

Gemeinnützige Gesellschaft TÜV-Bildungswerke mbH
Fachschule für Technik
Fachrichtung Kfz-Technik

**Technikerarbeit zur Erlangung des Titels
„Staatlich geprüfter Techniker“
in der Fachrichtung Kraftfahrzeugtechnik**

Thema:

**Planung, Auswahl und Inbetriebnahme eines
Messsystems für das Messen von
Kfz-Abgassystemen**

Eingereicht von: Christian Engelmann
Gutachter: Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Friedrich Eger
Tag der Themenübergabe: 01.10.2008
Tag der Einreichung der Arbeit: 15.05.2009

Danksagung

An erster Stelle gilt mein besonderer Dank Herrn Knuth Lindner für seine Unterstützung. Seine Ratschläge und Tipps waren stets praxisnah und wertvoll. Er ermöglichte mir einen umfangreichen Einblick in die Aspekte der Messtechnik.

Darüber hinaus möchte ich Herrn Friedrich Eger, Herrn Markus Biehl sowie allen anderen Mitarbeitern der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH, die mich hilfreich unterstützt haben, danken. Die freundschaftliche Atmosphäre hat dabei in besonderem Maße zu meiner Motivation an dieser Arbeit beigetragen.

Besonderer Dank gilt auch Frau Annemarie Kalugin, Mitarbeiterin der Universitätsbibliothek Chemnitz. Sie unterstützte mich bei den Recherchearbeiten und gab mir weitere Anregungen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Anlagenverzeichnis.....	VI
1. Einleitung.....	1
1.1. Vorstellung der Firma TENNECO in Zwickau	1
1.2. Aufgabenstellung der Technikerarbeit	3
2. Messen als Qualitätsvoraussetzung	4
2.1. Allgemeine Gründe für die Anschaffung eines neuen Messsystems	4
2.1.1. Individuelle Kundenansprüche	5
2.1.2. Kurzer Produktlebenszyklus.....	7
2.1.3. Wachsende Qualitätsmanagementanforderungen	10
2.1.3.1. Externe Kundenerwartungen	10
2.1.3.2. Interne Kundenerwartungen an die Messtechnik	12
2.2. Neuanschaffung versus Outsourcing	13
3. Anschaffung eines Messsystems.....	17
3.1. Grundlagen zur Messtechnik	17
3.2. Anwendung der Fertigungsmesstechnik für das Messen von Abgasanlagen	19
3.2.1. Koordinatenmesstechnik.....	19
3.2.2. Aufbau einer Messmaschine	22
3.2.3. Ausgewählte anwendbare Messverfahren für TENNECO.....	25
3.2.3.1. Taktile Messen	26
3.2.3.2. Optisch Messen	27
3.2.3.3. Gegenüberstellung taktiles und optisches Messen	28
3.2.4. Überblick über Anbieter von Messsystemen	29
3.3. Auswahlkriterien für das Messsystem.....	29
3.3.1. Sicherheitsbestimmungen bei der Installation	30

3.3.2. Akzeptanz beim Kunden	31
3.3.3. Serientauglichkeit.....	31
3.3.4. Genauigkeit.....	32
3.3.5. Messvolumen	33
3.3.6. Variantenvielfalt von Koordinatenmessmaschinen.....	35
3.3.7. Schnittstellen.....	36
3.3.8. Liefertermin und Service	36
3.3.9. Modulare Erweiterbarkeit	37
3.4. Vergleich der Anbieter von Messsystemen.....	38
3.4.1. Wichtung der Angebote entsprechend den Auswahlkriterien.....	39
3.4.2. Auswahl und Bestellung der Maschine	40
3.5. Installation der Maschine	40
3.6. Arbeiten vor dem Liefertermin für Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH	40
3.6.1. Schulungen von Zeiss.....	41
3.6.2. Energieversorgung installieren.....	41
3.6.3. Fundamentvorbereitung	42
3.6.4. Messraum installieren	44
3.6.4.1. Lagerbühne	45
3.6.4.2. Brandschutz	45
3.6.4.3. Eingangstor.....	46
3.6.4.4. Kranbahn	46
3.6.4.5. Klimatisierung.....	48
4. Fazit und Ausblick	50
4.1. Ablaufplan im Rückblick.....	50
4.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	51
4.3. Zusammenfassung	54
5. Schlussbemerkungen.....	55
Literaturverzeichnis	VII
Eidesstattliche Erklärung	X

Abkürzungsverzeichnis

A	Ampère
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CAR	„capital approval request“ (Investitionsantrag)
CE	franz. Communauté Européenne = „Europäische Gemeinschaft“
cm	Zentimeter
CMM	Coordinate Measure Machine
CNC	Computerized Numerical Control
CP	Kennzahl zur Prozessfähigkeit
Cpk	Kennzahl zur Prozessfähigkeit (Lage der Abweichung vom Nominalwert)
CTQ	Critical to Quality
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDV	elektronische Datenverarbeitung
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	International Standardisation for Organisation
Kfz	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
KMT	Koordinatenmesstechnik
KW	Kalenderwoche
LF	Launch Factory
Lkw	Lastkraftwagen
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MA	Mitarbeiter
mm	Millimeter

MN	Mega Newton
MSA	Messsystemanalyse
o.g.	oben genannt
OTG	Obere Toleranzgrenze
Pkw	Personenkraftwagen
QDas	Firma, die Six Sigma-Schulungen anbietet
RDS	Rastendes Drehschwenkgelenk
STEP	Schnittstelle
TQM	Total Quality Management
u.a.	unter anderem
UTG	Untere Toleranzgrenze
UVV/CE	Unfallverhütungsvorschriften
VDA	Verband der Automobilindustrie
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VW	Volkswagen
3D	dreidimensional
µm	Mikrometer

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kano-Modell	6
Abbildung 2: Zahlungsverläufe über den integrierten Produktlebenszyklus	8
Abbildung 3: Gauß'sche Glockenkurve	11
Abbildung 4: Vor- und Nachteile des Outsourcing von Messaufgaben.....	14
Abbildung 5: Kartesisches Koordinatensystem	20
Abbildung 6: Bauarten von Koordinatenmessgeräten	23
Abbildung 7: Aufbau eines konventionellen kartesischen Koordinatenmessgerätes ...	24
Abbildung 8: Taktil arbeitender 3D-Messtaster.....	26
Abbildung 9: Messtaster im Lot zur Messfläche	33
Abbildung 10: Zusammenhang Messtisch und Messvolumen.....	34
Abbildung 11: Messständer	35
Abbildung 12: YX-Diagramm	39
Abbildung 13: Kranbahn alt	43
Abbildung 14: Stahlkonstruktion kleiner Lastenkran.....	47
Abbildung 15: Modell Kranbahn neu	48
Abbildung 16: Quellluftauslässe	49
Abbildung 17: Zeiteinsparung durch das neue Messsystem	52
Abbildung 18: Personalkosteneinsparung durch das neue Messsystem.....	53

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Phasenstrukturierung von Produktprojekten zur Ableitung von Aufgaben einer Lebenszyklusrechnung in den Teilphasen	VI-I
Anlage 2: Überblick über die Anbieter von Messsystemen	VI-II
Anlage 3: Vergleich der Anbieter von Messsystemen	VI-III
Anlage 4: Hallenlayout	VI-IV
Anlage 5: Ablaufplan im Rückblick	VI-V
Anlage 6: Kalkulation zur Zeit- bzw. Kosteneinsparung	VI-VI

1. Einleitung

1.1. Vorstellung der Firma TENNECO in Zwickau

Die Firma Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH wurde im Jahre 1991 in das Handelsregister eingetragen. Das Unternehmen hat seinen Ursprung jedoch bereits im 19. Jahrhundert. Im Jahr 1857 begann mit der Gründung der Firma Hofmann & Zinkeisen, Zwickau der Weg des Unternehmens vom einfachen Maschinenhersteller zum renommierten Zulieferer für die Automobilindustrie. Bis zum Jahre 1945 produzierte die Maschinenfabrik und Eisengießerei Hofmann & Zinkeisen an der Hilferdingstraße 8 in Zwickau. Zu den zahlreichen Produkten zählten neben Dampfmaschinen, Transmissionen und Gussstücken auch Bergwerksmaschinen und Pumpen. Zudem füllten Hartzerkleinerungsmaschinen, Ziegeleimaschinen und komplette Anlagen für die keramische Industrie die Auftragsbücher.

In den fünfziger Jahren spezialisierte sich das Unternehmen weiter unter dem Namen HAZET auf Hartzerkleinerungs- und Keramikmaschinen. In dieser Zeit wurden die noch bis heute verwendeten „Baukema“ Rotormischer 250l-1500l hergestellt, sowie Hartzerkleinerungsmaschinen für verschiedene Gesteine.

Der endgültige Wandel vom Maschinenhersteller zum Zulieferer für die Automobilindustrie des damaligen Trabantwerkes in Zwickau folgte schließlich in den achtziger Jahren. Mit ca. 500 Mitarbeitern verfügte die HAZET Kfz.-Werk GmbH über eine Produktpalette, die von Sitzgestellen, Fondlehnenrahmen über Hilfsrahmen bis hin zu Getriebeteilen für den Trabant reichte.

Zum Zeitpunkt der Wiedervereinigung stand das Unternehmen jedoch nahezu vor dem Aus, denn die Nachfrage nach dem Trabant nahm stark ab. Im Juni 1991 wurde die Produktion komplett eingestellt. 420 Mitarbeiter mussten entlassen werden.

Um das Überleben des Unternehmens zu gewährleisten, wurde die Suche nach einem neuen Partner vorangetrieben. Bereits im Juli des Jahres 1991 erfolgte die Neugründung der Firma unter dem Namen Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH. Die Übernahme von 135 Mitarbeitern, der gute Standort unmittelbar neben dem Haupt-

bahnhof in Zwickau sowie die hervorragende Verkehrsanbindung an die Autobahnen 72 und 4 und der erste Auftrag, Schalldämpfer für den Ersatzteilbedarf der Volkswagengruppe zu produzieren, stellten wichtige Voraussetzungen für die weitere Existenz des Unternehmens dar. Als erster Zulieferer für Volkswagen Sachsen GmbH konnte die Firma Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH weiteres Erfolgspotenzial schöpfen.

Seit Juli 1994 gehört die Firma Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH zum weltweit agierenden TENNECO -Konzern. Mit weltweit etwa 21.000 Mitarbeitern in Europa, Nord- und Südamerika, Asien, Australien sowie Afrika kann das Unternehmen als sogenannter „*global player*“ gesehen werden.

Am Standort in Zwickau werden komplette Abgasanlagen, Rohrzusammenbauten, Konverterzusammenbauten, Schalldämpferfertigung sowie Komponenten für Pkw, Lkw und Nutzfahrzeuge gefertigt. Steigende Produktivität und Qualität stehen im Vordergrund. Insbesondere die hervorragende Produktqualität soll den individuellen Kundenanforderungen entsprechen. Die Firma Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH ist zertifiziert nach ISO/TS 16949, ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001 und zugelassen als Schweißfachbetrieb DIN EN ISO 3834-3.

TENNECO/Gillet Zwickau GmbH arbeitet mit 100% Fachkräften. Derzeit beschäftigt das Unternehmen ca. 200 Mitarbeiter. Darüber hinaus werden jährlich Auszubildende im technisch-gewerblichen Bereich eingestellt.

Im Jahre 2008 erreichte TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH einen Umsatz von 113 Millionen Euro.¹

¹ Vgl. TENNECO intern

1.2. Aufgabenstellung der Technikerarbeit

Die vorliegende Arbeit umfasst die komplette Planung sowie Installation eines Koordinatenmesssystems für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH. Nach Anschaffung und erfolgreicher Installation soll das Messsystem die bereits bestehenden Zertifizierungen in Bezug auf die vielfältigen Qualitätsanforderungen zukunftsorientiert unterstützen.

Aufgrund der umfangreichen Literatur zum Thema Messtechnik werden zunächst die Grundlagen der industriellen Messtechnik näher erläutert. Im Anschluss daran wird die Fertigungsmesstechnik und im Speziellen die Koordinatenmesstechnik (KMT) vorgestellt.

Im Rahmen der Technikerarbeit wird ein Vergleich der verschiedenen Hersteller von Messsystemen und deren Angeboten für Einzel- und Serienmessungen von Abgassystemen und Komponenten für den industriellen Pkw- und Lkw-Bereich durchgeführt.

Nach den im Ergebnis dieser Recherche gewonnenen Erkenntnissen und Möglichkeiten folgt die Auswahl eines geeigneten Messsystems und es wird mit der Planung für die Neuanschaffung begonnen. Im Zusammenhang mit der Neuanschaffung müssen die zur Verfügung stehenden Räumlichkeiten und die gesamte Infrastruktur im Unternehmen geprüft und gegebenenfalls an das neue Messsystem und dessen Aufgabengebiet angepasst werden.

Im Anschluss daran wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt, die sich auf die Möglichkeiten der Zeit- bzw. Kosteneinsparung durch das neue Messsystem bezieht.

2. Messen als Qualitätsvoraussetzung

2.1. Allgemeine Gründe für die Anschaffung eines neuen Messsystems

Im Rahmen der industriellen Fertigung müssen weitreichende Qualitätsstandards eingehalten und stetig erhöht werden. Insbesondere bei der Fertigung von Abgasanlagen gilt es, diese Standards zu berücksichtigen. Neben Grenzwerten für Emissionen und Lärm müssen auch das Gewicht, die Geometrie und die Haltbarkeit im Rahmen der Verbesserung von Qualitätsstandards betrachtet werden.

Die schon im Gliederungspunkt 1.1 genannten Zertifizierungen begründen unter anderem das Arbeiten mit einem Messsystem, da durch die Zertifizierung hohe Qualitätsstandards erreicht werden müssen. Die mit der Entwicklung steigenden Kundenanforderungen sind vielseitig. Das Streben nach Perfektion im Automobilbau und auch im Nutzfahrzeugsektor stellt neue Anforderungen an die Technik. Speziell bei den Abgasanlagen im Pkw-Bereich werden die Geometrien immer komplizierter. Die Toleranzen werden geringer. Ein Grund dafür ist die speziellere Anpassung des Abgassystems an die Unterbodengruppen des Kfz und die damit geringeren Platzangebote bei der Befestigung der Anlage. Durch moderne Rechenverfahren werden die Formveränderungen der Abgassysteme, die bei Erwärmung entstehen, errechnet. Aufwendige Abgasblenden im Sichtbereich, starke Verdrehungen, komplizierte Verläufe der Abgasanlagen am Kfz und reduzierte Materialdicken sowie neue Materialzusammensetzungen gestalten die Fertigung immer schwieriger. Zudem steigen die individuellen Kundenerwartungen. Attributive Prüfungen² (z.B. mittels traditioneller Prüflehren) sind für die schnelle Datenverarbeitung nicht mehr ausreichend. Die Darlegung einer Prozessfähigkeit hinsichtlich der Messergebnisse wird von Kunden gefordert. Darüber hinaus verlangen Kunden einen genauen Vergleich der Messdaten (Istzustand) mit den Daten der CAD-Zeichnung (Sollzustand). Dieser Vergleich der kontinuierlichen (variablen) Merkmalswerte und deren Dokumentation sind mittels geeigneter Software möglich.

² Qualitätsprüfungen, bei denen attributive Merkmale untersucht werden. Als Ergebnisse kommen nur zwei mögliche Werte „Gut“ oder „Ausschuss“ in Frage.

2.1.1. Individuelle Kundenansprüche

Als Zulieferfirma der Automobilindustrie muss die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH vielen Kundenansprüchen gerecht werden, die nicht nur auf dem ständigen Modellwechsel zurückzuführen sind. Hier ist als erstes die Qualität zu nennen, welche unmittelbar im Zusammenhang mit der zunehmend steigenden Maßhaltigkeit der Produkte steht. Diese Maßhaltigkeit der Messergebnisse wird von Kunden vorausgesetzt. Die Kompatibilität mit verschiedenen Softwareprogrammen ist notwendig. Dies erfordert mehrere Schnittstellen bspw. für das Einlesen von verschiedenen CAD-Datensätzen an der Messmaschine. Die ständige Verbesserung der Produkte fordert bessere Messbedingungen. Die Ermittlung von nutzbaren Messwerten an schwer zugänglichen Stellen ist eine zusätzliche Forderung. Zukunftsorientiert ist es deshalb wichtig, die Option der modularen Erweiterbarkeit eines Messsystems zu gewährleisten.

Die Reproduzierbarkeit und Serientauglichkeit von Messwerten wird von Kunden der Automobilindustrie erwartet. Somit ist die Auswahl des Messsystems begrenzt, da nur einige Messmaschinen diese Anforderungen erfüllen können. Darauf wird in Gliederungspunkt 3 eingegangen.

Für die Analyse der Kundenanforderungen allgemein kann die Verwendung des sogenannten Kano-Modells hilfreich sein. Es beinhaltet 3 Phasen, welche für die Kundenzufriedenheit von Bedeutung sind.

In der ersten Phase wird eine Analyse der Basisanforderungen durchgeführt. Diese werden vom Kunden als selbstverständlich betrachtet. Hier ist beispielsweise die reguläre Produktion des gelieferten Produktes zu nennen. Wenn bei normaler Produktion keine Probleme auftreten, ist eine Verbesserung der Basisanforderungen nicht notwendig.

Die zweite Phase, die Phase der Leistungsanforderungen, spiegelt die erbrachten Leistungen des Unternehmens wieder. Für die Leistungen sind zum Beispiel der Lieferservice oder der Preis zu nennen. Die Erfüllung dieser Phase ist wichtig und führt zur Zufriedenheit des Kunden.

