zu erwarten ist.

Die Wahrscheinlichkeit (probability) p eines Ereignisses wird definiert durch die Häufigkeit eines positiven Ereignisses dividiert durch die Anzahl der möglichen Ereignisse. Zum Beispiel:

- Wahrscheinlichkeit für den Wurf einer „perfekten“ Münze: Wie z. B. den Wurf von Kopf $p = 0,5$
- Wahrscheinlichkeit für den Wurf von zwei „perfekten“ Münzen, also zweimal Kopf:
 $p \times p = 0,5 \times 0,5 = 0,25$

Im Allgemeinen wird hier die **Binominalformel** genutzt, die zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein positives Ergebnis eintritt. Da die Anwendung oft mühsam ist, wird das Auswerten für den Nutzer durch Nachschlagen erleichtert. Die entsprechenden Tabellen stehen in Fachbüchern und in den DIN-Normen zu den verschiedenen sensorischen Prüfmethode bzw. in der amtlichen Sammlung von Untersuchungsverfahren des Lebensmittel- und des Futtermittelrechts (LFGB).

2. Diskriminative Prüfungen (Unterschiedsprüfungen)

Wie der Namen dieser Methoden sagt, werden hierbei Proben miteinander verglichen. Die Analyse von Unterschiedsprüfungen gestaltet sich mit den genormten Tests sehr einfach. Mit der Anzahl der teilgenommenen Personen und der Anzahl an richtigen / falschen Antworten, sowie des gewählten Signifikanzniveaus zeigen Statistikprogramme aber auch die Tabellen sofort das entsprechende Ergebnis an.

2.1 Paarweiser Test / Paarweiser Vergleich

Beim paarweisen Test sollen die Prüfpersonen erkennen, ob die Probe A oder B stärker ausgeprägt ist. Beispielsweise haben von 20 Teilnehmern 15 die Probe A genannt. Ist dieses Ergebnis zufällig zustande gekommen oder ist tatsächlich ein Unterschied zwischen den Proben wahrgenommen worden?

Dabei geht man davon aus, dass kein Unterschied zwischen den Proben vorhanden ist: Nullhypothese H_0 . Die Irrtumswahrscheinlichkeit bezeichnet nun eine Wahrscheinlichkeit, mit der irrtümlich ein sensorischer Unterschied erkannt wird, obwohl ein solcher nicht vorhanden ist. Bei sensorischen Tests wird für diese Größe ein maximaler Wert festgelegt. Dieser heißt **Signifikanzniveau oder α -Risiko**, also die Kennzahl für das Risiko, das der Versuchsleiter eingeht. In der Sensorik hat sich der Wert von 5 % bewährt. Um weniger Fehler zu begehen, wird manchmal das Signifikanzniveau auf 1 % oder 0,1 % gesenkt. Als Ergebnis erhält man einen signifikanten oder einen nicht signifikanten Unterschied.

Unterscheidung einseitig vs. zweiseitig:

Lautet die Frage: „Welche Probe ist stärker ausgeprägt?“ Dann ist die Richtung der Signifikanz uneindeutig. Hier muss dann in zwei Richtungen geprüft, also ein zweiseitiger Test durchgeführt werden.

Kennt der Prüfungsleiter den Unterschied der Proben, wie es bei Schulungen häufig der Fall ist, dann ist die Richtung der Signifikanz eindeutig und es wird ein einseitiger Test durchgeführt. Ebenso, wenn die Frage lautet: „Besteht zwischen den Proben ein Unterschied?“, dann handelt es sich um einen einseitigen Test.

Bei welcher Irrtumswahrscheinlichkeit man sich entschließt, die Nullhypothese zu verwerfen, legt man im Vorfeld fest. Je niedriger die Irrtumswahrscheinlichkeit α gewählt wird, umso größer ist die Sicherheit eine Fehlentscheidung zu vermeiden, wie Tabelle 1: „Paarweiser Test einseitig“ und Tabelle 2: „Paarweiser Test zweiseitig“ zeigen. „n“ bezeichnet die Anzahl der Prüfer bzw. Anzahl der vorliegenden Antworten.

