

# Erweitern interaktive Inhalte in Berichtsdiagrammen das Verständnis

Darstellung räumlicher Eigenschaften mit  
SVG Diagrammen.

Masterarbeit

Zur Erlangung des Mastergrades

MSc (GIS)

an der Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Paris-Lodron-Universität Salzburg

Eingereicht von

Jörg Weißer

UNIGIS MSc 2015

GutachterIn:

Ass. Prof. Dr. Gudrun Wallentin

Fachbereich:

Interfakultärer Fachbereich für Geoinformatik - UNIGIS

Salzburg, Mai 2017

---

## Vorwort und Danksagung

Diese Master Thesis entstand im Rahmen meines Master-Fernstudiums „Geographical Information Science & Systems“ beim interfakultären Fachbereich für Geoinformatik der Paris-Lodron-Universität Salzburg. Die Themenfindung dieser Abschlussarbeit beruht auf Fragestellungen meiner beruflichen Praxis. Der Fortschritt in der Generierung von räumlicher Information schreitet schnell voran - das Verständnis komplexer Zusammenhänge und die Erklärung und Ableitung von weiteren Arbeitsschritten ist nicht immer ideal. Die Herangehensweise von Geoinformationssystemen zur Darstellung aus dem Blickwinkel einer industriellen Anwendung beschäftigt mich seit Beginn des Studiums und soll hier ausgearbeitet werden.

Mein Dank gilt vor allem Frau Dr. Gudrun Wallentin, die mich vom ersten Besuchstermin über die Themendefinition bis zur Master Thesis begleitet hat. Zudem dem ganzen Team des UNIGIS Büro in Salzburg. Ein besonderer Dank geht an meiner Lebenspartnerin Veronika Pfeiffer, die mich fachlich und persönlich unermüdlich unterstützt.

## Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen wurde. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'J. Weißer', with a large circular flourish on the left side.

Langenschiltach, im Mai 2017

## Kurzfassung

Bericht-Dokumente haben die Aufgabe, dem Leser Information zu vermitteln. Der Leser nimmt die Information auf und kann durch seine eigene Interpretation mehr fachspezifisches Wissen erlangen. Nachdem immer mehr Dokumente elektronisch - am Rechner, Tablet usw. - gelesen bzw. konsumiert werden, sollte es möglich sein, mehr Information mit zu liefern. Der Nutzer kann darauf interaktiv zugreifen. Dies kann mit Mouse-Over- bzw. Tooltip-Funktionen und durch Anklicken von Objekten geschehen. Die meisten Dokumente sind immer noch an gedruckte Exemplare angelehnt. Der Inhalt ist statisch und nicht immer einfach zu erfassen. Als Vorlage sollen internetbasierte Karten wie Google Earth und ähnliche dienen. Diese Art der Präsentation bzw. zur Verfügung stellen von Information soll anhand Usecase aus der Fertigungsindustrie untersucht werden: die räumlichen Eigenschaften von Geometrien mit Diagrammen werden im Format SVG normgerecht nachempfunden und vor mit weiterführenden Informationsebenen ausgestattet. Eine an die Programmierung anschließende Nutzeranalyse ermittelt die Wirkung auf den User und hilft die Forschungsfrage zu beantworten.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung .....	2
Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit .....	3
Kurzfassung .....	4
Inhaltsverzeichnis .....	5
1. Einführung.....	7
1.1 Ausgangslage .....	7
1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage.....	8
1.3 Lösungsansatz und Struktur der Arbeit .....	10
1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit .....	14
1.5 Stand der Technik.....	20
1.5.1 Fertigungsmesstechnik .....	20
1.5.2 SVG zur Darstellung von Diagrammen .....	26
1.5.3 Dokumente.....	28
1.6 Motivation.....	29
2 Material und Methoden.....	30
2.1 Experteninterview .....	31
2.1.1 Aufbau des Interviewfragebogens.....	32
2.2 Programmierung.....	34
2.2.1 Vorbetrachtung und Parameter der Umsetzung .....	35
2.2.2 Erarbeiten der Grundlagen in SVG .....	38
2.2.3 Datei-Struktur der SVG-Datei .....	49
2.3 Nutzeranalyse.....	54
3 Ergebnisse .....	59
3.1 Experteninterview – Ergebnisse und Auswertung .....	59

---

3.2	SVG-Diagramm - Eingabeparameter und Programmierung .....	65
3.3	Nutzeranalyse - Zusammenfassung und Ergebnisdarstellung .....	66
3.4	Zusammenfassung .....	71
4	Diskussion .....	72
4.1	Diagrammerstellung – Datei .....	73
4.2	Berechnung – Point Processing.....	73
4.3	Client/Server – Lösung.....	74
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	75
	Abbildungsverzeichnisverzeichnis .....	77
	Tabellenverzeichnisverzeichnis .....	78
	Abkürzungsverzeichnis.....	79
	Literatur .....	80
	Internetquellen: .....	83
	Anlagen.....	84
	Fragebogen der Expertenbefragung.....	84
	Ausgewählte Code-Beispiele .....	88
	Initalisierungsskript .....	88
	Lineare Regression .....	89
	SVG-Element „Messuhr“ mit jeweiligen JavaScript Funktionen .....	90

## 1. Einführung

### 1.1 Ausgangslage

Die Geoinformatik ist ein Teilgebiet der allgemeinen Informatik und bildet die technische und wissenschaftliche Grundlage für Geoinformationssystem (GIS). Die Gesamtheit der Anwendungen befassen sich mit der Fragestellung des „Wo“ in einem gemeinsamen Bezug in der Lage von Punkten – XY-Koordinaten – im Raum. Die Kartografie hat die Aufgabe eine räumliche Gestalt zu beschreiben und ist verantwortlich für die Dokumentation von (Geo-) Information. Sie ist wichtiger Teil des Georeferenzierungs-Prozesses und erfolgt heute (fast) ausschließlich mit Werkzeugen der Geoinformatik. CAD-Systeme (Computer Aided Design) beschreiben einen Sollzustand und werden in der Planung eingesetzt. Beide Systeme haben weit entwickelte und für die Anforderung ausgelegte Abstraktionsebenen [Bartelme 2005 - 1]. Geoinformationssysteme vereinen diese Funktion und sind das Bindeglied zwischen verschiedenen Anwendergruppen; Stadtplanung, Wissenschaft und Ausbildung oder Umweltmanagement, um einige zu nennen. Diese bringen professionelle Anwender wie Privatpersonen zusammen. Die technischen Möglichkeiten des Datenaustauschs über das Internet ermöglichen neue Arbeitsformen der Zusammenarbeit und dem Informationsaustausch [MacEachren 2000]. Seit dem ersten online Routenplaner bis zu aktuellen internetbasierten Kartensystem sind diese interaktiv und für jedermann zugänglich. Die Arten der Nutzung ergeben neue Anforderungen an die Informationsaufbereitung und Darstellung [Roth 2015].

Die Fertigungsmesstechnik hat ebenfalls die Aufgabe der Abbildung von realen Istzuständen. Sie bedient sich gleicher technischer Ansätze zur Erfassung räumlicher Daten. Ein Schwerpunkt der industriellen Koordinatenmesstechnik liegt im Abgleich und Darstellung des Unterschieds zwischen Soll- und Istzuständen, hier man spricht von einer Abweichung. Es gibt konstruktive Vorgaben, die als CAD-Modell oder technische Zeichnung vorliegt, die mit realen geometrischen Eigenschaften eines realen Körpers verglichen wird [Keferstein 2010]. Sie ist wie die Geodäsie ein Fachgebiet des industriellen Fertigungsprozesses. Ein zentraler Faktor ist die Vernetzung und Analytik vorhandener Daten [Lee 2013]. Es geht in Zukunft um die Gewinnung von Information

aus erhobenen Rohdaten [Renu 2013], ob in einem Fertigungsbetrieb, chemischen Anlagen, Umweltmessdaten oder geologische Veränderungen von Gebirgen zur Entscheidungsfindung. Die Erarbeitung von Werkzeugen zur visualisierten Analyse und Aufbereitung von räumlichen Daten wird ein Schwerpunkt zukünftiger Forschung sein [Andrienko et al. 2007].

Der Mehrwert in der Darstellung von Information komplexer Zusammenhänge mit interaktiven Diagrammen ist belegt [Unwin 1992]. Die Qualität der Diagramme und Grafiken spielt die entscheidende Rolle, ob die Information im Sinne des Autors oder Erstellers vom Leser richtig aufgenommen wird [Hahn & Kim 1999]. Aufgrund der Zunahme von interaktiven Inhalten in Geoinformationssystemen gibt es mehrere Untersuchungen wie der Konsument (englisch User) damit umgeht [Opach et. Al. 2014]. Ebenfalls untersucht wird die Einflussnahme des Erstellers auf den Konsumenten. Die Art und Weise wie Information (Karten, Bilder und Diagramme) dargestellt wird, kann die Meinungsbildung des Konsumenten beeinflussen [Muehlenhaus 2014]. Der nicht zu unterschätzende Faktor ist das Verständnis und die Interpretation des Konsumenten, die sehr von seinem Vorwissen und Praxis im Umgang mit räumlichen Daten zu tun hat [Mason et al. 2016].

## 1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Geoinformationssysteme haben die Aufgabe, das Abbild realer Gegebenheiten wiederzugeben. Die abgefragte Information wird berichtet und einer Gruppe von Personen zur Verfügung gestellt. Aus der verdichteten Information soll unabhängig der Vorkenntnisse einzelner, eine Wissensbasis mit geringer Varianz vermittelt werden. Es existieren Diagrammdarstellungen, die ein rechtsgültiges Dokument darstellen, so zum Beispiel ein Testat oder Urkunde oder einem etablierten Quasistandard genügen.

Ausgehend von bestehenden Inhalten, Raumkoordinaten und Analytik einer definierten Diagrammdarstellung ist das Hauptziel dieser Master Thesis, die Erarbeitung von ergänzenden und unterstützenden interaktiven Diagrammfunktionen, welche die folgende Leitfrage beantwortet:

Erweitern interaktive Inhalte in Berichtdiagrammen das Verständnis?

Daraus ergeben sich die folgenden Teilfragen:

- Leiten interaktive Funktionen den Leser (User) zu dem abgeleiteten Wissen, das der Ersteller vermitteln möchte?
  - o Statische Diagramme können nur einen Standpunkt von Zusammenhängen darstellen  
In der Mehr-Ebenen-Darstellung bzw. interaktiv zu bedienende Darstellungen reduziert sich die Unsicherheit der Fehlinterpretation.  
Vergleiche [MacEachren et al. 2012].
  - o Schnelle Entscheidungshilfe
- Welche Möglichkeiten bestehen, eine Diagrammdarstellung räumlicher Daten mit weiterführenden Inhalten auszustatten, ohne das (Basis-) Dokument zu verändern?
  - o Abbilden der Diagrammerzeugung, Einzelschrittanimation
  - o alternative Bezugssysteme/Analysen
  - o Ändern der Skalierung
  - o Einblenden von realen Bildern
  - o Expertenmodus

### 1.3 Lösungsansatz und Struktur der Arbeit

Um die These der Forschungsfrage bearbeiten und untersuchen zu können, wird ein in der Praxis verwendetes Diagramm, das einen räumlichen Sachverhalt darstellt, ausgewählt. Stellvertretend steht dieser Anwendungsfall (Usecase) für die nahezu unbegrenzte Anzahl verwendeter geografischer Diagrammdarstellungen. Mit Werkzeugen und Techniken der Geoinformatik wird das bis dato statische Dokument nachempfunden und durch zu programmierende Funktionen mit Interaktionsmöglichkeiten ausgestattet. Es sollen bewusst Open-Source Anwendungen zum Einsatz kommen. Zu Beginn wird in einer Befragung mögliche Ansatzpunkte und Inhalte des interaktiven Dokuments bestimmt. Die Untersuchung mündet in einer an die Anwendungsprogrammierung nachgeschaltete Nutzeranalyse von Anwendern und Konsumenten. Hierzu wird ein Fragebogen erstellt, um eingehende Parameter für mögliche Interaktionen zu finden. Die Untersuchung gegliedert in die Teilarbeitsschritte zeigt das folgende Ablaufdiagramm (Abbildung 1).

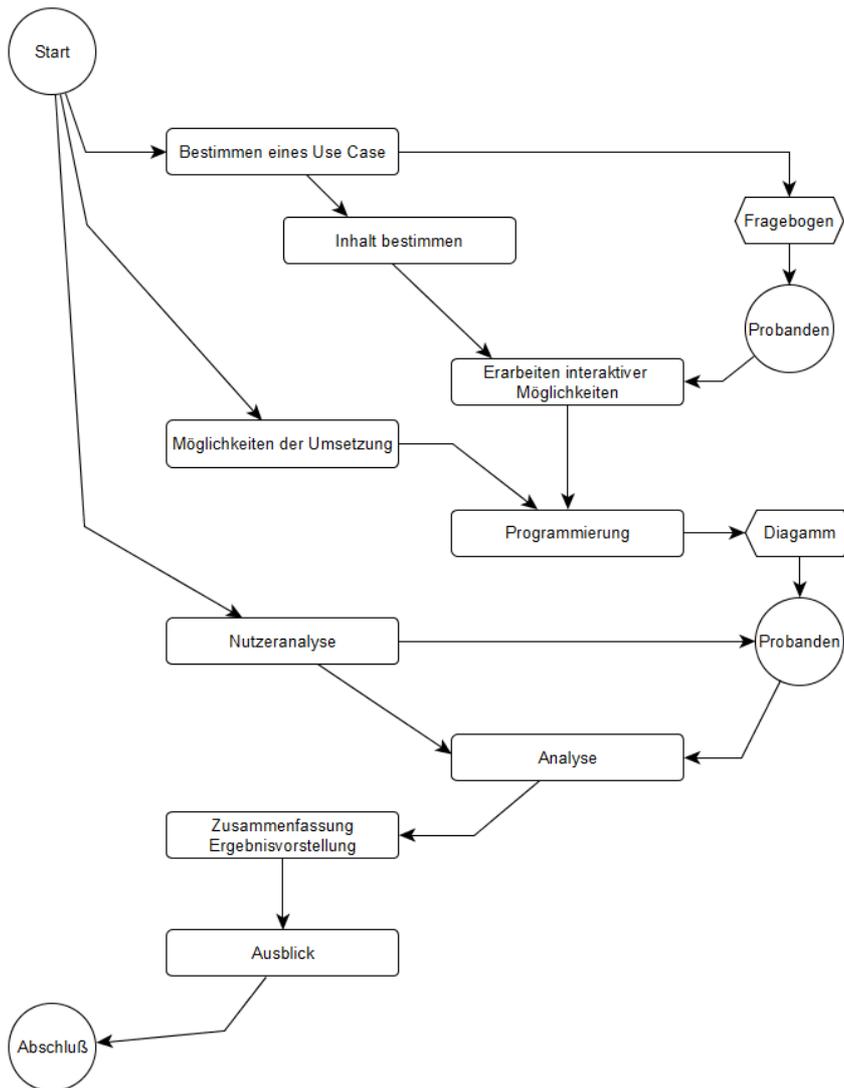


Abbildung 1 – Ablaufdiagramm, Struktur dieser Arbeit

Betrachtet wird in diesem Usecase die grafische Diagrammdarstellung eines räumlichen Sachverhalts [Hennemann 2013]. Der Gegenstand der Untersuchung kommt aus dem Bereich der 3D Koordinatenmesstechnik oder auch Fertigungsmesstechnik genannt. Die Abbildung von Geometrien wird in der Industrie auf ihre Form und ihren Ort hin untersucht. Hierfür gibt es die sogenannte Form- und Lagetolerierung (Engl. GD&T Tolerances) [DIN EN ISO 1101]. Als Beispiel dieser Arbeit dient die Auswertung der Geradheit (use case), siehe Abbildung 2 Definition nach oben genannter Norm. Diese beschreibt die Linientreue von Koordinatenpunkten projiziert in eine Fläche oder die Mittelachse eines Zylinders. Grundlegendes bzw. abgeleitetes Geometrieelement ist eine Gerade. Diese muss in die Punkteschar gemittelt werden. Hierfür stehen mehrere mathematische Möglichkeiten zur Verfügung, die lineare Regression, also das Arbeiten

mit der Methode der kleinsten Abweichungsquadratsumme nach Gauß. Für die normgerechte Darstellung der Form eines Geometrieelements wird das Prinzip der kleinsten Hülle verwendet, Methode der Minimierung der größten Abweichungen nach Tschebyscheff. Ein Beispiel eines Diagramms zeigt Abbildung 3.

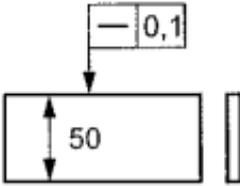
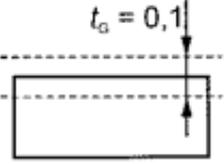
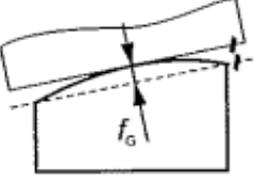
Symbol	Zeichnung	Toleranzzone	Werkstück
		 $t_G = 0,1$ $t_G$ : Geradheitstoleranz	 $f_G$ : Geradheitsabweichung

Abbildung 2 Formtoleranz Geradheit, Keferstein 2010 Fertigungstechnik S. 87

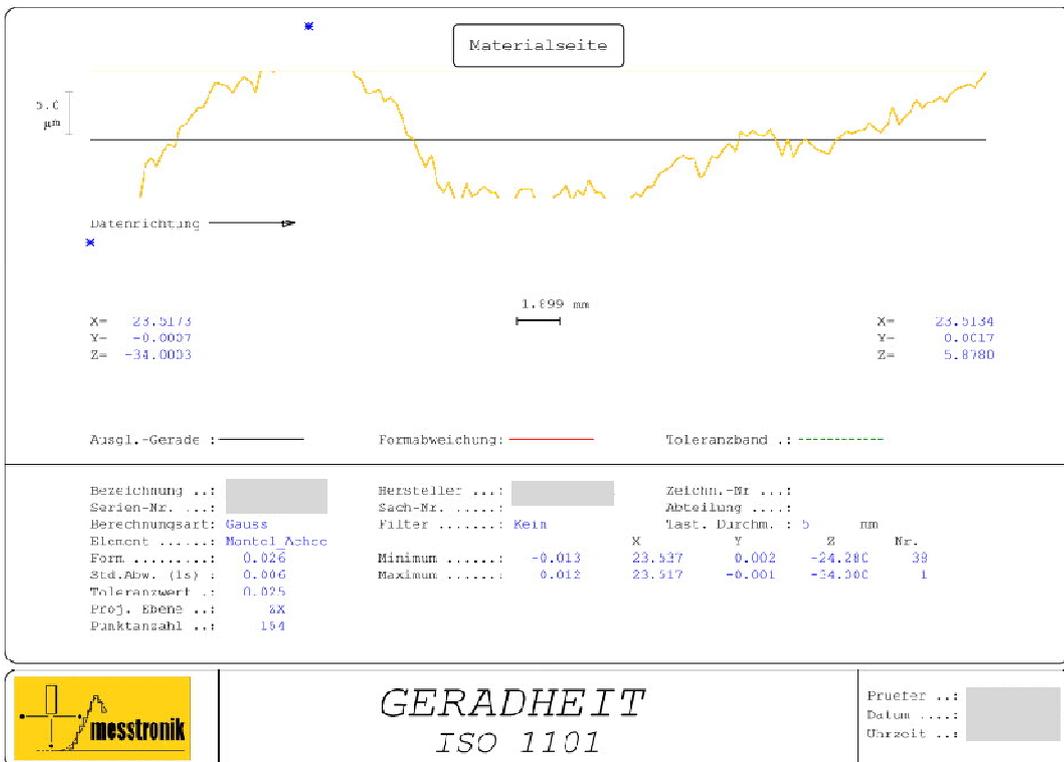


Abbildung 3 Diagrammdarstellung einer Geradheitsauswertung

Für ein eingehendes Verständnis und Übersicht möglicher Probleme beim Konsumenten (später Nutzer oder engl. User) wird mit einem Fragebogen die Grundlage gelegt,

Schwerpunkte zu erkennen, auf die eine Interaktivität reagieren bzw. unterstützen kann. Die Erkenntnisse dienen Bestimmung der Eingangsparameter zur Umsetzung der eigenen Programmierung des Geradheits-Diagramms.

Die Umsetzung und Programmierung erfolgt durch Nachbilden der bestehenden Diagrammdarstellung (Abbildung 3) als SVG-Vektorgrafik. Das Grafikformat wird unter anderem eingesetzt zur Darstellung von interaktiven Kartenanwendungen im Internet. Das Format und die integrierten Interaktionen werden von jedem gängigen Browser unterstützt und können ebenfalls in Office- und Präsentationsprogramme eingefügt werden [Dahinden et al. 2001]. Die Funktionen des Diagramms mit integriertem JavaScript sollen sozusagen "out of the box" ablaufen. Eine weiterführende Betrachtung kann eine Client-Server Lösung sein, ist aber nicht Teil dieser Arbeit.

Zu erarbeiten sind grafische Hilfsmittel und Interaktionen, die dem Betrachter den Inhalt erläutern und erklärend darstellen. Erweiterte Informationsebenen bringen dem Nutzer einen Mehrwert und besseres Verständnis. Techniken die aus der Geovisualisierung zur räumlichen Entscheidungsunterstützung zum Einsatz kommen [Jankowski et al. 2001] sollen auf die Anforderungen der Fertigungsindustrie übertragen werden. Die Methode wie sie in jeder Onlinekarte abrufbar ist: Orte mit verschiedenen Informationen zu belegen. Angefangen mit Straßen, Sehenswürdigkeiten oder mit GPS-Koordinaten gemappter Bilder. Diese Informationsebenen mit weiterführenden Funktionen zu verknüpfen, wie sie bei jeder Routenplaner heute angewendet wird und einem Tankstopps und mögliche Unterkünfte vorschlägt, weil man zuvor die Webseite besucht hat. Hier hat der Anwender bereits die Möglichkeit interaktiv auf Inhalte zuzugreifen, die ihm auf der Route zu seinem Ziel vorgeschlagen werden.

In einem viel kleineren Maßstab soll die Verwendung von interaktiven Informationsebenen untersucht werden, ob die nachgeschaltete Entscheidungsfindung des Anwenders positiv beeinflusst werden kann.

Anhand der zu programmierenden Darstellung mit interaktiven Inhalten soll eine Nutzeranalyse durchgeführt werden. So kann der Umgang und mögliche Mehrwert untersucht und ausgewertet werden.

Der Abschluss bildet eine Bewertung dieser angedachten Technologie, deren zusammenfassende Darstellung und Diskussion möglicher Anwendungsfälle.

## 1.4 Einordnung und Abgrenzung der Arbeit

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Geoinformatik. Sie bildet die Grundlage und liefert Programmierumgebungen für die Abbildung von räumlichen Geodaten und der Erzeugung einer beschreibenden Grafik. Es werden räumliche beschreibenden Grafiken untersucht. Im griechischen bedeutet geografisch „räumlich beschreibend“. In der Folge beinhalten die zu untersuchenden Diagramme als Form von (Geo-) Grafiken die Darstellung von Punkten im Raumbezug, die ein reales Abbild wiedergeben.

Aus Sicht einer Deduktion (Top-Down) handelt die Arbeit von der Erlangung von Wissen und deren mögliche Fehlinterpretation [Kinkeldey et al 2015]. Wissen bzw. Kenntnis über die Beschaffenheit räumlicher Information zur Ableitung nachgeschalteter Aktionen. Also der Umsetzung von Schlussfolgerungen, die aus einem Bericht gezogen werden. Für die Erlangung von Wissen über einen Sachverhalt kann allgemein betrachtet die Vorgehensweise der Semiotik herangezogen werden. Die Semiose-Theorie wurde erstmal von dem Amerikaner Charles Sanders Peirce Mitte des 19. Jahrhunderts beschrieben. Er war unter anderem als Mathematiker, Logiker, in der Geodäsie und als Philosoph tätig. Semiotik, altgriechisch für Zeichen oder Signal, ist die Wissenschaft, die sich mit Zeichensystemen aller Art beschäftigt. Sie ist die allgemeine Theorie vom Wesen, von der Entstehung (Semiose) und vom Gebrauch von Zeichen. Als Beispiele sind Bilderschrift, Gestik, Verkehrszeichen aber auch Karten zu nennen.