Die letzte Phase des Kano-Modells, die Begeisterungsphase, ist häufig von Kunden nicht richtig zu definieren. Sie beinhaltet häufig eine unerwartete Zusatzleistung, welche den Kunden begeistert und nicht erwartet wird. Werden diese Zusatzleistungen

nicht erbracht, ist der Kunde nicht unbedingt unzufrieden, doch auch nicht begeistert, wodurch sich das Unternehmen von der Konkurrenz abheben könnte.³

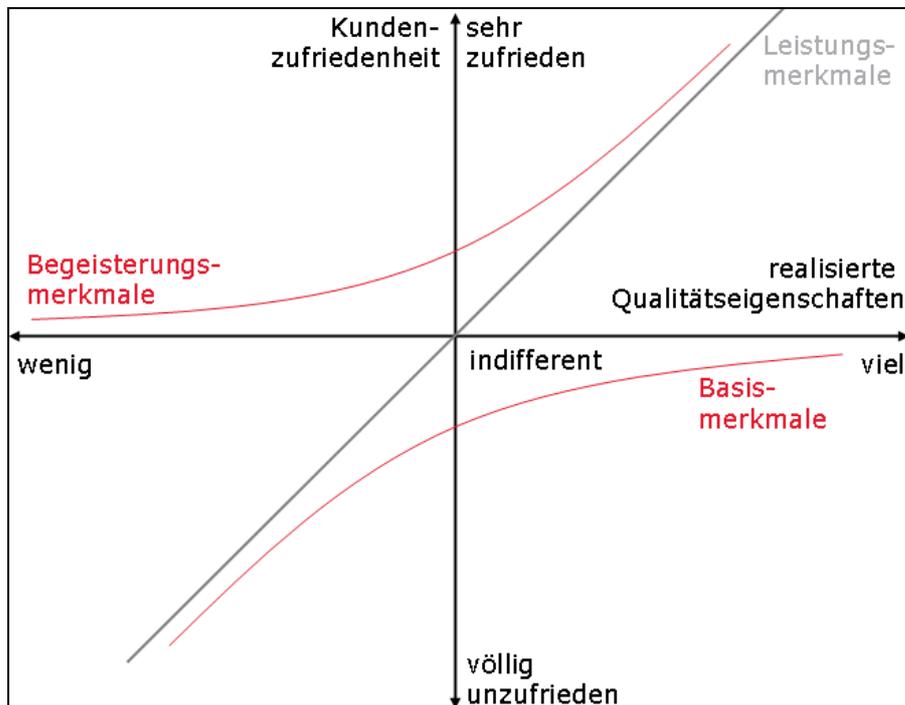


Abb. 1: Kano-Modell

Quelle: Vgl. (o.V.), (o.J.), Kano-Modell, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kano-Modell>; Stand: 07.03.2009.

Es ist wichtig, den Kundenansprüchen gerecht zu werden. Dafür ist es erforderlich, ständig mit den Kunden in Kontakt zu stehen, um so möglichst früh von veränderten Kundenwünschen Kenntnis zu erlangen. Es sollte das richtige Maß des Entgegenkommens für die Kundenwünsche gefunden werden, ohne die eigentlichen Kundenpräferenzen außer Acht zu lassen. Unter Umständen ist es möglich, dass die Kunden ihre eigenen Anforderungen nicht richtig kennen bzw. gar nicht konkret definieren können.⁴

Letztlich kann dies eine Veränderung der Messanforderungen. Während in der Vergangenheit hauptsächlich attributive Prüflehren verwendet wurden, werden in der heutigen Zeit zusätzlich Messprotokolle verlangt. Um in der praktischen Arbeit eine Null-Fehler-Philosophie anzustreben, wird häufig eine Kombination aus traditionellen

³ Vgl. (o.V.), (o.J.), Kano-Modell, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kano-Modell>; Stand: 07.03.2009.

⁴ Vgl. (o.V.), (o.J.), Kano-Modell, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kano-Modell>; Stand: 07.03.2009.

Prüflehren und Messprotokollen auf der Grundlage von Messungen mit CMM-Systemen verwendet.

2.1.2. Kurzer Produktlebenszyklus

Jedes Produkt unterliegt einem gewissen Lebenszyklus. Die Dauer dieses Zyklus kann von verschiedenen Gegebenheiten beeinflusst werden. Als Beispiele hierfür wäre die Ausschöpfung des Nachfragepotenzials, Veränderungen in der Nachfrage oder der technische Fortschritt zu nennen. Folglich hat jedes Produkt eine begrenzte Lebensdauer und durchläuft in dieser Zeit mehrere Phasen.⁵

Der Produktlebenszyklus ist ein Beispiel für ein Lebenszyklusmodell, bei dem der Zeitraum, in dem in einem Unternehmen Aktivitäten ablaufen, die in direktem Zusammenhang mit einem Produkt stehen, welches in Serien- oder Massenfertigung hergestellt wird, in einzelne Abschnitte zerlegt wird.⁶

Abbildung 2 zeigt den integrierten Produktlebenszyklus unter Benennung der oben genannten Phasen. Außerdem werden die Zahlungsverläufe dargestellt, die typisch für ein Produkt sind, welches in Serienfertigung hergestellt wird.

⁵ Vgl. Meffert, H. (2000), Marketing- Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung- Konzepte- Instrumente- Praxisbeispiele, Gabler, 9. Auflage, Wiesbaden 2000, S. 338f.

⁶ Vgl. Götz, U. (2000), Lebenszykluskosten, in: Fischer, T.M. (Hrsg.), Kostencontrolling- Neue Methoden und Inhalte, Stuttgart 2000, S. 267-289.

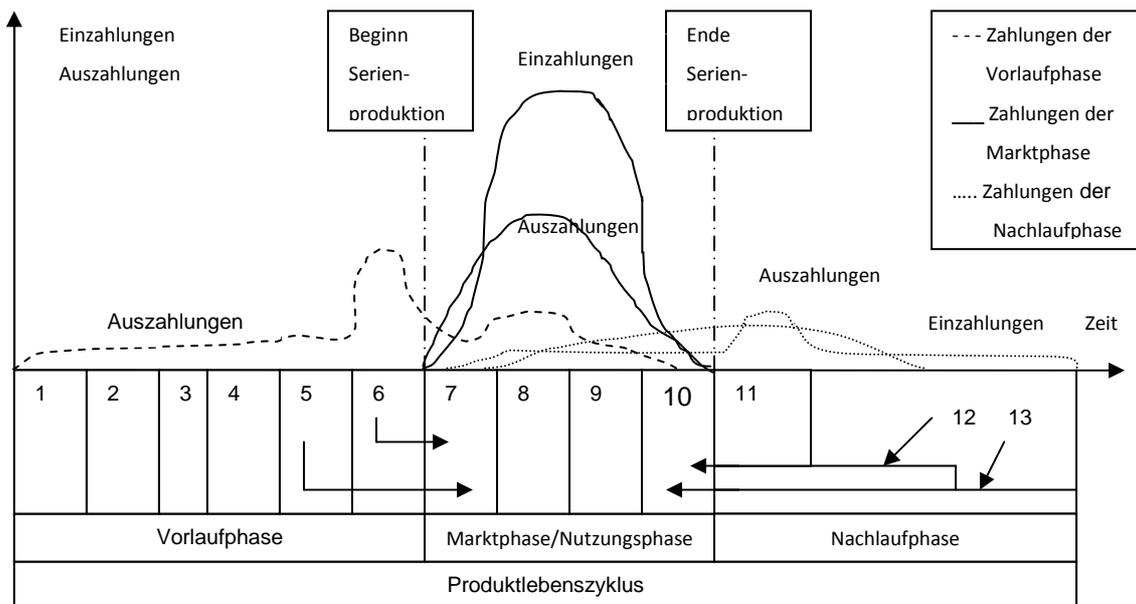


Abb. 2: Zahlungsverläufe über den integrierten Produktlebenszyklus (in leicht modifizierter Form)

Quelle: Vgl. Riezler, S. (1996), a.a.O., S. 9.

- | | |
|---|--|
| 1...Suche alternativer Problemlösungsideen | 8...Marktdurchdringung |
| 2...Alternativenbewertung und -auswahl | 9...Marktsättigung |
| 3...Vorentwicklung | 10...Marktdegeneration |
| 4...Serienentwicklung/Produktion | 11...Anlagenabbruch,-veräußerung |
| 5...Produktions- und Absatzvorbereitung | 12...Gewährleistung/Ersatzteilgeschäft |
| 6...Investitionen in Spezialbetriebsmittel etc. | 13...Produktentsorgung |
| 7...Markteinführung/Produktionsanlauf | |

In Anlage 1 werden die einzelnen Produktlebenszyklusphasen nochmals benannt und deren Inhalte mit Beispielen aus der Automobilindustrie unterlegt.

Die Vorlaufphase umfasst unter anderem die Produktdefinition. Inhalte dieser Phase sind der eigentliche Projektanstoß und die Durchführung verschiedenster Marktstudien. Im Ergebnis soll ein grobes Produktkonzept stehen. Die Lebenszyklusrechnung kann hier insbesondere im Hinblick auf die Untersuchung von alternativen Produktideen sowie zur Darstellung verschiedener Marktszenarien hilfreich sein.⁷

Ein wesentlicher Bestandteil der Marktphase ist die Einführung des Produkts selbst. Im Rahmen der Einführungsphase findet der Produktionsanlauf statt. Das Ergebnis dieser Phase sollen allgemein gültige Standards für die angelaufene Serien-

⁷ Vgl. Riezler, S. (1996), Lebenszyklusrechnung- Instrument des Controlling strategischer Projekte, Gabler, Wiesbaden 1996, S. 48f.

produktion sein. Hier kann die Lebenszyklusrechnung als eine Art Eckdatenbericht für die Unternehmensleitung fungieren.⁸

Die Nachlaufphase umfasst neben der Stilllegung, der für die Herstellung des Produktes benötigten Anlagen, auch die sogenannte übrige Nachlaufphase, in die Gewährleistungen, Wartungsarbeiten, das Ersatzteilgeschäft sowie die Produktentsorgung bzw. die Produktrücknahme fallen. Die Lebenszyklusrechnung kann hier in Bezug auf das gesamte Projekt verwendet werden. Beispielsweise kann eine Ex-post-Beurteilung des Gesamtprojektes durchgeführt werden.⁹

In den letzten Jahren kam es zu einer starken Erhöhung des Produktwechsels in der Automobilindustrie. Diese Erhöhung kann verschiedene Ursachen haben. Unternehmen sind aufgrund des verschärften Wettbewerbs gezwungen, ständig an Neuentwicklungen zu arbeiten und diese auf den Markt zu bringen, um konkurrenzfähig zu bleiben und somit die Unternehmensexistenz zu sichern. Um diese Ziele zu erreichen haben viele Automobilhersteller ihr Absatzprogramm flexibel gestaltet.

Der eigentliche Produktlebenszyklus mit den genannten fünf Phasen ist speziell für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH eher sekundär, da am Standort in Zwickau keine eigenen Produkte entwickelt werden. Trotzdem stellen der immer kürzer werdende Produktlebenszyklus in der Automobilindustrie und die damit verbundene verkürzte Produktionszeit TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH vor große Herausforderungen.

Die auch heute noch verwendeten Prüflöhren zur Ermittlung der Qualität der Abgassysteme sind für Produkte, die einem häufigen Modellwechsel unterliegen, ungeeignet. Der Anschaffungspreis moderner Prüflöhren ist nicht unerheblich. Dahingegen ermöglicht die Anschaffung eines modernen Messsystems flexibles Handeln in Bezug auf die Ermittlung der Messwerte. Langfristig gesehen werden kostenintensive Prüflöhren eingespart. Insbesondere bei der Prototypenherstellung, bei der Entwicklung des Abgassystems selbst kann durch die schnelle Erfassung von Messwerten frühzeitig Konstruktionsfehlern entgegengewirkt werden.

⁸ Vgl. Riezler, S. (1996), a.a.O., S. 48f.

⁹ Vgl. Riezler, S. (1996), a.a.O., S. 48f.

2.1.3. Wachsende Qualitätsmanagementanforderungen

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist das Ziel eines jeden Unternehmens bestehen zu können, dem Wettbewerb standzuhalten und Gewinne zu erwirtschaften.

Um diesen Zielen gerecht zu werden, ist eine konsequente Attraktivität des Unternehmens für seine Kunden notwendig. Durch die verstärkte Konkurrenz wird der Wettbewerb angekurbelt und das Niveau, die Qualität der Produkte, erhöht. Kunden stellen einfache Vergleichsrechnungen zwischen den Zulieferfirmen auf und können so ihre Anforderungen bestmöglich definieren.

Es ist deshalb für das Unternehmen zwingend erforderlich, die wachsenden Qualitätsmanagementanforderungen überdurchschnittlich zu erfüllen, um das eigene Wachstum voranzutreiben. Bis zum Ende der neunziger Jahre waren beispielsweise die Toleranzen von Abgasanlagen entscheidend. Heute entfernt man sich zusehends vom „*Denken in Toleranzen*“, die eigentlichen Fähigkeiten, das heißt die Prozessleistung in der Herstellung von Abgassystemen wird wichtiger.

2.1.3.1. Externe Kundenerwartungen

Für externe Kunden zählen die Einfachheit der Lieferbedingungen, die Vorteile des Just-in-Time-Prinzips und die damit verbundene Flexibilität in der Zusammenarbeit. Eine Entfernung von 50 km spielt bei der Lieferung Just-in-Time keine entscheidende Rolle.

Mittels moderner EDV und dem firmeninternen Intranet, lassen sich in den Fragen der Prozessoptimierung Fortschritte erzielen.

Die Zertifizierung der Unternehmen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund sollte bei der Installation eines Messsystems nicht auf einen Messraum verzichtet werden. Ein kalibrierter Messraum zertifiziert nach DIN 16009 schafft Akzeptanz beim Kunden, denn für den Kunden ist die Richtigkeit¹⁰ der Messungen wichtig. Nur ein geeigneter Messraum bietet optimale gleichbleibende Bedingungen.

¹⁰ Die Richtigkeit der Messungen bedeutet in diesem Zusammenhang nur kleinste Messfehler zu akzeptieren.

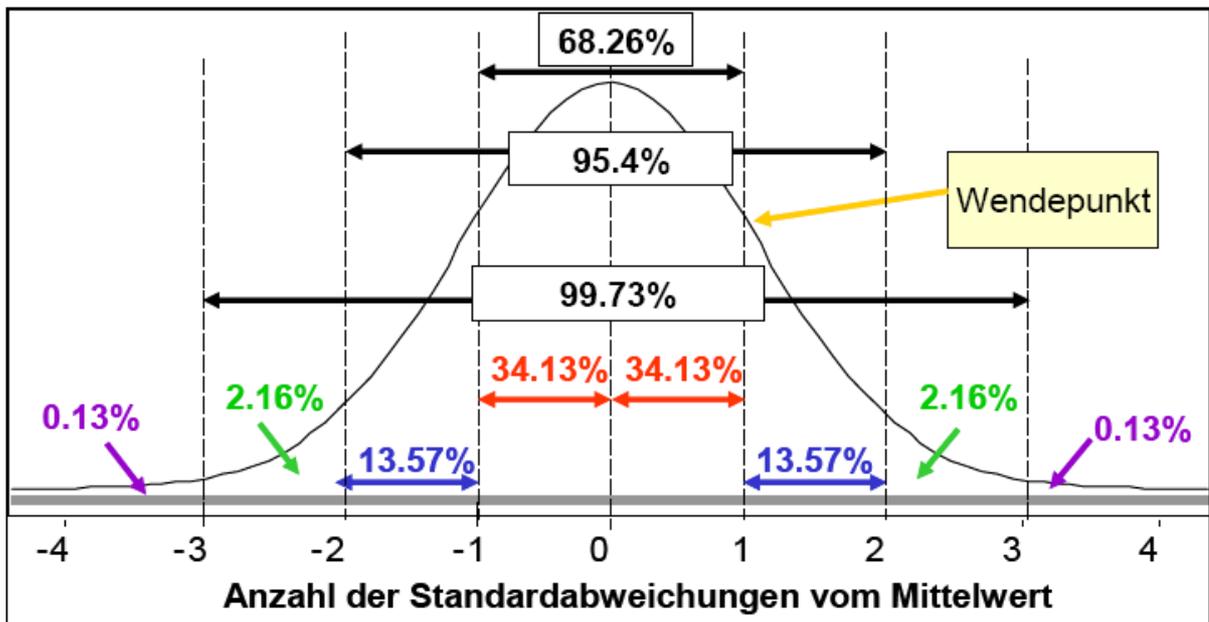


Abb.3: Gauß'sche Glockenkurve

Quelle: Vgl. (o.V.), (o.J.), 1. Six Sigma, http://www-classic.uni-graz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Muench_Six_Sigma.pdf; Stand: 22.04.2009.

Die Anforderungen der Kunden hinsichtlich der Qualität der Produkte sind umfangreich. So reicht es nicht, die Produkte im Rahmen der erforderlichen Toleranz zu produzieren. Wichtiger ist die Kennzahl zur Prozessfähigkeit. Abbildung 3 zeigt die sogenannte Glockenkurve¹¹. Sie zeigt die Normalverteilung (Wahrscheinlichkeit) einer Zufallsgröße, die speziell für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH die Messwerte sind. Es ist wichtig, den Prozess der Produktion nah am Zielwert/Mittelwert zu halten. Wie in Abbildung 3 ersichtlich, entspricht das dem Wert 0 der Abszissenachse. Streuung bedeutet die Abweichungen vom Mittelwert. Abweichungen werden als Standardabweichung, Sigma, bezeichnet. Produziert man mit sechs Sigma wird eine Qualitätsstufe von 99,9997 % erreicht. Es wird demzufolge nur 0,0003 % Ausschuss produziert. Steigt das Sigma-Niveau wird die Qualität erhöht¹².

¹¹ Eine spezielle Glockenkurve mit dem Maximum an der Stelle μ und den Wendepunkten bei $\mu - \sigma$ und $\mu + \sigma$ ist in der Statistik von großer Bedeutung und heißt Normalverteilung oder Gauß-Verteilung.

¹² Vgl. (o.V.), (o.J.), 1. Six Sigma, http://www-classic.uni-graz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Muench_Six_Sigma.pdf; Stand: 22.04.2009.

Der CP-Wert ist eine Kennzahl und gibt den Wert der Streuung des Prozesses im Verhältnis zwischen Toleranz und der tatsächlichen Prozessstreuung an.

Der CPK-Wert ist eine Kennzahl der Prozessfähigkeit. Er gibt den Wert und die Lage der natürlichen Streuung des Prozesses im Verhältnis zur nächstgelegenen kritischen Toleranzgrenze an.

Neben der Toleranz werden die Prozessfähigkeit und die nachweislichen CPK-Kennzahlen die Qualität der Produktion bestimmen. Messsystemanalysen (MSA) und statistische Auswertungen der Messergebnisse entsprechen dem Standard.

