

Das Bochumer Verfahren – Eine Systemprüfung von Tachymetern für das nordrhein-westfälische Liegenschaftskataster

Rudolf Staiger, Herbert Albuscheit, Thomas Gräfrath, Stephan Heitmann,
Michael Levin, Tim Mausbach-Judith und Gerda Schacknies

Zusammenfassung

Das Land Nordrhein-Westfalen beschreitet einen neuen Weg bei der Untersuchung von Tachymetern für das amtliche Liegenschaftskataster. Leitidee ist die Prüfung »wie in der Praxis« im Sinne einer Systemprüfung. Dazu werden amtliche Prüffelder eingerichtet, auf denen Tachymeter in einem vordefinierten Prüfablauf, dem »Bochumer Verfahren«, auf ihre Einsatzfähigkeit hin untersucht werden können. Dabei prüft der Anwender sich und sein komplettes Messsystem eigenständig in einem 2D-Punktfeld mit Hilfe bekannter Koordinaten.

Summary

The geometrical quality of the measurement equipment for cadastral purposes needs to be checked and proofed on a regular base. Therefore the state of North Rhine-Westphalia required until now a yearly quality check of the component »distance measurement« on a pillar based calibration line. The new test procedure, which is described in this paper, is following a different philosophy. In the so-called system-check all relevant measurement components, which contribute to the result are proofed. In a two-dimensional test field with known coordinates a procedure called »Bochumer Verfahren« is applied. In a first step the tacheometer is setup and oriented via four known points (Free Station). In the next step additional points are measured and coordinated in the given coordinate system. The check is successfully passed when all horizontal distances between the nominal and coordinated points are smaller than 1 cm.

Schlüsselwörter: Bochumer Verfahren, Systemprüfung, Liegenschaftskataster, Tachymeter

1 Einführung

Der sachgerechte Umgang mit den unvermeidlich auftretenden Messfehlern stellt ein wesentliches Element der Ausbildung eines Geodäten dar. Es gehört zum selbstverständlichen Berufsbild und zur täglichen Berufsausübung des Vermessingenieurs, dass er sich Gewissheit über das ordnungsgemäße Funktionieren seines Instrumentariums verschafft. Im amtlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalens wird dieses Grundprinzip aufgegriffen, indem bei Liegenschaftsvermessungen nur solche Messgeräte eingesetzt werden dürfen, deren Funktionieren

durch ein entsprechendes Prüfzeugnis nachgewiesen ist. Der Bund in seiner Verantwortlichkeit für das Mess- und Eichwesen würdigt diese Denk- und Herangehensweise der Vermessungsverwaltung, indem er Messgeräte im amtlichen Vermessungswesen von der Eichpflicht ausnimmt (vgl. § 5 Abs. 2 Nr. 1 MessEV (Bund 2014)). Will die Vermessungsverwaltung diesem Privileg gerecht werden, steht sie in der Verantwortung, ihre Vorschriften an die komplexen, mit einer Vielfalt von Sensoren ausgestatteten Instrumente anzupassen.

In diesem Bewusstsein hat das Land NRW 2011 eine Arbeitsgruppe bestehend aus Landesvermessung, Aufsichtsbehörden, Katasterbehörden, Öffentlich bestellten Vermessungsingenieuren und Wissenschaft gebildet. Als Ergebnis dieser Arbeitsgruppe wurde 2015 das »Bochumer Verfahren« zur Überprüfung von Tachymetern, die im Liegenschaftskataster eingesetzt werden sollen, in NRW zugelassen (MIK NRW 2015). Dieses wurde von der Hochschule Bochum als Verfahren zur ganzheitlichen Prüfung tachymetrischer Messsysteme zur Bestimmung von Lagekoordinaten entwickelt. Es stellt damit eine Abkehr von der in NRW bisher praktizierten Komponentenkalibrierung der EDM-Geräte dar. Eine erste Erprobung der neuen Methode fand – in Kooperation mit dem örtlichen Katasteramt – auf dem dafür angelegten Prüffeld Kirmesplatz an der Castroper Straße in Bochum statt (vgl. Abschnitt 2.4).