Der Semiose-Prozess handelt vom Versuch der Darstellung (Repräsentamen) einer Gegebenheit (Objekt) und deren Interpretation (Interpretant) des Konsumenten (Abbildung 4).

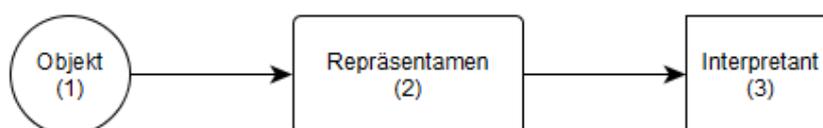


Abbildung 4 - Prozess Semiose

Stand der Technik ist heute die Visualisierung von räumlichen Daten mit Hilfe von Visualisierungssoftware; unter anderem mit Geografischen Informationssystemen, kurz GIS [Bill 2001]. Als bedeutende Vertreter sind zu nennen ESRI mit den Produkten ArcGis oder auch Intergraf, welches zu einem schwedischen Konzern namens Hexagon gehört, der sich in fast allen Bereichen der Erfassung räumlicher Daten etabliert hat. Somit auch in der industriellen Messtechnik (English geospatial and industrial enterprise applications). GIS-Anwendungen erstellen ein Abbild der realen Welt, des Objekts (1) und bilden den Repräsentamen (2) in Form einer grafischen Darstellung – zum Beispiel einer Karte –, um dem Konsument, dem Interpretant (3), Wissen und Erkenntnis darüber zu vermitteln. Im Umgang mit räumlicher Information, realen Gegebenheiten in unserer wirklichen Welt, ist das Ziel ein exaktes (Eben-) Bild dieser wiederzugeben. Gegensätzlich verhält es sich in der Kunst – über Geschmack lässt sich für gewöhnlich streiten – bei der verschiedene Meinungen über eine Skulptur, ein Bild oder Installation vom Betrachter erwartet werden bzw. gewünscht sind.

Zerlegt man den Prozess einer GIS-Anwendung in die unterschiedlichen Teilaufgaben wie Erfassung mit Fernerkundung, die anschließende Rohdatenverarbeitung, die Bearbeitung mit räumlichen Analysemethoden und Ableiten eines Ergebnisberichts in Form von Karten, Grafiken oder schriftlicher Bewertung, kann dieser als ein semiotischer Prozess begriffen werden. So liegt der Schluss nahe, dass nicht jeder Interpretant gleiches Wissen über reale Sachverhalte erlangen kann (Abbildung 5).

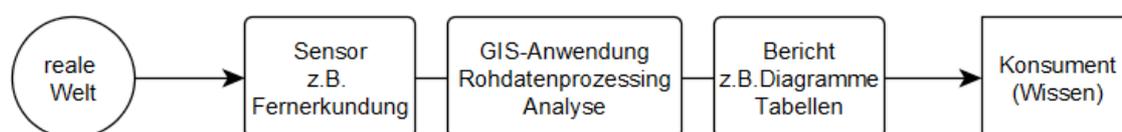


Abbildung 5 - GIS als semiotischer Prozess

Hierfür gibt es eine endliche Anzahl an Einflussgrößen, die als Unschärfe-Faktoren die Qualität des Ergebnisses einer räumlichen Fragestellung, übermittelt in einem Berichtsdocument, beeinträchtigt. Der Begriff Berichtsdocument oder Bericht umfasst

hier als Beispiel Diagramme, Karten, Texte, Webrouutenplaner usw. die zusammenhängende in sich geschlossene Information in Form eines Ergebnisses darstellen. Das Medium der Übermittlung erstreckt sich über den Druck, Dateidokumente wie PDF oder (Web-) Anwendungen.

Im Prozessablauf gibt es eine stattliche Anzahl Einflussfaktoren, die als Unsicherheitsfaktoren das Ergebnis beeinflussen (Abbildung 3). Als Beispiele sind zu nennen Umwelteinflüsse wie Temperatur, Auflösung der Sensorik bei der Erfassung, Vorgehensweise und Arbeitsweise bei der Rohdatenermittlung, Verwendung von mathematischen Algorithmen der Anwendung etc. Diese stellen eine kleine Übersicht eher technischer Einflussgrößen dar. Die Summe der Faktoren wird in einem Unsicherheitsbudget zusammengefasst und berücksichtigt. Der Vorgehensweise ist bekannt und in Normen, Arbeitsanweisungen und Richtlinien geregelt und in der allgemeinen Anwendungspraxis etabliert [ISO/TS 15530-3:2004].

Wie aber verhält es sich mit Einflussgrößen ausgehend der Gestaltung eines Berichts? Abgesehen davon, dass (Mess-) Unsicherheiten - also dem technischen Anteil - nur selten in Berichten, speziell in Grafiken und Diagrammen angegeben werden. Auch die Gestaltung und Wahl des Mediums haben einen großen Einfluss auf die Qualität des Wissens, das in einem Bericht vermittelt werden soll. Somit ist der Interpretant ein Unsicherheitsfaktor. In Landkarten werden verschiedene Maßstäbe verwendet. Man spricht von kognitionsbasierenden Modellen [Bartelme 2005 - 2]

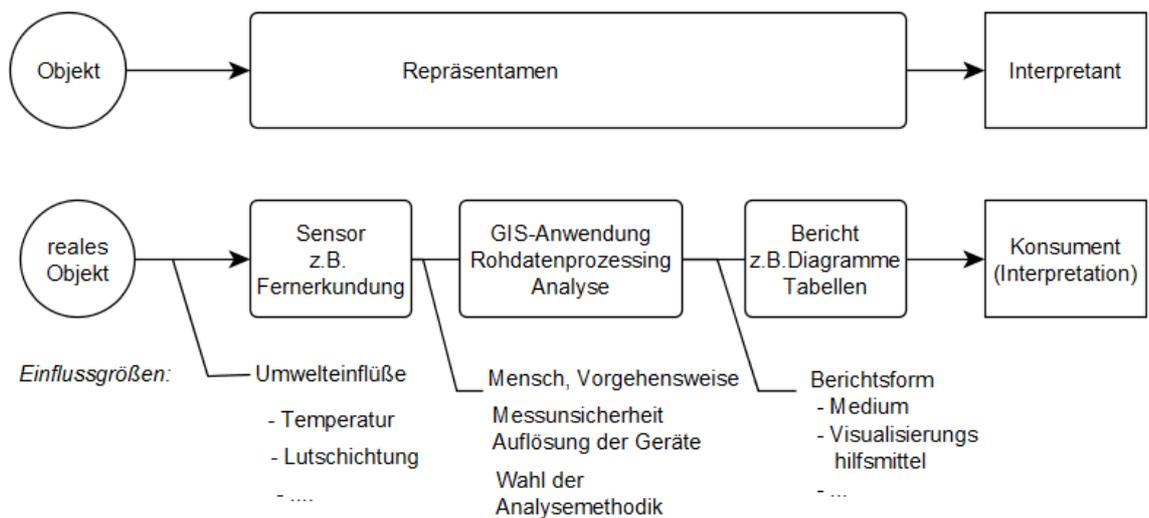


Abbildung 6 - Einflussgrößen im Prozess

Auch wenn die Datenerhebung und Prozessierung der erfassten Rohdaten einen großen Anteil im Prozessablauf ausmachen, liegt das Ziel in der Verdichtung und Zusammenfassung in einem Berichtsdokument. Nicht selten wurden wichtige Entscheidungen der vergangenen Geschichte anhand weniger Bilder und Diagramme getroffen. Vor allem in der heutigen Zeit, in der Bilder und Videos mehr Aufmerksamkeit erhalten als Tabellen mit Fakten oder die exakt beschreibende Textform. Es liegt der Schluss nahe, dass die Präsentation von Gegebenheiten - in unserem Fall die Erklärung räumlicher Sachverhalte - einen wichtigen Bestandteil in der Prozesskette einnehmen. Wie also verhält es sich bei der Abbildung unterschiedlichster Fragestellungen an eine zur Verfügung stehenden Datenmenge, die sich ebenfalls in Veränderung befindet? Selbst bei Steuerklärungen, die durch ein Steuerrecht geregelt sind, gibt es Spielräume für deren Auslegungen. Diese Varianz, abgebildet quantitativ in einem Geldbetrag, lässt auf die Qualität des Steuersystems schließen.

Daten sind eine Art Rohmaterial, die sich aus der Wahrnehmung von objektiven Ereignissen ergibt. Daten an sich haben nur einen geringen Nutzen. Für eine Verarbeitung müssen diese strukturiert und in einen Kontext gebracht werden. Strukturierte Daten bezeichnet man als Information. Das Treffen von Entscheidungen auf der Grundlage von Informationen erfordert die Einordnung in einen Kontext, also wie Informationen vernetzt sind. Diese Erweiterung der Information bezeichnet man als

Wissen. Mit der grafischen Darstellung von Informationen hat der Konsument die Möglichkeit, noch schneller Wissen zu erlangen. Auch eine Grafik hat wie ein Text eine Zielgruppe, für die sie erzeugt wird [Zins, 2007].

Die Anzahl der Interpretanten von „1“ soll angestrebt werden. Vor allem soll bei der Interpretation keine weitere Auslegung hinzukommen. Die Wissenspyramide (Abbildung 7) spitzt sich nach oben hin zu und zeigt die Verdichtung des Wissens.

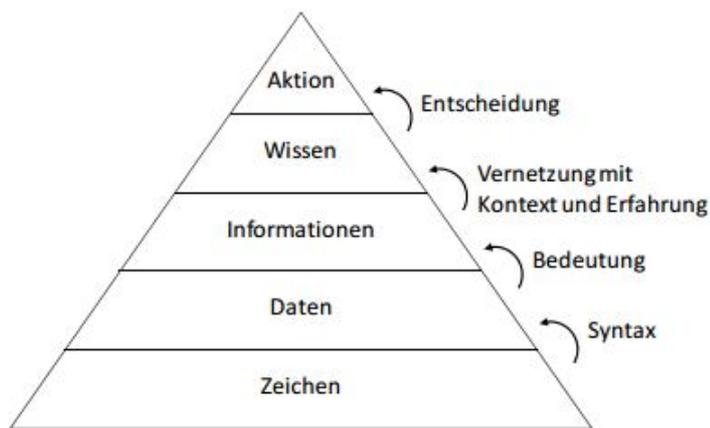


Abbildung 7 Wissenspyramide nach Aamodt & Nygard, 1995

Die Aufgabe von einer Visualisierung von räumlicher Information in Form von XYZ-Raumkoordinaten kann von einem GIS-System nur bis zur dritten Stufe der Pyramide beschränkt werden. Der Übergang von Information zu Wissen erfolgt durch den Konsumenten, in dem er ein Berichtsdocument liest. Seine Auslegung der Information entscheidet über sein Wissen zu dem behandelten Sachverhalt. Die weiterführende Aktion, die aus dem erlangten Wissen folgt, ist meist außerhalb des Wirkungsbereichs des Berichterstellers [Albertz 1997].

Als weitere Präzisierung des Themenfelds gilt die Beschränkung auf die Untersuchung grafisch visueller Informationsdarstellungen, im speziellen die Verwendung von Diagrammen (Abbildung 8). Als Diagramm, altgriechisch für geometrische Figur oder Umriss, gelten Linien- und Balkendiagramme genauso wie grafische Darstellung mathematischer Funktionen als Graphen. Auch Schema-Zeichnungen, technische Zeichnungen und (Land-) Karten werden unter dem Oberbegriff des Diagramms zusammengefasst. Das Diagramm dient der Darstellung georeferenzierter Daten. Die Diagrammatik ist ein eigener Wissenschaftszweig und setzt sich mit der Fragestellung

auseinander, wie Daten in Information überführt werden können. Darüber hinaus ist die Diagrammatik eine spezielle Form der Semiotik [Bauer 2015].

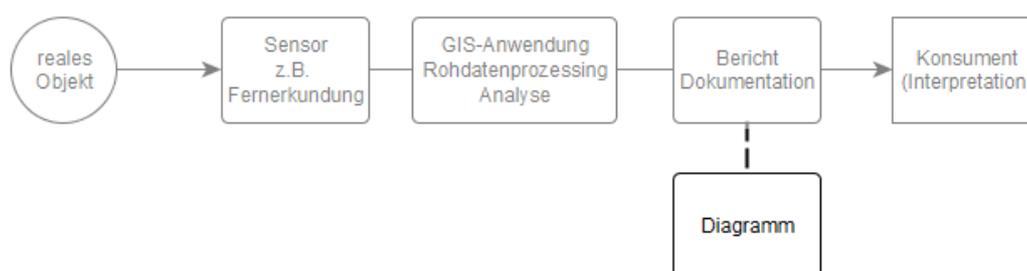


Abbildung 8 - Arbeitsthema Diagramme

Bei einem statischen Dokument ist ein Diagramm während der Betrachtung nicht veränderbar. Der semiotische Prozess kann deshalb nur einmalig durchlaufen werden, da der Repräsentamen immer gleiches Aussehen hat. Durch die interaktive Modifikation des Diagramms während des Betrachtens kann der Vorgang des Begreifens und der Interpretation mehrmals durchlaufen werden. Als eine Art finiter Prozess verstanden, mit der Option von einer und mehr Möglichkeiten den Inhalt darzustellen, ist es das Ziel die Qualität des Interpretanten zu verbessern.

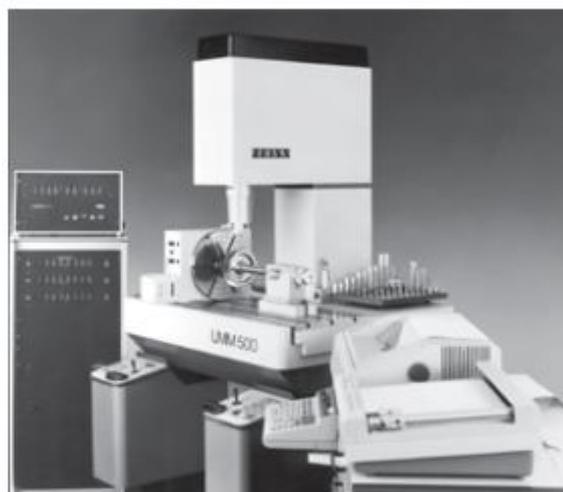
Anders formuliert lautet die zugrundeliegende These: Der semiotische Prozess kann in durch veränderbare Darstellungsformen mehr als einmal durchlaufen werden. So soll die Anzahl der möglichen Interpretanten gegen eins streben.

Somit ist das möglich zu erlangende Wissen ausgehend von einem Diagramm erweitert und steht einem größeren Feld an Konsumenten offen. Es stehen mit einem interaktiven Dokument mehr als eine Darstellungsform zur Verfügung.

## 1.5 Stand der Technik

### 1.5.1 Fertigungsmesstechnik

Taktile Koordinatenmessmaschinen gibt es seit Anfang der 1970er Jahre, im Zuge der Verfügbarkeit von Rechnersystemen. Seit dieser Zeit werden Raumkoordinaten von Werkstückoberflächen mit ständig erweiterten Sensoren aufgenommen. Zu Beginn waren die Tastsysteme ähnlich einem mechanischen Schalter aufgebaut, der bei Berührung des Bauteils die aktuellen Koordinaten der elektronischen Zähler der drei Geräteachsen ausliest und für die weiterführende Auswertung speichert. Heute sind zu den taktilen Sensoren diverse auch optische Verfahren hinzugekommen, auch mit Computertomografie können Objekte digitalisiert und gemessen werden [Weckenmann 2012], [Koordinatenmesstechnik 2013].



Renishaw Touch Trigger Probe (1972), Zeiss UMM 500 (1973)

*Abbildung 9 - Koordinatenmesstechnik, Weckenmann 2012 - Geschichte S. 12*

Der Prozess von der Datenerfassung über die Verarbeitung zur Dokumentation hat sich in den letzten 30 Jahren seit der Einführung von Computertechnik immer weiter optimiert und die verfügbare Technik an Sensoren und möglicher Anwendungen der

Auswertung radikal erweitert. Ein reales Objekt wird mittels eines Sensors erfasst, zum Beispiel durch Fernerkundung, heute mit Lasersensoren angebracht an Drohnen (Abbildung 10) [YouTube 1].

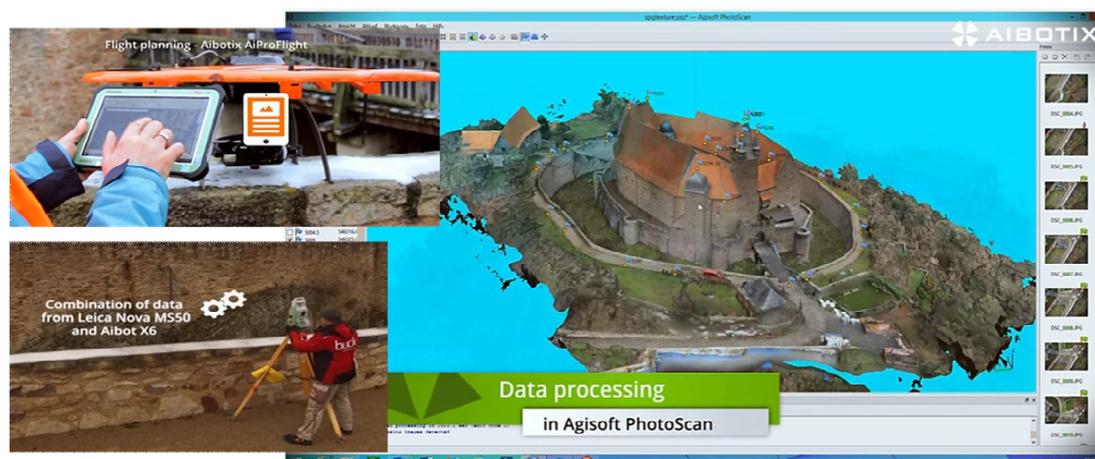


Abbildung 10 - Datenerfassung mit einem Laserscanner adaptiert an eine Drohne [Youtube 1]

Es entstanden die Programmiersprachen DMIS und die auf XML basierende Dokumentationsschnittstelle Dimensional Markup Language, kurz DML [Zhao 2013]. Obwohl versucht wird allgemeingültige Standards zu etablieren, arbeiteten die meisten Hersteller an eigenen Lösungen. Zukünftig soll unter dem Schlagwort Industrie 4.0 eine komplett vernetzte Industrie entstehen, bei der die Qualitätssicherung mit deren Fachgebiet Fertigungsmesstechnik ein wichtiger Bestandteil sein wird [Kagemann et al. 2011].

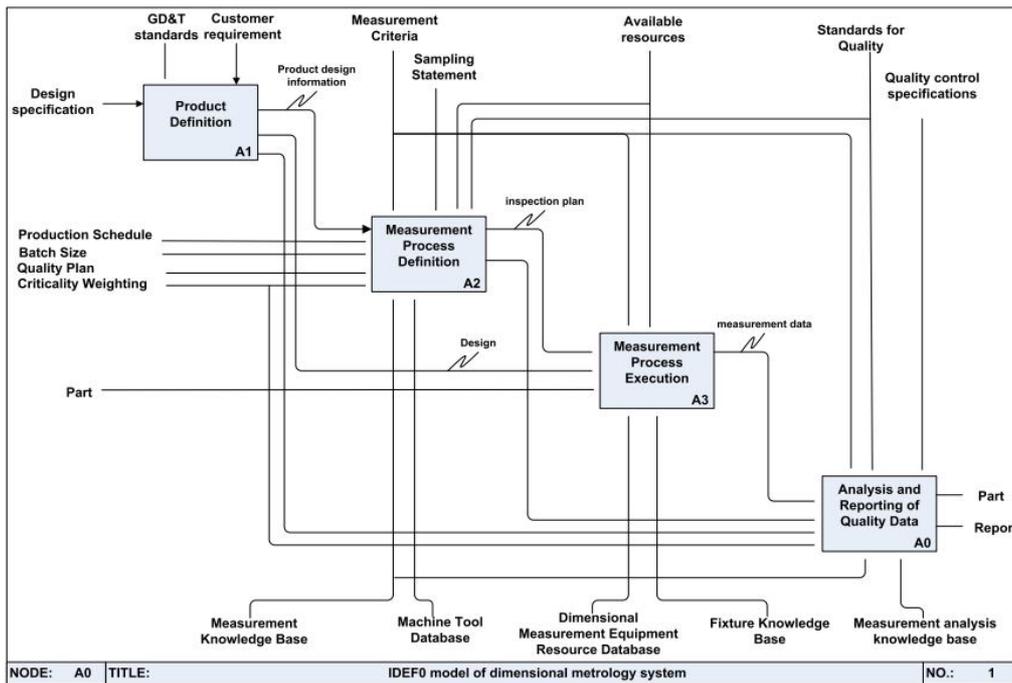


Abbildung 11 Schema dimensionelle Messtechnik, Zhao 2013

Nach der Erfassung der Rohdaten werden diese verarbeitet, die gewünschte Auswertung extrahiert und in einen Bericht überführt (Abbildung 6), der Schemaablauf ist bestens definiert.

Reduziert man das Schemadiagramm (Abbildung 11) auf die für diese Arbeit betreffenden Elemente, erhält man Abbildung 12, welche der eingehenden Abbildung des semiotischen Prozesses Abbildung 1 ähnlich sieht.

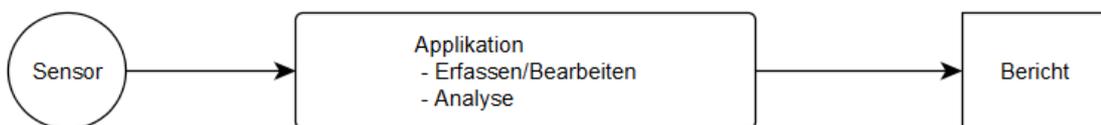


Abbildung 12 - Erfassen - Bearbeiten - Berichten

Im Rückblick betrachtet war zu Beginn des EDV-Zeitalters die Struktur der Rechnernetze zu heute ähnlich, einige wenige Server bedienten eine Vielzahl an Terminalrechnern. Der große Unterschied liegt darin, dass das Internet die Funktion des

lokalen Netzwerks einer Organisation übernommen hat [Harney et al. 2007]. Blickt man in die Zukunft, ist leicht vorstellbar, dass selbst die Einheit „Rechner“ aufgrund der Miniaturisierung eine andere Bedeutung als heute erhalten wird.



Abbildung 13 - 3D Koordinatenmessgerät, Terminalrechner, Ausgabegerät

In der industriellen Messtechnik ist oft eine Anwendungssoftware für die Erfassung, die Bearbeitung und die Berichterstellung zuständig (Abbildung 13 + 14).

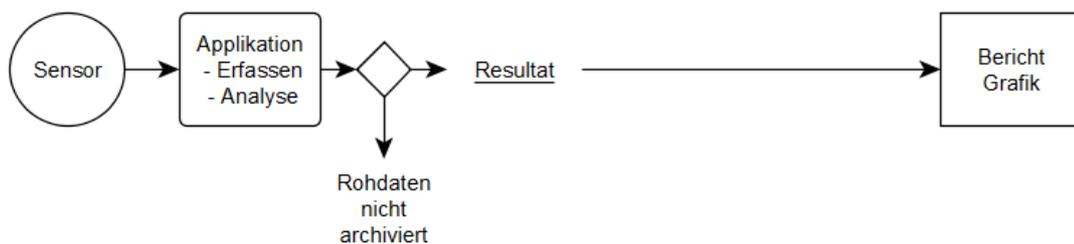


Abbildung 14 - Prozessschema Erfassen, Bearbeiten, Berichten

In größeren Betrieben ist die Datenerhebung von der Speicherung und weiterführenden Analysen getrennt (Abbildung 15). Ergebnisdaten - die Resultate - werden in Datenbanken gespeichert und zum Zeitpunkt einer bestimmten Abfrage in einen Bericht überführt. Die Datenbank- und Analysewerkzeuge werden unter dem Begriff CAQ-System zusammengefasst. CAQ steht englisch für computer-aided quality control, zu Deutsch rechnergestützte Qualitätssicherung. Ergebnisse und Rohdaten stehen mit Hilfe einer Datenbank für weiterführende Analyse und zu Dokumentationszwecken einer größeren Anzahl Klienten zur Verfügung.