Die Kompatibilität zwischen CAD-Datensätzen und der Messmaschinensoftware wird erwartet. Zum Beispiel kann so das fertig gezeichnete 3D-Modell vom Kunden direkt mit der Messmaschinensoftware eingelesen und definierte Punkte sofort gemessen werden. Auch in der Entwicklung kann eine Prototypabgasanlage zum Beispiel an späteren Verbindungsstellen mit dem Kfz schneller vermessen werden. Durch die Kompatibilität von Messmaschinensoftware und CAD-Datensätzen ist es besser möglich, frühzeitiger, nämlich bereits während der Entwicklung von Kraftfahrzeugen, Problemen entgegenzuwirken.

2.1.3.2. Interne Kundenerwartungen an die Messtechnik

Bestmögliche Gegebenheiten am Arbeitsplatz sind für die Leistungen jedes einzelnen Mitarbeiters wichtig. Dazu zählen unter anderem die Lichtverhältnisse, die Frischluftzufuhr, die Raumtemperatur und das Platzangebot im Raum. Die Lärmbeeinträchtigung spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. Nur in einem ruhigen Arbeitsumfeld kann konzentriert gearbeitet werden. Die Konstanz der Messbedingungen wird unter anderem durch die Installation einer Klimaanlage gewährleistet. Diese soll neben der Schaffung einer konstanten Temperatur auch die Temperaturschwankungen durch mögliche Zugluft ausgleichen.

Optimale Bedingungen für das Messen sind außerdem die Kompatibilität zwischen den firmeninternen Messanlagen sowie die Möglichkeiten der Datenübertragung mit den Kunden. Darüber hinaus sollte eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Abteilungen im Unternehmen möglich sein. Schnittstellen der Messmaschinensoftware mit den Konstruktionsprogrammen sind von Bedeutung. Zum Beispiel sollte eine für TENNECO geeignete Messmaschine unter anderem über CATIA-kompatible Schnittstellen verfügen.

So kann bspw. der Konstrukteur mit der Abteilung Werkzeugbau zusammen arbeiten. Der kompatible CATIA-Datensatz vom Konstrukteur erstellt, kann von der Messmaschinensoftware eingelesen werden. Die nach CAD-Datensatz (Zeichnung) von der Abteilung Werkzeugbau gefertigten Produkte können so direkt vermessen, ihre Qualität geprüft werden. Änderungen an der Zeichnung, am CAD-Datensatz, die durch die praktische Umsetzung begründet sein können, sind schneller umsetzbar.

2.2. Neuanschaffung versus Outsourcing

Bei der Anschaffung eines Messsystems stellt sich prinzipiell die Frage nach den Kosten. Es ist zunächst erforderlich eine Neuanschaffung zu begründen. In Abbildung 4 werden die Vor- und Nachteile einer Neuanschaffung des CMM-Messsystems und dem Outsourcing der Messaufträge überblicksmäßig verglichen¹³.

¹³ Vgl. TENNECO intern

CMM Service outside	
Pro Outsourcing	Contra Outsourcing
Reduzierung von Investitionskosten	Abhängigkeit von Partner
Senkung der Fixkosten	Längere Reaktionszeit intern
Interessenkonflikte	Geringere Planbarkeit
Auslastung des Messsystems	Wartezeit auf Messergebnisse
Senkung des Risikos bezüglich der Amortisation	Mögliche Transportschäden (Fehlerursachen)
Kooperation mit lokalem Partner	Keine Produktspezialisierung bei Messungen
Keine schwierigen Vertragsgestaltungen	Ständiger Produktwechsel (Stunden- und Datensatzwechsel)
	Schwierige Vertragsgestaltung
	Überschneidung mit Aufträgen
	MSA & CPK Know how nicht vorhanden
	Geringere Akzeptanz innerhalb TENNECO
	Auswertung & Abstimmung schwieriger
	Abstimmung von Werkzeugen aufwendiger
	Wegezeiten & Versicherung
	keine "rechtlich" sicheren Protokolle (VW)
	Datentransfer & Datenschutz schwieriger
	Training MA bzgl. Interpretation der Messergebnisse
	Wochenendarbeit schwer möglich
	Geheimhaltung (Prototypen)
	Umgang mit Kundeneigentum

Abb. 4: Vor- und Nachteile des Outsourcing

Quelle: Vgl. TENNECO intern

Die Vorteile des Outsourcing der Messaufträge liegen in der deutlichen Reduzierung der Investitionskosten sowie in der Senkung der fixen Kosten. Darüber hinaus stellt sich im Rahmen des Outsourcing nicht die Frage nach der Amortisation einer Neuanschaffung. Es ist nicht sicher, ob durch die Neuanschaffung des Messsystems überhaupt eine ausreichende Auslastung der Messmaschine durch TENNECO und die *Launch Factory* erreicht werden kann. Die Kooperation mit einem lokalen Partner und der damit verbundene Wissenstransfer werden ebenfalls positiv bewertet.

Die oben genannte *Launch Factory* ist eine Fachabteilung der Firma TENNECO Europa, die eine Verbesserung der Industrialisierung zum Ziel hat. Es ist ein werksübergreifendes Projekt, bei dem europaweit neue Produktionsanläufe vorbereitet, geplant und in Betrieb genommen werden.

Die Nachteile des Outsourcing hingegen sind vielfältiger. Zum einen kommt es zu einer starken Abhängigkeit vom beauftragten Partnerunternehmen, zum anderen wird die Reaktionszeit verlängert und die Planbarkeit wird aufgrund einer möglichen Wartezeit auf die Messergebnisse erschwert. Hinzu kommen etwaige Transportschäden, die Ursachen für spätere Fehler sein können. In diesem Zusammenhang muss auch die Abrechnung von Wegezeiten und Versicherungskosten berücksichtigt werden. Zudem kann sich der Outsourcing Partner bei seinen Messungen nicht auf bestimmte Produkte spezialisieren. Der ständige Produktwechsel geht einher mit einem ständigen Stunden- und Datensatzwechsel. Je nach Produkt gestaltet sich die Messung mehr oder weniger zeitaufwendig. Eventuell kann sich die Vertragsgestaltung schwierig gestalten und es kommt in der Folge zu einer Überschneidung von Aufträgen. Bei vielen Outsourcing Partnern ist das entsprechende Know-how zur Messsystemanalyse (MSA) und Prozessfähigkeitsanalyse (CPK) nicht vorhanden. Diese Tatsache kann zu einer geringeren Akzeptanz der Messergebnisse von TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH führen. Darüber hinaus ist die Auswertung und Abstimmung u.a. von Werkzeugen für spezielle Aufnahmehalterungen der Abgassysteme bei externen Messungen aufwendiger und schwieriger. In den meisten Fällen sind die speziellen Schweißvorrichtungen, in denen das Abgassystem befestigt wird, Kundeneigentum. Das heißt, je schneller eine Prozessfähigkeit der Produkte nachgewiesen werden kann, desto schneller können die Kosten für das Werkzeug auf den Kunden übertragen werden. Automobilhersteller wie VW verlangen zudem „rechtlich“ sichere Protokolle sowie die Geheimhaltung von

Prototypen. Beim Outsourcing stellt sich grundsätzlich die Frage nach dem Datentransfer bzw. dem Datenschutz. Die Auswahl eines vertrauenswürdigen Partners kann aufwendig sein. Da nicht intern gemessen wird, müssen die Mitarbeiter vor Ort in der „*Interpretation*“ der Messergebnisse geschult werden. Außerdem ist im Rahmen des Outsourcing eine unter Umständen bedarfsmäßige Wochenendarbeit in den seltensten Fällen möglich.

Die Gegenargumente für das Outsourcing bilden im Umkehrschluss die Vorteile einer Neuanschaffung. Aus der oben gezeigten Tabelle wird ersichtlich, dass die Vorteile der Neuanschaffung eines Messsystems deutlich überwiegen. Aufgrund der neuen Messanforderungen, den steigenden Kundenerwartungen und dem ständigen technischen Fortschritt ist eine Neuanschaffung notwendig.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung folgt unter Gliederungspunkt 4.

3. Anschaffung eines Messsystems

3.1. Grundlagen zur Messtechnik

Die Messtechnik umfasst nahezu alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens von Forschung und Entwicklung bis Handel und Versorgung. Durch die Anwendung der Messtechnik auf das spezielle Gebiet wird sie selbst eine Schlüsseldisziplin und so einzigartig wie das jeweilige Gebiet selbst.¹⁴

Messungen werden in der grundlegenden Norm DIN 1319 definiert.¹⁵

Allgemein lassen sich Messverfahren nach den verschiedensten Gesichtspunkten klassifizieren. Nachfolgend werden nur die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale aufgeführt.

Prinzipiell wird zwischen direkten und indirekten Messverfahren unterschieden. Beim direkten Messverfahren wird der gesuchte Messwert, der eine bestimmte Messgröße hat, mit der gleichen Messgröße verglichen und ermittelt. So wird die Messung des Gewichts durch den Vergleich mit geeichten Gewichten ermittelt oder die Längenmessung erfolgt durch den Vergleich mit einem Metermaß. Beim indirekten Messen wird nicht direkt verglichen. Der Messwert wird auf andersartige physikalische Größen zurückgeführt und durch physikalische Zusammenhänge ermittelt. Ein bekanntes Beispiel ist die Druckmessung mit einem Gewichts-Kolbenmanometer. Hierbei wird der Druck über die Masse des aufgelegten Gewichts unter Beachtung der Gravitationskonstante¹⁶ und der Kolbenfläche ermittelt.¹⁷

¹⁴ Vgl. Hoffmann, J. (2004), Handbuch der Messtechnik, Hanser, 2. Auflage, München Wien 2004, entn. aus Vorwort.

¹⁵ Vgl. (o.V.), (o.J.), Messung, http://de.wikipedia.org/wiki/Messbare_Gr%C3%B6%C3%9Fe#Direkte_und_indirekte_Messung; Stand: 14.03.2009.

¹⁶ Die Gravitationskonstante gibt die Erdanziehungskraft an.

¹⁷ Vgl. Profos, P., Pfeifer, T. (Hrsg.), (1994), Handbuch der industriellen Meßtechnik, Oldenbourg, 6. Auflage, München 1994, S. 8.

Weiterhin wird unterschieden in elektrische und nicht elektrische Messgrößen. Die grundlegende Auswahl des Messverfahrens sollte sich nach dem Verwendungszweck richten. Zum Beispiel werden im Rahmen dieser die Messungen von Temperatur, Druck, Kraft, Licht oder Strahlung nicht betrachtet.

Es gibt noch zahlreiche andere Methoden um Entfernungen, Längen und Winkel zu messen. Zum Beispiel kann die Entfernung zwischen zwei Gegenständen mittels Schall oder mit der elektrischen Größe der Kapazität ermittelt werden. Durch Radarwellen und Lichtwellen ist es ebenfalls möglich, Entfernungen zu bestimmen. Diese Messverfahren werden jedoch in der Fertigungsmesstechnik weniger angewendet.¹⁸

Die primäre Aufgabe der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH beim Messen von Abgassystemen, ist das Erfassen von Längen und geometrischen Formen.

Die allgemeine Unterscheidung von Fertigungsabläufen in manuell und automatisiert lässt sich auf die Messtechnik übertragen.

Die manuelle Messtechnik benötigt ständig einen Bediener des Messgerätes bzw. der Messmaschine. Beispielsweise kann mit dem Messen eines manuellen Messarms eine hohe Individualität erreicht werden. So kommen hier die Vorteile bei der einmaligen Messung eines Prototyps zur Geltung. Der Bediener kann an den individuell gewünschten Stellen messen. Die Messpunkte können dann im 3D-Raster mittels Software rechnergestützt ausgewertet werden. Es ist in diesem Fall nicht notwendig, ein Messprogramm zu erstellen. So liegen die Vorteile des manuellen Messens in der Zeit-, Aufwands- und Kostenersparnis gegenüber dem automatisierten Messen. Die Vergleichsmessung mit einem unregelmäßigen 3D-Modell, das heißt die genaue Wiederholbarkeit des Messergebnisses einer Abgasanlage, ist schwierig. In diesem Fall ist eine Messung mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine mit CNC-Steuerung günstiger, da diese genau programmierte Punkte anfahren kann.

Beim automatisierten Messvorgang benötigt die Messmaschine eine CNC-Steuerung und geeignete Schnittstellen für den Datenfluss mit der Messgeräte-Software. Entsprechend dem geforderten Ablauf des Messvorgangs wird ein geeignetes Messver-

¹⁸ Vgl. (o.V.), (o.J.), Entfernungsmessung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsmessung>; Stand: 21.03.2009.

fahren ausgewählt. Es gilt zu untersuchen, ob für die gegebene Messaufgabe eher ein automatisiertes oder ein manuelles Verfahren geeignet ist. Das automatisierte Messen ist prinzipiell für viele Messmethoden nutzbar. Es ist eine annähernd 100%ige Wiederholgenauigkeit des Messergebnisses möglich. Das bedeutet der Messvorgang kann fast identisch wiederholt werden. Dies geschieht mit Hilfe der CNC-Steuerung des Messsystems.

3.2. Anwendung der Fertigungsmesstechnik für das Messen von Abgasanlagen

Bei der Herangehensweise für die Auswahl eines geeigneten Messverfahrens sollte sich nach der zu messenden Größe und der zu erreichenden Genauigkeit gerichtet werden. Die Längenmesstechnik ist mehr oder weniger synonym für die Fertigungsmesstechnik. Sie beruht zumindest auf dem Prinzip der Längenmessung und wird vorrangig in der Industrie und im Maschinenbau angewandt.¹⁹

Das wesentliche Ziel der Fertigungsmesstechnik ist die Umwandlung einer nicht elektrischen Messgröße in ein elektrisches Signal.²⁰ Die elektrischen Signale werden rechnergestützt ausgewertet und weiter verarbeitet. Es entstehen in relativ kurzer Zeit verwendbare Messergebnisse von komplexen Geometrien.

Diese Eigenschaften der Fertigungsmesstechnik, die Steuerung und Kontrolle von geometrischen Größen, wie das Erfassen von Längen und Winkeln, lassen sich erst seit der Einführung der CNC-Koordinatenmesstechnik so schnell realisieren.

3.2.1. Koordinatenmesstechnik

Die Einführung der CNC-Koordinatenmesstechnik ist ein wesentlicher Fortschritt für die Fertigungsmesstechnik. Die Koordinatenmesstechnik (KMT) ist ein universelles Messverfahren, bei dem die Werkstückoberfläche in einem Koordinatensystem (Referenzkoordinatensystem) punktweise abgetastet wird.²¹ Die Geometrie des Werkstücks wird durch charakteristische Punkte beschrieben, die in einem bereits

¹⁹ Vgl. (o.V.), (o.J.), Abteilung 5, Fertigungsmesstechnik, http://www.ptb.de/de/org/5/_index.htm;
Stand: 14.03.2009.

²⁰ Vgl. Hoffmann, J. (2004), a.a.O., S. 256.

²¹ Vgl. Pfeifer, T., Imkamp, D. (2004), Koordinatenmesstechnik und CAx- Anwendungen in der Produktion- Grundlagen, Schnittstellen und Integration, Hanser, München Wien 2004, S. 12.

vorhandenen Koordinatensystem genau definiert sind. Die schon fertig programmierten Sollpunkte für das Werkstück (Abmaße vom Sollwerkstück) bilden die Grundlage für die Messung einerseits, das Messprogramm, welches die Maß-, Form- und Lageabweichung überprüft, andererseits.²²

Das Referenzkoordinatensystem²³, in dem jeder beliebige Punkt im Raum genau definiert ist, wird durch drei rechtwinklig zueinander angeordnete Verfahrachsen realisiert. Diese Verfahrachsen selbst arbeiten meist mit einem direkt an der Messmaschine angebrachten linearen Messsystem.²⁴

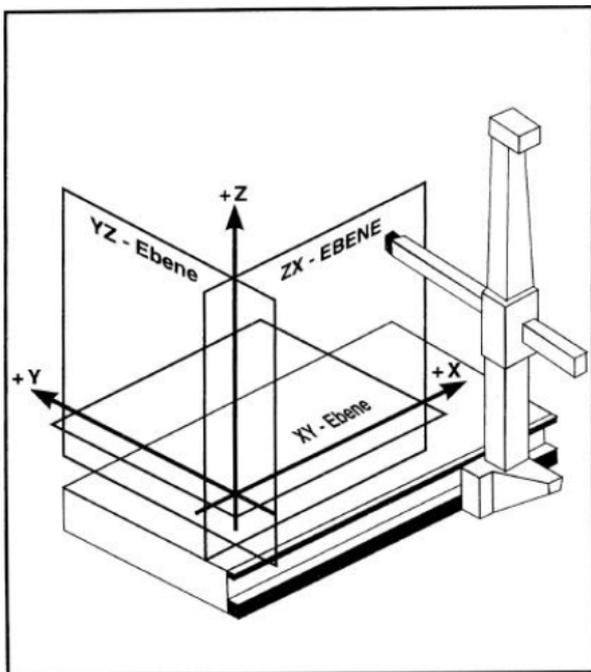


Abb. 5: Kartesisches Koordinatensystem

Quelle: Vgl. Hansen, W., Heinzlmann, F., Düvel, E. (2001), Anfahren der Stiefelmayer Koordinatenmessmaschine MZ 1050, Projektarbeit im Fach Messtechnik, Adolf-Kolping-Schule Lohne Fachschule Kunststofftechnik, http://www.berufsschule-lohne.de/3D_Anfahren.PDF; Stand: 22.04.2009.

²² Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), Koordinatenmesstechnik für die Qualitätssicherung, VDI, Düsseldorf 1992, S. 1.

²³ Das bereits vorhandene definierte Koordinatensystem wird auch Referenzkoordinatensystem genannt.

²⁴ Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 1.