2 Das »Bochumer Verfahren«

2.1 Das bisherige Prüfverfahren für Tachymeter

Das bisherige Verfahren, festgehalten in der sog. Eichrichtlinie (EDM) (vgl. LVermA NRW 1991, Spata 2001, IM NRW 2000), wurde Anfang der 1990er Jahre entwickelt. Es spiegelt daher auch den damaligen Stand der Mess- und Prüftechnik wider. Im Rahmen einer Komponentenkalibrierung werden die Instrumentenparameter additive, multiplikative und zyklische Korrektur auf einer zwangszentrierenden Pfeilerstrecke bestimmt. Die Bestimmung des Maßstabs sollte an einem Frequenzmessplatz erfolgen. Ist die direkte Messung der Modulationsfrequenz nicht möglich (z.B. weil der Hersteller den dafür erforderlichen Messmodus nicht bereitstellt oder die Informationen zur »Soll«-Frequenz dem Nutzer nicht

zur Verfügung stehen), kann der Maßstab nur aus den Messungen auf der Pfeilerstrecke mit bekannten Abständen abgeleitet werden. Unsicherheiten bzw. systematische Abweichungen, die aus der Bestimmung der meteorologischen Parameter (Luftdruck und Lufttemperatur) stammen, überlagern sich dabei mit dem gesuchten Maßstabsfaktor gleichartig. Die beiden Faktoren »Unsicherheit Meteorologie« und »instrumenteller Maßstabsfaktor« lassen sich experimentell nicht separieren.

Aus heutiger Sicht stellen sich die wesentlichen Schwächen des bisherigen Verfahrens wie folgt dar:

- Nur die Streckenmesskomponente des Tachymeters wird geprüft. Der Winkelmessteil erfährt keine Untersuchung.
- Weitere Einflussgrößen wie der Bediener (als reiner Operateur oder als Beobachter), das Zubehör zur Messung (insbesondere der Reflektorstab), der Instrumentenaufbau (insbesondere die Zentrierung), die Berechnungssoftware sowie die Umgebungsbedingungen bleiben ebenso unberücksichtigt.

2.2 Weiterentwicklungen in den letzten 25 Jahren

Seit Beginn der 1990er Jahre wurden die Tachymeter und die bei ihnen implementierten Technologien stark verbessert und erweitert. Gleichzeitig war ein verändertes Nutzerverhalten zu verzeichnen.

2.2.1 Weiterentwicklungen im Instrumentenbau

- Alle Hersteller bieten heute signifikant genauere Instrumente an als vor 25 Jahren. Dies gilt im Besonderen für die Streckenmessungen. Die aktuellen Instrumente werden mit einer Streckenmessgenauigkeit von 1 bis 3 mm (1σ , bis 500 m) angegeben, während vor 25 Jahren die Spannweite mit 1 bis 20 mm (1σ , bis 500 m) größere Unterschiede zwischen den Herstellern aufzeigte (vgl. Deumlich und Staiger 2002).
- Die reflektorlose Streckenmessung gehört heute in vielen Instrumenten zur Standardausstattung, wobei die Reichweiten (>200 m) und die Genauigkeiten (2 bis 10 mm) in den letzten Jahren signifikant verbessert wurden.
- Viele Hersteller führen unterschiedliche Reflektortypen (Standard, Präzisionsprisma, Rund-Um-Prisma, Kleinreflektor, Reflexfolie, usw.) für differenzierte Anwendungen in ihrem Verkaufsprogramm. Leider weisen diese Reflektoren keine einheitlichen Additionskorrekturen auf.
- Der Funktionsumfang der Tachymeter wurde stark erweitert (Scanning-Funktionen, Videotachymetrie, Kombination mit GNSS) und gleichzeitig wurde auch die Messung selbst weiter automatisiert (Zielerfassung, Zielverfolgung, automatische Wiederholungsmessungen usw.).