Die in den Tabellen angegebenen Werte beruhen auf der Binomialverteilung und können auch mit dem Taschenrechner oder mittels Excel errechnet werden und so die Tabelle weiter ergänzen.

Zur Auswertung der erhaltenen Daten wird nun die Anzahl der richtigen (bzw. bei zweiseitigen Tests: übereinstimmenden)

Tabelle 1: Paarweiser Test einseitig (Auszug)

n	α		
	0,05	0,01	0,001
10	9	10	10
11	9	10	11
12	10	11	12
13	10	12	13
14	11	12	13
15	12	13	14

Tabelle 2: Paarweiser Test zweiseitig (Auszug)

n	α		
	0,05	0,01	0,001
10	9	10	
11	10	11	11
12	10	11	12
13	11	12	13
14	12	13	14
15	12	13	14

Antworten durch Auszählen ermittelt. Diese Zahl wird dann mit den in der jeweiligen Tabelle angegebenen Werten verglichen: Ist die Anzahl größer oder gleich der in der Tabelle angegebenen Anzahl bei dem gewählten Risiko, so kann man schlussfolgern, dass ein signifikant wahrnehmbarer Unterschied vorliegt.

In der Regel nutzt man zur Auswertung die jeweiligen in den DIN-Normen angegebenen Tabellen. Führt man die Untersuchungen mit den entsprechenden Softwareprogrammen durch, so liefern diese auch die Auswertung. Hierbei bedeuten die gängigen Werte für

- $p \leq 0,05$ und $> 0,01$ signifikant und wird mit* gekennzeichnet
- $p \leq 0,01$ und $> 0,001$ hoch signifikant und wird mit ** gekennzeichnet
- $p \leq 0,001$ höchst signifikant und wird mit *** gekennzeichnet

Sonderfall:

Vor allem in der Produktentwicklung ist die **Ähnlichkeit (Similarity)** ein erwünschtes Ziel. Unterschiedsprüfungen testen normalerweise den Unterschied. Als Ergebnis erhält man oft die Antwort „die Proben unterscheiden sich nicht signifikant.“ Das bedeutet aber nicht, dass sie gleich sind. Möchte man auf Gleichheit testen, so kann man zwar die gleichen Methoden verwenden, muss aber etwas anders vorgehen; vor allem benötigt man deutlich mehr Prüfpersonen. Deshalb muss dieses Ziel unbedingt vor Beginn der Prüfung festgelegt und dann entsprechend umgesetzt werden.
Für die Prüfung auf Ähnlichkeit bedient man sich des -Risikos: die Wahrscheinlichkeit, keinen sensorisch wahrnehmbaren Unterschied zu ermitteln, obwohl ein Unterschied vorliegt. Dabei wird hier ein größeres $\alpha = 20\%$ zugrunde gelegt. Für die Praxis bedeutet das, dass vor dem Test zunächst die Mindestanzahl an Prüfpersonen festgelegt werden muss, die bei der Prüfung auf Ähnlichkeit deutlich höher als bei der Prüfung auf Unterschiede ist.

2.2. Duo-Trio-Test

Dieser Test wird in gleicher Weise wie der paarweise Test ausgewertet, sodass die Auswertung hier nicht noch einmal erläutert wird.

2.3 Dreieckstest

Die Prüfpersonen erhalten hier drei Proben, wobei zwei davon gleich sind und die abweichende dritte Probe markiert

werden soll. Während beim Duo-Trio-Test die Wahrscheinlichkeit die richtige Probe zu erraten 50 % beträgt, liegt diese beim Dreieckstest nur noch bei 33 %.

Beispiel für eine Fragestellung: 12 Prüfer sollen 2 Säfte A und B (2 Lieferungen oder 2 Hersteller) miteinander vergleichen.