Das Grundprinzip der punktwisen Erfassung ermöglicht den 3D-Koordinatenmessgeräten den universellen Einsatz. Es gibt jedoch unterschiedliche technologische Varianten, um die Oberflächenpunkte direkt an der Werkstückgeometrie zu erfassen.²⁵ Hier spielt die Sensorik, welche die Funktionalität des Messkopfes darstellt, eine wesentliche Rolle. Sie gilt als verbindendes Element zwischen der Oberfläche des Messobjektes zu den Maßstäben des Koordinatenmessgerätes.²⁶ Den Messkopf mit integrierten Sensoren, durch den unmittelbar bei einer Koordinatenmessmaschine die Punkte der Werkstückgeometrie erfasst werden, gibt es in verschiedenen Ausführungen. Man unterscheidet in schaltende Sensoren und messende Sensoren.²⁷ Dies spielt jedoch keine wesentliche Rolle für die Funktionalität des Sensors. Je nach Bauart des Messkopfs ist für die Weiterverarbeitung der nicht elektrischen Größe die Umwandlung des Messwertes in ein elektrisches Signal unterschiedlich. Besonders bei der Messunsicherheit²⁸ kommen diese Aspekte zum Tragen und fallen für die Auswahl des Messsystems nicht ins Gewicht. Entscheidend ist die Klassifizierung nach der eigentlichen Erfassung des Messwertes. Diese kann durch einen taktil arbeitenden Sensor oder durch einen optisch arbeitenden Sensor geschehen. Taktil arbeitende und optisch arbeitende Messköpfe werden in den Gliederungspunkten 3.2.3.1 und 3.2.3.2 näher erläutert.

Taktil arbeitende und auch optisch arbeitende Messmaschinen unterscheidet man außerdem nach der Arbeitsweise zur Ermittlung der einzelnen Punkte am Werkstück. Wird nur ein einzelner Punkt an der Werkstückgeometrie angetastet, das heißt der Messtaster berührt das Werkstück kurz an einer Stelle und entfernt sich gleich wieder vom Werkstück, nennt man diese Methode tastendes Messen. Wird jedoch der Messtaster an die Werkstückoberfläche angetastet und fährt an der Werkstückober-

²⁵ Vgl. Weckenmann, A., Gawande, B. (1999), Koordinatenmeßtechnik- Flexible Meßstrategien für Maß, Form und Lage, Hanser, München Wien 1999, S. 48.

²⁶ Vgl. Neumann, H.J. (2004), Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten- Entwicklung-Normung-Grundlagen-Messunsicherheit-Anwendungserfahrung-Auswahlkriterien- Ausbildung, expert verlag, Band 646, Renningen 2004, S. 69.

²⁷ Vgl. Christoph, R., Neumann, H.J. (2006), Multisensor- Koordinatenmesstechnik- Maß-, Form-, Lage- und Rauheitsmessung- optisch, taktil und röntgentomografisch, moderne industrie, Die Bibliothek der Technik Band 248, 3. Auflage, München 2006, S. 14.

²⁸ Als Messunsicherheit wird die Wahrscheinlichkeit eines auftretenden Fehlers bezeichnet.

fläche entlang, die Berührung am Werkstück bleibt also während des Messvorgangs erhalten, so nennt man diese Methode fühlendes Messen.

Beide Methoden finden ihre Anwendung. Das optische Messen nach diesem Prinzip des fühlenden Messens wird scannen (digitalisieren) genannt.

3.2.2. Aufbau einer Messmaschine

Ein Koordinatenmessgerät besteht im Wesentlichen aus den folgenden Systemkomponenten:

- Grundgestell mit den Maßverkörperungen (Maschinenkoordinatensystem)
- Tastsystem zur Erfassung der Messpunkte
- Rechner mit problemorientierter Software zur Steuerung und Erzeugung der Messprotokolle.

Je nach Bauart des Messgerätes, dem Automatisierungsgrad des Messablaufs und der Messdatenverarbeitung sind die Systemkomponenten unterschiedlich ausgeprägt.²⁹

In Abhängigkeit von dem jeweiligen zu messenden Werkstück ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an das Koordinatenmessgerät. Im Wesentlichen haben sich vier verschiedene Bauartausführungen durchgesetzt. Darüber hinaus sind entsprechend den jeweiligen Anforderungen auch Mischformen möglich.

(A) Auslegerbauart (mit Tisch; siehe Abbildung 6)³⁰

Bei einer derartigen Bauweise ist ein Maximum an Zugänglichkeit gewährleistet. Allerdings muss hier die Durchbiegung des Auslegers über dem Messbereich kompensiert werden. Beim Einsatz mehrere Tastköpfe mit unterschiedlichem Gewicht gestaltet sich dies schwierig. Es ist ein relativ großes Messvolumen möglich.

(B) Ständerbauart (mit Tisch)

Diese Bauart lässt in aller Regel nur relativ kleine Messvolumen zu. Die Messunsicherheit ist im Vergleich zu den anderen Bauarten gering.

²⁹ Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 2f.

³⁰ Auch Auslegerbauweisen ohne Tisch sind möglich.

(C) Portalbauart

Die Portalbauart ist die heutzutage am häufigsten anzutreffende Bauart von Messgeräten. Da sie über eine massiv ausgeführte Werkstückaufnahme verfügt, lassen sich mittlere bis große Teile problemlos messen. Im Rahmen der Portalbauart gibt es zwei verschiedene Ausführungsformen. Im ersten Fall fährt das Portal und der werkstücktragende Tisch steht. Im zweiten Fall bewegt sich der Tisch mit dem gesamten Werkstück und das Portal steht.

(D) Brückenbauart

Die Brückenbauart ist die größte aller Bauformen. Sie wird für Großteile sowie im Karosserie- und Formenbereich angewendet. Dahingegen ist sie nicht für Präzisionsmessungen geeignet.³¹

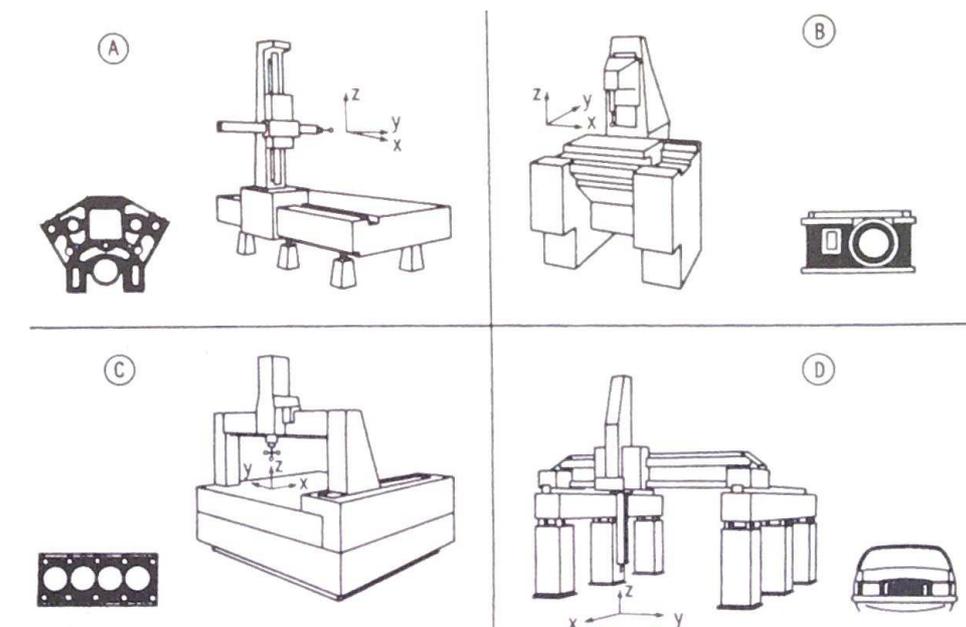


Abb. 6: Bauarten von Koordinatenmessgeräten

Quelle: Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 3.

³¹ Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 3ff.

Hinsichtlich der Gerätebauweisen basieren annähernd alle Geräteformen auf kartesisch angeordneten Koordinatenachsen mit linearen Maßstäben, wobei die Messschlitten in den Achsen entweder manuell oder durch einen Motor bewegt werden.³²

Folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau eines konventionellen kartesischen Koordinatenmessgerätes.

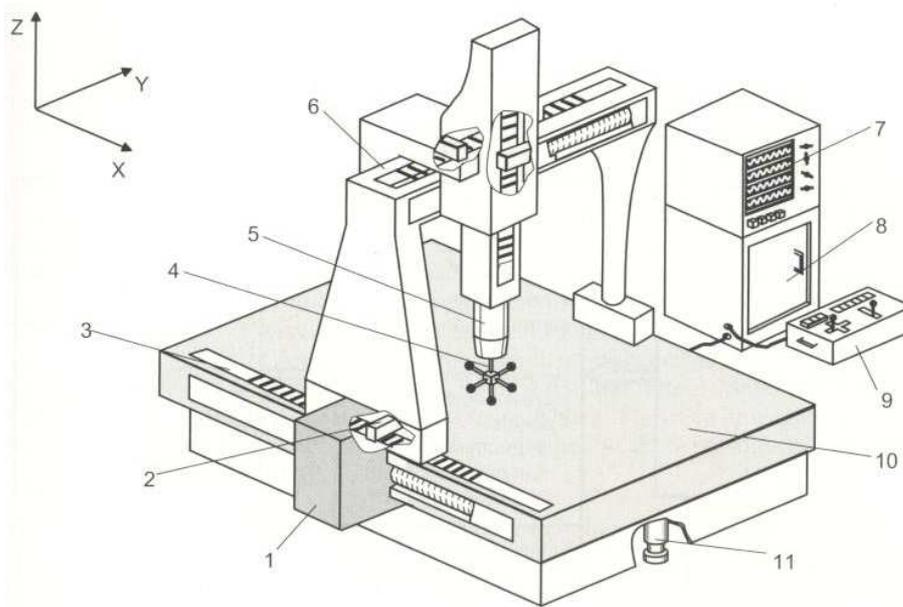


Abb. 7: Aufbau eines konventionellen kartesischen Koordinatenmessgerätes (in leicht modifizierter Form)

Quelle: Vgl. Weckenmann, A., Gawande, B. (1999), a.a.O., S. 51.

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1...Antrieb für X-Achse | 6...Lagerung für Y-Achse |
| 2...Ablesesystem für X-Achse | 7...Rechnerperipherie |
| 3...Maßverkörperung für X-Achse | 8...Steuer- und Anpasselektronik |
| 4...Taster | 9...Steuerpult |
| 5...3D-Tastkopf | 10...Werkstückaufnahme |
| | 11...Maschinenfuß/Gerätebasis |

Das Koordinatenmessgerät ist auf einem Starrkörper (Gerätebasis) aufgebaut. In den meisten Fällen dient der Tisch zur Werkstückaufnahme als Gerätebasis. Die drei Achsen haben jeweils einen Antrieb, der automatisch oder mit Hilfe des Steuerpultes angesteuert werden kann. In jeder Achse ist ein Messsystem (Maßverkörperung) in-

³² Vgl. Christoph, R., Neumann, H.J. (2006), a.a.O., S. 6.

tegiert, welches die Positionen während des Messens erfasst. In der Rechnerperipherie (Anzeige) werden die Daten der Messsysteme, die den angetasteten Punkten auf der Oberfläche des Werkstückes entsprechen, zu Koordinaten im Raum verarbeitet, ausgewertet und angezeigt.³³

3.2.3. Ausgewählte anwendbare Messverfahren für TENNECO

Auf Wunsch der Geschäftsleitung sollte zunächst eine Aufstellung der möglichen Messverfahren formuliert werden. Auf einem Messebesuch der *Control* in Stuttgart ließ sich ein allgemeiner Überblick über realistische Messverfahren erstellen.

Im Folgenden sollen die Möglichkeiten angewandter Messverfahren bis hin zur internen Entscheidung über das zu installierende Messsystem im Unternehmen dargestellt werden.

Zum Zeitpunkt der Aufnahme der Gegebenheiten bei der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH waren die Bedingungen zum Messen der Fertigerzeugnisse auf manuelle Messgeräte spezialisiert. Am 10.10.2008 besitzt das Unternehmen in Zwickau einen konventionellen Messarm, der manuell zu bedienen ist sowie eine Koordinatenmessmaschine, welche ebenfalls manuell geführt wird. Aufgrund dessen findet die Anschaffung einer Koordinatenmessmaschine mit CNC-Steuerung insofern eine Begründung, da diese Maschine programmierbar ist und selbstständig die programmierten Koordinaten anfahren und messen kann.

Aus den Recherchen, unter anderem auf der *Control*, ließ sich ein erster Überblick erstellen.

Zum Ermitteln von Messwerten für Länge, Form und Lage kommen nur bestimmte Messverfahren in Frage. Sie lassen sich im speziellen Fall der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH in taktile und optische Messverfahren³⁴ unterteilen. Weiterhin spielen die Faktoren Wiederholgenauigkeit, Serientauglichkeit und das Messvolumen, in dem gemessen werden soll, eine bedeutende Rolle. Für den Punkt Wiederholgenauigkeit ist eine Koordinatenmessmaschine mit

³³ Vgl. Keferstein, C.P., Dutschke, W. (2008), Fertigungsmesstechnik- Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren, Teubner, 6. Auflage, Wiesbaden 2008, S. 68f.

³⁴ Siehe Gliederungspunkt 3.2.1

CNC-Steuerung gut geeignet. Das Messvolumen wird von 5000 mm x 1200 mm x 1600 mm benötigt. Dies wird begründet aus der Größe der zu messenden Abgassysteme, die sich wiederum aus der Breite und Länge des Kfz ergeben. Dem relativ großen Messvolumen begründet, ist die Auswahl der Hersteller und der Messmethoden begrenzt. Viele Messmethoden können dieses relativ große Messvolumen nicht abdecken. Bei den optischen Messverfahren wird nur begrenzt auf die Lasertriangulation und die Streifenprojektion eingegangen.

Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Differenzierung in taktile und optische Messverfahren scheint dem Autor sinnvoll, da zum einen diese beiden Verfahren einen hohen Stellenwert in der Fertigungsmesstechnik erreicht haben und zum anderen deren technische Realisierung für den Messvorgang sehr gut geeignet ist.

3.2.3.1. Taktile Messen

Taktilen Messen³⁵ heißt, dass bei jedem Messvorgang das zu messende Werkstück berührt wird. Alle Messverfahren, bei denen ein unmittelbarer Kontakt mit dem zu messenden Gegenstand auftritt werden auch als „mechanisches Messen“ bezeichnet.



Abb. 8: Taktile arbeitender 3D-Messtaster

Quelle: Vgl. TENNECO intern

³⁵ Das taktile Messen ist auch unter der Bezeichnung mechanisches Messen zu finden.

Alle taktilen Sensoren an Koordinatenmessmaschinen arbeiten nach dem gleichen Grundprinzip. Ein Taster wird durch Federkraft reproduzierbar in einer räumlichen Nullposition in den sechs Freiheitsgraden fixiert. Die Auslenkung erzeugt ein Signal. Die genaue Lage des Berührungspunktes wird identifiziert. Gleichzeitig wird der Taster in seine Ausgangsstellung zurückgelenkt.³⁶

Wie schon in Gliederungspunkt 3.2 erwähnt, gibt es die Unterteilung in tastendes Messen und fühlendes bzw. scannendes Messen. Beim Scannen ist eine ständige Berührung an der Werkstückoberfläche notwendig. Dies benötigt eine sehr präzise und schnelle Steuerung der Maschine, da der Taster neben der ständigen Bewegung zusätzlich nicht in seine Ausgangsstellung zurückgelenkt wird. Taktil arbeitende Sensoren weisen, besonders bei ungünstigen Werkstückoberflächen, eine geringe Messunsicherheit auf. Zum Beispiel haben glänzende Oberflächen keine negativen Auswirkungen auf den Messwert.

3.2.3.2. Optisch Messen

Wenn an einer Werkstückoberfläche sehr viele Punkte zu messen sind, bietet sich das optische Messen an. Beispielhaft seien an dieser Stelle das Messen von Freiformflächen oder komplizierten Werkstückgeometrien genannt. Das Vergleichen mit CAD-Daten führt zum schnellen Erfassen der Kontur und wird immer häufiger durch optische Messmethoden realisiert.³⁷ Speziell kleine Teile können ohne aufwendige Halterung mit optischen Messverfahren gemessen werden. Es entstehen beim Messen keine Berührung und daher auch kein Messdruck. Die Verwindung der zu messenden Gegenstände durch den Messdruck wird vermieden.

Das Messprinzip der Lasertriangulation arbeitet ohne Berührung des Werkstücks. Eine sichtbare Strahlungsquelle, zum Beispiel Rotlicht oder Infrarotlicht, wird über eine Optik auf das Werkstück abgebildet. Die Oberfläche des Werkstücks reflektiert das Licht. Ein diffuser Anteil des remittierten Lichts wird von der Empfängeroptik aufgenommen und abgebildet. Das abgebildete Licht wird rechnergestützt bis zu einem auswertbaren Signal weiterverarbeitet. Es entsteht ein auswertbarer Messwert. Eine

³⁶ Vgl. Neumann, H.J. (2004), a.a.O., S. 69.

³⁷ Vgl. Breuckmann, B. (1993), Bildverarbeitung und optische Meßtechnik in der industriellen Praxis, Franzis- Verlag, München 1993, S. 273.

Messunsicherheit kann aufgrund der Werkstückoberflächenbeschaffenheit, der Werkstückfarbe oder den Abstrahleigenschaften entstehen.³⁸

Bei der Streifenlichtprojektion wird an Stelle des Lichtstrahls ein definiertes Hell/Dunkelmuster bzw. eine Folge von Muster auf das Werkstück projiziert. Das deformierte Muster, das auf Grund der unterschiedlichen Geometrie der Werkstückoberfläche entsteht, wird mit einer Matrixkamera aus einer anderen Richtung aufgenommen. Durch spezielle Technik wird das verzerrte Linienmuster in einer Bildebene ausgewertet. Es entsteht ein auswertbarer Messwert.³⁹ Stark glänzende Oberflächen erhöhen ähnlich wie bei der Lasertriangulation die Messunsicherheit und können unter Umständen zur völligen Unmöglichkeit des Messvorgangs führen.

Eine Koordinatenmessung im 3D-Raum kann mittels Robotersteuerung realisiert werden. Dieses Verfahren eignet sich nur für optische Messverfahren, weil eine präzise Führung vom Messkopf mittels Roboter zu ungenau für die taktile Längenmesstechnik ist.