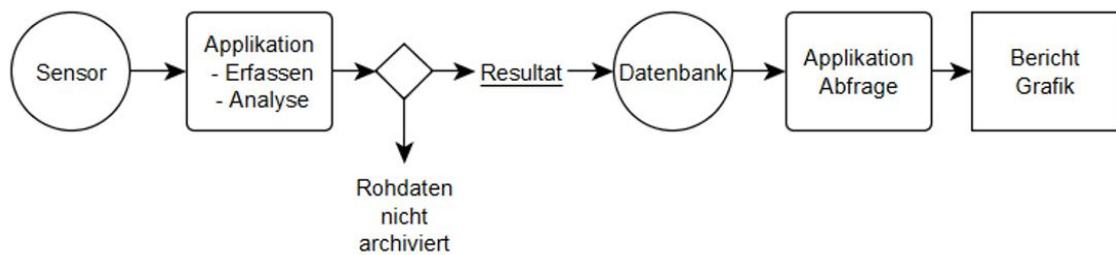


Abbildung 15 - Erfassen und Berichten getrennt

Die Darstellungsmöglichkeiten erweitern sich ebenfalls. Mit der Einführung von CAD-Modellen, CAD steht Computer Aided Design, zu Deutsch rechnergestützte Konstruktion, hat sich auch die Berichtgestaltung verändert. Eine Abbildung der Realität in Form von Konstruktionsmodellen ermöglicht z.B. die Darstellung räumlicher Distanzen flächenhaft. Die Modelle werden tesseliert und Dreiecke anhand Werteskalen eingefärbt (Abbildung 16). Neueste Produkte können reale Bilder direkt mit räumlichen Daten perspektivisch darstellen [Wolf et al. 2000].

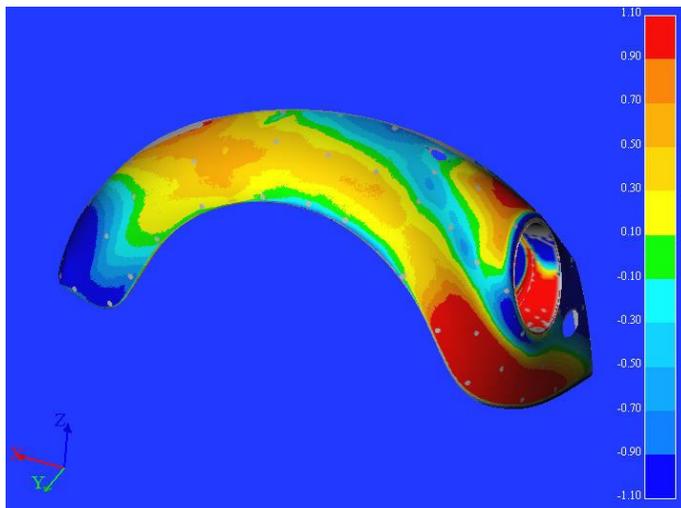


Abbildung 16 - Farbcodierte Darstellung Käferkotflügel

Während diese eingefärbten CAD-Modelle eine noch relativ leichte Interpretation der Sachverhalte ermöglichen, verhält es sich mit dem Verständnis von Diagramm-

Darstellungen schwieriger. Unzählige dieser Diagramme erinnern noch an die Zeit der Stiftplotter. Man versucht räumliche Sachverhalte abstrahiert darzustellen, oft in Verbindung mit Zahlenwerten, die eine geometrische Eigenschaft charakterisieren. In Abbildung 17 ist die Messung eines Zahnrades gezeigt. Verzahnungen bauen auf unterschiedlichen mathematischen Funktionen auf. Der Liniengraf in Abbildung 18 zeigt die abgewinkelte Funktion der Profillinie aus dem Vergleich der Istlinie (rot) zur Sollgeraden (schwarz) [DIN 3970].



Abbildung 17  
Messgerät bei der Profilmessung

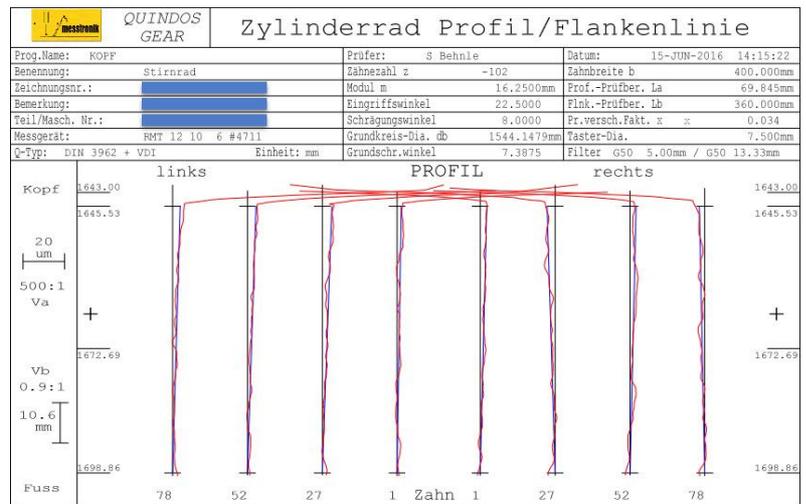


Abbildung 18 - Darstellung der Profilmessung

Um die dargestellte Information in Wissen zu überführen, sind Vorkenntnisse notwendig. Zum einen werden spezifische Begriffe verwendet, die nicht innerhalb des Dokuments erklärt werden, verwendet. Erfragt man bei der Stadt oder Gemeinde ein Katastrauszug seines Grundstücks, erhält man oft ein PDF Dokument ohne jegliche Beschreibung. Es fehlen Legenden, Maßstäbe etc., siehe Abbildung 19.

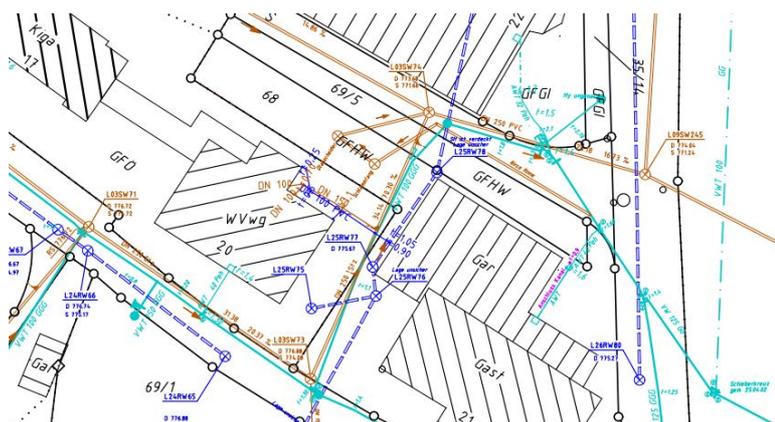


Abbildung 19 – Katasterauszug ohne Legende etc.

Für den einfachen Gebrauch kann es sinnvoll sein, durch Überfahren der Elemente mit der Maus, erweiterte Inhalte wie Legenden und Textbeschreibungen zu erhalten. Aus der Räumlichen Analyse oder der Erstellung von Karten ist das Arbeiten mit Layern verschiedener Informationsinhalte Stand der Technik.

### 1.5.2 SVG zur Darstellung von Diagrammen

Die Umsetzung der Grafikdiagramme soll mit SVG erfolgen. SVG steht für Scalable Vector Graphics und beschreibt Graphiken in einem XML-Schema. Die Entscheidung nicht für andere Sprachen wie webgl oder Html 5 liegen im Vorteil Vektor-, Rastergrafiken und Text implementieren zu können. Entscheidend ist, dass die Grafik als Datei leicht in Office-Dokumente einzubinden ist. Zu beachten, nicht mit interaktiven Elementen.

SVG ist ein XML Derivat und ist eine Auszeichnungssprache. XML steht für eXtensible Markup Language und stellt eine Metamarkupsprache dar, die keine vorgefertigten Elemente und Attribute hat. Diese wurde 1998 vom W3C definiert. Jeder kann nach Bedarf seine eigenen Datenstrukturen erstellen und muss sich nur an einfache Regeln über das wie und wo des Setzens von Attributen halten, wie Attribute an Elemente gebunden werden und welche Elementnamen erlaubt sind. Somit können allgemein gültige Parser oder analysierende Systeme entwickelt werden, die XML lesen und interpretieren können. Diese, in Klartext erzeugten Dateien, müssen wohlgeformt (well-formed) und gültig (valid) sein. Fehler in der XML-Grammatik führen zum

Abbruch des Verarbeiters. Dokumente werden mit Hilfe eines XML-Schemas auf Gültigkeit hin überprüft. Dafür ist eine Definition aller möglichen Element-, Attributnamen und Verschachtelungsmöglichkeiten als eben dieses Schema hinterlegt [Vaishampayan et al 2005].

SVG kann mit Hilfe von ECMAScript, auch bekannt unter JavaScript, interaktive Inhalte darstellen, somit auch die Darstellung ändern und animiert werden. Grafische Objekte können gruppiert, transformiert und wiederkehrend eingefügt werden. Animationen können deklarativ, d.h. durch Einbetten von SVG Animationselementen in den SVG-Inhalt oder durch ein Skript definiert und kontrolliert werden. SVG ist zukünftig Bestandteil von Html5 [W3C, SVG 2011].

Folgende Möglichkeiten bei der Verwendung von SVG stehen im Vordergrund. Die Datei kann grundsätzlich in jedem Texteditor erstellt und geändert werden. Zur Erstellung und Darstellung sind keinerlei spezielle Software und Lizenzgebühren notwendig. Die XML-strukturierte Datei kann von jedem gängigen Browser interpretiert und somit dargestellt werden. Als statische Grafik kann diese auch in Office-Anwendungen eingefügt werden. Grafiken und Animationsmechanismen können mit Programmiersprachen wie JavaScript, Perl, PHP uvm. generiert und modifiziert werden. Auch eine Client/Server-Ausführung ist möglich. Durch einbinden (include) können externe Ressourcen (Rasterbilder, JavaScripts, CSS, Definitionen etc.) als Dateien abgelegt und in anderen Projekten verwendet werden. SVG unterstützt den standardisierten Farbraum RGB und ICC11 -Profile und bietet somit eine Vielzahl gestalterischer Möglichkeiten und grafische Effekte, wie z.B. Farbverläufe, vektorbasierte Muster, Textausrichtung entlang von Pfaden, allgemeine Texteffekte und Filter. SVG ist herstellerunabhängig und gut dokumentiert. Es existieren umfangreiche Spezifikationen mit Beispielen, Büchern, Tutorials etc. Eine aktive Entwicklergemeinde, Firmen und Universitäten engagieren sich an der Weiterentwicklung von Standards und notwendigen Softwarekomponenten. Zur Darstellung von räumlichen Daten hat ein SVG einen großen Vorteil. Es ist möglich mit einem oder mehreren Koordinatensystemen zu arbeiten. Eine Stärke liegt in der Detailansicht von größeren Datensätzen, wo mit Hilfe von Script-Funktionen auch darin navigiert werden kann.

Häufig haben SVG Anwendungen die folgende Dateistruktur: Am Anfang werden zentrale Definitionen ( `<defs>` ) wie etwa CSS Eigenschaften, Symbole, Marker, Farbverläufe, Muster etc. festgelegt. CSS (Cascading Stylesheets) werden benutzt, um global Formate für Farben, Texte, Strich- und Fülldefinitionen etc. zu definieren. In der eigentlichen Grafik oder Applikation wird dann auf diese Definitionen zurückgegriffen ( `<use/>` oder `<class/>` ), damit ein Element oder dessen Eigenschaften nicht immer wieder von Grund auf neu definiert werden muss. Für Symbole gilt dasselbe. Sie werden global festgelegt und später instanziiert. Dabei können sie noch skaliert, rotiert, transformiert oder animiert werden. Im zentralen Teil der SVG Anwendung befindet sich das Layout und Benutzerinterface. Inhalte werden dynamisch aus XML-Dateien und/oder Datenbanken in die Applikation geladen. Interaktivität und die Logikkomponente der Anwendung werden in ECMA- bzw. JavaScript formuliert.

Letztlich ist SVG ein rein grafisches Dateiformat ohne Unterstützung von Topologie oder Netzwerkstrukturen, wie sie bereits in vielen GIS-Systemen oder räumlichen Datenbanken unterstützt werden. Topologie oder Netzwerkanalysen müssen auf dem Server berechnet werden oder über eine Script-Implementation hinzugefügt werden [Neumann et al. 2001].

JavaScript, unter dem Namen ECMAScript standardisiert, ist eine objektorientierte Programmiersprache, die die dynamische Gestaltung einer HTML-Seite ermöglicht. Das Dokument kann also Programme beinhalten, die mit dem Benutzer interagieren und den Webbrowser kontrollieren [FLANAGAN 2011]. Außerdem kann sie als eine Makrosprache für andere Software dienen. ECMAScript ist nicht auf die Benutzung in Webbrowsern beschränkt. Wie bereits angesprochen kann die Script-Funktionalität verwendet werden, um ein SVG-Dokument zu manipulieren oder auch zu erzeugen, eingebettet direkt in der Datei oder als einzubindende Bibliothek.

### 1.5.3 Dokumente

Zuletzt der Hinweis auf die Beachtung der Gültigkeit von Dokumenten: Papiausdruck zu Datei. In Qualitätshandbüchern von Zertifizierungssystemen (ISO 9001, DIN EN ISO 17025) spricht man von führenden Dokumenten. Werden Dokumente

ausschließlich elektronisch gespeichert und archiviert, muss sichergestellt sein, dass über den gesamten Zeitraum das Dokument unverändert bleibt und die Voraussetzung des Lesens besteht (Validation of computerized systems). Als Stichpunkte sind zu nennen Haltbarkeit von Datenträgern und die Verfügbarkeit von Software für Dateiformate, die nicht weit verbreitet sind und in Zukunft vielleicht nicht mehr lesbar sind. In Branchen wie der Pharmaindustrie sind Archivierungspflichten von 25 Jahren keine Seltenheit.

In Webabwendungen wie Google Maps kann der Nutzer erwarten, dass beim Überfahren mit der Maus (mouse-over) oder anklicken Möglichkeiten der Interaktion angeboten werden. Allein der Begriff Nutzer versus Leser vermittelt den Umgang mit dem Medium „statisches Dokument“ zu einem Anwendungsprogramm. Ein Vorbild für die Untersuchung ist die Funktion des 3D-PDFs des Herstellers Adobe. Hier lassen sich bereits Dokumente mit interaktiven Inhalten hybridisch darstellen. Durch einen Doppelklick auf die Grafik öffnet der 3D-Viewer. Die notwendige Funktionalität zur Darstellung bringt der auf fast jedem Rechner installierte Acrobat Reader mit [Ziegler et al. 2011].

Aktuell entsprechen Dokumente oft der Darstellung im Ausdruck. Ausnahmen sind Webanwendungen oder Anwendungsprogramme, die die Ergebnisdarstellung mit Hilfe eines Berichtsgenerators erzeugen. Grob gesagt wird ein Bildschirmausschnitt eines definierten Bereichs und Auflösung als Bild in den Bericht überführt. Vereinzelt sind für spezifische Anwendungsprogramme Viewer verfügbar, die installiert werden müssen. In der Regel handelt es sich um das Anwendungsprogramm mit eingeschränktem Funktionsumfang. Mit dem Viewer können Datenmodelle in 3D betrachtet werden und ein Bericht - wie oben beschrieben - ergänzt oder erzeugt werden. Fakt: Jedes heute verwendete Papierdokument wird am Computer mit einer Anwendungssoftware erzeugt.

## 1.6 Motivation

In meiner beruflichen Tätigkeit beschäftige ich mit der Dokumentation von räumlichen Sachverhalten, im speziellen der industriellen Messtechnik. Die Aufgaben umfassen das

erfassen technischer Bauteile und das Erstellen eines Vergleichs zwischen einer Nominal- zu der Ist-Gestalt. Letztlich wird die gesamte Arbeit in Form eines Berichtsdokuments zusammengefasst. Der Leser muss mit Hilfe des Berichts, bestehend aus Grafiken und Tabellen, eine Vorstellung der real vorliegenden geometrischen Gestalt des Prüflings erarbeiten. Hier beginnt die Grundlage meiner persönlichen Themenauswahl und die Parallele zum UNIGIS Studium. Die Disziplinen aus Industrie und Geographischer Informationssysteme (kurz GIS) sind vergleichbar. Bewährte Applikationen, die in der Geoinformatik Anwendung finden, können auf das industrielle Umfeld übertragen werden. Die Abstraktion von Information in verschiedene (Informations-) Ebenen und die Darstellung mit frei verfügbaren Techniken aus dem Open-Source Bereich.

Nahezu alle Dokumente, wie Belege, Rechnungen oder Karten sind für den Ausdruck auf Papier ausgelegt. Nachdem immer mehr Dokumente elektronisch, am Computer, Tablett usw. gelesen werden, sollte es möglich sein, interaktive auf Wunsch verfügbare Mehrinformation zu beziehen. Die Wunschvorstellung einer selbsterklärenden und interaktiven Berichtsform drängt sich nahezu auf.

Bericht-Dokumente haben die Aufgabe, dem Leser Information zu vermitteln. Der Nutzer soll interaktiv und nahezu unbewusst geleitet werden, um einen Mehrwert aus statischen Dokumenten mit Tabellen-, Grafik- und Diagramminhalte zu erhalten. Eine Tabelle mit räumlichen Koordinaten vermittelt Tatsachen, zum Beispiel den Ort erfasster Objekte. Hier beginnt die Schwierigkeit der Dokumentation von Sachverhalten, nämlich der Interpretationen durch den Leser.

## 2 Material und Methoden

Für die Untersuchung, ob eine Interaktion bei bildlichen Darstellungen von räumlichen Daten einen Mehrwert und vor allem die Entscheidungssicherheit des Anwenders sichert, soll an einem bisher als statisch verfügbares Dokument erforscht werden. Hierzu wird die Ist Gestalt einer nominal als Gerade betrachteten Menge von Koordinatenpunkten als SVG-Grafik nachempfunden und mit Interaktionselementen erweitert. Um sich Eingangs eine Grundlage für die Programmierung zu machen, wird

ein Experteninterview ausgearbeitet. Es wird untersucht, wie Anwender mit räumlichen Analysen umgehen und sich das notwendige Wissen über den geometrischen Sachverhalt erarbeiten. Die neu geschaffenen Interaktions-Inhalte dienen als Basis einer abschließenden Nutzeranalyse im Interviewstil.

## 2.1 Experteninterview

Die Forschungsarbeit beginnt mit einer Expertenbefragung. Noch im Vorfeld sind die Grundlagen der zu programmierenden Diagrammdarstellung in SVG zu erarbeiten. Das Diagramm, welches flächenhafte Koordinatenpunkte darstellt, dient der darauffolgenden Untersuchung des Nutzerverhaltens, ob interaktive Inhalte eine bessere Entscheidungsfindung ermöglichen können.

Ein Fragebogen mit Entscheidungs- und offenen Fragen ist linear aufgebaut und dient als Orientierungshilfe bzw. Gesprächsleitfaden. Eine repräsentative Aussagekraft mit vergleichbaren Antworten soll somit gewährleistet sein. Bei den Befragten wird angenommen, dass sie einschlägige Erfahrung im Umgang mit bekannten Berichts- und Darstellungsformen haben. Es wird angenommen, dass alle Befragten Berührungspunkte zu der industriellen Koordinatenmesstechnik in ihrem beruflichen Arbeitsumfeld haben. Es wird abgefragt, ob es mögliche Probleme der Interpretation von Berichten geben kann. Ein wichtiger Aspekt ist zu erfahren, welche Qualität der Kenntnisstand des einzelnen zu dem Thema der Form- und Lagetoleranzen hat. Das Ziel ist die Vermeidung von möglichen Fehlinterpretationen. Mögliche Gründe, die in der nachfolgenden Analyse untersucht werden, können besser bewertet werden, wenn das Vorwissen und der Ausbildungsstand des Befragten bekannt sind. Sollen unterstützende Inhalte umgesetzt werden, gilt es mögliche Darstellungsformen zu erfahren, die Schwierigkeiten bereiten können. Dies hilft für eine spätere Aufbereitung und Umsetzung qualitativ erklärender Inhalte. Abschließend soll der Befragte eigene Ideen aber auch Wünsche äußern, die zu einem besseren und sicheren Verständnis führen kann.

Die Stichprobengröße wird bewusst klein gewählt. Zur Interview-Befragung wurden ca. 50 Personen gefragt und um eine Teilnahme gebeten. Ein Großteil der freiwilligen

Teilnehmer ergab sich aus aktuellen Anfragen bestehender Kunden der Messtronik GmbH. In Verbindung eines Telefonats zur Besprechung eines Angebots oder Beauftragung, wurden die Beweggründe der Arbeit erklärt und gebeten, ob sich die Person zu einer Teilnahme bereit erklärt. Die Befragung erfolgt telefonisch oder persönlich unter Verwendung von Webkonferenz Werkzeugen wie TeamViewer. Einige der Interviews wurden während eines Kundenbesuchs sowohl vor Ort oder bei der Messtronik GmbH durchgeführt Als Anschauungsobjekt dient der Grafikreport aus Abbildung 3. Um dem Interviewten ein Verständnis von der angedachten Interaktivität zu zeigen, kann im Anschluss ein erster Entwurf der interaktiven Umsetzung der Geradheits-Abbildung gezeigt werden. Neben einer Einleitung zum Zweck des Interviews wird auf die Vertraulichkeit der Information hingewiesen und gedankt, mit dem Ziel ein besseres Verständnis von geometrischen Sachverhalten in der Diagrammdarstellung erarbeiten zu wollen. Das Ausfüllen erfolgt durch den Interviewer, der eigene Feststellungen im Gespräch notieren kann. Vor allem die Bewertung um den Wissenstand.

Die Analyse der gewonnenen Daten erfolgt deskriptiv anhand der gegebenen Antworten. Schlussendlich wird versucht, Erklärungen abzuleiten und diese entsprechend zu interpretieren.

### 2.1.1 Aufbau des Interviewfragebogens

Die Fragen sind in drei Bereiche gegliedert, um allgemeine und spezifische Informationen von den befragten Personen zu erlangen. Mit der Frage nach dem Alter und Ausbildungsstand kann die Angabe zu Erfahrung, Interpretation besser in Relation gesetzt werden. Es soll abgeprüft werden, ob Diagramme und grafische Darstellungen Inhalt der täglichen Arbeitspraxis sind. Da sich das interaktive Diagramm mit dem Schwerpunkt der Form- und Lagebemaßung nach DIN EN ISO 1101 beschäftigt, werden dieser Kenntnisstand ebenfalls erfragt.

Frage 1.      Wie alt sind Sie?

Unter 22 / 22 – 30 Jahre / 30 – 50 Jahre / über 50 Jahre

Frage 2. Bitte geben Sie Ihre höchste abgeschlossene Ausbildung an

Lehrberuf / Techniker o. Meister / (Fach-) Abitur / Studium

Frage 3. Haben Sie in Ihrer Arbeit Umgang mit Diagrammen und grafischen Darstellungen in Berichten?

(Nein/Ja, mit folgenden (Inhalten))

Frage 4. Verwenden Sie in Ihrer Arbeit Form- und Lagetoleranzen?

(Nein/Ja, Bemerkung)

Frage 5. Haben Sie in den letzten 2 Jahren eine Weiterbildung oder Schulung zu Form- und Lagetoleranzen besucht?

(Nein/Ja, Umfang))

Im Lauf des Gesprächs bitten wir den Interviewpartner um Angaben seiner eigenen Erfahrungen. Abgefragt wird sein Verständnis von Darstellungen mit denen er in Berührung kommt; selbst erzeugt oder von Dritten zur Bewertung erhält. Weiterführend direkt gefragt, ob es zu Problemen in Form von Verständnis, Mehrdeutigkeit oder Fehlinterpretation führen kann. Hat der Befragte eigene Vorgehensweisen und Beispiele entwickelt, wie er räumliche Zusammenhänge erklärt. Im Interviewstil soll er die Anforderung der Norm erklären, so kann der tatsächliche Kenntnisstand und Ursache für mögliche Fehlinterpretationen bewertet werden.

Frage 6. Bitte erklären Sie die Geradheitsauswertung und die zugehörige Normforderung

Geradheit dokumentiert folgende Abweichung, Auswahl:

Formabweichung/Lageabweichung/beides

Wie definiert sich die Toleranzangabe?