2.2.2 Veränderte Nutzung der Tachymeter in den letzten 25 Jahren

Im selben Zeitraum haben sich auch die Nutzungsgewohnheiten geändert.

- Bedingt durch den vermehrten Einsatz von GNSS-Verfahren spielen die großen Reichweiten der Tachymeter – im Gegensatz zu der Nutzung vor 25 Jahren – nur noch eine untergeordnete Rolle. Besonders in Ballungsräumen haben sich die Zielweiten verkürzt. Zielweiten über 300 m sind dort selten.
- Die Anwender sind der Auffassung, die Messwerte sind »fehlerfrei«, was auch daran zu erkennen ist, dass im Feld oft direkt »in Koordinaten« (in der Anzeige, Speicherung, Weiterverarbeitung, usw.) und nicht mehr mit den originären Messwerten gearbeitet wird.

2.3 Das Bochumer Verfahren

2.3.1 Grundüberlegungen

Das Bochumer Verfahren vermeidet bewusst die Schwächen der bisherigen Methode und berücksichtigt gleichzeitig das geänderte Benutzerverhalten, indem auf einem

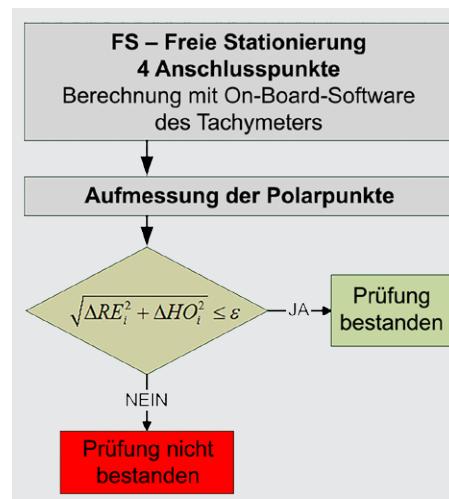


Abb. 1:
Ablaufplan
einer Tachy-
meterprüfung

flächenhaften, ebenen Prüffeld mit ca. zehn bodenvermarkten Festpunkten eine Prüfung hinsichtlich der resultierenden kartesischen Koordinaten in folgenden Schritten durchlaufen wird (vgl. Abb. 1):

- a) Auf einem frei gewählten Standpunkt wird zunächst eine Freie Stationierung zu vier Festpunkten beobachtet und (wenn möglich) mit der Tachymeter-Software berechnet.
- b) Danach werden alle anderen Bodenpunkte des Prüffeldes tachymetrisch erfasst.
- c) Die Koordinaten der aufgemessenen Neupunkte werden mit den »Soll«-Koordinaten verglichen. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn alle Beträge der horizontalen Abstände zwischen Neu- und Sollpunkt den

festgelegten Grenzwert ϵ nicht überschreiten. Andernfalls gilt die Prüfung als nicht bestanden.

- d) Wird der Grenzwert ϵ überschritten, ist die Prüfung erneut durchzuführen.

Führen mehrfache Wiederholungen nicht zur Einhaltung des Grenzwertes, sind – analog zum mehrstufigen Verfahren der FIG (FIG 1994) – die Ursachen durch geeignete Prüf- und Testverfahren gezielt zu erforschen.

Mit dem Bochumer Verfahren werden in einem ganzheitlichen und praxisnahen Ansatz möglichst alle relevanten Einflussgrößen betrachtet. Die zugehörige Prüfphilosophie lautet: Es ist möglichst so zu prüfen, wie gemessen wird. Dies gilt insbesondere für die praktische Durchführung der Prüfung:

- Signalisiert z.B. ein Anwender die Anschlusspunkte zur Freien Stationierung stets auf Stativen und beobachtet diese in zwei Lagen, während die Aufnahme der Polarpunkte mit Reflektorstäben und nur in einer Lage erfolgt, sollte die Prüfmessung genauso durchgeführt werden.
- Erfolgt die Messung der Anschlusspunkte normalerweise mit automatischer Zielerfassung (ATR), dagegen die Erfassung der Neupunkte durch optisch-visuelle Anzielung, sollte genauso geprüft werden.
- Analog ist bei der Wahl der Reflektorthöhe(n) bzw. bodennaher Anzielung, der Beobachtungsreihenfolge, der azimutalen Ausrichtung des Reflektorstabes, usw. zu verfahren.