3.2.3.3. Gegenüberstellung taktiles und optisches Messen

Für das Messen von Oberflächen unregelmäßiger Geometrien liegen die Vorteile eindeutig im Bereich des optischen Messens. Dieses Verfahren ist schneller, es erfasst in wesentlich kürzerer Zeit, durch die Vielzahl der projizierten Punkte auf das Werkstück, die Konturen. Weitere Vorteile liegen im berührungslosen Messen, wodurch kleine zu messende Gegenstände sich nicht verwinden.

Bei stark glänzenden Oberflächen, großen Hohlräume und Bohrungen wird das reflektierte Licht stark gestreut. Dies kann zur Verfälschung der Messergebnisse führen. Für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH ist dies ein deutlicher Nachteil, da häufig stark glänzende Oberflächen wie z.B. verchromte Abgasblenden gemessen werden müssen.

Bei der taktilen Koordinatenmesstechnik werden die angefahrenen Punkte der Kontur mit einem taktilen 3D-Messkopf erfasst und mit geeigneter Software in auswertbare Werte verrechnet. Zudem ist bei der speziellen Anwendung, dem Messen von

³⁸ Vgl. Keferstein, C.P., Dutschke, W. (2008), a.a.O., S. 191.

³⁹ Vgl. Neumann, H.J. (2004), a.a.O., S. 106.

Abgasanlagen, das Erfassen von genau definierten Punkten am Messstück ausreichend. Diese Punkte werden dann beispielsweise mit dem zugehörigen CAD-Datensatz verglichen und ausgewertet. Das Scannen vieler Punkte mittels optischen Messmethoden stellt hohe Anforderungen an die Datenverarbeitung und ist nicht notwendig. Um verchromte Werkstücke optisch zu messen, ist es notwendig, das Glänzen mittels Farbgebung/Kreide zu verringern. Diese Nachteile sprechen im Umkehrschluß für das taktile Messen.

3.2.4. Überblick über Anbieter von Messsystemen

In Anlage 2 wird ein Überblick über verschiedene Hersteller von Messsystemen gezeigt. Dabei wird hinsichtlich der Funktionalität in taktile und optische Messmaschinen unterschieden. Auf Grund des begrenzten Umfangs dieser Arbeit werden nur relevante Hersteller von Messmaschinen entsprechend den gewählten Auswahlkriterien von TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH aufgeführt.

Es gibt unterschiedliche Bauarten für CNC-gesteuerte Koordinatenmessmaschinen. Anlage 2 umfasst nur ausgewählte Hersteller für Messmaschinen in einfacher Messständerbauart und in Messständerbauart mit Messtisch.

Die folgende Aufstellung der Auswahlkriterien für das Messsystem und der anschließende Vergleich der Anbieter werden zum geeigneten Messsystem führen.

3.3. Auswahlkriterien für das Messsystem

Das Aufstellen der Auswahlkriterien für das Messsystem erfolgte intern durch Brainstorming und dem Prinzip des Ishikawas. In den folgenden Gliederungspunkten werden die für TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH relevanten Auswahlkriterien näher beschrieben und anschließend in der YX-Analyse verwendet.

Für die Auswahl des Messsystems, spielen viele Faktoren eine Rolle. Dabei sollte sich der grundlegende Gedanke nach der Hauptanwendung der Messmaschine richten. Die Hauptanwendung ist das Messen von Abgasanlagen. Speziell das Erfassen von Länge, Winkel und geometrisch bestimmten Formen wird durch den Bereich der Fertigungsmesstechnik bestimmt. Die Serienmessung einer CNC-gesteuerten Messmaschine ist Voraussetzung, um Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Außer-

dem ist durch das relativ große Messvolumens die Auswahl der Messsysteme begrenzt.

Die Zertifizierung der Messmaschine ist ebenfalls ein wichtiges Auswahlkriterium. Das Messen von unregelmäßigen Formen im dreidimensionalen Raum war vor noch nicht all zu langer Zeit nur mühsam möglich. Deshalb stellte man aufwendige Prüflöhren her, mit denen die Aussagen „Gut“ oder „Ausschuss“ getroffen wurden. Bei der Auswertung von Fehlern und aus wirtschaftlicher Sicht ist die Verwendung von Prüflöhren bei geringen Stückzahlen und Neuanläufen nachteilig.

Für das Messen im 3D-Raum setzen sich die Vorteile der Koordinatenmesstechnik, die bereits in Gliederungspunkt 3.2.1 beschrieben wurden, durch. Die Auswahlkriterien für das Messsystems werden deshalb durch die Anschaffung einer Koordinatenmessmaschine eingegrenzt.

3.3.1. Sicherheitsbestimmungen bei der Installation

Bei der Installation des Messsystems sind genau definierte Sicherheitsbestimmungen unter anderem nach der Arbeitsstättenverordnung, nach VDI-Richtlinien sowie den firmeninternen Standards einzuhalten. Die Quetschgefahr, die durch die Maschine entstehen kann, Fluchtwege im Messraum sowie der Brandschutz sind von besonderer Bedeutung. Sie bilden eine Synergie mit dem gesamten Messsystem. Die größtmögliche Verfahrgeschwindigkeit der Maschine ist ausschlaggebend für die Sicherheitsvorgaben am Aufstellort. Liegt die Verfahrgeschwindigkeit im Eilgang der Maschine über der zugelassenen Geschwindigkeit, können Lichtschranken im Gefahrenbereich angebracht werden. Der Maschinenhersteller hat die Möglichkeit einen fest programmierten Wert für den Eilgang der Maschine festzulegen. Ist dieser Wert zulässig, bedarf es keiner zusätzlichen Sicherheitsvorkehrungen wie zum Beispiel Lichtschranken im Gefahrenbereich, da aufgrund der maximal zulässigen Verfahrgeschwindigkeit von der Maschine kein Sicherheitsrisiko ausgeht. Sie beträgt ohne zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen 150 mm/s.

Die genormten Richtlinien bezüglich der Sicherheit werden im Verein deutscher Ingenieure und in der DIN festgelegt. Sie sind besonders bei der Neuanschaffung des Messsystems zu beachten. Sicherheitsbestimmungen werden allgemein aus der hervorgehenden Gefahr eines Gegenstandes oder eines Ablaufs festgelegt.

Die speziellen Sicherheitsvorgaben bei der Neuinstallation der Maschine richten sich vorrangig nach den Herstellerangaben. Jedoch müssen auch die Sicherheitsbestimmungen am Aufstellort, demzufolge die Vorgaben des Landes und darüber hinaus die firmeninternen Sicherheitsvorgaben, beachtet werden. Sind demzufolge die Sicherheitsvorgaben des Mutterkonzerns TENNECO, Sitz in Amerika, genauer bestimmt als die deutschen Vorgaben, so gelten im Rangfolgeprinzip die deutschen Vorgaben und zusätzlich die des Mutterkonzerns.

3.3.2. Akzeptanz beim Kunden

Die Akzeptanz beim Kunden ist eine der Hauptauswahlkriterien für die Anschaffung der Messmaschine. In der heutigen Zeit gewinnt das Marketing immer mehr an Bedeutung. Gerade die Messtechnik kann das Image einer Firma sehr stark beeinflussen. So steht sie vorrangig für die Qualität der hergestellten Produkte in der industriellen Fertigung. Die Akzeptanz ist sowohl intern im Unternehmen, als auch für externe Kunden wichtig. Aus Gründen der Akzeptanz wurden für die Auswahl einer Koordinatenmessmaschine primär namhafte Hersteller gewählt. Dazu zählen Unternehmen, die sich seit längerer Zeit am Markt etabliert haben. Bei diesen Herstellern werden besonders die Erfahrungen und der gute Service positiv gesehen. Der Service ist von großer Bedeutung. Er ermöglicht eine reibungslose langfristige Nutzung der Maschine. Guter Kundenservice beinhaltet zum Beispiel regelmäßige Wartungen der Maschine, Updates der Software, die Bereitschaft zur Fehlerbehebung sowie bei Bedarf mögliche Modernisierungen vorzunehmen.

In Fachkreisen werden unter anderen Stiefelmayer, Wenzel und Zeiss als namhafte Hersteller gesehen.

3.3.3. Serientauglichkeit

Die Serientauglichkeit ist ebenfalls für die Auswahl von Bedeutung. So dient die Anschaffung der Messmaschine auch der Serienmessung. Es sollten Kleinserien von 1 bis 50 Teilen messbar sein, wobei die Fähigkeit zur Reproduzierbarkeit großen Einfluss auf die Auswahl hat. Eine nahezu 100%-ige Wiederholgenauigkeit und Reproduzierbarkeit gelten als unabdingbare Voraussetzungen für die erfolgreiche Anwendung der Messmaschine.

In den letzten Jahren hat sich speziell die Koordinatenmesstechnik im Bereich der Fertigungsmesstechnik zum Messen von Längen durchgesetzt. Dem großen Fortschritt in der EDV ist es zu begründen, dass es moderne CNC-gesteuerte Koordinatenmesstechnik gibt. Diese Entwicklung ist der eigentliche Schlüssel für die serientaugliche Koordinatenmesstechnik.

3.3.4. Genauigkeit

Im Folgenden wird ausschließlich auf die Genauigkeit von Koordinatenmessmaschinen eingegangen. Das geforderte Messvolumen von 5000 mm x 1200 mm x 1600 mm ist relativ groß. Ein derart großes Messvolumen schlägt sich im Anschaffungspreis der Messmaschine nieder. Wird zusätzlich noch eine hohe Genauigkeit verlangt, steigen die Kosten erneut.

Die Vorgabe der Genauigkeit seitens des Unternehmens sind maximal 100 µm Messabweichung im Bereich des gesamten Messvolumens. Laut Herstellerangaben können Messmaschinen mit Messständerbauweise (Auslegerbauart) eine MPE E⁴⁰ von $(30+L/70) \mu\text{m} \leq 80 \mu\text{m}$ erreichen.

Durch die genau definierten Punkte, die über den CAD-Datensatz bestimmt sind, ist es möglich, mit einer geeigneten Messsoftware den 3D-Messtaster immer im Lot an den zu messenden Punkten am Werkstück zu führen. Auftretende Messunsicherheiten durch geneigte Winkel der Messtasterachse zur Werkstückoberfläche werden mit der Software korrigiert. Die Messunsicherheit wird so minimiert.

Mechanische Tastsysteme arbeiten so bei schwer zugänglichen Stellen und glänzenden Oberflächen sehr präzise.

⁴⁰ MPE E steht für „Maximum Permissible Error“ und gibt die maximal zugelassenen Extremwerte für eine Messabweichung von Messmaschinen an (Klammerwert = Genauigkeit in Bezug auf die Länge).

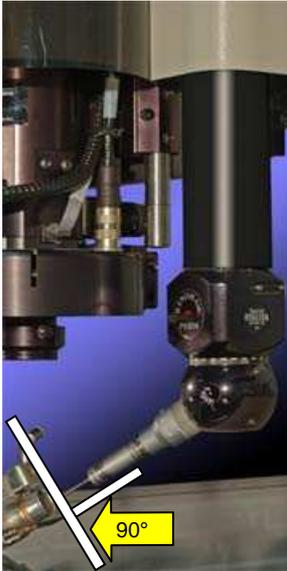


Abb. 9: Messtaster im Lot zur Messfläche

Quelle: Vgl. TENNECO intern

3.3.5. Messvolumen

Für Portalkoordinatenmessmaschinen, die eine einheitliche Messplatte aus Stein oder Stahlguss haben, ist das geforderte Messvolumen grenzwertig und aufwendig herzustellen. Aufgrund der Größe der Messmaschine wirken sich Temperaturschwankungen und Schwingungen stärker als bei kleinen Maschinen aus. Eine Verwindungssteifheit der Messmaschine selbst und ein ausreichend dimensioniertes Fundament sind Voraussetzungen für die optimale Funktion des CMM-Systems.

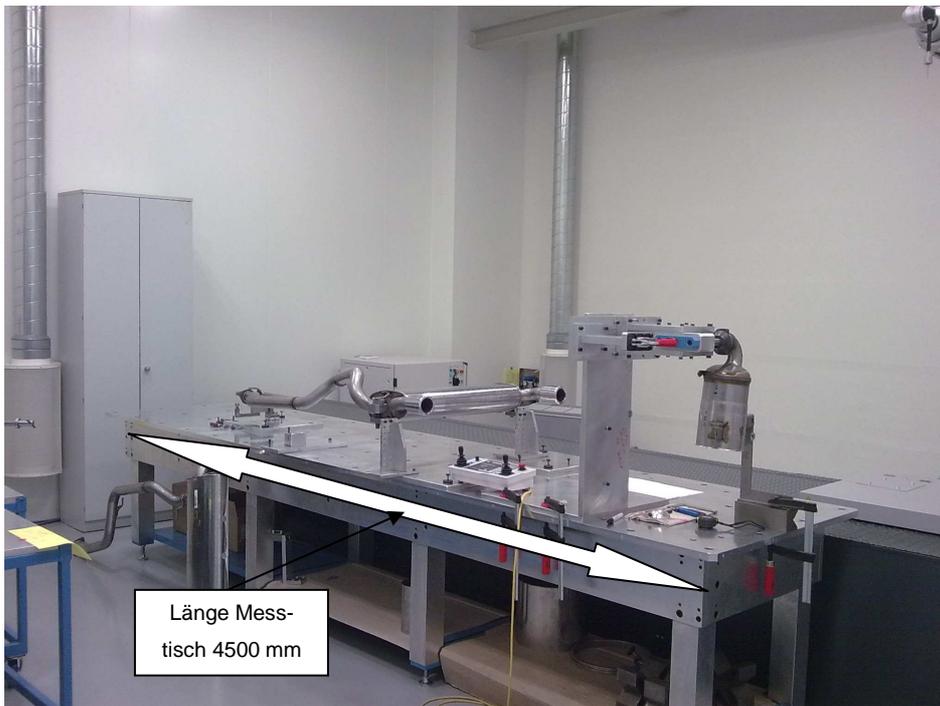


Abb. 10: Zusammenhang Messtisch und Messvolumen

Quelle: Vgl. TENNECO intern

Abbildung 10 zeigt den Messtisch. Dahinter befindet sich der Messbalken der Carl Zeiss Ständermessmaschine.⁴¹ Die Breite des Messtisches beträgt 1,6m. Aufgrund der Breite und des angegebenen Maßes in der Abbildung 10 von dem Messtisch, lässt sich auf die Größe des Messvolumens schließen.

⁴¹ Aus Geheimhaltungsgründen ist das tatsächliche Modell der Carl Zeiss Ständermessmaschine nicht ersichtlich.

3.3.6. Variantenvielfalt von Koordinatenmessmaschinen

Die Variantenvielfalt von Koordinatenmessmaschinen für die spezielle Anwendung ist begrenzt, weil für das taktile Messen im 3D-Koordinatensystem nur zwei Arten von Messmaschinen in Frage kommen. Abhängig von der Genauigkeit sind Portalmeßmaschinen sowie Meßmaschinen mit Meßständerbauweise (Auslegerbauart) ausreichend.

Portalmeßmaschinen erreichen aufgrund der soliden Bauart eine sehr hohe Genauigkeit. Durch eine Meßbrücke, die auf einer sehr ebenen Meßplatte verfährt, wird die Meßfehlerwahrscheinlichkeit, die durch die Maschine selbst begründet ist, minimiert. Häufig verwendete Meßplatten sind aus Stein, da diese unempfindlicher gegen Temperaturschwankungen sind. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass je höher die Meßgenauigkeit ist, desto höher sind auch der technologische Aufwand für die Herstellung einer Koordinatenmeßmaschine und deren Preis.

Bauartbedingt erreichen 3D-Koordinatenmeßmaschinen in Meßständerbauweise gegenüber Portalmeßmaschinen eine geringere Meßgenauigkeit auf. Für den Verwendungszweck der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH ist jedoch eine Meßständermaschine (Auslegerbauart) völlig ausreichend (siehe Genauigkeit) und auch kostenseitig wesentlich attraktiver als eine Portalmaschine. Sie ist vielseitiger einsetzbar und Kosten/Nutzen stehen in einem besseren Verhältnis. Des Weiteren ist in dieser Ausführung die Notwendigkeit des Naturproduktes Stein nicht erforderlich. Dies wirkt sich positiv auf Lieferzeit und Anschaffungskosten aus.

Abbildung 11 zeigt einen Meßständer ohne Tisch von der Firma Carl Zeiss.



Abb. 11: Meßständer

Quelle: Vgl. (o.V.), (o.J.), Horizontal-Arm Meßgeräte, PRO compact, PRO T compact, <http://www.zeiss.de/pro>; Stand: 22.04.2009.

3.3.7. Schnittstellen

Mit den Schnittstellen wird die Kompatibilität zwischen der Messmaschinensoftware und internen CAD-Programmen sowie CAD-Programmen von externen Kunden gewährleistet. Für eine zukunftsorientierte Zusammenarbeit im Rahmen der Globalisierung, spielt die Kompatibilität der Messmaschine (zu anderen Systemen) und die damit verbundene Qualität der Produkte des Unternehmens eine entscheidende Rolle. So kann beispielhaft ein Produkt, welches gestern noch als CAD-Modell existierte, heute schon gefertigt und gegen einen CAD-Datensatz vermessen werden. Eine optimale Zusammenarbeit zwischen Entwicklung, theoretischem Modell und der praktischen Fertigung ist so möglich. Es werden direkte Wege bei Fehlerdiagnosen am entstandenen Prototyp möglich. Speziell bei Neuanläufen und der Abstimmung neuer Produkte überwiegen die Vorteile der Verknüpfung mit einer geeigneten Software. Doch auch bei der Serienproduktion und dabei insbesondere bei der Ermittlung der Prozessfähigkeit wirkt sich die Kompatibilität der Software gewinnbringend aus. So ist es für TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH möglich, über ein Netzwerk von internen Servern direkt zwischen dem CMM-Messsystem und einer anderen Niederlassung, CAD-Datensätze einzulesen.

Neben der oben erläuterten firmeninternen Kompatibilität spielt die externe Zusammenarbeit mit Kunden eine Rolle. Insbesondere bei Fremdaufträgen (Lohnmessungen) besteht auch die Möglichkeit über eine Schnittstelle den CAD-Datensatz von einer Fremdfirma einzulesen.