In welcher Qualität kann der Befragte die Normforderung erklären:

richtig / ungefähr / falsch (keine Angabe)

Welche Schwierigkeiten der Interpretation haben Sie?

Frage 7. Was kann bei der Interpretation von Form- und Lagebemaßungen behilflich sein?

Frage 8. Welche Methoden verwenden Sie, um Messergebnisse besser zu erklären? Nennen Sie einige Beispiele, wie Sie Laien geometrische Sachverhalte erklären.

Hat der Befragte eigene Beispiele genannt, werden diese als Grundlage genommen, um Möglichkeiten einer Interaktion und grafischer Hilfestellungen zu diskutieren. Es wird ein Hinweis darauf gegeben wie die Umsetzung erfolgen wird, ein Berichtsdokument mit eingebetteter Interaktion. Hier möchten wir erfahren, ob eine Akzeptanz bzw. Nutzbarkeit zu erwarten ist.

Frage 9. Würden Sie Berichtsformen vorziehen, die Sachverhalte grafisch, interaktiv erklären?

Frage 10. Welche der Art der Darstellung würden Sie sich wünschen?

Frage 11. Stellen Sie sich vor, der Bericht ermöglicht es am Rechner erweiterte Inhalte einzublenden. Welche Zusatzinformationen erwarten Sie von einem interaktiven Bericht?

## 2.2 Programmierung

Als übertragbarer Ansatz aus der Geoinformatik dient der Umgang mit Layern in der Darstellung. Die angewandte Methodik, die bei räumlichen Analysen angewendet wird, kann sehr gut mit SVG nachgebildet werden. Mit Hilfe der Funktion ViewBox können mehrere Informationsebenen erzeugt werden. Diese können in Überblendung oder jeweils einzeln dargestellt werden. Durch die Implementierung von Skripten können

diese Ebenen durch Anwenderinteraktion ihre Darstellung verändern und sogar interagieren.

### 2.2.1 Vorbetrachtung und Parameter der Umsetzung

Der gewählte Anwendungsfall dieser Arbeit, um die Nutzeranalyse für ein besseres Verständnis von räumlicher Information zu untersuchen, wird ein „Geradheits-Diagramm“ (Abbildung 3) programmiert. Die im folgenden beschriebenen Inhalte und Funktionen sind mit SVG und JavaScript programmiert und mit interaktiv anwendbaren Funktionen ausgestattet. Grundsätzlich stellt das Diagramm eine Punkteschar dar, die Ergebnis einer messtechnischen Untersuchung sind. Für eine Bewertung dieser, wird eine Geradengleichung aus der Gesamtmenge der Punkte ermittelt. Der einzelne Koordinatenpunkt wird mit einem Überhöhungsfaktor zur Basisgerade dargestellt. Die Vorgehensweise bei geographischen Daten ist vergleichbar. Nach der Norm DIN EN ISO 1101 beschreibt die Geradheit die Linientreue von Koordinatenpunkten projiziert in eine Fläche oder die Mittelachse eines Zylinders. Grundlegendes bzw. abgeleitetes Geometrieelement ist eine Gerade. Diese muss in die Punkteschar gemittelt werden. Hierfür stehen mehrere mathematische Möglichkeiten zur Verfügung, die lineare Regression, also das Arbeiten mit der Methode der kleinsten Abweichungssumme nach Gauß. Die normgerechte Darstellung der Form bzw. Beschaffenheit eines Geometrieelements erfolgt über das Prinzip der kleinsten Hülle, die Methode der Minimierung der größten Abweichungen nach Tschebyscheff. Das Ergebnis einer Geradheitsbetrachtung ist ein Absolutbetrag. Der Wert bezeichnet als Form oder besser gesagt die Geradheit ergibt sich aus der Summe aus den lotrechten Abständen der beiden am weitesten entfernten Punkte zueinander bezogen auf die Bezugsgerade.

Beide Disziplinen beschäftigen sich mit der abstrahierten Darstellung von räumlichen Istzuständen verglichen mit einer geometrischen Eigenschaft wie kugel- oder linientreue. Was in der Industrie zur visuellen Bewertung von Führungsschienen oder dem Beschlag der Küchenschublade dient, beschreibt die Erdkugel als Geoid [Goce].

Untersucht man das Diagramm (Abbildung 3) auf Struktur und Inhalt, gliedert es sich im groben in 2 Bereiche. Den der grafischen Darstellung und den der Attribute ausgehend der Ist- und Solldaten eingebettet in ein Formular. Die kursiv geschriebenen Begriffe verweisen auf Angaben in der Grafik. Es gibt Eingabeparameter wie Bezeichnung des Teils, des Elements und organisatorische Angaben vor allem der Sollwert der Geradheit, der Toleranzwert und die Projektionsebene.

Die Darstellung der Koordinatenpunkte erfolgt im Bezug zur berechneten Gerade die waagrecht in der Diagrammebene liegt. Die lotrechte Distanz der Punkte wird über einen Überhöhungsfaktor bestimmt. Um das Diagrammfeld im Ganzen nutzen können, sind die Ordinate und Abszisse in verschiedenen Maßstäben aufgetragen. Weiterhin werden die maximal abweichenden Punkte durch die beiden blauen Sterne gekennzeichnet. Es werden weiterhin die Punkte mit Distanz und Koordinaten angegeben. Das Vorzeichen ergibt sich aus der Materialrichtung, die über eine Vektorrichtung der Punkteschar eingeht. Der positive Wert liegt weiter außen bezogen auf die Blickrichtung zur Bauteiloberfläche hin. Die Grafik zeigt schwarz die gemittelt berechnete Nominal-Linie, orange, mit einem Überhöhungsfaktor bezogen auf die Toleranzlinie, (gelb) die Istwerte. Aus der Beschaffenheit der Istlinie kann der Leser Eigenschaften ableiten. Z.B. langwellige Kurven – ist das Teil „verbogen“, kurzwellige Zacken – hat die Oberfläche Unebenheiten und vieles mehr.

Um die Diagrammgrafik erzeugen und Informationen darstellen zu können wie in Abbildung 3 gezeigt, müssen in SVG Inhalte und Funktionen realisiert werden.

Hier die Inhalte bzw. Funktionen des untersuchten Diagramms aufgelistet, um eine Diagramm zur Darstellung der „Geradheit“ zu erzeugen:

1. Dokumentformular mit Ausgabe von Eigenschaften in Textform, Block für Text, Grafik und optionale Information
2. Zeichnen von Geraden
3. Zeichnen von Kreisen
4. Zeichnen von äquidistanten Geometrien wie Kreis und Gerade
5. Zeichnen von Polylinien

Eingaben bzw. Eingabeinformationen zur nachfolgenden Darstellung:

1. Koordinatenwerte in XYZ
2. Art der Auswertung, hier Geradheit. (Der Dateiaufbau soll Grundlage für weitere Darstellungen sein)
3. Berechnungsart
4. Toleranz
5. Überhöhungsfaktor
6. Projektionsebene
7. Richtungsvektor zur Festlegung der Materialseite
8. Kopfdaten für Berichterstellung wie Prüfer, Projekt-Nr. etc.

Optionale Funktionen, die interaktiv eingebunden werden können

- a. Einblenden eines Messwerkzeugs; Anzeigen der Istkoordinate und Abweichung mit einer Messuhr



Abbildung 20 - Messuhr auf Granitplatte

- b. Zeichnungsausschnitt
- c. Hinterlegen der Polylinie der Istkoordinaten mit einem Bildobjekt
- d. Aufbau des Diagramms in Einzelschritten

Für die angestrebte Nutzeranalyse wird die SVG-Darstellung manuell erzeugt. Die Eingaben der notwendigen Parameter wird direkt in der SVG-Datei mittels Editor eingeben bzw. programmiert. In einer späteren Anwendung soll das Zusammensetzen aus Textbausteinen aus einem Anwendungsprogramm erfolgen. Als Beispiel mit der Messsoftware Winwerth kann mit Lineprint die SVG-Datei, im Anschluss an eine

Messung oder Auswertung, erzeugt werden. Über String- bzw. Realvariablen werden zum Zeitpunkt der Erstellung die Rohdaten und beschreibenden Eigenschaften in die Datei übergeben. Die Details der Parameter siehe Aufbau der SVG-Datei. Die Implementierung und Verteilung der SVG Grafik kann zum Beispiel in eine Open Office Dokument (\*.odt) erfolgen. Liegt das Diagramm als Dateiojekt im diesen ODT-Archiv, könnte man es mittels Hyperlink in einem Webbrowser öffnen, um so die Interaktivität zu starten.

### 2.2.2 Erarbeiten der Grundlagen in SVG

Über mehrere aufeinander aufbauende SVG-Dateien wurden die verschiedenen Darstellungsoptionen, grafische Objekte und JavaScript-Funktionen erarbeitet und zu einer abschließenden Gesamtstruktur zusammengefügt. Die Eingabe der Koordinaten erfolgt als String im Format aneinander geketteter Arrays für einen 3-dimensionalen Raum ( $[X, Y, Z]$ ). In der Verarbeitung und nachfolgenden Funktionen wird das Koordinaten-Array auf eine 2-dimensionalen Fläche reduziert. Die gewünschte Projektionsfläche kann mit der Hilfe einer Statusvariablen dementsprechend vordefiniert werden. Es stehen die drei Projektionen XY, YZ und ZX zur Verfügung. In der Berechnung werden die Eingangskoordinaten auf die Komponente des X- und Y-Werts intern umgerechnet und in Array-Objekte abgelegt.

Die folgende Beschreibung in Schritten zeigt die Entwicklung und Ausarbeitung des Bilddiagramms in Projektabschnitten, die als Meilensteine und Einzelkomponenten der Programmierung umgesetzt wurden. Es handelt sich um einen Auszug und fasst jeweils funktionelle Einzelschritte zusammen.

#### Schritt 1

Die ersten Grundlagen in SVG ist die Darstellung von Koordinaten und Funktionselementen.

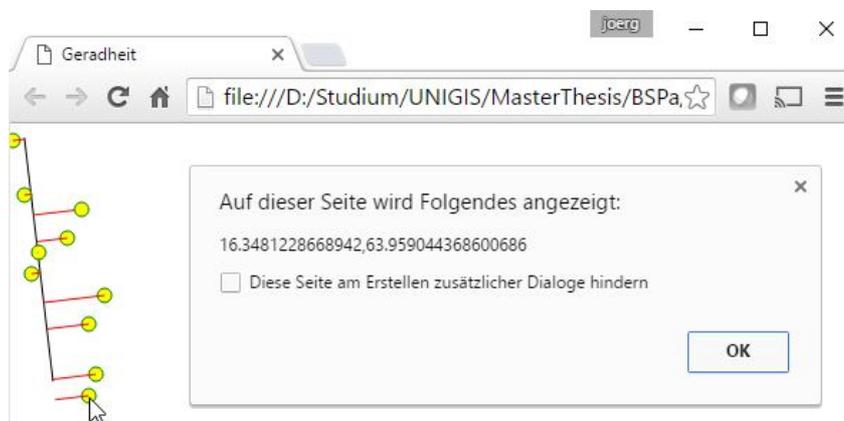


Abbildung 21 - Punkteschar, Regressionsgerade und interaktive Ausgabe

Die Ausgabe erfolgt mit Kreisen, hier grün gelb dargestellt. Die Gerade, hier schwarz wird durch berechnen der linearen Regression aus den Eingabekoordinaten berechnet und dementsprechend gezeichnet. Die Berechnungsgrundlagen wurden zuvor in Excel abgehandelt und mit etlichen Ergebnisfällen abgeglichen. Eine erste Benutzerinteraktion ist möglich durch Anklicken der Kreisfläche. Dadurch erfolgt eine Ausgabe der Koordinaten des jeweiligen Punktes.

## Schritt 2

In einer weiteren Ausbauphase erfolgt die Berechnung notwendiger Parameter zur Generierung von Grafikelementen die beim Öffnen der Datei bzw. Grafik direkt erzeugt werden. Zum Beispiel die Bestimmung der Distanz der einzelnen Koordinate zur gemittelten Gerade.

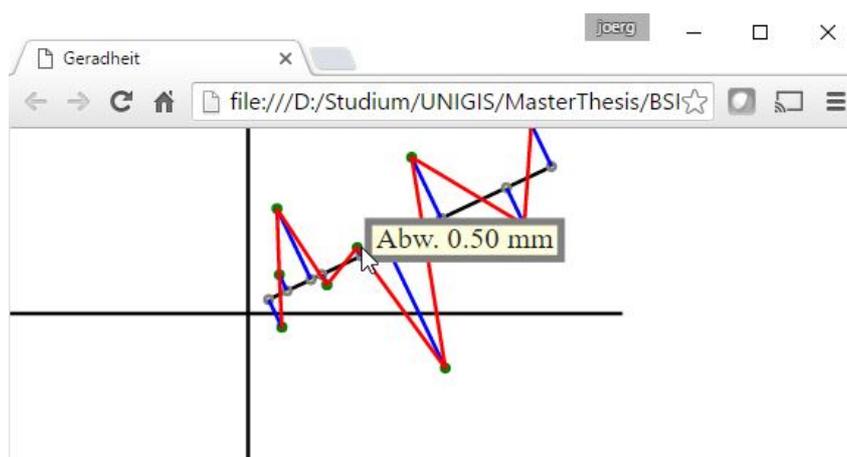


Abbildung 22 - Koordinaten in einem Bezugssystem, mit Mouseover-Textausgabe

In diesem Schritt wird ebenfalls die Sollkoordinate, der Schnittpunkt einer Lotrechten durchgehend zum Istpunkt, ermittelt und in einem Array gespeichert. Dieser Wert stellt die Abweichung zwischen Soll- und Istpunkt der Messwerte dar. Mit Hilfe der Residuen der quadratischen Addition und einem zusätzlichen Vektorpunkt kann später die Materialseite - das heißt das Vorzeichen der Abweichung - bestimmt werden. Alle Einzelberechnung bezogen auf die Koordinatenliste werden in vordefinierten Arrays abgelegt und für eine anschließende Verwendung global vorgehalten.

Eine weitere Interaktion zur Ausgabe ist ein Textfeld, dass bei „Mouse-Over“ über eine Istpunkt-Koordinate die berechnete Abweichung darstellt.

Mouseover – zeige Textfeld,

Mouseout – blende Textfeld aus.

Eine weitere Funktion, die für eine bessere Darstellung sorgt, ist die skalierte mit einem Überhöhungsfaktor versehene Darstellung, also Lage der Istkoordinaten zur Solllinie in schwarz.

### Schritt 3

Die Optimierung der Darstellung erfolgt über das Eindrehen (SVG - transform) der Gesamtdarstellung um die ermittelte Steigung der Geradengleichung ( $y = ax + b$ ). Ziel ist die Sollgerade soll mittig im Dokument und waagrecht verlaufen. Über die Anpassung des Bildausschnitts (SVG - ViewBox) kann jedwede Eingangs-Punkteschar dargestellt werden.

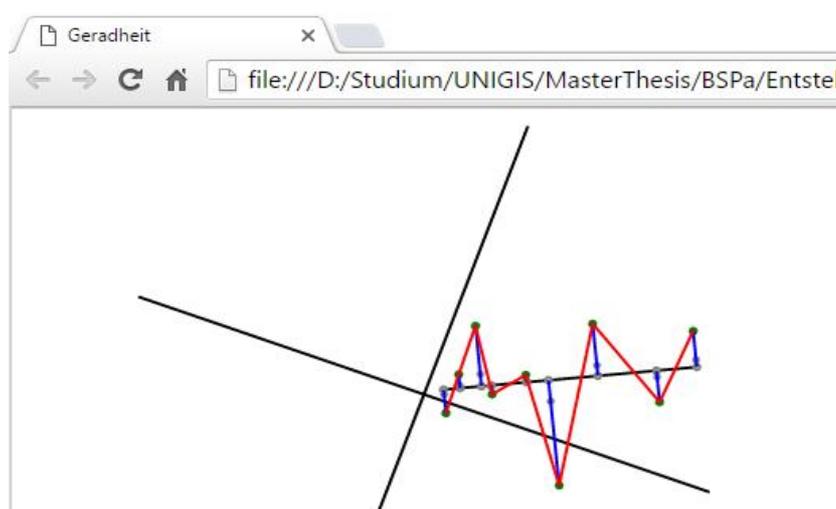


Abbildung 23 - Eindrehen der Darstellung

### Schritt 5

Die Einführung eines Darstellungsfensters für Resultate: Das bedeutet auch die Entkopplung der beiden Koordinatenachsen. In der 2-dimensionalen Darstellung, speziell von geometrischen Eigenschaften, ist oben links im Eck in grau die Darstellung der Rohdaten im ursprünglichen Bezugssystem zu sehen.

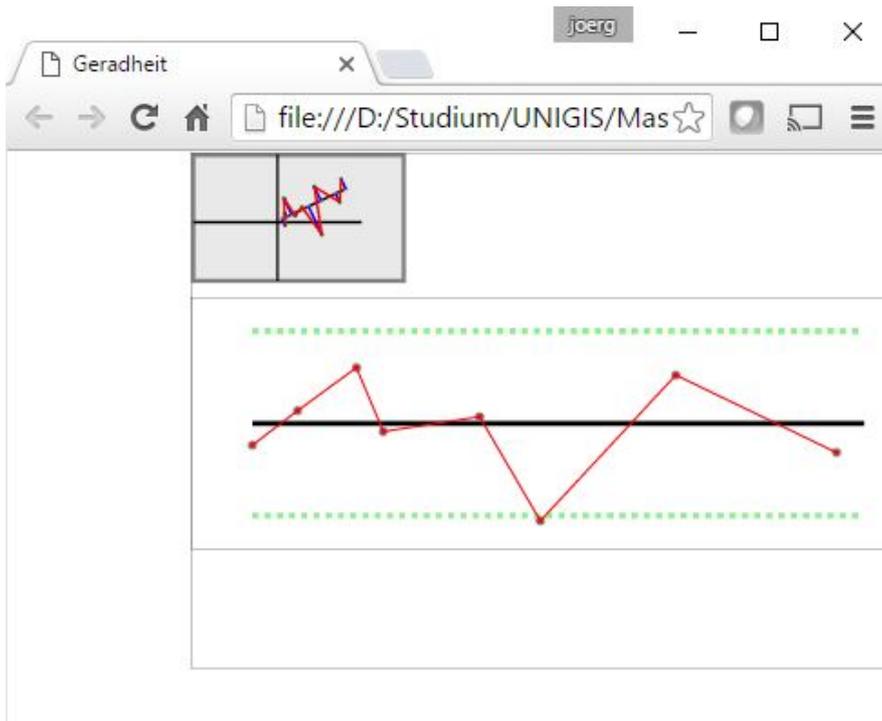


Abbildung 24 - Getrennte Darstellung in Rohdaten und Ergebnis

In der Hauptansicht (zentral, Mitte) werden die Koordinaten aufbereitet bezogen auf das berechnete Ergebnis dargestellt. Das Diagramm orientiert sich an der Darstellung der Istpunkte bezogen auf eine ideale Gerade. Hieraus folgt in weiteren Schritten die Auswertung der Geradheit. Die Abszisse zeigt in der Abfolge von links nach rechts die Menge der Punkte entlang der berechneten Idealgeraden. Der Punktabstand ergibt sich aus der verfügbaren Darstellungsbreite. Das Array, das in der Regressionsrechnung entstehenden Schnittpunkte (Sollinformation) werden mit Hilfe einer weiteren Funktion sortiert und auf Kleinst- und Größtwert entlang der Geraden untersucht und in ein übergeordnetes Ergebnis-Datenfeld abgelegt. Die Ordinate zeigt die Abweichung der Istpunkte zur Sollgeraden. Um die maximale Höhe der Darstellung auszufüllen wird auch hier das Ergebnisarray auf Extremwerte hin untersucht. Mit einbezogen ist die äquidistante Darstellung der Toleranz, hier gestrichelt in grün dargestellt. Das Verhältnis aus Kleinst- und Größtwert bestimmt auch die Lage der Sollgeraden bezogen auf die Bildmitte. Somit werden die Inhalte nebenbei an die verfügbare Fenstergröße angepasst.

Schritt 6

Einbetten des Diagramms in ein Formular mit Angabe von Legenden und Ergebnisdarstellung mit Textfeldern: Die Formularfelder sind eine Kombination aus berechneter Ergebnisdarstellung und Ausgabe von eingehenden Statusvariablen.



Abbildung 25- Getrennte Darstellung in Rohdaten und Ergebnis

Der SVG Aufbau ist bereits in mehrere Bereiche (ViewBox) aufgeteilt und überlagert dargestellt. Diese werden beim Laden der Datei auf Punkt über die Ausführung mehrerer in Reihe ab folgenden JavaScript Routinen erzeugt. Die Skalierung, Legende gefolgt von Messwerten und Berichtinformation in tabellarischer Übersicht werden berechnet oder aus Variablen erzeugt. Oben links weiterhin eingeblendet sind die Rohdaten in Ihrem Ursprungsbezugssystem. Hier zu sehen - in rot - die unsortierte Abfolge der Koordinaten durch Segmente verbunden (nicht Polylinie). Die Sollgerade in schwarz ist eingepasst, nicht aber in der Länge an die Gegebenheiten der Istwerte angepasst.

## Schritt 7

Auf den ersten Blick sieht die Darstellung dem Vorbild (Abbildung 3) bereits sehr ähnlich. Zu beachten sind die drei Pfeilsymbole, die beim Überfahren der Maus eine Information und eine Interaktion durch Veränderung des Mauszeigers anzeigen.

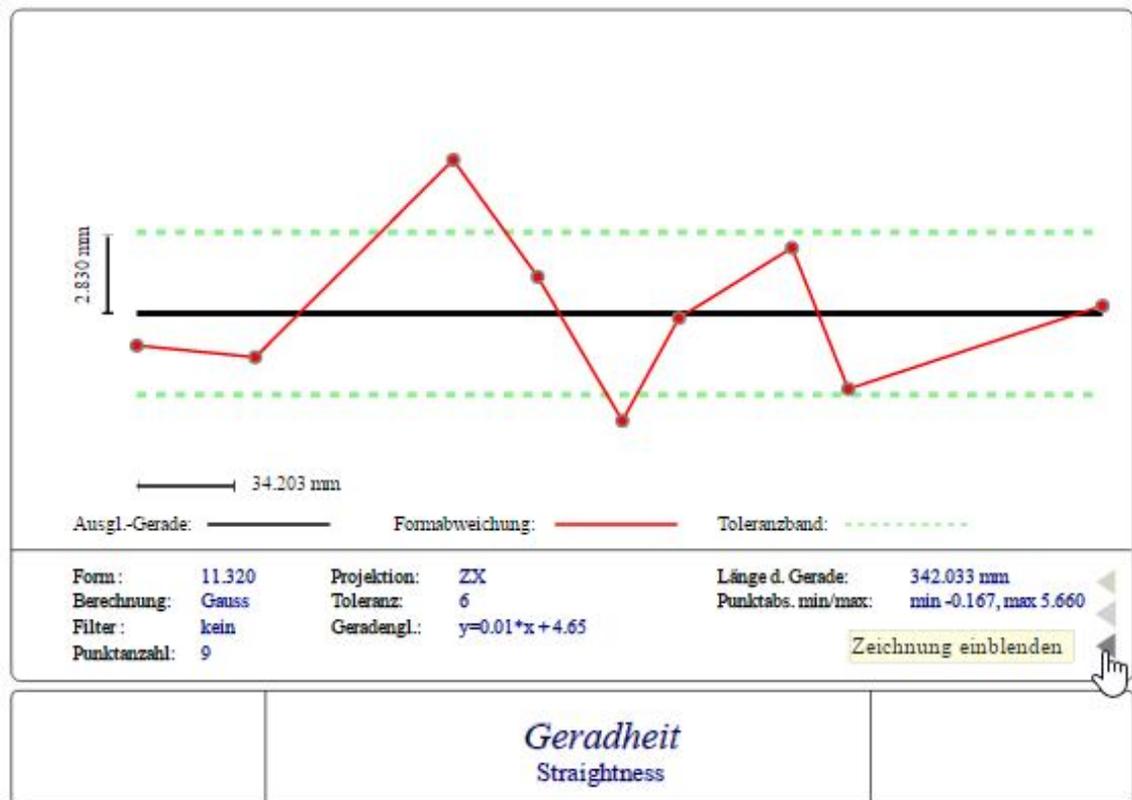


Abbildung 26 - Layer mit Funktion des Ein- und Ausblendens

Die Entstehung und Grafikaufbau, wie in den vorangegangenen Schritten beschrieben, sind in der endgültigen Ansicht nicht zu Beginn sichtbar. Beim Öffnen der Datei wird das finale Ergebnis, das eigentliche Diagramm dargestellt. Eine Interaktion und weiterführende Information und Erläuterung der Herleitung sind erst auf den zweiten Blick zu sehen.

