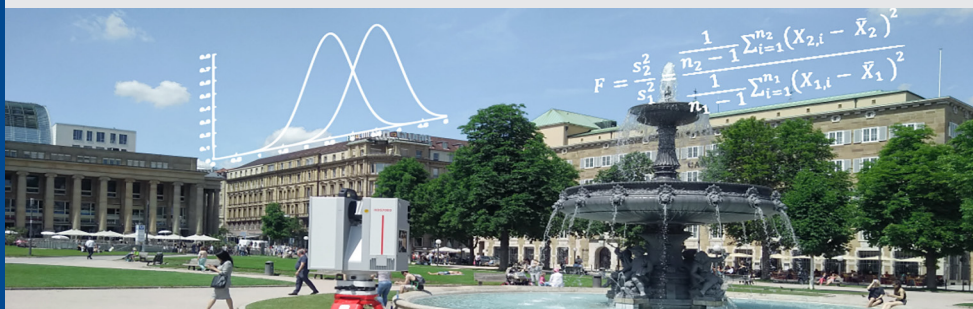


Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“

Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren 2019

Beiträge zum 180. DVW-Seminar am
27. und 28. Juni 2019 in Stuttgart



Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“

Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren 2019

Beiträge zum 180. DVW-Seminar am
27. und 28. Juni 2019 in Stuttgart

Redaktion:
Urs Basalla

Herausgeber:
DVW – Gesellschaft für Geodäsie,
Geoinformation und Landmanagement e.V.



Schriftenreihe des DVW
Band 95
Wißner-Verlag

Herausgeber:
DVW – Gesellschaft für Geodäsie,
Geoinformation und Landmanagement e. V.

www.dvw.de
INTERGEO®

Schriftenreihe des DVW
Band 95

Tipps zur Navigation in der PDF-Datei:

Die PDF enthält zur Navigation Lesezeichen und Hyperlinks.
Der Mausklick auf ein Lesezeichen führt zur ersten Seite des angewählten Beitrags.
Der Mausklick auf einen dunkelblau markierten Abbildungs- oder Tabellenverweis im Text führt zur verknüpften Abbildung oder Tabelle. Zurück zur ursprünglichen Stelle im Text gelangt man mit dem Klick auf den dunkelblau markierten Verweis in der Abbildungsunterschrift oder Tabellenüberschrift.
Internetadressen und E-Mail-Adressen sind ebenfalls mit Hyperlinks hinterlegt.
Kostenfreier PDF-Download unter www.geodaesie.info.

Zitierhinweis:

[Nachname, Vorname]: [Titel des Beitrags]. In: DVW e.V. (Hrsg.):
Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren 2019.
DVW-Schriftenreihe, Band 95, Augsburg, 2019, S. x–y.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-95786-218-1
ISSN 0940-4260

© Wißner-Verlag, Augsburg 2019
www.geodaesie.info

Herstellung: Wißner-Verlag, Augsburg
Bildnachweis Cover: Institut für Ingenieurgeodäsie, Universität Stuttgart

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede
Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen
bedarf deshalb der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlags.

Inhalt

Vorwort	5
---------------	---

Session 1: Grundlagen

Volker Schwieger Li Zhang	
Qualität in der Ingenieurgeodäsie – Begriff und Modellierung	9

Ingo Neumann Hamza Alkhatib	
Normen, Richtlinien und Merkblätter für die Qualitätssicherung in der Geodäsie	31

Enrico Kurtenbach Jens Riecken	
Qualitätssicherung im amtlichen Raumbezug	39

Session 2: Qualität für BIM, Geodaten und TLS

Christian Clemen	
Standards für die Qualitätssicherung mit der BIM-Methode	47

Nicole Šaravanja	
Qualitätssystem Geodaten – von der Qualitätssicherung amtlicher Geodaten zum umfassenden Qualitätsmanagement	61

Hans Neuner	
Qualitätsbetrachtungen zu TLS-Daten	69

Session 3: DVW-Merkblätter zur Qualität

Holger Hustedt

GNSS EVU – Qualitätssicherung und praktische Umsetzung des
DVW-Merkblattes 13-2017 im Ballungszentrum Frankfurt _____ 93

Barbara Görres | Tobias Kersten | Steffen Schön | Florian Zimmermann |
Lambert Wanninger

Zur Neubearbeitung des GNSS-Antennen-Merkblatts _____ 103

Manfred Juretzko

Tachymeterprüfung nach DVW-Merkblatt und Alternativen _____ 107

Session 4: Qualitätssicherung für Multisensorsysteme in der Praxis

Torsten Genz | Uwe Krause | Ulrich Stenz

Qualitätssicherung für punktwolkenbasierte Messsysteme –
von der Stichprobe zur Systematik _____ 127

Oliver Schmechtig | Nadine Fischer

Qualitätssicherung bei UAV-Messungen – Möglichkeiten und
Notwendigkeiten _____ 133

Ulrich Völter

Qualitätssicherung im ingenieurgeodätischen Alltag _____ 139

Uwe Ehrhorn

Qualitätsmanagement in einem Vermessungsbüro – Bürokratie oder
Erfolgstreiber _____ 149

Vorwort

Auch dieses DVW-Seminar zur „Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren“ wurde, einer erfolgreichen Tradition folgend, gemeinsam mit dem BILDUNGSWERK VDV (BW VDV) organisiert und ausgerichtet. Es handelt sich um das 180. DVW-Seminar, welches am 27. und 28. Juni 2019 in Stuttgart stattgefunden hat. Alle Beiträge dieser Veranstaltung finden sich in diesem, auch digital frei zugänglichen Seminarband.

Die behandelte Thematik wird bereits seit längerer Zeit von DVW und VDV in Seminaren beleuchtet. Bereits im Jahre 2001 fand ein erstes DVW-Seminar zum Thema „Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik“ statt. In den Jahren 2009 und 2012 veranstaltete die Fachgruppe 2 „Messverfahren“ des BW VDV zwei Seminare zum Thema „Qualitätssicherung geodätischer Messsysteme im Messeinsatz“. Diese wie auch die DVW-Seminare der Jahre 2010, 2013 und 2016 zu den Themen „Qualitätsmanagement ...“ beziehungsweise „Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren“ wurden vom DVW-Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“ in partnerschaftlicher Kooperation durchgeführt. Das aktuelle Seminar ist als Fortführung dieser Seminarreihe zu verstehen. Die umfangreiche Historie stellt die Bedeutung der Qualitätsthematik für die Geodäsie heraus.

Die historisch offensichtliche Relevanz nimmt aktuell weiter zu und die Modellierungen, Algorithmen und Aufgaben werden zunehmend komplexer. Mess- und Auswertesysteme verlangen eine zuverlässige Qualitätsmodellierung und -überprüfung, insbesondere wenn aktuelle Messtechniken wie Terrestrisches Laserscanning, Photogrammetrische UAV-Vermessung sowie ganz allgemein Multi-Sensor-Systeme berücksichtigt werden. Dabei darf natürlich bewährtes Instrumentarium, wie Totalstationen und GNSS-Empfangssysteme, nicht vernachlässigt werden. Grundlagen, wie Geodaten oder weitergehende Modellierungen z. B. innerhalb von BIM-Applikationen, finden Eingang in den Messalltag. Somit sind qualitative und quantitative Beschreibungen und Sicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Standards, Normen und die inzwischen gut eingeführten DVW-Merkblätter setzten Rahmenbedingungen insbesondere für Prüfungen, Kalibrierungen und damit auch für die Qualitätssicherung.

Allen Autoren sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Ohne das rechtzeitige Verfassen der Beiträge hätte dieser Band nicht erscheinen können.

Volker Schwieger, Universität Stuttgart
Ingo Neumann, Leibniz Universität Hannover
Klaus Fritzensmeier, BILDUNGSWERK VDV

Session 1: Grundlagen

Qualität in der Ingenieurgeodäsie – Begriff und Modellierung

Volker Schwieger | Li Zhang

1 Einleitung

Eine wichtige Komponente des beruflichen, aber auch des wissenschaftlichen Handelns ist die qualitative Bewertung desselben. Das gilt insbesondere für die technisch orientierten Berufe, und dabei verstärkt für die Geodäsie. In Kuhlmann et al. (2013) wird in der Definition der Ingenieurgeodäsie die Bedeutung der Qualität herausgestellt: „Die Ingenieurgeodäsie ist die Disziplin von der Aufnahme, der Absteckung und dem Monitoring lokaler und regionaler geometriebezogener Phänomene mit besonderer Berücksichtigung von Qualität, Sensorik und Bezugssystemen“. Das Studium der Geodäsie umfasst von Beginn an eine konzentrierte Auseinandersetzung mit dem Qualitätsbegriff, vor allem hinsichtlich Statistik, Analyse von Fehler- oder Abweichungsquellen, aber auch Kovarianzfortpflanzung und Ausgleichsrechnung. Das ist im Übrigen ein Ausbildungsvorteil gegenüber anderen Ingenieurdisziplinen. Grundlage einer jeden Qualitätsbeurteilung ist dabei ein Qualitätsmodell, das sowohl Merkmale als auch Parameter enthalten sollte. Traditionell konzentriert sich die Ingenieurgeodäsie auf das Qualitätsmerkmal Genauigkeit. Aus diesem Grunde ist diesem Aspekt auch ein umfangreiches vertiefendes Kapitel gewidmet. Von großer Bedeutung ist jedoch die Einführung, Definition und quantitative Hinterlegung weiterer Qualitätsmerkmale, insbesondere für interdisziplinäre Sachverhalte. Der Beitrag geht zum Abschluss ausführlich auf diese Modellierungen ein. Dabei werden Beispiele aus der Vergangenheit, aber auch zukünftige Ansätze interdisziplinärer Qualitätsmodelle vorgestellt.

2 Grundlegende Qualitätsbegriffe

Die ISO 9000-Familie ist ein konzeptioneller Leitfaden und die Grundlage eines Qualitätsmanagementsystems. In ISO 9000:2005 ist Qualität als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“ definiert, wobei das Qualitätsmerkmal als „inhärentes Merkmal eines Produktes, Prozesses oder Systems, das sich auf eine Anforderung bezieht“ definiert ist (DIN EN ISO 9000 2005).

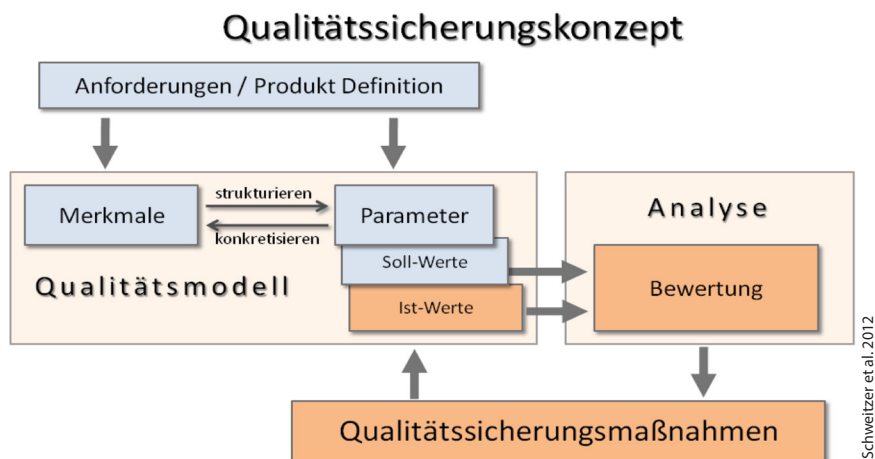


Abb. 1: Qualitätssicherungskonzept

Die Qualitätsanforderungen an Produkt, Prozess oder System hängen von den Anwendungen ab, daher sind dadurch abgeleitete Qualitätsmerkmale anwendungsorientiert. Das heißt, die Definition für Qualität muss für den jeweiligen Anwendungsfall konkretisiert werden. Dabei kann ein sogenanntes Qualitätsmodell (vgl. Abb. 1) verwendet werden, das aus mehreren Qualitätsmerkmalen besteht. Jedes Qualitätsmerkmal wird wiederum durch einen oder mehrere Qualitätsparameter weiter konkretisiert bzw. beschrieben. Die Qualität wird mittels der Parameterwerte messbar bzw. beurteilt. Wenn der jeweils gemessene Wert zum Beispiel innerhalb eines Toleranzbereichs liegt, ist die Qualität für diese Parameter erreicht.

Das Qualitätsmanagement umfasst alle aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation bezüglich Qualität. Die Qualitätssicherung ist der „Teil eines Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen darauf gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen erfüllt werden“ (DIN EN ISO 9000 2005). Das Qualitätsmodell kann als Werkzeug für die Qualitätssicherung verwendet werden. Wie in Abb. 1 dargestellt, wird das Ergebnis mit Hilfe der Qualitätsparameter analysiert. Wenn zum Beispiel Sollwerte mit Ist-Werten abzugleichen sind und wenn die Qualität nicht eingehalten ist, dann kann eine korrigierende oder vorausschauende Qualitätssicherungsmaßnahme durchgeführt werden, damit die Qualität verbessert und eingehalten wird. Bei der Analyse werden häufig die Prozessmodellierung und die damit eng verbundene Qualitätsfortpflanzung durch den Prozess vernachlässigt. In Schweitzer und Schwieger (2015) und Zhang und Schwieger (2011) wird dieses dagegen berücksichtigt (siehe auch Abschnitte 3.2 und 5.2).

3 Qualitätsmodelle in der Ingenieurgeodäsie

Allgemein kann zwischen prozessbezogener Qualität und ergebnisbezogener beziehungsweise produktbezogener Qualität unterschieden werden. Die produktbezogene Qualität beurteilt das Ergebnis eines Prozesses, die prozessbezogene Qualität den Prozess zur Erreichung desselben. Ein typisches ingenieurgeodätisches Ergebnis sind die ausgeglichenen Parameter und Beobachtungen eines geodätischen Netzes. Die notwendigen Prozesse zur Generierung derselben sind die Mess- und Auswerteprozesse.

3.1 Ingenieurgeodätische Netze

Die Theorie der geodätischen Netze ist eine Teildisziplin der Geodäsie, die die Basis für die Optimierung der geometrischen Konfiguration, die Definition des geodätischen Datums, die statistisch abgesicherte Deformationsanalyse und einiges mehr darstellt (z. B. Niemeier 2008). Auch die Modellierung der netzbezogenen Qualität lässt sich darauf zurückführen. Innerhalb der Geodäsie haben sich die Qualitätsmerkmale Genauigkeit und Zuverlässigkeit etabliert; das gilt sowohl für die Messverfahren und -systeme als auch für die Auswertung und damit vor allem für die Ausgleichung geodätischer Netze. Die beiden Qualitätsmerkmale sind unabhängig von der unbekannten weiteren Nutzung des Netzes definiert, man nennt diesbezüglich optimierte Netze auch Mehrzwecknetze. In der Ingenieurgeodäsie ist man jedoch meist an einer zuvor definierten Anwendung interessiert: der Analyse von Überwachungsmessungen, die in der Regel als Deformationsanalyse bezeichnet wird. An dieser Stelle ist anzumerken, dass in der Ingenieurgeodäsie im allgemeinen Sprachgebrauch unter Deformationen sowohl Festkörperbewegungen als auch Verformungen zu verstehen sind. In diesem Zusammenhang werden zwei weitere Qualitätsmerkmale definiert: die Sensitivität oder Empfindlichkeit (gegenüber einem Deformationsmodell) und die Separabilität oder Trennbarkeit (mehrerer Deformationsmodelle). Hinsichtlich Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparametern sei u. a. auf Niemeier (2008) oder Jäger et al. (2005) verwiesen.

Typische Genauigkeitsparameter können sowohl netzbezogen, z. B. Spur oder Determinante der Kovarianzmatrix der Koordinaten, als auch koordinaten- oder punktbezogen, z. B. Standardabweichung, Helmert'scher Punktfehler, Volumen des Konfidenzellipsoids oder Verhältnis der Eigenwerte für einen Punkt, ausfallen (vgl. Tab. 1).

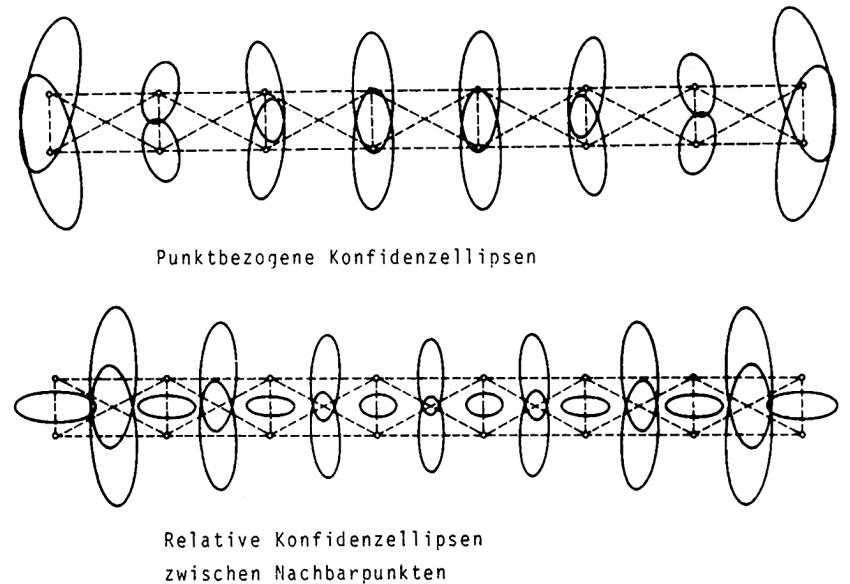
Obwohl Genauigkeitsparameter sehr wohl auch messgrößenbezogen sein können, werden in der Netztheorie fast durchgängig koordinatenbezogene Größen herangezogen. Zusätzlich werden relative Genauigkeitsmaße zwischen

Tab. 1: Qualitätsmodell für ingenieurgeodätische Netze

Qualitätsmerkmale	Beispiele für Qualitätsparameter
Genauigkeit	Standardabweichung, Konfidenzellipsoid, Spur der Kovarianzmatrix etc.
Zuverlässigkeit	Redundanzanteil, Bedingungsichte, minimal aufdeckbarer Fehler etc.
Sensitivität	minimal aufdeckbare Deformationen
Trennbarkeit	minimal trennbare Deformationen

benachbarten Punkten bezogen auf die Kovarianzmatrizen der Koordinatendifferenzen definiert, z. B. relative Konfidenzellipsen (Abb. 2).

Zuverlässigkeitsparameter haben meist einen Bezug zu den Messungen oder Beobachtungen und nicht zu den Koordinaten; typische Parameter sind Gesamtredundanz und Redundanzanteile, Bedingungsichte sowie minimal aufdeckbare Fehler sowie deren Auswirkung auf die Parameter (hier ist der einzige Bezug zu den Koordinaten). Hiermit eng in Verbindung stehen die Parameter der Sensitivität und Trennbarkeit: minimal aufdeckbare oder trennbare Deformationen. Für beide Parameter müssen die Deformationsmodelle, insbesondere



Niemeier 1985

Abb. 2: Relative und punktbezogene Konfidenzellipsen

die sogenannten Formvektoren, bekannt sein. Niemeier (2008) und Jäger et al. (2005) enthalten auch Informationen zur Sensitivität; Schwieger (2005) gibt diesbezüglich einen interdisziplinären Überblick. Erste Entwicklungen können u. a. in Pelzer (1971) und Heck (1986) nachgelesen werden. Zur Trennbarkeit sei beispielsweise auf Li (1986) und Lu (1987) verwiesen.

3.2 Ingenieurgeodätische Prozesse

In Abschnitt 3.1 wurde das geodätische Netz als Produkt betrachtet; in diesem Abschnitt wird es nun um die prozessbezogene Qualität gehen. Um diese betrachten zu können, müssen die Prozesse zunächst modelliert werden. Dieses kann, je nach Zielsetzung, auf unterschiedliche Weise erfolgen. In einigen Fällen können die Prozesse deterministisch zum Beispiel mit Hilfe mathematischer Formeln vollständig beschrieben werden. Häufig helfen auch einfache Ablaufpläne weiter. Ist die Zeit ein wesentlicher Faktor der Modellierung und Qualitätsbewertung, so kann auf Petri-Netze zurückgegriffen werden. Auf Petri-Netze wurde beispielsweise in Rinke et al. (2017) zurückgegriffen. Von Gösselen (2017) nutzt die gleiche Methodik, um die Effizienz bei der Messung geodätischer Netze zu erhöhen. Die Effizienz kann folglich als prozessbezogenes Qualitätsmerkmal gelten; Qualitätsparameter sind der zeitliche oder finanzielle Aufwand der

Tab. 2: Qualitätsmerkmale und -parameter für ingenieurgeodätische Prozesse (verändert nach Schweitzer und Schwieger 2011)

Qualitätsmerkmale	Qualitätsparameter	produkt- (pt) oder prozessbezogen (ps)
Genauigkeit	Standardabweichung	pt
Korrektheit	Toleranzkorrektheit	pt
	Topologische Korrektheit	pt
Vollständigkeit	Anzahl fehlender Elemente	pt
	Anzahl überschüssiger Elemente	pt
	Übereinstimmung mit dem Plan	ps
Zuverlässigkeit	Bedingungsichte	pt
	Minimal aufdeckbarer Fehler	pt
	Netzverzerrung	pt
	Störanfälligkeit	ps
Pünktlichkeit	Zeitverzögerung	ps
Effizienz	Zeitlicher Aufwand	ps
	Finanzieller Aufwand	ps

Messung. In Schweitzer und Schwieger (2011) wurden prozess- und produktbezogene Qualitätsmerkmale und -parameter für ingenieurgeodätische Prozesse im Hochbau zusammengestellt. Tab. 2 führt diese erweitert um die Effizienz und unterteilt nach produkt- und prozessbezogener Qualität auf.

Diese Forschungsarbeiten zeigen für die Ingenieurgeodäsie den ersten Ansatz auf, prozess- und produktbezogene Qualitätsmerkmale in einem Modell zu integrieren. Die Modellierung der einzelnen Qualitätsparameter gelingt zum Beispiel im Prozess durch Kovarianzfortpflanzung oder Monte-Carlo-Simulation für Genauigkeitsparameter (Schweitzer und Schwieger 2015) oder allgemein durch neuronale Netze (Laufer 2011). Hiervon zu unterscheiden ist die qualitative Bewertung von Werkzeugen oder Softwaresystemen zur Umsetzung von ingenieurgeodätischen Prozessen. Dieses wird in Schwieger et al. (2010) für Softwarepakete zur Ausgleichsrechnung anhand der Merkmalen Funktionalität (inkl. Richtigkeit, Angemessenheit, Vollständigkeit und Transparenz), Zuverlässigkeit (in anderem Sinne als in Abschnitt 3.1 aufgeführt), und Benutzbarkeit realisiert. Es wird folglich ein Produkt bewertet, das zur Durchführung von Auswerteprozessen eingesetzt wird, und damit die Qualität des Prozesses und des Produktes beeinflusst. Bereits an dieser Stelle wird klar, dass eine durchgängige Qualitätsmodellierung sehr komplex ausfallen kann. Weitere Ausführungen zu durchgängigen und komplexen Qualitätsmodellen finden sich in Abschnitt 5.

4 Genauigkeit als Qualitätsmerkmal

4.1 Genauigkeitsmodellierung

Genauigkeit ist zwar nicht das einzige Qualitätsmerkmal (vgl. Abschnitt 3) in der Ingenieurgeodäsie, jedoch das traditionell bedeutendste. Ein Geodät denkt in Standardabweichungen und Varianzen. Dieser Abschnitt beschäftigt sich daher mit der Genauigkeitsmodellierung. Dabei werden für die Standardvorgehensweise lineare Modelle und normalverteilte Eingangsgrößen vorausgesetzt. Wird hiermit eine Kovarianzmatrix der Beobachtungen (Messgrößen) aufgebaut, so spricht man vom Elementarfehlermodell (Pelzer 1974), wird eine Kovarianzmatrix für beliebige Ausgangsgrößen mit Hilfe der Formulierung eines funktionalen Zusammenhangs zu den Messgrößen und der entsprechenden Kovarianzmatrix gewonnen, so spricht man von Varianz-Kovarianzfortpflanzung, verkürzt Kovarianzfortpflanzung (z.B. Niemeier 2008). Kann man die zuvor genannten Einschränkungen nicht voraussetzen, könnten nichtlineare Modelle und/oder beliebige Verteilungen vorliegen. In diesem Fall wird man die Monte-Carlo-Simulation zur Varianzpropagation verwenden. Auch diese Methodik kann sowohl zum Kovarianzmatrixaufbau der Messgrößen als auch zu deren

Fortpflanzung genutzt werden. Diese Vorgehensweise wird im Guide for the Expression of Uncertainty in Measurements (JCGM 2009) und dem Anhang (JCGM 2008) zur Bestimmung der Standardunsicherheit der Messgrößen (z. B. Kutterer 2010 und Hennes 2013), die der Standardabweichung im Sinne des Elementarfehlermodells entspricht, empfohlen. In den folgenden Abschnitten erfolgt eine Konzentration auf die Modellierung der Kovarianzmatrix der Messgrößen.

4.1.1 Kovarianzfortpflanzung – Elementarfehlermodell

Baut man die Kovarianzmatrix der Messgrößen unter Nutzung des Elementarfehlermodells auf, so spricht man von einer synthetischen Kovarianzmatrix Σ_{ll} . Hierzu wird die zufällige Abweichung in eine Vielzahl von sogenannten Elementarfehlern zerlegt, die die möglichen Fehlereinflüsse auf die Messungen darstellen. In der Regel sind einem die möglichen Fehler bekannt, aber nicht der konkrete numerische Wert. Dagegen kann man die Einflüsse dieser Fehler auf die Messungen mittels mathematischer Zusammenhänge meist beschreiben. Hierzu benötigt man Einflussfaktoren, die die Ableitung dieses Zusammenhangs nach den Elementarfehlern darstellen und die in Einflussmatrizen zusammengestellt werden können. Dabei kann zwischen nicht-korrelierenden δ , funktional korrelierenden ξ und stochastisch korrelierenden Elementarfehlern γ unterschieden werden (Schwieger 1998). Die Einflussmatrizen weisen für nicht-korrelierende D und stochastisch-korrelierende G eine diagonale Struktur auf, da sie jeden Elementarfehler auf genau eine Messung abbilden. Bei den funktional korrelierenden Elementarfehlern kann die entsprechende Matrix F vollbesetzt sein, so dass sich ein Elementarfehler auf mehrere oder sogar alle Messungen auswirkt. Notwendigerweise werden für die Modellierung auch die Varianzen und Kovarianzen der Elementarfehler benötigt. Deren Abschätzung ist häufig schwierig und gelingt z. B. über Herstellerangaben, Erfahrungswerte oder maximal mögliche Fehler (z. B. Schwieger 1998). Bei funktional korrelierenden $\Sigma_{\xi\xi}$ und nicht-korrelierenden Elementarfehlern $\Sigma_{\delta\delta}$ wird von stochastischer Unabhängigkeit ausgegangen und damit eine diagonale Struktur der Kovarianzmatrix der Elementarfehler vorausgesetzt (nur Varianzen). Bei stochastisch korrelierenden Elementarfehlern wird hiervor abgewichen und eine vollständig besetzte Kovarianzmatrix der Elementarfehler $\Sigma_{\gamma\gamma}$ zugelassen. Diese Informationen zur stochastischen Abhängigkeit sorgen für die Korrelationen der Messungen untereinander. Die endgültige synthetische Kovarianzmatrix setzt sich aus allen drei Varianz-Kovarianz-Anteilen zusammen:

$$\Sigma_{ll} = F \cdot \Sigma_{\xi\xi} \cdot F^T + \sum_1^q G_h \cdot \Sigma_{\gamma\gamma} \cdot G_h^T + \sum_1^p D_k \cdot \Sigma_{\delta\delta} \cdot D_k^T \quad (1)$$

mit p und q als Anzahl der Elementarfehlerarten für stochastisch korrelierende und nicht korrelierende Elementarfehler.

Das Vorteilhafte bei jedem linearen Zusammenhang zwischen normalverteilten Eingangsgrößen und den entsprechen Ausgangsgrößen ist die Tatsache, dass die Ausgangsgrößen in diesem Fall sich immer normalverteilt ergeben. Dadurch können für die Berechnung von Konfidenzintervallen, -ellipsen oder -ellipsoiden die bekannten Quantile der Normalverteilung beziehungsweise χ^2 -Quadratverteilung herangezogen werden.

4.1.2 Monte-Carlo-Simulation – GUM

Im Gegensatz zu Abschnitt 4.1.1 müssen bei einer Monte-Carlo-Simulation (z.B. Binder 1979) nicht nur die Varianzen und Kovarianzen der Eingangsgrößen, z.B. der beeinflussende Fehler, bekannt sein, sondern sogar deren Wahrscheinlichkeitsverteilungen. Dies ist notwendig, um im Anschluss n Zufallszahlen generieren zu können, die die bekannte oder angenommene Wahrscheinlichkeitsverteilung approximieren. Die Anzahl der Zufallszahlen n kann nur empirisch festgelegt werden. Anschließend wird das meist nicht-lineare Modell mit n verschiedenen Datensätzen ausgewertet. Aus den Ergebnissen der empirischen Wahrscheinlichkeitsverteilung können der Mittelwert und vor allem Streuung als Standardabweichung berechnet werden. Diese Vorgehensweise wird auch im GUM für die sogenannte Unsicherheit vom Typ B vorgeschlagen (JCGM 2008). Der Typ B-Anteil der Unsicherheit u_B umfasst den Einfluss prinzipiell bekannter Fehlerquellen und entspricht somit den beiden korrelierenden Elementarfehlerarten. Dagegen basiert die Unsicherheit vom Typ A u_A auf rein empirischer Berechnung der Standardabweichung nach den Formeln der Statistik und kann damit prinzipiell den nicht korrelierenden Elementarfehlern gleichgesetzt werden. Der GUM beschäftigt sich nicht mit der Modellierung von Korrelationen, weder im Bereich der Einflussgrößen noch für die Ausgangsgrößen; Kovarianzen bleiben somit generell vernachlässigt. Prinzipiell ist dies bei der Monte-Carlo-Simulation, zumindest für Eingangsgrößen, jedoch möglich (z.B. Saltelli et al. 2000). Die Typ A- und Typ B-Unsicherheiten werden zu einer kombinierten Unsicherheit u_c zusammengefasst:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}. \quad (2)$$

Quantile der Verteilung ergeben sich jetzt nicht anhand bekannter Verteilungsfunktionen, sondern durch Analyse der Verteilung der n -mal bestimmten Ergebnisse. Die empirischen Quantile ergeben sich durch einfaches Abzählen. Bei 1000 Modellauswertungen ist die 95 %-Quantilgrenze zum Beispiel so definiert, dass 950 Auswerteergebnisse innerhalb des Intervalls liegen müssen.

Die Intervallgrenzen sind folglich vollständig empirisch bestimmt und können damit von einer vereinfachten Vorgehensweise mit Quantilen der Normalverteilung von hier 1,96 abweichen. Im JCGM (2009) wird dagegen die erweiterte Unsicherheit U herangezogen. Dabei wird unabhängig von der theoretisch oder empirisch vorliegenden Wahrscheinlichkeitsverteilung ein Faktor k festgelegt, der ein Streuungsintervall definiert, das explizit keine statistische Grundlage hat, sich aber numerisch stark an der Normalverteilung orientiert:

$$U = k \cdot u_c. \quad (3)$$

Die Unterschiede zwischen linearer Kovarianzfortpflanzung und Monte-Carlo-Simulation sind exemplarisch für eine freie Stationierung mit anschließender Absteckung zweier Punkte aufgezeigt (Schweitzer und Schwieger 2015). Hier wurden die Messgrößen Horizontalrichtung, Zenitwinkel und Schrägdistanzen sowie die Koordinaten der Anschlusspunkte als Eingangsgrößen betrachtet. Der Abstand zwischen den beiden abgesteckten Punkten ist die Ausgangsgröße. Die angenommenen Standardabweichungen sind 0,8 mgon, 1 cm und 5 mm. Die Anschlusspunkte liegen im Entfernungsbereich 100 m bis 200 m; die beiden abzusteckenden Punkte sind 2 m voneinander entfernt. Für die Kovarianzfortpflanzung wird nach Taylor linearisiert; für die Monte-Carlo-Simulation wird einmal mit Normalverteilung gearbeitet (MCS1) und einmal eine Rechteckverteilung (MCS2) mit demselben Erwartungswert und derselben Standardabweichung für alle Messgrößen simuliert. Es wurden jeweils 100.000 Zufallszahlen generiert. Die Ergebnisse werden in Abb. 3 gezeigt.

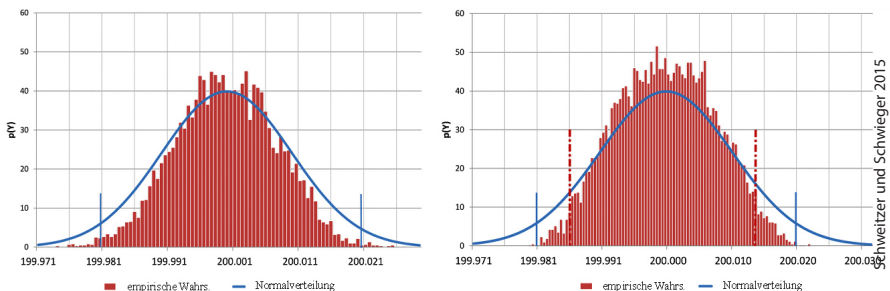


Abb. 3: Beispielhafte empirische Verteilungen mittels MCS1 und MCS2 und Normalverteilung und 95 %-Quantile für den Abstand zweier Punkte

Für dieses Beispiel erbringt die Monte-Carlo-Simulation hinsichtlich der Varianz und Standardabweichung keine Veränderung zur Standard-Kovarianzfortpflanzung. Mit anderen Worten, die Linearisierung ist bei den numerisch kleinen Standardabweichungen als Approximation des nicht-linearen Zusammenhangs

zulässig. Die Aussage ändert sich, wenn man die empirische Verteilung des Abstandes vollständig betrachtet und zum Beispiel das Quantil bei 95 % Sicherheitswahrscheinlichkeit betrachtet. Für MCS1 reduziert sich das theoretische Normalverteilungsintervall von 4 cm bereits. Das ist durch den Linearisierungsfehler bedingt. Bei Nutzung der gleichverteilten Messwerte reduziert sich das Intervall weiter auf 2,8 cm, bei gleichzeitig visuell feststellbarer deutlicher Abweichung von der Normalverteilung. Das lässt sich gut in Abb. 3 ablesen. Von besonderer Bedeutung ist die Festlegung der prozentualen Quantile, hier 95 %, für zum Beispiel die Konstruktion von Konfidenzintervallen. Hier zeigt sich eine deutliche Veränderung. In diesem speziellen Fall verschlankt sich das Intervall um 30 %. Damit können geringere Abweichungen signifikant aufgedeckt werden als bei der Annahme normalverteilter Messwerte.

4.2 Beziehungen zur Korrektheit

Der Begriff der Genauigkeit ist auf unterschiedliche Weise definiert. Einige Quellen betrachten diese als reine Wiederholgenauigkeit oder Präzision (z. B. Wiltschko 2004). Der Parameter ist die Wiederholstandardabweichung. Eine systematische Verfälschung wird bei der Bestimmung ausgeklammert. Die Berechnung bezieht sich auf den Erwartungswert. Sollen Systematiken berücksichtigt werden, so muss sich die Berechnung auf den wahren Wert beziehen. Man spricht in diesem Fall von Vergleichsgenauigkeit bzw. Vergleichsstandardabweichung. Richtig oder korrekt ist ein Messwert, wenn er innerhalb der statistischen Grenzen, basierend auf der Wiederholstandardabweichung, mit dem wahren Wert übereinstimmt (vgl. Abb. 4). Bei dieser Definition der Genauigkeit spielen Präzision und Korrektheit eine Rolle.

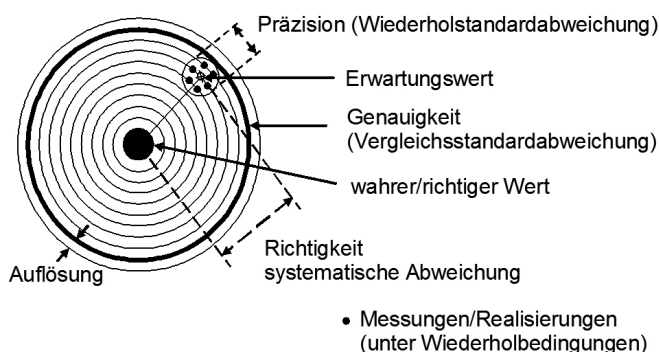


Abb. 4:
Zusammenhang zwischen Genauigkeit und Richtigkeit
(Schwarz 1995)

In der Geodäsie wird angestrebt, diese systematische Abweichung so klein wie möglich werden und im besten Fall zu Null gehen zu lassen (z. B. Schwarz 1995). Hierfür werden Prüfungen und Kalibrierungen (siehe Abschnitt 4.2.1) umgesetzt, die Abweichungen vom wahren Wert anzeigen beziehungsweise die systematische Abweichung bestimmen und diese als Korrektur zur Verfügung stellen. Im Bauwesen dagegen ist der wahre Wert in der Regel durch Planungen oder Fertigungsvorgaben vorgegeben. Differenzen werden als Ist-Abmaße bezeichnet, die gewisse Grenzen, die Toleranzen (siehe Abschnitt 4.2.2), nicht überschreiten dürfen.

4.2.1 Prüfung und Kalibrierung

Eine Prüfung zeigt eine Abweichung von den spezifizierten Kriterien eines Instruments an; z. B. kann die vom Hersteller angegebene Standardabweichung nicht erreicht werden. In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass das Instrument in diesem Fall nicht mehr korrekt funktioniert (z. B. Staiger 2001). Entweder ist eine große systematische Abweichung vorhanden, die das Messverhalten beeinflusst, oder, deutlich seltener, es summieren sich verschiedene systematische Abweichungen auf, die dann insgesamt eine Abweichung vom wahren Wert bedingen. Als Beispiel kann die Überprüfung der Funktionsfähigkeit und der Einhaltung der spezifizierten Standardabweichung eines GNSS-Empfängers oder eines Tachymeters dienen. Eine Prüfung ist in der Regel auf eine rot-grün-Entscheidung ausgelegt. Sollte diese negativ und damit rot ausfallen, so wird häufig eine Kalibrierung angeschlossen, die nun systematische Abweichungen bestimmen kann. Ein typisches Beispiel ist die Bestimmung der Nullpunktkorrektur bei der elektronischen Entfernungsmessung oder die Bestimmung von Antennenphasenzentrumsvariationen bei GNSS-Antennen (z. B. Görres et al. 2019). Viele dieser Prozeduren sind in Fachbüchern, aber auch in Standards und Normen sowie DVW-Merkblättern aufgeführt. Für mehr Details sei auf Neumann und Alkhatib (2019) verwiesen. An dieser Stelle sei abschließend erwähnt, dass erst eine Überprüfung und eine eventuelle anschließende Kalibrierung eine korrekte Messung sicherstellen kann. Natürlich kann es weitere nicht kalibrierbare Einflüsse z. B. vom Objekt oder der Umgebung bedingt geben, die eine korrekte Messung beziehungsweise Auswertung verhindern.

4.2.2 Relation zu Toleranzen

Die Toleranz im eigentlichen Sinne ist kein Genauigkeitsparameter im Sinne der Präzision, sondern ein Korrektheitsparameter. Die Einhaltung der Toleranz steht für eine richtige oder korrekte Ausführung des geplanten Bauwerks, bei in der Regel vorgegebenem numerischen Toleranzwert. Korrektheit steht hier also für

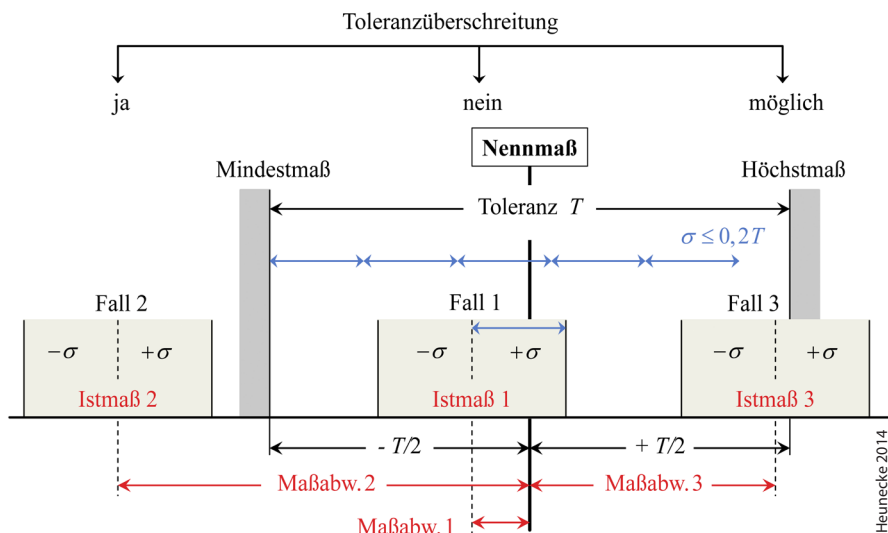


Abb. 5: Mehrdeutigkeit bei der Toleranzeinhaltung

die Korrektheit der Bauausführung und nicht der Messung und nachfolgenden Auswertung der Ingenieurgeodäsie. Dabei wurde zunächst davon ausgegangen, dass die ingenieurgeodätische Kontrollmessung nach Bauerstellung keinen Einfluss hat und mehr oder weniger fehlerfrei vorliegt. Nach beispielsweise Witte und Sparla (2015) wird eine Beziehung zwischen der Standardabweichung der Messung und der vorgegebenen Toleranz berechenbar, wenn ein Konfidenzniveau oder eine Irrtumswahrscheinlichkeit α , aus der ein Faktor k nach Abschnitt 4.1.2 abgeleitet werden kann, und ein prozentualer Anteil der Ingenieurgeodäsie p am Gesamtfehlerbudget vorgegeben wird:

$$\sigma = T \cdot \frac{\sqrt{1 - (1 - p)^2}}{2 \cdot k} \quad (4)$$

Die Entscheidung, ob ein geplantes Bauwerk korrekt innerhalb der Toleranzen korrekt erstellt wird, wird aber noch immer ohne Berücksichtigung der Messgenauigkeit getroffen. Heunecke (2014) zeigt die Mehrdeutigkeit anhand eines Beispiels auf (Abb. 5). Eine Abhilfe könnte die Toleranzkorrektheit nach Schweitzer und Schwieger (2011) schaffen.

5 Interdisziplinäre Qualitätsmodelle

Wie in Abschnitt 2 beschrieben, ist ein Qualitätsmodell anwendungsorientiert definiert. In diesem Abschnitt werden einige interdisziplinäre Qualitätsmodelle vorgestellt, da Anwendungen insbesondere in der Ingenieurgeodäsie immer interdisziplinär ausfallen.

5.1 Qualitätsmodell für Verkehrstelematik

In Wilschko (2004) wurde ein Qualitätsmodell für Information in der Verkehrstelematik (z. B. bei Fahrerassistenzsystem) entwickelt. Dabei wurden Zuverlässigkeitsmerkmale, Integritätsmerkmale und Genauigkeitsmerkmale (vgl. Abb. 6) für das Qualitätsmodell definiert. Die Definition der einzelnen Qualitätsmerkmale ist in Tab. 3 gegeben.

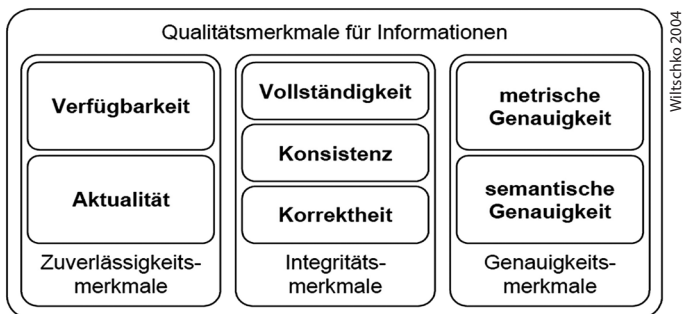


Abb. 6:
Qualitätsmodell
für Information

Bei den Zuverlässigkeitsmerkmalen steht der zeitliche Aspekt der Information im Vordergrund. Auch hier zeigt sich ein deutlicher Unterschied der Zuverlässigkeitsdefinition in Relation zu Abschnitt 3.1. Die Verfügbarkeit und Aktualität von Information wurden als zwei Untermengen von Zuverlässigkeitsmerkmalen definiert. Liegt beispielsweise bei einem Navigationssystem ein notwendiger Fahrhinweis rechtzeitig vor dem Spurwechsel vor und wird an den Fahrer weitergegeben, ist die Verfügbarkeit der Fahrhinweise erfüllt. Bei digitalen Karten (Geodaten) ändern sich zum Beispiel die Straßennetze und temporäre Objekte wie Baustellen sind meistens in einer digitalen Karte nicht dargestellt, so dass die Aktualität der Information nicht immer gegeben ist.

Die Integritätsmerkmale beschreiben die Verwendbarkeit der erforderlichen Information und unterscheiden sich zwischen Vollständigkeit, Konsistenz und Korrektheit der Information. Die Vollständigkeit beschreibt, ob alle notwendigen Daten vorhanden sind. Bei Geodaten geht es sowohl um die Vollständigkeit

Tab. 3: Definition der Qualitätsmerkmale für Information in der Verkehrstelematik

Qualitätsmerkmal	Definition
Verfügbarkeit	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins der Information zu einem definierten Zeitpunkt an einem bestimmten Orten an.
Aktualität	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der sich zeitlich ändernden konzeptionellen Realität an.
Vollständigkeit	Gibt das Ausmaß des Vorhandenseins sämtlicher zur Beschreibung der konzeptionellen Realität erforderlichen Informationen an.
Konsistenz	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit dem Informationsmodell an.
Korrektheit	Gibt das Ausmaß der Übereinstimmung der Information mit der konzeptionellen Realität bei vorausgesetzter Aktualität an.
Metrische Genauigkeit	Gibt den Zusammenhang zwischen dem gemessenen und dem wahren bzw. plausibelsten Wert an.
Semantische Genauigkeit	Gibt den Diskretisierungsgrad der Objekt- und Sachendaten an.

Wlitschko 2004

der Objekte als auch der Attribute sowie der Relationen. Zum Beispiel sollen bei der digitalen Karte für die Navigationsanwendung die Straßen in der Realität als linienhafte Objekte mit notwendigen Attributen wie Geschwindigkeitsbeschränkung und Fahrtrichtung sowie verbotene Manöver in der Karte vollständig vorhanden sein. Die Konsistenz bezieht sich auf das Informationsmodell und wird in der Praxis durch die Einführung und Nutzung von Standards vereinfacht. In der Verkehrstelematik wurden zahlreiche Standards, wie GDF (Geographic Data Files) und NDS (Navigation Data Standard) Format, definiert, um die Speicherung und den Datenaustausch zu vereinfachen. Die Korrektheit ist meist eng mit der Genauigkeit verbunden. Ist die Positionsabweichung außerhalb eines Bereichs, der wiederum durch die Genauigkeit definiert ist, wird die Position als inkorrekt klassifiziert. Die Korrektheit der semantischen Information sowie die korrekte Angabe der Attribute gehören auch zum Merkmal der Korrektheit der Information.