3.3.8. Liefertermin und Service

Die Lieferung komplexer Maschinen für den industriellen Einsatz kann sich auch in heutiger Zeit noch über einen Zeitraum von mehreren Monaten bis Jahren erstrecken.

Für die unternehmensinterne Planung von TENNECO ist die Inbetriebnahme des Messsystems in der Kalenderwoche 45 im Jahr 2008 notwendig. Es stehen ca. sechs Monate für Vorbereitungen und Lieferung zur Verfügung. Im Rahmen der Kontaktherstellung mit verschiedenen Herstellern von Messsystemen konnten die Angebote bereits eingegrenzt werden, da für viele Anbieter die vorgegebene Lieferzeit nicht realisierbar war.

Langfristig gesehen wird ein gesteigerter Wert auf einen guten Kundenservice des Messmaschinenherstellers gelegt. Dabei ist auch die Gewährleistung von regelmäßigen Systemupdates (Maschine und Software) wichtig. In diesem Zusammenhang wurden namhafte Hersteller in die engere Auswahl einbezogen. Neben der Qualität des Services ist auch die räumliche Nähe zu sogenannten „Service-stationen“ entscheidend. Nur so kann eine präzise Zusammenarbeit bei gleichzeitiger Ersparnis der Anfahrtkosten erfolgen.

3.3.9. Modulare Erweiterbarkeit

Um als modernes industrielles Unternehmen langfristig existieren zu können, ist es unbedingt erforderlich dem technischen Fortschritt standzuhalten. So spielt die Messtechnik für die Qualität der gefertigten Produkte und letztendlich für das Image eines Unternehmens eine entscheidende Rolle.

Die modulare Erweiterbarkeit ist für die Modernisierung eines Messsystems nicht außer Acht zu lassen. Zum Beispiel könnte eine taktile 3D-Koordinatenmessmaschine mit einem optischen Sensor erweitert werden. Diese und andere Möglichkeiten der modularen Erweiterbarkeit sollten unbedingt vor der Neuanschaffung der Maschine geprüft werden. Dabei ist in erster Linie das Sortiment des Herstellers von Bedeutung. Ein breites Spektrum von Zusatzgeräten des Herstellers ist selbstverständlich vorteilhaft.

Für strategische Ziele ist es möglich, die modulare Erweiterbarkeit firmenübergreifend zu nutzen. Diese Tatsache kann erhebliche Kostenminimierungen mit sich bringen.

Es ist sowohl technisch als auch betriebswirtschaftlich gesehen sinnvoll, die Option der modularen Erweiterbarkeit langfristig zu haben, um zum einen ggf. Kostenersparnis zu realisieren und zum anderen neues Know-how hinsichtlich der Sensoren zu nutzen.

3.4. Vergleich der Anbieter von Messsystemen

Da eine Aufstellung aller Anbieter von Messsystemen den Umfang dieser Arbeit übersteigen würde, wird im Folgenden lediglich auf ausgewählte Anbieter eingegangen. Um das optimale Messsystem für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH zu finden, wurden folgende Hersteller miteinander verglichen: ZEISS, WENZEL, STIEFELMAYER, MORA und METRIS als Anbieter von taktilen Messsystemen sowie STEINBICHLER als ein Anbieter von optischen Messsystemen. Außerdem werden bei diesem Vergleich ausschließlich 3D-Koordinatenmessmaschinen, die eine Messständerbauweise aufweisen, betrachtet. So können ähnliche funktionierende Messsysteme verglichen werden.

In Anlage 3 werden die oben genannten ausgewählten Anbieter und deren relevante Messverfahren miteinander verglichen.

Um einen allgemeinen Überblick darzustellen, werden zunächst die Merkmale Typ, Messvolumen und Preis aufgeführt. Insbesondere das Messvolumen musste aufgrund der Vorgabe 5000 mm x 1200 mm x 1600 mm eine bestimmte Größe erreichen. Des Weiteren wurden auch Kriterien wie Sicherheit, Sensorik und die dazugehörige Software verglichen.

Wechsler für den Messkopf werden von allen Anbietern nur optional angeboten.

Im Allgemeinen muss die vom Messmaschinenhersteller angebotene Software genutzt werden. Die ausgewählten Anbieter arbeiten mit verschiedenen Softwarelösungen.

Zeiss, Wenzel und Stiefelmayer bieten einen umfangreichen Service, auf den besonderer Wert gelegt wird. Darüber hinaus soll auch die Akzeptanz beim Kunden gestärkt werden. Dies geschieht über das Auswahlkriterium Erfahrung.

Die Messungsgenauigkeit wurde in Bezug auf den größten Messbereich untersucht.

Alle Messmaschinenhersteller erfüllen die geforderten Genauigkeiten, wobei Zeiss und Mora am Besten abschneiden.

Schnittstellen mit VDA, QDas oder Catia/STEP sind bei fast allen Messsystemen gegeben.

Die Option auf Erweiterung hinsichtlich eines optischen Messsystems ist gegeben, aber nur durch erneute Investitionen zu realisieren.

Die Serviceangebote in Bezug auf Schulungen sind sehr unterschiedlich. Zwischen ein und drei Personen werden im Schnitt fünf Tage geschult.

Die Liefertermine der unterschiedlichen Anbieter schwankten zwischen der Kalenderwoche 40 und der Kalenderwoche 50.

3.4.1. Wichtung der Angebote entsprechend den Auswahlkriterien

Die hier gezeigte Abbildung vergleicht die in die nähere Auswahl gekommenen Anbieter von Messsystemen. Anhand der zehn Kriterien Lieferzeit, Präzision, Preis, Flexibilität, Wertstabilität, Aufrüstung/Aktualisierung/Unterstützung, Software/Schnittstellen, regionaler Service/Angebote, Sicherheit und Erfahrung/Akzeptanz wurden die fünf ausgewählten Hersteller von taktilen Messsystemen bewertet. Im Ergebnis der YX-Analyse zeigte sich mit 676 von 1000 möglichen Punkten ein deutlicher Ranking- Vorsprung von Zeiss.

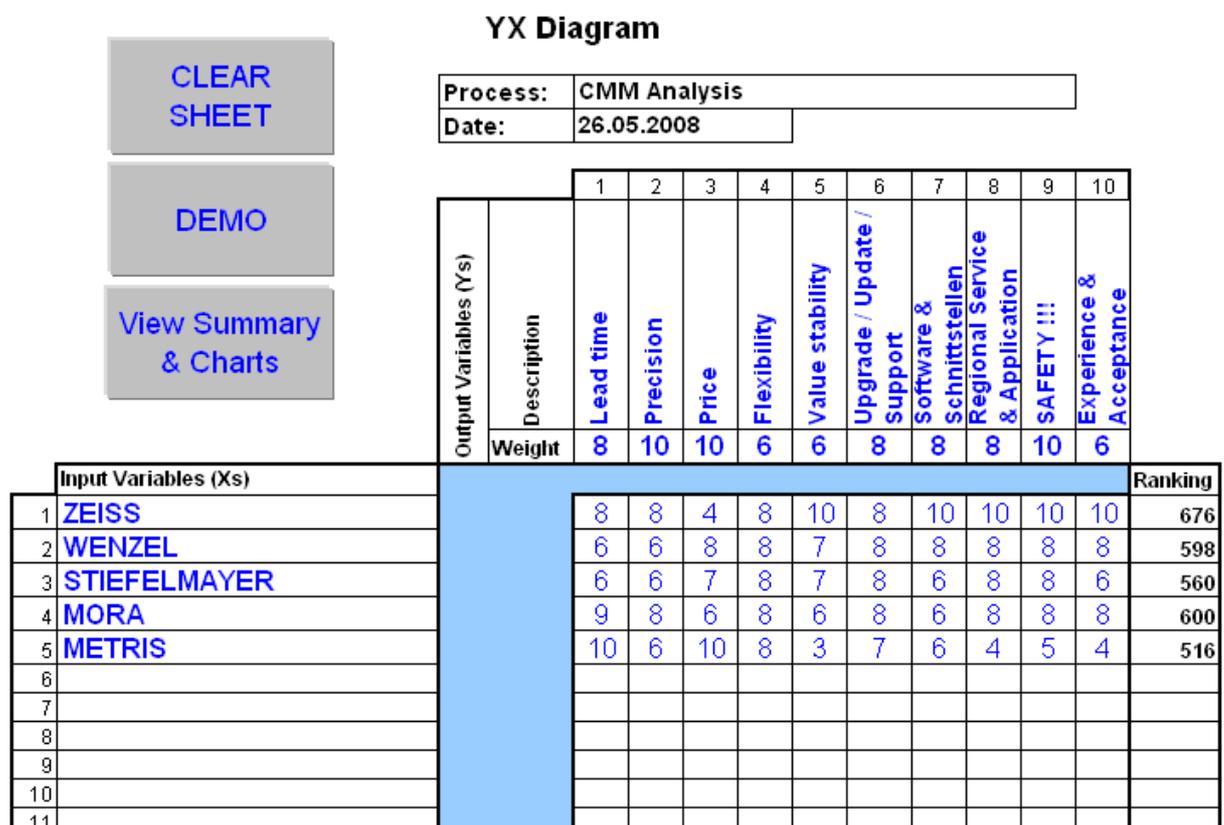


Abb. 12: YX-Diagramm

Quelle: Vgl. TENNECO intern

3.4.2. Auswahl und Bestellung der Maschine

Im Ergebnis der YX-Analyse hat sich die mit dem Projekt der Anschaffung des neuen Messsystems betraute Leitung für die **Messständermaschine** von der Firma Carl Zeiss entschieden (Auslegerbauart).

Die wichtigsten Kriterien waren dabei die Akzeptanz beim Kunden sowie die hervorragenden Servicequalitäten von Zeiss. Die Nähe des Unternehmens mit der Firmenniederlassung in Jena wird ebenfalls als Vorteil gesehen. Durch die langjährige Produktion von Messsystemen und dem damit verbundenen Erfolg der Firma Zeiss bietet sie ein breites Spektrum von Zusatzgeräten, die zu großen Teilen miteinander kompatibel sind.

Aufgrund der Größe des weltweit agierenden Konzerns, gibt es lange Entscheidungswege. Um jedoch den Liefertermin einhalten zu können, trifft in solchen Fällen die damit betraute Leitung in Zwickau eine vorläufige Kaufentscheidung. Der „*letter of intent*“ enthält die dafür notwendigen vertraglichen Vereinbarungen. Er versichert dem Lieferanten die Bestellung. Sollte es aus unerwartenden Gründen zu einer Stornierung kommen, ist die dafür im „*letter of intent*“ festgelegte Sanktion zu entrichten.

3.5. Installation der Maschine

Die Installation der Messmaschine erfolgt von Carl Zeiss selbst, allerdings wird eine beidseitige Abnahme vorausgesetzt. Unmittelbar nach der Installation werden die Rahmenbedingungen für eine mögliche Zertifizierung geprüft. Der Bau eines klimatisierten Messraums optimiert die Messbedingungen.

3.6. Arbeiten vor dem Liefertermin für Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH

Die Lieferzeit der Ständermessmaschine der Firma Zeiss beträgt sechs Monate. Es bleibt nach der Bestellung noch Zeit um eventuell notwendige Vorbereitungen treffen zu können. Diese Vorbereitungen betreffen beispielsweise den Bau eines klimatisierten Messraums. Durch ihn ist es möglich, eine konstante Temperatur zu gewährleisten.

Weitere Vorbereitungen umfassen die Stromversorgung, die Anbindung an das EDV-System sowie die Vorinstallation der Druckluft und die Prüfung des Fundaments.

Darüber hinaus wurde der Platzbedarf mit dem Hallenlayout abgestimmt. Ein Grundriss des Hallenlayouts wird in Anlage 4 dargestellt. Die begrenzten Möglichkeiten die Maschine in die Halle zu integrieren, erforderten Anpassungsarbeiten und Veränderungen am Hallenlayout. Die Demontage einer bestehenden Kranbahn ist notwendig.

3.6.1. Schulungen von Zeiss

Um einen bestmöglichen Arbeitsbeginn mit dem neuen Messsystem zu gewährleisten, wurden im Umfang von zwei Wochen praxisorientierte Schulungen von der Firma Zeiss, insbesondere für firmeninterne bzw. firmenspezifische Anforderungen durchgeführt. Dabei wurden sechs Mitarbeiter der Firma TENNECO für den Umgang mit der Messmaschine qualifiziert. Diese Schulungen fanden direkt am Standort in Zwickau statt. Die Schulung der Mitarbeiter zielte unter anderem auf die Serienmessungen und die damit verbundene Ermittlung der Prozessfähigkeit der Messstücke ab.

3.6.2. Energieversorgung installieren

Aus den Unterlagen der Messmaschine gehen die genauen Pläne für die Kabelverlegung hervor. Die Maschine selbst benötigt eine 25 A abgesicherte Stromversorgung. 16 A werden für die PC-Station benötigt. Des Weiteren sind Wartungsleisten im Messraum von Vorteil. Sie ermöglichen gegebenenfalls eine Erweiterung für EDV-Anschlüsse oder die weitere Energieversorgung. Das Netzwerk und weitere Steckdosen können mit einer üblichen Wartungsleiste sauber und technisch einfach realisiert werden.

Die Vorbereitung der Elektroinstallation wurde von Werkselektrikern in Zusammenarbeit mit dem Messmaschinen- und Messraumhersteller durchgeführt. Die Beleuchtung des Messraums wurde vom Messraumhersteller installiert. Die Komprimierung der Aufträge auf Generalunternehmen kann eine Kostenersparnis ermöglichen. Später auftretende Garantieansprüche werden so auf weniger Ansprechpartner reduziert. Der Aufwand für TENNECO/Gillet Abgassysteme wird geringer.

Eine gestellte Wartungseinheit für die Druckluft wird von der Firma Zeiss gefordert. Sie hat die Aufgabe die Druckluft zu filtern, die unter anderem den Anforderungen an den Feuchtegehalt, den Ölgehalt und der Reinheit der Druckluft gerecht werden

muss. Die Maschine benötigt einen Druckluftarbeitsanschluss um die Messtastköpfe zu wechseln. Ein weiterer Druckluftanschluss für pneumatische Geräte ist empfehlenswert.

3.6.3. Fundamentvorbereitung

Das Fundament hat die Aufgabe einen geeigneten und sicheren Aufstellort für die Maschine zu gewährleisten. Es soll eine gleichmäßige Einleitung der Last in den Boden ermöglichen. Diese Aufgaben des Fundaments sind bei eigensteifigen Maschinen ausreichend. Das heißt die Konstruktion der Maschine ist so stabil, dass eine Verwindung bei ungleicher Belastung der Füße von der Konstruktion selbst getragen wird. Für den Fall der zu geringen Eigensteifigkeit der Maschinenkonstruktion gelten andere Anforderungen an das Fundament. Für diesen Fall muss das Fundament so gestaltet sein, dass die von der Maschine und den Bearbeitungskräften auftretenden Belastungen aufgenommen werden. Unzulässige Verformungen der Maschinenkonstruktion dürfen nicht entstehen. Die notwendige Steifigkeit wird also für den zweiten Fall erst durch das Zusammenwirken von Maschinenbett und Fundament erreicht. Der übliche Werkstoff für Fundamente ist Stahlbeton. Falls die Anwendung eines Fundaments durch dynamische Gesichtspunkte begleitet ist, spielt die Masse des Fundaments als Schwingungsdämpfer eine wesentliche Rolle. Je größer die Masse des Fundaments ist, desto stärker werden Schwingungen absorbiert.⁴²

Laut Herstellerangaben ist der Wert für die Bettung der Maschine von 10 MN/m³ (Stahlbeton des Fundaments) bindend. Bei Anlagen mit mehr als drei Stützelementen darf die Verformung des Fundaments, bei voller Belastung der Anlage, nicht mehr als zwei Winkelsekunden betragen (Zeiss)⁴³.

Wie schon in Gliederungspunkt 3.6 erwähnt, befindet sich unmittelbar am Aufstellort der Maschine eine Kranbahn.

⁴² Vgl. Weck, M., Brecher, C. (2006), Werkzeugmaschinen- Konstruktion und Berechnung, http://books.google.de/books?id=uhwu6W4HYwUC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=fundament+f%C3%BCr+werkzeugmaschinen&source=bl&ots=lgQWzeEMK6&sig=aQzVvQl1aXAP8uSWFeoiWbBmlKQ&hl=de&ei=oKCtSeLQFoGk0AWw4-S7BQ&sa=X&oi=book_result&resnum=4&ct=result#PPA176,M1; Stand: 07.03.2009.