Aktuell sind drei weitere Schichten oder auch Layer genannt, realisiert. Diese Layer liegen als integrierte Objekte vor oder hinter der Ergebnisdarstellung. Durch das SVG-

Attribute „display“ werden diese durch Anklicken ein- bzw. ausgeblendet. Durch verschiedene Mauszeiger wird dem User suggeriert, dass er eine Interaktion erwarten kann.

### Layer 1 - Rohdaten

Die Entstehung und Herleitung kann im Layer Rohdaten in Einzelschritten abgehandelt werden. Werden im linken Legendenblock Eingaben geändert wird umgehend die Grafik und das Ergebnis neu berechnet und dargestellt.

**Rohdaten**

Projektion  
 XY  
 YZ  
 ZX

Überhöhung  
 2

Berechnung  
 Gauss  
 Tehebyschaff

Einzelschritte

Form: 34.115    Projektion: XY    Länge d. Geraden: 65.667 mm  
 Berechnung: Gauss    Toleranz: 6    Punktabs. min/max: min -20.948, max 13.167  
 Filter: kein    Ueberhoehung: 2  
 Punktzahl: 9    Geradengl.:  $y=-1.92*x+38.41$

Rohdaten ausblenden

**Geradheit**  
 Straightness

Abbildung 27 – Layer 1 der Rohdaten

Über verschiedene Parameter kann die Berechnung und das Ergebnis verändert werden. Mit der Einflussnahme des Konsumenten (User) auf den Ergebnisbericht muss für einen Einsatz im industriellen Umfeld eine Untersuchung auf eine Rechte- und Zugriffsverwaltung durchgeführt werden. Zu beachten ist, aktuell werden die

eigentlichen Eingangsparameter nicht geändert und ein speichern der Datei mit Modifikationen ist ohne weiteres nicht möglich.

## Layer 2 – Bilddokumentation

Der Vorstellungskraft des Betrachters hilft das hinterlegte Bild des physisch realen Bauteils. Die Beschaffenheit, hier die Geradheit wird mit einem Überhöhungsfaktor über das Bild gelegt.

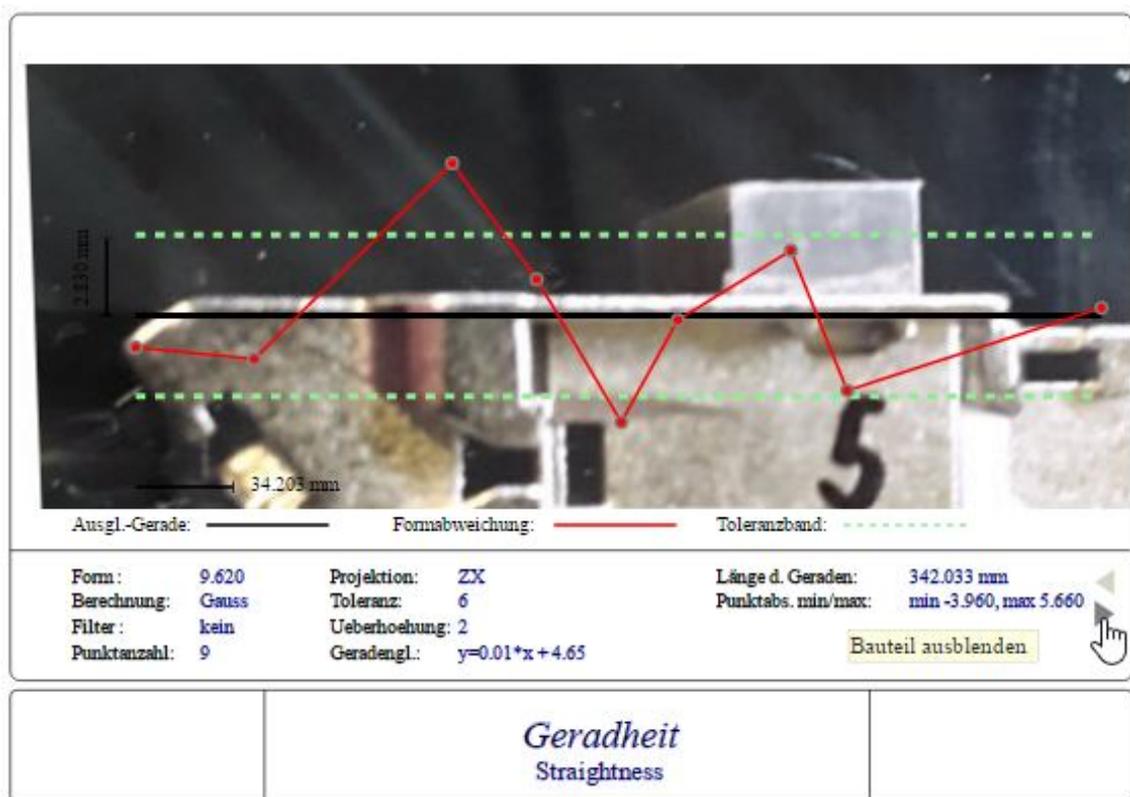


Abbildung 28 - Layer 2 Bilddokumentation

Durch die Überlagerung kann schnell ein Bezug zwischen den Messwerten und dem realen Bauteil hergestellt werden. Die Erklärung wie sich eine geometrische Begebenheit auswirkt, ist somit leichter zu begreifen. Das Bild ist als Base64 Kodierung in die SVG-Datei integriert. Weiterhin gilt zu untersuchen wie ein Bild in ein passendes Bezugssystem hinter die Diagrammdarstellung gebracht wird. Aktuell wird die

Lageausrichtung im Code der Datei durch das Attribut „transform“ in der ViewBox für den Layer „Bild“ positioniert.

### Layer 3 – Technische Zeichnung

Die Grundlage bzw. Anforderung an den Bericht eines Einzelmerkmals (hier Geradheit) wird anhand einer technischen Zeichnung definiert.

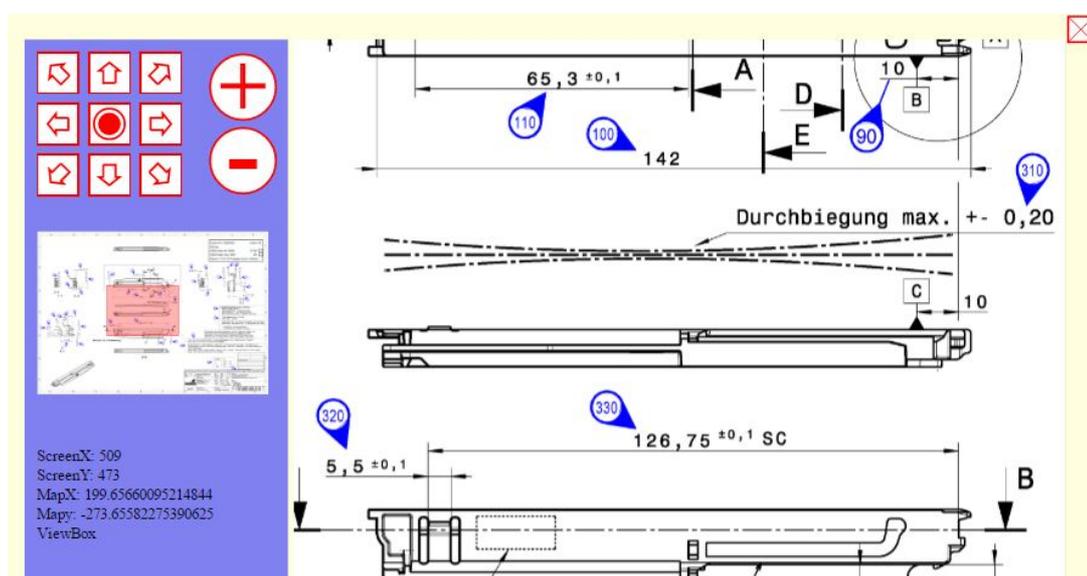


Abbildung 29 - Layer 3 Technische Zeichnung

Der Konsument kann sich den Zeichnungsausschnitt mit der Nominalangabe einblenden. Durch eingefügte Funktionen kann die Ansicht in der Position und Ausschnitts Größe (Zoom) geändert werden. Der Code für diese Interaktion wurde übernommen und an für diese Anforderung leicht verändert [Ueberschär et. al 2006].

## Visuelle Darstellungshilfen

In der Praxis kann mit einer Messuhr auf einem sogenannten Messbalken die relative Abweichung lokal bezogen auf die Auflagefläche bestimmt werden. Dieses Hilfsmittel ist bildlich dem Original nachempfunden. Die ausprogrammierte Messuhr passt sich interaktiv der vorliegenden Rohdaten an. Die Grenz- und Toleranzbereiche werden beim Öffnen der Datei mittels einer Funktion in JavaScript generiert. Bewegt man die Maus über einen Koordinatenpunkt zeigt die Uhr die berechnete Abweichung an dieser Stelle. Durch eine JavaScript Funktion werden Parameter aus Daten-Arrays ausgelesen und dargestellt.



Abbildung 30 - Messuhr

Fährt man aus dem Diagrammbereich heraus, wird die Messuhr ausgeblendet. Durch verändern des Mauszeigers soll dem Konsument suggeriert werden, dass er eine Interaktion erwarten kann.

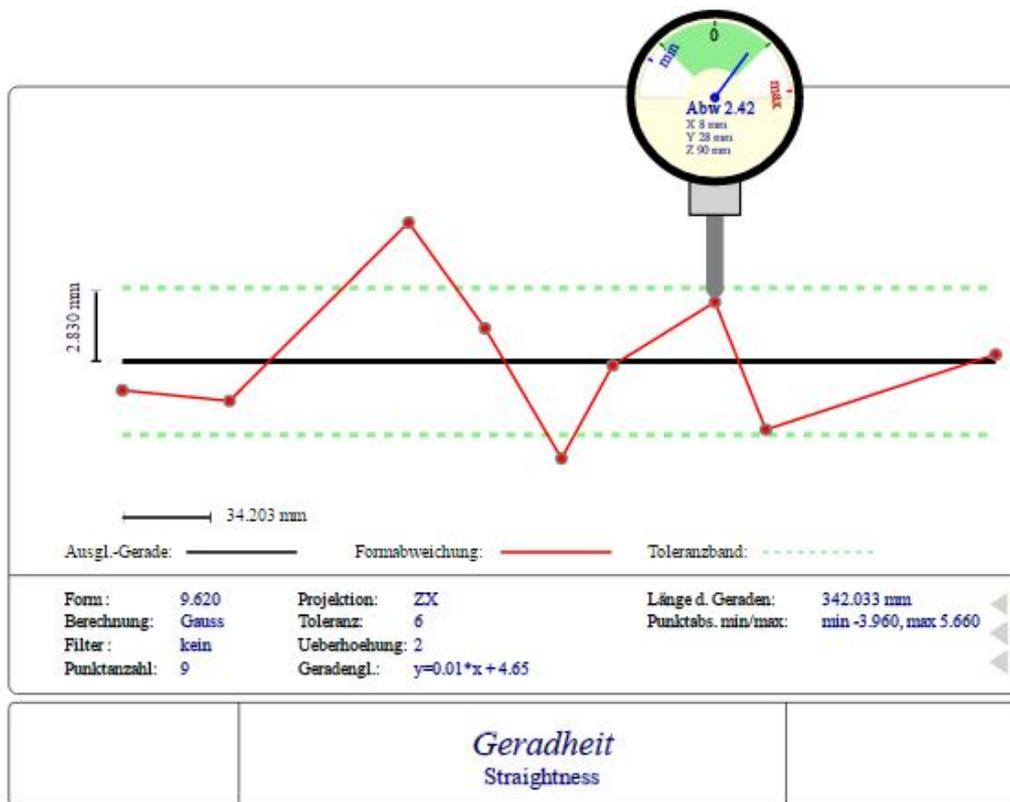


Abbildung 31 - Messuhr eingebildet über Berichtformular

### 2.2.3 Datei-Struktur der SVG-Datei

Die Zusammensetzung besteht aus den folgenden 3 Blöcken:

- |         |   |
|---------|---|
| Block 1 | [XML Deklarationen - Kopfzeile]                     |
| Block 2 | [Variablen]   |
| Block 3 | [Hauptteil mit Funktionen und grafischen Elementen] |

Jeder Informationslayer ist Inhalt einer Viewbox und wird sichtbar oder unsichtbar geschaltet, display=inline/none. Folgende Layer Ansichtsebenen sind realisiert:

- Hauptansicht – Darstellung des eigentlichen Messwerts: Geradheit (weitere Rundheit, Position etc.)
- Darstellung der Rohdaten und die Entstehung des Ergebnisses

- Aufbau der Grafik in Einzelschritten
- Einblendung eines Bilds des Bauteils
- Einblendung der technischen Zeichnung

In der aktuell hier vorgestellten Version sind alle JavaScript Funktionen Teil der Datei und werden nicht eingebunden (include). Für eine Vorstellung soll mit einer einzelnen, selbstständig operierenden Datei gearbeitet werden (out of the Box). In Abhängigkeit einer späteren Anwendung können die Funktionen, Symbole etc. ausgelagert werden und als externe Bibliothek nach Bedarf eingebunden werden. Ebenso verhält es sich mit den Messwerten und möglichen Darstellungsoptionen, als Client/Server Lösung kann die Diagrammdarstellung als Teil einer Datenbankabfrage räumliche Daten darstellen.

Hier die einzelnen programmierten Inhalte zur Übersicht und Inhaltsangabe, allgemeine Definitionen: XML Header etc.

1. Definition eingebundener Elemente
  - 1.1. Symbole
  - 1.2. Messuhr, siehe Codereferenz
2. JavaScript-Funktionen
  - 2.1. Eingabevariablen, notwendig für die Darstellung: Name, Art, Inhalt/Funktion
    - 2.1.1. report Globalvariable, Array Inhalt: Berichtinformation

Beispiel

```
// Report
var report = ["Kunde", "Teilname", "Teilnr", "Elementname", "Pruefer" ];
```

- 2.1.2. CoordString Globalvariable Inhalt: Kommagetrennte Koordinaten X,Y,Z;
- 2.1.3. tol Globalvariable Inhalt: Toleranzangabe
- 2.1.4. fac Globalvariable Inhalt: Überhöhungsfaktor der Abweichung
- 2.1.5. Pro Globalvariable, String Inhalt: Projektionsebene [XY, YZ, ZX]
- 2.1.6. matvec Globalvariable, ArrayInhalt: Kommagetrennter Vektor der Materialrichtung
- 2.2. Vordefinition von global verwendeten Variablen, ein Auszug der für die Funktion am wichtigsten

- 2.2.1. Real Def. Array Inhalt: Istwerte/Koordinaten
- 2.2.2. CoordA Def. Array Inhalt: Distanz zwischen Soll- und Istpunkt
- 2.2.3. CoordRes Def. Array Inhalt: Ergebnisberechnung zu jedem Istpunkt
- 2.2.4. CoordSX Def. Array Inhalt: Eine Komponente der 2D-Darstellung, X
- 2.2.5. CoordSY Def. Array Inhalt: Zweite Komponente der 2D-Darstellung, Y
- 2.2.6. CoordFX Def. Array Inhalt: Skalierte Komponente der Istpunkte, X
- 2.2.7. CoordFY Def. Array Inhalt: Skalierte Komponente der Istpunkte, Y
- 2.2.8. StrnRes Def.Array Inhalt: Resultat der Linearen Regression
- 2.2.9. StrnPts Def.Array Inhalt: Eigenschaft zu jedem Koordinatenpunkt
- 2.2.10. Nomline Def.Array Inhalt: Anfangs- und Endpunkt der Sollgeraden
- 2.3. Start – Funktion die initial beim Öffnen der Datei ausgeführt wird
- 2.4. SingleStep – erstellt das Bild in Einzelschritten und stellt Erklärungshilfen dar
- 2.5. Zeichnen
  - 2.5.1. DrwPts – [Draw Points] Zeichne bzw. füge Punkte ein  
 Funktion: Zeichnet Koordinatenpunkte Eingabeoptionen: Nominal, real, scale
  - 2.5.2. DrwNeedle – [Draw Needles] Zeichne Nadeldarstellung  
 Funktion: Zeichnet einzelnen Linien zwischen dem Istpunkt (Real) oder den skalierten Istpunkten (CoordFX, CoordFY) und den zugehörigen Sollpunkten (CoordSX, CoordSY) im Layer Rohdaten
  - 2.5.3. DrwPly – [Draw Polyline] Zeichne eine Polylinie aus Koordinaten
  - 2.5.4. DrwNomLine [Draw Nominalline] – Zeichne Nominallinie
  - 2.5.5. DrwAquLin [Draw aquidistant Line] – Zeichne parallel Linie zu Nominalline, hier Toleranzbereich
  - 2.5.6. DrwAxes [Draw Coordinate axes] – Zeichne und setze Koordinatenachsen
  - 2.5.7. DrwStrPts [Draw Straightness of Points] – Zeichne Layer Geradheit von Koordinatenpunkten, komplette der Darstellung der Auswertung
- 2.6. Berechnen
  - 2.6.1. CalcLineAbw [Calculate Distance to Line] – Berechne Distanz und Sollpunkt zu Istkoordinaten zum Sollelement „Linie“
  - 2.6.2. CalcCoord2String [Calculate Array of Strings] – extrahieren des Koordinaten-Datenfelds aus einem String
  - 2.6.3. CalcLinearReg [Calculate linear Regression] – Berechne eine lineare Regression in einer Projektionsebene

- 
- 2.6.4. CalcVecProj [Calculate Vector Projection] – Berechne Lage der Punkte bezogen auf das Sollelement Gerade; Distanz und Abstand der Punkte zueinander
  - 2.6.5. CalcScale [Calculate Scaling] – Berechne eine Skalierung zu den Istpunkten bezogen auf das Sollelement, erzeugt neues Datenfeld
  - 2.7. Interaktion
    - 2.7.1. myFadeout/myFadeOut, Quelle Ueberschär/Winter
    - 2.7.2. myTooltip, Quelle Ueberschär/Winter
    - 2.7.3. AdjGauge [Adjust Gauge] – Setze Messuhr, Anzeigebereich auf aktuelle Ist/Sollwerte einstellen
    - 2.7.4. SetGauge [Set Gauge] – Anzeigen des Istwertes, setzen des Zeigers
    - 2.7.5. SetRawdataScale [.] – Setze/skaliere die Viewbox auf die aktuellen Istwerte
    - 2.7.6. SetRawPro [Set Rawdata Projection] – Steuern der Anzeige der Projektionsebene: Variablendeklaration und Skalierung (Unterfunktion)
    - 2.7.7. SetDelChilds [Set Delete Childs] – Vor jeder Operation werden die zuvor erzeugten Elemente (Punkte, Linien etc.) gelöscht
    - 2.7.8. SetOptPro [Set Optionbutton Projection] – Setze die Optionbuttons der Funktion „Projektion“, grafische Steuerung
  - 2.8. Layer Zeichnung, Quelle Buchbeispiel Ueberschär/Winter
    - 2.8.1. DrwCheckVB
    - 2.8.2. DrwPan
    - 2.8.3. DrwZoom
    - 2.8.4. DrwReset
    - 2.8.5. DrwPreset
    - 2.8.6. DrwSetOverviewRect
    - 2.8.7. DrwCoordTransform
    - 2.8.8. DrwMouseCoords
    - 2.8.9. DrwDrag
    - 2.8.10. DrwGetScreenCTM

- 3. SVG Layer, die Reihenfolge bestimmt einzelne grafische Einzelheiten
  - 3.1. Layer – Bild/Picture, liegt hinter der grafischen Darstellung
  - 3.2. Layer Ergebnis: Plotbereich – Darstellung der eigentlichen geometrischen Eigenschaft; Geradheit, Rundheit etc.  
Erstellt das gesamte Berichtsformular aus Legende, Darstellung der Messwerte
  - 3.3. Layer Rohdaten – darstellen der grafischen Herleitung
    - 3.3.1. Steuerung mit Optionbuttons
    - 3.3.2. Plotbereich zur Darstellung der Messwerte
  - 3.4. Layer Drawing/Zeichnung
    - 3.4.1. Darstellung Zeichnung
    - 3.4.2. Steuerung: Zoom, Pan, Übersicht

Mathematische Funktionen	
Lineare Regression in 2D als JavaScript Funktion	Ermitteln der Geradengleichungen in der Ebene nach Auswahl (XY, YZ, ZX) möglich. Gauß Ausgleichsgerade in einer Berechnungsschleife  Zu optimieren; Iterative Berechnung, einpassen mehrstufig
Ausgleichselement „Gerade“ nach Tschebyscheff ermitteln	Nicht realisiert, Schwierigkeit der Integrationsrechnung nur externen Berechnung oder Bibliotheken möglich.

Layer – Interaktion	
Rohdaten	-Einblenden der Rohdaten, Abfolge in Einzelschritten -Projektionsebene wechseln -Menü für Berechnungsart, ohne JavaScript (Gauß/ Tschebyscheff) -Menü Toleranz, ohne JavaScript -Menü Überhöhungsfaktor, ohne JavaScript
Bild	In der Datei integriert als Base64-String Bildlich hinterlegt hinter der Darstellung
Zeichnung	Überblendung mit Zoom- und Panfunktion als Überlagerung, Bild als Base64-String
Norm	Seitlich eingeblendet als Base64 String
Anzeige Hilfsmittel - Messuhr	Realisiert mit mehreren JavaScript Funktionen als SVG Element „Symbol“

Angestrebte Funktionen	
Datenbank-Zugriff	Berechnung und Abrufen der Rohdaten aus einer Datenbank
Externes Programmmodul zur Erzeugung	Funktion zur Erzeugung der Stand-Alone Anwendung; SVG-Grafik
Implementierung in *.odt	Einbetten der SVG Grafik in eine Open Office Anwendung zu besserer Weitergabe
Filter	Filtern/Modifikation der Rohdaten: Glätten/Ausdünnen

*Funktionsumfang – tabellarisch zusammengefasst*

Einzelne exemplarische Beispiele finden Sie im Anhang. Den gesamten Programmcode entnehmen der SVG Datei auf dem beiliegenden Datenträger des gedruckten Exemplars oder online:

[https://gist.github.com/wjm30877/aaa27ec6ba86f328a831d5c44d14e3ea#file-messtronik\\_straightness-svg](https://gist.github.com/wjm30877/aaa27ec6ba86f328a831d5c44d14e3ea#file-messtronik_straightness-svg)

## 2.3 Nutzeranalyse

Der Programmierung folgt die Nutzeranalyse. Es wird untersucht, wie der Anwender auf integrierte Interaktion und geleitete Informationsdarstellung reagiert. Vor allem, ob der vermittelte Inhalt - die Darstellung von räumlicher Information – für ihn, den Anwender besser verständlich gemacht ist.

Ziel der Untersuchung ist ausgehend von der Forschungsfrage, ob der Anwender, kurz User, einen leichteren Zugang zum vermittelten Wissen über die Darstellung von räumlichen Daten erhält, die sonst nur geschulten Anwendern oder Experten zugänglich ist.

Die erstellte, in SVG umgesetzte Diagrammdarstellung zeigt eine dem Anwender bekannte Berichtform einer Polylinie, die die Qualität bzw. geometrische Ausprägung einer Linie wiedergibt. Im Vordergrund stehen nicht die mathematische Richtigkeit der Darstellung und berechneten Merkmale. Die Nutzeranalyse soll Antworten auf die

folgenden Fragen geben. Der Schwerpunkt liegt auf dem Transport von Wissen in Richtung Konsument bzw. Nutzer und semiotische Ableitung.