In diesem Zusammenhang sei auch der Hinweis erlaubt, dass der oder die Reflektoren, die im täglichen Einsatz sind, auch in der Prüfmessung zu verwenden sind. Beim bisherigen Verfahren wird von einigen Vermessungsstellen oft ein spezieller »goldener« Prüffreflektor genutzt, der aber bei normalen Messungen nicht eingesetzt wird. Diese Verfahrensweise ist im Sinne einer Systemprüfung kontraproduktiv.

Oft wird in einem Messprojekt ein Tachymeter zusammen mit mehreren Reflektoren gleichzeitig genutzt. In diesem Fall besteht eine komplette Prüfung der Messausrüstung aus mehreren unabhängigen Durchläufen, indem pro Prüfung nur ein Reflektorstab mit dem zugehörigen Prisma eingesetzt wird.

2.3.2 Geometrie des Prüffeldes

Typische Messaufgaben für das nordrhein-westfälische Liegenschaftskataster, die mit Tachymeter bearbeitet werden, sind dem Nahbereich zuzuordnen. Mutmaßlich sind 70 % der Zielweiten kürzer als 150 m. Aus diesem Grund ist das Prüfverfahren auch für den Nahbereich ausgelegt. Das Prüffeld selbst sollte eine Ausdehnung von ca. 130 × 130 m² aufweisen.

Die Geometrie der Bodenpunkte, d.h. die relative Lage der Bodenpunkte zueinander, übt einen großen Einfluss auf die Sensitivität des Verfahrens aus (Abb. 2).

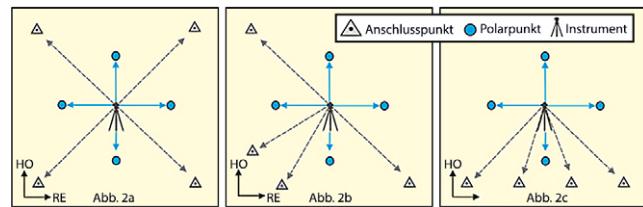


Abb. 2a–c: unterschiedliche Konfigurationen für das Prüffeld

Neben den zufälligen Abweichungen gilt es in der Prüfung auch systematische Fehler zu detektieren. Hier sind, insbesondere unter Berücksichtigung der ersten Erfahrungen, fehlerhafte Additionskorrekturen zu nennen. Ein Maßstabsfehler macht sich auf diese kurzen Strecken kaum bemerkbar und der Einfluss des zyklischen Phasenfehlers kann heute – dank des instrumentellen Fortschritts – für Liegenschaftsmessungen vernachlässigt werden.

Einer fehlerhaften Additionskorrektur können unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen:

- Die vom Hersteller angegebene Korrektur ist aufgrund optisch-mechanischer Veränderungen nicht mehr gültig (z.B. Sturzschaden des Reflektors).
- Der Anwender hat in der Tachymeter-Software einen falschen Reflektortyp mit unzutreffender Korrektur ausgewählt. Zur Verdeutlichung des Fehlerpotenzials einer falschen Reflektorauswahl: Ein bekannter Hersteller bietet zurzeit neun Reflektortypen mit fünf unterschiedlichen Additionskorrekturen zwischen 0 und 34,4 mm an.
- Verbogene Reflektorstäbe und Reflektorstäbe mit dejustierten Dosenlibellen führen zu exzentrischen Positionen, deren Komponente in Zielrichtung wie ein Additionsfehler wirkt.