⁴³ Vgl. Allgemeines Datenblatt Zeiss

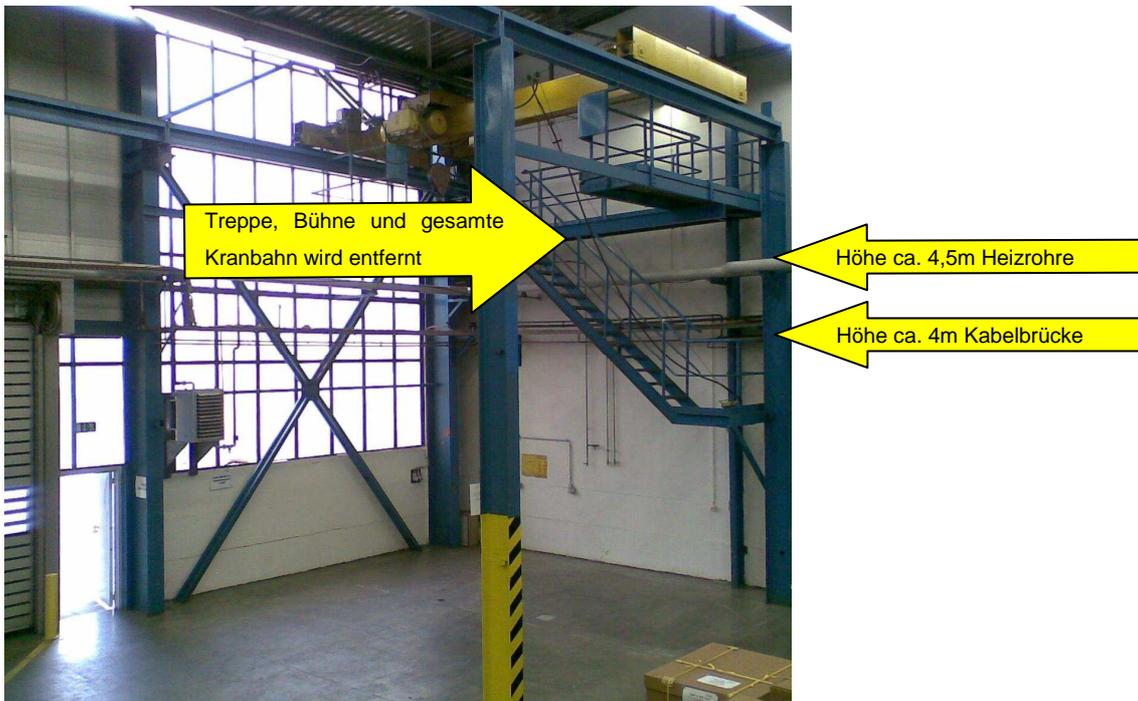


Abb. 13: Kranbahn alt

Quelle: Vgl. TENNECO intern

Die Kranbahn wird aus Platzgründen entfernt. Für die DDR Standardwerkshalle waren keine Baupläne vorhanden. Absprachen mit Werkkollegen, die schon über 20 Jahre bei TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH früher HAZET zugehörig sind und Rücksprachen mit dem Architekturbüro, brachten den Entschluss, das bestehende Fundament, von ca. 60 cm Stahlbetonbodenplatten, zu nutzen. Die praktische Prüfung für die Tauglichkeit des Fundaments erfolgte durch eine Schwingungsprüfung. In Absprache mit den verantwortlichen Personen firmenintern sowie mit dem projektvertrauten Mitarbeiter der Firma Zeiss wurde durch Zuhilfenahme mehrerer Flüssigkeitsbehälter das Fundament auf Schwingungen geprüft. Durch diese einfache Variante ist es möglich, bei kleinsten Veränderungen der im Ausgangszustand ruhigen Flüssigkeitsoberfläche Schwingungen nachzuweisen. Durch absichtlich eingeleitete Schwingungen auf das Fundament, durch in unmittelbarer Nähe vorbeifahrender LKWs und schwerer Kabelstapler, ergab sich eine völlig neutrale Reaktion des Fundaments.

Wie schon im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, lässt sich aufgrund der absorbierenden Schwingung des Fundaments auf seine Masse schließen.

Die positive Probe der Schwingungsprüfung und das solide ausgelegte Fundament, aufgrund der alten Kranbahn, begründen die Verwendung des vorhandenen Fundaments.

3.6.4. Messraum installieren

Im Zusammenhang mit der Anschaffung eines neuen Messsystems stellt sich die Frage einer damit verbundenen Installation eines Messraums. Messräume werden in Güteklassen nach VDI 2627 klassifiziert. In den jeweiligen Güteklassen stehen unter anderem Kennzahlen und Grundlagen, die für die Planung und Installation eines Messraums erforderlich sind. So werden beispielsweise Kennzahlen für die Klimatisierung des Messraums festgelegt.⁴⁴ Die Forderung der Firma Gillet für den Messraum ist die Erfüllung der Güteklasse 4.

Um das einwandfreie Arbeiten des Bedieners und die damit verbundene Genauigkeit der Messmaschine zu gewährleisten, müssen bestimmte Bedingungen, die durch einen Messraum begünstigt oder überhaupt erst erreicht werden, erfüllt sein. Es ist im industriellen Bereich in den meisten Anwendungsfällen aus Gründen des Lärmschutzes, der Klimatisierung und der Sauberkeit, ein Messraum erforderlich. Das Luftvolumen, welches unmittelbar das Messsystem umgibt, sollte weitestgehend konstant sein. Des Weiteren darf die Maschine nicht der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sein. Es sollte darauf geachtet werden, dass sich keine Wärmequellen in unmittelbarer Nähe der Maschine befinden. Ist dies dennoch der Fall, zum Beispiel bei Lichtquellen, werden sie für die Berechnung der Temperaturregelung mit einbezogen. Direkte Sonneneinstrahlung kann ebenfalls zu ungünstigen Temperaturschwankungen führen. Die Messmaschine muss in einem ausreichenden Abstand zu Schweißanlagen aufgestellt werden, um den Schutz vor elektromagnetischer Einstrahlung zu gewährleisten.⁴⁵ Alle Installationen, die durch den Messraum neu entstehen, werden unter Einhaltung der UVV/CE⁴⁶-Konformität getätigt.

⁴⁴ Vgl. (o.V.), (o.J.), Messräume-Klassifizierung und Kenngrößen-Planung und Ausführung, Richtlinie VDI/VDE 2627 Blatt 1, [http://www.vdi.de/index.php?id=6390&tx_ttnews\[tt_news\]=26093&no_cache=1](http://www.vdi.de/index.php?id=6390&tx_ttnews[tt_news]=26093&no_cache=1); Stand: 22.04.2009.

⁴⁵ Vgl. Allgemeine Informationen von Zeiss

⁴⁶ Unter UVV/CE sind sinngemäß geprüfte Unfallverhütungsvorschriften zu verstehen.

Einige dieser Installationen und die Gründe für ihre Notwendigkeit werden im Folgenden kurz erläutert.

3.6.4.1. Lagerbühne

Während der Planung des Messraums stellte sich die Frage der zusätzlichen Installation einer Bühne. Diese sollte die zweite Etage des Messraums bilden. Die Vorteile liegen in der besseren Raumausnutzung und den kürzeren Transportwegen für gelagerte Gegenstände, die unmittelbar für das Messsystem erforderlich sind. Beispielsweise sei hier eine Kranbahn genannt. Für die Installation der Kranbahn ist eine vorhandene Bühne ebenfalls von Vorteil, da durch die stabile Deckenkonstruktion ein leichter Kran ohne erheblichen Zusatzaufwand zu installieren ist. Der Grundriss des Messraums soll ca. 8 x 8 m betragen. So würden für eine Lagerbühne ca. 64 m² zur Verfügung stehen. Die relativ gering gewünschte Flächenbelastung von maximal 200 kg/m² wird als ausreichend betrachtet. Es könnte demzufolge die gesamte Fläche von 64 m² mit 12.800 kg rein statisch belastet werden. Nähere Berechnungen hinsichtlich der baulichen Konstruktion dürfen aus rechtlichen Gründen ausschließlich von einem geprüften Ingenieur für Bauwesen genehmigt werden. Auf die dafür genau festgelegten Richtlinien wird aufgrund des begrenzten Umfangs der Technikerarbeit nicht eingegangen.

In Zusammenarbeit mit Messraumherstellern wurden Berechnungen für die bauliche Konstruktion der Lagerbühne erstellt. Dabei ergab sich für eine Belastung von 12.800 kg, die ausschließlich an den vier Eckenpunkten des Messraums eingeleitet werden, die Notwendigkeit einer relativ starken Stahlkonstruktion, die die Belastung trägt. Die Stahlkonstruktion und der zusätzlich verstärkte Boden für die Bühne verdoppeln den Anschaffungspreis des Messraums. Aus wirtschaftlicher Sicht wird deshalb von der Geschäftsleitung die Variante mit Bühne abgelehnt.

3.6.4.2. Brandschutz

Brandgefahren gibt es in fast allen Betrieben. Damit die Brandgefahr verringert bzw. komplett ausgeschlossen werden kann, sind vorbeugend bei neuen Baumaßnahmen den Anforderungen an den Brandschutz besondere Bedeutung beizumessen.

Die Brandschutzanforderungen werden im Unternehmen hoch angesetzt. Der Grund ist die erhöhte Brandgefahr, die aus der Verwendung der Schweißanlagen hervorgeht. Weiterhin werden die Richtlinien für Schweißfachbetriebe sehr genau in der Arbeitsstättenverordnung und in der Gebäudeversicherung festgelegt. Sind diese geltenden Vorschriften für die Sicherheit im Unternehmen nicht ausreichend sicher bestimmt und übersteigen die Sicherheitsanforderungen des amerikanischen Mutterkonzerns die deutschen Anforderungen, so gelten die deutschen Anforderungen und zusätzlich die amerikanischen Sicherheitsbestimmungen.

Die Auswahl der Messraumanbieter reduzierte sich stark durch das Kriterium der Verwendung von A1-Material für den gesamten Messraum. A1-Materialien besitzen die Eigenschaft, nicht brennbar zu sein. Genauere Erklärungen sind in der DIN 4102 festgelegt. Probleme für die Verwendung von Materialien der Brandschutzklasse A1 entstehen besonders im Torbereich sowie in der Deckengestaltung.

3.6.4.3. Eingangstor

Für den Eingangsbereich ist es wichtig, alle zu messenden Teile bequem und ohne Transportschäden in den Messraum zu bringen. Bei der Installation des Eingangsbereiches gibt es mehrere Varianten. Es gilt, die Auswahl zwischen einem Flügeltor, einem breiten Rolltor oder einem Schiebetor mit einzelnen Klappsegmenten zu treffen. Der Angebotsvergleich bei einer geplanten Torbreite von ca. 3 m ergab eine eindeutige Entscheidung. Das relativ breite Rolltor sowie das Schiebetor heben sich preislich eindeutig vom soliden Flügeltor ab, was nicht ausschließlich durch die einfachere Bauweise zu begründen ist.

3.6.4.4. Kranbahn

Perspektivisch gesehen ist ein kleiner Lastenkrane im Messraum von Vorteil. Er dient sowohl zum problemlosen Heben von schweren Messstücken, zum Beispiel Schalldämpfer großer Nutzfahrzeuge, als auch für die Umrüstung der Messmaschine. Zum Beispiel bei der Verwendung von Prüflehren als Messvorrichtung könnte er nützlich sein. Um bautechnisch die Konstruktion der Kranbahn im Rahmen zu halten, akzeptable Kosten zu erreichen und die Hauptverwendung des Kranes nicht einzuschränken, deckt der Kran die Breite der Eingangstür ab. Es ist so möglich, schwere Teile

mit dem Hubwagen bis in den Messraum zu transportieren und von dort mittels des Krans an die gewünschte Stelle des Messtisches zu heben. Die einfache Baukonstruktion des Krans sieht wie folgt aus:

Es befinden sich insgesamt drei Stützpfeiler links und rechts direkt an der Eingangstürzarge (in der Abbildung nicht ersichtlich) und gegenüber des Eingangs an der Wand. An dem Stützpfeiler ist ein Querträger befestigt. Zwei Längsträger, an denen der Querarm des Krans später befestigt wird, liegen auf dem Querträger, der parallel zur Wand verläuft, auf. Dynamische Belastungen und die Seitenführungskräfte werden von diesem Querträger und indirekt auch von der Stütze der alten Kranbahn getragen. Der zusätzliche Aufwand der Kranbahn obliegt komplett dem Messraumhersteller.

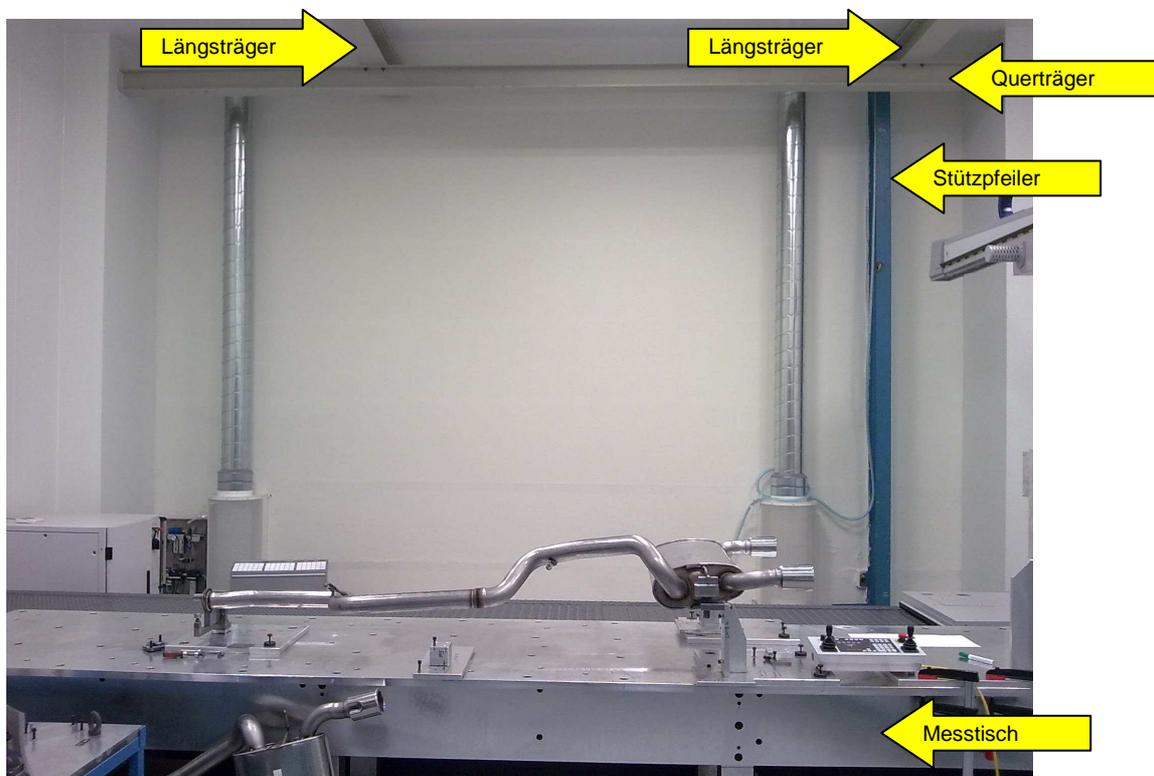


Abb. 14: Stahlkonstruktion kleiner Lastenkrans

Quelle: Vgl. TENNECO intern

Die folgende Abbildung zeigt das Modell eines Lastenkrans. Die dafür notwendige Stahlkonstruktion ist wie oben bereits erläutert vorhanden. Der Querträger, an dem der Kran direkt befestigt wird, ist in der Abbildung 14 und 15 nicht zu sehen. Der Lastenkrans selbst wird noch angebracht. Er hebt min. 200 kg.



Abb. 15: Modell Kranbahn neu

Quelle: Vgl. (o.V.), (o.J.), Elektrokettenzug Typ 620, <http://www.carlstahl.de/>; Stand: 02.05.2009.

3.6.4.5. Klimatisierung

Die Klimatechnik hat speziell für die Anwendung der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH im Messraum das Ziel, die Raumluft hinsichtlich der Temperatur innerhalb bestimmter Grenzen zu halten. Für die allgemeine Anwendung der Klimatechnik ist es möglich, zusätzlich neben der Temperatur, die Reinheit und die Feuchte der Raumluft zu regulieren.⁴⁷

Die Genauigkeit der Messmaschine hängt unter anderem von der Raumlufttemperatur ab. Die Feuchtigkeit und Reinheit spielen bezugnehmend auf die Genauigkeit der Messmaschine eine untergeordnete Rolle. In der Praxis wird unterschieden zwischen Klimageräten und Kältesplitgeräten. Während Kältesplitgeräte den Feuchtgehalt und die Reinheit der Raumluft vernachlässigen, wird bei Klimageräten die Feuchtigkeit und Reinheit der Raumluft auch reguliert. Bei der Raumluftkühlung gibt es ebenfalls verschiedene Möglichkeiten. Sie wird unterschieden in Außenluftkühlung, Umluftkühlung und Mischluftkühlung. Auf die möglichen Auswahlvarianten wird nicht näher eingegangen. Obgleich auf welche Variante der Luftkühlung die Entscheidung fällt, ist darauf zu achten, dass bei der Luftkühlung des Messraums verschiedene Temperaturzonen entstehen. Besonders durch die relativ große Raumhöhe von größer 4 m steigt die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe. Um den Anforderungen des Maschinenherstellers gerecht zu werden, reicht es nicht aus zum Beispiel nur einen

⁴⁷ Vgl. Recknagel, H., Sprenger, E., Hönnmann, W. (1992), Schramek, E.-R. (Hrsg.), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik, Oldenbourg, 66. Auflage, München 1992, S. 919.

Quellluftauslass im Deckenbereich zu installieren. Zu wenige Quellluftauslässe für eine Raumgröße von 8 m x 8 m x 4,5 m würden zu einer zu starken Belastung des einzelnen Quellluftauslasses führen. Das heißt es müsste je nach Temperaturschwankung im Messraum ein stark abgekühlter oder erwärmter Volumenstrom durch den einzelnen Quellluftauslass strömen. Dies führt zu punktuellen Temperaturschwankungen im Messraum selbst. Es könnte die Maschine oder der Messtechniker mit kalter oder warmer Luft gestört werden. Ein gleichmäßiges Raumklima wird durch mehrere Quellluftauslässe erreicht.⁴⁸

Speziell für die o.g. Raumgröße wurden vier Quellluftauslässe gleichmäßig in der Nähe der Raumecken installiert. Die Klimatisierung, ein kontinuierliches Raumklima und die damit verbundene optimale Funktion der Messmaschine tragen zur Zertifizierung des ganzen Messsystems bei.

Die firmeninterne Forderung an den Messraum sollte der Güteklasse 4 entsprechen, die nach VDI 26/27 festgelegt ist. Speziell für Messaufgaben, bei denen die physikalische Größe Länge ermittelt werden soll, stellt die konstante Temperatur die erste Priorität dar. Ein Probelauf, bei dem die Temperatur über 3 Tage mit mehreren zertifizierten Thermometern an genau definierten Punkten gemessen wurde, ergab ein positives Ergebnis. Die Richtlinien nach VDI 26/27, Güteklasse 4 wurden erfüllt.