Die Teilnehmer rekrutieren sich aus einer kleineren Anzahl der eingehend interviewten Personen. Es wird untersucht, ob die Anwendung, realisiert für das Objekt Form- und Lage-Merkmal „Geradheit“, anwendbar ist. Die eingangs definierten Ziele des Mehrwerts werden abgeprüft. Als allgemeine Ableitung soll geklärt werden, ob interaktive Inhalte, eingebracht in statische Diagramme, auch für andere Anwendungsfälle weiterführend betrachtet werden können.

Zuerst werden Bewertungskriterien festgelegt, mit der eine Nutzeranalyse durchgeführt werden kann. Dies geschieht unter der Annahme, dass der Nutzer ein statisches Dokument ohnehin aktuell verwendet. Somit stellt sich die Frage vor allem nach der Qualität des Umgangs mit einer Darstellung, die interaktive Möglichkeiten und Erweiterungen beinhaltet. Es folgt die Ausarbeitung der Fragen ausgehend der möglichen Reaktionen durch den Nutzer.

Positive Reaktion/Interaktionsmöglichkeit:

- Besseres Verständnis für die dargestellte Information
  - interaktives Hilfsmittel (Messuhr) zur Darstellung der Koordinatenwerte
  - Darstellung in Einzelschritten nach vollziehbar
- Sichere Interpretation durch den Nutzer
  - Darstellung der Abweichung an spezifischen Orten (Wo)
- Weiterführende Inhalte sind Teil des Dokuments
  - Herleitung, Berechnung der Geradengleichung
  - Bezugssystem in der Ebene (in 2D realisiert)
- Alternative Darstellungen/Berechnungen können erstellt werden
  - Berechnung der Geradengleichung mittels Gauß oder Tschebyscheff

Negative Reaktion:

- Bedienung zu komplex
- SVG-Diagramm läuft nicht auf jedem Rechner

- Ein Zuviel an Information
- Werden ursprüngliche Darstellungen so verändert, dass eine Fehlinterpretation die Folge sein kann

Daraus ergeben sich in Kombination der umgesetzten interaktiven Inhalte die folgenden Fragen, die der Testperson gestellt werden kann:

1. Lässt sich das Diagramm fehlerfrei öffnen?

Ziel:

Ist ein Browser installiert/verknüpft, der SVG abarbeiten kann?

Werden alle Inhalte geladen und sieht das Diagramm dem Original gleich

2. Entdecken Sie die Interaktionsmöglichkeiten?

Ziel:

Findet der Nutzer die Schaltflächen für die optionalen Layer?

Wird die Möglichkeit der Messuhr gefunden?

Die Anzeige zeigt die Materialrichtung durch negative und positive lotrechte Abstände zur idealen Gerade.

Nimmt der Nutzer die verschiedenen Mauszeiger beim Überfahren des Diagramms wahr?

3. Layer Rohdaten; Sind die Einzelschrittdarstellungen für den Nutzer in einer logischen Reihenfolge?

(Koordinaten, roh => Geradengleichung ermitteln => Translation in entkoppeltes Diagramm mit unterschiedlich skalierten Achsen)

Ziel:

Helfen die Einzelschritte dem Verständnis, Abfolge des Zustandekommens des eigentlichen Ergebnisses?

Ist eine Anleitung für die Verwendung notwendig

4. Welchen Eindruck hat die Darstellung auf Sie?

Ziel:

Wie bewertet der Nutzer das Gesehene: positiv, negativ oder hat keinen Eindruck und gibt keine Bewertung ab?

Helfen die interaktiven Darstellungsmöglichkeiten für die weiterführende Arbeit?

Benötigt der Anwender weniger Zeit in der Bearbeitung: Sind weniger Dokumente notwendig, erfolgt ein schnelleres Erfassen des Inhalts.

5. Wie bewerten Sie die Umsetzung?

Ziel:

Zustimmung, Ablehnung

Kritik, Verbesserungen

6. Bewertung des Durchführenden der Nutzeranalyse als Beobachter des Nutzers.

(Kernfrage zur Bewertung der Forschungsfrage)

Ziel:

Hat der Nutzer durch die Interaktion ein erweitertes Wissen über den dargestellten Sachverhalt.

Wie zeigt sich die Qualität des erfassten Informationsinhalts.

Hat der Nutzer mehr Verständnis als bei einem statischen Dokument.

Folgende Punkte werden in abhängig des Diagramms abgefragt:

- Ort – Referenz zum realen Bauteil in Verbindung mit der technischen Zeichnung.
- Ausprägung des Fehlers – Abfrage der Interpretation durch den Nutzer.
- Auffassung – Durchdringung der dargestellten Information.

Weiterführend wird die erfolgt die Bewertung der Eindrücke durch den Nutzer. Sind Fehler aufgetreten. Ist ein flüssiger Ablauf mit den Interaktionsmöglichkeiten gegeben (hängt der Nutzer und kommt nicht weiter. Macht das Anwenden der Möglichkeiten Spaß.

## 3 Ergebnisse

Die Dokumentation der Ergebnisse gliedert sich in drei Blöcke, ausgehend der angewandten Methoden. Das Experteninterview dient der Bestandsaufnahme und Abgrenzung des Themas. Die Auswertung dieses ersten Teilergebnisses dient der Definition von Eingangsparametern für eine Nachbildung des existierenden Dokuments der Geradheitsauswertung, bei der die Ist Gestalt einer abstrahierten Kontur bezogen auf eine Gerade aufgetragen wird. Die Programmierung erfolgt in SVG, das durch JavaScript-Funktionen mit Interaktionsmöglichkeiten für den Anwender ausgestattet wird.

Experteninterview und interaktive SVG-Diagrammdarstellung enden in einer Nutzeranalyse, die die Forschungsfrage bearbeitet. Durch die Darstellung am Computer ergeben sich Möglichkeiten, die heute in der Industrie verwendeten statischen Dokumente und Maßberichte mit Interaktion auszustatten. Funktionen die wie sie in Online-Kartendiensten oder GIS-Programmen bereits möglich sind.

### 3.1 Experteninterview – Ergebnisse und Auswertung

Die als Interview geführte Befragung von 39 Personen aus dem Umfeld der industriellen Messtechnik erfolgte über einen Zeitraum von 10 Wochen, beginnend Anfang November 2016. Die Dauer umfaßte zwischen 30 und 45 Minuten. Um vergleichbare Antworten zu erhalten, dienten die folgenden Fragen als Leitfaden.

Die Ergebnisse der Befragung sind Gegenstand der folgenden Darstellungen und Analysen, wobei festgehalten werden muss, dass die Ergebnisse nicht repräsentativ für alle Mitglieder dieses Berufsfeld angesehen werden können, sondern sich nur allgemeine Aussagen und Folgerungen ableiten lassen können. Dennoch sollen die Ergebnisse als Anhaltspunkte und Ausgangslage dienen, um mit einer Programmierung beginnen zu können. einiger wie im folgenden beschriebenen Umsetzung begonnen werden.

	Absolut	Anteil in %
Gesamt Befragte:	39	100

### Zusammenfassung Bereich 1

#### Frage 1: Alter der Befragten

Unter 22	2	5 %
22 bis 30 Jahre	10	26 %
30 bis 50 Jahre	15	38 %
Über 50 Jahre	21	31 %

#### Frage 2 höchste abgeschlossene Ausbildung

Lehrberuf	26	67 %
Techniker / Meister	4	10 %
(Fach-) Abitur	4	10 %
Studium	5	13 %

#### Frage 3 Erfahrung im Umgang mit Diagrammen und grafischen Darstellungen

Nein	8	21 %
Ja	31	79 %

#### Frage 4 Verwendung von Form- und Lagetoleranzen

Nein	6	15%
Ja	33	85 %

#### Frage 5 Weiterbildung / Schulung erhalten innerhalb der letzten 2 Jahre

Nein	23	59 %
Ja	16	41 %

---

Etwa zwei Drittel der Befragten (67 %) haben einen Lehrberuf und keine höhere Schulbildung. Eine markante Auffälligkeit liegt in dem Ausbildungsgrad bezogen auf die Altersklasse. Alle Hochschulabsolventen sind im Bereich von 22 bis 30 Jahre. Im Altersbereich ab 50 Jahre, die eine Führungsposition besetzen, haben interne Weiterbildungen durchlaufen und haben lange Betriebszugehörigkeiten. Die Ausbildung zum Techniker oder Meister haben ausschließlich Personen älter als 30 Jahre.

Ein Großteil der Befragten gibt an, mit Grafiken und Diagrammdarstellungen im täglichen Arbeitsumfeld zu arbeiten. Aufgrund verschiedener Beschäftigungs- und Aufgabenfelder sind die Art dieser verschieden. Meist handelt es sich um die Darstellung von Koordinatenwerten im Raum und die Abweichung zu einer Sollvorgabe als Darstellung eines (Soll-/Ist-) Vergleichs. Die Darstellung erfolgt als Diagramm schematisch angelehnt an Industriestandards einiger Hersteller. Die Darstellung von direkten Abweichung zu Sollmodellen erfolgt unter Verwendung des Datenmodells (CAD). Der große Anteil (90%) gibt an, mit Form- und Lagetoleranzen zu arbeiten. Eigene, selbst erstellte Ausgaben werden in der Regel nicht verwendet. Eine Ausnahme sind Linien- oder Punktdiagramme in Excel zur Darstellung großer Messwerttabellen, ähnlich statistischer Regelkarten.

Auf die Frage ob es zu Problemen in der Interpretation oder dem Verständnis kommen kann, wurde meist zögerlich geantwortet. Durch das Ansprechen von Beispielfällen gab es jedoch eine breite Zustimmung. Es kann festgehalten werden, dass der Kenntnisstand über eigentlich einheitliche Normvorgaben nicht unterschiedlicher sein kann. Gefährlich scheint ein Halbwissen, dass zu gravierenden Fehlentscheidungen führen kann, was hier aber nicht weiter ausgeführt und untersucht werden soll. Eine Ursache könnte die geringe Anzahl von Schulungen und Weiterbildung (41 %) innerhalb der letzten 2 Jahre sein.

### Zusammenfassung Bereich 2

Frage 6 Wissensstand am Beispiel „Geradheit“		
Geradheit dokumentiert folgende Abweichung		
Formabweichung (richtig)	27	69 %
Lageabweichung	4	10 %
Beides	6	15 %
Keine Angabe	2	5 %
Wie definiert sich die Toleranzangabe (als Einhüllende)		
Bewertung: richtig	17	44 %
Ungefähr	13	33 %
Falsch / keine Angabe	9	23 %

*Tabelle Experteninterviews Bereich 2*

Frage 7 und 8: Direkt als Überleitung aus den Bereichsfragen gaben die Befragten Ideen und Vorstellungen an zur Interpretation von Grafik- und Diagrammdarstellungen. Einer einzelnen Darstellung fehlt oft weiterführende Erklärungen bzw. die Legenden sind nicht eindeutig, so ein Großteil der Befragten. Vor allem für ein schnelles Verschaffen eines Überblicks sind viele Darstellungen nicht geeignet. Es wird störend empfunden, dass mehrere Dokumente (Quellen) notwendig sind, um einen Bericht zu lesen, diese sind unter anderem die technische Zeichnung, bildliche Dokumentation des realen Bauteils, teilweise Skizzen über den Ort der Messwerterhebung. Die Feststellung; Bestehende Diagrammdarstellung sind für Experten gemacht. Legenden und Achsbeschriftungen sind nicht weiterführend erklärt. Im Gespräch werden unterschiedliche Gründe für Probleme in der Interpretation angegeben, diese werden

zusammengefasst als Einflussgröße aus Erfahrung und Ausbildungsstand. Zur Erklärung von berichteten Sachverhalten verwendenden die Befragten meist Beispiele, die real greifbar sind. Da die geometrischen Abweichungen meist sehr klein sind, dass diese mit dem bloßen Auge nicht erfassen sind, werden Darstellung in der Regel mit einem Überhöhungsfaktor dargestellt.

### Zusammenfassung Bereich 3

Aus den drei Fragen des abschließenden Blocks ist die Mehrheit offen für die Anwendung interaktiver Berichtsinhalte. Zwei Ansätze sind zu erkennen. Der erste aus Richtung einer tabellarischen Messwerttabelle mit Möglichkeit zum Beispiel die Herleitung oder die Randbedingungen einblenden zu können. Die Darstellung als eine Art Hybridformat findet die meiste Zustimmung. Eine vergleichbare Lösung ist das 3D PDF des Herstellers Adobe. Ideen einer Umsetzung sind

- das Einblenden der technischen Zeichnung
- Einblenden der Normvorgabe; Aktuell vorliegende Darstellung in Relation zur Norm bringen
- Herleitung des Diagramms in Einzelschritten
- Zeiger-Funktionen für Maus-Interaktionen
- Bilder des realen Bauteils: Messwerte überlagert
- Bildgeführte Erklärung des Sachverhalts.
- Verschiedene Auswertestrategien/Bezugssysteme
- Hyperlinks zu Tabellendarstellung
- Filterfunktion für mehrere Informationslayer
- Einbringen von Beispielen wie „Umhüllende“ als Rohr oder Bezugskanten als Anschlagleiste
- Beispiele der Realität; Messwerkzeuge wie Messschieber (Distanz, bezugsfrei), Rundlaufmessgerät und Messuhr (Position absolut in Bezug)

- Mehrsprachigkeit; Übersetzung von Begriffen/Wechseln in die Muttersprache

Ein oft angesprochener Punkt ist die Komplexität der Anwendung, ein Mehraufwand für den Ersteller ist nicht gewünscht. Die Erstellung des Diagramms soll nicht länger dauern und ohne eigenen Programmieraufwand erfolgen. Die Anwendbarkeit hängt von der Bedienerfreundlichkeit ab. Ein weiteres Fazit dieser Befragung kann in einer Zielgruppenanalyse münden, die hier nicht weiter betrachtet werden soll. Die große Gruppe der Konsumenten hat entweder nur einen Lehrberuf und hat kaum eine Schulung für das einschlägige Thema Form- und Lagetoleranzen erhalten. Während bestehende Darstellungen für Experten gemacht sind und einiges an Vorkenntnissen voraussetzen.

Interaktive Funktionen und weiterführende Inhalte werden dann angenommen, sind diese ohne Mehraufwand in der Erstellung des Diagramms anzuwenden. Unter den Befragten sind eine große Anzahl von Personen, die nicht allein die Diagramme in Ihrer Arbeit interpretieren müssen, sondern diese auch mit speziellen Anwendungsprogrammen erzeugen.

Für eine erste Ausprogrammierung und Nutzeranalyse sollen folgende Punkte erarbeitet werden. Bedingung, dass Dokument soll im Ausdruck und bei Öffnen mit einem Anwendungsprogramm immer dem heute bereits verfügbaren Standarddiagramm gleichen. Werden Veränderungen an der Darstellung vorgenommen, können diese nicht gespeichert werden. Die Funktionalität und Auswertemöglichkeiten (Berechnungsalgorithmen) sind Bestandteil des Dokuments bzw. der Datei. Als geometrisches Element zugrunde gelegt wird die Gerade mit der Auswertung der Geradheit.

Mit der abschließenden Frage wurde um eine weitere Mitarbeit für eine Nutzeranalyse gebeten, die mit 100 % positiv beantwortet wurde.

### 3.2 SVG-Diagramm - Eingabeparameter und Programmierung

Der Leser, hier in der Arbeit als Nutzer oder Anwender bezeichnet, eines mit Grafiken und Diagrammen ausgestatteten Berichts hat optional die Möglichkeit auf die eingefügten Interaktionen zuzugreifen. Somit bewegt er sich in einem bekannten Umfeld und wird zu keiner Zeit von eventuell als störend empfundenen Funktionen behindert. Das Ziel des Mehrwerts stand zu jeder Zeit im Vordergrund. Der Eindruck „alles neu - alles anders“ sollte zu jeder Zeit vermieden werden und darf vor allem dem Experten im Umgang mit einer Ergebnisdokumentation nicht im Weg stehen. Das Erzeugen von Interaktion soll vor allem dem Laien-Anwender von räumlichen Darstellungen einen besseren und vor allem sicheren Umgang und Einstieg in komplexe Sachverhalte ermöglichen. Folgende interaktive wurden von Layern einzublendende Hilfswerkzeuge umgesetzt:

- a. Darstellung und Nachempfinden einer Messuhr, um die Koordinatenpunkte abfahren zu können; Anzeige Toleranzbereich, Min/Max-Wert, aktuell Ist-Koordinate
- b. Einblenden der Norm bzw. Erklärung als Hilfe-Text
- c. Schritt für Schritt, wie entsteht eine Darstellung/Berechnung
- d. Auswertemöglichkeit: Berechnung nach Gauß/Tschebyscheff
- e. Reale Bilder einblenden/hinterlegen

Im Verlauf der Arbeit wurde eine SVG-Darstellung erstellt, die alle Funktionen sozusagen Out-of-Box beinhaltet. Die Funktionen zur Aufbereitung der Rohdaten, Berechnung zum Beispiel der linearen Regression und Darstellungen wurden komplett in JavaScript umgesetzt und in der Datei inkludiert. Für den ersten Schritt wurde es als markanter Vorteil betrachtet, dass eine einzelne Datei einfach weitergegeben werden kann. Mit jedem zurzeit aktuellen Web-Browsern kann das Ergebnis ohne die Installation einer weiteren Software oder aktiven Internetverbindung zur einer lokal nicht verfügbaren Datenbank, dargestellt werden. Das war für erste Befragungen zukünftiger Anwendergruppen als grundlegend vorgesehen.

Die Berechnung der Ausgleichsgerade nach Tschebyscheff, die für eine normgerechte Darstellung und Berechnung der Geradheit nach Norm notwendig ist, konnte nicht realisiert werden. Trotz intensiver Recherche konnte keine quelloffene (Open source) Bibliothek gefunden werden. Eine eigenständige Umsetzung der Berechnung konnte aus fachlicher und zeitlicher Hinsicht nicht realisiert werden.

### 3.3 Nutzeranalyse - Zusammenfassung und Ergebnisdarstellung

Die Durchführung erfolgte mit zehn Personen. Davon sind sechs Mitarbeiter der Messtronik GmbH. Die Analyse wurde einzeln in Begleitung durch den Autor durchgeführt. Während der Nutzer die erhaltene Datei öffnet und mit der Betrachtung beginnt, startet parallel die Befragung. Der Nutzer wird durch das Diagramm geführt, die Bewertung erfolgt im Interviewstil. Zu Beginn wird abgewartet, ob die Interaktion sich dem Nutzer von selbst erschließt.

Im Vorfeld gab es einige Untersuchungen ohne Hinweise einer zu erwarteten (Inter-) Aktion. Das Diagramm wurde per Email oder Skype an einige der späteren Nutzer geschickt. Ausschließlich mit dem Hinweis es handele sich um eine Form- und Lagedarstellung im Format SVG, mit Bitte um eine Meinung zur Darstellung. Wenn eine Reaktion länger als fünf Minuten ausblieb, wurde nachgefragt, ob die Messuhr oder die Layer interessant sind. Die Antwort war zur Hälfte, die interaktiven Eigenschaften wurde nicht entdeckt. Niemand ist in der Annahme, dass eine bekannte Darstellung einer räumlichen Situation mit weiterführenden Funktionen ausgestattet ist an die Betrachtung gegangen. Aus diesem Grund wurde bei der Nutzeranalyse erst im zweiten Schritt erklärt, dass erweiterte Funktionen im Diagramm enthalten sind. Bei Interesse wurden die Vorgehensweise, die Programmierung mit JavaScript und das SVG Format näher erläutert. Das Bildformat SVG ist einigen der Mitarbeiter von Messtronik vertraut. Grafiken und Bilder werden in der Anwendersoftware Quindos bereits als SVG Element abgelegt und verarbeitet.

### Frage 1 – fehlerfreies Öffnen

Getestet wurde das Diagramm ausschließlich auf Rechnern mit Microsoft Windows Betriebssystemen. Installierte Webbrowser für die JavaScript Funktionen waren Google Chrome oder Mozilla Firefox. Mit dem Internet Explorer oder Edge konnten die JavaScript Interaktionen nicht immer fehlerfrei dargestellt werden. Es waren keine Grafikprogramme wie Inkscape oder ähnliche installiert, die mit der Dateieindung \*.SVG verknüpft sein könnten und somit bei Öffnen durch Doppelklick auf die Datei gestartet werden. Sicht man von einem Fall, bei dem der erste Start mit dem Internet Explorer erfolgte, sah die Darstellung der Ausführung in SVG gleich dem Vorbild der PDF Datei aus.

### Frage 2 – Selbst entdecken der Interaktionsmöglichkeiten durch den Nutzer

Die Erfahrung im Umgang mit Diagrammdarstellungen dieser Art, war das größte Hemmnis im Erkunden der Möglichkeiten, die in der erzeugten SVG-Datei stecken. Die Erwartungshaltung des einzelnen war innerhalb der ersten Augenblicke der Betrachtung relativ gering. Etwa bei einem Drittel der Probanden war die Maus in Aktion und wurde über die Darstellung am Monitor hinwegbewegt. Einige erkannten die unterschiedlichen Mauszeiger recht schnell. Auf den zweiten Blick wurden die Pfeil-Symbole im untern Textfeld erkannt. Bei ca. 20 % Prozent der Anwender, die keinen Antrieb verspürt haben das Diagramm mittels Mausinteraktion zu erkunden, musste mit etwas Erklärung darauf verwiesen werden: „Wie könne eine Interaktion in Form von Reaktion erwartet werden, wenn nicht eine Aktion erfolge?“ Nur bei einigen wenigen Ausnahmen, die keine Beobachtungsgabe für ändernde Mauszeiger haben, musste auf die Messuhr regelrecht hingewiesen werden.

Nachdem jedem die grundsätzliche Idee erklärt wurde, war die Bedienung von jedem leicht zu vollziehen.

---

### Frage 3 – Detail, Layer Rohdaten; Einzelschrittdarstellungen, logische Reihenfolge

Die Einschätzung einer logischen Reihenfolge erschließt sich vor allem dem Nutzer, der die spezielle räumliche Fragestellung der Geradheit zu interpretieren in der Lage ist. Dem anderen kann die aufeinanderfolgenden Schritte bis zur Berechnung überhaupt ein Verständnis der Form- und Lagetoleranzen vermitteln. Jeder war ohne große Erklärung in der Lage, die Layer: „Rohdaten“, „Bild des Bauteils“, „Zeichnung“ und „Norm“ ein- und auszublenden. Wer Kenntnisse über die erweiterten Funktionen eines Webbrowsers hat, fiel die Bedienung leicht. Durch „Aktualisieren“ (F5) wird der Inhalt neu geladen und auf die Ausgangsdarstellung zurückgesetzt. Es wurde weniger die logische Reihenfolge angesprochen, vielmehr gibt es unterschiedliche Ideen über weiterführende Funktionen und Inhalte, die gewünscht werden.

Einige Anregungen der Anregungen sind die Darstellung der Norm mit den aktuell vorliegenden Istwerten und Toleranzen, das Veränderung der Ansichtsrichtung (Blickwinkel).

### Frage 4 –Persönlichen Eindruck der Darstellung auf den Nutzer

Der versierte Anwender von Dokumentdarstellungen von Form- und Lagebemaßung, der die Anwendung aus Zeiten des Stiftplotters kennt, ist sichtlich überrascht von den Interaktionen. Vor allem der Möglichkeiten, die die Technik zukünftig ermöglichen kann. Stand der Technik ist die Darstellung von räumlichen Daten zusammen mit 3D-Modellen. Die Kombination aus Diagramm und 3D-Darstellung wurde mehrfach angesprochen. Aktuell ist von keinem Hersteller von Anwendungssoftware eine Art Hybrid-Lösung verfügbar.

Für Personen mit keiner oder wenig Erfahrung im Umgang mit Diagrammen wie diesen, sind die Reaktionen eher verhalten.

Bezogen auf die Nutzerfreundlichkeit sieht jeder einen Mehrwert, vor allem im Einblenden der realen Situation als Bild, das den Messwerten hinterlegt werden kann. Das in Bezug setzen von Realität und Analyse gelingt leichter und vor allem schneller. Das Beachten von Koordinatensystemen, um zu erkennen wo welcher Messwert am realen Objekt aufgenommen worden ist, dokumentiert eben dieses Bild. Zudem kann die Soll-Anforderung in Form der technischen Zeichnung ebenfalls eingeblendet werden. Die Einordnung im Kontext der Norm ist ebenfalls verfügbar. Es werden nicht mehrere Dokumente benötigt. Ähnlich wie bei einer Datenbank können zusätzliche Informationen abgefragt werden.