Sind die Anschlusspunkte für eine Freie Stationierung gleichmäßig über den Horizont verteilt und weisen ähnliche Entfernung auf (Abb. 2a), sind die geometrischen Bedingungen für die Stationsbestimmung optimal. Das gilt allerdings auch für das »Absorbieren« konstanter Streckenfehler (z.B. hervorgerufen durch eine falsche Additionskorrektur). Trotz konstanter Streckenabweichung werden die tatsächlichen Stationskoordinaten bestimmt. Die fehlerhaften Strecken wirken sich nur bei der anschließenden Messung der Polarpunkte aus. Dagegen ist die Anordnung nach Abb. 2b mäßig sensitiv für konstant verfälschte Strecken. Bei Abb. 2c liegen alle vier Anschlusspunkte auf einer Geraden. Simulationsrechnungen zeigen, dass sich eine Additionskorrektur direkt in einem verfälschten Hochwert zeigt. Liegen zusätzlich die Polarpunkte auf der »anderen Seite« der Festpunkte (bezogen auf den Instrumentenstandort), verdoppelt sich dort die additive Abweichung. Aus diesen Gründen wird eine Anordnung gemäß 2c als optimierte Prüfgeometrie gewählt.

2.3.3 Berechnungsverfahren zur Freien Stationierung

Zur Berechnung einer Freien Stationierung gibt es zwei Varianten:

- a) *Koordinatentransformation*: Die beobachteten (Hz)-Richtungen und (Hz)-Strecken werden in lokal-kartesische Koordinaten umgewandelt. Daraus wird eine 2D-Helmert-Transformation berechnet.
- b) *Vermittelnde Ausgleichung*: Die unbekannten Stationsparameter (Rechts- und Hochwert des Instrumentenstandpunktes, Orientierungsunbekannte) werden direkt im Rahmen einer vermittelnden Ausgleichung (Gauß-Markov-Modell) mit den Beobachtungen »Richtung« und »Strecke« berechnet.

Beide Varianten sind gebräuchlich. Die Transformationslösung (a) ist auf vielen Tachymetern implementiert, vermutlich weil es eine eindeutige, einfach zu realisierende Berechnung darstellt. Das zweite Verfahren steht für die ausgleichungstechnisch strenge Methode, da die Gewichte analog zu den tatsächlichen Beobachtungsgenauigkeiten gewählt werden können, während bei (a) das Genauigkeitsverhältnis zwischen den Beobachtungen festgelegt ist. Außerdem können – im Gegensatz zu (a) – auch weitere Unbekannte, z.B. eine Additionskorrektur, mitgeschätzt werden.

Die Transformationsmethode lässt sich rechentechnisch auch als Sonderfall der allgemeinen Ausgleichungslösung realisieren, indem nicht der klassische Gewichtsansatz (konstante Richtungsgenauigkeit und Streckengenauigkeiten, die sich aus einem konstanten und einem streckenproportionalen Anteil zusammensetzen) zur Anwendung kommt (M1, Tab. 1), sondern indem die Gewichte auf der Basis einer konstanten Streckengenauigkeit kombiniert mit Richtungsgenauigkeiten, die proportional zur Strecke abnehmen, gewählt werden (M2, Tab. 1).

Tab. 1: Wahl der Beobachtungsgenauigkeiten bzw. der Gewichte bei der vermittelnden Ausgleichung zur Freien Stationierung

	Richtungsgenauigkeiten	Streckengenauigkeiten
M1 – Klassische Gewichtsbildung	$\sigma_{R_i} = c \text{ [gon]}$	$\sigma_{s_i} = a \text{ [m]} + b \text{ [ppm]}$
M2 – Adaptierte Gewichtsbildung (Zentrierfehler)	$\sigma_R = \frac{a \text{ [m]}}{s_i \text{ [m]}} \cdot \rho \text{ [gon]}$	$\sigma_{s_i} = a \text{ [m]}$

Im Nahbereich ist der klassische Gewichtsansatz bedingt durch die stark unterschiedlichen Streckenlängen kritisch zu hinterfragen. Eine Messung zu einem 20 m entfernten Anschlusspunkt erhält ein 25-mal höheres Richtungsgewicht als eine Messung zu einem 100 m entfernten Anschlusspunkt. Dies entspricht nicht den mess-technischen Erfahrungen und Realitäten.