Die Frage lautet: „Gibt es einen sensorisch signifikanten Unterschied?“ Das Signifikanzniveau α wurde auf 5 % festgelegt. Zur Auswertung nutzt man die in Tabelle 3 „Dreieckstest“ angegebenen Werte:

Tabelle 3: „Dreieckstest“ (Auszug)

n	α		
	0,05	0,01	0,001
6	5	6	-
7	5	6	7
8	6	7	8
9	6	7	8
10	7	8	9
11	7	8	10
12	8	9	10
13	8	9	11

Bei einer Prüferzahl von $n=12$ müssen mindestens 8 Prüfer den Unterschied richtig erkannt haben, dann besteht zwischen den beiden Proben ein signifikanter Unterschied. Haben weniger als 8 Prüfer (von 12 Personen) eine richtige Antwort angekreuzt, so heißt das, dass kein Unterschied besteht. Trotzdem dürfen die Proben nicht als gleich bezeichnet werden. Dazu müsste auch hier ein Test auf Gleichheit mit mehr Prüfpersonen durchgeführt werden.

2.4 „A“-Nicht-„A“-Test

Die Prüfpersonen bekommen mehrere Proben und bestimmen, ob diese mit der Probe „A“ identisch sind oder nicht. Auf der Basis der χ^2 -Verteilung wird nun die Relation von erwarteter und beobachteter Häufigkeit berechnet. Auch hier lautet die Nullhypothese H_0 wieder, es gibt keinen Unterschied zwischen der beobachteten und der erwarteten Häufigkeit, vgl. Tabelle 4.

Beispiel: 12 ($n=12$) Prüfer testen jeweils fünf Proben, damit erhält man eine Anzahl von 60 Urteilen insgesamt, mit folgenden Zuordnungen:

- Probe A wird als Probe A richtig zugeordnet: 17-mal
- Probe A wird fälschlicherweise nicht-A zugeordnet: 7-mal
- Probe nicht-A wurde fälschlicherweise Probe A zugeordnet: 2-mal
- Probe nicht-A wurde als nicht-A richtig zugeordnet: 34-mal

Allgemein gilt folgende Tabelle 4: „A-Nicht-A-Test“

		Vorgelegte Proben		Summe
		„A“	„nicht A“	
Die Prüfer identifizierten	„A“	n_{11}	n_{12}	$n_{1.}$
	„nicht A“	n_{21}	n_{22}	$n_{2.}$
Summe		$n_{.1}$	$n_{.2}$	$n_{..}$

Tabelle 5: „Ergebnistabelle A-Nicht-A-Test“

	„A“	„nicht A“	Summen
„A“	17	2	19
„nicht A“	7	34	41
Summen	24	36	60

Durch einfache Additionen lassen sich die Summen errechnen und alle Ergebnisse in Tabelle 5 eintragen. Daraus wird die **Testgröße U** mit folgender Gleichung berechnet:

$$U = \frac{n_{11} - n_{1 \cdot} n_{\cdot 1} / n_{\cdot \cdot}}{\sqrt{n_{1 \cdot} n_{\cdot 2} n_{2 \cdot} n_{\cdot 1} / (n_{\cdot \cdot})^3}}$$

Achtung: ist eine der Zahlen kleiner als 10, so ist eine Endlichkeitskorrektur vorzunehmen: im Zähler wird dazu 0,5 subtrahiert. Bei dem Beispiel erhält man: $\tilde{U} = 5,04$

$$\tilde{U} = \frac{n_{11} - n_{1 \cdot} n_{\cdot 1} / n_{\cdot \cdot} - 0,5}{\sqrt{n_{1 \cdot} n_{\cdot 2} n_{2 \cdot} n_{\cdot 1} / (n_{\cdot \cdot})^3}} = \frac{17 - 19 \cdot 24 / 60 - 0,5}{\sqrt{19 \cdot 41 \cdot 36 \cdot 24 / 60^3}} = 5,04$$