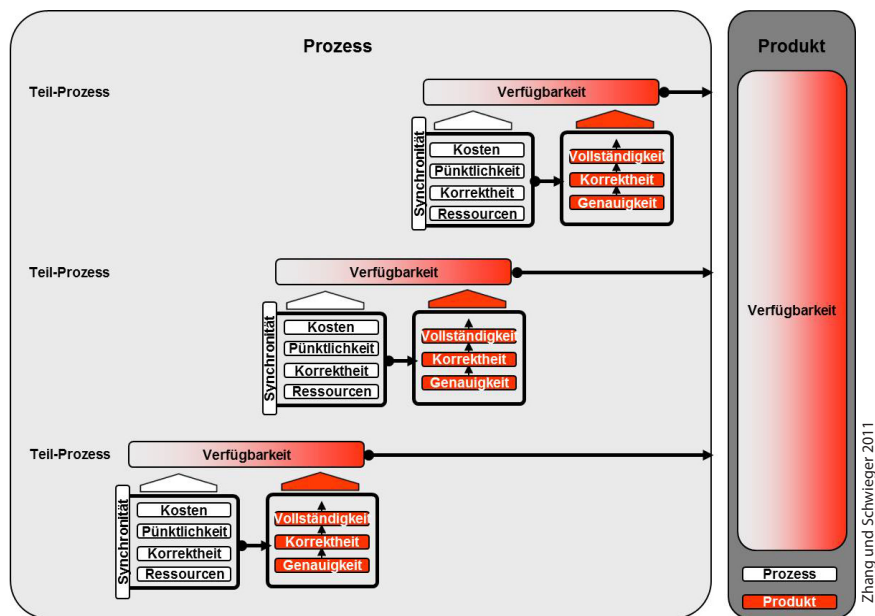
Das letzte Qualitätsmerkmal ist die Genauigkeit, mit der sich die Geodäten intensiv beschäftigen (vgl. Abschnitt 4). Ähnlich wie bei der Korrektheit unterscheidet man zwischen der metrischen und der semantischen Genauigkeit.

Sämtliche vorgestellte Qualitätsmerkmale werden wiederum durch mindestens einen Qualitätsparameter konkretisiert. Diesbezüglich sei auf Wiltshko (2004) verwiesen. Ob die Qualität erfüllt ist, hängt von der Anwendung und der erforderlichen Qualität ab. In der konventionellen digitalen Karte für Navigationsanwendungen ist die Spurgeometrie der Straßen zum Beispiel nicht gegeben. Die Spurgeometrie ist allerdings notwendig, um das autonome Fahren zu ermöglichen, d. h. die Vollständigkeit der Information ist verletzt, wenn konventionelle digitale Karten für autonomes Fahren verwendet werden. Ein anderes Beispiel: Da die Position des Fahrzeugs wegen der Verarbeitungszeit des Positionierungssystems erst nach 0,1 Sekunden geliefert wird, ist ein Fahrzeug innerhalb dieser 0,1 Sekunden mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h bereits ca. 3 Meter weitergefahren. Beim Flottenmanagement oder einem Navigationssystem, bei dem die Genauigkeit der Position von 3 Metern ausreichend ist, ist die Aktualität in diesem Fall erfüllt. Allerdings wird die Aktualität der Information hier bei den sicherheitsrelevanten ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)-Anwendungen wie Kollisionserkennung oder dem automatisierten Fahren verletzt, da ein 3-Meter-Fehler des Systems bereits einen Unfall verursachen kann.

5.2 Qualitätsmodell für Bauprozesse

Im Rahmen eines EU-Projektes „Development of a Real Time Quality Support System for the Houses Construction Industry“ (QuCon) wurde ein Echtzeit-Qualitätskontrollsystem für einen Wohnbauprozess entwickelt. In diesem System wurden ein Qualitätsmodell, ein Bauprozessmodell und ein Algorithmus zur Bestimmung von Echtzeit-Qualitätsindizes für den Wohnhausbauprozess am IIGS (Institut für Ingenieurgeodäsie, Universität Stuttgart) entwickelt (Zhang und Schwieger 2011).

Abb. 7 stellt das umfassende Qualitätsmodell für den Wohnhausbauprozess dar. Die Definition der Qualitätsmerkmale ist in Tab. 4 gegeben. Wiederum zeigt es sich, dass Qualität anwendungsorientiert definiert wird; die Qualitätsmerkmale sind hier abweichend von 5.1 oder 3.2 festgelegt. Es wird grundsätzlich unterschieden zwischen prozess- und produktbezogenen Qualitätsmerkmalen (ähnlich wie in Abschnitt 3.2). Zusätzlich wurde ein übergeordnetes Qualitätsmerkmal „Verfügbarkeit“ definiert, um den Erfüllungsgrad aller Anforderungen an den Bauprozess zu definieren. Dieses Qualitätsmerkmal ist nicht nur produktbezogen, sondern auch prozessbezogen und beschreibt, ob das Produkt zum festgesetzten Zeitpunkt innerhalb des Budgets und nach den vorgeschriebenen Anforderungen vollständig geliefert ist. Das in Abb. 7 dargestellte Qualitätsmodell wurde nach intensiver Diskussion mit den beteiligten Unternehmen



Zhang und Schwieger 2011

Abb. 7: Umfassendes Qualitätsmodell für den Wohnhausbau (Zhang und Schwieger 2011)

und aus praktischen Gründen vereinfacht (Prozess-Korrektheit, Ressourcen und Synchronität wurden aus dem umfassenden Qualitätsmodell eliminiert), damit die Qualitätsmerkmale einfacher parametrisiert und dokumentiert werden können und das Qualitätsmodell praxisnah umsetzbar ist.

Ein Wohnbauprozessmodell wurde in ca. 100 Teilprozesse aufgeteilt, um die Qualitätsmerkmale zu parametrisieren und damit Echtzeit-Qualitätssicherung zu realisieren. Die sogenannten „Check-Points“ wurden als Zeitpunkte der Qualitätskontrollen im Bauprozess definiert. Die Check-Points können weiter durch mehrere Check-Items konkretisiert werden. Die Inhalte der Check-Items können aus den Bauverträgen, anerkannten Regeln-der-Technik sowie Standards und Normen abgeleitet werden. Jedes Check-Item kann wiederum anhand seiner Eigenschaften (Vollständigkeit, Korrektheit oder Genauigkeit) einem Qualitätsmerkmal zugeordnet werden. Jedes Check-Item wird durch die Qualitätsprüfer bei der Baustellenbesichtigung bewertet und die Qualitätskennzahl des Check-Points ergibt sich aus dem gewichteten Mittel der Check-Items. Wird die Qualitätskennzahl in Echtzeit berechnet und angezeigt, erhält man ein Feedback über die Qualität des Bauprozesses. Somit können sinnvolle Gegenmaßnahmen und eventuelle Mängelbeseitigungen. Mit anderen Worten Qualitätssicherungsmaßnahmen, durchgeführt werden. In Projekt QuCon steht die Überwachung der Qualität des Bauprozesses im Vordergrund, eine mathematische stringente

Tab. 4: Definition der Qualitätsmerkmale für den Wohnhausbau

Qualitätsmerkmale	Definition
Prozessbezogene Qualitätsmerkmale	
Kosten	Übereinstimmung mit dem Kostenplan
Pünktlichkeit	Übereinstimmung mit dem Zeitplan
(Prozess-)Korrektheit	Übereinstimmung mit dem definierten Prozess-/ Teilprozessablauf
Ressourcen	Übereinstimmung mit den geplanten Ressourcen
Synchronität	Übereinstimmung mit dem prozessübergreifenden Zeitplan für mehrere Teilprozesse
Produktbezogene Qualitätsmerkmale	
Vollständigkeit	Übereinstimmung mit der definierten Vollständigkeit des Produktes
(Produkt-)Korrektheit	Übereinstimmung mit den Anforderungen
Genauigkeit	Grad der Übereinstimmung mit den Anforderungen
Übergeordnetes Qualitätsmerkmal	
Verfügbarkeit	Qualitätsmerkmal unter Berücksichtigung aller anderen Merkmale

Fortpflanzung der Qualitätsparameter ist für diese Art der Modellierung schwierig, aber auch nicht notwendig.

5.3 Ganzheitliches Qualitätsmodell im Rahmen von IntCDC

Die Universität Stuttgart hat bei der Exzellenzstrategie des DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) zwei Exzellenzcluster des Bundes und der Länder gewonnen. Das IIGS ist an einem der Cluster, IntCDC (Integrative Computational Design and Construction for Architecture, deutsch: Integriertes computerbasiertes Entwerfen und Bauen für die Architektur), beteiligt. Das Ziel dieses Exzellenzclusters ist, das volle Potenzial digitaler Technologien zu nutzen, um das Planen und Bauen in einem integrativen und interdisziplinären Ansatz neu zu denken. Dabei steht die Entwicklung einer übergeordneten Methodologie des „Co-Design“ von Methoden, Prozessen und Systemen im Vordergrund, basierend auf interdisziplinärer Forschung zwischen den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Ingenieurgeodäsie, Produktions- und Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Geistes- und Sozialwissenschaften (Menges 2018).

Im Rahmen von IntCDC werden die interdisziplinären Forschungsarbeiten durch Forschungsprojekte durchgeführt. In der ersten Phase (3,5 Jahre, Januar 2019 bis Juni 2023) wird das IIGS an zwei Forschungsprojekten teilnehmen. Ein Projekt wird voraussichtlich „Holistic Quality Model (HQM) for IntCDC Building Systems: Social, Environmental and technical characteristics“ (deutsch: Ganzheitliches Qualitätsmodell für IntCDC Bausysteme: soziale, ökologische und technische Merkmale). Das Projektziel ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Qualitätsmodells (HQM) für die Bausysteme von IntCDC, das soziale, ökologische und technische Qualitätsmerkmale und Qualitätsparameter enthält.

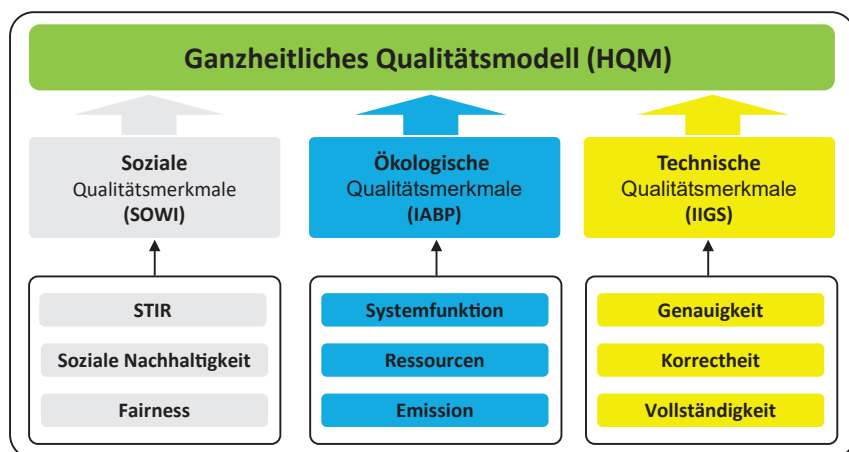


Abb. 8: Ganzheitliches Qualitätsmodell für IntCDC

Neben dem IIGS sind das Institut für Sozialwissenschaften (SOWI) und das Institut für Akustik und Bauphysik (IABP), beide von der Universität Stuttgart, an diesem Projekt beteiligt. Das Projekt befindet sich der Zeit noch in der Vorbereitungsphase und wird erst im Juli 2019 offiziell starten. Daher wird in diesem Beitrag nur das Konzept für HQM vorgestellt.

Abb. 8 stellt das ganzheitliche Qualitätsmodell für IntCDC mit ausgewählten Qualitätsmerkmalen dar. Die endgültigen Qualitätsmerkmale und Qualitätsparameter werden nach Anforderungsanalysen mit allen Projektpartnern festgelegt. Das IIGS wird sich auf die technischen Qualitätsmerkmale konzentrieren. Die technischen Qualitätsmerkmale und Qualitätsparameter beschränken sich nicht nur auf die Geometrie, sondern auch auf andere Kenngrößen wie Tragfähigkeit und Regelgüte. Dabei sind umfangreiche interdisziplinäre Zusammenarbeiten vorgesehen.

Die Forschungsarbeiten im Rahmen von IntCDC werden mit zwei Bausystemen („mehrgeschossiges Gebäude“ und „weitgespannte Tragwerke Kon-

struktion“) demonstriert. Die beiden unterschiedlichen Bauprozesse sind zu modellieren und die Qualitätskontrolle wird, ähnlich wie in QuCon, durch Check-Points realisiert. Bei den neu entwickelten Bausystemen in IntCDC werden viele Bauteile vorgefertigt und auf der Baustelle automatisch bzw. semi-automatisch montiert. Daher unterscheidet sich der Bauprozess bei IntCDC von einem konventionellen Bauprozess. Außerdem steht das „Co-Design“ und somit die „Optimierung“ der Bausysteme im Fokus. Da das Präzidieren bzw. die Fortpflanzung der Qualität im Bauprozess von großer Bedeutung ist, um die notwendige Optimierung der Bausysteme zu unterstützen, wird dies ein Forschungsschwerpunkt des IIGS sein. Die Untersuchung der Qualitätsfortpflanzung wird sich nicht auf ingenieurgeodätische Prozesse beschränken, sondern sich auf allgemeine Bauprozesse bzw. Teilprozesse ausweiten. Dabei ist das Verstehen des Bauprozesses bzw. der Teilprozesse notwendig. Die Qualitätskontrolle wird auch nicht nur während des Bauprozesses stattfinden, sondern bereits in die Design-Phase integriert werden.

Eine große Herausforderung dieses Projekts ist die Integration von Qualitätsmerkmalen aus sozialen, ökologischen und technischen Aspekten in ein ganzheitliches Qualitätsmodell. Während die Modellierung und Parametrisierung von ökologischer und technischer Qualität ähnlich sind, wird die soziale Qualität eine komplexe neuartige Modellierung erfordern, die eventuell nicht mit numerischen Werten zu quantifizieren ist. Dies wird ein übergeordnetes Forschungsziel für das Projekt sein.

Dank

Die hier publizierten Forschungen wurden zu einem Teil (Projekt QuCon) unter AIF No 14 EN/1 als CORNET-Vorhaben der Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS), August-Schranz-Straße 21A, 60433 Frankfurt am Main, im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsförderung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der andere Teil der publizierten Forschungen (Projekt Equip) wurde unter SCHW838/3 durch die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) gefördert. Ein weiterer Teil der geplanten Forschungen ist gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC 2120/1 – 390831618. Die Autoren sprechen allen fördernden Organisationen ihren Dank aus.

Literatur

- Binder, K. (1979): Monte Carlo methods in statistical physics, Springer, Berlin.
- DIN EN ISO 9000 (2005): Quality management systems – Fundamentals and vocabulary, Trilingual version. Normenausschuss Qualitätsmanagement, Statistik und Zertifizierungsgrundlagen (NQSZ) im DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.), Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Görres, B.; Kersten, T.; Schön, S.; Zimmermann, F.; Wanninger, L. (2019): Zur Neubearbeitung des GNSS-Antennen-Merkblatts. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren 2019. DVW-Schriftenreihe, Band 95, Augsburg. (Dieser Tagungsband).
- von Gösselen, I. (2017): Simulationsbasierte Effizienzoptimierung von Messprozessen am Beispiel der tachymetrischen Netzmessung, München: DGK, Reihe C, Nr. 800.
- Heck, B. (1986): Sensitivitätsanalyse geodätischer Deformationsnetze. AVN, 169–181.
- Hennes, M. (2013): Zum Umgang mit Unsicherheiten bei geodätischen Mess- und Auswertverfahren. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 71, Augsburg.
- Heunecke, O. (2014): Eignung geodätischer Messverfahren zur Maßkontrolle im Hochbau. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 4/2014, 139. Jg.
- JCGM (2008): Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement“ – Propagation of distributions using a Monte Carlo method. www.ptb.de, letzter Zugriff 05/2019.
- JCGM (2009): Auswertung von Messdaten – Eine Einführung zum „Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen“ und zu den dazugehörigen Dokumenten. www.ptb.de, letzter Zugriff 05/2019.
- Jäger, R.; Müller, T.; Saler, H.; Schwäble, R. (2005): Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Kuhlmann, H.; Schwieger, V.; Wieser, A.; Niemeier, W. (2013): Ingenieurgeodäsie – Definition, Kernkompetenzen und Alleinstellungsmerkmale. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 6/2013, 138. Jg.
- Kutterer, H. (2010): Qualitätsmanagement und Unsicherheitsbegriffe – eine Einführung. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswertverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 61, Augsburg.
- Lauffer, R. (2011): Prozedurale Qualitätsmodellierung und -management für Daten, ingenieurgeodätische und verkehrstechnische Anwendungen. DGK, Reihe C.
- Li, D. (1986): Trennbarkeit und Zuverlässigkeit bei zwei verschiedenen Alternativhypothesen im Gauß-Markov-Modell. In: ZfV – Zeitschrift für Vermessungswesen, 111. Jg., 114–128.
- Lu, G. (1987): On the separability of deformation models. In: ZfV – Zeitschrift für Vermessungswesen, 111. Jg., 555–563.
- Menges, A. (2018): New Cluster of Excellence: Integrative Computational Design and Construction for Architecture. <https://icd.uni-stuttgart.de/?p=24111>, letzter Zugriff 05/2019.

- Neumann, I.; Alkhatib, H. (2019): Normen, Richtlinien und Merkblätter für die Qualitätssicherung in der Geodäsie. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren 2019. DVW-Schriftenreihe, Band 95, Augsburg. (Dieser Tagungsband).
- Niemeier, W. (1985): Anlage von Überwachungsmessungen. In: Pelzer, H. (Hrsg.): Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung. Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart.
- Niemeier, W. (2008): Ausgleichsrechnung. 2. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Pelzer, H. (1971): Zur Analyse geodätischer Deformationsmessungen. DGK, Reihe C, Nr. 164, München.
- Pelzer, H. (1974): Zur Behandlung singulärer Ausgleichungsaufgaben. In: ZfV – Zeitschrift für Vermessungswesen, 99. Jg., 181–194 und 470–488.
- Rinke, N.; von Gosselen, I.; Kochkine, V.; Schweitzer, J.; Berkhahn, V.; Berner, F.; Kutterer, H.; Neumann, I.; Schwieger, V. (2017): Simulating quality assurance and efficiency analysis between construction management and engineering geodesy. Automation in Construction, volume 76, 24–35, Elsevier B. V., Amsterdam.
- Saltelli, A.; Chan, K.; Scott, E. M. (2000): Sensitivity Analysis. John Wiley and Sons, Chichester.
- Schwarz, W. (1995): Vermessungsverfahren im Maschinen- und Anlagenbau. In: DVW e.V. (Hrsg.): Schriftenreihe des DVW, Heft 13/1995, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1995.
- Schweitzer, J.; Kochkine, V.; Schwieger, V.; Berner, F. (2012): Quality Assurance in Building Construction, based on Engineering Geodesy Processes. FIG Working Week, Rome, Italy, 6.–10.5.2012
- Schweitzer, J.; Schwieger, V. (2011): Modeling of Quality for Engineering Geodesy Process in Building Construction Processes. Journal of Applied Geodesy, Walter de Gruyter, Band 5, Heft 1.
- Schweitzer, J.; Schwieger, V. (2015): Modeling and propagation of quality parameters in engineering geodesy processes in civil engineering. Proceedings on 1st International Workshop on the Quality of Geodetic Observation and Monitoring Systems, München, 14.4.2011.
- Schwieger, V. (1998): Ein Elementarfehlermodell für GPS-Überwachungsmessungen – Konstruktion und Bedeutung interepochaler Korrelationen. Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 231.
- Schwieger, V. (2005): Nicht-lineare Sensitivitätsanalyse, gezeigt an Beispielen zu bewegten Objekten. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft 581.
- Schwieger, V.; Foppe, K.; Neuner, H. (2010): Qualitative Aspekte zu Softwarepaketen der Ausgleichsrechnung. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswertverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 61, Augsburg.
- Staiger, R. (2001): Motivation und Strategie zur Prüfung Geodätischer Instrumente. . In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätsmanagement geodätischer Messtechnik. Schriftenreihe des DVW, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart.

- Wilschko, T. (2004): Sichere Informationen durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten, Dissertation, Universität Stuttgart. <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/>.
- Witte, B.; Sparla, P. (2015): Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. Wichmann Verlag.
- Zhang, L.; Schwieger, V. (2011): Ein Echtzeit-Qualitätskontrollsystem für Wohnhausbauprozesse. Allgemeine Vermessungsnachrichten, Jahrgang 118, Heft 11-12/2011, 368–380, 2011.

Kontakt

Volker Schwieger | Li Zhang
Institut für Ingenieurgeodäsie der Universität Stuttgart
Geschwister-Scholl-Straße 24D, 70174 Stuttgart
volker.schwieger@iigs.uni-stuttgart.de | li.zhang@iigs.uni-stuttgart.de

Normen, Richtlinien und Merkblätter für die Qualitätssicherung in der Geodäsie

Ingo Neumann | Hamza Alkhatib

1 Einleitung

Im Rahmen des Beitrages sollen die wichtigsten Arbeitsausschüsse und Herausgeberschaften zusammengestellt werden, die im Bereich der Geodäsie und Geo-information für Normen, Richtlinien und Merkblätter aktiv sind. An dieser Stelle sei noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass gesetzliche Regelungen der Länder und des Bundes nicht Teil des Beitrages sind. Besonders im Fokus stehen die Themenfelder GNSS, Tachymeter und Laserscanner sowie teilweise Multi-Sensor-Systeme und die UAV-Vermessung. Der Anspruch des Beitrages ist es dabei nicht vollständig alle relevanten Normen, Richtlinien und Merkblätter für den Geodäten bereitzustellen, sondern vielmehr deren rechtliche Bedeutung zu erläutern und die notwendigen Ausschüsse und Bereitstellungsplattformen bekannt zu machen. Einen Schwerpunkt stellt dabei auch die Einbeziehung der DVW-Merkblätter dar, deren Inhalte Teil einer eigenen Session während dieses 180. DVW-Seminars sind.

Hierbei spielen neben den rechtlichen Rahmenbedingungen auch insbesondere die Wirtschaftlichkeit und Produktivität eine tragende Rolle. Der Erfolg eines Unternehmens hängt maßgeblich von der Qualität seiner Produkte und Dienstleistungen ab. Und genau hier setzen auch eine Vielzahl der Normen, Richtlinien und Merkblätter an. Allgemeiner betrachtet sollen sie das Handeln und die Verständigung zwischen den beteiligten Partnern erleichtern. Als Beispiel kann die effiziente Prüfung und Kalibrierung des eingesetzten Instrumentariums und teilweise der Produkte und Dienstleistungen genannt werden. Es ist daher anzumerken, dass die beteiligten Ausschüsse sehr wohl den Anspruch haben, durch die Verwendung der Normen, Richtlinien und Merkblätter das alltägliche Aufgabenfeld einfacher und systematischer zu gestalten und vor allem Transparenz und Reproduzierbarkeit von Handlungen und Ergebnissen sicherzustellen.

Unabhängig von den Ausschüssen und ob es sich um Normen, Richtlinien oder Merkblätter handelt, soll deren Erstellung als Gemeinschaftsaufgabe der fachlich betroffenen Kreise gesehen werden. Diese Gemeinschaftsaufgabe wird von einer Expertengruppe und ggf. zusätzlich Juristen wahrgenommen, die von der relevanten Thematik betroffen sind.

2 DIN- und ISO-Normung in der Geodäsie und Geoinformation

„Ziel der Normung ist es, klare und eindeutige Festlegungen zur Erleichterung des Handelns und der Verständigung zu treffen. Diese Gemeinschaftsaufgabe wird von den Expertinnen und Experten aus den „interessierten Kreisen“ (z. B. Wirtschaft, Anwender, Wissenschaft und Forschung, öffentliche Hand, Sachverständige, Gutachter) und den DIN-Mitarbeitern erfüllt. DIN fungiert dabei als „Runder Tisch“, an dem Fachkolleginnen und -kollegen Normen und Spezifikationen markt- und zeitgerecht erarbeiten. Die Mitarbeiter von DIN organisieren den gesamten Prozess der Normung auf nationaler Ebene und die deutsche Beteiligung auf europäischer und internationaler Ebene.“ (DIN Flyer des Fachbereichs für Geodäsie und Geoinformatik, 2016).

Die Arbeitsausschüsse (AA) innerhalb der Geodäsie und Geoinformation sind neben der nationalen Normung im DIN insbesondere auch durch Aktivitäten auf europäischer (CEN, Europäische Komitee für Normung) und internationaler Ebene (ISO, Internationale Organisation für Normung) aktiv.

2.1 DIN- und ISO-Arbeitsausschüsse in der Geodäsie

Die Geodäsie und Geoinformation ist als Fachbereich 03 Teil des Normenausschusses des Bauwesens (NABau) 005 im Wesentlichen zuständig für die normative Behandlung der praxisbezogenen Geodäsie und Geoinformation. Hierzu wurden zunächst vier Arbeitsausschüsse gebildet, die das komplexe Fachgebiet umfassend repräsentieren. Sie erarbeiten nicht nur Normenvorschläge, die nationale Forderungen und Interessen abdecken, sondern wirken darüber hinaus auch aktiv in der europäischen Normung (CEN, Europäische Komitee für Normung) und internationalen Normung (ISO) mit. In 2018 kam der fünfte AA „Markscheidewesen“ hinzu. Die einzelnen AA (vgl. auch [Abb. 1](#)) sind:

- NA 005-03-01 AA „Geodäsie“
- NA 005-03-02 AA „Photogrammetrie und Fernerkundung“
- NA 005-03-03 AA „Geoinformation“
- NA 005-03-04 AA „Geodätische Instrumente und Geräte“
- NA 005-03-05 AA „Markscheidewesen“

Der NA 005-03-01 AA „Geodäsie“ (aktueller Obmann: Dipl.-Ing. Matthias Adam) befasst sich mit dem Vermessungswesen, d. h. mit der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche einschließlich der Bestimmung des Erdschwerefeldes und des Meeresbodens. Schwerpunkte sind die Normenreihen DIN 18709 *„Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie“* und DIN 18710 *„Ingenieurvermessung“*. Der Arbeitsausschuss „Geodäsie“ verfolgt das Ziel, die

Fachbereich FBR 03 Geodäsie, Geoinformation

- NA 005-03-01 AA – Geodäsie
- NA 005-03-02 AA – Photogrammetrie und Fernerkundung
- NA 005-03-03 AA – Geoinformation;
Spiegelausschuss zu CEN/TC 287, ISO/TC 211
- NA 005-03-04 AA – Geodätische Instrumente und Geräte;
Spiegelausschuss zu ISO/TC 172/SC 6

Abb. 1: Die vier DIN-Arbeitsausschüsse der Geodäsie und Geoinformation (es fehlt das Markscheidewesen)

Normenreihe nicht nur national, sondern auch international einzuführen. Eine englische Sprachfassung der DIN 18710 ist daher bereits verfügbar.

Der NA 005-03-02 AA „Photogrammetrie und Fernerkundung“ (aktueller Obmann: Prof. Dr. rer. nat. Ralf Reulke) beschäftigt sich insbesondere mit Normen im Bereich der photogrammetrischen Produkte (z. B. DIN 18740) und deren Begrifflichkeiten (DIN 18716). Weitere neue Themen wie „Radar/Optik Fusion“, „Hyperspektralscanner“ und „UAV“ werden aktuell in Hinblick auf eine mögliche normative Behandlung diskutiert. Die Anforderungen an photogrammetrische Produkte, die gemäß DIN 18740 festgelegt sind, werden bereits vielfach bei der Vergabe von Dienstleistungen als anzuhaltender Standard eingesetzt. Beispielhaft stellt die Normenreihe einen wesentlichen Baustein bei den Vergabeleistungen von photogrammetrischen Dienstleistungen der deutschen Landesvermessung dar. Internationale Aktivitäten sind in die Normungsarbeit integriert.

Der NA 005-03-03 AA „Geoinformation“ (aktueller Obmann: Dr.-Ing. Markus Seifert) entwickelt Normen als informationstechnologische Grundlage für die Modellierung von Geodaten (Geobasis- und Geofachdaten) und deren internetbasierte Bereitstellung. Diese Normen bilden die zentrale Grundlage für den Aufbau einer Geodateninfrastruktur in Europa und in Deutschland. Der Arbeitsausschuss spiegelt die Arbeit des CEN/TC 287 „Geoinformation“ und des ISO/TC 211 „Geoinformation/Geomatik“ und arbeitet an der Umsetzung der internationalen Standards in nationale Standards, einschließlich deren ggf. notwendigen Übersetzung. Die Arbeiten laufen vorrangig bei ISO/TC 211 und werden anschließend ohne Änderungen von CEN/TC 287 übernommen. Aufgrund der Thematik befürwortet der nationale Spiegelausschuss bei der Übernahme der EN ISO Normen, diese in englischer Sprachfassung als DIN EN ISO zu übernehmen und auf eine deutsche Sprachfassung zu verzichten.

Der NA 005-03-04 AA „Geodätische Instrumente und Geräte“ (aktueller Obmann: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann) behandelt vorrangig die internationale Normenreihe ISO 17123 „Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments“. National kann die Normenreihe DIN 18723, die als Äquivalent zur internationalen Norm ISO 17123 betrachtet werden kann, als höchste Priorität betrachtet werden. Beide Normenreihen wenden sich mit ihren praxisbezogenen Prüfverfahren an alle Anwender vermessungstechnischer Instrumente, um ohne spezielle und zusätzliche Hilfsmittel das eingesetzte Instrumentarium auf korrekte Funktion und Genauigkeit überprüfen zu können. Als Beispiele können insbesondere Nivelliere, GNSS und Tachymeter genannt werden. Daneben sollen künftig standardisierte Laborverfahren entwickelt werden, die spezielle Prüfeinrichtungen und Kenntnisse voraussetzen. Hier ist international insbesondere die ISO 16331 zu nennen. Die Normenreihe 18723 wird jedoch in den nächsten Jahren durch die Übernahmen der ISO Normenreihe 17123 an Bedeutung verlieren.

Der NA 005-03-05 AA „Markscheidewesen“ (aktueller Obmann: Dipl.-Ing. Volker Busse) behandelt die Normenreihen DIN 21901 und folgende zum Themenkomplex „Bergmännisches Risswerk“ und ist erst vor kurzem in den Fachbereich 03 „Geodäsie und Geoinformatik“ integriert worden. Diese Normen sind bei der Herstellung und Ausgestaltung von Rissen, Karten und Plänen des Bergmännischen Risswerks anzuwenden. Nach der Verordnung über markscheiderische Arbeiten und Beobachtungen der Oberfläche (Markscheider-Bergverordnung – MarkscheidBergV) sind bei markscheiderischen und sonstigen vermessungstechnischen Arbeiten im Zusammenhang mit Tätigkeiten und Einrichtungen nach Bundesberggesetz (BBergG, § 2) – hierzu zählen u. a. das Aufsuchen und Gewinnen von bergfreien und grundeigenen Bodenschätzen sowie die damit verbundene Wiedernutzbarmachung der Oberfläche – die allgemein anerkannten Regeln der Markscheide- und Vermessungskunde einzuhalten. Die Einhaltung dieser Regeln wird vermutet, soweit die Normen „Bergmännisches Risswerk“ beachtet werden.

Ein Link zu den Inhalten der aktuellen AA der Geodäsie und Geoinformatik (vgl. Abb. 1) lautet www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/nationale-gremien/wdc-grem:din21:54749646. Unter den einzelnen Arbeitsausschüssen können Veröffentlichungen und aktuelle Projekte eingesehen werden.

2.2 Einordnung der Normungsarbeit

Laut Wikipedia (2019) basieren „DIN-Normen auf den gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung und dienen der Allgemeinheit. Sie werden im Prozess der Normung erarbeitet. DIN-Normen sind Empfehlungen und können angewendet werden, allerdings müssen sie nicht benutzt werden.

Grundsätzlich handelt es sich um „private Regelwerke mit Empfehlungscharakter“. Als solche können sie hinter dem Stand der Technik zurückbleiben, haben aber die Vermutung für sich, dass sie den Stand der Technik abbilden. Gelegentlich allerdings macht sich der Gesetzgeber das Vorhandensein zweckdienlicher Normen zunutze und legt die zwangsläufige Anwendung durch Gesetze oder Verordnungen fest. Natürlich steht es auch jedem frei, bei Ausschreibungen, Maschinenspezifikationen, Baubeschreibungen und technischen Festlegungen auf das vorhandene Normenwerk zurückzugreifen und die dort schriftlich fixierten Beschreibungen als Sollwerte zu benutzen.“ Weitere Details zur Normungsarbeit können unter www.din.de/de/ueber-normen-und-standards (DIN 2019) aufgerufen werden.

3 Merkblätter

Merkblätter dienen den Anwendern ebenfalls als Hilfestellung zur Umsetzung der anerkannten Regeln der Technik. Für deren Erarbeitung gelten weitestgehend die gleichen Regeln wie bei DIN- und ISO-Normen (vgl. Kap. 2). Merkblätter werden in der Regel durch Berufsverbände publiziert. Es wird jedoch darauf geachtet, dass Merkblätter keine Konkurrenz zu bestehen DIN- oder ISO-Normen darstellen. Vielmehr bilden Sie zum einen eine Ergänzung zum bestehen Normenwerk und zum anderen soll die Möglichkeit bestehen dem Nutzer einen technischen Rahmen zur Verfügung zu stellen, der in deutlich geringer Zeit als DIN- und ISO-Normen erarbeitet werden kann.

3.1 DVW-Merkblätter

Da im Rahmen des 180. DVW-Seminars insbesondere auf DVW-Merkblätter eingegangen wird, soll deren Erarbeitung genauer betrachtet werden. Die Vorgehensweise zur Erstellung von DVW-Merkblättern ist in einem Leitfaden festgehalten (DVW 2019). DVW-Merkblätter gibt es seit 2011 und die Erarbeitung eines Merkblattes erfolgt durch den Arbeitskreis, wobei Vorschläge für relevante Themen sowohl aus dem Arbeitskreis als auch von extern kommen können. Die Entstehung eines DVW-Merkblattes ist durch die folgenden Verfahrensschritte gekennzeichnet (DVW 2019):

1. Der von den Fachautoren erstellte Text muss im Arbeitskreis beraten und als Entwurf verabschiedet werden. Zu den Fachautoren können die gleichen Kreise wie bei DIN- und ISO-Normen zählen.
2. Die Fachöffentlichkeit wird beteiligt, indem der Entwurf, zu dem Stellung genommen werden kann, auf der DVW-Homepage unter www.dvw.de/merkblatt veröffentlicht wird.

3. Eingegangene Anmerkungen werden den Fachautoren zugeleitet und von diesen bearbeitet. Möglich ist hier die vollständige oder teilweise Annahme der Anmerkung, aber auch deren Zurückweisung, wenn dieses fachlich geboten ist.
4. Nach der Bearbeitung der Anmerkungen durch die Fachautoren erfolgt die Beschlussfassung des DVW-Merkblattes durch einen oder mehrere DVW-Arbeitskreise und der Beschluss zur Veröffentlichung des Merkblattes durch das DVW-Präsidium.
5. Jedermann kann jederzeit Anmerkungen zu den veröffentlichten DVW-Merkblättern machen. Darüber hinaus prüft der Arbeitskreis in regelmäßigen Abständen (etwa alle zwei bis drei Jahre), ob das DVW-Merkblatt noch aktuell ist. Liegen substantielle Anmerkungen vor oder ist das DVW-Merkblatt nicht mehr aktuell, wird das DVW-Merkblatt überarbeitet oder ggf. zurückgezogen.

Der Hauptprofiteur von DVW-Merkblättern soll der Berufsstand sein, wobei die Merkblätter frei zugänglich sind. Alle weiteren Details zur Erstellung von DVW-Merkblättern können unter www.dvw.de/merkblatt (DVW 2019) abgerufen werden. Hier können auch die aktuellen Merkblätter frei heruntergeladen werden. Alle Merkblätter werden eng mit den Verbänden VDV und BDVI abgestimmt.

3.2 Einordnung und rechtliche Bedeutung

„Der Aufwand, ein DVW-Merkblatt zu erstellen, soll klein sein. Daher wurde versucht, die formalen Anforderungen möglichst gering zu halten. Gleichwohl muss das Verfahren so angelegt sein, dass ein DVW-Merkblatt möglichst große Akzeptanz findet. Anders als bei DIN ist jedoch kein hundertprozentiger Konsens notwendig.“ (DVW 2019). Dies bedeutet, dass im Gegensatz zu den DIN- und ISO-Normen auch nicht sicher davon ausgegangen werden kann, dass es sich immer um den anerkannten aktuellen Stand der Technik handelt, auch wenn dies generell das Ziel der Erarbeitung darstellt. Somit ermöglichen DVW-Merkblätter auch die Gegenüberstellung verschiedener Verfahren für die Prüfung oder Kalibrierung von Instrumenten bzw. zur Qualitätssicherung von Daten sowie die Vorstellung von Best-Practice-Beispielen. DIN- und ISO-Normen hingegen müssen einen klaren reproduzierbaren Ablauf gewährleisten. In der Regel können DVW-Merkblätter somit nach ein bis zwei Jahren publiziert werden, während die Bearbeitungszeit von DIN- und ISO-Normen ca. drei bis vier Jahre beträgt.

4 Weitere Richtlinien etc.

Neben den genannten DIN- und ISO-Normen und DVW-Merkblättern sind weitere zumeist interdisziplinäre Richtlinien für die Geodäsie und Geoinformation relevant. Aufgrund der breiten thematischen Auslegung und Relevanz sollen diese Aspekte jedoch nur in Grundzügen behandelt werden. Es besteht daher kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Zu den weiteren relevanten Richtlinien gehören die des VDI/VDE (Verein Deutscher Ingenieure und Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik), die näher unter www.vdi.de/richtlinien (VDI/VDE Richtlinien 2019) erläutert sind. Die Grundlagen zur Erstellung solcher Richtlinien sind in der VDI 1000 geregelt: „VDI Richtlinien sind richtungsweisende und praxisorientierte technische Regelwerke, die Qualitätsstandards in vielen ausführenden Gewerken und allen möglichen Industriebereichen setzen.“ (VDI/VDE Richtlinien 2019). Deren Erstellung ist vom Grundsatz her quasi wieder gleich zu setzen, wie bei den DVW-Merkblättern sowie DIN- und ISO-Normen. Als Beispiel sei hier die Reihe VDI/VDE 2617 zu nennen.

Im Einzelfall können weitere Dokumente für die spezifische Aufgabe relevant und hilfreich sein. Dies ist von Fall zu Fall zu prüfen. D. h. es ist eine umfangreiche Recherche zu dem jeweiligen Themenfeld durchzuführen. Dies schließt insbesondere auch eine Sichtung der Fachliteratur mit ein, die sich außerhalb der Normen, Richtlinien und Merkblätter bewegt.

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass dem Geodäten eine Reihe von Normen, Richtlinien und Merkblättern u. a. zur Prüfung und Kalibrierung von Sensoren sowie zur Qualitätssicherung von Geodaten vorliegen. Hierbei ist anzumerken, dass die „Beweisumkehr“, dass man also davon ausgehen kann, dass es sich um den aktuellen Stand der Technik handelt, streng genommen nur bei DIN- und ISO-Normen gegeben ist. Dennoch gilt das generelle Ziel, dass auch Merkblätter und Richtlinien nach dem aktuellen Stand der Technik erarbeitet werden sollen. Merkblätter erlauben dem Verfasser einen größeren Spielraum bei der Darstellung der Verfahren und Techniken. So können auch Verfahren verglichen und/oder gegenübergestellt werden, wenn dies für den Berufsstand hilfreich ist. Des Weiteren ist auch die Vorstellung von Best-Practice-Beispielen denkbar. Ein weiterer Vorteil von Merkblättern stellt die schnelle Bearbeitungszeit im Vergleich zu DIN- und ISO-Normen dar, die in der Regel ca. drei bis vier Jahre vom Vorschlag bis zur Veröffentlichung benötigen.

An dieser Stelle soll besonders erwähnt werden, dass voraussichtlich im Jahr 2020 eine Neuauflage des DIN-Taschenbuches 111 erfolgen wird. Die letzte Auflage ist aus 07/2013 und stellt eine Normenzusammenstellung für die Sachgebiete Geodäsie, Photogrammetrie, Fernerkundung, sowie geodätische Instrumente und Geräte dar. Ergänzend wurden Normen aus den Bereichen allgemeine Messtechnik sowie Toleranzen im Bauwesen aufgenommen. In der Neuauflage werden die wichtigsten Normen aus den ersten vier AA der Geodäsie und Geoinformation (vgl. Kap. 2.1) zusammengefasst werden, wobei vermutlich wiederum ergänzend Normen aus den Bereichen allgemeine Messtechnik sowie Toleranzen im Bauwesen aufgenommen werden.

Des Weiteren ist anzumerken, dass Normen, Richtlinien und Merkblätter nicht im Wettbewerb zueinanderstehen, sondern jede Vorgehensweise für sich eine Berechtigung aufweist. Es gibt ausgewählte Beispiele, in denen DVW-Merkblätter auch zu DIN- oder ISO-Normen weiterentwickelt wurden. Z. B. wurde das DVW-Merkblatt „Verfahren zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern“ weiterentwickelt und in 12/2018 als ISO 17123-9 „Terrestrial Laser Scanner“ publiziert. Dies zeigt, dass erst durch die Kombination der verschiedenen Vorgehensweisen und deren individuellen Vorteilen ein bestmöglicher Nutzen für den Anwender erzielt werden kann.

Abschließend soll zur Sicherheit noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die gesetzlichen Regelungen der Länder und des Bundes nicht Teil des Beitrages sind. Des Weiteren befreit diese Zusammenstellung den Anwender nicht von einer sorgfältigen Recherche zu dem relevanten Themenbereich, um den Stand der Technik bei der Prüfung und Kalibrierung bzw. Qualitätssicherung abzubilden.

Literatur

DIN Flyer des Fachbereichs Geodäsie und Geoinformation (2016): www.din.de/blob/79552/af28ade74a221db5e8832a1c5a22507a/flyer-na-005-03-fbr-data.pdf, letzter Zugriff 19.5.2019.

DIN (2019): www.din.de/de/ueber-normen-und-standards, letzter Zugriff 16.5.2019.

DVW (2019): Leitfaden zur Erstellung von DVW-Merkblättern. Verfasst von H. Kuhlmann und H. Kutterer. www.dvw.de/merkblatt, letzter Zugriff 16.5.2019.

VDI/VDE Richtlinien (2019): www.vdi.de/richtlinien, letzter Zugriff 21.5.2019.

Wikipedia (2019): <https://de.wikipedia.org/wiki/DIN-Norm>, letzter Zugriff 16.5.2019.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Ingo Neumann | Dr.-Ing. Hamza Alkhatib
Geodätisches Institut der Leibniz Universität Hannover
Nienburger Straße 1, 30167 Hannover
neumann@gih.uni-hannover.de | alkhatib@gih.uni-hannover.de

Qualitätssicherung im amtlichen Raumbezug

Enrico Kurtenbach | Jens Riecken

1 Einleitung

Mit der Einführung des „Raumbezug 2016“ hat sich eine ganzheitliche, integrierte Betrachtungsweise der bislang getrennten geometrisch und physikalisch definierten Komponenten „Lage, 3D-Position, Höhe bzw. geopotentielle Kote und Schwere“ in Deutschland auch in der Praxis durchgesetzt. Der Arbeitskreis Raumbezug der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) hat diesen Ansatz in das Zentrum seiner neuen Richtlinie für den geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in Deutschland – kurz: Rili-RB-AdV – gestellt. Mit ihr wird die Produktsicht als Grundlage für ein transparentes Qualitätsmanagement festgeschrieben.

2 Integrierter geodätischer Raumbezug

Das AdV-Projekt „Wiederholungsmessungen im Deutschen Haupthöhennetz (DHHN)“, eine weltweit einzigartige Messkampagne zwischen den Jahren 2006 und 2012, bildete den Rahmen für dieses neue Verständnis vom geodätischen Raumbezug. Die Präzisionsnivellements im DHHN wurden ergänzt durch GNSS- und Absolutschweremessungen. Darüber hinaus wurde seit 2012 die Datengrundlage für das Quasigeoid kontinuierlich verbessert (Abb. 1). Der Raumbezug 2016 stellt aus messtechnischer und wissenschaftlicher Sicht eine bestmögliche Georeferenz zur Verfügung.

Auf dieser Basis und konform zur Richtlinie wird die GNSS-Kampagne 2020 als periodische Wiederholungs- beziehungsweise Kontrollmessung auf den 250 Punkten des Geodätischen Grundnetzes durchgeführt.

Mit der GNSS-Kampagne 2020 wird gleichzeitig der periodische Ansatz der Qualitätssicherung durch Wiederholungsmessungen um einen Ansatz zur kontinuierlichen Qualitätssicherung durch das Referenzstationsnetz-Monitoring ergänzt (Abb. 2). Dadurch, dass vor der GNSS-Messkampagne 2020 bundesweit eine ausreichende Anzahl von SAPOS®-Referenzstationen als Bodenpunkte ausgelegt werden, wird eine Verzahnung zum Geodätischen Grundnetz sichergestellt. Mit dem konzipierten Referenzstationsnetz-Monitoring wird dann der Einstieg in eine kontinuierliche Qualitätssicherung dieser geodätischen Infra-

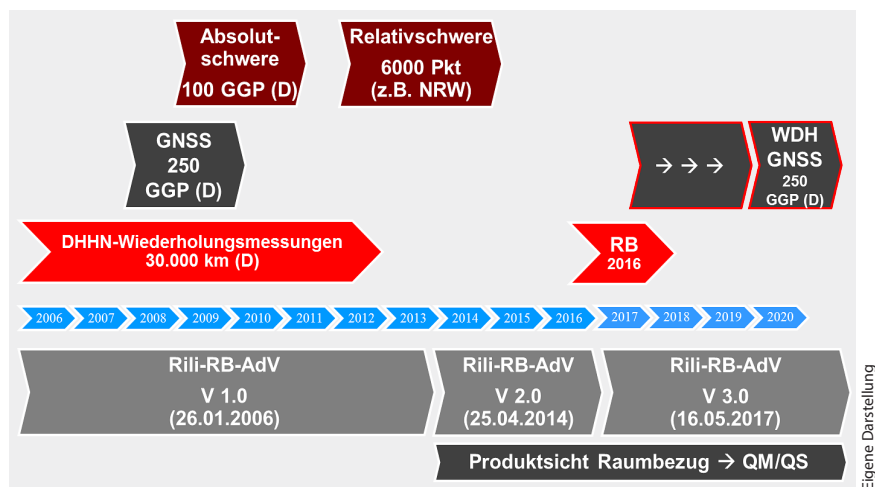


Abb. 1: Produktsicht und Qualitätssicherung im geodätischen Raumbezug

struktur möglich. Die GNSS-Kampagne 2020 ist als Bindeglied zwischen periodischer und kontinuierlicher Qualitätssicherung entscheidend für die Nachhaltigkeit der geodätischen Infrastruktur.

Die dienstbasierte Bereitstellung des geodätischen Raumbezugs mittels SAPOS erfährt auch aus Sicht der Qualitätssicherung eine deutliche Aufwertung. Folglich nimmt die klassische Sicht der Bedeutung der vermarkten und periodisch überwachten Festpunktfelder ab. Als mittel- bis langfristige Vision könnte sich ein Nahe-Echtzeit-Monitoring der geodätischen Infrastruktur über aktive und zum Teil als Bodenpunkte ausgelegte Punktfelder abzeichnen. Dieses wäre auch vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden sicherheitskritischen Massenmarktanwendungen anzustreben.

3 Qualitätsmanagement im SAPOS

Seit nunmehr über 15 Jahren stellt der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS) den amtlichen Raumbezug bundesweit bereit und dies mit einer bemerkenswerten Einheitlichkeit. Obwohl das amtliche Vermessungswesen in der Hoheit der Bundesländer liegt, wurde bereits in der Planungsphase zum SAPOS auf der Ebene der AdV großen Wert auf eine einheitliche Ausprägung des Produkts SAPOS über alle Ländergrenzen gelegt. Innerhalb der jeweiligen Rahmenbedingungen zu Haushalts-, Kosten- und Vermessungsrecht, IT-Infrastruktur und Verwaltungsorganisation wurden die Beschlüsse der AdV, die lediglich empfehlenden Charakter haben, beim Aufbau

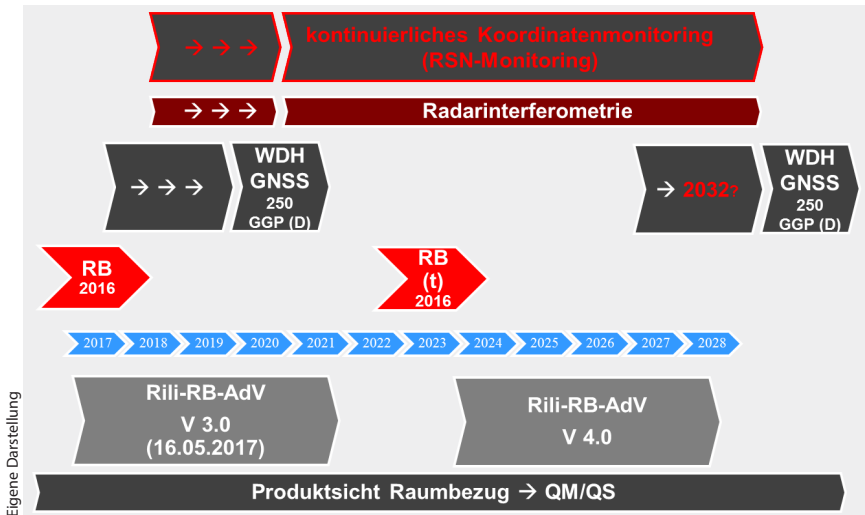


Abb. 2: Konzept der kontinuierlichen und periodischen Qualitätssicherung im geodätischen Raumbezug

des SAPOS umgesetzt. Damit stellt SAPOS den amtlichen Raumbezug nach einheitlichen Grundsätzen bereit und sichert die in der SAPOS-Produktdefinition zugesicherte Produktqualität durch umfangreiche Qualitätssicherungsmaßnahmen. Hierzu gehören regelmäßige Erneuerung von Hard- und Software, Koordinatenmonitoring, Online-Monitoring im SAPOS® HEPS, Datensicherung, redundante Auslegung der Verfahrenskomponenten, Notfall- und Ausfallkonzepte sowie weitere Maßnahmen (Jahn et al. 2017).