Neben den Messunsicherheiten des Tachymeters dürfen im Nahbereich (2 bis 200 m Zielweiten) die Zentrierunsicherheiten der Zielpunkte keinesfalls vernachlässigt werden. Im Gegenteil: Wird eine konstante Zentrierunsicherheit im Zielpunkt (z.B. 1 mm in jede Koordinatenrichtung) modelliert und gleichzeitig die Messunsicherheit des Tachymeters vernachlässigt, ist genau der umgekehrte Ansatz korrekt: Je weiter der Zielpunkt entfernt liegt, desto höher ist das zuzuordnende Richtungsgewicht. Die Transformationsmethode bzw. die Ausgleichung mit Gewichtsansatz M2 steht genau für die kleinste-Quadrat-Lösung, welche die Messgenauigkeiten des Tachymeters vernachlässigt und stattdessen eine konstante Zentriergenauigkeit in den Zielpunkten als Hauptunsicherheit zugrunde legt.

Werden identische Datensätze mit den beiden Gewichtsansätzen M1 und M2 ausgewertet, resultieren Koordinatendifferenzen, die jedoch im Sinne des Prüfverfahrens unbedeutend sind. Nach den bisherigen Erfahrungen können die Gewichtsansätze M1 und M2 als gleichwertig betrachtet werden. Darüber hinaus sind auch gemischte Gewichtsansätze, in denen sowohl individuelle Messgenauigkeiten des Tachymeters als auch Zentrierunsicherheiten der Zielpunkte Berücksichtigung finden, realisierbar. Da jedoch bereits die Unterschiede aus den o.a. Gewichtsansätzen nur zu unwesentlichen Differenzen führen, wurden gemischte Gewichtsansätze nicht weiter betrachtet.

2.3.4 Rechnerische Simulation des Prüfverfahrens

Für Untersuchungen zur Eignung und Leistungsfähigkeit des Verfahrens wurde eine Simulationssoftware entwickelt, die eine umfassende Modellierung des Prüfprozesses ermöglicht. Der zweistufige Prüfprozess wird dazu mit zahlreichen Variationsmöglichkeiten in MATLAB® korrekt nachgebildet. Die wichtigsten Eingangsgrößen sind:

- die Lage des Standpunktes,
- die Anzahl und Lage der Anschlusspunkte,
- die Anzahl und Lage der Neupunkte,
- die Messgenauigkeiten (Richtungs- und Streckenmessgenauigkeiten),
- die Berechnungsmethode (M1 oder M2) sowie
- die Fehlergrenzen.

Als Besonderheit können neben den zufälligen Messabweichungen auch systematische Einflüsse simuliert werden. Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation werden, z.B. 500-mal, die »Soll«-Beobachtungen mit zufällig normalverteilten Beobachtungsfehlern und den gewählten systematischen Abweichungen überlagert. Daraus werden 500 Freie Stationierungen berechnet, die wiederum die Grundlagen der polaren Punktbestimmung bilden. Das Ergebnis ist eine 500-fache fiktive Bestimmung aller Polarpunkte (vgl. Abb. 3 und 4) inkl. ihrer Differenzen zu den Sollwerten.