Diese Zahl wird anschließend mit dem kritischen Wert der Standard-Normalverteilung zu einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit verglichen, vgl. Tabelle 6:

Tabelle 6: „Kritische Werte z“

z _α : kritische Werte für U bzw. \tilde{U}	Irrtumswahrscheinlichkeit		
	α = 10 %	α = 5 %	α = 1 %
	1,28	1,65	2,33

Ist \tilde{U} größer als z_α, wie in diesem Beispiel (z_α = 1,65), so besteht, wie anhand der Werte 5,04 > 1,65 ersichtlich, ein signifikanter Unterschied zwischen A und nicht A.

2.5 Rangordnungsprüfung

In der Praxis werden sehr häufig verschiedene Proben auf ihre Intensität hin verkostet. Ziel ist es dabei, eine Reihenfolge von der schwächsten zur stärksten Probe zu bilden.

Beispiel: 11 Prüfpersonen sollen 3 Proben der Süße nach ordnen. Dabei hat die erste Prüfperson die Probe 1 als schwächste bezeichnet, die Probe 3 als mittlere und die Probe 2 als stärkste Intensität. Die Prüfperson 2 bezeichnet Probe 2 als die schwächste, dann Probe 1 als mittlere Intensität und Probe 3 als die intensivste Probe. Dagegen beschreibt Prüfer 3 die Probe 3 als schwächste, ... Daraus ergibt sich Ergebnistabelle 7. Die Ränge wurden gemäß der folgenden Tabelle 8 vergeben.

Tabelle 7: „Ergebnistabelle Rangordnungsprüfung“

Prüfperson Nummer	Probe 1	Probe 2	Probe 3
1	1	3	2
2	2	1	3
3	3	2	1
4	1	2	3
5	2	1	3
6	1	2	3
7	1	2	3
8	1	3	2
9	1	2	3
10	1	3	2
11	1	3	2

Tabelle 8: „Vergebene Ränge“

Rang	Probe 1	Probe 2	Probe 3
1	8	2	1
2	2	5	4
3	1	4	6

Addiert man nun die Ränge zusammen (also alle Zahlen unter Probe 1 ergeben 1 · 8 + 2 · 2 + 3 · 1 die Rangsumme 15), so erhält man in Tabelle 9 folgende Rangsummen je Probe:

Tabelle 9: „Rangsummen je Probe“

Produkt	Rangsummen
Probe 1	15
Probe 2	24
Probe 3	27

Nun wird mit den Rangsummen der **Friedmann Wert F** berechnet, wobei 12 eine Konstante, die Anzahl der Prüfproben k = 3, die Anzahl der Prüfpersonen n = 11 und R₁, R₂ ... R_k = Rangsummen der k Prüfproben von n Prüfpersonen sind:

$$F = \frac{12}{n \cdot k \cdot (k + 1)} (R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_k^2) - 3 \cdot n \cdot (k + 1)$$

Für das o.g. Beispiel bedeutet dies:

$$F = 12 : [11 \cdot 3 \cdot 4] (15^2 + 24^2 + 27^2) - 3 \cdot 11 \cdot 4 = 7,09$$

Vergleicht man den so errechneten Wert mit dem kritischen Wert der in Tabelle 10 aufgeführten „Approximierte kritische Werte des Friedmann-Tests“, so wird festgestellt, dass F verglichen mit dem Tabellenwert bei der entsprechenden Anzahl von Prüfpersonen und Prüfproben größer ist. Der tabellierte Wert beträgt 6,54 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Das bedeutet, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Proben gibt. Durch wiederholte Vorzeichen-tests kann nun gegebenenfalls noch die Frage nach den Unterschieden zwischen den Proben berechnet werden. Um diese paarweisen Unterschiede zu identifizieren wird bei unbekanntem Proben ein weiterer Vergleich der Rangsummen mit dem Friedmann-Test und bei bekannten Proben mit dem Page-Test durchgeführt.