Das in den Jahren 2008 bis 2009 implementierte SAPOS-Qualitätsmanagement folgt dabei einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess in Form des PDCA-Zyklus (Abb. 3), dessen vier Phasen Plan, Do, Check und Act von der AdV umgesetzt wurden.

3.1 Plan – Die SAPOS-Produktdefinition

Die SAPOS-Produktdefinition, in der aktuellen Version 7.1 vom 2.6.2017 zu finden unter www.sapos.de, definiert dem Nutzer gegenüber die Ausprägung und die Qualität der verschiedenen SAPOS-Dienste. Sie basiert auf den Grundsätzen der Herstellerunabhängigkeit und verwendet internationale und offene Standards (RTCM und RINEX). Sie stellt den bundeseinheitlichen Handlungsrahmen dar, innerhalb dessen die Betreiberländer den SAPOS bereitstellen. Die Produktdefinition beschreibt die verschiedenen SAPOS-Dienste und ihre jeweiligen

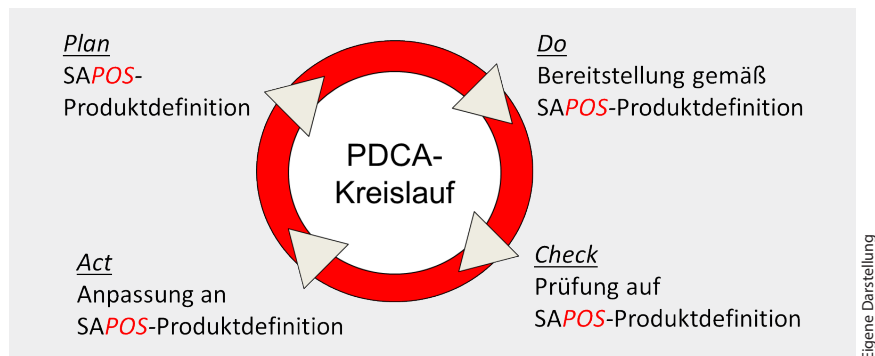


Abb. 3: PDCA-Zyklus im SAPOS-Qualitätsmanagement

zugesicherten Qualitätseigenschaften, beispielsweise die HEPS-Lagegenauigkeit von einem Zentimeter (unter entsprechenden örtlichen Bedingungen).

3.2 Do – Bereitstellung gemäß SAPOS-Produktdefinition

Die Betreiberländer und die Zentrale Stelle SAPOS (ZSS) stellen die SAPOS-Dienste EPS, HEPS und GPPS auf Grundlage der einheitlichen Produktdefinition bereit und sichern den Betrieb und die Qualität der Dienste durch entsprechende organisatorische und technische Maßnahmen. Hierzu gehören redundante Auslegung der IT-Hardware und Software, Ausfall- und Notfallpläne, aber auch Online-Monitoring der Echtzeitdienste EPS und HEPS. Dies alles im Rahmen der jeweiligen länderspezifischen Verwaltungs- und Haushaltssituation.

3.3 Check – Prüfung auf die SAPOS-Produktdefinition

Eine wesentliche Komponente des Qualitätsmanagements ist die Überprüfung der definierten Qualitätskriterien. Dies geschieht innerhalb der SAPOS-Betreibergemeinschaft durch die dauerhafte Erfassung und interne Bereitstellung unterschiedlicher Betriebszustandsinformationen. Diese sieben sogenannten SAPOS-Statistiken stellen eine wesentliche Komponente der einheitlichen Qualitätssicherungsinstrumente innerhalb der SAPOS-Betreibergemeinschaft dar. Im Einzelnen sind dies:

1. Multipath der SAPOS-Referenzstationen
2. Koordinatenmonitoring der Referenzstationspunkte im Postprocessing
3. Langzeitverfügbarkeit der RINEX-Daten (GPPS)
4. Verfügbarkeit der Datenströme an der Zentralen Stelle SAPOS

5. Qualität des SAPOS HEPS anhand des erreichten Lösungsstatus und TTFA
6. Nutzung des SAPOS HEPS
7. Genauigkeit des SAPOS HEPS anhand der RTK-Monitorstationen

Eine ausführlichere Darstellung findet sich beispielsweise in Jahn et al. (2011) oder Rubach et al. (2015), die auch umfangreiche Literaturhinweise enthalten.

Die Ergebnisse und Folgerungen dieser sogenannten SAPOS-Statistiken werden den Betreibern in einem jährlichen SAPOS-Qualitätsbericht intern zur Verfügung gestellt. In regelmäßigen Abständen, zuletzt 2017, werden wesentliche Erkenntnisse der SAPOS-Qualitätssicherung auch für alle Nutzer in einem externen SAPOS-Qualitätsbericht veröffentlicht (PG QM 2017).

3.4 Act – Anpassung und Verbesserung

Die durch die kontinuierliche Qualitätsprüfung festgestellten Abweichungen von der Produktdefinition oder Defizite in der Bereitstellung der SAPOS-Dienste sind Anlass für weitere Verbesserungsmaßnahmen. Abb. 4 zeigt beispielhaft die Verfügbarkeit der Echtzeitdatenströme der SAPOS-Referenzstationen bei

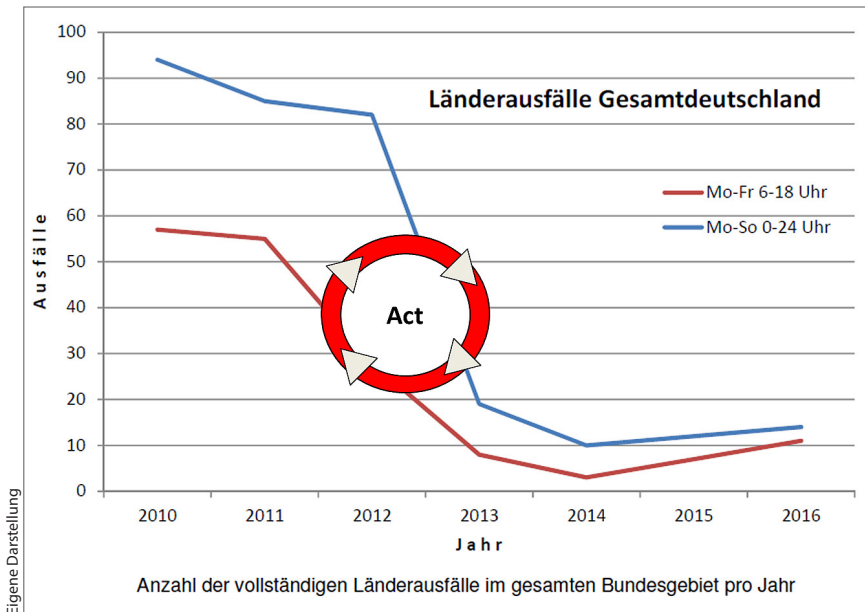


Abb. 4: Beispiel für kontinuierliche Verbesserungsmaßnahmen in der Bereitstellung der SAPOS-Dienste

der Zentralen Stelle SAPOS (SAPOS-Statistik 4) und die Anzahl größerer Ausfälle. Ihre Zahl konnte, nachdem dieses Defizit identifiziert wurde, durch kontinuierliche Verbesserungen, insbesondere durch den Aufbau einer redundanten IT-Infrastruktur, verbessert werden.

4 Zusammenfassung

Die „Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland“ versteht sich als Produktdefinition und als Qualitätssicherungsrahmen für den integrierten geodätischen Raumbezug. Ergänzend definiert die nunmehr in der Version 7 vorliegende Produktdefinition SAPOS den Qualitätssicherungsrahmen für die dienstbasierte Bereitstellung des geodätischen Raumbezugs. Damit sichert Deutschland die Basis für eine geodätische Infrastruktur, die für zukünftige hochgenaue Anwendungen im Bereich der Navigation als auch die Anforderungen der Eigentumssicherung im Liegenschaftskataster gerüstet ist.

Literatur

- Jahn, C.-H.; Riecken, J.; Trautvetter, C.; Freitag, M.; Kurtenbach, E.; Fabian, G.; Dick, H.-G. (2017): Quo vadis SAPOS? – Zukünftige Entwicklungen des Positionierungsdienstes der Landesvermessung. In: DVW e.V. (Hrsg.): GNSS 2017 – Kompetenz für die Zukunft. DVW-Schriftenreihe, Band 87, Augsburg, 133–150.
- Jahn, C.-H.; Rubach, J.; Elsner, C.; Schenk, A.; Wagenführ, P.; Dick, H.-G.; Brünner, A. (2011): Das SAPOS-Qualitätsmanagement der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 3/2011, 136. Jg., 127–137.
- Projektgruppe SAPOS-Qualitätsmanagement der AdV (2017): SAPOS-Qualitätsbericht 2017. www.sapos.de/downloads.html, letzter Zugriff 1.5.2019.
- Rubach, J.; Brünner, A.; Dick, H.-G.; Wagenführ, P.; Feldmann-Westendorff, U.; Kurtenbach, E.; Wagenführ, P. (2015): SAPOS-Qualitätsbericht 2015 (Grundlagenbericht). www.sapos.de/downloads.html, letzter Zugriff 1.5.2019.

Kontakt

Dr.-Ing. Enrico Kurtenbach | Dr.-Ing. Jens Riecken
Bezirksregierung Köln
Geobasis NRW
Muffendorfer Straße 19–21, 53177 Bonn
enrico.kurtenbach@brk.nrw.de | jens.riecken@brk.nrw.de

Session 2:

Qualität für BIM, Geodaten und TLS

Standards für die Qualitätssicherung mit der BIM-Methode

Christian Clemen

1 Einleitung und Motivation

Building Information Modeling (BIM) ist der Megatrend der Bauindustrie und Qualitätssicherung ist die eigentliche Motivation für den Einsatz der BIM-Methode. Gegenstand der BIM-Qualitätsbetrachtung (das Produkt, die Dienstleistung) ist das Informationsmanagement, nicht das geplante, gebaute oder bewirtschaftete Bauwerk selbst. Die Leitlinien für das Qualitätsmanagement (Kundenorientierung, Prozessorientierung u. a.) werden durch ISO 9001 bestimmt. ISO 9001 bezieht sich auf eine einzelne Organisation (Ingenieurbüro, Unternehmen, Verwaltung). Im Gegensatz dazu adressiert BIM-Qualitätsmanagement das kollaborative, digitale und modellbasierte Arbeiten, also die Zusammenarbeit mehrerer Organisationen, zum Beispiel zwischen Bauherr, Objektplaner, Fachplaner, Fachingenieur, BIM-Manager oder Behörde. Standards für die Qualitätssicherung mit der BIM-Methode finden Ihre Anwendung im Bauwesen und beziehen sich deswegen speziell auf die erstellten Informationsprodukte und Dienstleistungen, wie Bauwerksmodelle, Modellkoordination, Ausschreibungs- und Bestellprozesse, Bauablaufsteuerung, Dokumentation erbrachter Bauleistungen oder das Informationsmanagement von Bestandsimmobilien.

Mit den geregelten, deliberativen Verfahren der Standardisierung versucht das Bauwesen trotz seiner sehr diversen Struktur, den digitalen, modellbasierten Informationsaustausch zu vereinheitlichen. Divers ist vor allem die Interessenslage von öffentlichen und privaten Bauherren, Projektentwicklern, Generalplanungsunternehmen, Bauunternehmen, Objektplanern, Fachingenieuren, Handwerkern, Baumittelherstellern, Genehmigungsbehörden oder Bausoftwareherstellern. Jeder an einem Bauprojekt beteiligte Akteur bringt neben seinen Interessen, seine eigene Lösungskompetenz und Problemperspektive mit und hat somit spezielle Informationsanforderungen in einem Bauprojekt.

Die oft zitierte Definition des BMVI (2015) aus dem „Stufenplan Digitales Planen und Bauen“ bezeichnet „Building Information Modeling als eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den

Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden“. Aber das Bauwesen erkennt zunehmend die Bedeutung der Geodäsie. Während in der BMVI-Definition noch von „einem Bauwerk“ die Rede ist, wird – ausgehend vom englischen Begriff „built environment“ (z. B. Vorwort zu BS1192-2) – zunehmend auch in Deutschland von Modellen der „gebauten Umwelt“ gesprochen, z. B. in den Entwürfen der ISO 19650 „Organisation von Daten zu Bauwerken – Informationsmanagement mit BIM“. Diese Akzentverschiebung in Richtung „Bestand“ und „Geoinformation“ zeigt, dass die Bau-, Vermessungs- und Geowelten in den nächsten Jahren kulturell, methodisch und informationstechnisch noch enger zusammenwachsen werden, wenn es um den digitalen Informationsaustausch geht (siehe auch Abb. 1). Einheitliche und herstellernerneutrale Begriffe, Prozessdefinitionen, Vertragsdokumente und Datenformate für BIM (und damit auch für Vermessung und Geoinformation) wirken dabei innovationsfördernd, weil einzelne Akteure sich nicht um Grundsätzliches kümmern müssen. Standards schaffen einen offenen Marktzugang für kleine und mittelständische Unternehmen, die im Bauwesen die (!) volkswirtschaftlich relevante Größe sind.

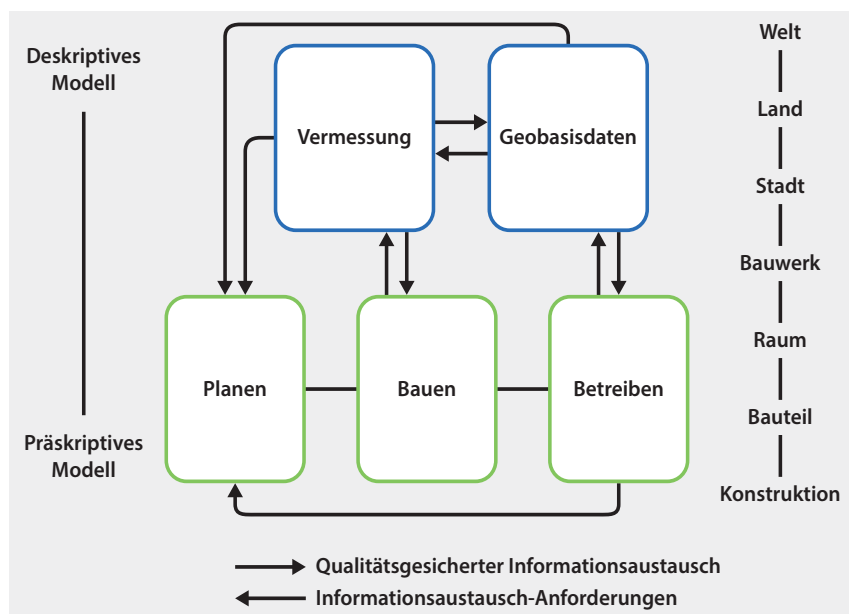


Abb. 1: Informationsmanagement von Vermessungs-, Geo- und Bauwerksmodellen über alle Leistungsphasen nach der BIM-Methode

Die folgenden Leitfragen bilden den Argumentationsrahmen für den vorliegenden Beitrag zum 180. DVW-Seminar „Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswerteverfahren 2019“:

- Was zeichnet die BIM-Methode aus und welche Standards entwickeln sich derzeit?
- Welche Anforderungen können an das digitale Bauwerksmodell gestellt werden, damit es qualitätsgesichert werden kann?
- Wie können diese Anforderungen in den BIM-Gesamtprozess eingebunden werden?
- Gibt es spezielle, BIM-bezogene Standards für die Qualitätssicherung ingenurgeodätischer Produkte?

2 BIM-Methode (in a nutshell)

Die BIM-Methodik zeichnet sich aus meiner Sicht durch drei wesentliche Aspekte aus: Gemeinsame Datenumgebung, Lebenszyklus der Information und Bauteilorientierung.

2.1 Gemeinsame Datenumgebung (CDE)

BIM ist keine monolithische Datenbank, die alle Informationen in einem einheitlich strukturierten und semantisch ausformulierten Datenmodell bereithält. Der Begriff „Gemeinsame Datenumgebung“ (z. B. VDI 2552 Blatt 3, engl. common data environment, CDE, ISO 19650-1) ist bewusst generisch gehalten und kann beispielsweise sowohl ein einfaches Dateiablage-System als auch eine serviceorientierte, verteilte Infrastruktur bedeuten. Wichtig ist jedoch deren Funktionalität. Informationen müssen zugänglich, einem Prozess zugeordnet, versionier- und archivierbar, filter- abfragbar, etc. sein.

Mit der seit April 2019 veröffentlichten und auf CEN-Ebene eingereichten DIN SPEC 91391-1 „Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte – Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller“ liegt nun ein Standard vor, der für den Vergleich unterschiedlicher CDE-Produkte verwendet werden kann. Teil 2 des Standards beschreibt die technische Umsetzung einer offenen API (OpenAPI 3.0) als RESTful Web Service und Metadaten für Informationscontainer.

2.2 Lebenszyklus der Information

Eine durchgängige und medienbruchfreie Nutzung der Bauwerksinformation entlang des Lebenszyklus eines Bauwerkes ist schwer zu realisieren. Unternehmen rechnen Ihre Leistungen im Raster der HOAI-Leistungsphasen (Preisrecht) ab und haben kein wirtschaftliches Interesse an der Weitergabe von Information. Wichtig wird es deshalb sein, dass der Bauherr, insbesondere der öffentliche Bauherr, Vorgaben zur durchgängigen Informationsweitergabe über alle Leistungsphasen macht, weil er, der Bauherr, während der Betriebsphase des Bauwerkes den größten Nutzen an richtiger, verfügbarer und gut strukturierter Information hat. Hier entwickeln sich gegenwärtig neuartige Projekt- und Vertragsstrukturen, die in den „Auftraggeber Informationsanforderungen“ (AIA), dem „BIM Ausführungsplan“ (BAP) und „Besonderen Vertragsbedingungen für BIM“ (BVB-BIM) ihren Ausdruck finden. Aspekte der Geoinformation und Ingenieurgeodäsie sind in diesen Dokumenten unbedingt zu berücksichtigen. Deswegen ist es aus fachlicher und berufspolitischer Sicht für die Akteure der Geodäsie sehr wichtig, sich an den aktuell entstehenden Regelwerken (VDI 2552, ISO 19650) zu beteiligen.

2.3 Bauteilorientierung

Eher technisch ist der dritte Aspekt der „Bauteilorientierung“. Der Wechsel von der Bauzeichnung zum Modell, entspricht dem Wechsel von der Karte zum GIS. Das Geo-Feature entspricht (prinzipiell) dem Bauteilobjekt. BIM und Geodäsie unterscheiden sich in der Art der Koordinatensysteme:

- Relative vs. absolute Koordinaten,
- dreidimensional-kartesische Koordinaten vs. projizierte Koordinaten mit getrennter Modellierung von Lage und Höhe und
- deterministische/geplante Koordinatenwerte vs. stochastisch/gemessene Koordinatenwerte,

um nur einige Gegensätze zu nennen. Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsszenarien, Maßstäbe und Technologietraditionen werden geometrische Objekte in BIM auch sehr unterschiedlich repräsentiert. Die Vielzahl der geometrischen und topologischen Repräsentationsformen in BIM (B-Rep, CSG, parametrisch, hybrid) sind eine spezielle Herausforderung beim Datenaustausch von digitalen Bauwerksmodellen, die nach der BIM-Methode erstellt worden sind. Bei Vertragsgestaltung zur gemeinsamen Nutzung (Visualisierung, Analyse, Koordination, Weiterbearbeitung) von Bauwerks- und Geodaten muss der geforderte Modelldetaillierungsgrad der einzelnen Bauteiltypen genau festgelegt werden. Für diese informellen oder vertraglichen Absprachen müssen

Informationsbesteller (AG) und -lieferant (AN) derzeit noch viel Zeit investieren, weil die BIM-Methode momentan weder etabliert noch ausreichend standardisiert ist (siehe LOIN, Abschnitt 3.1). Idealerweise werden die Bauteiltypen in einer Bauteilbibliothek verwaltet. Für den Aufbau, die Nutzung, Bereitstellung und Fortführung der Bauteilbibliothek muss in den Unternehmen und Ingenieurbüros Fachwissen gebildet werden.

3 Aktuelle Entwicklungen der BIM-Standardisierung

Die folgenden Beispiele aktueller Entwicklungen sind aus der fachlichen Sicht des Autors auf das Thema „Qualitätssicherung“ bezogen und bilden kein vollständiges Bild der aktuellen BIM Normierung ab. Die in den Quellenangaben referenzierten Standards der regelsetzenden Organisationen VDI, DIN, CEN und ISO basieren überwiegend auf der technischen und berufspolitischen Vorarbeit von buildingSmart (www.buildingsmart.de).

Mit BIM standardisiert zu arbeiten, bedeutet mehr als Daten im herstellereutralen Industry Foundation Classes Format (IFC, ISO 16739:2017-04) zu bestellen, bzw. zu liefern. Die technische Umsetzung des Datenaustauschs mit IFC ist nicht Gegenstand der Qualitätssicherung in der BIM-Methode, weshalb in diesem Beitrag nicht speziell auf die IFC eingegangen wird. Gleichwohl ist IFC der verbreitetste und „BIMigste“ Standard.

3.1 Detaillierung des digitalen Bauwerksmodells (LOIN)

Qualitätssicherung erfordert es, dass die relevanten Anforderungen an das Produkt (hier das digitale Bauwerksmodell) festgelegt werden. Die Kommunikation der Anforderungen an den Detaillierungsgrad des Bauwerksmodells führt in der Praxis regelmäßig zu Missverständnissen, weil die Fachgewerke unterschiedliche Begriffe verwenden oder weil nicht klar ist, was der Begriff „Detaillierung“ eigentlich genau bezeichnet. Gleichzeitig bieten BIM-Modelle enorme Möglichkeiten (3D-Visualisierung, intelligente Objekte, viele Sachdaten, automatisierte Analyse) und wecken damit sehr hohe Erwartungen beim Informationsbesteller, die das gelieferte Modell nicht immer voll erfüllen kann.

Eine europaeinheitliche Begrifflichkeit zur Beschreibung der „Level of Information Need (LOIN)“ wird derzeit in CEN/TC 442/WG 2/TG1, die voraussichtliche Nummer dieses Standards ist (DIN) EN 17412. Der Begriff „Level of Information Need“ wechselt die Perspektive: Spricht man derzeit noch vom Modelldetaillierungsgrad oder Modellfertigstellungsgrad, als Eigenschaft des Modells, wird im Sinne der Qualitätssicherung die Erwartungshaltung (Need)

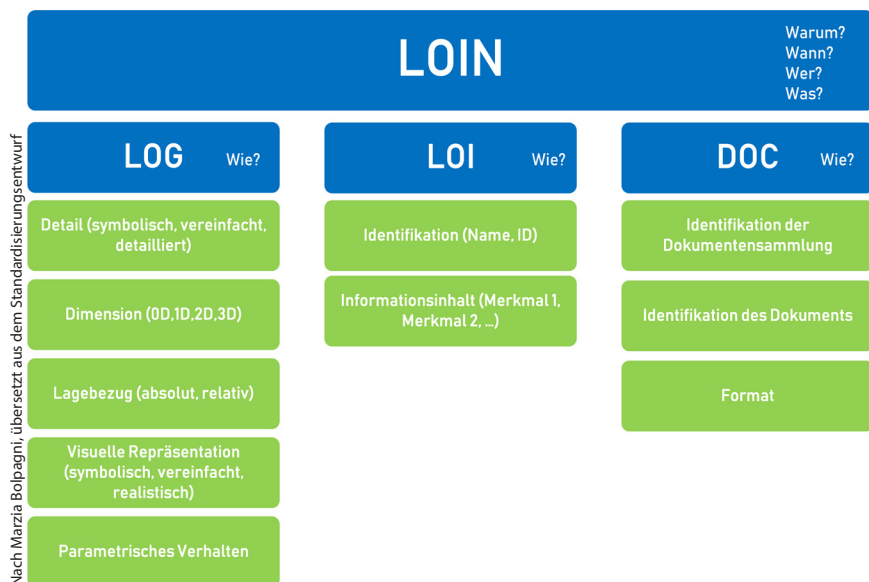


Abb. 2: Schematische Darstellung des LOIN-Frameworks zur Beschreibung der Detaillierung von Bauteilen in BIM

des Informationsbestellers explizit in die Bezeichnung des Standards aufgenommen. Der Europäische Standard verzichtet bewusst auf eine Metrik (LOD100, LOD200, ...), um nicht mit den nationalen Standards zu konkurrieren. Stattdessen liefert der Standard eine Begriffsmatrix (Framework) für Beschreibung des Modelldetaillierungsgrades, die in [Abb. 2](#) schematisch dargestellt ist.

Der geometrische Detaillierungsgrad (LOG) wurde „vor BIM“ weitestgehend implizit über den Zeichnungsmaßstab festgelegt. Beim modellbasierten Arbeiten nach der BIM-Methode muss die „Detaillierung“, wie in Spalte LOG in [Abb. 2](#) dargestellt, vielschichtiger festgesetzt werden. Besonders die Fähigkeit, die geometrische Ausprägung eines Bauteils „intelligent“ aus Parametern zu berechnen ist eine Kernfunktionalität von BIM-Software (vgl. z. B. Hausknecht und Liebich, S. 70). Die Übertragung dieser geometrischen Bauteilintelligenz von der Software des Informationsbereitstellers zur Software des Informationsbestellers stellt sich in der Praxis häufig als sehr schwierig dar und sollte nur dann vereinbart werden, wenn das erstellte Bauwerksmodell vom Informationsbesteller tatsächlich weiter geometrisch bearbeitet werden soll. Für den Zweck der Visualisierung oder Koordination ist die Anforderung „Parametrisches Verhalten“ nicht unbedingt erforderlich.

Darüber hinaus müssen die Art der Objektidentifikation (Name, ID) sowie die Art und Struktur der Objektklassifizierung und -attributierung mit dem

„Level of Information“ (LOI) festgelegt werden. Die Erfassung und Übertragung von Sachdaten ist kein informationstechnisches Problem. Vielmehr ist es im BIM-Prozess vorgesehen, dass Bauteile sukzessiv mit zusätzlicher Information (Klassifizierung, Material, Baukosten, Termine, etc.) annotiert werden.

Was bedeutet LOI für die BIM-gerechten Bestandsdokumentation, die durch einen Geodäten erstellt wird? Die wesentliche Schwierigkeit ist, dass die Vielseitigkeit der Merkmale (des bestehenden Gebäudes) nicht von einem einzigen Fachingenieur erfasst werden können. Geodäten liefern das geometrisch präzise und bauteilstrukturierte Grundlagenmodell, das „BIM-Fachmodell Vermessung“. Dieses bildet den Kern der Informationsinfrastruktur der weiteren Planung, Bauausführung und Bewirtschaftung. Es muss deswegen genau vereinbart werden, welche Sachdaten (Attribute) von welchem Fachingenieur in das Bauwerksmodell eingepflegt werden. Hierfür sollten projektbezogen interdisziplinäre Teams gebildet werden, die dem geodätischen Grundlagenmodell zusätzliche Informationen (Baugrund, Tragwerk, Technische Anlagen, Bauphysik, FM, etc.) hinzufügen.

Der Level of Documentation (LOC) regelt den Grad der Detaillierung und den Umfang der (externen) Dokumente, die zusätzlich zum virtuellen Bauwerksmodell geliefert werden. Beispiele sind Raumbücher, Inventarlisten, Schriftliche Gutachten, Datenblätter, Handbücher, Fotos oder Detailzeichnungen.

3.2 Prozessorientierung (IDM)

Nach ISO 9001 muss eine Organisation „Prozesse bestimmen, die für das Qualitätsmanagementsystem benötigt werden, sowie deren Anwendung innerhalb der Organisation festlegen“ (ISO 9001, S. 20). In der BIM-Methode regelt die Standardisierung den Informationsfluss zwischen Informationsbesteller und Informationslieferant(en) bzw. die damit verbundenen Prozesse.

Hierfür wurden von buildingSmart die Information Delivery Manual (IDM)-Methode entwickelt und als DIN EN ISO 29481-1:2018-01 „Virtuelle Gebäudemodelle (BIM) – Informationshandbuch – Teil 1: Methodik und Format“ veröffentlicht. Ist die benötigte Information zur Unterstützung des Bauprozesses oder eines Anwendungsfalls im BIM vorhanden und qualitativ zufriedenstellend, verbessert dies den eigentlichen Prozess erheblich“ (ISO 29481-1:2018-01, S. 6).

Ziel der Methode ist es folgende Fragen zu beantworten:

- Wer benötigt die Informationen des BIM?
- Wann werden diese Informationen benötigt?
- Welcher Mindestumfang an Daten wird bei einem Informationsaustausch benötigt?

Der Standard beschreibt, wie ein Handbuch zum Informationsaustausch erstellt wird. Ein IDM für einen bestimmten Prozess besteht aus

- einem Prozessablaufdiagramm (engl. process map), in welchem das „Wer“ und „Wann“ geklärt wird, und
- Informationsaustausch-Anforderungen (engl. exchange requirement), in denen der Mindestumfang („Was“) der auszutauschenden Daten definiert wird.

Für das Prozessablaufdiagramm wird die Business Process Modeling Notation (BPMN, ISO/IEC 19510:2013) empfohlen. Der Vorteil von BPMN ist, dass neben der visuellen und textlichen Darstellung (siehe [Abb. 3](#), linke Spalte) die Prozessdefinition als XML-Datei serialisiert und verteilt werden kann.

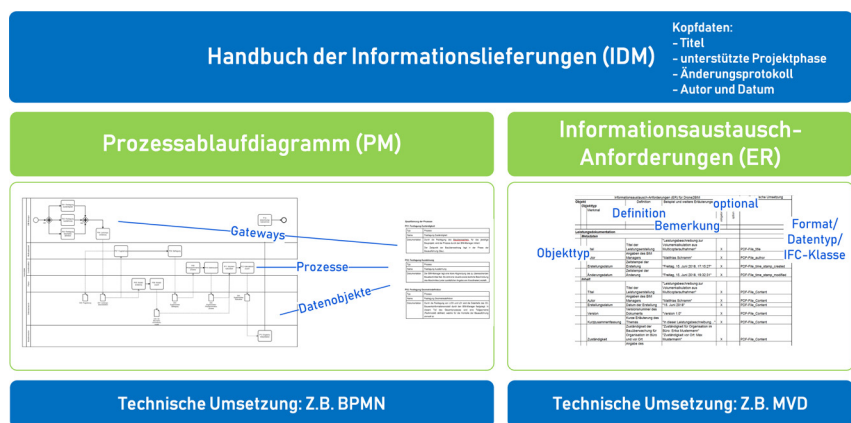


Abb. 3: Schematische Darstellung des Aufbaus eines IDM

Dadurch kann der definierte Prozess auf einer Prozess-Engine (z.B. Open Source Camunda-Server) implementiert werden. In einem BIM-Projekt könnte dann der aktuelle Bearbeitungsstand von Prozessinstanzen allen Beteiligten (standardisiert) als Webdienst zur Verfügung gestellt werden. Somit wird die Leitlinie der Prozessorientierung im Sinne der Qualitätssicherung auch auf digitaler Ebene umgesetzt.

Für die technische Umsetzung der Informationsaustausch-Anforderungen empfiehlt der Standard die von buildingSmart entwickelten Modell-Bereichs-Definition (MVD, engl. Model View Definitions). Eine MVD definiert ein maschinenlesbares Datenmodell für die Teilmenge eines bestehenden Bauwerksmodells. Dieses kann dann für die Filterung und Datenvalidierung der im IDM spezifizierten Datenaustauschanforderungen eingesetzt werden. MVD können darüber hinaus auch genutzt werden, wenn Softwareprodukte für bestimmte Datenaustauschszszenarien zertifiziert werden sollen.

3.3 Mess- und Modellgenauigkeit in der BIM-Methode (LOA)

Mit dem Level of Accuracy (LOA) Specification Guide des U.S. Institute of Building Documentation (USIBD 2016) hat sich ein Industriestandard etabliert, mit dem die Qualität der ingenieurgeodätischen Dienstleistungen „BIM-konforme 3D-Bestandsdokumentation auf Basis von 3D-Punktwolken“ im Hochbau beschrieben werden kann. Die Einteilung der Genauigkeitsklassen basiert auf der DIN 18710-1.

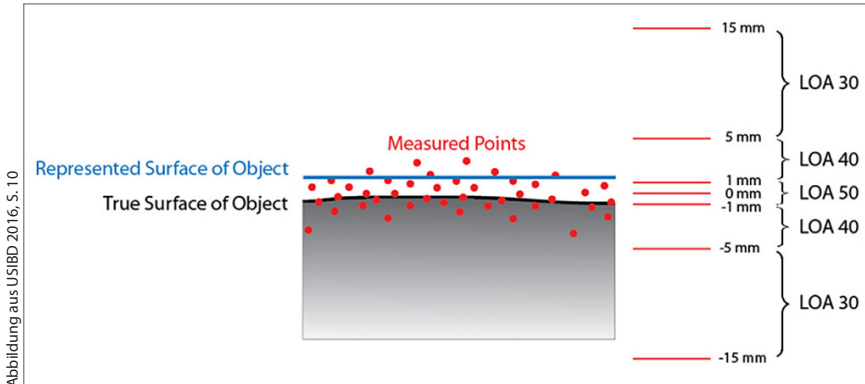


Abb. 4: LOA-Metrik zur Beschreibung der Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Auflösung der Messung (rot) und des Abstraktionsgrades des aus der Messung abgeleiteten Bauwerksmodells (blau)

Der Standard ist explizit für die bauteilstrukturierte 3D-BIM-Methode entwickelt worden und zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- Getrennte Angabe von Mess- und Modellgenauigkeit (siehe [Abb. 4](#))
- Definition von Standardfällen (Normal, Denkmalpflege, Metrisch, Imperial)
- Unterschied zwischen relativer und absoluter Genauigkeit
- Qualitätsangaben für jeden Bauteiltypen unterschiedlich (Bauteilorientierung!)
- Angaben zur Kontrolle (Validierung)

Der Standard wird ergänzt durch eine datierbare Tabellenkalkulation, die die Spezifikationsmatrix des LOA anwendbar macht.

3.4 Einheitliche Merkmale und Produktdatentemplates (PDT)

Die IFC können kein Universalmodell für alle Aspekte des Bauwesens sein. Erstens haben die IFC eine eingeschränkte Semantik (Entitys, definierte Properties, generische aber uneinheitliche Properties) und zweitens – bezogen auf die Qualitätssicherung – können die IFC nicht zur Formulierung von Anforderungen an Produktinformationen eingesetzt werden. Es wird derzeit durch buildingSmart und CEN/TC 442/WG04 ein Framework für eine eindeutige Bezeichnung von Merkmalen (bsDD, buildingSmart Data Dictionary) und Produktdaten-Templates (PDT) entwickelt (siehe auch Abb. 5). Ziel des Frameworks ist die Maschinenlesbarkeit von Produktdaten im Bauwesen für objektstrukturierte Angebote, Ausschreibungen und Vergaben. Dieses wird durch die Verwendung derselben Datenstruktur, Terminologie und weltweit eindeutiger Kennungen von einzelnen Bauprodukten erreicht. Die PDT könnten zukünftig von Bauproduktherstellern als „leeres Formular“ verwendet werden, um ihre

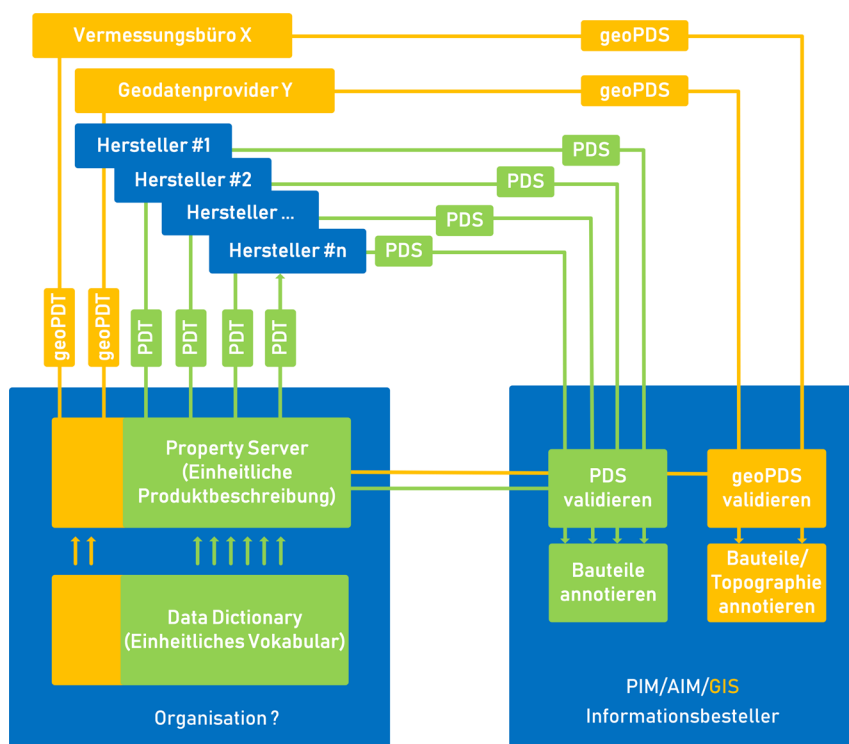


Abb. 5: Produktdaten-Templates (PDT) für die einheitliche Beschreibung von Bauprodukten (grün) und geodätischen Produkten (orange)

Produktdatenblätter (PDS, product data sheet) mit den Werten Ihrer Produkte auszufüllen. Gleichzeitig kann der Informationsbesteller die ausgefüllten PDS gegen die PDTs validieren. Über die genaue Systemarchitektur zur Etablierung der Kataloge, deren Systemarchitektur und nationalen Umsetzung wird derzeit diskutiert.

Welche Bedeutung hat diese Systemarchitektur für Geodäten? Im Unterschied zu Bauproduktherstellern, liefern Geodäten seit jeher keinen körperlichen Gegenstand, der jetzt für die BIM-Methode maschinenlesbar beschrieben werden muss, sondern sie liefern seit jeher deskriptive Informationen der gebauten Umwelt, wie Geländemodell, Lage- und Höhenplan oder 3D-Modell. Für die projektbezogene Ausprägung der Sachdaten (Klassifizierung, Attributierung, Strukturierung) könnte die Systemarchitektur der PDT verwendet werden, um die Vorteile der verteilten, maschinenlesbaren Templates für die Bestellung und Validierung geodätischer Produkte zu verwenden.

3.5 Rahmen für den Gesamtprozess (ISO 19650)

Die ISO 19650-1 definiert Konzepte und Prinzipien für das Informationsmanagement von Geschäftsprozesse des Bauwesens (engl. built environment sector), die nach der BIM-Methode organisiert sind (siehe auch [Abb. 6](#)). Die Norm ISO 19650-2 legt spezifische Anforderungen an das Informationsmanagement entlang der Leistungsphasen eines Projektes (engl. delivery phase) fest.

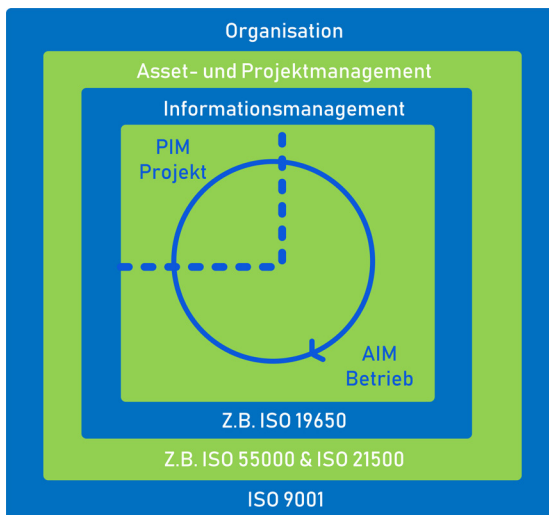


Abb. 6: Informationsmanagement mit dem Asset Information Model (AIM) und Projekt Informationsmodell (PIM) entlang des Lebenszyklus der Bauwerksinformation nach ISO 19650-1

Nach ISO 19650 gründet das prozessintegrierte Informationsmanagement nach der BIM-Methode auf der Festlegung der Informationsaustauschs-Anforderungen, Planung der Informationslieferung und der tatsächlichen Lieferung der Information zu einem „gebauten Vermögenswert“ (engl. built asset). Die Lieferung der Information erfolgt in „strukturierten Informationscontainern“ (Modelle, Tabellen, Datenbanken) oder „unstrukturierten Informationscontainern“ (Datenblätter, Fotos, ...) die gemeinsam das „Informationsmodell“ bilden.

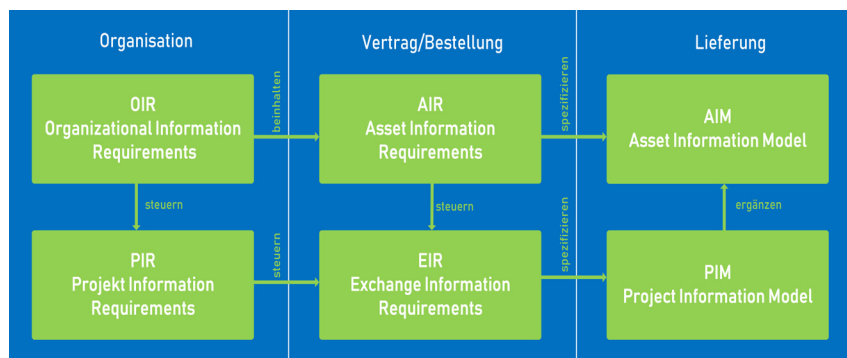


Abb. 7: Hierarchie der unterschiedlichen Informationsaustausch-Anforderungen

Der Begriff Informationsmodell ist dabei etwas kritisch, weil im Kontext der Softwareentwicklung das „Informationsmodell“ die konzeptionelle Ebene, nicht die eigentliche Dokumenteninstanz adressiert. Der Standard unterscheidet die Informationsaustausch-Anforderungen des Informationsbestellers zwischen den strategischen (OIR) und projektspezifischen (PIR) Anforderungen (siehe Abb. 7). Zwischen Informationsbesteller und -lieferant werden die bestandsbezogenen AIR bzw. projektbezogenen EIR in den Auftraggeber Informationsanforderungen (AIA) vereinbart, die die tatsächliche Informationslieferung, das Informationsmodell, spezifizieren.

Die ISO 19650 ist sehr umstritten, weil Sie eher für Projekte angewendet werden, kann die durch einen großen Auftraggeber und Generalunternehmer abgewickelt werden. Für mittlere und kleine Projekte und Projektpartner können jeweils nur Teilaspekte umgesetzt werden.

4 Vorblick statt Rückblick

Für das Fazit und den Ausblick dieses Artikels wähle ich das Motto der Fachschaft Geoinformation an der HTW Dresden für eine Veranstaltung zu geodätischen Berufsperspektiven. „Vorblick statt Rückblick“ zeigt, dass geodätisches

Fachwissen die Transformationsprozesse (v.a. Digitalisierung und diskursive Gesellschaft) begleiten kann. Hierfür ist es unbedingt notwendig, dass Geodäten ihre Problemlösungskompetenzen (Raumbezug, Genauigkeit, Qualitätssicherung, Informationsmanagement) in BIM-Projekten so vernetzt einbringen, dass der Paradigmenwechsel vom planbasierten zum modellbasierten Planen, Bauen und Betreiben von Bauwerken in Kooperation mit anderen Gewerken vollumfänglich gelingt. Letztendlich sollen die Gesellschaft und der Bauherr durch BIM mängelfreie Bauwerke erhalten. Der größte Nutzen qualitätsgesicherter Information entsteht dann, wenn die „gebaute Umwelt“ modellbasiert bewirtschaftet werden kann.

Literatur

- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf, letzter Zugriff 5.5.2019.
- Borrmann, A.; König, M.; Koch, C.; Beetz, J. (2015): Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. VDI-Buch, Wiesbaden, 591 S., ISBN: 9783658056063.
- BS PAS 1192-2:2013 – Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. <https://bim-level2.org/en/standards>, ISBN 978-0-580-82666-5.
- CEN/TC 442/WG 2 – Building Information Modelling, Level of Information Need – Concepts and principles. TC 442 WI 00442009.
- DIN 18710-1:2010-09 – Ingenieurvermessung – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. DOI: [10.31030/1705315](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/1705315).
- DIN EN ISO 16739:2017-04 Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement (ISO 16739:2013).
- DIN EN ISO 19650-1:2018-04 – Entwurf, Organisation von Daten zu Bauwerken – Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Konzepte und Grundsätze (ISO/DIS 19650-1.2:2018). DOI: [10.31030/2812594](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/2812594).
- DIN EN ISO 19650-2:2018-04 – Entwurf, Organisation von Daten zu Bauwerken – Informationsmanagement mit BIM – Teil 2: Lieferphase der Assets (ISO/DIS 19650-2.2:2018). DOI: [10.31030/2812595](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/2812595).
- DIN EN ISO 21597-1:2018-10 – Entwurf, Informationscontainer zur Datenübergabe – Austausch-Spezifikation – Teil 1: Container (ISO/DIS 21597-1:2018). DOI: [10.31030/2873237](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/2873237).
- DIN EN ISO 21597-2:2018-10 – Entwurf, Informationscontainer zur Datenübergabe – Austausch-Spezifikation – Teil 2: Dynamische Semantik (ISO/DIS 21597-2:2018). DOI: [10.31030/2873238](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/2873238).
- DIN EN ISO 23387:2019-04 – Entwurf, Bauwerksinformationsmodellierung (BIM) – Datenvorlagen für Bauobjekte während des Lebenszyklus eines baulichen Vermögensgegenstandes – Konzepte und Grundsätze (ISO/DIS 23387:2019). DOI: [10.31030/3042021](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gn:dnf-d-10.31030/3042021).