#### Frage 5 – Qualität der Umsetzung und Mehrwert aus Sicht der eigenen Arbeit

Die Resonanz zur vorliegenden Diagrammdarstellung der Geradheit fällt zu 100 % positiv aus. Der Inhalt der räumlichen Darstellung ist gleich dem des bereits bestehenden statischen Dokuments. Das Abfragen von Wissen stellt eine gewisse Schwierigkeit dar, da man niemand in den Kopf schauen kann. Zu beobachten durch Fragen zur Interpretation ist festzustellen, dass Wissen um die Zusammenhänge zunimmt. Es helfen die schrittweise Herleitung des Ergebnisses zum Durchklicken und die Darstellung bekannter real verfügbarer Geräte, wie der Messuhr.

Anmerkungen bzw. Fragen wie es verhält, wenn ein Diagramm Teil eines Berichts mit mehreren Seiten und bestehend aus verschiedenen Inhalten ist? Das SVG-Dokument ist aktuell losgelöst und kann maximal als statisches Bild Teil eines PDF Dokuments sein.

## Frage 6 – Beobachtung des Nutzerverhaltens

Inhalte der Forschungsfrage: Erweitern interaktive Inhalte von Berichtdiagrammen das Verständnis?

Die Darstellung soll die Möglichkeit bieten, den auf einen positiven Zahlenwert reduzierte Geradheitsauswertung zu untermauern. Anhand der Diagrammdarstellung können mehrschichtige Eigenschaften des erfassten Objekts abgeleitet werden. Rückschlüsse können sein:

1. Langwellige Verteilung der abweichenden Messpunkte zum idealen Sollmodell (Gerade): Torsion, Krümmung des Bauteils
2. Kurzwellige Verteilung: Ausreißer, Oberflächenstruktur oder auch Auflösung des Messgeräts/Sensor
3. Ort der Abweichungen; Rückschlüsse auf das Zusammenspiel mit anderen Bauteilen bzw. Auswirkung auf eine spätere Funktion.

Jeder der Befragten war nach dem Kennenlernen der interaktiven Möglichkeit in der Lage, schneller eine Aussagekraft aus dem Dokument zu gewinnen. Durch die Möglichkeit der Layer „Zeichnung“ und „Bauteilbild“ ist die Verbindung aus abstrahiertem Diagramm und dem wirklichen Teil möglich.

Die Frage des Orts der Messung und Lage der Punkte kann dokumentiert dargestellt werden. Eine falsche Interpretation ist nicht möglich. Oft werden die Normalen-Richtungen der einzelnen Koordinatenpunkte falsch interpretiert.

Die Herleitung des absoluten Zahlenwerts ist leichter zu erfassen. Bei statischen Darstellungen ist das Resultat dokumentiert. Durch die Funktion der Einzelschritte werden die Teilschritte grafisch aufgezeichnet.

Anmerkung:

Die Erklärung des Toleranzbereichs als Hülle symmetrisch zu idealen Gerade sollte mit Text und einem weiteren Teil-Schritt eingehender dargestellt werden.

Eine allgemeingültige Aussage ist, je besser ein Nutzer mit dem Themengebiet vertraut ist, desto leichter fällt das Verständnis der umgesetzten Sachverhalte. 5/6 der Nutzer erhielten ein besseres Verständnis über die Zusammenhänge und Eigenschaft des

Bauteiles. Die Bewertung des Ergebnisses erfolgt durch Einblenden der Bilder schneller und treffsicherer. Der Spielraum für Fehlinterpretationen durch die bessere Ortsbestimmung wird um ein Vielfaches verringert.

Die erste Umsetzung der Messuhr ermöglicht das direkte Abgreifen von Koordinaten für eine weiterführende Bewertung. Die erspart eine weitere Messung oder mindestens eine nachfolgende Auswertung. Somit wurde das statische Dokument auch um die Möglichkeit vom Nutzer durchgeführten Messungen erweitert.

### 3.4 Zusammenfassung

Das angestrebte Ziel eine bestehende Diagrammdarstellung mit mehreren Interaktionen und weiterführenden Informationslayern zu versehen, ist gelungen. Eine quantitative Messbarkeit der Ziele konnte jedoch mit der Anzahl und Erfahrung der Probanden der Nutzeranalyse nicht ausreichend festgestellt werden. Eine Bewertung des grafischen Aufbaus und Nutzerverhaltens, wie es bei größeren Softwareprojekten üblich ist, konnte nicht durchgeführt werden.

Die Resultate der Nutzeranalyse können als Smartziele beschrieben werden und qualitativ bewertet werden. Jeder der Testnutzer (100 %) möchte die Interaktion auch bei anderen Form- und Lageauswertungen verwenden können. Eine gewisse Überraschung war in den Gesichtern zu erkennen, als zum ersten Mal die Uhr über den Messwerten eingeblendet wurde. Die erreichte Erweiterung des Verständnisses zeigt sich vor allem bei Anwendern, die nicht täglich Umgang mit der Interpretation von räumlichen Daten haben. Sie werden in die Lage versetzt tieferes Wissen aus der Darstellung zu erlangen, die die Qualität des eigentlichen Messwertes untermauern soll. Die Gefahr von Fehlinterpretationen kann somit eingeschränkt werden. Der Experte nutzt die Möglichkeit der Abfrage von Details mittels der Funktion wie der Messuhr, um auf Folgemessungen verzichten zu können.

Fazit: Mehrschichtige Informationslayer und interaktive Funktionen erweitern und sichern fundiertes Wissen über einen Sachverhalt. Die in der Geoinformatik erfolgreich zur Anwendung gebrachten Möglichkeiten, sind auf die industrielle Übertragbarkeit hier untersucht worden.

Es wird empfohlen die Untersuchung weiter fortzuführen, um mögliche Ansätze für eine fächerübergreifende Dokumentationspraxis zu erarbeiten.

## 4 Diskussion

Die Aufgabe einer interaktiven Diagrammdarstellung als Bestandteil einer meist vielschichtigen Dokumentation ist das Übermitteln von Information. Die beim Nutzer zu Wissen interpretiert wird. Es wird angestrebt, dass Wissen des Autors und des Lesers - was den Sachverhalt betrifft - als gleich anzustreben. Die Forschungsfrage untersucht, ob die ausprogrammierte Interaktion in einem einen Dokument ein besseres Verständnis über den dargestellten Sachverhalt, erreichen kann.

Bei statischen Diagrammen oder allgemein allen Dokumenten hat der Autor die Aufgabe die Ausführung zielgruppengerecht auszuführen. Bei der Arbeit mit geografischen Darstellungen oder Daten in die, wie auch in der Technik, in einem skalierten Bezugssystem stehen, sind kreative Möglichkeiten nur begrenzt möglich.

Zum Beispiel hat ein Katasterauszug einen festgelegten Maßstab, der nicht variieren kann. Der eben genannte Katasterauszug ist ein verbindliches Dokument, das zum Beispiel die Grenzpunkte von Liegenschaften zeigt. Ganz gleich verhält es sich mit den industriellen Anwendungen.

Hier kann die Geoinformatik einen Mehrwert für den Anwender erzeugen. Wieder ein Vergleich aus den Online-Kartendiensten, die auf die Präferenzen der Nutzer eingehen können. Es gilt die Fragestellungen der Anwender zufrieden zu stellen. Der eine möchte Fußwege angezeigt bekommen in einem kleinen Wandergebiet, wieder ein anderen die großen Autobahnen mit möglichen Tankstopps durch Europa; Beide verwenden dieselbe Anwendung und haben Zugriff die gesamte Datenbasis.

In einem kleineren Maßstab hat diese Arbeit den Mehrwert für den Anwender in der Industrie an einem stellvertretenden Anwendungsbeispiel untersucht. Geoinformationssysteme wurden in den letzten Jahren der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Der Übergang zwischen Experten und Laie ist fließend.

Diesen Durchbruch können Techniken der Geoinformatik der Industrie vermitteln.

Die Forschungsfrage ist mit einem eindeutigen Ja zu beantworten.

Die befragten Nutzer sind in der Lage durch zusätzliche Informationslayer und interaktive Anpassungen, ihr Verständnis über einen Sachverhalt zu verbessern. Sie erhalten nicht allein ein Ergebnis repräsentiert durch einen Messwert. Das Verständnis darüber wird verbessert, indem hier das Diagramm nach deren Bedürfnissen verändert werden kann. Dies wird belegt durch die Aussagen der Befragten, die so in die Lage gebracht werden, eine an sich schwer verständliche Normforderung, zu begreifen. Der Anwender soll darüber hinaus einen allgemeingültigen Überblick erhalten.

In den folgenden 3 Unterpunkten die technischen Aspekte einer Umsetzung diskutiert. Der spannende Anteil der semiotischen Betrachtung des „Wie“ nimmt ein Anwender Diagrammdarstellung am besten war, soll hier keine weitere Beachtung finden.

#### 4.1 Diagrammerstellung – Datei

Die während dieser Arbeit entstandene SVG-Datei beinhaltet alle Funktionen, Rohdaten und grafischen Ausgabeelemente. Die Erzeugung der Ausgabe im Prozess einer Messwerteaufnahme bis zur Berichterstellung wurde nicht untersucht. Der wichtige Schritt von den Rohdaten zur Datei ist kein unerheblicher Aufwand, der nur von Experten vollzogen werden kann. Somit muss für einen Einsatz mit einer proprietären Software eine Art Schnittstelle erzeugt werden.

Die Vorgehensweise kann wie folgt aussehen. In Anwender- bzw. Auswertesoftware von Messwerten wird eine Prozedur realisiert, die mit String Operationen ein Text-Objekt generiert. Dieser Text mit SVG-/XML-Inhalten wird als SVG-Diagramm-Datei gespeichert.

#### 4.2 Berechnung – Point Processing

Im Ausblick das unterschiedlichste Berechnungsalgorithmen und Darstellungsvarianten realisiert werden können, sollte man über den Aufbau bzw. die Abfolge der Erzeugung diskutieren. Eingangs wurde bewusst angestrebt alles von der Rohdatenaufbereitung über die Berechnung innerhalb eben dieser SVG-Datei abzubilden. Folgende Punkte gilt es zukünftig zu diskutieren:

Umfang: Werden alle JavaScript-Funktionen Inhalt der Datei sein? Aufgrund der offenen Text-Datei, wird das gesamte programmierte Wissen frei Haus geliefert.

Qualität: Die Berechnungen während der Auswertung müssen einem Standard entsprechen. Aus diesem Grund gibt es eine Forderung der der ILAC [ILAC] bzw. in Deutschland der DAkkS zertifizierte Algorithmen zu werden [TraCIM]. Die Lösung kann zugleich eine Vereinfachung sein. Die Berechnung erfolgt in der proprietären Anwendung. Es werden bereits aufbereitete Koordinaten mit Ergebnissen in die Datei eingebracht.

### 4.3 Client/Server – Lösung

Aus den beiden zuvor diskutierten Punkten der Erstellung der Datei und Berechnung der Inhalte ist es sinnvoll, eine Client-/Server-Lösung zu diskutieren. Man ergänzt einen weiteren Schritt zwischen Anwendersoftware und Diagrammdatei. Die Rohdaten werden mit Ergebnisberechnungen in eine Datenbank gespeichert und projektbezogen referenziert. Darstellungsoptionen wie die in dieser Arbeit behandelte „Geradheit“ werden in einer Bibliothek zusammengefasst und werden serverseitig zur Verfügung gestellt. Als Frontend dient ein Berichtsgenerator, ähnlich derer die von aktuellen CAQ-Systemen verwendet werden. Die kritische Frage der Weitergabe der gesamten Programmierleistung innerhalb einer Datei ist somit auch beantwortet. Ein vergleichbares kommerzielles Produkt ist Piweb der Fa. Zeiss [Zeiss 1].

### 4.4 Einordnung der Arbeit

Die während der Arbeit erstellte Struktur der Diagramme bildet eine an sich alte Darstellungsform aus Zeiten der Stiftplotter nach. Der Unterschied zu einem Plot sind die Interaktionsmöglichkeiten, die im Browser zur Verfügung stehen. Stand der Technik

heute ist zwar die Darstellung von räumlichen Daten interaktiv mit Liveansichten von Kameras oder CAD-Ansichten. Trotz alledem haben sich die Normdarstellungen geometrischer Eigenschaften nicht verändert, wurden nicht an die technischen Möglichkeiten angepasst. Die Hersteller von Analytik-Software für raumbezogene Daten und Anwendung von Messgeräten verwenden bis heute Darstellungsformen aus dem Beginn der Grafik. Vielleicht kann diese Arbeit neben der Untersuchung des Nutzerverhaltens Möglichkeiten der Interaktion aufzeigen.

Die Forschung und die Hersteller beschäftigen sich aktuell mit den großen Datenmengen die Scannersysteme wie LiDAR erzeugen. Themen sind die Speicherung, Darstellung und weiterführende Analytik [Richter et al. 2013]. Die kleine Nische abstrahierter Vektordiagramme ist nicht Fokus aktueller Entwicklungen. Stand der Technik aus Gesprächen mit Herstellern, Besuch von Fachmessen und Kongressen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Interaktive Berichtsprotokolle als 3D PDFs gibt es seit der Acrobat Version 8. Heute sind z.B. erste Montageanleitung verfügbar, die es ermöglichen 3D-Modell interaktiv zu betrachten. Hierfür stellt selbst der kostenfreie Acrobat Reader ein 3D-Modul zur Verfügung. Die hybride Darstellungsform aus PDF-Dokument und interaktiver Nutzung des Dokuments hat in mir die Idee entstehen lassen, dass auch geometrische Problemstellungen so dargestellt werden können. Und das ohne eine spezifische Webapplikation wie die Online-Kartendienste. Mit dieser Arbeit wurde ein erster Schritt unternommen das Feld zu öffnen. Das erste Beispiel aus der industriellen Fertigungsmesstechnik soll stellvertretend für unzählige Fragestellungen sein. Schon zu Beginn, beim Aufstellen der Forschungsfrage hat sich gezeigt, dass ein viel wichtiger Aspekt die Untersuchung des Nutzerverhaltens ist, als die eigentliche Programmierung. Die Zielgruppe muss im Vordergrund stehen. Vielleicht ist es vorstellbar, Dokumente mit verschiedenen Ansichtsformaten für verschiedene Nutzergruppen darstellbar zu machen.

Für eine Verwendung der ersten Grundlagenarbeit in eine für die Industrie taugliche Anwendung muss ein Weg gefunden werden, wie das SVG-Diagramm automatisiert erzeugt werden kann. Vor allem bei immer wiederkehrenden Programmabläufen kann der einmalige Aufwand in ein wirtschaftlich sinnvolles Verhältnis gesetzt werden. Zu anderen aber im Bereich des Consultings, wo ohnehin viel Aufwand in eine inhaltlich wertvolle Dokumentation investiert wird.

Eine Empfehlung zur Anwendung für diese erarbeitete Technologie sind Unterlagen für Schulung, Training oder Lehre. Mit etwas Aufwand könnte man jede der Form- und Lagetoleranzen abbilden. Während einer Präsentation oder in einem Schulungsdokument könnte interaktiv die normativen Vorgaben erarbeitet werden.

Um eine breitere Umsetzung zu ermöglichen, besteht meinerseits die Überlegung ein Open Source Projekt zu realisieren und die Ideen oder Code-Schnipsel in bestehende Projekte einzubringen.

Ich freue mich und bin gespannt, wohin das Projekt führen wird. Auf jeden Fall werde ich mich weiterhin mit dem Thema Diagrammdarstellung und SVG-Programmierung beschäftigen.

## Abbildungsverzeichnisverzeichnis

Abbildung 1 – Ablaufdiagramm, Struktur dieser Arbeit .....	11
Abbildung 2 Formtoleranz Geradheit, Keferstein 2010 Fertigungstechnik S. 87.....	12
Abbildung 3 Diagrammdarstellung einer Geradheitsauswertung .....	12
Abbildung 4 - Prozess Semiose.....	14
Abbildung 5 - GIS als semiotischer Prozess.....	15
Abbildung 6 - Einflussgrößen im Prozess .....	17
Abbildung 7 Wissenspyramide nach Aamodt & Nygard, 1995.....	18
Abbildung 8 - Arbeitsthema Diagramme .....	19
Abbildung 9 - Koordinatenmesstechnik, Weckenmann 2012 - Geschichte S. 12.....	20
Abbildung 10 - Datenerfassung mit einem Laserscanner adaptiert an eine Drohne [Youtube 1] .....	21
Abbildung 11 Schema dimensionelle Messtechnik, Zhao 2013 .....	22
Abbildung 12 - Erfassen - Bearbeiten - Berichten .....	22
Abbildung 13 - 3D Koordinatenmessgerät, Terminalrechner, Ausgabegerät .....	23
Abbildung 14 - Prozessschema Erfassen, Bearbeiten, Berichten .....	23
Abbildung 15 - Erfassen und Berichten getrennt .....	24
Abbildung 16 - Farbcodierte Darstellung Käferkotflügel .....	24
Abbildung 17 Messgerät bei der Profilmessung .....	25
Abbildung 18 - Darstellung der Profilmessung .....	25
Abbildung 19 - Diagramm Unigis, Modul Räumliche Analysemethoden .....	26
Abbildung 20 - Messuhr auf Granitplatte.....	37
Abbildung 21 - Punkteschar, Regressionsgerade und interaktive Ausgabe .....	39
Abbildung 22 - Koordinaten in einem Bezugssystem, mit Mouseover-Textausgabe.....	40

---

Abbildung 23 - Eindrehen der Darstellung.....	41
Abbildung 24 - Getrennte Darstellung in Rohdaten und Ergebnis .....	42
Abbildung 25- Getrennte Darstellung in Rohdaten und Ergebnis .....	43
Abbildung 26 - Layer mit Funktion des Ein- und Ausblendens .....	44
Abbildung 27 – Layer 1 der Rohdaten .....	45
Abbildung 28 - Layer 2 Bilddokumentation.....	46
Abbildung 29 - Layer 3 Technische Zeichnung.....	47
Abbildung 30 - Messuhr .....	48
Abbildung 31 - Messuhr eingeblendet über Berichtformular .....	49

## Tabellenverzeichnisverzeichnis

Funktionsumfang – tabellarisch zusammengefasst .....	54
Tabelle Experteninterviews Bereich 1.....	60
Tabelle Experteninterviews Bereich 2.....	62

## Abkürzungsverzeichnis

CAD	engl. Computer Aided Design
CAQ	englisch für Computer-Aided Quality Control
DAkS	Deutsche Akkreditierungsstelle
DIN	Deutsches Institut für Normung
ECMAScript	European Computer Manufacturers Association Script, siehe auch JavaScript
EN	Europäische Norm
GIS	Geoinformationssystem
ICC	International Coor Consortium
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
ISO	International Organization for Standardization
JS	JavaScript
LiDAR	engl. Light detection and ranging
PDF	Portable Document Format
SVG	Scalable Vector Graphic
WEBGL	Web Graphics Library
W3C	World Wide Web Consortium
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language

## Literatur

[Aamodt & Nygard, 1995]

Aamodt, Agnar; Nygård Mads. "Different roles and mutual dependencies of data, information, and knowledge—an AI perspective on their integration." *Data & Knowledge Engineering* 16.3 (1995): 191-222.

[Albertz 1997]

Albertz Jörg: Information aus Bildern–100 Jahre Entwicklung in Fotogrammetrie und Fernerkundung. *VGI Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation*. 1997;85:4, Abschnitt 5.1 Visuelle Wahrnehmung.

[Andrienko et al. 2007]

Andrienko, Gennady, et al.; Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science* 21.8 (2007): 839-857.

[Bartelme 2005 - 1]

Bartelme, Norbert: *Geoinformatik – Modelle, Strukturen, Funktionen*. Berlin Heidelberg, Springer 2005, S. 8

[Bartelme 2005 - 2]

Bartelme, Norbert: *Geoinformatik – Modelle, Strukturen, Funktionen*; Berlin Heidelberg, Springer 2005, S. 72 Kapitel 2

[Bauer 2015]

Bauer M, Ernst C. *Diagrammatik: Einführung in ein kultur-und medienwissenschaftliches Forschungsfeld*; transcript Verlag; 2015.

[Bill 2001]

Bill, Ralf; Zehner Marco L.; *Lexikon der Geoinformatik*. Wichmann Heidelberg; 2001

[Dahinden et al. 2001]

Dahinden, Tobias; Neumann, Andreas; Winter, André M.; *Webmapping mit SVG: Werkzeuge, Arbeitsabläufe, aktuelle Tendenzen*;  
[http://www.carto.net/papers/svg/articles/paper\\_karlsruhe\\_dahinden\\_neumann\\_winter\\_2001.pdf](http://www.carto.net/papers/svg/articles/paper_karlsruhe_dahinden_neumann_winter_2001.pdf)

[DIN EN ISO 1101:2014-04]

Geometrische Produktspezifikation (GPS) - Geometrische Tolerierung - Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf

[Flanagan 2011]

Flanagan, David. *JavaScript: The definitive guide: Activate your web pages*. O'Reilly Media, Inc., 2011.

[Hahn & Kim 1999]

Hahn J, Kim J. Why are some diagrams easier to work with? Effects of diagrammatic representation on the cognitive intergration process of systems analysis and design. *ACM Trans Comput-Hum Interact*. 1999;6(3):181-213.

[Harney et al. 2007]

Harney, Eric, et al.; The efficacy of live virtual machine migrations over the internet. *Proceedings of the 2nd international workshop on Virtualization technology in distributed computing*. ACM, 2007

[Hennemann 2013]

Hennemann, Stefan; Information-rich visualisation of dense geographical networks.  
Journal of Maps 9.1 (2013): 68-75.

[ISO/TS 15530-3:2004]

Geometrical Product Specifications (GPS) -- Coordinate measuring machines (CMM): Technique for determining the uncertainty of measurement -- Part 3: Use of calibrated workpieces or standards

[Jankowski et al. 2001]

Jankowski, Piotr; Andrienko, Natalia; Andrienko, Gennady; Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making  
International Journal of Geographical Information Science 2001 (15 (2)) S. 101-127

[Kagemann et al. 2011]

Kagemann, Henning; Lukas, Wolf-Dieter; Wahlster, Wolfgang; Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution  
VDI Nachrichten 13 (2011)

[Keferstein 2010]

Keferstein, Claus P.; Wolfgang Dutschke; Fertigungsmesstechnik.  
Vieweg+ Teubner, 2010.

[Kinkeldey et al. 2015]

Kinkeldey, Christoph, et al.; Evaluating the effect of visually represented geodata uncertainty on decision-making: systematic review, lessons learned, and recommendations.  
Cartography and Geographic Information Science (2015): 1-21.

[Koordinatenmesstechnik 2013]

Christoph, Ralf; Neumann Hans J.; Multisensorkoordinatenmesstechnik  
Verlag moderne Industrie, Band 352  
Internet: [www.koordinatenmesstechnik.de](http://www.koordinatenmesstechnik.de) Stand Oktober 2016

[Lee 2013]

Lee, Jay, et al.; Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment.  
*Manufacturing Letters* 1.1 (2013): 38-41.

[MacEachren 2000]

MacEachren, Alan M.; Cartography and GIS: facilitating collaboration.  
Progress in Human Geography 24.3 (2000): 445-456.

[MacEachren et al. 2012]

MacEachren, Alan M., et al.; Visual semiotics & uncertainty visualization: An empirical study.  
IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 18.12 (2012): 2496-2505.

[Mason et al. 2016]

Mason, Jennifer Smith, et al.; Special issue introduction: Approaching spatial uncertainty visualization to support reasoning and decision making.  
Spatial Cognition & Computation 16.2 (2016): 97-105.

[Muehlenhaus 2014]

Muehlenhaus, Ian; Going Viral: The Look of Online Persuasive Maps.  
Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization 49.1 (2014): 18-34.

[Neumann et al. 2001]

Neumann, Andreas; Winter, André M.; Time for SVG—towards high quality interactive web-maps.  
International Cartographic Association (2001).

[Opach et al. 2014]

Opach, Tomasz, Izabela Gołębiowska, and Sara Irina Fabrikant; How do people view multi-component animated maps?

The Cartographic Journal 51.4 (2014): 330-342.