Tabelle 10: „Approximierte kritische Werte des Friedmann-Tests“

Anzahl der Prüfpersonen n	Anzahl der Prüfproben k		
	3	4	5
	Irrtumswahrscheinlichkeit = 5%		
2	-	6,00	7,60
3	6,00	7,00	8,53
4	6,50	7,50	8,80
5	6,40	7,80	8,96
6	6,33	7,60	9,49
7	6,00	7,62	9,49
8	6,25	7,65	9,49
9	6,22	7,81	9,49
10	6,20	7,81	9,49
11	6,54	7,81	9,49
12	6,16	7,81	9,49

3. Deskriptive Prüfungen (beschreibende Prüfungen)

Vor allem bei deskriptiven Tests erleichtert eine computer-gestützte Durchführung die Arbeit des Panelleiters. Denn jede Prüfperson bewertet durchschnittlich 10–30 Attribute für jede Probe. Daraus ergeben sich schnell hunderte bis tausende von Einzelbewertungen. Die Intensitäten werden dabei meistens mit einer stufenlosen Linienskala bewertet. Dies schließt viele

psychologische Einflüsse aus und man erhält eine bessere Normalverteilung, die entscheidend für die Statistik ist.

3.1 Spinnendiagramme/Spiderwebs

Bei den beschreibenden Prüfungen müssen die Einzelergebnisse zuerst zusammengefasst und anschließend statistisch ausgewertet werden. Oft werden schlichtweg Mittelwerte gebildet und diese graphisch dargestellt. Das kann auch mit einem Tabellenkalkulationsprogramm wie Excel geschehen. Am bekanntesten sind hier die so genannten **Spinnendiagramme (Spider webs)**. Damit lassen sich die Intensitäten der einzelnen Begriffe optisch gut und übersichtlich darstellen. Der Betrachter sieht so auf einen Blick die sensorischen Unterschiede der Produkte und hat damit einen direkten Vergleich der Produktprofile. Darüber hinaus lassen sich diese Zahlen weiter statistisch untersuchen: Die bekanntesten Begriffe sind im Folgenden kurz erläutert, ohne auf die komplizierten rechnerischen Vorgänge weiter einzugehen. Dazu benötigt man ein spezielles Statistikprogramm oder Fachleute. Dabei sollte man sich nicht von Fachbegriffen blenden lassen, sondern das Ziel im Auge behalten: Was soll analysiert werden?

3.2 Varianzanalyse

[Analysis of variance kurz ANOVA]:

Mit Hilfe der Profilanalysen werden sensorische Merkmalsintensitäten verschiedener Produkte quantifiziert und der sensorische Unterschied zwischen den Proben herausgestellt. Um sowohl die gefundenen Unterschiede auf ihre Signifikanz zu prüfen als auch andere Einflussgrößen abzuschätzen, erfolgt eine Varianzanalyse.

Dazu berechnet man aus den Einzelbewertungen der Prüfer für jedes Attribut die Mittelwerte. Ist die Schwankung der Mittelwerte zwischen den Produkten höher als die Schwankung der Einzelwerte innerhalb eines jeden Produktes, so ist das ein Zeichen für eine signifikante Differenz.

Die ANOVA untersucht, inwieweit gefundene Unterschiede signifikant, d. h. so groß sind, dass sie nicht mehr durch Zufall erklärt werden können. Beispielsweise interessiert die Frage, ob der Unterschied in einer Studie auf einem tatsächlichen sensorischen Unterschied beruht, oder ob dieser durch Zufallsschwankungen hervorgerufen wird. Die Sensorik interessiert nicht nur, dass Unterschiede bestehen, sondern zwischen welchen Produkten diese auftreten. Dazu bedient man sich der Post hoc Tests wie Scheffé, Tukey HSD, Newman-Keuls, Duncan und Fischer LSD. So können neben den Unterschieden zwischen den Produkten, die Heterogenität von Prüfmustern und die Varianz zwischen den Prüfpersonen betrachtet werden. Selbst Schwankungen einer Person bei Messwiederholungen, also deren Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit bei mehreren Testwiederholungen lassen sich mit ANOVA untersuchen. Maßgebend ist es, nicht erst bei der Auswertung an die Interpretation der Ergebnisse zu denken, sondern bereits bei der Prüfplanung.