- DIN EN ISO 29481-1:2018-01 – Bauwerksinformationsmodelle – Handbuch der Informationslieferungen – Teil 1: Methodik und Format (ISO 29481-1:2016). DOI: [10.31030/2773897](https://doi.org/10.31030/2773897).
- DIN EN ISO 9001:2015-11 – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen (ISO 9001:2015). DOI: [10.31030/2325651](https://doi.org/10.31030/2325651).
- DIN SPEC 91391-1:2019-04 – Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte – Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller – Teil 1: Module und Funktionen einer Gemeinsamen Datenumgebung; mit digitalem Anhang. DOI: [10.31030/3044838](https://doi.org/10.31030/3044838).
- DIN SPEC 91391-2:2019-04 – Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte – Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller – Teil 2: Offener Datenaustausch mit Gemeinsamen Datenumgebungen. DOI: [10.31030/3044839](https://doi.org/10.31030/3044839).
- Hausknecht, K.; Liebich, T. (2017): BIM-Kompodium Building Information Modeling als neue Planungsmethode. Stuttgart, ISBN: 9783816794899.
- ISO/IEC 19510:2013 – Information technology – Object Management Group Business Process Model and Notation. Identisch mit www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF.
- Schramm, M. (2018): Building Information Modeling (BIM) – Volumen und Mengen aus digitalen Geländemodellen (DGM) für die Baufortschrittsdokumentation. Masterarbeit an der HTW Dresden.
- USIBD – U.S. Institute of Building Documentation (2016): USIBD Level of Accuracy (LOA) Specification Guide, Version 2.0 – 2016. <https://usibd.org>.
- VDI 2552 Blatt 5, Building Information Modeling – Datenmanagement (2018): ICS: 35.240.67.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Clemen
HTW Dresden
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
christian.clemen@htw-dresden.de

Qualitätssystem Geodaten – von der Qualitätssicherung amtlicher Geodaten zum umfassenden Qualitätsmanagement

Nicole Šaravanja

1 Qualitätssystem Geodaten

Geodaten stehen heute im Spannungsfeld von Datenerhebung, -qualifizierung, -austausch und einer reibungslosen Integration in das Publish-Find-Bind-Prinzip als Grundprinzip einer Geodateninfrastruktur (GDI). Die Interoperabilität der Geodaten und Geodatendienste ist der Schlüsselbegriff, der sich durch die Qualitätspolitik zieht und sich in den Erwartungen, in den Qualitätszielen widerspiegelt. Der vorliegende Beitrag greift in diesem Zusammenhang zunächst den Qualitätsbegriff in Bezug auf Geodaten auf, stellt den Ansatz der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) vor, der über die Sicherung der reinen Datenqualität hinausgeht, und schließt mit einem Ausblick auf ein umfassendes Qualitätsmanagement in GDI im Sinne eines modernen Geodatenmanagements.

1.1 Der Qualitätsbegriff in Bezug auf Geodaten

Die Auseinandersetzung mit der Qualität seiner Leistung ist für den Geodaten eine natürliche Aufgabe. Der Qualitätsbegriff in Bezug auf Geodaten ist demnach bereits präzise formuliert und findet sich in der internationalen Normung in den so genannten Datenqualitätselementen (DQ-Elemente) wieder ([Abb. 1](#)). Neben diesen Qualitätselementen, die die Daten direkt beschreiben, können auch indirekte Qualitätsinformationen wie Zweck, bisherige Verwendung oder Herkunft herangezogen werden, um die Gebrauchstauglichkeit von Geodaten zu beurteilen bzw. gemäß ISO 19115 (DIN EN ISO 19115-1) in den Metadaten zu beschreiben. Als neues Qualitätselement wird mit ISO 19157 (DIN EN ISO 19157) das Usability-Element eingeführt, um die Gebrauchstauglichkeit eines Datensatzes in einem bestimmten Anwendungszusammenhang dokumentieren zu können (Šaravanja et al. 2016).

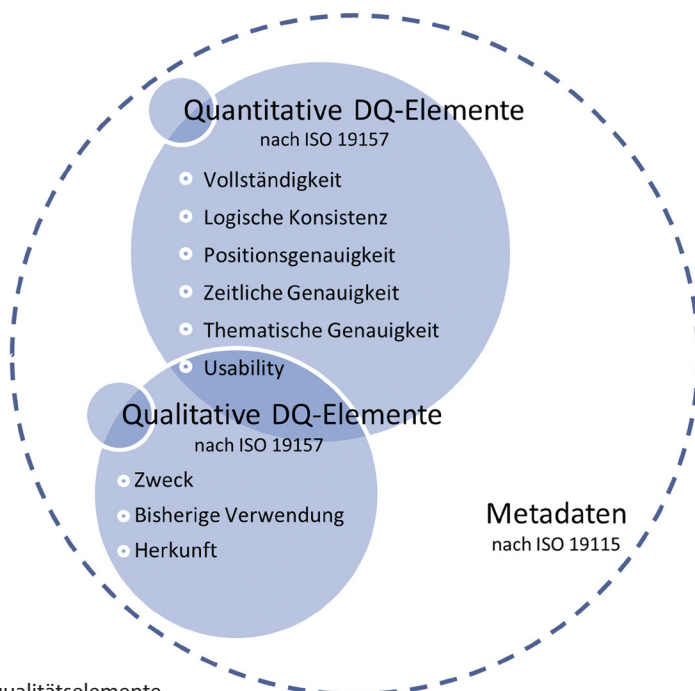


Abb. 1:

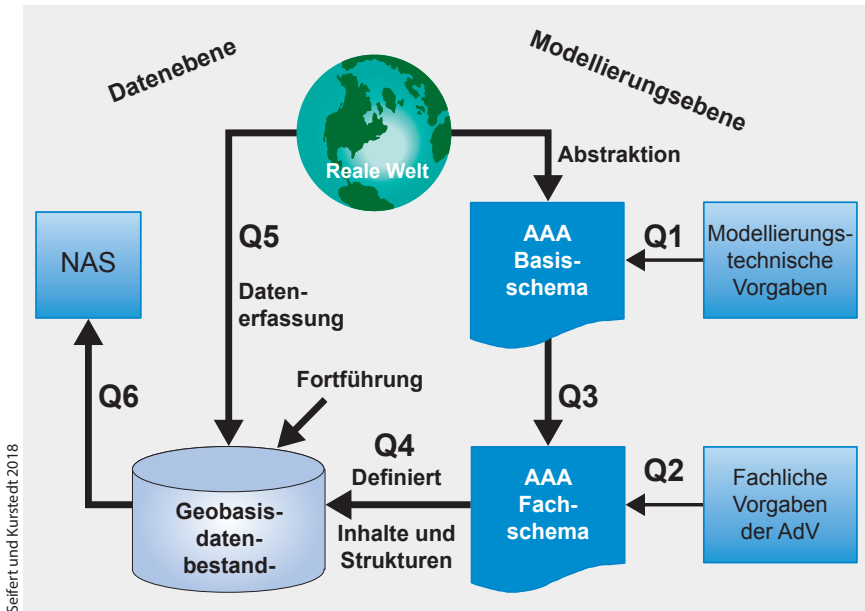
Datenqualitätselemente

nach ISO 19157 (DIN EN ISO 19157)

1.2 Qualitätssicherung amtlicher Geodaten

Nachhaltigkeit in der Qualitätssicherung der Geobasisdaten nach dem AFIS-ALKIS-ATKIS-Schema ist das Ziel, welches von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) mit dem Aufbau einer Testsuite verfolgt wird (Seifert und Kurstedt 2018). In einem Pilotprojekt wurden die in der GeoInfoDok rein textlich formulierten Anforderungen in eine softwareunabhängige Testumgebung überführt (AdV-Testsuite), so dass die im Qualitätssicherungsmodell des AAA-Projektes definierten Qualitätskriterien zu der erhobenen Geodatenbestände auf Übereinstimmung mit dem AAA-Anwendungsschema durchgeführt werden können (Abb. 2).

Um die Länder bei der Sicherung der Qualität ihrer Datenbestände gegenüber dem AAA-Anwendungsschema (Q4, vgl. Tab. 1), sowie bei der Sicherung der Qualität ihrer Austauschdaten gegenüber der NAS-Schnittstelle (Q6, vgl. Tab. 1) unterstützen zu können, mussten zunächst die Anforderungen aus den AdV-Spezifikationen für die Qualitätsprüfungen operationalisiert werden. Für



Seifert und Kurstedt 2018

Abb. 2: Das Qualitätssicherungsmodell des AFIS-ALKIS-ATKIS-Projektes

eine herstellerneutrale Umsetzung konnte auf die Software ETF, ein Test-Framework, welches aus einem europäischen Projekt (ESDIN) hervorging, aufgebaut werden.

Die Abbildung der AdV-Spezifikationen in einer herstellerneutralen Testsoftware ist Grundvoraussetzung für die Erreichung von Interoperabilität der amtlichen Geodaten. Damit sieht dieser Ansatz über den Tellerrand der reinen Datenqualität hinaus und stellt für die AdV-Mitgliedsverwaltungen einen wichtigen Baustein für die Weiterentwicklung des Geodatenmanagements dar.

2 Umfassendes Qualitätsmanagement in Geodateninfrastrukturen

Versteht man Qualitätsmanagement nicht nur als reine Kontrolle in Bezug auf die Erfüllung technischer Anforderungen, etwa im Sinne einer Qualitätssicherung von Geodaten oder Konformitätsprüfungen von Geodatendiensten, sondern als integratives Managementkonzept zur Steuerung einer GDI, so erscheint die Betrachtung der für das Geodatenmanagement im Kompetenzfeld Management definierten Schlüsselqualifikationen sinnvoll.

Tab. 1: Qualitätsprüfungsschema und Zuständigkeiten

Prüfaufgaben	Zuständigkeit	
	AdV	Länder
1. AdV-Regelwerke und Standards zur Entwicklung von Verfahren und Programmsystemen		
Qualitätssicherung des AAA-Basisschemas gegenüber den Vorgaben der AdV (Q1)	x	
Qualitätssicherung des gemeinsamen AAA-Fachschemas gegenüber den fachlichen Vorgaben der AdV (Q2)	x	
Qualitätssicherung des gemeinsamen AAA-Fachschemas gegenüber dem AAA-Basisschema (Q3)	x	
Qualitätssicherung der Datenbestände (ALKIS/ATKIS/AFIS) gegenüber dem gemeinsamen AAA-Anwendungsschema (Q4)		x
Qualitätssicherung der Austauschdaten gegenüber der NAS (Q6)		x
2. Vorgaben für die AdV-Produktqualität		
Festlegung von beschreibenden und bewertenden Qualitätsmerkmalen für einheitliche Produkte einschl. Aktualität, Einheitlichkeit, Vollständigkeit und Verfügbarkeit	x	
3. Vorgaben für Qualitätssicherung der Bestandsdaten		
Qualitätssicherung der Bestandsdaten gegenüber der fachlichen Realität (Q5)		x
4. Qualitätssicherung (als Teil des Qualitätsmanagements)		
Konformitätserklärung durch die Vermessungsverwaltungen		x

Seifert und Kurstedt 2018

2.1 Geodatenmanagement

Die Definition des Geodatenmanagements von Caffier et al. (2017) sieht insbesondere folgende Fähigkeiten gefordert:

- Projektmanagement
- Personalführung
- Vertrieb und Marketing
- Soziale Kompetenzen
- Strategieentwicklung
- Strukturierung
- Koordination und Steuerung von Prozessen
- Kommunikation mit den (Projekt-)Beteiligten

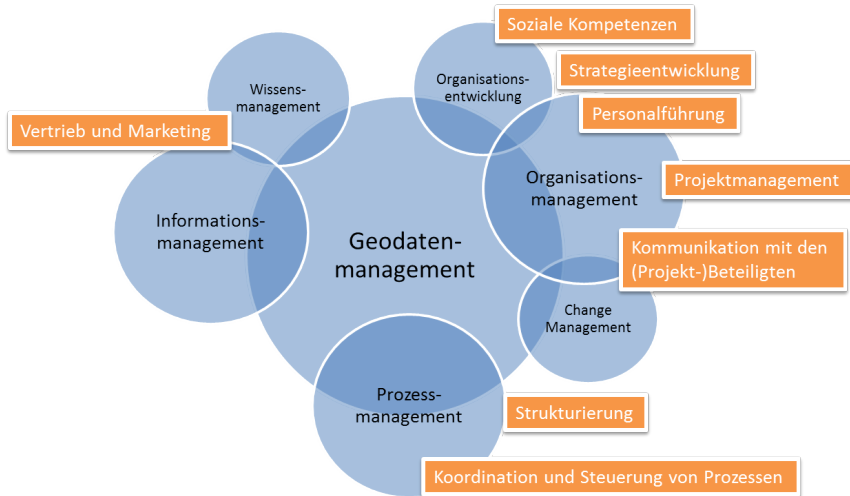


Abb. 3: Überschneidungen des Schlüsselqualifikationen des Geodatenmanagements (orange) mit anderen Managementdisziplinen (blau)

In Abb. 3 werden der Zusammenhang und die thematischen Überschneidungen des Geodatenmanagements mit weiteren Managementdisziplinen dargestellt. Die Zuordnung der dem Geodatenmanagement zugeschriebenen Schlüsselqualifikationen (vgl. Caffier et al. 2017, orange) macht deutlich, dass die Schwerpunkte in den Managementdisziplinen des Organisations- und des Prozessmanagements zu setzen sind. Über die Managementkompetenz hinaus, sind sowohl die Geo- als auch die IT-Kompetenz dem Informationsmanagement als etablierter Managementdisziplin zuzuordnen.

Der Schwerpunkt des Geodatenmanagements liegt im Organisationsmanagement verankert. Demnach liegt es nahe, für das Qualitätsmanagement von GDI einen methodischen Ansatz zu wählen, der diesem Bereich zuzuordnen ist.

2.2 Qualitätsmanagement von GDI als organisatorische Herausforderung

Das Common Assessment Framework (CAF) stellt einen Ansatz aus dem Bereich des Organisationsmanagements dar und verspricht, alle Handlungsfelder eines umfassenden Qualitätsmanagements von GDI auf Basis einer Selbstbewertung abbilden zu können. Gegenstand der Selbstbewertung nach CAF sind auf der einen Seite die so genannten Befähiger. Sie geben Auskunft über die Leistungsfähigkeit der GDI. Auf der anderen Seite werden die Ergebnisse bewertet,

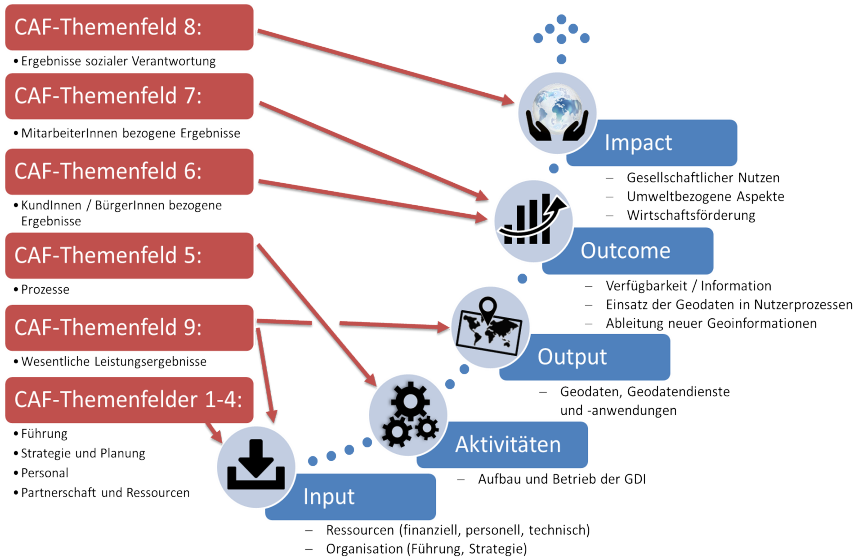


Abb. 4: Zuordnung der neun Themenfelder des CAF zu den Elementen der GDI-Wirkungskette

so dass Aussagen zur gemessenen Wirksamkeit (Effizienz und Effektivität) der GDI getroffen werden können.

In Abb. 4 sind die neun Themenfelder des CAF den Elementen einer „Wirkungskette GDI“ zugeordnet: Die Leistungsfähigkeit der GDI definiert sich über den Input, welcher in den CAF-Themenfeldern eins bis vier abgebildet ist. Die Aktivitäten zum Aufbau und Betrieb der GDI werden im Themenfeld fünf des CAF-Ansatzes als Prozesse betrachtet. Die Wirkung findet sich sowohl im Themenfeld sechs (KundInnen / BürgerInnen bezogene Ergebnisse) als Outcome als auch im Themenfeld sieben (MitarbeiterInnen bezogenen Ergebnisse) als „interner Outcome“ wieder. Die langfristigen Wirkungen einer GDI, die unter Impact zusammengefasst sind, lassen sich dem Themenfeld acht des CAF, als Ergebnisse sozialer Verantwortung zuordnen. Das Themenfeld neun „Wesentliche Leistungsergebnisse“ befasst sich mit der Effizienz der Organisation. Demnach ist hier das Verhältnis zwischen Input und Output abzubilden. Aussagen zur Effektivität hingegen lassen sich aus dem Verhältnis von Output zu Outcome bzw. Outcome zu Impact ableiten, zu finden in den Themenfeldern sechs und sieben bzw. acht des CAF-Ansatzes.

Nicht zuletzt, um den Aufwand, der in der Realisierung eines umfassenden Ansatzes, z. B. in der Umsetzung einer Prozessorientierung, steckt, zu minimieren ist eine Berücksichtigung bzw. Einbindung bereits bestehender Komponenten

ten, wie z. B. einer AdV-Testsuite oder des INSPIRE Monitorings in zu entwickelnde, ganzheitliche Qualitätsansätze nötig.

Ein entwickeltes Vorgehensmodell hierzu konnte bereits in der Anwendung innerhalb von zwei Fällen einer Fallstudie von 2016 bis 2018 mit der kommunalen Praxis in Abgleich gebracht werden.

3 Ausblick

Für die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Gewichtung von Qualitätsmerkmalen, zur Ableitung von konkreten Qualitätsindikatoren und schließlich zur Beurteilung von GDI in einem umfassenden Qualitätszusammenhang konnten mit der GDI-Südhessen und der GDI-FFM zwei starke Partner aus der Rhein-Main-Region gewonnen werden. Als ein wesentlicher Faktor für die Übertragbarkeit des CAF-Ansatzes wurde die Frage der Abbildung von GDI als eigenständige Organisationen identifiziert, daher versprochen die beiden GDI-Initiativen mit ihrer unterschiedlichen Mitgliederstruktur (innerhalb einer Organisation / über Organisationsgrenzen hinaus) wertvollen Erkenntnisgewinn.

Die Beurteilung und Einordnung der Ergebnisse aus der Fallstudie sowie die Überführung der identifizierten Wirkungszusammenhänge in eine Handlungsempfehlung inklusive eines „Methoden-Werkzeugkoffers“ für ein umfassendes Qualitätsmanagement von GDI ist derzeit in Bearbeitung.

Literatur

- Caffier, A.; Heß, D.; Müller, H.; Scheu, M.; Seifert, M.; Seuß, R. (2017): Geodatenmanagement. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 4/2017, 142. Jg., 201–210. DOI: [10.12902/zfv-0175-2017](https://doi.org/10.12902/zfv-0175-2017).
- Šaravanja, N.; Filz, E.; Seuß, R. (2016): Zur Qualität von Geodateninfrastrukturen. In: AVN 04-05/2016, 121–132, ISSN 0002-5968.
- Seifert, M.; Kurstedt, R. (2018): Automatisierte Tests amtlicher Geobasisdaten. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 1/2018, 143. Jg., 46–51. DOI: [10.12902/zfv-0187-2017](https://doi.org/10.12902/zfv-0187-2017).
- Seuß, R. (2016): Der Arbeitskreis 2 „Geoinformation und Geodatenmanagement“ berichtet. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 5/2016, DVW-nachrichten, n71–n72.

Kontakt

Nicole Šaravanja MSc (GIS)
Frankfurt University of Applied Sciences, Fachbereich 1, Labor für Geoinformation
Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt
nicole.saravanja@fb1.fra-uas.de

Qualitätsbetrachtungen zu TLS-Daten

Hans Neuner

1 Einleitung

Die Qualitätsbetrachtung gehört seit jeher zu den Grundprinzipien des geodätischen Arbeitens. Die Planung und Sicherung der Qualität erfolgt stets in Zusammenhang mit den Messungen und Auswerteergebnissen, die aufgabenbezogen zur Erfüllung einer konkreten Anforderung erstellt werden. Fasst man die beiden Komponenten in Konformität mit der Einteilung der Modellbildung in der Geodäsie in Messmodelle und geodätische Modelle auf, wie sie etwa von Kutterer (2002) vorgestellt wird, so kann in einem übergeordneten Kontext von einer Verknüpfung zwischen der Qualitätsbetrachtung und der konkreten Modellbildung ausgegangen werden. Messmodelle beziehen die ursprünglichen Messungen auf das geodätische Modell und umfassen die dafür notwendigen Korrekturen und Reduktionen sowie das Unsicherheitsmodell der Messung (meist in der Form eines stochastischen Modells). Das geodätische Modell beinhaltet die mathematisch-physikalischen Beziehungen zwischen den Messungen und den interessierenden Ergebnisgrößen sowie die Verfahren zur Übertragung der Unsicherheit auf Letztere.

Geodätische Netze gelten als Paradebeispiel für geodätische Aktivitätsbereiche, in denen die beiden Modellkategorien mit einem in sich abgestimmten und theoretisch schlüssigen Qualitätsmodell verknüpft sind. Darin werden ausgehend von Messmodellen in Form von Kovarianzmatrizen der Messungen und von Korrekturmodellen für die systematischen Abweichungen Vorgehensweisen zur Bemessung der Qualität der geschätzten Parameter und daraus abgeleiteter Funktionen entwickelt. Diese haben mittlerweile eine breite Akzeptanz, die über die Grenzen der Geodäsie hinwegreicht. Unter der Qualitätsbetrachtung versteht man primär die Genauigkeits- und die Zuverlässigkeitsanalyse anhand etablierter Maße, z. B. die $(1-\alpha)$ -Konfidenzellipse bzw. der kleinste detektierbare grobe Fehler. Die transparente Dokumentation in den Lehrbüchern (z. B. Heu-necke et al. 2013) und die Bereitstellung durch die meisten Softwarepakete der Ausgleichsrechnung sind wesentliche Beitragsfaktoren zur Etablierung dieser Maße in der geodätischen Praxis.

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist mittlerweile für viele geodätische Aufgabenbereiche etabliert. Anders als im Falle der geodätischen Netze ist hierfür jedoch noch kein umfassendes Qualitätsmodell verfügbar. Die Herausforderung bei dessen Erstellung resultiert auch daraus, dass sowohl das Messmodell

als auch das geodätische Modell aktuell nur in Teilen durchdrungen sind. Auf die notwendige Einbeziehung beider Modellkategorien bei der Qualitätsbetrachtung von Laserscans weist bereits Vennegeerts (2010) hin. Die Sichtweise wird von Heinz et al. (2018) in Zusammenhang mit der Betrachtung der Genauigkeit von Ergebnissen beim Laserscanning bekräftigt.

Ein Grund für die Komplexität der Aufstellung eines umfassenden Qualitätsmodells für das TLS folgt durch die Verknüpfung der beiden Modellkategorien bereits in den einzelnen Phasen eines Projektes oder sogar in den Einzelschritten, die darin vorzunehmen sind. Beispielhaft dafür sei die Registrierung mit Zielmarken genannt. Hierbei besteht ein Einzelschritt aus der Schätzung der Zielmarkenzentren aus zum Teil dedizierten Messungen mit einem entsprechenden Algorithmus. Das Zusammenspiel zwischen Messungen in diversen Konfigurationen (Distanzen), Zielmarkendesigns und Auswertalgorithmen werden von Janßen et al. (2018) eingehend in Bezug auf die erreichbare Präzision untersucht. Scannertyp, Auflösung und Qualitätsstufe blieben in den Versuchen konstant. Bei der Gegenüberstellung der Auswertalgorithmen für die Zentrumsschätzung der Zielmarken konnten unter Wiederholbedingungen bis zu einer Distanz von 50 m Standardabweichungen in radialer Richtung von bis zu $\sigma_r \approx 0,3$ mm und in tangentialer Richtung von bis zu $\sigma_w \approx 0,2$ mm erreicht werden. Der Vergleich von Zielmarken mit variierender Größe, Material, Oberflächenbeschaffenheit, Farbe und Reflexionsgrad hat keine Unterschiede in den Wiederholstandardabweichungen aufgezeigt. In einem Praxistest wurde infolge des Einsatzes eines neuen Zielzeichentyps in Verbindung mit der Schätzung über Bildkorrelationen eine mittlere absolute Abweichung der Registrierung über sechs Zielzeichen von 2 mm erreicht.

Neben den gemeinsam für beide Modellkomponenten erfolgten Qualitätsbetrachtungen sind zahlreiche wertvolle Beiträge zum Qualitätsmodell geleistet worden, die das Messmodell – hierbei insbesondere die Distanzmessung – betreffen. Der Umfang einer solchen Qualitätsbetrachtung geht aus [Abb. 1](#) hervor, in der Faktoren, die einen Einfluss auf das Ergebnis einer reflektorlosen Distanzmessung beim TLS haben, zusammengetragen sind.

Einige existierende Regelwerke mit Bezug zur Qualität von terrestrischen Laserscans zielen auf die Bewertung der Qualität in Zusammenhang mit Messmodellen ab. Es sind einerseits Prüfmethoden für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des eingesetzten Gerätes und andererseits Kalibrieransätze zur Schätzung systematischer Abweichungen dokumentiert. Vorschläge zur Prüfung von TLS sind in Gottwald et al. (2008) sowie Staiger und Heister (2013) zu finden. Prüfkriterien wie Genauigkeit, Geometrietreue, Messgeschwindigkeit und erzielbare Reichweiten werden von Wunderlich et al. (2103) für den objektiven Vergleich von Laserscannern verschiedener Hersteller eingeführt. Herauszustellen ist in diesem Kontext das DVW-Merkblatt 7-2014 (DVW 2014), welches

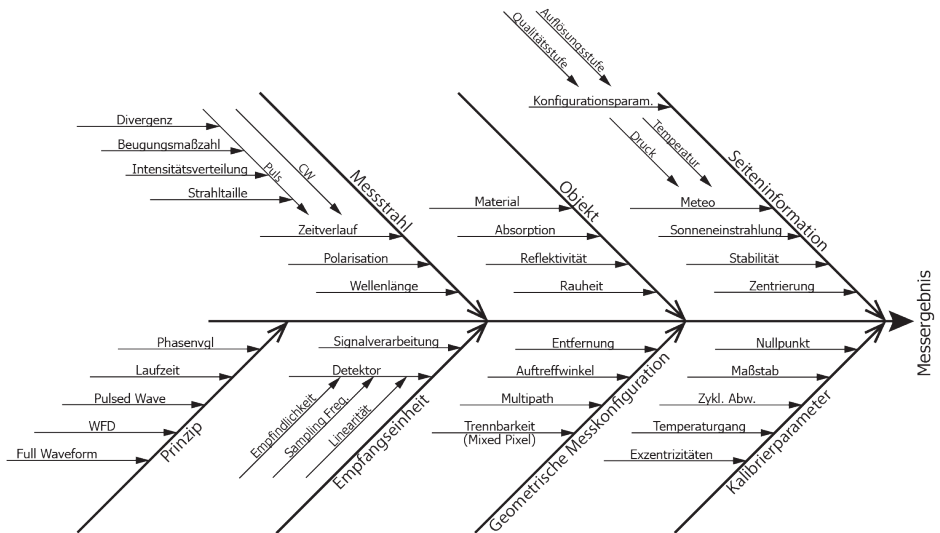


Abb. 1: Überblick der Einflussfaktoren auf die reflektorlose Distanzmessung beim TLS

der standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern gewidmet ist. Die im DVW-Merkblatt beschriebene Vorgehensweise der Prüfung soll die Aufdeckung systematischer Abweichungen in der Distanz- und Winkelkomponenten ermöglichen, wobei die Systematik als Gesamteffekt betrachtet wird. Maße dafür sind Differenzen zwischen der Bestimmung gleicher Distanzen von zwei unterschiedlichen Standpunkten. Diese Differenzen werden Grenzwerten gegenübergestellt, die als Vielfaches der Unsicherheit bei der Bestimmung eines Zielzeichenmittelpunktes resultieren. Referenzwerte hierfür könnten beispielsweise Herstellerangaben oder Untersuchungen wie die von Janßen et al. (2018) liefern.

Die Prüfung terrestrischer Laserscanner ist auch Inhalt der kürzlich erschienenen ISO 17123-9 (ISO 17123-9, 2018). Der dafür vorgesehene Messaufbau bleibt weitgehend gleich zum DVW-Merkblatt. Wesentliche Erweiterungen dazu sind die Differenzierung zwischen einer einfachen und einer erweiterten Prüfprozedur, die Einführung von Konfigurationen für Zwei-Lagen-Messungen – falls diese vom untersuchten Scanner unterstützt werden – zur Herausstellung entsprechender systematischer Effekte sowie die umfassende Darlegung der Herleitung der Unsicherheit für die Streckendifferenzen der beiden Standpunktbestimmungen. Die Prüfung beruht weiterhin auf Vergleichen der Distanzbestimmungen von zwei Standpunkten. Damit ist mit Ausnahme einer Nullpunktabweichung im Allgemeinfall keine differenzierte Lokalisierung der Systematiken, die zu signifikanten Unterschieden führen, möglich. Die erweiterte

Untersuchung sieht das dreifache Scannen der Zielmarken von jedem Standpunkt und eine daran angepasste Schätzung der Unsicherheit des Scanners vor. Zudem erfolgen die Beurteilungen zur Übereinstimmung dieser Unsicherheit mit den Herstellerangaben sowie der homogenen Präzision der Messungen der beiden Standpunkte anhand statistischer (χ^2 - bzw. F-)Tests.

Aktuell sind an verschiedenen Standorten TLS-Prüffelder eingerichtet. Die meisten davon stellen in Erweiterung zum DVW-Merkblatt Soll-Werte der Zielmarken zur Verfügung und ermöglichen dadurch die Schätzung ausgewählter systematischer Abweichungen (häufig in Übereinstimmung mit den bekannten systematischen Abweichungen des Tachymeter-Modells). Aus den überschüssigen Vergleichen werden auch die mittlere absolute Abweichung der Distanzmessung bzw. der abgeleiteten Koordinaten der Zielmarkenpunkte angegeben. Stellvertretend sei die im Prüffeld der Uni Bonn festgestellte mittlere absolute Abweichung zwischen Distanzmessungen in erster und zweiter Lage von bis zu 4,5 mm bei Entfernungen bis 45 m für den Leica P20 Scanner genannt. Einen vergleichenden Überblick der in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen auf den unterschiedlichen Prüffeldern geben Holst et al. (2018). Eine Schlussfolgerung dieser breit angelegten Studie ist, dass Herstellerangaben realistische Anhaltspunkte für die Unsicherheit der Messgrößen bzw. für daraus abgeleitete Schätzgrößen wie Zielmarkenmittelpunkte sind.

Die Kalibrierung ermöglicht eine Senkung oder zumindest die zeitliche Beibehaltung der Messunsicherheit. Dies geschieht infolge der Schätzung systematischer Abweichungen basierend auf Vergleichen zwischen Messergebnissen und Soll-Größen. TLS für den geodätischen Einsatz sind im Normalfall herstellerseitig kalibriert. Die hierbei verfolgten Strategien stellen Holst et al. (2016) zusammen. Ein 18 Parameter umfassendes Kalibriermodell stellt das National Institute of Standards and Technology (NIST) für Laserscanner mit rotierendem Spiegel im Messkopf (typischer Aufbau für Panoramascanner) vor (Murlikrishnan et al. 2015). Die Parameter werden in insgesamt fünf unterschiedlichen Messanordnungen ermittelt, von denen einige aufgrund der Analogie zum Aufbau des Lasertrackers dem ASME B89.4.19-2006 Standard entsprechen. Die Autoren weisen darauf hin, dass nicht alle 18 Parameter unabhängig bestimmbar sind. Herstellerunabhängig eingerichtete Kalibrierfelder greifen dieses Modell auf und bieten die Infrastruktur, um aus Zwei-Lagen-Messungen zu Zielzeichen und/oder unter Hinzunahme von Soll-Größen die schätzbaren Kalibrierparameter zu bestimmen. Die Schätzung erfolgt abhängig davon, ob Bedingungen (z. B. Identitätsbedingungen für Zielmarken, die von unterschiedlichen Standpunkten beobachtet werden) oder Beobachtungsgleichungen (z. B. Darstellung der Widersprüche zwischen Zwei-Lagen-Messungen als Funktion der Kalibrierparameter) formuliert werden, in einem Gauß-Helmert-Modell bzw. in einem Gauß-Markov-Modell. Empirische Werte der Kalibrierparameter und zugehörige

Standardabweichungen werden für den Laserscanner Leica P20 bei Medić et al. (2017) angegeben. Über die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Kalibrierprozedur im Rahmen eines breit angelegten Tests mit Laserscannern verschiedener Hersteller berichten Muralikrishnan et al. (2016).

Die obigen Ausführungen zeigen, dass zahlreiche und vielfältige Beiträge zu einem Qualitätsmodell für Laserscans vorliegen. Diese beziehen auf unterschiedlichen Ebenen und Weisen das Messmodell und/oder das geodätische Modell ein. Mit Blick auf die Unsicherheit des Messverfahrens sind in diesem Sinne auch zahlreiche numerische Angaben verfügbar, die in weiterführende Arbeiten einfließen können. Um dies zu betonen, wurden in den obigen Ausführungen konkrete numerische Werte beispielhaft angegeben. Das Ziel dieses Beitrages ist es, mögliche Wege zu einer auf Unsicherheit/Genauigkeit und Zuverlässigkeit beschränkten Qualitätsbetrachtung von terrestrischen Laserscans aufzuzeigen. Der Schwerpunkt liegt auf der Herleitung von Kovarianzmatrizen für terrestrische Laserscans im Rahmen der Erstellung von Messmodellen und auf der Analyse der inneren Zuverlässigkeit im Rahmen von geodätischen Modellen, die im Gauß-Helmert-Ansatz formuliert werden. Den beiden Aspekten ist jeweils ein Kapitel in diesem Beitrag gewidmet. In einem abschließenden Ausblickkapitel werden Ansätze zur Erweiterung der Qualitätsbetrachtung um die Wirtschaftlichkeit sowie um weitere Qualitätsmerkmale vorgestellt.

2 Qualitätsbetrachtung für Messmodelle: Kovarianzmatrix für terrestrische Laserscans

2.1 Präzision und Unsicherheit der Messgrößen – Einträge auf der Hauptdiagonalen

Die entscheidende Erkenntnis für die Quantifizierung der Präzision einer Distanzmessung beim terrestrischen Laserscanning betrifft den Zusammenhang zwischen der Intensität des empfangenen Messstrahls und der Standardabweichung der Distanzmessung. Dieser Zusammenhang wurde auf experimentellem Wege von Wujanz et al. (2017) zunächst für Scanner mit Distanzmessprinzip nach dem Phasenvergleichsverfahren, die zudem eine Messung im 1D-Modus erlauben, nachgewiesen. In den durchgeführten Messversuchen wurden die beiden Rotationsbewegungen des Scanners fixiert, was die wiederholte Messung eines Punktes ermöglicht. Für einen bestimmten Messaufbau wurde die Wiederholstandardabweichung der Distanzmessung sowie ein mittlerer Intensitätswert berechnet. Durch die sequenzielle Variation von Einflussparametern auf die Distanzmessung, wie z. B. Entfernung, Reflektivität, Auftreffwinkel und Material, konnte festgestellt werden, dass sich die gegen die Intensitätswerte

aufgetragenen Wiederholstandardabweichungen stets entlang der gleichen Kurve anordnen (siehe Abb. 2 für die Variation des Auftreffwinkels, des Materials und der Entfernung). Dies erlaubt es, nach der parametrischen Beschreibung dieser Kurve (siehe hierzu (1)), ausgehend von zugehörigen Intensitätswerten auf die Wiederholstandardabweichung der Distanzmessung zu schließen.

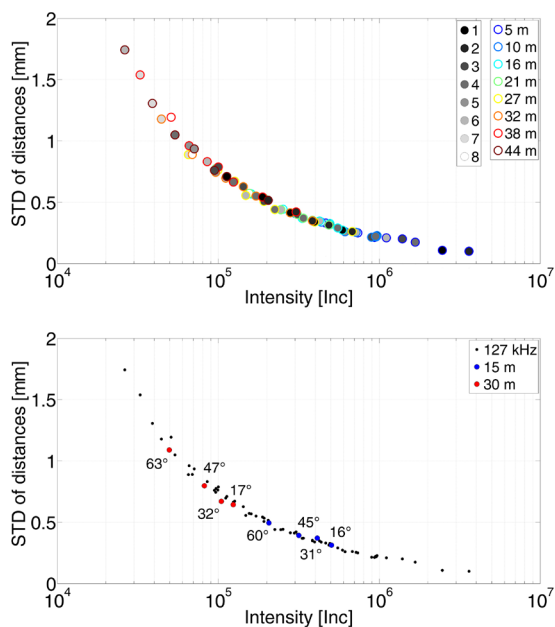


Abb. 2:
Wiederholstandard-
abweichung der Distanz-
messung in Abhängigkeit
der Intensität unter variie-
renden Einflussparametern:
Reflektivität und Entfer-
nung (oben), Auftreffwinkel
und Entfernung (unten)

Wujanz et al. 2017

Weiterführende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Parameter der Kurven in Abhängigkeit der gewählten Samplingfrequenz zu ermitteln sind, wobei die generelle funktionale Struktur der Variation erhalten bleibt.

Die Übertragung des Konzeptes auf die Quantifizierung der Präzision für Scannertypen, die den 1D-Modus nicht unterstützen, sowie auf Instrumente, die andere Prinzipien der Distanzmessung nutzen (z. B. Laufzeitmessung oder hybride Messverfahren), findet sich bei Wujanz et al. (2018). Die Testprozedur verwendet ebene Flächen mit variierenden radiometrischen Eigenschaften. Die Ebenheitsabweichung liegt unterhalb des Auflösungsvermögens des Scanners. Die Ebenen werden in Richtung der Normalen und in verschiedenen Distanzen gescannt. Analysiert wird der Verlauf der Standardabweichungen nach der jeweiligen Ebenenausgleichung in Abhängigkeit der mittleren Intensität pro Messaufbau (siehe Abb. 3).

Das resultierende stochastische Modell hat folgende funktionale Struktur:

$$\sigma_D = a \left(\text{Intensitätswert} \right)^b + c. \quad (1)$$

Die Schätzwerte der Koeffizienten a , b , c folgen aus der Bestanpassung der Funktion (1) an den Verlauf der Standardabweichung (siehe Abb. 3). Die Vorgehensweise wird mit einem stochastischen Referenzmodell, das im 1D-Modus erstellt wurde, validiert.

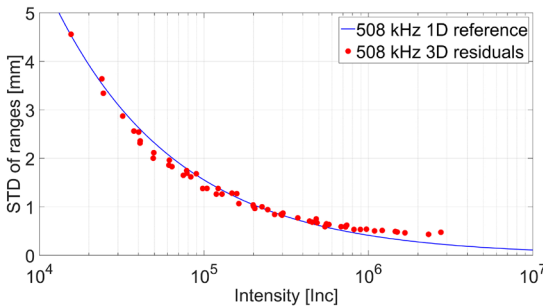


Abb. 3:
Standardabweichung der Distanzmessung in Abhängigkeit der Intensität bestimmt aus 3D-Messungen (in blau: stochastisches Referenzmodell bestimmt aus 1D-Messungen)

Wujanz et al. 2018

Im praktischen Anwendungsfall können nun anhand der untransformierten Intensitätswerte die Hauptdiagonalelemente der Kovarianzmatrix für die Distanzmessungen mit den entsprechenden quadrierten Funktionswerten aus (1) besetzt werden.

Eine zweite Möglichkeit, die Hauptdiagonale einer Kovarianzmatrix im Messmodell zu befüllen, bietet der Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM) (JCGM 100:2008). Darin wird eine transparente und möglichst umfassende Vorgehensweise für die Herleitung der Unsicherheit eines Messergebnisses beschrieben. Die Übertragung der Unsicherheit auf Ergebnisgrößen, die sich aus den Messergebnissen ableiten, mit der Monte-Carlo-Methode beschreibt das Supplement 1 des Leitfadens (JCGM 101:2008). Für die Grundkonzepte der Vorgehensweise nach GUM sei an dieser Stelle auf den Beitrag von Zhang und Schwieger (2019) in diesem Band verwiesen. Eine Umsetzung für das terrestrische Laserscanning soll anhand der Richtungsmessung am Drehkreis (entspricht dem Horizontalkreis beim horizontierten Instrument) des Scanners beispielhaft veranschaulicht werden. Die Beobachtungsgleichung ist unter Berücksichtigung einiger Kalibrierterme gegeben durch:

$$\varphi = \bar{\varphi} + \frac{c}{\sin(\theta)} + \frac{i}{\tan(\theta)} + \zeta_{\varphi}. \quad (2)$$

Darin sind $\bar{\varphi}$ das rohe Messergebnis, θ der Kippwinkel (entspricht dem Zenitwinkel beim horizontierten Instrument), c die Zielachsabweichung (entspricht dem Term x_6 im Kalibriermodell von Medić et al. 2017 sowie Muralikrishnan et al. 2015), i die Kippachsabweichung (entspricht dem Term x_7 im Kalibriermodell von Medić et al. 2017 sowie Muralikrishnan et al. 2015) und ζ die Auflösung des Messsystems. Aus Anschaulichkeitsgründen werden in (2) nur eine kleine Auswahl möglicher Einflussfaktoren einbezogen. Erweiterungen in Anlehnung an die oben genannten Kalibriermodelle sind im praktischen Einsatz notwendig. Unter der Berücksichtigung der Standardunsicherheit u_j der einzelnen Einflussfaktoren ($j = \bar{\varphi}, \theta, c, i, \zeta$) und unter der Annahme ihrer Unabhängigkeit folgt die kombinierte Unsicherheit der Richtungsmessung u_φ :

$$u_\varphi^2 = c_{\bar{\varphi},\varphi}^2 u_{\bar{\varphi}}^2 + c_{\theta,\varphi}^2 u_\theta^2 + c_{c,\varphi}^2 u_c^2 + c_{i,\varphi}^2 u_i^2 + c_{\zeta,\varphi}^2 u_\zeta^2. \quad (3)$$

Die einzelnen Standardunsicherheiten der Einflussfaktoren sind in Tab. 1 aufgeführt. Die Standardunsicherheiten der Messergebnisse sind Datenblättern entnommen und stellen Unsicherheiten vom Typ A dar. Die Unsicherheiten der Ziel- und Kippachsabweichung werden dem Beitrag von Medić et al. (2017) entnommen, während die Unsicherheit der Auflösung eine reine Abschätzung darstellt. Die drei letztgenannten Standardunsicherheiten sind vom Typ B. Die Koeffizienten c_j in (3) sind die so genannten Sensitivitätskoeffizienten und ergeben sich aus der partiellen Ableitung von (2) nach den einzelnen Einflussfaktoren. Entsprechende Formeln und Werte sind in Tab. 2 dargelegt.

Unter Berücksichtigung der Werte aus den Tabellen 1 und 2 in (3) resultiert eine kombinierte Unsicherheit dieser Richtungsmessung von $u_\varphi = 9,3''$. Die analoge Vorgehensweise ist für die weiteren Richtungsmessungen anzuwenden (infolge der Änderung des Winkels θ). Methodisch analog verläuft auch die Herleitung der kombinierten Unsicherheit für die weiteren Messgrößen. Mit der

Tab. 1: Übersicht der Standardunsicherheiten bei der Herleitung der kombinierten Messunsicherheit einer Richtungsmessung

Unsicherheitsquelle	Wert	Typ	Verteilung	Standardunsicherheit u_j	Quelle
Messergebnis φ		A	normal	8''	Datenblatt
Messergebnis θ	30°	A	normal	8''	Datenblatt
Zielachsabweichung c	0	B	gleich	0,2''	Medić et al. 2017
Kippachsabweichung i	0	B	gleich	2,7''	Medić et al. 2017
Auflösung ζ_φ	0	B	gleich	0,1''	Abschätzung

Tab. 2: Sensitivitätskoeffizienten für die Herleitung der kombinierten Messunsicherheit einer Richtungsmessung

Sensitivitätskoeffizienten
$c_{\bar{\varphi},\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial \bar{\varphi}} = 1$
$c_{\theta,\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = - \left[\frac{c \cos(\theta)}{\sin^2(\theta)} + \frac{i}{\sin^2(\theta)} \right] \frac{1}{\rho''} = 0$
$c_{c,\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial c} = \frac{1}{\sin(\theta)} = 2$
$c_{i,\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial i} = \frac{1}{\tan(\theta)} = 1,73$
$c_{\zeta_\varphi,\varphi} = \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta_\varphi} = 1$

Aufstellung der Gleichungen der Form (2) ergeben sich enge Bezüge zu den Kalibriermodellen, z. B. Muralikrishnan et al. (2015), sowie zur gesamtheitlichen Betrachtung der Einflussfaktoren auf das Messergebnis, wie in [Abb. 1](#) skizziert.

2.2 Aufstellung einer synthetischen Kovarianzmatrix

Wenn die Aufstellung einer vollbesetzten Kovarianzmatrix empirisch nicht möglich ist oder zu aufwendig erscheint, dann bietet das Kovarianzfortpflanzungsgesetz in Zusammenhang mit dem Elementarfehlermodell eine elegante Alternative. Die resultierende Matrix wird als synthetische Kovarianzmatrix bezeichnet. Die Grundidee besteht darin, die entstehende Gesamtabweichung eines Messergebnisses als additive Überlagerung vieler differenziell kleiner Einflüsse auf die Messung, der so genannten Elementarfehler, aufzufassen. Allgemein wird zwischen nicht-korrelierend (wirken sich nur auf ein Messergebnis aus) und funktional korrelierende (wirken sich auf mehrere Messergebnisse aus) Elementarfehler unterschieden. Schwieger (1999) erweitert diese Klassifikation um stochastisch korrelierende Elementarfehler anlässlich der Aufstellung einer synthetischen Kovarianzmatrix für GPS-Messungen. Die Zusammenführung der drei Kategorien wird in (4) für n -Beobachtungsabweichungen ε dargestellt:

$$\underset{(n,1)}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \sum_{k=1}^p \underset{(n,n)}{\mathbf{D}_k} \underset{(n,1)}{\boldsymbol{\delta}_k} + \underset{(n,m)}{\mathbf{F}} \underset{(m,1)}{\boldsymbol{\xi}} + \sum_{h=1}^q \underset{(n,n)}{\mathbf{G}_h} \underset{(n,1)}{\boldsymbol{\gamma}_h}. \quad (4)$$

Darin sind $\boldsymbol{\delta}$ die p nicht korrelierend wirkenden Elementarfehler, $\boldsymbol{\xi}$ die m funktional korrelierenden Elementarfehler und $\boldsymbol{\gamma}$ die q stochastisch korrelierenden Elementarfehler. Die zugehörigen Matrizen \mathbf{D}_k , \mathbf{F} und \mathbf{G}_h werden Einflussmatrizen genannt. Auf die Struktur dieser Matrizen wird im Einzelnen hier nicht eingegangen, sondern auf den Beitrag von Schwieger und Zhang (2019) in diesem Band verwiesen. Die Anwendung des Kovarianzfortpflanzungsgesetzes auf (4) führt in der Annahme der stochastischen Unabhängigkeit zwischen den Kategorien unmittelbar zur Kovarianzmatrix der n Messungen $\boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon\varepsilon}$:

$$\boldsymbol{\Sigma}_{\varepsilon\varepsilon} = \sum_{k=1}^p \underset{(n,n)}{\mathbf{D}_k} \underset{(n,n)}{\boldsymbol{\Sigma}_{\delta\delta,k}} \underset{(n,n)}{\mathbf{D}_k^T} + \underset{(n,m)}{\mathbf{F}} \underset{(m,m)}{\boldsymbol{\Sigma}_{\xi\xi}} \underset{(n,m)}{\mathbf{F}^T} + \sum_{h=1}^q \underset{(n,n)}{\mathbf{G}_h} \underset{(n,n)}{\boldsymbol{\Sigma}_{\gamma\gamma,h}} \underset{(n,n)}{\mathbf{G}_h^T}. \quad (5)$$

Für die Herleitung der gesuchten Kovarianzmatrix müssen in einer Analyse und Modellierung des Beobachtungsvorgangs die Einflussmatrizen der Elementarfehler auf das Messergebnis aufgestellt werden. Zudem gilt es, die jeweiligen Kovarianzmatrizen durch Varianzen und Korrelationen zu befüllen. Hierfür können beispielsweise die Ergebnisse aus einzelnen empirischen Untersuchungen einfließen. Um dies herauszustellen, wurden bewusst im einführenden Kapitel auch beispielhaft Zahlenwerte für die jeweils erzielten Ergebnisse genannt. Sind die Beträge einzelner Elementarfehler geschätzt, so kann bei Kenntnis ihrer Verteilung auf deren Varianz geschlossen werden.