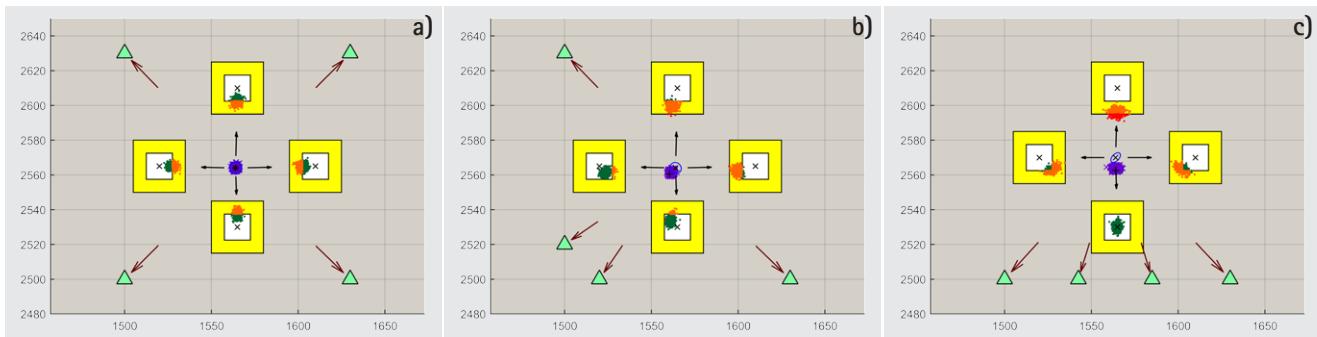


Abb. 3a–c: Simulation der idealisierten Anordnungen 2a–2c

Folgende systematische Fehler lassen sich modellieren:

- Additionsfehler (Streckenmessung)
- Maßstabsfehler (Streckenmessung)
- Zielachsfehler (Richtungsmessung)

Die Abb. 3 stellt graphisch die Simulationsergebnisse der idealisierten Konfigurationen aus Abb. 2 dar. Dabei wurde ein Additionsfehler von -5 mm angenommen. Die Abweichungen sind überhöht dargestellt: So stehen die weißen Quadrate für eine Kantenlänge von 10 mm und die gelben Quadrate für 20 mm . Die grünen Punkte befinden sich innerhalb der weißen, die orangefarbenen Punkte innerhalb der gelben Box, während die roten Punkte außerhalb der gelben Quadrate liegen.

2.4 Das Testfeld »Kirmesplatz« in Bochum

Zur Erprobung des Prüfverfahrens wurde für den Kirmesplatz in Bochum ein Prüffeld entworfen, welches vom Amt für Geoinformation der Stadt Bochum 2012 eingerichtet und seither unterhalten wird. Das Prüffeld besteht aus insgesamt neun vermarkten und koordinatenmäßig bekannten Bodenpunkten (vgl. Abschnitt 3.7).

Um von vornherein Netzspannungen o.ä. ausschließen zu können, wurde ein neues lokales Netz mit örtlichen Koordinaten als Prüffeld geschaffen, das keine Anbindung an das amtliche Koordinatensystem aufweist. Die Orientierung des kartesischen Koordinatensystems (RE/HO) ist willkürlich gewählt.

Zugunsten ungleicher Zielweiten zu den verschiedenen Polarpunkten wurde beim Entwurf des Prüffeldes auf die oben angesprochene Symmetrie teilweise verzichtet. Der Aufstellort für das Tachymeter ist nicht starr festgelegt. Sinnvoll ist ein Standpunkt, von welchem aus die Polarpunkte in allen vier Quadranten auftreten.

Das Testfeld wurde erstmals im Sommer 2012 vom Amt für Geoinformation der Stadt Bochum ko-

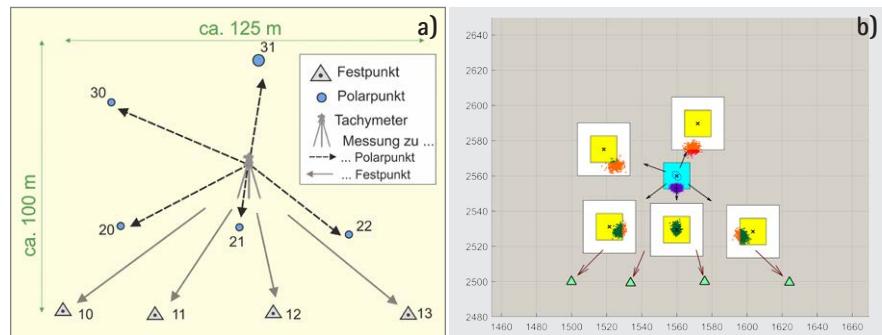


Abb. 4: a) Skizze des Prüffeldes »Kirmesplatz«; b) Simulation Prüffeld »Kirmesplatz«