[Peng et al. 2004]

Peng, Zhong-Ren, Chuanrong Zhang; The roles of geography markup language (GML), scalable vector graphics (SVG), and Web feature service (WFS) specifications in the development of Internet geographic information systems (GIS)

Journal of Geographical Systems 6.2 (2004): 95-116.

[Renu2013]

Renu, Rahul Sharan, Gregory Mocko, and Abhiram Koneru; Use of big data and knowledge discovery to create data backbones for decision support systems.

Procedia Computer Science 20 (2013): 446-453.

[Richter et al. 2013]

Richter, Rico, Döllner, Jürgen; Concepts and techniques for integration, analyses and visualization of massive 3D point clouds. Computers, Environment and Urban Systems Volumen 45, May 2014: 114-124.

[Roth 2015]

Roth, Robert E.; Interactivity and cartography: a contemporary perspective on user interface and user experience design from geospatial professionals.

Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization 50.2 (2015): 94-115.

[Ueberschär et al. 2006]

Ueberschär, Nicole, Winter, Andréas M.; „Visualisieren von Geodaten mit SVG im Internet“

Wichmann Verlag (2006)

[Unwin 1992]

Unwin, Antony; "How interactive graphics will revolutionize statistical practice."

The Statistician (1992): 365-369.

[Vaishampayan et al 2005]

Vaishampayan, Vivek, Murphy, Avon J.; XML in a Nutshell: A Desktop Quick Reference.

Technical Communication 52.3 (2005): 390-392.

[Weckenmann 2012]

Weckenmann, Albert; Gawande, Bernd; Koordinatenmesstechnik – Flexible Meßstrategien für Maß, Form und Lage.

München: Hanser, 2012.

[Wolf et al. 2000]

Wolf, Kai; Roller, Dieter; Schäfer, Dirk; An approach to computer-aided quality control based on 3D coordinate metrology

Journal of Materials Processing Technology 107.1 (2000): 96-110.

[Zhao 2011]

Zhao, Yaoyao, et al.; Dimensional metrology interoperability and standardization in manufacturing systems.

Computer Standards & Interfaces 33.6 (2011): 541-555.

[Ziegler et al. 2011]

Ziegler, Alexander, et al.; Effectively incorporating selected multimedia content into medical publications.

BMC medicine 9.1 (2011), 1.

[Zins 2007]

---

Zins, Chaim: Conceptual Approaches for Defining Data, Information, and Knowledge.  
Journal of the American Society for Information Science and Technology 2007 (58 (4)), S. 479–493.

### Internetquellen:

[Goce]

[http://www.goce-projektbuero.de/8228--goce-Goce-Produkte-Schwereanomalie-Das\\_Geoid.html](http://www.goce-projektbuero.de/8228--goce-Goce-Produkte-Schwereanomalie-Das_Geoid.html)

Stand Februar 2017

[TraCIM]

<https://tracim.ptb.de/tracim/index.jsf> Stand Februar 2017

[ILAC]

<http://ilac.org/>

[W3C, SVG 2011]

W3C Recommendation Scalable Vector Graphics 1.1 Specification, 16 August 2011

<http://www.w3.org/TR/SVG11/> Stand Oktober 2016

[Youtube 1]

<https://www.youtube.com/watch?v=2ry7oX3qAro> Stand Oktober 2016

[Zeiss 1]

[http://www.zeiss.de/industrial-metrology/de\\_de/produkte/software/piweb/piweb-reporting.html](http://www.zeiss.de/industrial-metrology/de_de/produkte/software/piweb/piweb-reporting.html) Stand Januar 2017

Weitere verwendete Webseiten und Codebeispiele:

[www.carto.net/papers/svg/samples](http://www.carto.net/papers/svg/samples) Stand Oktober 2016

## Anlagen

### Fragebogen der Expertenbefragung

#### Erweitern interaktive Inhalte in Berichtsdiagrammen das Verständnis

##### Darstellung räumlicher Eigenschaften mit SVG Diagrammen.

Geometrische Eigenschaften von technischen Bauteilen werden durch Form- und Lagebemaßungen beschrieben. Dafür ist die Norm DIN EN ISO 1100 verantwortlich. Für die bildliche Darstellung haben sich Quasi-Standards gebildet. Die Annahme ist, dass für Laien eine sichere Interpretation und Erarbeitung des Verständnisses der Sachverhalte schwerfällt. Es wird untersucht, wie Berichte aus der industriellen Koordinatenmesstechnik mit optionalen Inhalten erweitert werden können. Aus diesem Grund fragen wir Sie als jemanden, der im beruflichen Umfeld sehr wahrscheinlich Umgang mit dieser Thematik hat. Wir bitten Sie um Ihre Erfahrung, Meinung und Anregung. Mit den Ergebnissen und Hinweisen, werden Inhalte erarbeitet, die Diagrammdarstellungen von Form- und Lagetoleranzen verbessern können.

Bitte nennen Sie gern eigene Beispiele, mit der Sie geometrische Sachverhalte erklären.

Das Ausfüllen erfolgt gemeinsam im Interview durch den Fragesteller.

Fragebogen:

Jörg Weißer, Dezember 2016

1. Wie alt sind Sie?

- unter 22    22 – 30 Jahre    30 – 50 Jahre    über 50 Jahre

2. Bitte geben Sie Ihre höchste, abgeschlossene Ausbildung an

- Lehrberuf    Techniker/Meister    (Fach-) Abitur    Studium

3. Haben Sie in Ihrer Arbeit Umgang mit Diagrammen und grafischen Darstellungen in Berichten?

- Nein  
 Ja, mit folgenden (Inhalten):

\_\_\_\_\_

4. Verwenden Sie in Ihrer Arbeit Form- und Lagetoleranzen?

- Nein  
 Ja

Bemerkung: \_\_\_\_\_

5. Haben Sie in den letzten 2 Jahren eine Weiterbildung oder Schulung zu Form- und Lagetoleranzen besucht?

- Nein  
 Ja, Umfang (Zeit/Bildungsträger) \_\_\_\_\_

6. Bitte erklären Sie die Geradheitsauswertung und die zugehörige Normforderung (letzte Seite, Anhang)  
Geradheit dokumentiert folgende Abweichung:  
 Formabweichung     Lageabweichung     beides     keine Angabe

Wie definiert sich die Toleranzangabe  
 richtig                     ungefähr                     falsch / keine Angabe

Welche Schwierigkeiten der Interpretation haben Sie?

---

---

7. Was kann bei der Interpretation von Form- und Lagebemaßungen behilflich sein?

---

---

8. Welche Methoden verwenden Sie, um Messergebnisse besser zu erklären?  
Nennen Sie einige Beispiele, wie Sie Laien geometrische Sachverhalte erklären.

---

---

9. Würden Sie Berichtsformen vorziehen, die Sachverhalte grafisch, interaktiv erklären?

---

---

10. Welche der Art der Darstellung würden Sie sich wünschen?

---

---

11. Stellen Sie sich vor, der Bericht ermöglicht es am Rechner erweiterte Inhalte einzublenden.  
Welche Zusatzinformationen erwarten Sie von einem interaktiven Bericht?

---

---

---

---

12. Würden Sie bei einer Nutzeranalyse der Umsetzung zu diesen Fragen teilnehmen

Nein

Ja

Ich bedanke mich für Ihre Mitarbeit. Die Antworten absolut vertraulich behandelt. Der ausgefüllte Fragebogen wird nicht veröffentlicht.

Freiwillige Angaben:

Name/Unternehmen: \_\_\_\_\_

Beruf/ausgeübte Tätigkeit: \_\_\_\_\_

Jörg Weißer

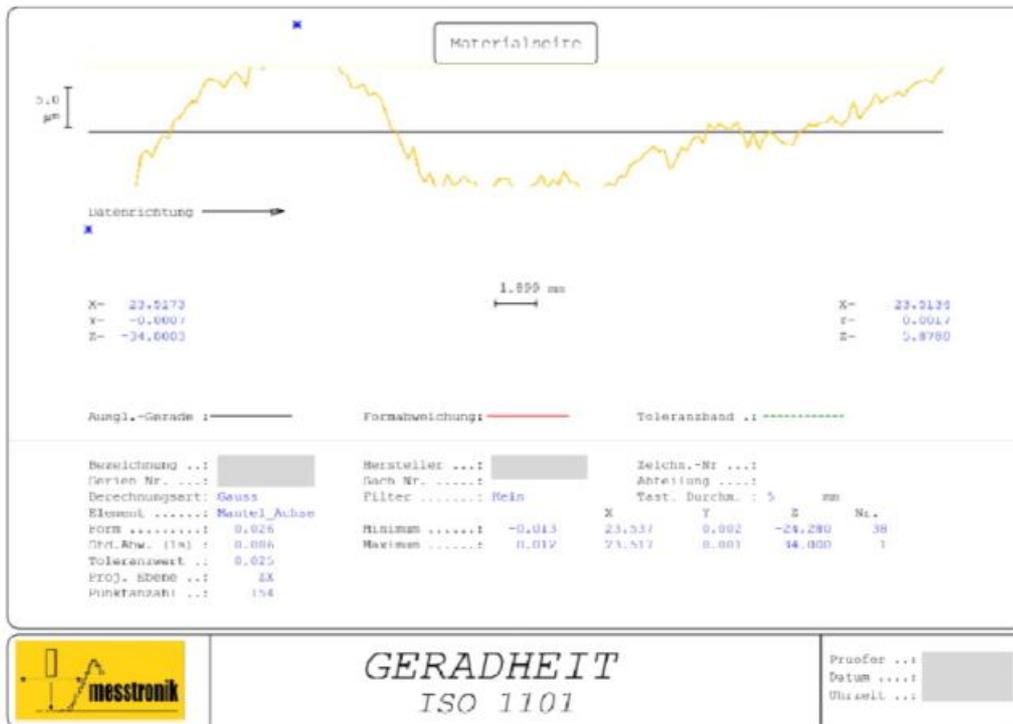
Anlage:

Definition nach Norm

Symbol	Zeichnung	Toleranzzone	Werkstück
		$t_0 = 0,1$ $t_0$ : Geradheitstoleranz	$f_0$ : Geradheitsabweichung

Berichtsformular, wie es aktuell angewendet wird:

Auswertung der Geradheit nach DIN EN ISO 1100:



## Ausgewählte Code-Beispiele

Die gesamte Datei verfügbar auf Github:

[https://gist.github.com/wjm30877/aaa27ec6ba86f328a831d5c44d14e3ea#file-messtronik\\_straightness-svg](https://gist.github.com/wjm30877/aaa27ec6ba86f328a831d5c44d14e3ea#file-messtronik_straightness-svg)

## Initialisierungsskript

Das beim Öffnen der ausgeführt wird: `onload="start()"`

```
function start(){

/*****
Initialisierungs-Script bei Oeffnen/Laden des Bilds
                                Joerg@messtronik.de
realisiert:
- Geradheit; Apr. 2016
*****/

// Aufbereiten des KoordStrings
CalcCoord2String(CoordString);

// Geradenfunktion ermitteln; Arr. of real values and projection, e.g. (Real, "XY")
// only 2d realized!!
var lr = CalcLinearReg(Real, Pro);

// Sollpkte und Abweichungen berechnen
// Elementarray NomLine
CalcLineAbw(Real,Pro);

// Funktion Geradheit berechnen und zeichnen
DrwStrPts();

    if(StrnsRes[6]*2 > tol){
        SetGauge("init", (StrnsRes[6])); }
    else {
        SetGauge("init", tol/2); }

SetGauge("min", StrnsRes[5]);
SetGauge("max", StrnsRes[4]);
SetGauge("tol", tol/2);

// Erste Funktionen zur Berechnung und Plotten der Rohdaten
// zu tun; Umsetzen auf Array; StrnPts

    DrwNomLine();

// Scale, Skalierung auf Soll/Ist Punkte rechnen
CalcScale(fac);

// Zeichnen
DrwPts("nominal", "+");
DrwPts("real", "+");
DrwPts("scale", "+");

//Polyline - Verbindungslinien zwischen Messpunkten
DrwPly("scale");
DrwPly("real");

// Options real + Scale
DrwNeedle("real");
DrwNeedle("scale");

//Koord.Achsen zeichnen
```

```

    DrwAxes();
    // Fitten der RawDaten
    SetRawdataScale();

    DrwAquiLin("tol",tol);

//Ansicht steuern//DrwVector()
myTooltip();
SetOptPro();

}

```

## Lineare Regression

### Berechnen der Geradengleichung $y = a*x + b$

```

function CalcLinearReg(arr,projection){
// 1. Funktion, nach Split d. Koord.strings
// Lineare Regression einer Gerade - GAUSS Gerade
// Input: zwei Arrays mit Koordinaten
// arr = Real
// Berechnung nur in 2D möglich, sprich Auswahl der Achsen notwendig
// Verwendung der Achsen als Var a und b; internet Bez. x und y -> Solang wir im 2D sind :-))
var lr = {};
var n = arr.length;
var sum_x = 0;
var sum_y = 0;
var xmean = 0;
var ymean = 0;
var sum_xxm = 0;
var sum_yym = 0;

// Adresse des Arrays Istwerte, aufgrund Ebenenauswahl
if(projection == "XY"){
    var a = 0;
    var b = 1;
}
else if(projection == "YZ"){
    var a = 1;
    var b = 2;
}
else if(projection == "ZX"){
    var a = 2;
    var b = 0;
}
else {
    alert (" No Projection - Calculation abortet!");
    return;
}

//alert("Pro " + projection + " ab " + a + ", " + b);
//Mean/Mittelwert - "*1" Notlösung um "Zahl" zu erhalten
for (var i = 0; i < arr.length; i++) {
    sum_x = sum_x + arr[i][a].trim() * 1;
    sum_y = sum_y + arr[i][b].trim() * 1;
}
var xmean = sum_x / n;
var ymean = sum_y / n;

for (var i = 0; i < arr.length; i++) {
    sum_xxm += (arr[i][a] - xmean) * (arr[i][a] - xmean);
    sum_yym += (arr[i][a] - xmean) * (arr[i][b] - ymean);
}

//Slope/Steigung
lr['a'] = sum_yym / sum_xxm;
// achsenabschnitt auf Y
lr['b'] = ymean - xmean * lr.a;

```

```

// SCHRITT 2
//Berechnen der nominalen Linie, begrenzt durch min/max in X, schreiben dieser Eigenschaften
in Array
// Berechnen der Residuen; definieren der MIN und MAX Abweichung
// aussen liegende Pkte bestimmen, Index
var max = arr[0][a];
var min = arr[0][a];
var mini = 0;
var maxi = 0;
// Residuen
var res = 0;
var maxres = arr[0][a];
var minres = arr[0][a];
var minires = 0;
var maxires = 0;

for (var i = 0; i < arr.length; i++) {

  // geradenpunkte def.
  if(arr[i][a] > max){
    var max = arr[i][a];
    var maxi = i;
  }
  else if(arr[i][a] < min){
    var min = arr[i][a];
    var mini = i;
  }
  // Residuen rechnen
  res = arr[i][b] - (arr[i][a] * lr.a + lr.b);

  CoordRes[i] = res;
  if(res > maxres){
    var maxres = res;
    var maxires = i;
  }
  else if(res < minres){
    var minres = res;
    var minires = i;
  }
}

// alert ("Klein: " + mini + " " + maxi);

var y1 = lr.a * arr[mini][a] + lr.b;
var y2 = lr.a * arr[maxi][a] + lr.b;
var p1 = [arr[mini][a], y1];
var p2 = [arr[maxi][a], y2];

// 2 Koordinaten als Array
// fehlerhaft; größte Residuen nicht aussenliegende Pkte
NomLine[0] = p1;
NomLine[1] = p2;
// Gerade
NomLine[2] = lr.a;
NomLine[3] = lr.b;
//Pkt.nr
NomLine[4] = minires;
NomLine[5] = maxires;

// alert ("CalcLinearReg: " + NomLine);
return lr;
}

```

## SVG-Element „Messuhr“ mit jeweiligen JavaScript Funktionen

```

<symbol id="Gauge" viewBox="0 0 58 41" preserveAspectRatio="xMidYMid meet" overflow="visible" >
  <!-- Gauge/Messuhr -->

  <g transform="translate(0, 0)" >

```

```

<rect id="GHalter" x="-6" y="0" width="12" height="28" opacity="1" fill="lightgrey"
stroke="black" stroke-width="0.5" />

<!-- Aussenkreis -->
<circle cx="0" cy="0" r="20" fill="lightyellow" stroke="black" stroke-width="2" />
<!-- Bereich der Anzeige -->
<path d="M 0,0 l 18,0 a18,18 0 0,0 -36,0 z"
fill="white" stroke="grey" stroke-width="0.1" stroke-linejoin="round" />

<!-- Toleranzscheibe -->
<path id="Gutolpath" fill="lightgreen" d="M 0,0 l 18,0 a18,18 0 0,0 -36,0 z" />

<circle cx="0" cy="0" r="7" fill="lightyellow" stroke="none" stroke-width="2" />

<g id="GNull" transform="rotate(0 0 0)" >
  <line x1="0" y1="-17.3" x2="0" y2="-18.2" style="stroke:black; stroke-width:0.4;
  stroke-linecap:round" />
  <text x="-1" y="-13.5" font-size="4" font-weight="normal" stroke-width="0.2"
  stroke="black">0
  </text>
</g>

<g id="Gotol" transform="rotate(15 0 0)" >
  <line x1="0" y1="-17.3" x2="0" y2="-18.2" style="stroke:green; stroke-width:0.6;
  stroke-linecap:round" />
</g>

<g id="Gutol" transform="rotate(-15 0 0)" >
  <line x1="0" y1="-17.3" x2="0" y2="-18.2" style="stroke:green; stroke-width:0.6;
  stroke-linecap:round" />
</g>

<g id="Gmin" transform="rotate(-88 0 0)" >
  <line x1="0" y1="-17.3" x2="0" y2="-18.2" style="stroke:blue; stroke-width:0.6;
  stroke-linecap:round" />
  <text x="0" y="-13.5" font-size="4" font-weight="normal" stroke-width="0.2"
  stroke="blue">min</text>
</g>

<g id="Gmax" transform="rotate(88 0 0)" >
  <line x1="0" y1="-17.3" x2="0" y2="-18.2" style="stroke:red; stroke-width:0.6;
  stroke-linecap:round" />
  <text x="-3" y="-13.5" font-size="4" font-weight="normal" stroke-width="0.2"
  stroke="red">max</text>
</g>
// Zeiger
<g id="GZeiger" transform="rotate(0 0 0)" >
  <line x1="0" y1="0" x2="0" y2="-13.0" style="stroke:blue; stroke-width:0.6;
  stroke-linecap:round" />
</g>
<circle cx="0" cy="0" r="1" fill="blue" stroke="blue" stroke-width="0.4" />
// Koordinatenanzeige in der Mitte der Uhr
<g id="GCoords" transform="rotate(-0 0 0)" >
  <text id="GZeigerAbw" x="-7" y="4" font-size="4" font-weight="normal"
  stroke-width="0.2" stroke="blue">Abw mm</text>
  <text id="GX" x="-7" y="7.5" font-size="3" font-weight="normal" stroke-width="0.1"
  stroke="blue">X 000.000</text>
  <text id="GY" x="-7" y="10.5" font-size="3" font-weight="normal" stroke-width="0.1"
  stroke="blue">Y 000.000</text>
  <text id="GZ" x="-7.0" y="13.5" font-size="3" font-weight="normal" stroke-width="0.1"
  stroke="blue">Z 000.000</text>
</g>
// Mitte Zeiger
<circle cx="0" cy="0" r="0.4" fill="lightgrey" stroke="black" stroke-width="0.4" />
</g>
</symbol>

<symbol id="DrwSymbArrow" overflow="visible" fill="none" stroke="red" stroke-width="1">
  <polyline points="-3,-5 3,-5 3,1 5,1 0,5 -5,1 -3,1 -3,-5"/>
  <!-- SYMBOL SHAPE © ANDREAS NEUMANN, http://www.carto.net/papers/svg/tuerlersee/ -->
</symbol>

</script>

```

```

function AdjGauge(evt){
// Darstellung der Messuhr an angefahrene Koordinate anpassen

    if(!evt){
        return;
    }

    var myScrID = evt.target.getAttributeNS(null,'id').replace(/scale/, '1');
    var myScrX = (evt.target.getAttributeNS(null,'cx').replace(/scale/, '1')) ;
    var myScrY = (evt.target.getAttributeNS(null,'cy').replace(/scale/, '1')) * -1;

    //hole Abw.:
    document.getElementById('UhrAnzeige').setAttributeNS(null,'transform',
        'translate(' + (myScrX) + ', ' + (0) + ')');

    document.getElementById('UhrTaster').setAttributeNS(null,'y1',(myScrY-1.5));
    document.getElementById('UhrTaster').setAttributeNS(null,'x1',myScrX);
    document.getElementById('UhrTaster').setAttributeNS(null,'x2',myScrX);
    // Wert/Ausschlag am Zeiger setzen
    SetGauge("act", abw);
    // Koordinatenwerte in Display der Uhr setzen
    var pointid = StrnsPts[myScrID][4];
    document.getElementById('GX').firstChild.data = "X " + Real[pointid][0] + " mm";
    document.getElementById('GY').firstChild.data = "Y " + Real[pointid][1] + " mm";
    document.getElementById('GZ').firstChild.data = "Z " + Real[pointid][2] + " mm";
    document.getElementById('Uhr').setAttributeNS(null,'display','inline');
}

function SetGauge(ToDo,val){
/*****
Setzen der Eigenschaften des Symbols Gauge oder Uhr
- Extremwerte; max 180° Umrechnung der Ausschlaege in Winkel
- Toleranzbereich
- Aufrufen der Funktion über ToDo und Zahlenwert
- ueber Global-Variable SetGauge[Faktor Zahl2Winkel]

ToDo:
init - maxAusschlag in Winkel umrechnen und in glob.var schreiben
min - Minwert einstellen
max - Maxwert einstellen
tol - Toleranz setzen
act - Zeiger setzen
null - Zeiger auf Null-Stellung Z.B bei MouseOut
*****/

    if(ToDo == "init"){
        //Sagen wir 170° der Anzeige soll genutzt werden
        // maximaler Wert der Anzeige ergibt Ausschlag von 85°
        gaugefac = 85/Math.abs(val);
    }
    else if(ToDo == "min"){
        // Marke für Min-Wert setzen
        //alert("min: " + val + " * " + gaugefac + " = " + val*gaugefac);
        document.getElementById('Gmin').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' +
            (val*gaugefac) + ',0,0)');
    }
    else if(ToDo == "max"){
        // Marke für Min-Wert setzen
        document.getElementById('Gmax').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' +
            (val*gaugefac) + ',0,0)');
    }
    else if(ToDo == "tol"){
        // Marke für Min-Wert setzen
        document.getElementById('Gotol').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' +
            (val*gaugefac) + ',0,0)');
        document.getElementById('Gutol').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' + (-
            val*gaugefac) + ',0,0)');

        // Set Toleranzscheibe
        var Angle = val*gaugefac*2;
        var Radius = 18;

        //

```

```
var Coo = [0,0];
Coo[0]= Radius * Math.cos(Angle * 2 * Math.PI /360);
Coo[1]= Radius * Math.sin(Angle * 2 * Math.PI / 360);

var myCoo = Coo[0]+' '+Coo[1];
document.getElementById('Gutolpath').setAttributeNS(null,'d','M 0,0 L ' + Radius + ',0 A
' + Radius + ', ' + Radius + ' 0 0,1 ' + myCoo + ' z');
document.getElementById('Gutolpath').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' + (-
Angle/2-90 ) + ',0,0)');

}
else if(ToDo == "act"){
// Marke für Min-Wert setzen
document.getElementById('GZeiger').setAttributeNS(null,'transform','rotate(' +
(val*gauefac) + ',0,0)');
document.getElementById('GZeigerAbw').firstChild.data = "Abw " + val;
}
else if(ToDo == "null"){
// Marke für Min-Wert setzen
document.getElementById('GZeiger').setAttributeNS(null,'transform','rotate(0,0,0)');
document.getElementById('GZeigerAbw').firstChild.data = "0000 mm";
document.getElementById('GX').firstChild.data = "X 000";
document.getElementById('GY').firstChild.data = "Y 000" ;
document.getElementById('GZ').firstChild.data = "Z 000";
}
}
```