Für das terrestrische Laserscanning haben Kauker und Schwieger (2017) eine erste synthetische Kovarianzmatrix entworfen. Besondere Aufmerksamkeit hat dabei die Distanzmessung erfahren, für die instrumentelle, atmosphärische, objekt- und messkonfigurationsseitige Elementarfehler berücksichtigt worden sind. In diesem Zusammenhang gewinnt auch die Darstellungsform der möglichen Einflussfaktoren auf die Distanzmessung aus [Abb. 1](#) an Bedeutung. Für die Richtungsbeobachtungen wurden ausschließlich instrumentelle Elementarfehler berücksichtigt. Die Auswirkung der instrumentellen Elementarfehler auf das Messergebnis wird ausgehend vom tachymetrischen Modell berücksichtigt. Durch die funktionale Beschreibung der Zusammenhänge ergeben sich enge Bezüge zu den Kalibriermodellen, wodurch sich für fortführende Forschungsarbeiten eine Erweiterung um die im ersten Kapitel erwähnten Modelle anbietet. Elementarfehler, die durch Atmosphäre, Objekt und Messkonfiguration entstehen, werden stochastisch korrelierend modelliert. Ein Überblick der berücksichtigten einzelnen Elementarfehler sowie die Art ihrer Modellierung sind in [Tab. 3](#) aufgeführt.

Tab. 3: Übersicht der berücksichtigten Elementarfehler bei der Aufstellung der synthetischen Kovarianzmatrix für TLS-Beobachtungen

Kategorie	Elementarfehler
Nicht-korrelierend	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rauschen der Distanzmessung ▪ Rauschen der Winkelmessung
Funktional korrelierend	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maßstabsabweichung der Distanzmessung ▪ Nullpunktabweichung der Distanzmessung ▪ Zielachsabweichung ▪ Kippachsabweichung ▪ Indexabweichung ▪ Taumelfehler ▪ Exzentrizität der Zielachse
Stochastisch korrelierend	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Objekteigenschaften und Messkonfiguration: Eindringen ins Material, Rauheit, Reflektivität, Farbe, Auftreffwinkel ▪ Refraktion (Temperatur, Druck)

Kauker und Schwieger 2017

Beispielhaft für die Einbeziehung der funktional korrelierenden Elementarfehler sei die Auswirkung der Nullpunkt- und Maßstabsabweichung auf die Distanzmessung betrachtet. Die funktionalen Beziehungen ergeben sich für n gemessene Distanzen zu

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ \vdots \\ s_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0 + m \bar{s}_1 \\ \vdots \\ k_0 + m \bar{s}_n \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & \bar{s}_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \bar{s}_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{F}} \underbrace{\begin{pmatrix} k_0 \\ m \end{pmatrix}}_{\mathbf{\xi}}. \quad (6)$$

Darin sind \bar{s}_i , mit $i = 1, \dots, n$, die Messwerte der Distanzen. Damit folgt aus (5) folgender Beitrag zur synthetischen Kovarianzmatrix:

$$\mathbf{F} \Sigma_{\xi\xi} \mathbf{F}^T = \begin{pmatrix} 1 & \bar{s}_1 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & \bar{s}_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{k_0}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_m^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \bar{s}_1 & \dots & \bar{s}_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{k_0}^2 + \bar{s}_1^2 \sigma_m^2 & \dots & \sigma_{k_0}^2 + \bar{s}_1 \bar{s}_n \sigma_m^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{k_0}^2 + \bar{s}_1 \bar{s}_n \sigma_m^2 & \dots & \sigma_{k_0}^2 + \bar{s}_n^2 \sigma_m^2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Die resultierende Matrix ist voll besetzt, obwohl die Elementarfehler untereinander unkorreliert sind. Die Nebendiagonaleinträge haben die Form $\sigma_{k_0}^2 + \bar{s}_i \bar{s}_j \sigma_m^2$

und sind damit verschieden von Null. Wie aus (7) hervorgeht, müssen in diesem betrachteten Fall die Schätzwerte der Elementarfehler nicht bekannt sein. Lediglich Abschätzungen ihrer Varianzen werden benötigt. Für den Laserscanner Leica HDS 7000 greifen Schwieger und Kauker (2017) auf Maximalangaben zum Nullpunkt und Maßstab in der Dissertation von Gordon (2008) zurück und leiten unter Annahme der Normalverteilung die benötigten Varianzen ab.

Für stochastisch korrelierende Elementarfehler soll beispielhaft die Einbeziehung messkonfigurationsseitiger Abweichungen in Anlehnung an Kauker und Schwieger (2017) dargelegt werden. Die Einträge in die diagonale Einflussmatrix $\mathbf{G}_{\text{Konfig}}$ (entspricht beispielsweise G_h mit $h = 1$ aus (5)) folgen aus dem Produkt der Einflüsse durch den Auftreffwinkel β und durch die Distanz \bar{s} :

$$g_{i,i} = \frac{1}{\cos(\beta_i)} \cdot \frac{\bar{s}_i^2}{s_{\max}^2}. \quad (8)$$

Die beiden Komponenten sind physikalisch durch die Intensitätsverteilung im Lambertschen Strahler bzw. durch die quadratische Abnahme der Intensität mit der Entfernung begründet. In (8) referenziert i die i -te gemessene Distanz und damit stellt g_{ii} den Eintrag an der Stelle (i, i) auf der Hauptdiagonalen der Matrix $\mathbf{G}_{\text{Konfig}}$ dar. Die korrelative Wirkung der Elementarfehler wird in Abhängigkeit der relativen geometrischen Eigenschaften der beiden Auftreffpunkte modelliert:

$$\rho_{i,j} = \exp\left(-\frac{|\bar{s}_i^2 - \bar{s}_j^2|}{a s_{\max}^2}\right) \exp\left(-\frac{1}{a} \left| \frac{1}{\cos(\beta_j)} - \frac{1}{\cos(\beta_i)} \right| \right). \quad (9)$$

Darin ist a eine empirisch festgesetzte Konstante. Das Varianzniveau für die Überführung der Korrelationen (9) in Kovarianzen und die entsprechenden Einträge auf der Hauptdiagonalen der Matrix $\Sigma_{\gamma\gamma, \text{Konfig}}$ ist Untersuchungen von Soudarissanane et al. (2011) entnommen.

Die Einbeziehung der restlichen Elementarfehler findet methodisch analog zu den oben besprochenen Beispielen statt, so dass auf diesem Wege eine vollbesetzte Kovarianzmatrix für TLS-Messungen verfügbar wird. Die Verwendung einer vollbesetzten Kovarianzmatrix in der geodätischen Modellbildung hat einen funktionalen und einen stochastischen Einfluss auf die geschätzten Ergebnisgrößen. Der funktionale Einfluss lässt sich als Differenz zwischen den geschätzten Parametern zweier Ausgleichungen, mit vollbesetzter Kovarianzmatrix Σ_{\parallel} und mit Einheitsmatrix \mathbf{I} als stochastisches Modell, herausstellen:

$$\hat{\mathbf{x}} - \hat{\mathbf{x}}_I = \left(\mathbf{A}^T \Sigma_{\parallel}^{-1} \mathbf{A} \right)^{-1} \mathbf{A}^T \Sigma_{\parallel}^{-1} \hat{\mathbf{v}}_I. \quad (10)$$

In (10) sind A die Designmatrix und v_i die Verbesserungen im Ansatz der Einheitsmatrix als stochastisches Modell. Letztere sind die einzige stochastische Größe auf der rechten Seite der Gleichung (10). Im Falle eines korrekten stochastischen und funktionalen Modells ist der Erwartungswert der Verbesserungen null. Der Erwartungswert der Differenz der beiden Schätzungen ist daher ebenfalls null. Kauker et al. (2017) zeigen anhand simulierter Daten, dass die Einbeziehung der richtigen und vollbesetzten Kovarianzmatrix in eine Ausgleichung zu der Schätzung unbekannter Parameter mit der geringsten Standardabweichung führt. Eine realistische stochastische Modellierung des Fehlerhaushaltes von Laserscannern stellt daher einen deutlich erkennbaren Mehrwert für die Ergebnisse der geodätischen Modellbildung dar. Die Synthese der Forschungsarbeiten aus diesem Kapitel zeigt die existierenden Möglichkeiten auf, um eine derartige stochastische Modellierung vorzunehmen.

3 Zuverlässigkeitsbetrachtungen

Die Zuverlässigkeit beschäftigt sich im geodätischen Verständnis mit der Aufdeckbarkeit von groben Fehlern und der Auswirkung nichtaufgedeckter grober Fehler auf die Ergebnisgrößen. Die zwei Aspekte sind in den Konzepten der inneren bzw. der äußeren Zuverlässigkeit abgebildet. Erstere verwendet als Zuverlässigkeitsmaß den minimalen aufdeckbaren groben Fehler (MDB – Minimum Detectable Bias), während die äußere Zuverlässigkeit die datumsinvariante Netzverzerrung als zentrales Maß hat. Die Zuverlässigkeitsanalyse ist Inhalt der meisten facheinschlägigen Lehrbücher und ist dort ausgehend von der für die Netztheorie zutreffende Gauß-Markov-Modellbildung beschrieben (z. B. Heu-necke et al. 2013). Die angesprochenen Maße werden von den meisten Softwarepaketen zur Netzausgleichung bereitgestellt.

Die Modellbildung beim terrestrischen Laserscanning verfolgt häufig die Approximation von (Teilen der) gemessenen Punktwolken durch geometrische Primitive, eine Aufgabe, die im Regelfall im Gauß-Helmert-Modell zu lösen ist. Dabei impliziert jeder gemessene Punkt eine Bedingungsgleichung für seine Zugehörigkeit zur ausgeglichenen Fläche. Die nachfolgenden Herleitungen und Betrachtungen gehen von dieser Situation aus. In diesem Kapitel werden Ansätze zur Übertragung der klassischen Analyse der inneren Zuverlässigkeit auf das Gauß-Helmert-Modell vorgestellt und anhand der Ausgleichung einer Ebene diskutiert. Ausgangspunkt ist die additive Überlagerung einer Beobachtung l_i um den groben Fehler $\hat{\nabla}_i$:

$$\hat{l} = l + c_i \hat{\nabla}_i + \hat{v}. \quad (11)$$

Darin sind \mathbf{c}_i ein Selektionsvektor mit 1 an der Stelle i und sonst Nulleinträgen sowie $\hat{\mathbf{v}}$ der Vektor der Verbesserungen. Dies führt zum erweiterten linearisierten funktionalen Modell:

$$0 = \mathbf{w} + \mathbf{A}d\hat{\mathbf{x}}' + \mathbf{B}\hat{\mathbf{v}} + \mathbf{B}\mathbf{c}_i\hat{\mathbf{v}}_i, \quad (12)$$

mit \mathbf{A} – Matrix der Ableitung der Bedingungen nach den Parametern \mathbf{x} , \mathbf{B} – Matrix der Ableitung der Bedingungen nach den Messungen \mathbf{l} , und \mathbf{w} – Vektor der Widersprüche. Analoge Vorgehensweisen zum Gauß-Markov-Modell führen zur Schätzung des Kofaktors $q_{\hat{\mathbf{v}}_i}$ und des groben Fehlers $\hat{\mathbf{v}}_i$:

$$q_{\hat{\mathbf{v}}_i} = \left(\mathbf{c}_i^T \mathbf{B}^T \mathbf{N}^{-1} \mathbf{B} \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{v}}} \mathbf{B}^T \mathbf{N}^{-1} \mathbf{B} \mathbf{c}_i \right)^{-1}, \quad (13)$$

$$\hat{\mathbf{v}}_i = q_{\hat{\mathbf{v}}_i} \mathbf{c}_i^T \mathbf{B}^T \mathbf{N}^{-1} \mathbf{B} \hat{\mathbf{v}}.$$

Darin sind $\mathbf{N} = \mathbf{B} \mathbf{Q}_{\mathbf{l}} \mathbf{B}^T$ mit $\mathbf{Q}_{\mathbf{l}}$ Kofaktormatrix der Messungen und $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{v}}}$ die Kofaktormatrix der Verbesserungen $\hat{\mathbf{v}}$. Der geschätzte grobe Fehler ist signifikant auf dem Niveau $(1-\alpha)$, wenn die für unkorrelierte Beobachtungen geltende Testgröße

$$T(\hat{\mathbf{v}}_i) = \frac{\hat{\mathbf{v}}_i}{\sigma_{\hat{\mathbf{v}}_i}} = \frac{v_i}{\frac{\sigma_{l_i}}{\sigma_{l_i} \sqrt{r_{ii}}}} = \frac{v_i}{\sqrt{r_{ii}}} \quad (14)$$

das $(1-\alpha)$ -Quantil der Normalverteilung überschreitet. In (14) sind σ_{l_i} die Standardabweichung der Beobachtung l_i und r_{ii} das Diagonalelement der Redundanzmatrix \mathbf{R} an der Stelle i . Im Falle des Gauß-Helmert-Modells nimmt diese folgende Form an (Ettliger et al. 2018, S. 9):

$$\mathbf{R} = \mathbf{Q}_{\mathbf{l}} \mathbf{B}^T \mathbf{N}^{-1} \left(\mathbf{I} - \mathbf{A} \left(\mathbf{A}^T \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A} \right)^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{N}^{-1} \right) \mathbf{B}. \quad (15)$$

Aus (14) folgt der MDB zu

$$\hat{\mathbf{v}}_{0,i} = \lambda_0 \frac{\sigma_{l_i}}{\sqrt{r_{ii}}} \quad (16)$$

mit λ_0 der entsprechend den gewählten Niveaus für einen Fehler 1. und 2. Art resultierende Nichtzentralitätsparameter der Normalverteilung. Formell ist der MDB offensichtlich identisch zum Gauß-Markov-Modell (vgl. Heunecke et al. 2013, S. 249).

Der Einsatz der obigen Herleitungen für die Analyse der inneren Zuverlässigkeit im Gauß-Helmert-Modell lässt sich anhand der Ausgleichung einer Ebene demonstrieren. Aus Gründen der Anschaulichkeit ist die Ebene lediglich durch neun bzw. zehn Punkte diskretisiert (siehe Abb. 4). Das Beispiel ist problemlos für eine größere Punktzahl skalierbar und damit auch für das Laserscanning repräsentativ.

p_1 ● p_2 ● p_3 ●
 p_4 ● p_5 ● p_6 ●
 p_7 ● p_8 ● p_9 ●

p_{10} ●

Abb. 4: Diskretisierte Ebene mit neun bzw. zehn Messpunkten

Als Messgrößen gelten anders als im 2. Kapitel die kartesischen Koordinaten. Die Soll-Koordinaten werden einzeln mit einem normalverteilten weißen Rauschen ($\sigma_x = 0,05$ m) überlagert. Zur Verbesserung der Repräsentativität der erzielten Ergebnisse wurden die Simulationen tausendmal wiederholt. Die Box-Plots in den nachfolgenden Darstellungen decken den gesamten Streubereich ab.

Im Falle einer Ausrichtung der Ebene parallel zur (yz)-Ebene des Koordinatensystems folgen aus (16) die in Abb. 5 oben koordinatenweise dargestellten MDBs. Auffällig aufgrund ihrer sehr großen Beträge sind die MDBs der y- und z-Koordinaten. Sie gelten de facto allesamt als unkontrolliert. Das ist

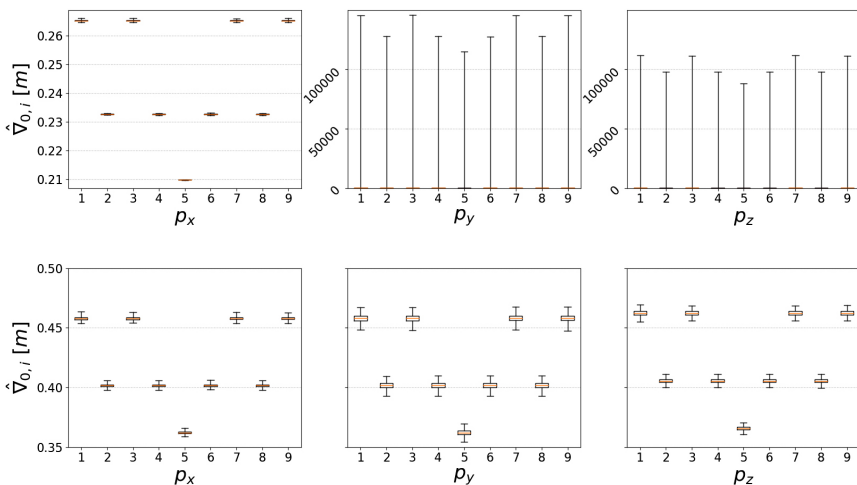


Abb. 5: MDBs der Koordinaten der neun Punktmessungen für verschiedene Ausrichtungen der auszugleichenden Ebene: parallel zur (yz)-Ebene (oben) und rotiert zum Koordinatensystem (unten)

nachvollziehbar, da im Gauß-Helmert-Modell die senkrechten Abstände der Messungen zur ausgeglichenen Form minimiert werden. Diese Abstände sind bei dieser Ausrichtung allein durch die x -Koordinate bestimmt, wohingegen die Ebenenbedingung für beliebige Wertepaare von y und z erfüllt ist.

Bei einer Ausrichtung der Ebene im Bezug zum Koordinatensystem, so dass die Komponenten des Normalenvektors in Richtung der drei Achsen gleich ausfallen, resultieren die MDBs aus Abb. 5 unten. Diese sind für alle drei Koordinatenrichtungen nahezu identisch. Damit verbessert sich die Kontrollierbarkeit der y - und z -Koordinaten, hingegen steigen gegenüber dem vorherigen Fall die MDBs der x -Koordinaten an. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass in dieser Form die MDBs offensichtlich datumsabhängig sind. Das ist gegenüber dem Gauß-Markov-Modell nachteilig und bedarf weiterer Forschungsarbeit in Zukunft.

In der zweiten Ausrichtung der Ebene wird die y_8 -Koordinate um einen groben Fehler von 0,45 m verändert. Dieser Betrag übersteigt knapp die entsprechenden Beträge für \hat{V}_8 aus Abb. 5 unten. Die resultierenden Testgrößen (14) sind in der Abb. 6 dargestellt. Der verfälschte Punkt kann zwar korrekt identifiziert werden, jedoch wird ein Trennbarkeitsproblem offensichtlich, denn es werden nicht allein die verfälschte Koordinate y_8 , sondern alle drei Koordinaten des Punktes 8 als grob fehlerhaft lokalisiert. Zur Lösung dieses Aspektes finden aktuell Forschungsarbeiten statt, die die Korrelationen zwischen den Testgrößen einbeziehen und analysieren.

Die Variation der MDBs in Abhängigkeit von der Punktlage in Abb. 5 verdeutlicht, dass die geometrische Konfiguration der Messpunkte die Werte Ersterer beeinflusst. Der Punkt 5 liegt zwischen den acht anderen Punkten und weist gleichzeitig den kleinsten MDB auf. Um den Einfluss der geometrischen Konfiguration der Messpunkte besser herauszustellen, wurde ein weiterer Punkt 10 außerhalb des Gebildes der neun Punkte eingeführt (siehe Abb. 4). Die entsprechenden MDBs zeigen in Abb. 7, dass dieser Punkt am schlechtesten kontrolliert ist. Der Effekt lässt sich mit der Überführung des Gauß-Helmert-Modells in ein Gauß-Markov-Modell nachvollziehen. Dies geschieht, indem die Widersprüche w als Messungen und Bv als zugeordnete Verbesserungen \hat{v}_w aufgefasst werden. Unter Ausschluss des groben Fehlers geht damit (12) über in

$$0 = w + Ad\hat{x}' + \hat{v}_w. \quad (17)$$

Für diese Struktur kann die Redundanzmatrix R_w in der gewohnten Form angegeben werden (siehe Heunecke et al. 2013, S. 245):

$$R_w = I - A(A^T N^{-1} A)^{-1} A^T N^{-1}. \quad (18)$$

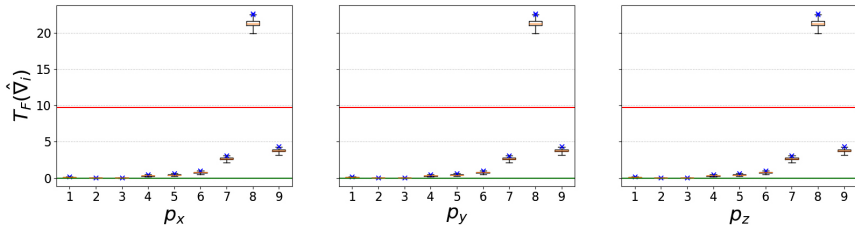


Abb. 6: Testgröße (14) für die Aufdeckung eines groben Fehlers in der jeweiligen Messung

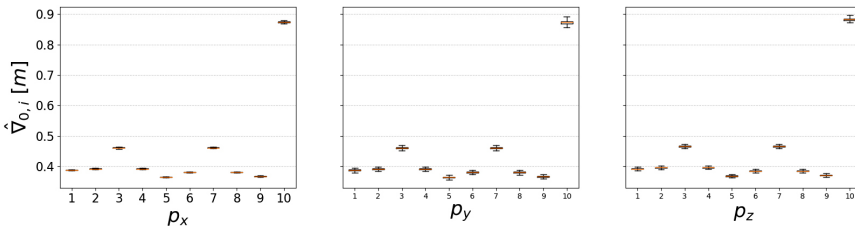


Abb. 7: Einfluss der geometrischen Konfiguration der Messpunkte auf die Werte der MDBs

Die Dimension der quadratischen Matrix R_w entspricht der Anzahl gemessener Punkte und damit ist die Konfigurationsanalyse nunmehr auf Punktebene statt der Koordinatenebene möglich. Die Elemente auf der Hauptdiagonalen in R_w spiegeln die Redundanzanteile der Widersprüche wider. Im zweiten Ausrichtungsfall der Ebene nehmen sie die in Abb. 8 angegebenen Werte an. Da die „Messgrößen“ w prinzipiell miteinander korreliert sind, müssen die Redundanzanteile r_w nicht zwangsläufig Werte zwischen Null und Eins annehmen. Die relative Betrachtung ihres Betrages hilft jedoch weiterhin, die am schlechtesten kontrollierten Messpunkte zu identifizieren. Offensichtlich ist das der Fall für den neu eingeführten Punkt 10. Diese Ausführungen zeigen, dass die Redundanzmatrix des abgewandelten Gauß-Helmert-Modells hilfreich ist, um Defizite der Messpunktconfiguration im Sinne der Kontrollierbarkeit aufzudecken. Dies ist im Einklang mit Feststellungen aus Holst (2015).

Die obigen Ausführungen belegen, dass bestehende Ansätze in der Zuverlässigkeitsanalyse in der adaptierten Form auch im Falle der Gauß-Helmert-Modelle weiterhelfen. Allerdings bedarf es auch Entwicklungen in Richtung der Trennbarkeit der Testgrößen, um auf Ebene der Messgrößen die innere Zuverlässigkeit zu analysieren und zu bemessen.

0.79	-0.17	-0.13	-0.17	-0.13	-0.09	-0.13	-0.09	-0.05	0.19
-0.17	0.77	-0.29	-0.06	-0.12	-0.18	0.05	-0.01	-0.07	0.09
-0.13	-0.29	0.56	0.05	-0.11	-0.26	0.22	0.07	-0.09	-0.02
-0.17	-0.06	0.05	0.77	-0.12	-0.01	-0.29	-0.18	-0.07	0.09
-0.13	-0.12	-0.11	-0.12	0.89	-0.10	-0.11	-0.10	-0.09	-0.02
-0.09	-0.18	-0.26	-0.01	-0.10	0.82	0.07	-0.02	-0.10	-0.12
-0.13	0.05	0.22	-0.29	-0.11	0.07	0.56	-0.26	-0.09	-0.02
-0.09	-0.01	0.07	-0.18	-0.10	-0.02	-0.26	0.82	-0.10	-0.12
-0.05	-0.07	-0.09	-0.07	-0.09	-0.10	-0.09	-0.10	0.88	-0.22
0.19	0.09	-0.02	0.09	-0.02	-0.12	-0.02	-0.12	-0.22	0.16

Abb. 8:

Die Diagonalelemente der Matrix R_w aus (18) decken Defizite in der Konfiguration der Messpunkte auf.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Qualitätsbetrachtung von TLS-Daten im Kontext der Modellbildung in der Geodäsie. Dabei wird in Anlehnung an die geodätischen Netze eine traditionelle Sichtweise auf die Qualitätsbetrachtung eingenommen und im Wesentlichen auf die Genauigkeit und Zuverlässigkeit als Qualitätsmerkmale eingegangen. Erstere wird vor dem Hintergrund der Messmodelle, d. h. der Erstellung einer Kovarianzmatrix für TLS-Messgrößen behandelt, während für die Zuverlässigkeit Betrachtungen in den geodätischen Modellen angestellt werden.

Neben den hier schwerpunktmäßig betrachteten Merkmalen sind auch weitere Merkmale relevant und Thema verschiedener (Forschungs)Aktivitäten. Allen voran sei die Wirtschaftlichkeit erwähnt. Wenn auch keine expliziten Maße dafür bislang angesetzt sind, spielt der Wirtschaftlichkeitsgedanke in den verschiedenen Überlegungen eine Rolle. So ist beispielsweise im DVW-Merkblatt 7-2014 ein maximaler Zeitbedarf für die gesamte Prüfprozedur des Laserscanners einschließlich Datenauswertung von $\frac{1}{2}$ Tag genannt. Die Möglichkeit der Instrumentenprüfung wird im Beitrag von Holst et al. (2018) explizit in Zusammen-

hang mit der Auslastung der Instrumente gebracht und damit auch mit einem wirtschaftlichen Fokus belegt. Unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit kann auch die Untersuchung von Heinz et al. (2019) aufgefasst werden. Darin wird anhand einer ebenen Zieltafel als Messobjekt der Frage nachgegangen, ob es zur Erreichung eines vorgegebenen Genauigkeitsziels effizienter ist, eine höhere Auflösungsstufe (d.h. mehrere Punkte, jedoch mit niedriger Genauigkeit) oder eine höhere Qualitätsstufe (d.h. weniger Punkte, jedoch mit höherer Genauigkeit) beim Scannen anzusetzen. Das Messobjekt wird dafür in unterschiedlichen Entfernungen und mit zwei Instrumenten unterschiedlichen Typs gescannt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Erhöhung der Auflösungsstufe im Sinne der Effizienz geeigneter ist, da in einer kürzeren Messdauer die gleiche Modellgenauigkeit erreicht wird. Dies wirkt sich bei größeren Entfernungen (im betrachteten Beispiel von 20 m) gewichtiger aus. Die Wahl der höchsten Auflösungsstufen ist hingegen bei kleinen Entfernungen (von ca. 5 m) wenig gewinnbringend. Es ist auch zu betonen, dass diese Erkenntnisse unter Vernachlässigung der Korrelationen resultiert sind.

Für Überwachungsmessungen ist die Sensitivität ein wichtiges Qualitätskriterium. Sie gibt an, inwieweit in einem Netzdesign Änderungen von Objektpunkten auf ein festgelegtes Niveau der Fehler 1. und 2. Art aufgedeckt werden können. In einem weiteren Kontext aufgefasst, beschreibt die Sensitivität die Empfindlichkeit der Ausgangsgrößen gegenüber Änderungen der Einflussfaktoren. Diese Zielsetzung verfolgen auch Aichinger und Schwieger (2018) mit der Untersuchung zum Einfluss der Scanningparameter auf die Genauigkeit der geschätzten Kontrollpunkte einer B-Spline-Fläche. Als Scanningparameter werden Entfernung zum Objekt, Auftreffwinkel, Oberflächenqualität und Abtastweite einbezogen. Der Einfluss der Scanningparameter wird methodisch durch die Monte-Carlo-basierte Varianzanalyse bewertet. Die Untersuchungen ergeben, dass die Entfernung zum Objekt den größten Einfluss auf die mittlere Standardabweichung der B-Spline-Kontrollpunkte hat. Sie zeigen auch, dass die Berücksichtigung von Korrelationen die Genauigkeit der Kontrollpunktschätzung verbessert, was ein weiterer Beleg für die Zweckmäßigkeit einer vollbesetzten Kovarianzmatrix der Messungen darstellt.

Literatur

- Aichinger, J.; Schwieger, V. (2018): Influence of scanning parameters on the estimation accuracy of control points of B-spline surfaces. *Journal of Applied Geodesy* 12(2), 157–167, deGruyter, Berlin.
- ASME B89.4.19-2006 Standard – Performance Evaluation of Laser-Based Spherical Coordinate Measurement Systems. www.asme.org.

- DVW (2014): Verfahren zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern (TLS). DVW-Merkblatt 7-2014. Fachautoren: Neitzel, F.; Gordon, B.; Wujanz, D. www.dvw.de/merkblatt.
- Ettlinger, A.; Neuner, H.; Burgess, T. (2018): Development of a Kalman Filter in the Gauss-Helmert Model for Reliability Analysis in Orientation Determination with Smartphone Sensors. *Sensors* 2018, 18(2), 414. DOI: [10.3390/s18020414](https://doi.org/10.3390/s18020414).
- Gordon, B. (2008): Zur Bestimmung von Messunsicherheiten terrestrischer Laserscanner. Dissertation, TU Darmstadt.
- Gottwald, R. (2008): Field Procedures for Testing Terrestrial Laser Scanners (TLS) – A Contribution to a Future ISO Standard. FIG Working Week 2008, Stockholm, Schweden.
- Heinz, E.; Holst, C.; Kuhlmann, H. (2019): Zum Einfluss der räumlichen Auflösung und verschiedener Qualitätsstufen auf die Modellierungsgenauigkeit einer Ebene beim terrestrischen Laserscanning. *Allgemeine Vermessungsnachrichten (avn)*, Heft 1-2, 3–12, Wichmann, Offenbach.
- Heinz, E.; Medić, T.; Holst, C.; Kuhlmann, H. (2018): Genauigkeitsbeurteilung von Laserscannern anhand realer Messobjekte. In: DVW e.V. (Hrsg.): *Terrestrisches Laserscanning 2018 (TLS 2018)*. DVW-Schriftenreihe, Band 93, Augsburg.
- Heunecke, O.; Kuhlmann, H.; Welsch, W.; Eichhorn, A.; Neuner, H. (2013): *Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen*. 2. Auflage, Wichmann, Offenbach.
- Holst, C. (2015): *Analyse der Konfiguration bei der Approximation ungleichmäßig abgetasteter Oberflächen auf Basis von Nivellements und terrestrischen Laserscans*. Dissertation, Uni Bonn.
- Holst, C.; Jurek, T.; Blome, M.; Marschel, L.; Petersen, M.; Kersten, T.; Mechelke, K.; Lindstaedt, M.; Wehmann, W.; Wunderlich, T.; Wasmeier, P.; Wiedemann, W.; Kern, F.; Kuhlmann, H. (2018): Empirische Ergebnisse von TLS-Prüffeldern: Gibt es Auffälligkeiten? In: DVW e.V. (Hrsg.): *Terrestrisches Laserscanning 2018 (TLS 2018)*. DVW-Schriftenreihe, Band 93, Augsburg.
- Holst, C.; Neuner, H.; Wieser, A.; Wunderlich, T. (2016): Calibration of Terrestrial Laser Scanners. *Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN)*, Vol. 123, No. 6, 147–157.
- Janßen, J.; Holst, C.; Kuhlmann, H. (2018): Registrierung mit Targets: Wie genau ist das? In: DVW e.V. (Hrsg.): *Terrestrisches Laserscanning 2018 (TLS 2018)*. DVW-Schriftenreihe, Band 93, Augsburg.
- JCGM 100:2008: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). Joint Committee for Guides in Metrology.
- JCGM 101:2008: Evaluation of measurement data – Supplement 1 to the „Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method.
- ISO 17123-9 (2018): Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 9: Terrestrial laser scanners.
- Kauker, S.; Harmening, C.; Neuner, H.; Schwieger, V. (2017): Modellierung und Auswirkung von Korrelationen bei der Schätzung von Deformationsparametern beim terrestrischen Laserscanning. In: Lienhart, W. (Hrsg.): *Beiträge zum 18. Internationalen Ingenieurvermessungskurs Graz, 2017*, 321–336, Wichmann, Offenbach.

- Kauker, S.; Schwieger, V. (2017): A synthetic covariance matrix for monitoring by terrestrial laser scanning. *Journal of Applied Geodesy* 11 (2), 77–87, deGruyter, Berlin.
- Kutterer, H. (2002): Zum Umgang mit Ungewissheit in der Geodäsie – Bausteine für eine neue Fehlertheorie. DGK, Reihe C, Heft Nr. 553.
- Medić, T.; Holst, C.; Kuhlmann, H. (2017): Towards System Calibration of Panoramic Laser Scanners from a Single Station. *Sensors* 17 (5), 1145. DOI: [10.3390/s17051145](https://doi.org/10.3390/s17051145).
- Muralikrishnan, B.; Ferrucci, M.; Sawyer, D.; Gerner, G.; Lee, V.; Blackburn, C.; Philips, S.; Petrov, P.; Yakolew, Y.; Astrelin, A.; Milligan, S.; Palmateer, J. (2015): Volumetric performance evaluation of a laser scanner based on geometric error model. *Precise Engineering*, Vol. 40, 139–150.
- Muralikrishnan, B.; Rachakonda, P.; Shilling, M.; Lee, V.; Blackburn, C.; Sawyer, D. (2016): Report on the May 2016 ASTM E57.02 Instrument Runoff at NIST, Part 1 – Background Information and Key Findings; Technical Report, NISTIR 8152; Publisher: Gaithersburg, MD, USA, 2016. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2016/NIST.IR.8152.pdf>.
- Schwieger, V. (1999): Ein Elementarfehlermodell für GPS Überwachungsmessungen. *Schriftenreihe der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover*, Vol. 231.
- Schwieger, V.; Zhang, L. (2019): Qualitäts in der Ingenieurgeodäsie – Begriff und Modellierung. In: DVW e.V. (Hrsg.): *Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren 2019*. DVW-Schriftenreihe, Band 95, Augsburg. (Dieser Tagungsband).
- Soudarissanane, S.; Lindenbergh, R.; Menenti, M.; Teunissen, P. (2011): Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (4), 389–399.
- Staiger, R.; Heister, H. (2013): Praxisnahe Prüfung terrestrischer Laserscanner. In: DVW e.V. (Hrsg.): *Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren*. DVW-Schriftenreihe, Band 71, Augsburg, 65–86.
- Vennegeerts, H. (2010): Neue Herausforderungen zur Qualitätsbeschreibung terrestrischer Laserscans. In: DVW e.V. (Hrsg.): *Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswertverfahren*. DVW-Schriftenreihe, Band 61, Augsburg, 167–177.
- Wujanz, D.; Burger, M.; Mettenleiter, M.; Neitzel, F. (2017): An intensity-based stochastic model for terrestrial laser scanners. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 125, 146–155.
- Wujanz, D.; Burger, M.; Tschirschwitz, F.; Nietzschmann, T.; Neitzel, F.; Kersten, T. (2018): Determination of Intensity-Based Stochastic Models for Terrestrial Laser Scanners Utilising 3D-Point Clouds. *Sensors* 2018, 18, 2187. DOI: [10.3390/s18072187](https://doi.org/10.3390/s18072187).
- Wunderlich, T.; Wasmeier, P.; Ohlmann-Lauber, J.; Schäfer, T.; Reidl, F. (2013): Objektivierung von Spezifikationen Terrestrischer Laserscanner – Ein Beitrag des Geodätischen Prüflabors der Technischen Universität München. *Blaue Reihe des Lehrstuhls für Geodäsie, TU München*, Heft 20, 02/2013.

Kontakt

Hans Neuner
 TU Wien, Forschungsbereich Ingenieurgeodäsie
 Gußhausstraße 27–29, 1040 Wien
hans.neuner@geo.tuwien.ac.at

Session 3:

DVW-Merkblätter zur Qualität

GNSS EVU – Qualitätssicherung und praktische Umsetzung des DVW-Merkblattes 13-2017 im Ballungszentrum Frankfurt

Holger Hustedt

1 Einstieg und Ausgangsfragestellung

Der Einsatz von Satellitentechnik (GNSS) in der Energiebranche zur Erfassung von Veränderungen an der Netzinfrastruktur ist seit Jahren unverzichtbar. In der Ver- und Entsorgungswirtschaft besteht die Notwendigkeit, Leitungen am sogenannten offenen Graben einzumessen. Dieses bedeutet, dass der Leitungsverlauf zum Zeitpunkt der Einmessung klar erkennbar sein muss (der Graben ist offen). Gleichzeitig erfolgt aus wirtschaftlichen Gründen direkt nach der Einmessung die Verfüllung des Grabens. Eine Wiederholung der Einmessung zur Kontrolle zu einem späteren Zeitpunkt – wie es normalerweise der Fall und nach geodätischen Grundsätzen üblich und erforderlich ist – ist nicht möglich.

Hier existieren gegensätzliche Anforderungen, die unter einer herausfordernden Messumgebung (z. B. Häuserschluchten) noch schwieriger in Einklang zu bringen sind. Im Ballungsraum Frankfurt am Main ist dies besonders der Fall. Außerdem können einzelne Ausreißer, die für den Nutzer nicht zwingend erkennbar sind, nicht ausgeschlossen werden. Die Frage nach einer Handlungsempfehlung kommt entsprechend schnell auf.

2 DVW-Merkblatt 13-2017 GNSS EVU

Die Anforderungen an die Genauigkeiten der Netzdokumentation ergeben sich u. a. aus der ATB-BeStra und vor allem aus dem Regelwerk der Energieversorgung. Gemeinsam haben der DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V. mit dem Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“ und dem DVGW – Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. eine Handlungsempfehlung zum Einsatz GNSS EVU erarbeitet, die seit dem 5.1.2018 in Kraft ist und folgenden Aufbau hat:

1. Einleitung
2. Grundlegende Anforderungen
3. Kriterien für den GNSS-Einsatz

2. Grundlegende Anforderungen

Grundlegende allgemeine Voraussetzungen für den GNSS-Einsatz in der Netzdokumentation der Energieversorgung sind

- Nutzung der aktuellsten Soft- und Firmware der eingesetzten Systeme,
- Verwendung einer geprüften Messsystem-Konfiguration,
- regelmäßige Wartung der eingesetzten Gerätetechnik und
- Sicherstellung der Fachkompetenz und Eignung des Bedienpersonals

Abb. 1: Auszug DVW-Merkblatt 13-2017 GNSS EVU, Punkt 2

Unter Punkt 2 werden dabei allgemeine Basisanforderungen formuliert, die sich vor allem für den Nutzer als Aufgaben erweisen (Abb. 1). Die Punkte lassen sich am besten umsetzen durch Turnusvorgaben für die Wartung und Schulung sowie Arbeitsanweisungen für eine einheitliche Bedienung.

Punkt 3 des DVW-Merkblattes 13-2017 beschreibt wichtige Kriterien für den GNSS-Einsatz in der Ver- und Versorgungswirtschaft (Abb. 2).

3 Übertragung des DVW-Merkblattes 03/2017 in die Praxis

Überträgt man nun die einzelnen Kriterien des DVW-Merkblattes in die Praxis, ergeben sich folgende Umsetzungen:

1. Prüfung äußerer Systemparameter

Hier erfolgt vom Anwender pro Baustelle/Lokalität das GNSS-Aufmaß eines Kontrollpunktes – am besten eines zuvor bereits qualitativ hochwertig bestimmtes Festpunktes. Steht kein Festpunkt zur Verfügung, können dies auch topografische Elemente wie eine Straßenkappe oder eine Schachtecke sein. Der Kontrollpunkt wird vor und nach dem GNSS-Einsatz aufgemessen.

2. Messpunktkontrolle

Aus wirtschaftlichen Gründen wird der Leitungsgraben sehr häufig direkt nach der Vermessung verfüllt. Entsprechend liegt ein einmaliges Aufmaß vor. Daher muss sich die Kontrolle direkt durch die Messanordnung bzw. durch das Messverfahren ergeben. In der Praxis kann dies ein Abgleich zu vorher erfassten Leitungen, ein Abgleich mit der Regelverlegung oder Leitungsvorgaben für den Leitungsbau etc. sein. Alternativ oder ergänzend kommen Wiederholungen der Messung oder Verdichtung der Messung hinzu.

3. Kriterien für den GNSS-Einsatz

Die Kriterien umfassen drei Handlungsempfehlungen (Pkt. 1 – 3), welche gleichwertig zu beachten sind. Pkt. 4 präzisiert den Aspekt „anspruchsvolle GNSS-Umgebung“.

1. Prüfung äußerer Systemparameter

Die Prüfung der äußeren Systemparameter (z. B. Bezugssystem (Koordinaten), Korrekturdienst, Antennenhöhe, -typ) ist mind. vor und nach der Messung pro Lokalität bzw. pro Tag durch die unabhängige Messung mind. eines Kontrollpunkts nach einer neuen Initialisierung durchzuführen. Der Kontrollpunkt muss GNSS-tauglich und eindeutig reproduzierbar sein sowie qualitativ den Anforderungen der aufzunehmenden Messpunkte entsprechen.

2. Messpunktkontrolle

Unabhängige Kontrollen jeder Messpunktbestimmung haben unter Berücksichtigung mind. einer der folgenden Methoden zu erfolgen:

- a. Wiederholung der GNSS-Messung nach Neu-Initialisierung. Unabhängigkeit kann hierbei bspw. durch eine geänderte Satellitengeometrie erreicht werden.
- b. Nutzung von geeigneten Vorinformationen (Einhaltung geometrischer Bedingungen, Planungsprojektierung, Vorgaben Regelverlegungen/Bauweise etc.).
- c. Geeignete Verdichtung der Messung durch unabhängige Zwischenpunkte.

3. Handlungsempfehlung bei anspruchsvollen GNSS-Bedingungen

Bei anspruchsvollen GNSS-Bedingungen (s. Pkt. 4) sind die folgenden Maßnahmen zusätzlich erforderlich, um die Qualität der GNSS-Messpunkte abzusichern:

- Erhöhung der Beobachtungszeit
- Beobachtung der Sensor-Anzeige bzgl. Kriterien wie z. B. PDOP-Wert, Genauigkeitsangaben
- Beobachtung zeitabhängiger Kenngrößen insbesondere des Initialisierungsverhaltens

4. Hinweise auf „anspruchsvolle GNSS-Bedingungen“ geben folgende Indikatoren

- Mehrwege-Effekte aufgrund der Messumgebung (z. B. hohe Gebäude, Glasfassaden)
- PDOP-Wert größer als 5
- Oft wiederkehrender Verlust der Initialisierung
- Ungewöhnlich lange Initialisierungszeit
- Wartungsarbeiten im genutzten Referenzstationsnetz
- Besondere atmosphärische Einflüsse (z. B. Gewitter, hohe ionosphärische Aktivität)

In diesen Fällen ist die Wahrscheinlichkeit von fehlerhaften GNSS-basierten Koordinaten erhöht und es ist zu entscheiden, ob anstatt GNSS-Messungen alternative Messverfahren (z. B. Tachymetrie, Messband) anzuwenden sind.

Abb. 2: Auszug DVW-Merkblatt 13-2017 GNSS EVU, Punkt 3

3. Handlungsempfehlung bei anspruchsvollen GNSS-Bedingungen

Unter anspruchsvollen GNSS-Bedingungen hat der Anwender vor allem auf folgende Aspekte zu achten:

- Wie sieht das Initialisierungsverhalten aus?
- Bleibt die Initialisierung stabil?
- Wie sieht die Genauigkeitsanzeige am Sensor aus? Werden vorgegebene Richtwerte überschritten?

Auffälligkeiten in diesen Aspekten weisen auf entsprechende Risiken für eine fehlerhafte GNSS-Messung bzw. zumindest für eine schlechtere Qualität der



↑ Abb. 3:

NRM, spartenübergreifendes Leitungsaufmaß, Wohngebiet, Frankfurter Umring, GNSS/Tachymetrie (15.9.2018)

← Abb. 4:

NRM, Rohrleitungsaufmaß bei dichter Bebauung (6.11.2018)

GNSS-Position. Der Wechsel zu alternativen Messverfahren ist in diesem Fall zu empfehlen – oder die Anwendung von Kombinationen GNSS/Tachymetrie.

Ein typisches Anwendungsbeispiel für ein Leitungsaufmaß mit einer Kombination GNSS/Tachymetrie im bebauten Bereich ist in [Abb. 3](#) zu sehen, anspruchsvolle GNSS-Bedingungen zeigt [Abb. 4](#).

4 GNSS-Einsatz mit Qualitätssicherung bei der NRM in Frankfurt

Das Einsatzgebiet der NRM zeichnet sich in Frankfurt am Main aus durch:

- hohe Versorgungssicherheit
- sehr hohe Netzdichte; in der Sparte Strom die größte Dichte in Deutschland
- wichtigster Internetknoten in Europa
- eine hohe Dynamisierung in den Sparten Wärme (bis 2016) und vor allem in der Sparte Strom aktuell und in den nächsten Jahren

Auf die Vermessung übertragen bedeutet dies:

- schneller und sofort kontrollierender Einsatz der Sensorik
- starker Druck im Baugeschäft
- hohe Baugeschwindigkeiten
- große Probleme durch die immer dichteren Verkehrsströme
- Ausstattung aller Messtrupps mit GNSS-/TPS-Kombinationen
- Forcierung flexibler Trupp-Einsätze (1-Mann, 2-Kollegen etc.)

Entsprechend sind für den GNSS-Einsatz umfangreiche Qualitätssicherungen nötig. Die [Abb. 5](#) fasst die wichtigsten Teilschritte in der Qualitätssicherung am Beispiel der NRM in Frankfurt zusammen.

Wie man im folgenden Abschnitt sehen wird, kommt es maßgeblich auf die Erfahrung des Anwenders im Leitungsgaben an. Aus rechtlicher Sicht kommt dem Nachweis der Vermessungsdaten inklusive der Georeferenzierung eine hohe Bedeutung zu. Das EVU muss in der Lage sein, Auskunft darüber zu geben, wann welche Daten von wem in welcher Qualität erfasst worden sind.

5 Beispiel für aufgedeckte GNSS-Fehler durch NRM

Die NRM begleitet den GNSS-Einsatz seit 2003 und hat über die Jahre verschiedenste Erfahrungen gesammelt. Insbesondere in der Zeit 2008 bis 2018 ist die Sensibilität mit den bewusst aufgedeckten einzelnen Ausreißern im

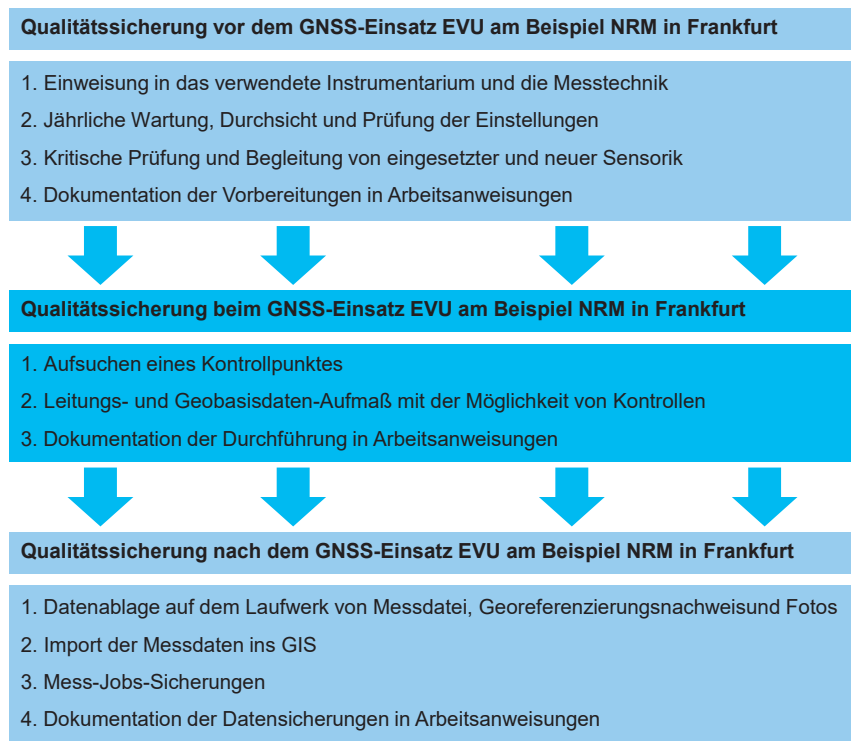


Abb. 5: NRM, Zusammenfassung Qualitätssicherung GNSS EVU NRM, Frankfurt (28.2.2019)

m-Bereich bei GNSS-Messungen nochmals gestiegen. In diesem Zeitraum wurde GNSS-Sensorik von Trimble GmbH und vor allem von Leica Geosystems GmbH (System 1200, VIVA, Captivate) eingesetzt. Erfahrungswerte über mögliche Ausreißer und Streuungen der Ergebnisse beim GNSS-Einsatz unter anspruchsvollen Bedingungen liegen vor. Ergänzt und begleitet wurde und wird der GNSS-Einsatz über gezielte GNSS-Schulungen für die eingesetzten Kollegen mit Unterstützung eines GNSS-Herstellers, hier Leica Geosystems GmbH.