Sofern bei mehrdimensionalen Daten Strukturen erkennbar werden, empfiehlt sich eine graphische Darstellung. Die

Präsentation der Ergebnisse über Spinnennetze (der Mittelwerte der Urteile von mehreren Prüfpersonen) hat den Vorteil, dass alle Variablen gleichzeitig sichtbar sind. Sie lässt aber den Vergleich verschiedener Produkte nur bedingt zu. Vor allem bei mehreren Produkten und vielen Attributen wird es schwierig zu erkennen, welche Prüfmuster besonders ähnlich sind. Sollen die Ähnlichkeiten und Abstände zwischen den Prüfmustern dargestellt werden, ist die Eintragung in ein Koordinatensystem zielführender.

3.3 Hauptkomponentenanalyse

(principal component analysis kurz PCA):

Die Hauptkomponentenanalyse versucht die Daten zu vereinfachen, indem eine Vielzahl statistischer Variablen durch eine geringere Zahl möglichst aussagekräftiger Linearkombinationen (den so genannten „Hauptkomponenten“) genähert wird. Ziel ist es, mit wenigen Faktoren alle Ausgangsvariablen zu beschreiben (Datenreduktion). Der zugrunde liegende Datensatz hat typischerweise die Struktur einer Matrix: An n Proben wurden jeweils p Merkmale gemessen. Ein solcher Datensatz kann als Menge von n Punkten im p -dimensionalen Raum veranschaulicht werden. Ziel der PCA ist es, diese Datenpunkte so in einen q -dimensionalen Unterraum zu projizieren, dass dabei möglichst wenige Informationen verloren gehen. Die ersten Hauptkomponenten werden so konstruiert, dass sie für den größten Teil der Unterschiede verantwortlich sind bzw. diese erklären können. In der Sensorik visualisiert die PCA die Produktunterschiede, wobei die einzelnen sensorischen Attribute entsprechend ihrer ähnlichen Aussagekraft zusammengefasst werden. Attribute, die hoch korrelieren, werden in Faktoren zusammengefasst. Die Faktorladungen geben dabei an, wie hoch das Attribut und der Faktor korrelieren. Eine grafische Darstellung der ersten beiden Hauptkomponenten kann hilfreich sein, um ein Cluster in den Daten zu finden.

Ziel dieses Arbeitsblattes war es, einen Ein- und Überblick über die wesentlichen in der sensorischen Analyse eingesetzten statistischen Methoden zu geben. Detailinformationen sind in der speziellen Fachliteratur zu finden. In der Praxis kann es oft effizienter sein, diesbezüglich professionelle Unterstützung in Anspruch zu nehmen.

Autorin: Cornelia Ptach, Dipl. Ing. (FH) Lebensmittelchemie, Türkenfeld. Sie arbeitet als selbständige Beraterin für Sensorik und lehrt an verschiedenen Hochschulen Sensorik und Produktentwicklung. www.ptach.de

Detaillierte Informationen zum Thema:

- Verschiedene DIN- Normen zu den o.g. sensorischen Prüfverfahren
- Praxishandbuch Sensorik, Produktentwicklung/Qualitätssicherung, Busch-Stockfisch, M., Behr´s Verlag GmbH, Hamburg, Loseblattsammlung
- Statistische Auswertungen in der Sensorik, Quadt, A., Schönberger, S., Schwarz M., Behr´s Verlag GmbH, Hamburg, 2009



DLG e.V., Ausschuss Sensorik

Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

Telefon: 069/24788-360, Fax: 069/24788-8360

E-Mail: B.Schneider@DLG.org; Internet: www.DLG.org/sensorikausschuss.html