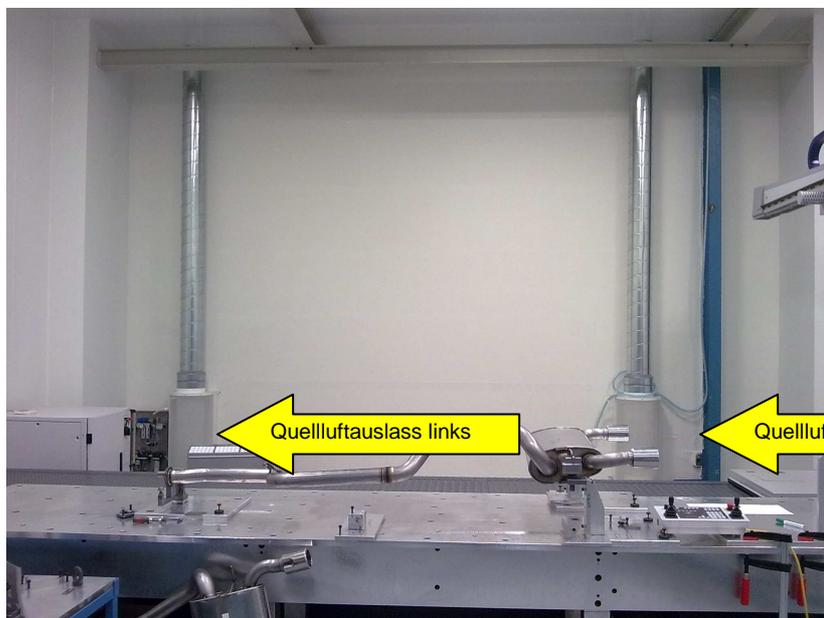


Abb. 16: Quellluftauslässe

Quelle: Vgl. TENNECO intern

⁴⁸ Vgl. Recknagel, H., Sprenger, E., Hönnmann, W. (1992), Schramek, E.-R. (Hrsg.), a.a.O., S. 919.

4. Fazit und Ausblick

4.1. Ablaufplan im Rückblick

Die Koordinierung der Termineinhaltung für das gesamte Projekt benötigte eine gründliche Planung. Der gesamte Prozess von der Planung zur Anschaffung des neuen Messsystems über die Auswahl des am besten geeigneten Verfahrens bis hin zur endgültigen Installation der Messmaschine nahm etwa 8 Monate in Anspruch.

Anlage 5 zeigt den vorgesehenen Ablaufplan sowie die dafür erforderliche Zeitananspruchnahme.

In KW 20 im Mai 2008 begann man zunächst damit, sich erste Angebote von Messmaschinenherstellern einzuholen und diese zur Entscheidungsvorbereitung zu bewerten. Im darauf folgenden Monat wurden Vorbereitungen für die Genehmigung des Investitionsvorhabens (CAR⁴⁹) durchgeführt.

Da die Frage nach einem eventuell zusätzlich zu installierenden Messraum schnell beantwortet werden konnte, war man von ca. Mitte Juli bis Mitte August damit beschäftigt, sich weitere Angebote für den Messraum einzuholen und diese ebenfalls bereits zu bewerten. Gleichzeitig wurden von KW 32 bis KW 35 das Layout für den Messraum bereitgestellt und die dafür notwendige Genehmigung „GO“ beschafft. Darüber hinaus erfolgte in dieser Zeit auch die Bestellung des Messraums. Anschließend wurde die Installation des Messraums durch eine Fremdfirma durchgeführt. Aufgrund der Lieferzeit konnte die Installation erst Ende Oktober in KW 44 abgeschlossen werden. Annähernd zeitgleich wurde von KW 35 bis KW 37 die Halle zum Abbau der vorhandenen Krananlage vorbereitet und der Messraum endgültig eingebaut. Im Anschluss daran erfolgte die Demontage der alten Krananlage Mitte des Monats September. Bis KW 44 bzw. KW 47 wurden Schulungen des firmeninternen Personals durchgeführt.

In KW 45 und KW 46 erfolgte die Anlieferung der Carl Zeiss Maschine und es wurde mit der Installation der Messmaschine begonnen. Schließlich wurde sie in KW 46 endgültig in Betrieb genommen. Im Dezember konnten erste Messaufgaben in der „Launch Factory“ absolviert werden.

⁴⁹ CAR bedeutet „capital approval request“ und meint den Investitionsantrag.

4.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Den Vorteilen der Koordinatenmesstechnik stehen häufig deren höhere Anschaffungskosten im Vergleich zu den konventionellen Mess- und Prüfmitteln entgegen. Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen, bieten sich zwei unterschiedliche Bewertungsgrundlagen an. Qualitative Bewertungskriterien werden immer dann herangezogen, wenn die bisher eingesetzten Methoden nicht mehr ausreichen und daher neue Verfahren eingesetzt werden müssen. Sie berücksichtigen bspw. folgende Gesichtspunkte:

Durch den Einsatz der Koordinatenmesstechnik wird auch die Anwendung neuer Technologien in Konstruktion oder Fertigungsverfahren ermöglicht. Darüber hinaus kann der Einsatz eines Koordinatenmessgerätes zu einer Imageverbesserung des Lieferanten durch die Sicherung von Qualitätslieferungen führen. Generell wird das Qualitätsbewusstsein im Unternehmen gefördert, da Zusammenhänge, Möglichkeiten und Grenzen für alle Beteiligten transparenter werden.⁵⁰

Neben diesen qualitativen Kriterien stehen insbesondere für die Durchführung einer Amortisationsrechnung quantitative Kriterien zur Verfügung. Zum Beispiel können durch ein geeignetes Koordinatenmessgerät mehrere, eventuell nicht ausreichende Einzweckmessgeräte ersetzt werden (Lehrenprüfgeräte, Längenmessgeräte). Aufgrund deutlich kürzerer Messzeiten können zudem die Messkosten gesenkt werden. Des Weiteren werden durch rechtzeitiges und genaues Messen die Nacharbeits- und Ausschusskosten reduziert, was der Gefahr von Rücklieferungen oder drohendem Auftragsverlust entgegenwirkt.⁵¹

Im Rahmen von Investitionen soll die momentane wirtschaftliche Situation eines Unternehmens verbessert werden. Ziel einer jeden Investition sollte es daher sein, das eingesetzte Kapital durch Kosteneinsparungen so schnell wie möglich wieder zu erwirtschaften.⁵² Dabei lautet der Grundsatz: „Je kürzer die Amortisationszeit [...] ausfällt, desto wirtschaftlicher ist die Investition.“⁵³

⁵⁰ Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 119f.

⁵¹ Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 120ff.

⁵² Vgl. Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 122.

⁵³ Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), a.a.O., S. 122.

Das Investitionsvolumen für die Messmaschine beträgt netto 202.000 Euro⁵⁴. Sie wird über eine Nutzungsdauer von zehn Jahren linear abgeschrieben.

Auf eine Amortisationsrechnung wird an dieser Stelle verzichtet, da für die Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH die wirtschaftliche Auslastung der Messmaschine wesentlich wichtiger war.

Anlage 6 zeigt eine beispielhafte Kalkulation für die komplette Auslastung des Mess-equipments. In der vorliegenden Kalkulation wurde ein einfaches Abgassystem (Projekt 1) mit einem doppelflutigem Abgassystem (Projekt 2) verglichen. Mit der bei TENNECO vorhandenen Messtechnik waren für 50 zu messende Teile bei Projekt 1 270,6 Stunden und bei Projekt 2 376,2 Stunden notwendig. Die neue Stundenzahl wurde ermittelt, in dem den verschiedenen Komponenten der Abgassysteme zum Messen notwendige Zeitdauern zugeordnet wurden. Dabei wurde unterschieden in variable und fixe Zeiten. Variable Zeiten verändern sich mit der zu messenden Anzahl von Komponenten, während fixe Zeiten konstant bleiben, unabhängig davon, wie viele Komponenten gemessen werden. Im Ergebnis der Kalkulation wurde deutlich, dass die Messzeit bei Projekt 1 auf 123 Stunden und bei Projekt 2 auf 171 Stunden reduziert werden könnte. Bei beiden Projekten konnte wie in Abbildung 17 ersichtlich über 50 % variable Zeit eingespart werden.

	Messzeit (in Std.) alt	Messzeit (in Std.) neu	Differenz
Projekt 1	270,6	123	147,6
Projekt 2	376,2	171	205,2

Abb. 17: Zeiteinsparung durch das neue Messsystem

Quelle: eigene Darstellung

In Zusammenhang mit der kalkulierten Zeiteinsparung reduzieren sich die Personalkosten für einen Messtechniker. Mit Hilfe der neuen Messtechnik kann dessen Arbeitsleistung bei 50 zu messenden Komponenten um 18,3 Stunden verringert werden. Bei einem kalkulatorischen Stundensatz von 32 Euro/Stunde beträgt die Einsparung 586,7 Euro. Bei jährlich 4.860 zu messenden Komponenten ergeben sich 57.024 Euro weniger Personalkosten.

⁵⁴ Aus Geheimhaltungsgründen wird hier nicht der real gezahlte Kaufpreis genannt.

Komponenten (Stckz.)	Std.-lohn (in €/Std.)	Einsparung (in Std.)	Einsparung (in €)
50	32	18,33	586,7
4.860	32	1.782	57.024

Abb. 18: Personalkosteneinsparung durch das neue Messsystem

Quelle: eigene Darstellung

Ein Hauptanliegen der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH war die Realisierung der Prozessfähigkeit, das heißt die bestmögliche Erfüllung des CPK-Wertes. Vor der Anschaffung der Messmaschine wurde dieser Wert manuell und nur unter erheblichem Zeitaufwand gemessen. Die Messung des CPK-Wertes kann nun mit Hilfe des Messsystems in wesentlich kürzerer Zeit automatisiert durchgeführt werden.

Die potenzielle jährliche Auslastung der Maschine beträgt 3.168 Stunden. In Anbetracht aller derzeit vorhandenen Projekte wäre sie 2.547 Stunden im Einsatz. Daraus ergibt sich eine jährliche Auslastung von 80%. Bei einer derart hohen Auslastung geht man davon aus, dass sich die Investition in das neue Messsystem in ca. 0,2 Jahren amortisiert hat.⁵⁵

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass bereits im ersten Jahr nach der Anschaffung des neuen Messsystems eine erhebliche Kosteneinsparung möglich wird. Bei einer zukünftigen Auslastung von 80% besteht langfristig weiteres Einsparungspotenzial.

Aus Geheimhaltungsgründen wurden hinsichtlich des großen Wettbewerbsdrucks unter Automobilzulieferern fiktive Werte für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung herangezogen.

⁵⁵ Vgl. TENNECO intern

4.3. Zusammenfassung

Die Gesamtbetrachtung der Vorgehensweise für die Neuanschaffung eines Messsystems ist in jedem Fall sehr komplex. Es ist ein Projekt, das kein zweites Mal zu gleichen Bedingungen wiederholt werden kann. Es gibt deshalb keine Musterlösung, es lassen sich jedoch aus den gemachten Erfahrungen, Hinweise für zukünftige Projekte ableiten. Bei der Planung und Installation einer Messmaschine sollte so frühzeitig wie möglich mit der gesamten Projektplanung begonnen werden. Des Weiteren ist es notwendig, alle in Frage kommenden Bereiche, die das Projekt Messsystem betreffen, in ihrer Gesamtheit in die Betrachtungen einzubeziehen.

Häufig stellt sich erst im Nachhinein heraus, dass Arbeiten, die zwar nicht zwingend erforderlich waren, jedoch zur kompletten Gestaltung des Projekts beigetragen hätten, nicht durchgeführt wurden. Nachträgliche Arbeiten sind mit einem höheren Aufwand verbunden und dadurch immer kostenintensiver. Zum Beispiel wäre die Installation eines Messraums im Nachhinein schwieriger, denn die hochwertige und kalibrierte Messmaschine darf dabei nicht beschädigt werden. Eine Maschinenumsetzung ist wirtschaftlich inakzeptabel in Bezug auf die Kosten. Auch die nachträgliche Installation einer Klimaanlage in einen bereits vorhandenen Messraum würde sich schwieriger und kostenaufwendiger gestalten als eine direkte Installation zeitgleich mit dem Bau des Messraums.

5. Schlussbemerkungen

Im Rückblick ist die Anschaffung der Ständermessmaschine von Carl Zeiss positiv zu bewerten. Bei konsequenter Nutzung der neuen Möglichkeiten beim Messen von Abgasanlagen können Wettbewerbsvorteile erzielt und dem stetig stärker werdenden Druck durch Konkurrenzunternehmen standgehalten werden. Durch die Anschaffung einer CNC-gesteuerten Koordinatenmessmaschine werden die Ermittlung des CPK-Wertes und die Erfüllung der Kundenanforderungen überhaupt erst realisierbar.

Generell wurde mit der Installation eines kompletten CMM-Messsystems bei der Firma TENNECO/Gillet Abgassysteme Zwickau GmbH ein wichtiger Meilenstein für die weitere Unternehmensentwicklung gesetzt. Die strategische Vorgehensweise war erfolgreich und lässt sich auf ähnliche Projekte übertragen. In der Tat werden Folgeprojekte der TENNECO Gruppe bspw. in Tschechien oder in Russland mit Hilfe der vorliegenden Technikerarbeit gut unterstützt.

Anlagen

Literaturverzeichnis

Bücher

Breuckmann, B. (1993), Bildverarbeitung und optische Meßtechnik in der industriellen Praxis, Franzis- Verlag, München 1993.

Christoph, R., Neumann, H.J. (2006), Multisensor- Koordinatenmesstechnik, Maß-, Form-, Lage- und Rauheitsmessung- optisch, taktil und röntgentomografisch, verlag moderne industrie, Die Bibliothek der Technik Band 248, 3. Auflage, München 2006.

Götze, U. (2000), Lebenszykluskosten, in: Fischer, T.M. (Hrsg.), Kostencontrolling- Neue Methoden und Inhalte, Stuttgart 2000.

Hoffmann, J. (2004), Handbuch der Messtechnik, Hanser, 2. Auflage, München Wien 2004.

Keferstein, C.P., Dutschke, W. (2008), Fertigungsmesstechnik- Praxisorientierte Grundlagen, moderne Messverfahren, Teubner, 6. Auflage, Wiesbaden 2008.

Meffert, H. (2000), Marketing- Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung- Konzepte- Instrumente- Praxisbeispiele, Gabler, 9. Auflage, Wiesbaden 2000.

Neumann, H.J. (2004), Präzisionsmesstechnik in der Fertigung mit Koordinatenmessgeräten- Entwicklung-Normung-Grundlagen-Messunsicherheit- Anwendungserfahrung-Auswahlkriterien-Ausbildung, expert verlag, Band 646, Renningen 2004.

Pfeifer, T. (Hrsg.), (1992), Koordinatenmesstechnik für die Qualitätssicherung, VDI, Düsseldorf 1992.

Pfeifer, T., Imkamp, D. (2004), Koordinatenmesstechnik und CAx- Anwendungen in der Produktion- Grundlagen, Schnittstellen und Integration, Hanser, München Wien 2004.

Profos, P., Pfeifer, T. (Hrsg.), (1994), Handbuch der industriellen Meßtechnik, Oldenbourg, 6. Auflage, München 1994.

Recknagel, H., Sprenger, E., Hönnmann, W. (1992), Schramek, E.-R. (Hrsg.), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kälte-technik, Oldenbourg, 66. Auflage, München 1992.

Riezler, S. (1996), Lebenszyklusrechnung- Instrumente des Controlling strategischer Projekte, Gabler, Wiesbaden 1996.

Weckenmann, A., Gawande, B. (1999), Koordinatenmeßtechnik- Flexible Meßstrategien für Maß, Form und Lage, Hanser, München Wien 1999.

Internet

Hansen, W., Heinzemann, F., Düvel, E. (2001), Anfahren der Stiefelmayer Koordinatenmessmaschine MZ 1050, Projektarbeit im Fach Messtechnik, Adolf-Kolping-Schule Lohne Fachschule Kunststofftechnik, http://www.berufsschule-lohne.de/3D_Anfahren.PDF; Stand: 22.04.2009.

Malerczyk, C., Lutz, M., (o.J.), Glockenkurve und Normalverteilung, <http://www.fh-friedberg.de/users/mlutz/JavaKurs/applets/GaussFit/GaussIndex.htm>, Stand: 21.03.2009.

Weck, M., Brecher, C. (2006), Werkzeugmaschinen- Konstruktion und Berechnung, http://books.google.de/books?id=uhwu6W4HYwUC&pg=PA175&lpg=PA175&dq=funda-ment+f%C3%BCr+werkzeugmaschinen&source=bl&ots=lgQWzeEMK6&sig=aQzVvQl1aXAP8uSWFeoiWbBmlKQ&hl=de&ei=oKcTSeLQFoGk0AWw4-S7BQ&sa=X&oi=book_result&resnum=4&ct=result#PPA176,M1; Stand: 07.03.2009.

(o.V.), (o.J.), Abteilung 5, Fertigungsmesstechnik, <http://www.ptb.de/de/org/5/index.htm>; Stand: 14.03.2009.

(o.V.), (o.J.), Elektrokettenzug Typ 620, <http://www.carlstahl.de/>; Stand: 02.05.2009.

(o.V.), (o.J.), Entfernungsmessung, <http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsmessung>;
Stand: 21.03.2009.

(o.V.), (o.J.), Horizontal-Arm Messgeräte, PRO compact, PRO T compact,
<http://www.zeiss.de/pro>; Stand: 22.04.2009.

(o.V.), (o.J.), Kano-Modell, <http://de.wikipedia.org/wiki/Kano-Modell>; Stand:
07.03.2009.

(o.V.), (o.J.), Messräume-Klassifizierung und Kenngrößen-Planung und Ausführung,
Richtlinie VDI/VDE 2627 Blatt 1,
[http://www.vdi.de/index.php?id=6390&tx_ttnews\[tt_news\]=26093&no_cache=1](http://www.vdi.de/index.php?id=6390&tx_ttnews[tt_news]=26093&no_cache=1);
Stand: 22.04.2009.

(o.V.), (o.J.), Messung,
http://de.wikipedia.org/wiki/Messbare_Gr%C3%B6%C3%9Fe#Direkte_und_indirekte_Messung;
Stand: 14.03.2009.

(o.V.), (o.J.), 1. Six Sigma, http://www-classic.uni-graz.at/inmwww/NEU/lehre/pdf/Muench_Six_Sigma.pdf; Stand: 22.04.2009.

Sonstige

Allgemeines Datenblatt Zeiss

Allgemeine Informationen von Zeiss

TENNECO intern

Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Die Zustimmung des Unternehmens zur Verwendung betrieblicher Unterlagen habe ich eingeholt.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder veröffentlicht noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.“

Ort, Datum

Unterschrift