2018 konnten vier grob falsche GNSS-Messungen mit den aufgeführten Kontrollen bzw. Qualitätssicherungen aufgedeckt werden. Ein Beispiel zeigt [Abb. 6](#). Für den Anwender wies die Sensoranzeige zum Zeitpunkt der Vermessung *keine* Auffälligkeiten auf und zeigte eine gute Qualität an. Dennoch ergaben sich

- ein Lagefehler von 1,7 m und
- ein Höhenfehler von 4,2 m.

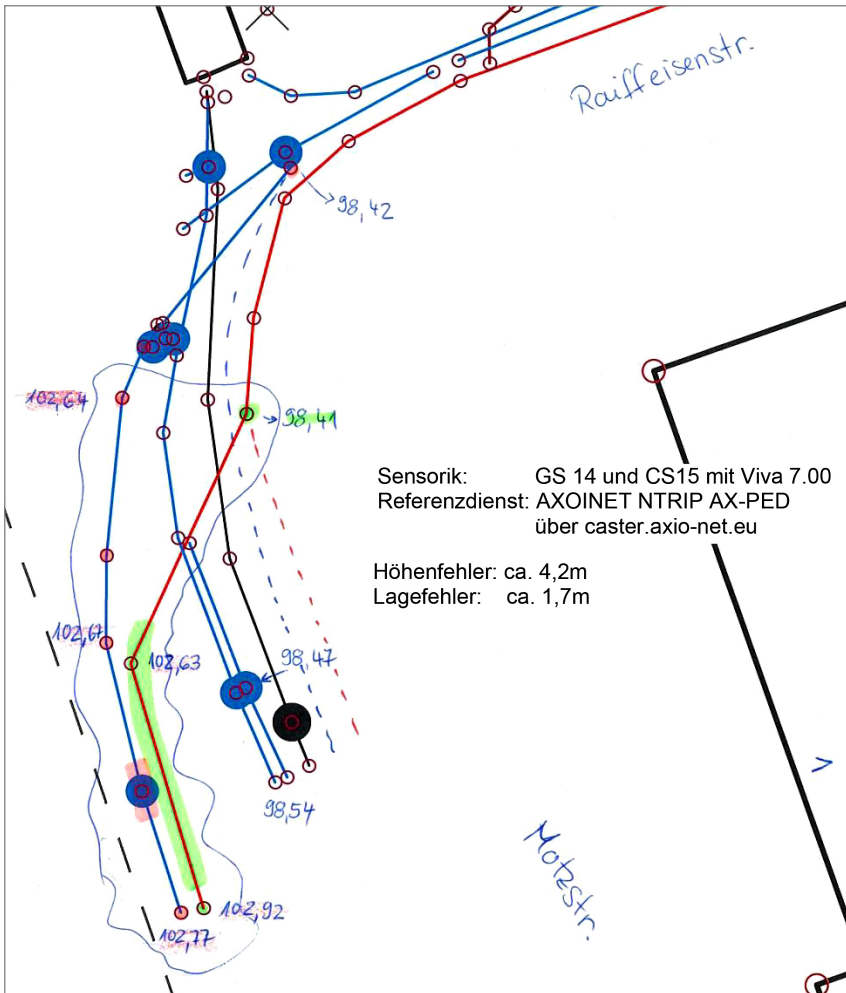


Abb. 6: NRM, ein Beispiel für einen aufgedeckten GNSS-Fehler, Grundriss, Fehler, 23.5.2018

Durch entsprechend intensiv geschultes Personal und über interne Kontrollen – hier Trassengeometrie bzw. Trassenaufbau gemäß dem DVW-Merkblatt und seiner Umsetzung bei NRM – konnten die Fehler aufgedeckt werden (Abb. 7 und Abb. 8).



↑ **Abb. 7:**
NRM, Messumgebung,
Bild 1, aufgedeckter
GNSS-Fehler (23.5.2018)

← **Abb. 8:**
NRM, Messumgebung,
Bild 2, aufgedeckter
GNSS-Fehler (23.5.2018)

6 Zusammenfassung

Im Ballungszentrum Rhein-Main und besonders in Frankfurt ergibt sich ein sehr unterschiedliches Spektrum für den GNSS-Einsatz. Oftmals muss der Anwender mit anspruchsvollen GNSS-Bedingungen zurechtkommen (Abb. 9).

Das DVW-Merkblatt 13-2017 GNSS EVU gibt dem Nutzer sehr gute Anhaltspunkte. Eine Umsetzung bzw. Konkretisierung ist für das jeweilige Unternehmen sehr zu empfehlen. Wie dieses aussehen kann, wird im Beitrag für den GNSS-Einsatz vor, bei und nach der Vermessung aufgezeigt. Auf die hohe Bedeutung der GNSS-Erfahrung des Anwenders sowie eine umfangreiche Dokumentation wird besonders verwiesen.

Weiteren praktischen Nutzen für die EVU wird die geplante DVGW-Information bringen. Dort wird das DVW-Merkblatt in direkte praktische Nutzer-Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen übertragen.



Abb. 9: NRM, Messumgebung, Leitungsaufmaß (28.6.2018)

Kontakt

Dipl.-Ing. Holger Hustedt
NRM Netzdienste Rhein-Main GmbH
Solmsstraße 38, 60486 Frankfurt am Main
h.hustedt@nrm-netzdienste.de

Zur Neubearbeitung des GNSS-Antennen-Merkblatts

Barbara Görres | Tobias Kersten | Steffen Schön |
Florian Zimmermann | Lambert Wanninger

1 Motivation

Mit dem Merkblatt „Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen“ wurde erstmals ein DVW-Merkblatt überarbeitet und neu herausgegeben. Zunächst stand nur die Aktualisierung einiger Formalien im Fokus, doch schnell wurde offensichtlich, dass die Weiterentwicklung im Gesamtkontext von GNSS auch inhaltliche Anpassungen und Erweiterungen des Merkblatts erforderlich machte. Ebenfalls wurde die Gelegenheit genutzt, den Stil des Merkblattes anzupassen. In der Neubearbeitung werden die aus Sicht des Autorenteam für den Nutzer zentralen Fragen aufgeworfen und beantwortet.

Oft scheint es, als sei die Antenne eine unwesentliche Komponente unter vielen im Gesamtsystem einer GNSS-Anwendung. Zudem entsteht schnell der Eindruck, dem Anwender würde heutzutage die Sorge und Verantwortung um die geeignete Auswahl der zugehörigen Parameter von den Herstellern abgenommen. Dennoch sind in allen Genauigkeitsbereichen, angefangen von einfachen bis hin zu hochpräzisen Genauigkeitsanforderungen, wesentliche Voraussetzungen im Kontext der zu verwendenden Antenne zu beachten und entsprechende (Sensor-)Kalibrierwerte zu berücksichtigen. Gerade die Empfangsantenne ist der Primärsensor, der es erlaubt, die gewünschte Qualität und Genauigkeit im jeweiligen GNSS-Anwendungsfall zu erreichen. Daher sind auch bei Standardanwendungen die Grundsätze und Regeln der Antennenkalibrierung sowie die Zuordnung der richtigen Parameter zur Antenne und der vorgesehenen Anwendung einzuhalten, auch wenn diese Details, einmal korrekt gelöst, in der täglichen Praxis in den Hintergrund treten können.

Das Merkblatt dient dazu, dem Nutzer die nötigen Hintergrundinformationen zu liefern. Dieses wird zum Verständnis der Zusammenhänge der Antennenkalibrierung beitragen und will den Anwendern die zugrundeliegenden Entwicklungen verständlich machen. Die Inhalte orientieren sich am heutigen Stand der Wissenschaft und spannen den Bogen, angefangen vom Konzept der Kalibrierwerte zu den internationalen Standards und Austauschformaten bis hin zu Fragen zeitlicher Stabilität und Konsistenzbetrachtungen zwischen den Kalibriermethoden. Ein wesentlicher Punkt ist dabei ebenfalls die stete

Weiterentwicklung des GNSS durch Frequenzen und Signale, die innerhalb des Nutzersegmentes (z. B. IGS, EPN, SAPOS etc.) zu unterschiedlichen Lösungsansätzen führt.

Die wesentlichen Schwerpunkte des Merkblattes befassen sich mit der Erzeugung und der Anwendung von GNSS-Kalibrierwerten, um Einflüsse der GNSS-Empfangsantennen auf die Positionsbestimmung berücksichtigen zu können. Die Entwicklungen im GNSS-Bereich führen zwangsläufig auch immer wieder zu neuen Fragestellungen für die Kalibrierung.

Eine besondere Herausforderung ist derzeit die Bereitstellung und Verwendung von Antennenkalibrierungen für modernisierte und neue Frequenzen sowie Signaltypen bestehender Systeme (GPS L5, Glonass L3) und das jüngere, zum Teil noch im Aufbau befindliche GNSS (Galileo, Beidou). Hier ist bei weitem noch keine allgemein akzeptierte Lösung gefunden, da vor allem ein erheblicher Unterschied in der Vorgehensweise beim Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS) und im EUREF Permanent Network (EPN) einerseits und beim International GNSS Service (IGS) andererseits besteht. Alle vom IGS zertifizierten Kalibriereinrichtungen für GNSS-Antennen befinden sich in deutschen Einrichtungen und ihre Ergebnisse können unmittelbar verwendet werden.

Auch in der Frage nach individueller oder typspezifischer Kalibrierung besteht der Unterschied, dass die Antennen des SAPOS oder anderer Referenznetzbetreiber in aller Regel absolut und individuell kalibriert wurden, im IGS-Netz aber weiterhin ausschließlich Typkalibrierungen verwendet werden, da eine Verbesserung durch die Nutzung der individuellen Werte aus Sicht der IGS Antenne Working Group bisher nicht nachgewiesen wurde.

Die offenen Fragen werden im Merkblatt aufgezeigt und verdeutlichen den dynamischen Charakter der GNSS-Systementwicklung und der GNSS-Antennenkalibrierung. So wird nach Erzielung einer notwendigen Einigung, nach der aktuell mit Nachdruck auf nationalen und internationalen Ebenen geforscht wird, eine weitere Überarbeitung des Merkblatts erforderlich.

Ebenfalls ist die Interaktion der Antenne und ihrer Parameter mit Nahfeld und Antennenumgebung und ihrer daraus folgenden Notwendigkeit der Trennung von Antennenparametern von Nahfeldeinflüssen und Mehrwegeeffekten ein wesentlicher Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten und daher nicht inhaltlicher Gegenstand des Merkblatts.

2 Schlussbemerkung

Die Neubearbeitung des Antennenmerkblattes zeichnet sich vor allem durch thematische Erweiterungen an verschiedensten Stellen aus. Neben der Über-

sicht von Online-Bezugsquellen vorhandener GNSS-Antennenkalibrierungen von Institutionen und Herstellern findet sich auch eine erweiterte Tabelle, die in Anlehnung an das RINEX 3-Format die zur Verfügung stehenden Signale und Frequenzen vorhandener GNSS übersichtlich zusammenstellt. Wichtige Fragen hinsichtlich der Konsistenz von Kalibrierwerten werden behandelt und wesentliche Gesichtspunkte hinsichtlich Integration und Weiterverarbeitung in bestehenden GNSS-Softwarepaketen aufgegriffen. Den Praktikerinnen und Praktikern wird die erweiterte und aktualisierte Übersicht weiterführender Literatur sicher wichtige Informationen liefern können und als ein geeignetes Nachschlagewerk agieren, um kurze Antworten auf aktuelle Fragestellungen bei der korrekten GNSS-Verarbeitung zu erhalten.

Kontakt

Dr.-Ing. Barbara Görres
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr
Dez. V(1) Navigation/Geodäsie
Frauenberger Straße 250, 53879 Euskirchen
barbaragoerres@bundeswehr.org

Dr.-Ing. Tobias Kersten | Prof. Dr.-Ing. Steffen Schön
Leibniz Universität Hannover, Institut für Erdmessung
Schneiderberg 50, 30167 Hannover
kersten@ife.uni-hannover.de | schoen@ife.uni-hannover.de

M. Sc. Florian Zimmermann
Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation
Nußallee 17, 53115 Bonn
f.zimmermann@igg.uni-bonn.de

Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger
Technische Universität Dresden, Geodätisches Institut
Helmholtzstraße 10, 01069 Dresden
lambert.wanninger@tu-dresden.de

Tachymeterprüfung nach DVW-Merkblatt und Alternativen

Manfred Juretzko

1 Einführung

Die Kenntnis des Zustands und der Leistungsfähigkeit des verwendeten Vermessungsinstruments ist ein wesentlicher Baustein in der Qualitätssicherung von Vermessungsprodukten. Die „Verordnung über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt sowie über ihre Verwendung und Eichung“ (Mess- und Eichverordnung – MessEV) nimmt in § 5 dabei ausdrücklich Messgeräte aus, die den Vorschriften des öffentlichen Vermessungswesens entsprechen. Damit wird die Verantwortung auf den Anwender bzw. die Vermessungsverwaltung verlagert, wobei diese ihrerseits äußerst heterogene Vorschriften zur Überprüfung von Vermessungsinstrumenten vorhält. Eine Orientierung für künftige Vorschriften, aber auch für die selbstverantwortliche Prüfung durch den Anwender, können die im Folgenden vorgestellten Prüfverfahren aus NRW („Bochumer Verfahren“), der DIN ISO 17123 und insbesondere des DVW-Merkblatts Nr. 10 bieten. All diese Verfahren werden im Feld unter üblichen atmosphärischen Bedingungen unter Benutzung des üblichen Zubehörs durchgeführt. Die Prüfverfahren werden in ihren Grundzügen erläutert und insbesondere auf ihre Praxistauglichkeit und Aussagekraft hin untersucht. Dabei wird aufgezeigt, ob es sich bei den Verfahren um eine Systemprüfung, eine Komponentenprüfung oder eine Kombination beider Verfahren handelt. Nach Hennes und Krickel (2000) spricht man von Systemprüfung, wenn lediglich die Positionsgenauigkeit ermittelt werden soll, während die Komponentenprüfung die Grundlage zur Bestimmung von Korrekturen bietet. Das Tachymeter selbst, bzw. die darin wirkenden Komponenten, liefern jedoch nur einen Anteil am gesamten Unsicherheitsbudget einer Vermessung. Mindestens genau so groß ist der Anteil, den das Zubehör beiträgt. Hier stehen insbesondere Prismen und Prismenstäbe im Fokus.

2 Bochumer Verfahren

Das an der Hochschule Bochum entwickelte Verfahren (Staiger et al. 2017) basiert auf der freien Stationierung des Tachymeters innerhalb eines mit überge-

ordneter Genauigkeit bestimmten Festpunktfeldes und dem Koordinatenvergleich der im Anschluss aufgenommenen Punkte mit den Soll-Koordinaten. Das Verfahren berücksichtigt dabei die instrumentellen Weiterentwicklungen sowie das geänderte Nutzungsverhalten in den letzten 25 Jahren. So sind die meisten Tachymeter heute deutlich genauer und verfügen über einen wesentlich größeren Funktionsumfang als früher. Die Instrumente werden heutzutage vorwiegend im Nahbereich eingesetzt, Zielweiten über 300 m gehören aufgrund des vermehrten Einsatzes von GNSS-Verfahren zu den Ausnahmen im täglichen Einsatz. Die zurzeit 14 über Nordrhein-Westfalen verteilten Prüffelder haben eine Ausdehnung von ca. 130 m × 130 m und verfügen über mindestens neun mit übergeordneter Genauigkeit bestimmte vermarkte Bodenpunkte.

2.1 Messanordnung und -verfahren

Die vier Anschlusspunkte (Festpunkte) befinden sich linear angeordnet an einer Seite des Prüffeldes, die vier bis fünf zu vergleichenden Polarpunkte sind wie in [Abb. 1](#) über das Prüffeld verteilt. Die lineare Anordnung der Festpunkte hat sich (im Gegensatz zu einer gleichmäßigen Punktverteilung) als besonders sensibel für den Einfluss einer ggf. vorhandenen Additionskonstante erwiesen.

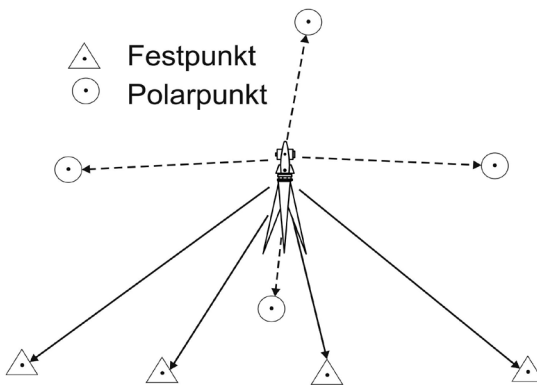


Abb. 1:
Prüffeld Bochumer
Verfahren

Für die Durchführung der Messung werden ganz bewusst keine speziellen Vorgaben (z. B. Messung in zwei Fernrohrlagen) gemacht. Der Anwender soll genau das Verfahren anwenden, welches er auch in der alltäglichen Praxis wählt. Es gibt keine Vorgaben über die Anzahl der verschiedenen Reflektoren oder die Verwendung von Stativen/Stabstativen. Die Stationierung soll nach Möglichkeit direkt mit den instrumenteneigenen Programmen erfolgen, es ist jedoch auch eine nachträgliche Online-Auswertung mit dem Programm TAROT der

Bezirksregierung Köln möglich. Die Stationierung und das anschließende Aufmaß der Polarpunkte soll zweimal durchgeführt werden. Die 2D-Koordinatendifferenzen werden zu horizontalen Abständen zusammengefasst. Die Instrumentenprüfung ist dann bestanden, wenn keine dieser Abstände den Betrag von 10 mm überschreitet.

2.2 Beurteilung des Verfahrens

Der Anspruch der Entwickler des Verfahrens, die Prüfung eines Instruments in weniger als einer Stunde durchzuführen, konnte auch durch eigene Messungen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bestätigt werden. Dazu wurde im Karlsruher Schlosspark ein vergleichbares Festpunktfeld angelegt. Hier zeigt sich bereits ein Problem des Verfahrens: Der Aufwand, ein entsprechendes gut zugängliches flächenhaftes Gebiet mit freibleibenden Sichten zu finden und mit übergeordneter Genauigkeit zu vermessen, ist nicht zu unterschätzen. Für den Betreiber kommt dann noch der Verwaltungsaufwand für die Terminkoordination und für den Anwender der Reiseaufwand hinzu.

Die in Staiger et al. (2017) veröffentlichten Ergebnisse einer Vielzahl von Instrumentenprüfungen zeigten nur bei den wenigsten Instrumenten eine Überschreitung der Abweichung von 10 mm, die in der Regel mit einer fehlerhaften Einstellung der Additionskonstanten erklärt wurde. Auch die am KIT geprüften Tachymeter (niederer Genauigkeitsstufe) zeigten nur Abweichungen von wenigen Millimetern. Insofern ist dieses Verfahren für Katasteransprüche sicherlich adäquat.

Der Begriff Systemprüfung in Zusammenhang mit diesem Verfahren setzt voraus, dass das geprüfte Instrumentarium genau in derselben Zusammenstellung bei der täglichen Arbeit eingesetzt wird. Schon ein zusätzlicher Lotstab stellt eine wesentliche Veränderung des Systems dar. Zudem ist es durch die Vielzahl der Einflussfaktoren schwierig, problematische Komponenten des Systems zu lokalisieren. Hier könnte es helfen, klar zu dokumentieren, welches Zubehörteil an welchem Punkt verwendet worden ist. Auch wäre es hilfreich, (ggf. durch Rückrechnung) die polaren Elemente einer Zwei-Lagen-Messung zu analysieren, um daraus auf eine Zielachs- bzw. Höhenindexabweichung des Instruments zu schließen. Hier wäre in der Regel kein messtechnischer Mehraufwand nötig. Da die geprüften Instrumente oft nicht nur für Katastervermessungen, sondern auch für technische Messungen mit Höhenbezug eingesetzt werden, sollten die Punkte des Testfelds (zumindest lokale) Höhen bekommen. Auch hier entstünde bei der Prüfung kein messtechnischer Mehraufwand, böte dem Anwender aber einen großen Mehrwert bei der Beurteilung der Einsatzfähigkeit des geprüften Instruments. Bei einigen NRW-Prüffeldern werden neben örtlichen Koordinaten

auch UTM-Koordinaten zur Verfügung gestellt. In diesem Fall kann auch der Anwender als Teil des Gesamtsystems geprüft werden, indem er nachweist, dass er die Stationierungsprogramme fachgerecht bedienen kann.

3 Verfahren nach DIN ISO 17123

Die DIN ISO 17123 stellt mit den Teilen 3 bis 5 Feldprüfverfahren zur Verfügung, die auf die Untersuchung von Tachymetern oder deren Komponenten abzielen. Während in den Teilen 3 (Theodolite) und 4 (EDM) eine Komponentenprüfung durchgeführt wird, steht bei Teil 5 (Tachymeter, nur als ISO in englischer Sprache) das Gesamtsystem im Vordergrund. Alle drei Verfahren führen eine vereinfachte und eine vollständige Variante auf. Die messtechnisch aufwändigere vollständige Version beinhaltet auch eine statistische Auswertung zur Beurteilung der Prüfergebnisse. In den Anhängen der Teile 4 und 5 dieser Norm wird zudem eine Auflistung von Beiträgen zur Messunsicherheit gegeben.

3.1 DIN ISO 17123-3 (Theodolite)

Diese Norm gliedert sich in getrennte Prüfungen für die Horizontal- und die Vertikalwinkelmessung. Die vereinfachte und die vollständige Variante unterscheiden sich im Wesentlichen in der Anzahl der Beobachtungen.

Zur Prüfung der Horizontalwinkelmessung werden fünf Ziele in einer Entfernung von 100 bis 250 m im Instrumentenhorizont in zwei Fernrohrlagen angemessen (Abb. 2). Zur Prüfung der Vertikalwinkelmessung werden vier vertikal verteilte Ziele in einer Entfernung von ca. 50 m in zwei Fernrohrlagen

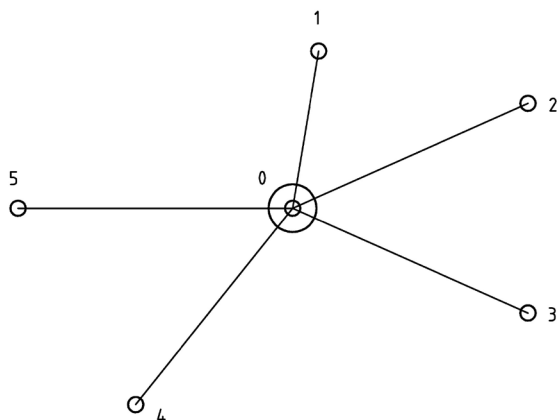


Abb. 2:
Prüfgeometrie
DIN ISO 17123-3,
Horizontalrichtung

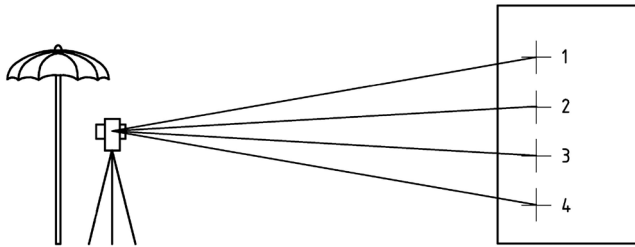


Abb. 3:
Prüfgeometrie
DIN ISO 17123-3,
Vertikalwinkel

angemessen (Abb. 3). Bei der vereinfachten Variante werden jeweils drei Vollsätze beobachtet, bei der vollständigen Variante viermal drei Vollsätze bei möglichst unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen. Das Ergebnis liefert die empirische Standardabweichung für eine/n in zwei Fernrohrlagen ermittelte/n Horizontalrichtung bzw. Vertikalwinkel.

Insbesondere die ausführliche Variante ist aufgrund der Forderung nach unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen mit einem hohen organisatorischen und zeitlichen Aufwand verbunden. Die Relevanz dieses Prüfverfahrens liegt jedoch darin, dass sich die Spezifikationen seitens der Instrumentenhersteller in der Regel auf diese Norm beziehen.

3.2 DIN ISO 17123-4 (EDM-Geräte)

Das Feldprüfverfahren für EDM-Geräte verfolgt bei den beiden Varianten deutlich unterschiedliche Ansätze:

Bei der vereinfachten Variante erfolgt ein Soll-Ist-Vergleich von vier mit übergeordneter Genauigkeit bestimmten Strecken (Abb. 4). Die Länge der Strecken richtet sich nach dem üblichen Arbeitsbereich des Instruments (z. B. 20 bis 200 m). Als Standpunkt ist ein bodenvermarkter Punkt zu nutzen, als Zielpunkte

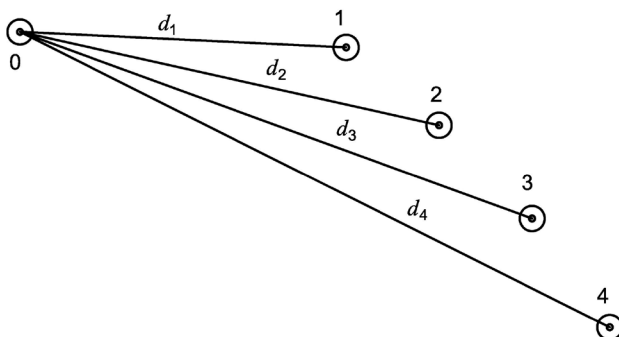


Abb. 4:
Prüfgeometrie
DIN ISO 17123-4,
vereinfachtes
Verfahren

nach Möglichkeit fest installierte Reflektoren. Die Distanzen d_i sind jeweils dreimal unter Berücksichtigung der atmosphärischen Korrekturen zu messen.

Sind die Unterschiede zwischen den Soll- und Ist-Strecken zu groß für die beabsichtigte Aufgabe, sind weitere Untersuchungen zur Identifizierung der Hauptabweichungsquellen erforderlich. Sofern eine Maßstabsabweichung vermutet wird, soll das Instrument einer Frequenzprüfung unterzogen werden. Wird der Grund für die Abweichungen in einer Additionskonstanten vermutet, soll diese mit Hilfe einer temporären linearen Vergleichsstrecke mit drei Stativen durch zwangszentriertes Umsetzen des Instruments ermittelt werden. Das vereinfachte Verfahren erfordert einen vergleichsweise geringen Messaufwand, setzt aber das Vorhandensein eines Festpunktnetzes mit übergeordneter Genauigkeit voraus.

Für das vollständige Prüfverfahren ist eine lineare Vergleichsstrecke mit sieben (während der Prüfmessungen) stabilen Referenzpunkten zu errichten. Die Gesamtlänge soll zwischen 300 und 600 m liegen (Abb. 5). Durch zwangszentriertes Umsetzen des Instruments werden alle 21 Kombinationen unter Berücksichtigung der atmosphärischen Korrekturen gemessen.

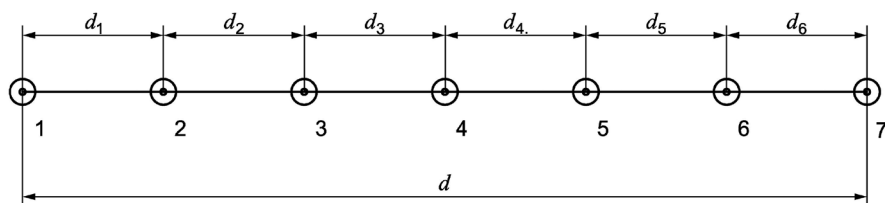


Abb. 5: Prüfgeometrie DIN ISO 17123-4, vollständiges Verfahren

Das Ergebnis einer Ausgleichung liefert dann die Länge der Teilstrecken d_i sowie die Additionskonstante, jeweils mit den entsprechenden empirischen Standardabweichungen. Dieses Verfahren erfordert sowohl einen hohen Material- als auch Messaufwand und liefert dafür lediglich einen einzigen instrumentellen Kennwert: die Additionskonstante. Die Relevanz dieses Prüfverfahrens liegt auch hier vor allem darin, dass sich die Spezifikationen seitens der Instrumentenhersteller in der Regel auf diese Norm beziehen.

3.3 ISO 17123-5 (Tachymeter)

Dieses als Systemprüfung angelegte Verfahren unterscheidet sich von den vorherigen schon allein darin, dass nicht einzelne (polare) Messwerte, sondern 3D-Koordinaten bestimmt werden und in die Auswertung einfließen.

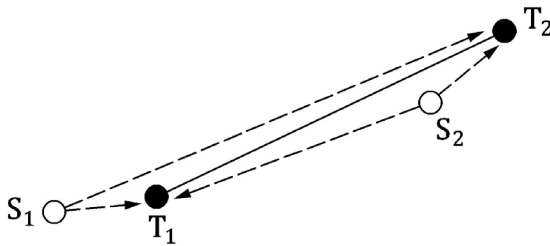


Abb. 6:
Prüfgeometrie
ISO 17123-5,
vereinfachtes Ver-
fahren

Bei der vereinfachten Variante werden die Endpunkte T_i einer Strecke, die dem Arbeitsbereich des Tachymeters entsprechen soll, von zwei unterschiedlichen Standpunkten S_i aus aufgenommen (Abb. 6). Dabei sind jeweils zwei Aufnahmen in beiden Fernrohrlagen durchzuführen. Aus den so bestimmten Koordinaten werden acht Horizontalstrecken und ebenso viele Höhenunterschiede zwischen den Endpunkten der Strecke berechnet. Als Ergebnis werden die maximalen Abweichungen zu den Mittelwerten bezüglich der Strecken d_{xy} und der Höhenunterschiede d_z ausgewiesen. Leider wird bei der Auswertung außer Acht gelassen, dass die Prüfgeometrie durchaus geeignet ist, eine Additionskonstante aufzudecken und somit einen über die reine Prüfung hinausgehenden Mehrwert liefern könnte.

Bei der vollständigen Variante werden die Eckpunkte T_i eines Dreiecks von drei Instrumentenstandpunkten S_i aus aufgenommen (Abb. 7). Auch in dieser Variante soll die Ausdehnung des Dreiecks dem beabsichtigten Einsatzbereich des Instruments entsprechen. Die Aufnahme erfolgt jeweils doppelt und in beiden Fernrohrlagen. Lagemäßig erfolgt eine Ausgleichung der so bestimmten 12 Dreiecke durch Translation und Rotation um einen gemeinsamen Schwer-

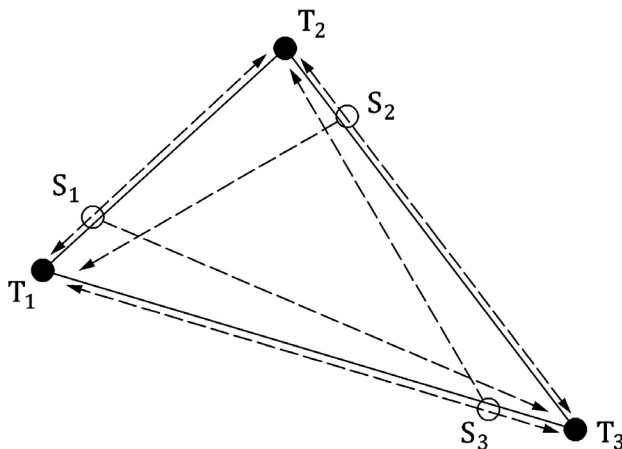


Abb. 7:
Prüfgeometrie
ISO 17123-5,
vollständiges
Verfahren

punkt. Aus den Residuen wird die empirische Standardabweichung $s_{ISO-TS-XY}$ einer Koordinate in zwei Fernrohrlagen berechnet. Ebenso werden aus den 12 Bestimmungen die gemittelten Höhenunterschiede zwischen den Zielen sowie die empirische Standardabweichung $s_{ISO-TS-Z}$ einer Z-Koordinate in zwei Fernrohrlagen berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass alle Instrumentenstandpunkte innerhalb des Prüfdreiecks liegen, ist dieses Verfahren nur mäßig empfindlich für die Auswirkung einer Additionskonstante. Auch stellt die flächenhafte Gestalt des Prüffeldes eine nicht zu unterschätzende organisatorische Herausforderung dar. Ähnlich wie beim Bochumer Verfahren wird darauf verzichtet, durch entsprechende Auswertung des Beobachtungsmaterials Aussagen zur Zielachs- bzw. Höhenindexabweichung abzuleiten.

4 Verfahren nach DVW-Merkblatt Nr. 10

Die Ansprüche des DVW-Merkblatts lagen in einer schnellen, einfach durchzuführenden Prüfprozedur mit einer umfangreichen Aussage zu Unsicherheiten, aber auch zu systematischen Abweichungen des Instruments. Auf Basis der vollständigen Prüfprozedur der ISO 17123-5 wurde die Prüfgeometrie so modifiziert, dass sie empfindlich für eine Additionskonstante und einfacher zu realisieren ist (Abb. 8).

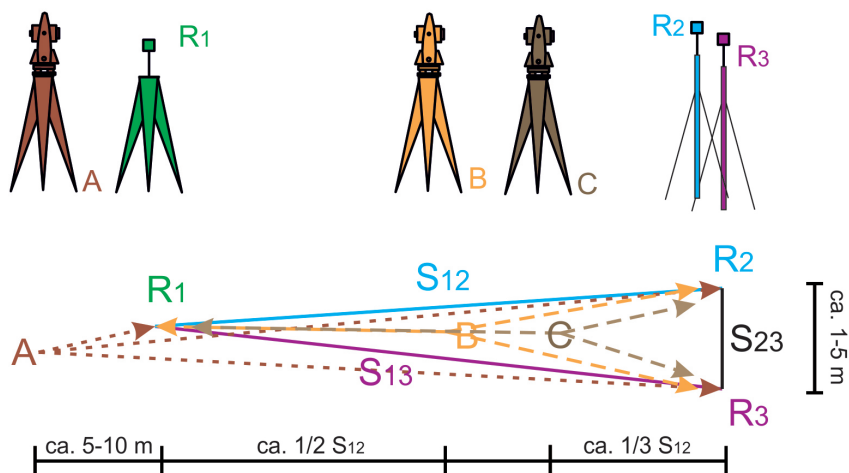


Abb. 8: Prüfgeometrie

4.1 Messanordnung und -verfahren

Die Aufnahmeelemente und -reihenfolge sind identisch mit der ISO 17123-5. Ebenso erfolgt die Bestimmung der Unsicherheiten für die XY- bzw. Z-Koordinate mit dem identischen Formelapparat. Zusätzlich werden aus den abgespeicherten Koordinaten die polaren Elemente Horizontaldistanz, Richtungswinkel

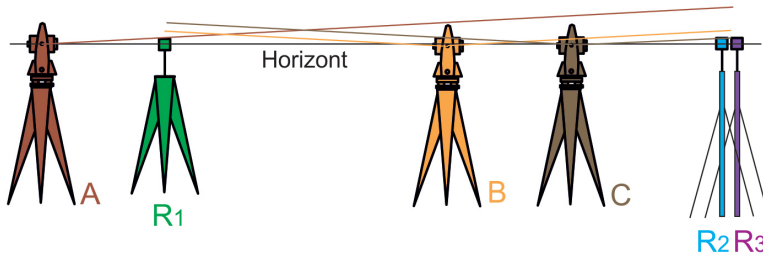


Abb. 9: Vertikale Restabweichung

und Vertikalwinkel zurückgerechnet. Es empfiehlt sich daher, die Koordinaten mit mindestens vier Nachkommastellen zu registrieren. Mit Hilfe dieser Elemente werden die Zielachs- und die Höhenindexabweichung berechnet und grafisch dargestellt. Weiterhin werden diese Elemente genutzt, um in Anlehnung an die DIN ISO 17123-3 die Standardabweichungen für eine Horizontalrichtung bzw. einen Vertikalwinkel abzuleiten, wenn auch (im Gegensatz zur Originalversion) mit deutlich reduziertem Datenmaterial. Aufgrund der annähernd linearen Gestalt der Prüfgeometrie kann durch den Vergleich der von unterschiedlichen Standpunkten aus bestimmten Dreiecksseiten die Additionskonstante abgeleitet werden. Der Standpunkt B in der Mitte des „Dreiecks“ dient zur Bestimmung der quasi fehlerfreien Höhenunterschiede zwischen den Zielpunkten 1 und 2 bzw. 1 und 3 (Abb. 9). Differenzen der Höhenunterschiede bei der Bestimmung von Standpunkt A und C aus deuten auf Systematiken hin, die ihre Ursache in einem fehlerhaft arbeitenden Kompensator, aber auch in starken vertikalen Temperaturgradienten haben können und im Folgenden als „vertikale Restabweichungen“ bezeichnet werden. Diese Abweichung ist vergleichbar mit dem Zielachsfehler bei Nivelliergeräten. Ein möglicher Höhenindexfehler spielt hierbei keine Rolle, da hier bereits mit den aus Fernrohrlage I und II gemittelten Werten agiert wird.

4.2 Darstellung der Prüfergebnisse

Dem Anwender wird zur Auswertung ein EXCEL-Formular zur Verfügung gestellt, in das er nur noch die in einer bestimmten Reihenfolge erfassten 3D-Koordinaten der Prüfmessung kopieren und bestimmte Angaben zum geprüften Instrument sowie die zu prüfenden Genauigkeitsspezifikationen eintragen muss. Automatisch werden dann numerische (Abb. 10) und grafische Ergebnisse übersichtlich auf einem doppelseitigen Protokoll ausgegeben.

Unsicherheitsangaben						
		Vorgabe:	empirisch:	Hypothesentest (95%)		
σ_H [mgon]		0,3	0,3	geringer	als Vorgabe	
σ_V [mgon]		0,3	0,3	geringer	als Vorgabe	
σ_S (Absolut) [mm]		2,0				
σ_{XY} [mm]		2,0	0,6	geringer	als Vorgabe	
σ_Z [mm]		2,0	1,2	geringer	als Vorgabe	
Systematische Abweichungen:						
				Hypothesentest (95%)		
Zielachsabweichung c [mgon]:			0,0	nicht sign.	abweichend von Null	
Std.abw. c [mgon]:			0,1			
Höhenindexabweichung i [mgon]:			1,0	signifikant	abweichend von Null	
Std.abw. i [mgon]:			0,1			
Additionskonstante [mm]:			1,3			
Vertikale Restabweichung [mgon]:			0,8			

Abb. 10: Numerische Ergebnisse

Zusätzlich zu den numerischen Ergebnissen werden auch noch die um die Additionskonstante korrigierten Längen der beiden langen Dreiecksseiten aufgeführt, die ggf. für einen (in einer erweiterten Version des Prüfverfahrens möglichen) Vergleich mit Sollstrecken dienen können. Die grafischen Darstellungen sollen den Anwender bei der Interpretation der Ergebnisse unterstützen:

Abb. 11 zeigt die jeweiligen Zwei-Lagen-Abweichungen, geordnet nach Standpunkt (A-C), Satz (S1/S2) und Ziel (farbige Balken) sowie dem Durchschnittswert für die Zielachs- und die Höhenindexabweichung. Im vorliegenden Beispiel ist eine systematische Höhenindexabweichung von 1 mgon zu erkennen, während die Zielachsabweichung keine signifikante Systematik aufweist.

Ein weiteres Diagrammpaar stellt die Abweichung der Horizontalrichtungen bzw. Vertikalwinkel eines Satzes (Mittel aus zwei Lagen) vom Gesamtmittel aus

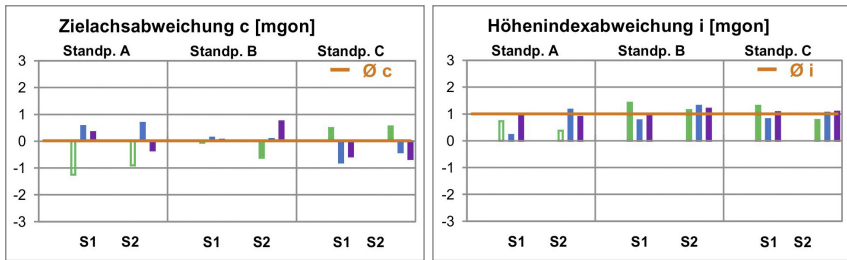


Abb. 11: Zielachs- und Höhenindexabweichung

beiden Sätzen dar (Abb. 12). Zum Vergleich sind die Vorgaben der Unsicherheit der Horizontalrichtungs- bzw. Vertikalwinkelmessung durch rote Linien dargestellt. Im vorliegenden Beispiel sind keine Auffälligkeiten zu erkennen.

Schließlich werden noch die Widersprüche bei der Bestimmung der langen Dreiecksseiten und der Höhenunterschiede dargestellt (Abb. 13), aus denen sich die Additionskonstante sowie die vertikale Restabweichung ergeben. Im aufgeführten Beispiel sind eine Additionskonstante von 1,3 mm und eine vertikale Restabweichung von 0,8 mgon zu erkennen.

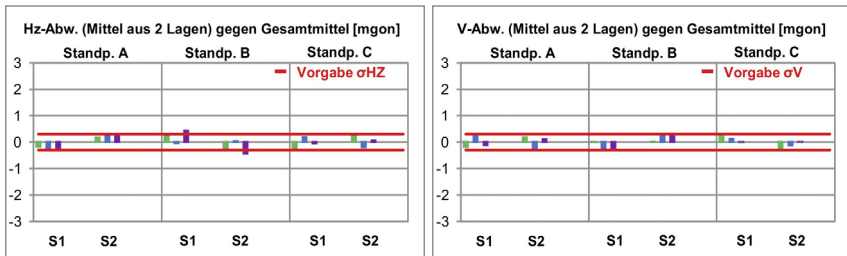


Abb. 12: Abweichung vom Satzmittel

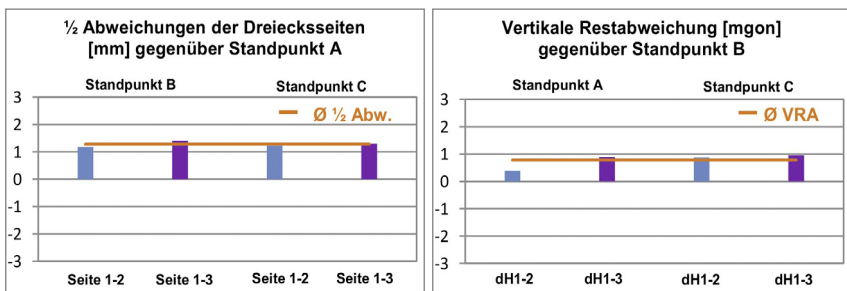


Abb. 13: Widersprüche der Dreiecksseiten und vertikale Restabweichung

4.3 Optionaler Maßstabsvergleich

Um das Verfahren so flexibel zu halten, dass es entsprechend der Projektanforderungen sehr unterschiedliche Zielweiten aufweisen kann, wurde beim Entwurf des Merkblatts auf die Forderung nach Sollstrecken verzichtet. Zu bedenken ist auch, dass z. B. Zentrierungsungenauigkeiten von nur 1 mm bei Strecken von 100 m als Maßstabsabweichung von 10 ppm fehlinterpretiert werden könnten,

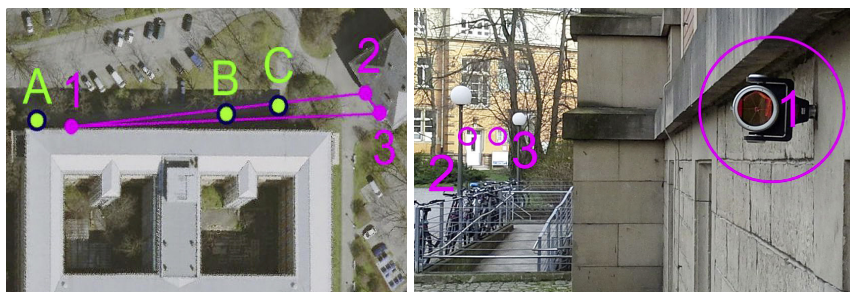


Abb. 14: Festpunktfeld und Prismenmontierung

was deutlich über den bei Frequenzprüfungen typischen Abweichungen im Bereich von ca. 2 ppm liegt. In gleicher Weise könnten Ungenauigkeiten der Erfassung der Atmosphäre fälschlicherweise als Maßstabsabweichungen interpretiert werden. Das Auswerteformular stellt aber die um die Additionskonstante korrigierten langen Dreiecksseiten für einen optionalen Maßstabsvergleich zur Verfügung. Denn der Vergleich mit Sollstrecken ist die einzige Möglichkeit, z. B. grobe Fehleinstellungen im Maßstab aufzudecken.

Zur Bereitstellung von Sollstrecken wurden am KIT drei stabile Aufnahmeeinrichtungen für Prismen an Gebäuden angebracht (Abb. 14), die bei jeder Instrumentenprüfung mit den identischen (Präzisions-)Prismen bestückt werden. Diese liegen auf der Nordseite des Institutsgebäudes und erlauben so eine von der Seiten- und Vertikalrefraktion nur gering beeinflusste Instrumentenprüfung. Diese Einrichtung ist mittlerweile dutzendfach mit unterschiedlichen Referenzgeräten im Zuge von Serienprüfungen (unter Berücksichtigung der atmosphärischen Bedingungen) vermessen worden, so dass Werte für die langen Dreiecksseiten (94 m) mit Unsicherheiten besser als 0,2 mm zur Verfügung stehen. Ebenso sind die Höhenunterschiede mit Unsicherheiten besser als 0,2 mm bekannt. Das Vorhandensein der Aufnahmeeinrichtungen reduziert zudem den logistischen Aufwand erheblich.

4.4 Beurteilung, Empfehlungen und Optimierungen

Im Laufe der Entwicklung und Evaluierung des Verfahrens wurden über 20 Tachymeter unterschiedlicher Genauigkeitsstufen mehrfach (einige dutzendfach) geprüft. Es zeigte sich, dass die Prüfung deutlich unter einer Stunde (bei Serienprüfungen unter einer halben Stunde) pro Instrument mit nur einer Person durchgeführt werden kann. Die Ergebnisse waren stabil und aussagekräftig.

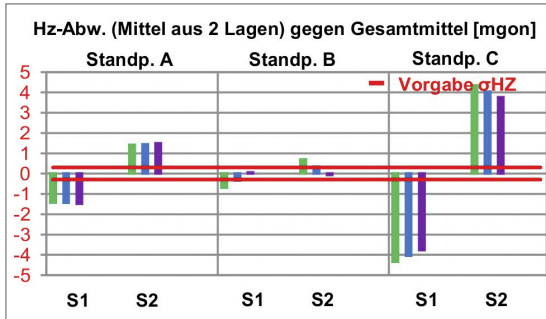


Abb. 15:
Hz-Abweichung bei
defektem Dreifuß

Dabei lieferten insbesondere die grafischen Darstellungen wertvolle Hinweise und Interpretationsgrundlagen. Im Folgenden sind beispielhaft die Abweichungen der (schon zum Satzmittel aus Zwei-Lagen-Messungen zusammengefassten) Hz-Richtungswerte gegenüber dem Gesamtittel aus zwei Sätzen dargestellt (Abb. 15). Diese auffällig großen Abweichungen hatten (wie später durch Laboruntersuchungen bestätigt) ihren Grund in einem defekten Dreifuß. Ähnliche Abweichungsmuster traten bei instabilen Stativen auf.

Auch wenn die Ausdehnung des Dreiecks in Analogie zur Prüfung nach ISO 17123-5 grundsätzlich dem beabsichtigten Arbeitsbereich des Instruments (z. B. für ein bestimmtes Projekt) entsprechen sollte, hat sich eine Ausdehnung von ca. 100 m als vorteilhaft herausgestellt. In diesem Entfernungsbereich kann in der Regel der Prismenmittelpunkt (sichtbarer Schnittpunkt der Prismenkanten) noch sicher manuell angezielt werden. Zudem wirkt die Vertikal- bzw. Seitenrefraktion noch nicht so stark wie bei längeren Distanzen. Auf diese Weise werden die Prüfungen miteinander vergleichbar. Die lineare Anordnung der Punkte hat sich als sehr vorteilhaft bei der Anlage der (temporären als auch stationären) Testfelder erwiesen. So ist es erheblich einfacher, für freibleibende Sichten zu sorgen als bei flächenhaften Testfeldern.

Insgesamt liefert das vorgestellte Prüfverfahren bei begrenztem Aufwand eine Fülle an Informationen zum Zustand des Tachymeters und kann flexibel an den tatsächlichen Arbeitsbereich des Instruments angepasst werden. Durch die Nähe zur ISO 17123-5 weist dieses Verfahren zum einen Züge einer Systemprüfung

auf. Durch die Ableitung etlicher Systematiken, die in begrenztem Umfang auch zur Korrektur der ursprünglichen Messelemente herangezogen werden können, hat dieses Verfahren auch die Charakteristik einer (Multi-)Komponentenprüfung.

5 Prüfung des Zubehörs

Bei der Prüfung nach dem DVW-Merkblatt steht eindeutig das Tachymeter im Vordergrund. Das einzige Zubehörteil, das einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat, ist der in Standpunkt A verwendete Reflektor. Das Zubehör sollte sich grundsätzlich in einwandfreiem Zustand befinden. Defekte am Zubehör können ggf. anhand grober Abweichungen bei der Auswertung auffallen. In (Juretzko 2013) sind typische Auswirkungen wesentlicher Zubehörteile, insbesondere von Reflektoren und Prismenstäben aufgeführt. Im Folgenden werden Vorschläge zu deren praxisgerechter Prüfung gemacht.

5.1 Reflektoren

Sollen weitere Reflektoren in die Prüfung einbezogen werden, müsste die Prüfprozedur, genau wie beim Bochumer Verfahren vorgeschlagen, komplett mit jedem einzelnen Reflektor wiederholt werden, was einen unverhältnismäßig hohen Aufwand darstellt. Hier empfiehlt sich vielmehr, den bei der vorausgegangenen Prüfung verwendeten Reflektor als Referenzreflektor anzusehen und weitere Reflektoren durch einen Austausch auf einem stabilen Stativ zu diesem Referenzreflektor in Bezug zu bringen. Um sehr genaue Zielungen durchführen zu können, sollte diese Prüfung bei einer kurzen Zielweite von ca. 10 m durchgeführt werden. Bei noch kürzeren Zielweiten können unter Umständen Effekte, die auf Überblendungen beruhen, das Messergebnis verfälschen (Juretzko 2006).

Bei einer solchen Vergleichsprüfung kann neben der Additionskonstante auch die Symmetrie der Reflektoren geprüft werden. Die meisten gebräuchlichen Reflektoren lassen sich um eine vertikale Achse drehen und um eine horizontale Achse kippen. Exzentrizitäten des Glaskörpers gegenüber diesen Achsen lassen sich aufdecken, indem man diese Reflektoren in zwei „Reflektorlagen“ ausrichtet (Abb. 16). Zur Überprüfung sollte ein möglichst präzises Tachymeter eingesetzt werden, das in der Lage ist, Koordinaten mit mindestens vier Nachkommastellen abzuspeichern.

Erfahrungsgemäß liegen die Abweichungen bei Prismen mit gleicher nominaler Prismenkonstante sowohl bezüglich der Distanzmessung als auch der

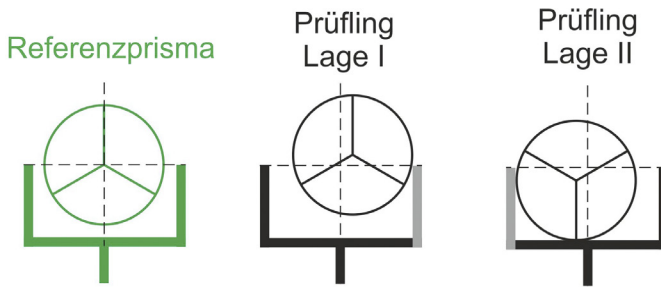


Abb. 16: Vergleichsprüfung von Standardprismen

Zentrierung unter 1 mm. Grobe Abweichungen (z. B. als Folge einer Beschädigung) können mit der vorgestellten Methode einfach festgestellt werden.

5.2 Prismenstäbe

Die oft stiefmütterliche Behandlung von Prismenstäben beim Transport und bei der praktischen Arbeit führt dazu, dass deren Ungenauigkeit einen wesentlichen Anteil am Fehlerbudget einer Vermessung hat. Eine effektive Prüfung kann wie folgt durchgeführt werden: Mit Hilfe eines Stabstativs wird der Prismenstab in ca. 10 m Entfernung vom Tachymeter über einer Messmarke aufgestellt. Der Prismenstab wird dann in 90°-Schritten zweimal um seine eigene Achse gedreht,

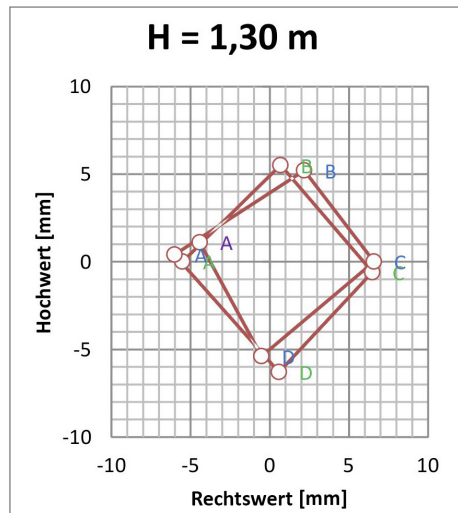


Abb. 17: Verdrehung des Prismenstabs

die Libelle sauber eingespielt, das Prisma wird zum Instrument ausgerichtet und angemessen. Auch hier sollte das Tachymeter die Koordinaten mit mindestens vier Nachkommastellen registrieren können.

Abb. 17 zeigt die unterschiedlichen Ausrichtungen des Prismenstabs anhand der Libellenstellung (A-D) und die entsprechenden Positionsbestimmungen. Deutlich zu erkennen ist eine radiale Abweichung von ca. 6 mm und eine Wiederholgenauigkeit von ca. 2 mm bei identischer Ausrichtung. Zu beachten ist auch, dass ein ausgefahrener Prismenstab andere, in der Regel größere Abweichungen aufweisen kann.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In der Gegenüberstellung der Prüfmethode nach dem DVW-Merkblatt mit anderen etablierten Methoden wurde gezeigt, dass letztere das vorliegende Datenmaterial kaum zur Analyse von Systematiken nutzen oder die Prüfgeometrie nur wenig geeignet ist, um bestimmte Systematiken aufzudecken. Somit werden dem Anwender trotz oftmals erheblichem Organisations- und Messaufwand wichtige Informationen zum Zustand des geprüften Instruments vorenthalten. Die auf der ISO 17123-5 basierende DVW-Prüfung dagegen leitet aus dem Datenmaterial eine Vielzahl von Systematiken ab und stellt sie dem Anwender zur genaueren Interpretation auch grafisch zu Verfügung. Die Entwicklung und Evaluierung dieser Prüfmethode hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, mehrere Instrumente nacheinander zu prüfen, idealerweise bei gleichzeitiger Prüfung eines Referenzgeräts. Die Anlage eines festvermarkten Prüfdreiecks hat logistische Vorteile und erlaubt zudem noch Aussagen zur Maßstabsabweichung. Um den Prüfaufwand bei variierendem Zubehör nicht ins Unermessliche zu steigern, empfiehlt sich bei Prismen eine Vergleichsprüfung mit einem Referenzprisma. Prismenstäbe sollten durch die Aufnahme in unterschiedlichen Ausrichtungen überprüft werden. Mit dieser einfachen Maßnahme kann eine wesentliche Komponente im Fehlerbudget bei Vermessungen minimiert werden.

In Zukunft gilt es, diese und weitere Erfahrungen bei der Anwendung von Prüfverfahren in die Entwicklung länderspezifischer Prüfvorschriften einzubringen, um dem Anwender effektive und praxisnahe Prüfprozeduren, auch für das Zubehör, zur Verfügung zu stellen.

Literatur

- DIN ISO 17123-3 (2019): Optik und optische Instrumente – Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente – Teil 3: Theodolite (ISO 17123-3:2001).
- DIN ISO 17123-4: (2017): Optik und optische Instrumente – Feldprüfverfahren geodätischer Instrumente – Teil 4: Elektrooptische Distanzmesser (EDM-Messungen mit Reflektoren) (ISO 17123-4:2012).
- DVW-Merkblatt Nr. 10 (2017): Ein einfaches Feldprüfverfahren für Tachymeter. DVW-Merkblatt 10-2017. www.dvw.de/merkblatt.
- Hennes, M.; Krickel, B. (2000): Zur Entwicklung von Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Robot-Tachymetern. Flächenmanagement und Bodenordnung (FuB) 2000, 26–33.
- ISO 17123-5 (2018): Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Total stations.
- Juretzko, M. (2006): Leistungsfähigkeit des reflektorlosen Distanzmessmoduls R300 der Tachymeterserie TPS1200 von Leica. Flächenmanagement und Bodenordnung (FuB) 2/2006, 90–95.
- Juretzko, M. (2013): Überprüfungsstrategien für Tachymeter. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätssicherung geodätischer Mess- und Auswertverfahren. DVW-Schriftenreihe, Band 71, Augsburg, 47–63.
- Mess- und Eichverordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010, 2011).
- Ministerium für Inneres und Kommunales NRW (MIK NRW 2015): Neue Prüfverfahren für Tachymeter und GNSS-Empfänger im amtlichen Vermessungswesen (Prüffelderlass). Erlass vom 10.07.2015.
- Staiger, R.; Albuscheit, H.; Gräfrath, T.; Heitmann, S.; Levin, M.; Mausbach-Judith, T.; Schacknies, G. (2017): Das Bochumer Verfahren – Eine Systemprüfung von Tachymetern für das nordrhein-westfälische Liegenschaftskataster. In: zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Heft 1/2017, 142. Jg., 14–22.

Kontakt

Dr.-Ing. Manfred Juretzko
Karlsruher Institut für Technologie KIT, Geodätisches Institut
Englerstraße 7, 76131 Karlsruhe
manfred.juretzko@kit.edu

Session 4:

Qualitätssicherung für Multisensorsysteme in der Praxis

Qualitätssicherung für punktwolkenbasierte Messsysteme – von der Stichprobe zur Systematik

Torsten Genz | Uwe Krause | Ulrich Stenz

1 Qualitätssicherung, Digitalisierung und Virtualisierung

Auf dem Weg zum authentischen digitalen Zwilling als virtuelle Repräsentation eines Objektes oder einer Szene ist die systematische Qualitätssicherung über die gesamte Prozesskette, nicht zuletzt aber insbesondere bezüglich der Geodaten von zentraler Bedeutung (siehe [Abb. 1](#)). Die Gründe hierfür sind vielfältig, basieren jedoch grundsätzlich auf den, nicht zuletzt aus Kostengründen, immer häufiger gewünschten interdisziplinären Nutzungsszenarien, wie auch die damit verbundenen gestiegenen Anforderungen an die Geodaten selbst.



Abb. 1: Authentischer digitaler Zwilling

Gerade die Forderungen nach Vollständigkeit in Bezug auf Informationsauf-
lösung und Interdisziplinarität führt aktuell immer häufiger zu punktwolken-
basierten Digitalisierungsszenarien. Diese sind jedoch unter den Aspekten der
Wirtschaftlichkeit und Vollständigkeit meist nur mit kombinierten Aufnahme-
verfahren zu lösen. Daraus ergeben sich ergänzende, teilweise auch überlappen-
de und sogar verschmelzende Geodaten die nach der Datenfusion hinsichtlich
Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Vollständigkeit und Aktualität eine signifikante
Inhomogenität aufweisen können. Dies birgt hohe Risiken bezüglich der Inter-
pretation und Kontrolle dieser Geodaten.

Betrachtet man nun Ziele wie Rechtssicherheit und Authentizität virtueller
digitaler Geodatenzenarien, bekommen grundlegende Forderungen wie Ef-
fektivität und Effizienz punktwolkenbasierter Strategien ebenfalls einen großen
Schwerpunkt.

Es ist also notwendig über die gesamte Prozesskette eine Qualitätssicherung
abzubilden, welche den oben genannten Umständen und Forderungen Rech-
nung trägt. In einer Reihe von Untersuchungen, FuE Projekten und Beiträgen,
beginnend mit der Beschreibung rechtssicherer geodätischer Prozessketten
(IRIS Geo3D – Intelligentes rechtssicheres Informationssystem auf Grundlage
dreidimensionaler, digital hochaufgelöster Geodaten, ZIM BMWi FuE Projekt
gemeinsam mit GIH, Universität Hannover, 2012–2014) und abschließend mit
Forschungsarbeiten zum authentischen digitalen Zwilling soll dieser Beitrag
unter Würdigung der aktuellen Entwicklungen eine Strategie skizzieren, wie die
Qualitätssicherung auf Prozessebene aussehen könnte und welche Anforderun-
gen sich daraus ergeben.

1.1 Qualitätssicherung vom Einzelpunkt zur Punktwolke

Die Beschreibung und Gewährleistung einer bestimmten Qualität von Geo-
daten und daraus abgeleiteten Produkten ist grundsätzlich mit einer effizienten
Strategie der Qualitätssicherung verbunden. Dies beginnt bei der Wahl des op-
timalen Erfassungsverfahrens und Geräts, geht weiter mit der Berücksichtigung
der Aufnahmegeometrie und schließlich auch der unabhängigen Kontrolle der
Ergebnisse. Hinsichtlich Einzelmessungen ist dies auch bei großer Anzahl der
Messungen grundsätzlich unproblematisch und wird regelmäßig lediglich durch
die Wirtschaftlichkeit begrenzt. Grund hierfür ist vor allem die Klarheit über die
Identität der zu kontrollierenden Punkte. Selbst bei der Deformationsanalyse be-
steht regelmäßig kein Zweifel an der Identifikation des Messpunktes, sondern es
steht lediglich die Frage nach dessen Veränderung im Raum.

Handelt es sich jedoch um ein punktwolkenbasiertes Verfahren, mit einer
teilweise enorm hohen Informationsdichte, Regelmäßigkeit der Messabstände

oder beidem, so ist doch letztlich die Identität eines eindeutigen Messpunktes über mehrere Messepochen oder Messverfahren eher zufällig und müsste in der Regel erst „erschnüffelt“ werden. Wenn aber nun kein definierter eindeutiger Messpunktort die Basis für die Qualität der Abbildung realer Objekte darstellt, stellt sich die Frage, wie dann eine effektive und vor allem effiziente Kontrolle aussehen kann. In Einzelfällen kann diese Fragestellung natürlich umgangen werden, etwa durch die beliebige Erhöhung der Auflösung des Messverfahrens, die Beschränkung auf ein einzelnes Verfahren oder eine genügend hohe Anzahl an Stichproben. Da die Anzahl der Messpunkte bei punktwolkenbasierten Verfahren jedoch regelmäßig in die Millionen oder noch weit darüber hinaus geht ist es nahezu unmöglich die Daten auf Basis einfacher ortsbasierender Vergleiche abschließend zu prüfen. Hilfsweise beschränkt man sich hierbei typischerweise auf Orte exponierter Bedeutung und verlässt sich auf die Vorhersagbarkeit des Verhaltens des Messsystems.

Dies kann jedoch trügerisch sein, da sowohl Messverfahren als auch Auswertemethodik, insbesondere durch systematische Fehlereinflüsse beeinträchtigt werden können, deren Aufdeckung je nach Fragestellung der Kontrolle auch bei einer verhältnismäßig hohen Anzahl von Stichprobenkontrollen ungewiss bleiben kann. Dieses Risiko besteht zwar grundsätzlich immer und soll durch sachgerechte Anwendung von Messsystem, Kontrollszenarien und Auswertemethodik minimiert werden, jedoch liegt es in der Natur der punktwolkenbasierten Aufnahme, das sowohl die regelmäßig komplexe Aufnahmegeometrie, die Vielfältigkeit der Aufnahmeobjekte sowie auch die Eigenheiten der unterschiedlichen Messsysteme eine nach aktuellen Maßstäben nur schwer durchgreifend zu kontrollierende Szenario darstellen.

Als Beispiele seien hier mögliche Beschränkungen in der Passpunktverteilung und -dichte insbesondere bei photogrammetrischen Systemen genannt, was zu systematischen Deformationen nach der Bündelblockausgleichung führen kann. Ebenso ergeben sich grundsätzlich bei gegeneinander registrierten Vollkreisscans mit TLS immer Bereiche, die aufgrund der fusionierten Aufnahmegeometrie einer hohen Variabilität hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit und Zuverlässigkeit unterliegen. So entzieht sich schon eine halbwegs komplexe Szene regelmäßig der vollständigen Vorabschätzung aller Sichten bezüglich des optimalen „Anzielens“. Es entstehen so zwangsläufig Bereiche unterschiedlicher Qualität. Bei den Handscannern wird es auf Grund des Aufnahmeverfahrens und der Technik noch schwieriger. Hier kommen sowohl Effekte durch die Sensorik als auch die hochvariable Messsituation zum Tragen und führen zu einer sehr starken Schwankung der Qualität der Messwerte schon innerhalb eines Scanvorganges. Werden nun noch Daten unterschiedlicher Systeme und Verfahren fusioniert ist ohne Vorsicht und teilweise erhebliches Vorwissen keine qualitätsgerechte systematische Auswertung mehr möglich.

Grundsätzlich kann daher nur eine transparente, reproduzierbare und systematische Kontrolle die Antwort sein. So wird eine verlässliche Abschätzung von Aufwand und Sicherheit ermöglicht und die Basis der Bestimmung der Qualität von Geodaten und Produkt geliefert.

1.2 Voraussetzungen für eine systematische Qualitätskontrolle

Damit eine systematische Qualitätskontrolle ermöglicht wird, ist es erforderlich, dass die dazu notwendigen Informationen überhaupt erst einmal vorliegen. Das bedeutet für punktwolkenbasierte Systeme, dass für jeden einzelnen Messpunkt und die Aufnahmestandorte Informationen über deren Genauigkeit und Zuverlässigkeit vorliegen, wie dies bereits in anderen FuE-Projekten (wie etwa „MoVEQuaD“, ZIM gefördert, BMWi) zuvor entwickelt und angewandt wurde (siehe Abb. 2). Dass die Angabe der Qualitätsinformationen jedes einzelnen Punktes von steigender Bedeutung ist, haben zuletzt auch Hersteller photogrammetrischer Systeme mit der Ankündigung, diese zukünftig dezidiert ausgeben zu wollen, bestätigt.

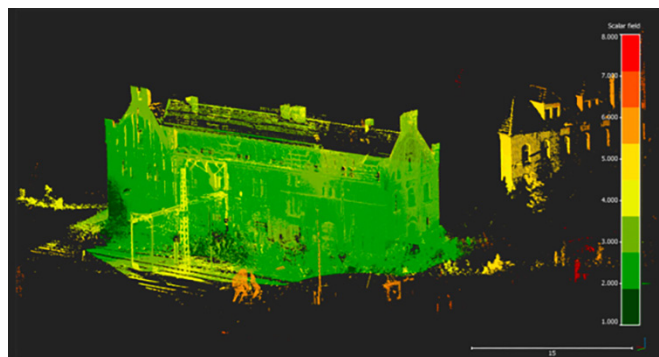


Abb. 2:
Qualitäts-
eingefärbte
Punktwolke aus
MoVEQuaD

Weiterhin ist es notwendig, dass diese Informationen über die gesamte Prozesskette verfügbar bleiben. Dies stellt insbesondere die Datenfusion heterogener Datenquellen vor neue Herausforderungen und könnte zur Entwicklung entsprechender Standards hinsichtlich einer durchgängigen Qualitätsdokumentation führen. Letztlich muss es dem Nutzer möglich sein, zu jeder Zeit auch sich überlappende Informationen hinsichtlich Mittelung, Auswahl und Weglassen nachvollziehbar würdigen zu können.

1.3 Strategie zur systematischen Qualitätskontrolle von punktwolkenbasierten Messsystemen

Unter den genannten Voraussetzungen stellt sich die erforderliche Prozesskette (siehe Abb. 3) vereinfacht gesehen wie folgt dar: Jedes Messsystem muss über eine interoperable Schnittstelle zur Führung der erforderlichen Qualitätsinformationen bezüglich Gerät, Messsituation und Messergebnissen verfügen. Anschließend muss jede verwendete Auswertung diese Parameter erfassen, verarbeiten, präsentieren und ausgeben können. Danach benötigt es geeignete Ansätze zur systematischen Auswertung, welche über die bisherigen strukturell eher einfachen Ansätze der Cloud2Cloud-Kontrolle hinausgehen. Schließlich können geeignete Visualisierungsmethoden neue, natürlichere Umgebungen liefern, welche die Auswertung einfacher, transparenter und effizienter machen.

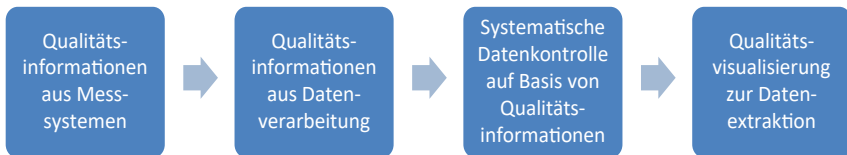


Abb. 3: Prozesskette

2 Ausblick

Ziel der kommenden Untersuchungen und FuE Projekte wird es sein, die skizzierte Strategie zu einem Verfahren zu entwickeln und entsprechend zu validieren. Dazu werden entsprechend aussagekräftige Datensätze aus multisensorischer Aufnahme untersucht, nach den erforderlichen Qualitätsparametern klassifiziert sowie Methoden zur systematischen Qualitätskontrolle entwickelt und evaluiert. Die Datensätze werden sowohl photogrammetrische, TLS als auch Handscannerdaten enthalten. Im Bereich TLS werden zudem Systeme zur Abdeckung unterschiedlicher Genauigkeiten abgedeckt. Zur Validierung der Systematik gegen Stichproben kommen auch klassische Verfahren wie GNSS, Tachymetrie und Nivellement zum Einsatz.

Literatur

Cefalu, A.; Haala, N.; Schmohl, S.; Neumann, I.; Genz, T. (2017): A mobile multi-sensor platform for building reconstruction integrating terrestrial and autonomous UAV-based closed range data acquisition. ISPRS Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.

Genz, T.; Krause, U.; Stenz, U. (2019): Geo2VR – Sensorfusion im virtuellen Raum. In: DVW e.V. (Hrsg.): UAV 2019 – Geodäten erobern den Luftraum. DVW-Schriftenreihe, Band 94, Augsburg.

Stenz, U.; Link, J.; Timmen, A.; Genz, T.; Krause, U.; Neumann, I. (2015): Modellierung und Visualisierung von 3D Punktwolken mittels virtueller Umgebungen. 18. Internationale geodätische Woche Obergurgl.

Kontakt

Verm.-Ass. Dipl.-Ing. Torsten Genz

Geo-Office Gesellschaft für graphische Datenverarbeitung und Vermessung mbH

Karl-Liebknecht-Straße 101, 14612 Falkensee

torsten.genz@geo-office.de

Qualitätssicherung bei UAV-Messungen – Möglichkeiten und Notwendigkeiten

Oliver Schmechtig | Nadine Fischer

1 Einleitung

Um sich der Qualitätssicherung widmen zu können, soll zunächst der grundlegende Kerngedanke geklärt werden. Zum Begriff „Qualität“ lassen sich die unterschiedlichsten Definitionsansätze finden:

- Qualität ist was der Kunde will.
- Qualität ist der Erfüllungsgrad der Anforderungen.
- Qualität als Grad der Übereinstimmung zwischen Ansprüchen bzw. Erwartungen (SOLL) an ein Produkt und dessen Eigenschaften (IST)
- Qualität gemäß DIN EN ISO 9000 als „Vermögen einer Gesamtheit inhärenter Merkmale eines Produkts, eines Systems oder eines Prozesses zur Erfüllung von Forderungen von Kunden und anderen interessierten Parteien

Im DIN Taschenbuch Geodäsie werden in der DIN 18740-5 für die photogrammetrischen Produkte die Qualitätsanforderungen an die Produkte definiert durch

- die qualitätsbestimmenden Faktoren (z.B. Qualität der Eingangsdaten, semantische Zusatzinformationen (saisonale Daten), Aufnahmezeitpunkt, Objektgröße),
- die Zuverlässigkeitsmaße und
- die Qualitätsprüfung.

2 Qualitätskriterien

Um die Qualität von UAV-Messungen (Befliegungen) beurteilen zu können, sollen nachstehende Kriterien näher betrachtet werden:

- Verwendung von Passpunkten
- Qualität der Bilder (Schärfe, Kontrast, Helligkeit)
- Flugplanung (Flughöhe, Flugzeit)
- Bildflugparameter (Flughöhe, Fluggeschwindigkeit)

Zu den Qualitätskriterien passen nicht zwingend die in [Abb. 1](#) gezeigten Folgen.



Abb. 1: Notlandung

3 UAV-Systeme

Die Entwicklung von UAV-Systemen schreitet stetig voran und bietet immer neuere und interessantere Weiterentwicklungen an. Von einfachen Low Cost-bis zu teuren Systemen wird vieles angeboten. Bei den dargestellten Projekten wurden unter anderem folgende Flugsysteme (Abb. 2 bis Abb. 5) verwendet.



Abb. 2: DJI Phantom 4 Pro



Abb. 3: Fly Tech Birdie Geo+ 3



Abb. 4: Aibot X6 V2



Abb. 5: Wingtra

4 Beispielprojekte

Am Beispiel unterschiedlicher Projekte werden die verschiedenen Qualitätskriterien näher betrachtet.

4.1 Massenermittlung Haufwerk



Orthophoto, Auswertung und Einzelbild einer Befliegung zur Massenermittlung eines Haufwerks (Abb. 6 bis Abb. 8).

Abb. 6:
Digitales Orthophoto
Haufwerk



Abb. 7:
Auswertung Haufwerk

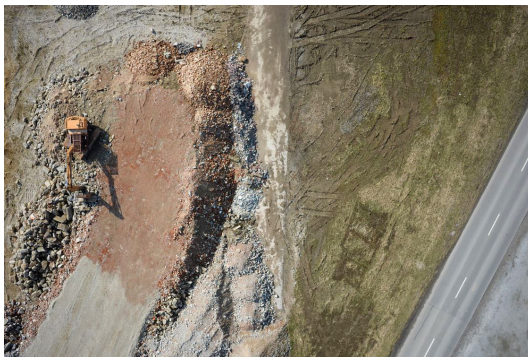


Abb. 8:
Einzelbild

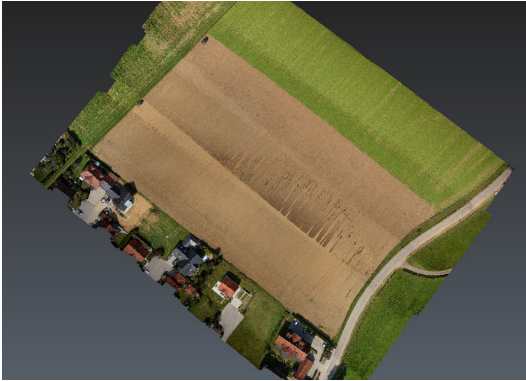
4.2 Bestandsaufnahme Straße

Aufgrund des ausdrücklichen Kundenwunsches musste die Befliegung zur falschen Jahreszeit durchgeführt werden ([Abb. 9](#)).



Abb. 9: Straßenaufnahme

4.3 Bestandsaufnahme Gelände



Ohne große Auffälligkeiten wurde das DGM falsch berechnet und musste nachberechnet werden (Abb. 10 und Abb. 11).

Abb. 10:
DOP mit Punktwolke



Abb. 11:
Luftbild Schrägansicht

4.4 Bestandsaufnahme Bauwerk



Kontrolle und Aufnahme eines Brückenbauwerks während des laufenden Baubetriebs (Abb. 12).

Abb. 12:
Brückenbauwerk

5 Zusammenfassung

Am Beispiel unterschiedlicher Aufgabenstellungen bzw. Anforderungen werden die zuvor näher beschriebenen Qualitätskriterien erläutert und näher ausgeführt. Entsprechend der eingesetzten Befliegungssysteme bzw. der verwendeten Sensoren ergeben sich grundsätzliche Unterschiede bzw. Kriterien bei der weiteren Bearbeitung und zur Qualitätssicherung.

Literatur

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2013): Taschenbuch 111 Geodäsie. 7. Auflage, Berlin, www.beuth.de.

Abbildungen: © Ingenieurbüro Schmechtig

Kontakt

Dipl.-Ing. Univ. Oliver Schmechtig
Ingenieurbüro Schmechtig, Beratende Ingenieure der Geodäsie
Eichenstraße 9, 84061 Ergoldsbach
office@schmechtig.com

Qualitätssicherung im ingenieurgeodätischen Alltag

Ulrich Völter

1 Qualität

Das Wort „Qualität“ (lateinisch *qualitas*: Beschaffenheit, Merkmal, Eigenschaft, Zustand) hat im Deutschen unterschiedliche Bedeutungen. Qualität ist, neutral, die Summe aller Eigenschaften eines Objekts, Systems oder Prozesses oder deren Güte (Wikipedia 2019a). Die Norm DIN EN ISO 9000:2015-11 definiert Qualität als den „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“.

Inhärent bedeutet innewohnend und bezieht sich auf objektive oder objektivierbare, also messbare Merkmale des Objekts. Der Begriff Objekt soll in diesem Zusammenhang weitestmöglich gefasst sein und umfasst Produkte, Dienstleistungen, Entwürfe, Software, Verfahren und Prozesse.

Beachtenswert ist, dass der Qualitätsbegriff nicht losgelöst von Anforderungen existiert. Ohne Anforderungen gibt es keine Qualität. Sind die Anforderungen unbekannt, kann die Qualität nicht zugesichert, sondern bestenfalls zufällig oder glücklicherweise erreicht werden.

2 Qualitätsmanagement

Qualitätsmanagement bezeichnet alle organisatorischen Maßnahmen, die der Verbesserung der Prozessqualität, der Leistungen und damit den Produkten jeglicher Art dienen. Der Begriff Leistungen umfasst im Qualitätsmanagement die Dienstleistungen, geht aber über den üblichen Begriff hinaus und betrifft vor allem die innerorganisatorischen Leistungen (Wikipedia 2019b). Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle sind Tätigkeiten, die eng mit dem Qualitätsmanagement in Zusammenhang stehen.

Ziel des Qualitätsmanagements ist es, alle Unternehmensbereiche so zu organisieren, dass ihre Produkte und Leistungen von hoher Qualität sind und somit die Kundenzufriedenheit steigern. Das betrifft nicht nur die eigentlichen Produkte, sondern auch alle anderen Prozesse wie Akquise, Auslieferung, Rechnungslegung, Reklamationsmanagement, Support etc.

Qualitätssicherung ist darauf ausgerichtet, Faktoren, welche die Produktqualität negativ beeinflussen, zu erkennen, zu minimieren oder zu beseitigen. Die Qualitätssicherung gewährleistet also, dass die Vorgaben des Qualitätsmanagements eingehalten und korrekt umgesetzt werden. Dabei werden alle Abläufe im Unternehmen in den Blick genommen (Concept-Pro 2019).

Bei der Qualitätskontrolle stehen die Produkte im Mittelpunkt. Hier wird geprüft, ob das Endprodukt, das das Haus verlässt, den Qualitätsvorgaben genügt.

In der Qualitätstheorie und in großen Organisationen ist es zweckmäßig, Qualitätsmanagement, -sicherung und -kontrolle voneinander abzugrenzen und eventuell sogar unterschiedlichen Organisationseinheiten zuzuordnen.

Für die deutschsprachigen Ingenieurgeodäsie-Unternehmen gilt dies gleichermaßen, auch wenn es in der Regel wohl keine eigens dafür eingerichteten Abteilungen gibt: Das Qualitätsmanagement ist eine, wenn nicht *die* Kernaufgabe des obersten Managements. Die Qualitätssicherung hingegen betrifft alle Mitarbeiter, besonders aber die mittlere Führungsebene, also die Abteilungsleiter. Die Qualitätskontrolle obliegt jedem Mitarbeiter, der Dienstleistungen beim Kunden erbringt oder Produkte an den Kunden ausliefert.

3 Qualität in der Fertigungsindustrie

In der Fertigungsindustrie werden vom selben Produkt viele Hundert, Tausend oder Millionen Stück hergestellt. Da liegt es auf der Hand, dass es Sinn ergibt, erhebliche Ressourcen zu investieren, um die Produktionsabläufe und -bedingungen zu standardisieren und zu kontrollieren. Ebenso ergibt es Sinn, die Qualitätskontrolle, also die Überprüfung der Endprodukte, ebenfalls zu standardisieren und zu automatisieren.

Ergebnis sind etwa in der Chipindustrie vollklimatisierte, weitgehend vollautomatisierte Produktionsanlagen. Aber auch in der Automobilindustrie, ja sogar in der Agrarindustrie mit den Legebatterien und Smart Farming wird der Weg zu den immer vollständiger kontrollierten Produktionsbedingungen konsequent beschritten.

Ob die Produkte (noch) den Kundenanforderungen entsprechen, wird dabei aber erstaunlich oft einfach angenommen anstatt dies zu überprüfen. Die selbstverliebten Platzhirsche der jeweiligen Branche produzieren immer perfekter scharf am Markt vorbei erstklassige Ladenhüter. Beispiele der jüngeren Zeit sind Kodak, Nokia, IBM PC. Wobei – der IBM PC ist immerhin ein Beispiel für gutes Management. Die für IBM unprofitable PC-Sparte wurde rechtzeitig abgegeben und von Lenovo erfolgreich modernisiert und weitergeführt. Der geschrumpfte Kern der IBM ist in seinem Sektor weiterhin höchst erfolgreich.

4 Qualität in der Ingenieurvermessung

4.1 Herausforderungen

Die Qualitätssicherung in der Ingenieurvermessung steht vor besonderen Herausforderungen, hier unterscheiden sich die Anforderungen von Projekt zu Projekt, von Kunde zu Kunde sehr stark.

Es gibt zwar Kategorien von Projekten mit fachlich ähnlichen oder gar gleichen Anforderungen, wie etwa die topographische Bestandsaufnahme eines Grundstücks für die Erstbebauung, die Bauvermessung eines Einfamilienhauses, das präzise Einrichten eines Gleisrosts für die feste Fahrbahn nach Bauart Rheda 2000 oder das Anlegen eines Referenznetzes für ein 3D-Gebäudemodell, aber die individuelle Umgebung des jeweiligen Projektes unterscheidet sich jeweils erheblich von allen anderen. Ebenso wird in der Regel der Kunde andere Vorkenntnisse, Erfahrungen und damit andere Erwartungen haben als andere Kunden mit derselben Aufgabe. Er wird also auch – implizit oder explizit – andere Anforderungen stellen als andere.

Doch damit nicht genug: Da ingenieurgeodätische Projekte in der Regel im Außenbereich stattfinden, ist zu erwarten, dass sich die Umweltbedingungen auch bei einem einzigen Projekt von Tag zu Tag oder im Tagesverlauf relevant ändern. Und da ingenieurgeodätische Projekte in der Regel mit Veränderungsprozessen zusammenhängen (Bau, Flurbereinigung, Deformation, ...), ist damit zu rechnen, dass sich auch die Arbeitsbedingungen (Sichten, mögliche Standpunkte, zu messende Objekte) im Projektverlauf häufig ändern.

Hinzu kommt, dass sehr oft auch die Rahmenbedingungen vor Beginn des Projektes noch nicht vollständig bekannt sind. Unterlagen müssen als Teil der Aufgabe zusammengetragen werden, Quellen und Qualität der dort vorhandenen Daten sind nicht vollständig bekannt, meist sehr unterschiedlich, von handschriftlichen Papiernotizen bis zu ausdefinierten GIS- oder BIM-Systemen. Koordinatensysteme, in denen die Unterlagen vorliegen (Basisdaten wie Planung), sind nicht immer eindeutig, manchmal unbekannt.

Diese Faktoren führen dazu, dass praktisch keine Messaufgabe wie eine andere ist. Eine vollständige Standardisierung ist daher nicht möglich. (Auch) das unterscheidet die Ingenieurgeodäsie von der Industrie.

Die Industrie zielt darauf ab, Prozesse immer weiter zu standardisieren, in repetitive Arbeitsschritte zu zerlegen und letztlich zu automatisieren. Um die Produktqualität zu steigern werden Umwelteinflüsse so weit wie möglich ausgeschlossen oder bestimmt. Die Umwelt und der Mensch sind im Produktionsprozess im Wesentlichen Störfaktoren, die es auszuschließen gilt.

Anders die Ingenieurertätigkeit: Hier sind das Können, die Erfahrung und die Kreativität des ausgebildeten Fachmanns/der Fachfrau gefragt, um unter

den immer wieder anderen Bedingungen die richtige Qualität zu liefern. Denn die Produkte sollen gar nicht standardisiert werden. Bei der Umwelt, in der die Produktion stattfindet, wäre dies gar nicht möglich: Der Bau der Landesmesse Stuttgart stellt andere Anforderungen an die Vermessung und hat andere Umweltbedingungen als die 3D-Dokumentation der Vetterhöhle, einer Karsthöhle auf der Schwäbischen Alb, diese wiederum andere als das Monitoring der Bergbaugrube des Kölner Stadtarchivs. Und die Entwurfsvermessung für die Planung der Fibre to the Home Initiative, die Glasfasern in jeden Haushalt bringen soll, hat wieder andere Anforderungen an die Arbeit der Techniker und Ingenieurinnen. Diese Anforderungen können auch nicht ansatzweise vom beauftragten Ingenieurunternehmen vereinheitlicht werden.

Sollte also erst gar keine Energie darauf verschwendet werden, die so individuellen Anforderungen des jeweiligen Auftrags zu verstehen und zu beschreiben?

Nein im Gegenteil: Wir Ingenieurgeodäten haben, anders als die Industrie, jeweils nur einen Versuch, es richtig zu machen. Der nächste, falls es ihn gibt, ist wieder anders. Wir müssen also gerade deshalb, weil sich die Bedingungen so stark ändern,

- a) die Anforderungen mit dem Kunden abstimmen und dokumentieren,
- b) die fachlichen Prozesse der Ingenieurvermessung, soweit es sinnvoll ist, in unserem Unternehmen standardisieren und automatisieren, aber flexibel genug bleiben, um uns an die unterschiedlichsten Bedingungen anzupassen,
- c) uns auf diejenigen Bereiche der Ingenieurvermessung konzentrieren, die wir beherrschen und in denen wir Routine bekommen haben.

4.2 Rahmenbedingungen

Die projektindividuellen Rahmenbedingungen variieren stark. Umso wichtiger ist es, diejenigen Rahmenbedingungen, auf die wir selbst einwirken können, positiv zu beeinflussen, zu verstetigen und zu standardisieren. Dazu gehören vor allem

- die Auswahl, die Fortbildung und die Motivation der Mitarbeiter,
- gute, sichere Arbeitsbedingungen, angenehme Arbeitsplätze und faire Entlohnung,
- flache Hierarchien,
- klare Aufgaben, Klarheit über das Produkt in Form und Inhalt,
- gute organisatorische und technische Basisdienste (Gehalt, EDV, ...),
- angemessen erstklassige technische Ausrüstung.

Hoffentlich stellen sich dann ein:

- hohe Identifikation der Mitarbeiter mit der Arbeit,
- gutes Betriebsklima,
- Sportsgeist, sich immer wieder übertreffen zu wollen,
- Freude an der Arbeit und den Kunden herausragend zu bedienen.

4.3 Anforderungen

Nach Abschnitt 1 sind die Anforderungen der Maßstab für die Beurteilung der Qualität. Wer stellt diese Anforderungen und welche Anforderungen sind zu erwarten? Wo werden sie definiert und verbindlich niedergeschrieben?

Antworten auf diese Fragen gibt die Norm DIN 18710-1:2010-09 in Kapitel 4 „Anforderungen an Ingenieurvermessungen“. Diese Norm gliedert die Anforderungen in die zehn Unterpunkte Allgemeines, Aufgabenbeschreibung, Messprogramm, Messverfahren, Messinstrumente, Messgenauigkeit, Unterlagen, Durchführung, Auswertung und Dokumentation. In der Praxis wird meist eine einfache Aufgabenbeschreibung vom Auftraggeber verfasst und als Teil der Ausschreibung oder Anfrage an mögliche Auftragnehmer versandt. Der Punkt Messprogramm nimmt Bezug auf die in der Auflistung folgenden sieben Punkte. In der Regel werden entsprechende Festlegungen im Angebot oder als Teil des Auftrags in einem expliziten Dokument „Messprogramm“ vom beauftragten Vermessungsingenieur niedergeschrieben. Oft werden die Festlegungen aber nicht oder nur teilweise explizit getroffen.

Dabei bietet diese Norm eine gute Handreichung, wie die Anforderungen an eine Vermessungsleistung zu beschreiben sind. Die Aufgabenbeschreibung muss gemäß dieser Norm mindestens folgende Festlegungen enthalten:

- die Beschreibung des Messobjektes und das Ziel der Vermessung,
- einen Zeitplan zur Koordinierung der Arbeiten aller Beteiligten,
- Festlegungen der Messgenauigkeiten und ggf. Toleranzen,
- Festlegungen zum Bezugssystem,
- besondere Umstände, die für die Vermessung von Bedeutung sind,
- die Leistungen des Auftraggebers,
- Umfang, Form und Inhalt der geschuldeten Dokumentation,
- Angaben zur Übergabe.

Die Aufgabenbeschreibung ist naturgemäß vom Auftraggeber zu erstellen. Kann er dies nicht leisten, kann der Vermessungsingenieur ihn beim Erstellen unterstützen. Die Verantwortung für die Aufgabenbeschreibung bleibt in jedem Fall beim Auftraggeber. Er hat also erhebliche Mitwirkungspflichten.

Alle folgenden Punkte können auch zusammenfassend bearbeitet werden. Mindestens sollten Festlegungen getroffen werden über

- das Messverfahren und die Messtechnik,
- die Festlegung des Bezugssystems,
- die Vermarkung der Festpunkte und ggf. der Bezugspunkte, -linien und -ebenen,
- die vom Auftraggeber erhaltenen Unterlagen für die Vermessung,
- die Auswertung der Messergebnisse,
- Umfang, Form und Inhalt der geschuldeten Dokumentation,
- Maßnahmen zur Arbeits- und Betriebssicherheit,
- Leistungen des Arbeitgebers, insbesondere hinsichtlich Arbeitsräumen, Stellen von Arbeitsräumlichkeiten und -ausrüstung, Unterstützung beim Freiräumen und Erhalten notwendiger Sichten.

Die DIN sieht weitere Festlegungen vor, die bei größeren Maßnahmen sinnvoll sein können, aber aus Sicht des Autors nur bedingt Einfluss auf die Qualität des Endproduktes haben. Andere sind in den hier aufgeführten Punkten subsumiert und in jedem Falle zu beachten, nicht aber unbedingt vertraglich festzuschreiben.

Für die beiderseitige Zufriedenheit sind selbstverständlich auch Vereinbarungen über Preise und Zahlungsmodalitäten zu treffen. Bei größeren Aufträgen ist es auch sinnvoll, die Abrechnungsmodalitäten zu vereinbaren.

5 Qualitätssicherung in der Ingenieurvermessung

Nun herrscht also Klarheit über die Anforderungen. Diese sind in der Aufgabenbeschreibung seitens des Auftraggebers und im Angebot oder dem Messprogramm seitens des Auftragnehmers definiert und verbindlich vereinbart. Wie in Abschnitt 2 beschrieben ist die Aufgabe der Qualitätssicherung, Faktoren zu identifizieren und zu minimieren oder zu beseitigen, welche das Erreichen der Anforderungen be- oder verhindern. Nach der Erfahrung des Autors sind die typischen Quellen für Irritationen in der Ingenieurvermessung:

- Missverständnisse bei der Datenübernahme vom Auftraggeber,
- Missverständnisse bei der Ergebnisübergabe an die Nutzer,
- Nichtbeachten des unterschiedlichen Koordinatenbezugs verschiedener Unterlagen,
- Unnötiger Zeitdruck wegen verspäteter Vergabe,
- Verwenden überholter Planungsunterlagen (alter Index),
- Missinterpretation von Messergebnissen durch den Auftraggeber, insbesondere bei automatischen Monitoringsystemen.

Diese Quellen ließen sich bei ausreichendem Zeitbudget größtenteils vermeiden durch eine sorgfältige Aufgabenbeschreibung und sorgfältig formulierte und durchdachte Messprogramme. In der Praxis fallen diese wichtigen Punkte leider allzu oft dem hohen Zeitdruck oder geringem Budget zum Opfer. Dank gut ausgebildeter Vermessungsfachleute, die ihre Arbeit sehr gewissenhaft ausführen, erwachsen aus diesen Quellen dennoch selten echte Fehler.

Es gibt auch mannigfaltige Fehlerquellen vermessungstechnischer Natur:

- fehlerhafte Zielhöhen,
- Verkippen des Instruments während eines Standpunkts,
- Punktverwechslungen,
- fehlerhafte Stationierung auf Grund ungenauer Referenzkoordinaten,
- ungünstige Satellitenkonstellation,
- Missinterpretation von Skizzen bei der Auswertung,
- Auswahl falscher Codes bei der Codierten Aufnahme,
- etc.

Diese treten bei den vielen täglichen Messungen unter wechselnden Umgebungsbedingungen häufig auf. Bei den in der Regel hohen erwarteten Genauigkeiten wirken sie sich stark negativ aus. Dennoch spielen Sie in der Gesamtschau der Schwierigkeiten eine untergeordnete Rolle.

Folgende Prinzipien haben sich bei der technischen Bearbeitung von Vermessungsaufgaben bewährt:

Grundsätzlich:

- die in Abschnitt 4.2 aufgeführten Rahmenbedingungen

Beim Entgegennehmen von Unterlagen:

- Unterlagen prüfen auf Relevanz, Aktualität, Qualität.
- Ist das Koordinatensystem angegeben? Ist es plausibel?

Beim Messen:

- Verwenden erstklassiger, möglichst registrierender Messinstrumente.
- Regelmäßiges Pflegen, Warten und Kalibrieren der Instrumente.
- Überprüfen der Instrumente entsprechend den fachlichen Anforderungen an die jeweilige Aufgabe und ggf. Neubestimmen der Instrumentenfehler, um diese zu korrigieren oder rechnerisch an die Messwerte anzubringen.
- Verwenden von Messverfahren, die Schutz gegenüber groben Fehlern und systematischen Messabweichungen bieten.

- Regeln der Anzahl der Anschlussmessungen für freie Stationierungen, angepasst an die jeweilige Aufgabe, um sowohl Fehler beim Anzielen als auch Spannungen im Referenznetz feststellen zu können.
- Standpunkt am Ende durch Abstecken eines Kontrollpunktes kontrollieren, um eine Instrumentenverdrehung feststellen zu können.
- Aufnahme nach Absteckung.
- Redundanzen schaffen, wo irgend möglich:
 - Netze statt Polygonzüge messen,
 - GNSS Korrekturdienste auf bekannten Punkten verifizieren,
 - unabhängige Spannmaße messen.
- Messergebnisse des Tages noch am Abend (vor-)verarbeiten
 - auf dem Server in der Projektstruktur ablegen – für andere zugänglich, gesichert,
 - durchsehen – plausibilisiert,
 - Fehler korrigieren – korrigiert,
 - Prüfprogramme laufen lassen (z. B. für Codelisten) – überprüft, dokumentiert.

Beim Auswerten (Rechnen):

- Verwenden automatischer Berechnungsverfahren, wie bei der codierten Aufnahme, bei der alle Berechnungsschritte bereits im Außendienst durch Codes festgelegt werden.
- Verwenden von Programmen, die aussagekräftige Protokolle zur Fehlersuche bieten.
- Bei erhöhten Anforderungen an die Zuverlässigkeit und oder Genauigkeit: Netzausgleichungen.
- Bei größeren Messkampagnen muss das Zusammenführen der Messergebnisse von unterschiedlichen Messtagen, Messtrupps, Messinstrumenten (GNSS, Tachymeter, Nivellement, ...) und externen Daten (amtlich, öffentliche Messungen, Daten des Bauherrn, ...) wie etwa präzise Ephemeriden der Satelliten, AFIS, amtliche Befliegungen etc. wiederholt und nachvollziehbar durchgeführt werden. Dazu müssen die Ablagestrukturen vor Beginn des Projektes definiert und von allen Projektbeteiligten akribisch eingehalten werden.
- Finetunig der Berechnung durch Aus-/Einschalten von Anschlusspunkten, Feineinstellen von Standardabweichungen.
- Prüfen der Ergebnisse gegenüber Kontrollmessungen wie z. B. Spannmaßberechnungen.
- Protokollieren der Ergebnisse in Listen und Grafiken.
- Standardisierung der Listenausgaben, einerseits um Fehler zu vermeiden, andererseits um Interpretationsfehler durch den Nutzer vorzubeugen.
- Wichtig: Immer das Koordinatensystem der Ergebnisse angeben!

Beim Präsentieren (Zeichnen):

- Automatisches Hochzeichnen, definiert durch die bei der Aufnahme definierten Codes für Objekte, Symbole, Linienverbindungen und Signaturen.
- Geodätische, objektorientierte Zeichenwerkzeuge zur Vervollständigung der automatisch gezeichneten Pläne.
- Planprüfung bei Bestandsveränderungen mittels einfacher Vorher/Nachher-Darstellungen oder automatisierter Veränderungsverfolgung, etwa mittels FME.
- Wichtig: Immer das Koordinatensystem angeben!

Diese Auflistung ist nicht abschließend zu verstehen.

6 Zusammenfassung

Die wesentlichen fachlichen Fehlerquellen können durch gut ausgebildete und motivierte Mitarbeiter und durch konsequentes Anwenden der in Ausbildung und Studium erlernten Grundprinzipien „vom Großen ins Kleine“, „keine Vermessung ohne Kontrolle“ und der sinnvollen Anwendung von Standardisierung und Automatisierung vermieden oder mindestens erkannt und dann in ihren Auswirkungen minimiert werden.

Die größeren Risiken sind verborgen in den frühen Phasen des Projektes und den Schnittstellen zu anderen Gewerken. Hier kommt es oft zu Missverständnissen, insbesondere hinsichtlich der Bedeutung unterschiedlicher Koordinatensysteme, die spät oder zu spät erkannt werden. In der Regel mit erheblichen, nicht zuletzt wirtschaftlichen Folgen. Daher ist besonderer Augenmerk auf diese Bereiche zu legen. Das Kapitel 4 der Ingenieurvermessungs-DIN 18710 bietet hier eine hervorragende, nicht zuletzt argumentative Hilfestellung.

Literatur

Concept-Pro (2019): <https://concept-pro.de/qm-vs-qs-welcher-unterschied-besteht-zwischen-qualitaetsmanagement-und-qualitaets-sicherung>.

DIN 18710-1:2010-09: Kapitel 4, Anforderungen an Ingenieurvermessungen.

Wikipedia (2019a): <https://de.wikipedia.org/wiki/Qualität>.

Wikipedia (2019b): <https://de.wikipedia.org/wiki/Qualitätsmanagement>.

Kontakt

Dipl.-Math. Ulrich Völter
intermetric GmbH
Industriestraße 24, 70565 Stuttgart
gf@intermetric.de

Qualitätsmanagement in einem Vermessungsbüro – Bürokratie oder Erfolgstreiber

Uwe Ehrhorn

1 Rahmenbedingungen im Vermessungswesen

1.1 Wirtschaftlichkeit in Vermessungsbüros

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Vermessungsbranche und insbesondere die Vermessungsbüros sind so günstig wie lange nicht mehr. Dennoch gelingt es einem nennenswerten Anteil von Öffentlich bestellten Vermessungsingenieuren (ÖbVI) nicht, ein angemessenes Einkommen für den/die Inhaber zu erzielen. Beleg hierfür ist unter anderem eine vom BDVI 2017 in Auftrag gegebene Untersuchung der wirtschaftlichen Verhältnisse von ÖbVI-Büros (Gladitz et al. 2017).

In der Studie ist als eine geeignete betriebswirtschaftliche Kenngröße „das Ergebnis pro ÖbVI“ berechnet worden. Das Ergebnis ist als Nettoumsatz minus Kosten zu verstehen.

Nach den Auswertungen (siehe Tab. 1) erzielen mehr als $\frac{1}{8}$ der Inhaber der an der Umfrage beteiligten Büros kein angemessenes Einkommen, etwa 10 % der Büros weisen sogar ein negatives Ergebnis aus.

Tab. 1: Ergebnis pro ÖbVI in Tausend Euro nach Bürogröße

Bürogröße: Stellen	Gültige N	MW	unteres Quartil	Median	oberes Quartil	IQR*
<= 2	25	105,1	22,0	37,0	106,0	84,0
> 2 bis 4	49	68,4	29,0	65,0	97,0	68,0
> 4 bis 7	69	80,7	40,0	76,0	120,0	80,0
> 7 bis 10	44	123,4	61,0	106,5	196,5	135,5
> 10 bis 15	42	146,2	60,0	130,8	230,0	170,0
> 15 bis 20	16	151,4	40,8	144,3	232,0	191,3
> 20	13	178,3	45,3	191,0	387,5	342,3
Gesamt	258	108,0	37,0	88,0	147,0	110,0

Gladitz et al. 2017

Abschließend sei an dieser Stelle Dr. med. vet. Hans-Joachim Götz, Präsident des „Bundesverbandes praktizierender Tierärzte“, in abgewandelter Form zitiert:

„ÖbVI sind auch Unternehmer. Wie jedes andere Unternehmen müssen auch wir mit unserer Dienstleistung Erfolg haben. Denn nur ein finanziell gesundes ÖbVI-Büro kann ein hohes fachliches Niveau und seinen Fortbestand sicherstellen.“

Diesem Anspruch müssen wir als Vermessungsbüros aus Sicht des Referenten als Berufsgruppe genügen, um dauerhaft eine Daseinsberechtigung zu haben.

1.2 Sich abzeichnender Personalmangel

Seit Jahren wird in den einschlägigen Fachmedien auf einen sich abzeichnenden Personalmangel in der Vermessungsbranche hingewiesen. In der Folge sind zahlreiche Anstrengungen unternommen worden, um dieser Entwicklung entgegenzuwirken. Bislang sind offensichtlich alle Beteiligten vom Erfolg der Maßnahmen überzeugt, ein Scheitern ist nicht eingeleant.

Was passiert jedoch, wenn unsere Bemühungen nicht den Erfolg erzielen, den wir uns erhoffen? Aus Sicht des Referenten merkt Dombert (2019) dazu richtigerweise an:

„Es ist meines Erachtens nach unrealistisch zu erwarten, dass jeder vakante Arbeitsplatz in naher Zukunft durch junge Fachkräfte besetzt werden kann. Das wirft eine sehr spannende Frage auf, die zu wenig diskutiert wird. ... Nachdem die Arbeit weitgehend digitalisiert ist, sollte man sich jetzt an Arbeitsprozesse wagen. Das klingt einfacher, als es wirklich ist.“

2 Entwicklung eines Managementsystems im Vermessungsbüro Ehrhorn

Dem oben genannten Wagnis, sich an die Arbeitsprozesse zu machen, haben wir uns im Vermessungsbüro Ehrhorn bereits vor 25 Jahren gestellt und seitdem das Büro systematisch und planvoll entwickelt und ausgebaut. Basis der Unternehmensführung ist ein Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001 (ISO 9001:2015), das 2019 seit 21 Jahren ununterbrochen zertifiziert ist.

In den letzten zehn Jahren haben wir nicht nur die Organisation weiterentwickelt und die „Wissensbilanz – Made in Germany“ (BVWB 2019) und die „Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung“ (GPTW 2019) sowie weitere

Tab. 2: Chronik der organisatorischen Unternehmensentwicklung

Persönliche Entwicklung	Jahr	Unternehmensentwicklung
	1990	GeoBüro
Seminar Zeitmanagement	1994	
Strategisches Selbstmanagement	1995	
	1997	Einschaltung Unternehmensberatung
	1998	QMS nach ISO 9002 zertifiziert
Seminar Kobjoll, LEP 1998 + EQA 1998	1999	
	2000	Aufbau eines eigenen Controllings
Seminar Unternehmerenergie	2000	Unternehmerenergie
	2002	Finanzkommunikation
TEMP Seminar	2004	TEMP Selbstbewertung
	2011	Selbstbewertung mit der Wissensbilanz
MPO Management Praxis Online	2012	
Coaching Ausbildung	2015	
	2014	Selbstbewertung Great Place to Work
	2017	Committed to Excellence
	2018	LEP in Bronze
Leaders for Excellence	2018	Leaders for Excellence (UE + 2 MA)
Qualified Assessor Training QAT	2019	QAT 2 MA + Nachfolger Arne E.

Tools in das Managementsystem integriert. Auch der Unternehmer hat sich zusätzliche Kompetenzen, die weit über das geodätische Fachwissen hinausgehen, angeeignet. Zusammengeführt worden sind die einzelnen Bausteine aktuell durch die Nutzung des EFQM-Excellence-Modells (EFQM 2013). Eine Chronik dieser Entwicklung ist in [Tab. 2](#) dargestellt.

3 Schlüsselressourcen

Ingenieur- und Vermessungsbüros gehören zu den wissensintensiven Branchen. Ihr Erfolg wird im Wesentlichen durch drei Faktoren bestimmt, nämlich durch Menschen, Organisation und Technik ([Tab. 3](#)). Die Vergangenheit hat gezeigt, dass nur wenn alle drei Faktoren annähernd gleichwertig entwickelt werden, sich auch ein nachhaltiger Erfolg einstellt.

Tab. 3: Schlüsselressourcen MOT

Menschen	Mitarbeiter bzw. Mitunternehmer, daneben auch Partnerschaften
Organisation	Aufbau- und Ablauforganisation, aber auch intellektuelle Ressourcen wie Image
Technik	Messtechnik, Hard- und Software

4 Management-Werkzeuge

Als Ursachen für die in [Tab. 1](#) dargestellten Ergebnisse werden immer wieder ungünstige Verhältnisse und/oder schlechte Umstände verantwortlich gemacht. Forderungen, dass sich die äußeren Umstände zum Besseren ändern mögen, werden regelmäßig in den Raum gestellt. Da wir jedoch eine vergleichsweise kleine Berufsgruppe sind, wird uns in den allermeisten Fällen niemand erhören und von den Verhältnissen erlösen.

Im Gegensatz zu den Kollegen in den Behörden haben wir als Inhaber von Ingenieur- und Vermessungsbüros jedoch die Möglichkeit, unsere Büros so zu organisieren, wie wir es für richtig halten. Eine der Möglichkeiten, Strukturen zu schaffen, ist die Nutzung eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001.

Weitere Möglichkeiten zur Organisationentwicklung sind z. B. die „Wissensbilanz – Made in Germany“, eine Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung und eine Bewertung bzw. ein Assessment nach dem EFQM-Excellence-Modell. Daneben gibt es viele weitere Unternehmens- bzw. Organisationsentwicklungstools. Darauf soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen werden.

4.1 Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001

Nachdem in diesem Tagungsband/Seminar überwiegend Aspekte der Qualitätssicherung behandelt werden, stellt dieser Beitrag im Weiteren ausgewählte Aspekte des Qualitätsmanagements vor. Zur Klärung und zur Unterscheidung seien vorab noch einmal die Begriffe Qualitätssicherung und Qualitätsmanagement anhand der ISO 9000:2015 definiert ([Tab. 4](#)).

Tab. 4: Definition tätigkeitsbezogener Begriffe (ISO 9001:2015)

3.3.6 Qualitätssicherung	3.3.4 Qualitätsmanagement
Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen darauf gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen erfüllt werden	Aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Führen und Steuern einer Organisation bezüglich Qualität
Anmerkung: Bei der Qualitätssicherung geht es nicht um die gegenwärtige Erfüllung von Anforderungen, sondern um das Vertrauen, dass die Erfüllung der Anforderung auch künftig erwartet werden kann.	Anmerkung: Qualitätsmanagement kann das Festlegen der Qualitätspolitik und der Qualitätsziele sowie Prozesse für das Erreichen dieser Qualitätsziele durch Qualitätsplanung, Qualitätssicherung, Qualitätssteuerung und Qualitätsverbesserung umfassen.

4.1.1 PDCA-Zyklus

Ein Kerngedanke der ISO 9001:2015 basiert auf der Prozessorientierung unter Berücksichtigung

- der Anforderungen des Kunden,
- der Einhaltung und Erwartungen der relevanten interessierten Parteien (z. B. bei einem ÖbVI der Aufsichtsbehörde),
- der Organisation und deren Kontext.

Die Prozesse werden im Sinne des Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA) mit Hilfe der Prozessmessung, Analyse und Verbesserung überwacht und im Rahmen der Managementbewertung (Management-Review) bewertet. Der PDCA schafft im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses eine prozessorientierte Denkweise und unterstützt auf diese Weise die unternehmensweite Steuerung und Optimierung, auch im Sinne eines Risikomanagements (siehe [Abb. 1](#)).

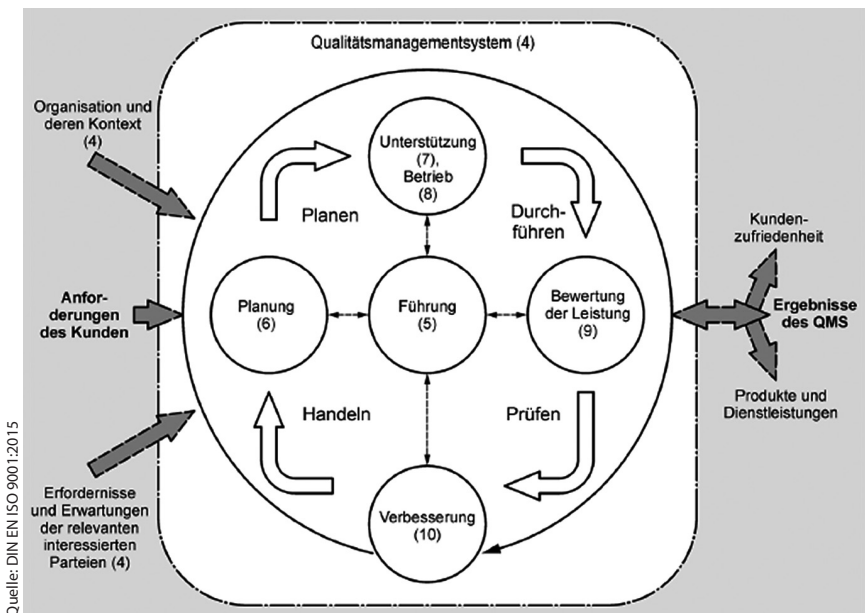


Abb. 1: PDCA-Zyklus

4.2 Wissensbilanz Made in Germany

Eine Wissensbilanz erfasst und bewertet die immateriellen Vermögenswerte einer Organisation und weist diese in strukturierter Form aus. Immaterielle Vermögenswerte können u. a. der Erfahrungsschatz der Mitarbeiter oder gute Beziehungen zu Kunden sein (Faktor Mensch im MOT). Diese Ressourcen sind grundsätzlich nicht greifbar und können bislang nicht gemessen werden. Sie sind jedoch für den Unternehmenserfolg von Ingenieur- und Vermessungsbüros von herausragender Bedeutung. Da die im Wirtschaftsgeschehen üblichen klassischen, finanzspezifischen Geschäftsberichte für Dienstleister regelmäßig nur

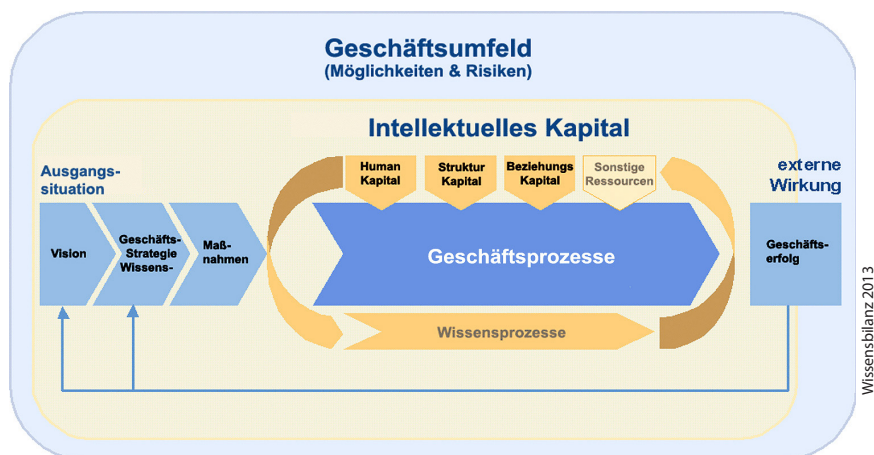


Abb. 2: Modell Wissensbilanz

eine sehr geringe Aussagekraft besitzen, ermöglicht eine Wissensbilanz durch die Darstellung von weichen Faktoren eine umfassendere, zukunftsorientierte Ansicht und Bewertung eines Ingenieur- und Vermessungsbüros.

In Wissensbilanz (2013) wird das Modell (siehe Abb. 2) ausführlich erklärt.

4.3 Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung (GPTW)

Die Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung bietet mithilfe eines Fragenkataloges von mindestens 21 Fragen eine umfassende Standortbestimmung zur Unternehmensentwicklung. Sie basiert auf einem validen und weltweit etablierten Fragebogen und ist ein Startpunkt zur Weiterentwicklung der Unternehmens- und Führungskultur.

In GPTW (2019) wird das Modell (siehe Abb. 3) ausführlich erklärt.



Abb. 3: Great-Place-to-Work®-Modell

4.4 EFQM-Excellence-Modell

Das EFQM-Excellence-Modell bietet unabhängig von der Branche, Größe, Struktur und dem Reifegrad Organisationen ein Managementsystem mit einer offenen und praxisorientierten Grundstruktur. Mit dessen Hilfe kann eine Organisation u. a. ihren Standort auf dem Weg zur Excellence bestimmen und eine Grundstruktur für ein eigenes Managementsystem erstellen. Alle Elemente eines derartigen Systems werden in eine Beziehung zueinander gesetzt und darauf überprüft, ob sie reibungslos ineinandergreifen.

In EFQM (2013) wird das Modell (siehe Abb. 4) ausführlich erklärt.

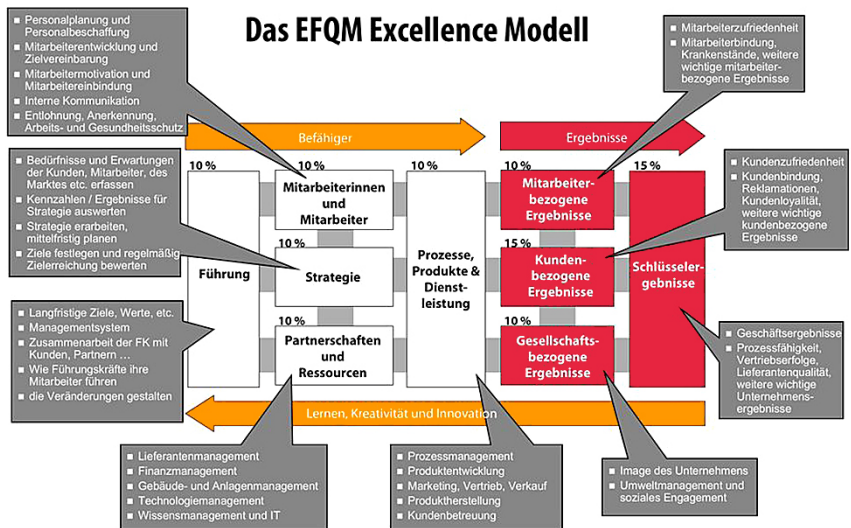


Abb. 4: EFQM-Excellence-Modell (mib)

5 Geschäftsmodell Vermessungsbüro Ehrhorn

5.1 Auftragsstruktur im Vermessungsbüro Ehrhorn

Im ÖbVI-Büro Ehrhorn wickeln in diesem Jahr 23 Mitarbeiter ca. 2400 Aufträge in den drei Geschäftsfeldern „Amtliche Leistungen“ (aL), „Ingenieurvermessungen“ (ING) und „Immobilienwertermittlung“ (WE) ab, die Honorare bewegen sich zwischen 50 und 50.000 Euro. Bei der Zahl der jährlich abzuwickelnden Aufträge stehen die Prozesse und das Wissen um die Prozesse im Vordergrund unserer Bemühungen. Darauf sind auch die Organisation, das Qualitätsmanagement und dessen Wissensmanagement abgestellt (siehe [Tab. 5](#)).

Tab. 5: Auftragsstruktur im Vermessungsbüro Ehrhorn

Auftragsart	aL/Ing	Anzahl Aufträge	Vorlauf, i. d. Regel	MA ID	MA	Netto-Umsatz
Lagepläne	aL	820	0 – 1 Werktage	2	0	ca. 100 €
Höhenaufnahmen	Ing	350	1 – 3 Werktage	2	1	ca. 200 €
Absteckungen	Ing		1 – 3 Werktage	2	1 - 2	ca. 600 €
Zerlegungen/Grenzfeststellungen	a/L	290	8 – 10 Werktage	2	2 - 1	ca. 1.250 €
Andere Vermessungen	Ing	100	Nach Absprache	1 - 2	1 - 2	> 2.000 €
Gebäudevermessungen	aL	850	Nicht terminiert	2	1 - 2	ca. 400 €
MA ID → beteiligte Mitarbeiter im Innendienst MA AD → beteiligte Mitarbeiter im Außendienst						

6 Auszüge aus dem Ehrhorn-Qualitätsmanagementsystem

6.1 Prozesse

6.1.1 Ressourcenplanung

Um die oben aufgeführten Dienstleistungen in angemessener Zeit erbringen zu können, sind umfassende Ressourcenplanungen erforderlich. Zentrales Hilfsmittel ist dabei unser selbst entwickelter „Außendienstplaner“ (siehe [Abb. 5](#)).

6.1.2 Verfahrensanweisung Liegenschaftsmessungen

Da bei ca. 75 % der Aufträge die Bearbeiter zwischen Außen- und Innendienst wechseln, ist die Definition der Schnittstellen von wesentlicher Bedeutung. Hier

[illegible]

Abb. 5: Außendienstplaner


liegt auch ein Schwerpunkt des Qualitätsmanagements im Vermessungsbüro Ehrhorn (siehe [Abb. 6](#)).

6.1.3 Bewertung der Prozesse

Bei den Prüfungen festgestellte Abweichungen von unseren festgelegten Standards werden erfasst, den Mitarbeitern mitgeteilt und zur Nachbearbeitung übergeben. Die Abweichungen werden regelmäßig ausgewertet und auf Systematiken überprüft (siehe [Abb. 7](#)). Bei Überschreitung von vorab festgelegten Qualitätszielen wird entschieden, ob bei einzelnen Mitarbeitern Schulungsbedarf besteht oder ob die beschriebenen Prozesse einer Überarbeitung bedürfen.

6.2 Qualitätssicherung

Um die einschlägigen Messsysteme einsetzen zu können, ist deren Eignung regelmäßig zu überprüfen. Für Liegenschaftsvermessungen werden die Anforderungen in dem Erlass für Liegenschaftsvermessungen klar beschrieben, für Bau- und Entwurfsvermessungen werden von den Auftraggebern regelmäßig keine Forderungen gestellt. Im Sinne der ISO 9001:2015 ist jedoch davon auszugehen, dass Auftraggeber vergleichbare Anforderungen wie im Liegenschaftskataster

	Qualitätsmanagement Handbuch	Dokument: VA 09-02-00	Seite 5/9
	Verfahrensanweisung Liegenschaftsvermessung	Stand: 12/17	Revision: 009

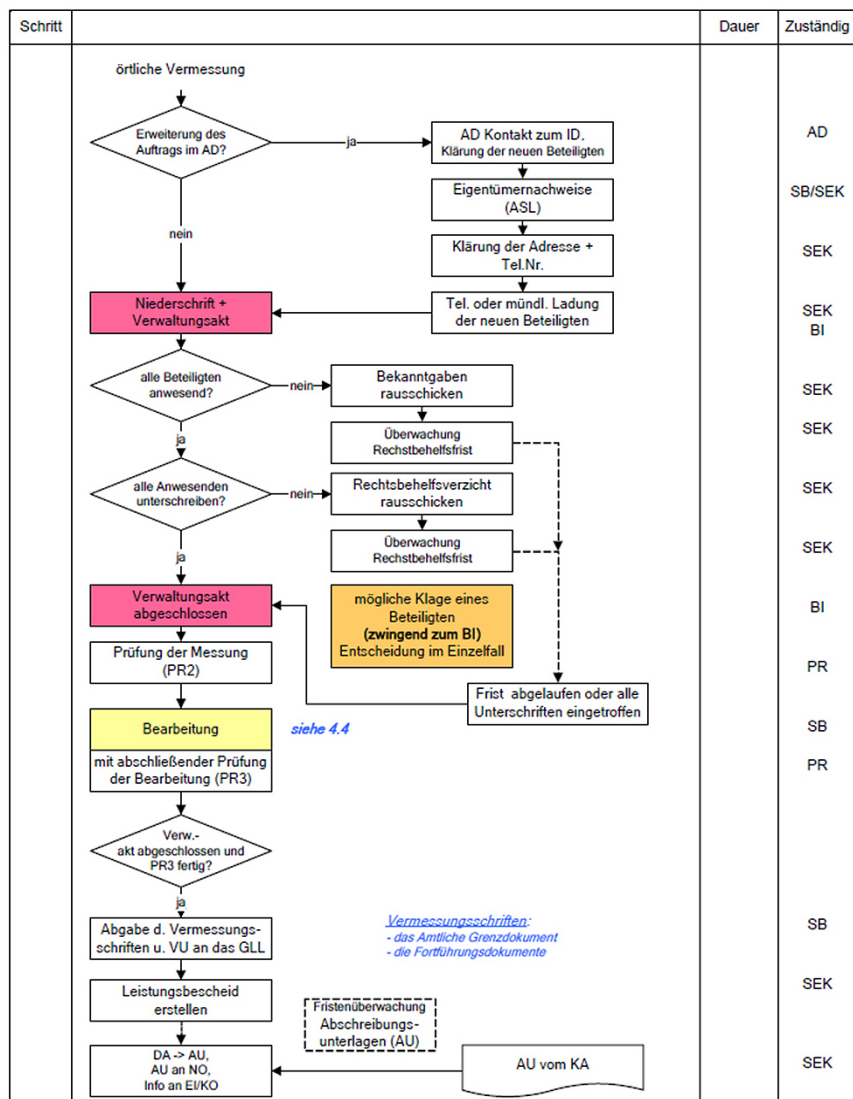


Abb. 6: Verfahrensanweisung Liegenschaftsvermessung



Auswertung aus den FB 13-00-01 Fehlermeldung / Kundenbeanstandung

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Oktober	Nov	Dz	2017 12	Summe 2016	Diff.	Ziel für 2017	Hochgerechnet auf 12 Monate
1 Kundenbefragung > Kundenbeanstandung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2 Kunden- beanstandung	0	0	0	4	0	0	3	0	2	0	0	3	12	13	-1	10	12
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4 LV - Verb.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	-1		
5 LV - AD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1		
6 LV - Bearb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-2		
7 IV - Verb.	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	5	-3		
8 IV - AD	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0		
9 IV - Bearb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10 LP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6		
11 Gels	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12 Rechnungen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1		
13 Gerätefehler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14 Soft- / Hardwarefehler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
15 Organisationsfehler	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2		
16 Sonstige Fehler	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2		
Summe:	0	0	0	6	0	0	2	0	0	0	0	8	16	12	4	10	16

Auswertung aus den FB 10-... Checklisten der Prüfungen:

Legende: Anz. der Vorgänge	0	0	0	254	0	0	122	0	127	0	0	162	605	801	-196		
davon Fehler	0	0	0	35	0	0	15	0	11	0	0	19	30	135	-55		
in %	0	0	0	14	0	0	12	0	9	0	0	19	13	17	-3,6	< 10 %	
PR204b: Anz. der Vorgänge	0	0	0	350	0	0	128	0	112	0	0	193	783	642	141		
davon Fehler	0	0	0	69	0	0	25	0	24	0	0	32	150	90	60		
in %	0	0	0	20	0	0	20	0	21	0	0	17	19	14	5,1	< 12 %	
PR104b: Anz. der Vorgänge	0	0	0	387	0	0	114	0	217	0	0	171	889	539	350		
davon Fehler	0	0	0	60	0	0	23	0	25	0	0	24	132	55	77		
in %	0	0	0	16	0	0	20	0	12	0	0	14	15	10	4,6	< 12 %	
PR214: Anzahl der Vorgänge	0	0	0	85	0	0	77	0	45	0	0	98	305	280	25		
davon Fehler	0	0	0	10	0	0	11	0	10	0	0	15	46	67	-21		
in %	0	0	0	12	0	0	14	0	22	0	0	15	15	24	-8,8	< 15 %	
PR314: Anzahl der Vorgänge	0	0	0	85	0	0	77	0	49	0	0	63	274	285	-11		
davon Fehler	0	0	0	10	0	0	12	0	2	0	0	6	30	20	10		
in %	0	0	0	12	0	0	16	0	4	0	0	10	11	7	3,9	< 10 %	
Summe:	0	0	0	115	0	0	61	0	48	0	0	64	288	277	11	200	288
FK nach GÖN (h)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,8	0,0	4,8	0,0	0,0	36,0	63,50	73,5	-10	60	64
47 Kosten m147 €Std	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.351,25	0,00	223,25	0,00	0,00	1.410,00	2.984,50	3.454,50	-470,00	3.000	2.985

Abb. 7: Auswertung der Fehlermeldungen

stellen. Auch für diesen Teil der Tätigkeit sind die Messsysteme regelmäßig zu überprüfen (Schmidt et al. 2008).

Auf der Teststrecke werden überprüfen wir regelmäßig unsere EDM-Geräte, im Testfeld B überprüfen wir im Sinne einer Systemkalibrierung unsere Messgeräte Kombination bestehend aus Tachymeter, GNSS-Empfänger, Feldrechner und Software „GART 2000“ (siehe Abb. 8).

6.3 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Bereits kurz nach der Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems haben alle Büroangehörigen damit begonnen, das QMS nicht als statisches, sondern als dynamisches System zu begreifen. Dieses Verständnis hat in der Folge zu einem regen „Kontinuierlichen Verbesserungsprozess“ geführt. Die daraus resultieren-

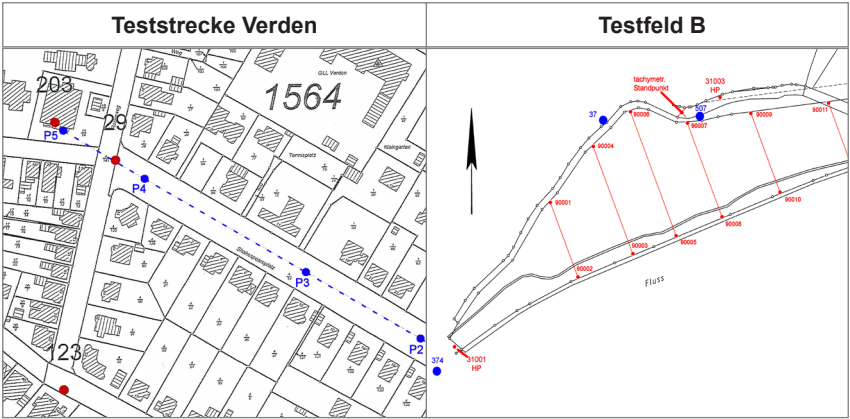


Abb. 8: Einrichtungen zur Qualitätssicherung

de stetige Weiterentwicklung des Systems sowie die Integration des büroeigenen Controllings und der im Büro entwickelten Finanzkommunikation haben dazu geführt, dass sich das QMS laut Aussage des QM-Auditors zu „einem der besten ihm bekannten Managementsysteme“ entwickelt hat.

Trotz einer umfassenden Kommunikation haben sich im Laufe der Jahre gewisse Abnutzungserscheinungen bei der Weiterentwicklung des QMS gezeigt. Festmachen lässt sich dieser Umstand u.a. am Rückgang der Verbesserungsvorschläge im Rahmen des „Kontinuierlichen Verbesserungsprozesses“ (siehe Abb. 9). Um vergleichbaren Effekten entgegenzuwirken und neue Impulse in das Unternehmen hineinzutragen, hat der Referent im Laufe der Jahre das Managementsystem immer wieder um weitere Bausteine erweitert.

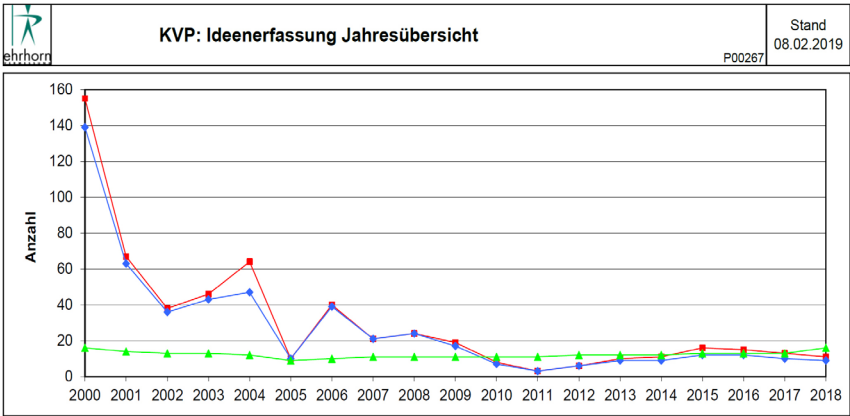


Abb. 9: Jahresübersicht Ideenerfassung

6.4 Qualitätspolitik

Im Vermessungsbüro Ehrhorn ist in mehreren Durchläufen von allen Mitarbeitern ein Unternehmensleitbild entwickelt und regelmäßig evaluiert worden (siehe [Abb. 10](#)).

*Wir gewährleisten höchste Qualität und Zuverlässigkeit für private, gewerbliche, freiberufliche und öffentliche Auftraggeber auf der Grundlage unseres seit 1998 durchgängig zertifizierten und ständig weiterentwickelten Qualitätsmanagementsystems.
Wir erbringen unsere Leistungen in einer durch Menschlichkeit, persönliche Beziehungen und offener Kommunikation geprägten Atmosphäre.*

Abb. 10: Auszug aus dem Unternehmensleitbild

6.5 Evaluation der Kundenzufriedenheit

Besonders wichtig ist für uns der Kundenzufriedenheitsindex, der für uns eine Schlüsselkennzahl darstellt. Wir befragen unsere Endkunden permanent, unsere AAA- bis B-Kunden ab 2018 einmal jährlich und messen deren Zufriedenheit. So wissen wir auch, dass selbst Kunden, die nicht zu 100 % zufrieden sind, uns trotzdem weiterempfehlen.

6.6 Evaluation der Mitarbeiterorientierung

6.6.1 Wöchentliche Wahrnehmungen – Stimmungsbarometer

Einmal wöchentlich bewerten die Mitarbeiter im INTRANET anonym ihre Stimmung im zurückliegenden Zeitraum auf einer Skala von 1 bis 5 (super bis miserabel). Im Wochencheck am Montagmorgen wird der Index veröffentlicht und es werden ggf. Themen, die zur Missstimmung geführt haben, geklärt.

6.6.2 Ergebnisse Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung

GPTW® Akku-Index stellt eine Schlüsselkennzahl dar. Die Mitarbeiterzufriedenheit wird seit 2015 jährlich im Rahmen einer GPTW®-Befragung erfragt und ist kontinuierlich auf hohem Niveau (siehe [Abb. 11](#)). Der Benchmark stammt von ausgezeichneten Unternehmen der GPTW®-Befragung.

GREAT PLACE TO WORK®		Befragung der Mitarbeiter Tabellarischer Bericht: Zustimmungquote - Antwortverteilung Gesamtübersicht Vermessungsbüro Ehrhorn	P00736	Nr.	Zustimmungquote 2014	Zustimmungquote 2015	Zustimmungquote 2016 (intern)	Zustimmungquote 2017	Zustimmungquote 2018 (intern)	Zustimmungquote 2019 (intern)
Anzahl Teilnehmende:					2014	2015	2016	2017	15/18	16/17
Glaubwürdigkeit	1. Die Führungskräfte halten mich über wichtige Themen und Veränderungen auf dem Laufenden.	1	100%	87%	100%	94%	93%	100%		
	2. Die Führungskräfte machen ihre Erwartungen klar und deutlich.	2	100%	100%	100%	94%	93%	88%		
	3. Ich kann mich mit jeder vernünftigen Frage an die Führungskräfte wenden und erhalte eine direkte und offene Antwort.	3	86%	93%	93%	89%	93%	94%		
	4. Die Führungskräfte machen ihre Arbeit kompetent.	4	93%	93%	100%	94%	93%	100%		
	5. Die Führungskräfte lassen ihren Worten Taten folgen.	5	71%	73%	80%	72%	93%	81%		
Respekt	6. Mir wird Weiterbildung und Unterstützung für meine berufliche Entwicklung angeboten.	6	62%	80%	80%	100%	80%	94%		
	7. Die Führungskräfte zeigen Anerkennung für gute Arbeit und besonderen Einsatz.	7	57%	67%	80%	67%	67%	81%		
	8. Die Führungskräfte beziehen die Mitarbeitenden in Entscheidungen ein, die ihre Arbeit oder das Arbeitsumfeld betreffen.	8	93%	87%	87%	72%	87%	88%		
	9. Die Mitarbeitenden werden ermutigt, einen guten Ausgleich zwischen Berufs- und Privatleben zu finden.	9	29%	57%	60%	72%	67%	88%		
	10. Die Führungskräfte zeigen aufrichtiges Interesse an mir als Person und nicht nur als Arbeitskraft.	10	86%	87%	100%	78%	80%	94%		
Fairness	11. Die Mitarbeitenden werden hier für die geleistete Arbeit angemessen bezahlt.	11	71%	73%	100%	94%	93%	100%		
	12. Die Führungskräfte vermeiden die Bevorzugung einzelner Mitarbeitenden.	12	79%	87%	93%	89%	80%	94%		
	13. Wenn ich ungerecht behandelt werde und mich beschwere, bin ich überzeugt, dass damit fair umgegangen wird.	13	86%	87%	100%	89%	87%	100%		
Stolz	14. Ich glaube, ich kann hier einen wichtigen Beitrag leisten.	14	93%	93%	73%	89%	93%	100%		
	15. Ich bin stolz auf das, was wir hier gemeinsam leisten.	15	93%	93%	87%	94%	93%	100%		
	16. Die Mitarbeitenden kommen gerne zur Arbeit.	16	100%	93%	93%	100%	93%	100%		
	17. Ich bin zufrieden mit der Art und Weise, in der wir einen Beitrag für die Gesellschaft leisten.	17	93%	100%	100%	100%	100%	100%		
Teamgeist	18. Ich kann hier "ich selbst sein" und brauche mich nicht zu verstellen.	18	93%	87%	93%	89%	93%	100%		
	19. Neue Mitarbeitende fühlen sich hier willkommen.	19	86%	100%	93%	89%	87%	100%		
	20. Wir fühlen uns hier wie eine "Familie" bzw. haben einen guten Teamgeist.	20	86%	73%	80%	65%	73%	81%		
	21. Alles in allem kann ich sagen, dies hier ist ein sehr guter Arbeitsplatz.	21	100%	93%	100%	94%	93%	100%		
Akktu Index			84%	86%	90%	87%	87%	94%		

© 2017 Great Place to Work® Institute Inc. All rights reserved.

Darstellung: Zustimmungquote = Anteil der positiven Antworten ("Trifft fast völlig zu" + "Trifft überwiegend zu")

* = weniger als fünf Antworten

Legende: < 60 % 60 - 80% > 80 %

Abb. 11: Gesamtübersicht Great-Place-to-Work®-Mitarbeiterbefragung

6.6.3 Erarbeitung der Wissensbilanz

Alle Teammitglieder mit Ausnahme der Auszubildenden bewerten jährlich die von uns festgelegten 20 Einflussfaktoren, denen wir unterschiedliche Wirkungsgrade zugemessen haben (siehe Abb. 12). In der Selbstbewertung haben wir die 90 %-Grenze als sinnvolles Maximum eingeführt. Darüber hinausgehende Bewertungen betrachten wir im Sinne des Pareto-Prinzips als zu viel des Guten

ID	Einflussfaktor
GP-1	Akquisition
GP-2	Leistungsbereich VERMESSUNG
GP-3	Leistungsbereich BEWERTUNG
GE-1	Kontinuität
GE-2	Image
GE-3	Tragfähiges Finanzergebnis
HK-1	Fachkompetenz/ Know-How
HK-2	Soziale Kompetenz
HK-3	Mitarbeitermotivation/ Verantwortungsübernahme-Bereitschaft
HK-4	Führungskompetenz
SK-1	Kooperation und Wissenstransfer
SK-2	Führungsinstrumente
SK-3	IT/ Informationstechnik / explizites Wissen
SK-4	Qualitätsmanagement-System
SK-5	BGM (Betriebliches Gesundheits Management)
BK-1	Kundenbeziehungen
BK-2	Beziehungen zur Öffentlichkeit
BK-3	Beziehungen zu Banken
BK-4	Beziehungen zu Kooperationspartnern

Abb. 12: Einflussfaktoren in der Wissensbilanz

bzw. als nicht vertretbaren Aufwand, um die letzten Quäntchen Verbesserungen zu erzielen (Ehrhorn 2019a) (siehe Abb. 13).

Seit der Einführung der Wissensbilanz im Unternehmen sind unsere Umsätze im Vergleich zum Wettbewerb erheblich stärker gewachsen. Ob tatsächlich ein ursächlicher Zusammenhang besteht, lässt sich jedoch nicht belegen. Dennoch ist die Wissensbilanz neben den anderen Sub-Systemen unseres Managementsystems ein Schlüsselement.

6.7 Zertifizierungen, Wettbewerbe, Assessments

Kritiker monieren nach wie vor, dass durch Zertifizierungen oder auch Assessments hohe Kosten entstehen. Im Gegensatz zu dieser Ansicht sind aus Sicht des Referenten die eingesetzten Finanzmittel jedoch hervorragend angelegt. Mit Hilfe dieser Investitionen ist das Vermessungsbüro Ehrhorn regelmäßig weiterentwickelt und, was vielleicht den größten Effekt ausmacht, es sind „Blinde Flecken“ und „Betriebsblindheit“ sichtbar gemacht worden.

Aus dieser Erkenntnis heraus lassen sich Verbesserungsmaßnahmen ableiten, planen, durchführen und überprüfen. Erfahrungsgemäß wird mit Hilfe der von außen angestoßenen Maßnahmen der PDCA-Zyklus mit einem Verstärkereffekt unterlegt.

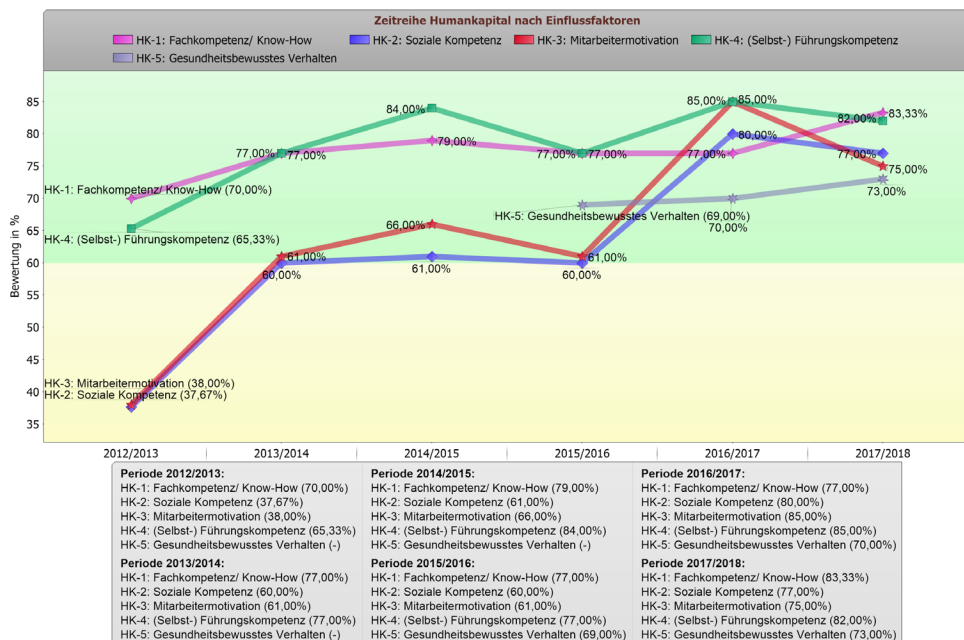


Abb. 13: Entwicklung Einflussfaktoren von 2012 bis 2018

7 Fazit

Die stetige Weiterentwicklung unseres (Qualitäts-)Managementsystems hat dazu geführt, dass

- sich eine nachhaltig hohe Mitarbeiterzufriedenheit entwickelt hat,
- angemessene Gewinne erzielt werden, die in das Büro investiert werden können,
- eine hohe Kundenzufriedenheit herrscht und
- im Gegensatz zu vielen anderen ÖbVI-Büros die Nachfolge gesichert ist sowie
- Dritte uns Excellence bescheinigt haben.

Basis dieser Entwicklung ist nach wie vor unser vor 21 Jahren eingerichtetes und zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem.

Literatur

- Dombert, A. (2019): Fachkräfte verzweifelt gesucht. VDV Magazin, Wiesbaden, 89–90.
- EFQM 2013 (2013): EFQM Excellence Modell. Brüssel. <https://ilep.de/Artikel/cmx5b17ec8e15e7c.html>, letzter Zugriff 7.5.2019.
- Ehrhorn 2019 (2019): Qualitätsmanagementsystem. unveröffentlicht.
- Ehrhorn 2019a (2019): Wissensbilanz 2019. unveröffentlicht.
- Gladitz, J.; Küffer, M.; Wolkowa-Norda, M. (2017): BDVI-Benchmark 2017. FORUM 4/2017, 4–12.
- GPTW (2019): Great Place to Work. www.greatplacetowork.de/auszeichnung/arbeitgeberwettbewerbe, letzter Zugriff 7.5.2019.
- ISO 9001:2015 (2015): DIN EN ISO 9001:2015. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Knoblauch, J.; Kurz, J.; Frey, J. (2009): Die TEMP-Methode®. Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main. EAN 9783593388069.
- mib (2019): www.mi-bochum.de/wissen/efqm-excellence-modell, letzter Zugriff 7.5.2019.
- Schmidt, J.; Dierks, R.; Ehrhorn, U. (2008): Leica SmartStation im Liegenschaftskataster – Erste Erfahrungen mit einem neuen Messsystem. VDV-Magazin, 5/2008, 378–381.
- Unternehmerenergie (2000): Strategisches Management für moderne Unternehmensführung. Schmidt Colleg GmbH, Bayreuth, Seminarunterlagen (unveröffentlicht).
- Wissensbilanz (2013): Leitfaden „Wissensbilanz – Made in Germany. www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/W/wissensmanagement-fw2013-teil3.html, letzter Zugriff 7.5.2019.

Kontakt

Dipl.-Ing. Uwe Ehrhorn FRICS
ÖbVI / öbuvSV
Georgstraße 15, 28832 Achim
info@ehrhorn.de

Qualität und Qualitätssicherung sind Begriffe, die dem Geodäten nicht fremd sind, die jedoch, gerade auf Grund immer komplexerer Mess- und Auswerteverfahren, immer wieder neu diskutiert, neu konzipiert und umgesetzt werden müssen.

Der Tagungsband stellt Grundlagen und Begrifflichkeiten der Qualitätssicherung und deren Richtlinien und Normen unter Einbeziehung der DVW-Merkblätter vor. Beiträge zu GNSS, Tachymeter, Laserscanner, Multi-Sensor-Systemen und UAV-Vermessung und Erfahrungen aus der Praxis bei der Umsetzung von Qualitätssicherungskonzepten runden das Angebot ab.



ISBN: 978-3-95786-218-1



9 783957 862181

Schriftenreihe des DVW
Band 95 / 2019
Printversion: 28,00 Euro
PDF: kostenfrei
www.geodaesie.info