ordinatenmäßig bestimmt. Mit einem Leica-Tachymeter TCRA 1101 und einem Reflektor GPR1 wurden von drei zwangszentrierten Stativen aus jeweils zwei Vollsätzen zu allen Bodenpunkten und Stationspunkten beobachtet. Aus der 2D-Ausgleichung ergaben sich Punktgenauigkeiten kleiner als $0,7 \text{ mm}$ (1σ pro Koordinatenrichtung). Damit stehen Soll-Koordinaten mit einer »Genauigkeit« in der Größenordnung von 1 mm zur Verfügung.

2.5 Erprobung des Bochumer Verfahrens

Seit seiner Fertigstellung wurde das Prüffeld intensiv genutzt, um die grundsätzliche Eignung des Verfahrens nachzuweisen. Neben den Untersuchungen der Hochschule Bochum sind insbesondere die umfangreichen Messungen der benachbarten Vermessungsstellen zu nennen, die unter der Leitung und Koordination des Katasteramtes der Stadt Bochum stattfanden.

2.5.1 Untersuchungen der Hochschule Bochum

Die Hochschule Bochum untersuchte zunächst die grundsätzliche Eignung des Verfahrens, indem drei unter-

Tab. 2: Technische Daten der getesteten Tachymeter

Instrument	Strecken- genauigkeit	Richtungs- genauigkeit	Genauig- keitsklasse	Erschei- nungsjahr
Leica TCRA 1101	2 mm + 2 ppm	0,5 mgon	hoch	ca. 2000
Trimble 3305 DR	2 mm + 2 ppm	1,5 mgon	mittel	ca. 2006
Zeiss Elta 3	3 mm + 3 ppm	0,5 mgon	gering	ca. 1989

schiedliche Messausrüstungen, die sich in Technologie und Genauigkeitsklasse deutlich unterschieden, auf dem Prüffeld getestet wurden (Tab. 2).

Alle drei Messausrüstungen wurden vor den Messungen, insbesondere hinsichtlich der Additionskorrektur und der Justierung der Dosenlibellen der Reflektorstäbe, auf Funktionstüchtigkeit kontrolliert (Samotta 2013).

Die Zielpunkte wurden mit einem Reflektorstab (Reflektor in normaler Gebrauchshöhe von ca. 1,5 m) signalisiert. Manchmal wurde dazu ein Stabstativ benutzt. Die Messung erfolgte entweder in Halb- oder in Vollsätzen. Die Ergebnisse der On-Board-Berechnungen wurden nach der Messung den Ergebnissen von KIVID (2015) und JAG3D (2015) gegenübergestellt. Aus den Untersuchungen sind zwei Erkenntnisse festzuhalten:

- In allen Prüfmessungen (für jedes Instrument mehrfach durchgeführt) waren die Beträge der resultierenden Koordinatenabweichungen für alle fünf Polarpunkte des Prüffeldes Kirmesplatz kleiner als 5 mm.
 - Die numerischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Lösungen (KIVID, JAG3D und Tachymeterergebnisse) sind vorhanden, können jedoch im Sinne der Prüfung vernachlässigt werden.

Momentan wird der Einfluss verbogener Reflektorstäbe bzw. von Reflektorstäben mit dejustierter Dosenlibelle untersucht.

2.5.2 Untersuchungen des Amtes für Geoinformation der Stadt Bochum

In einer ersten Testphase haben verschiedene Vermessungsstellen im Rahmen von mehr als 60 Testmessungen ihre Tachymeterrausrüstungen geprüft. 17 unterschiedliche Tachymetermodelle von drei Herstellern wurden durch die Mitarbeiter der jeweiligen Vermessungsstellen einer Eigenprüfung unterzogen. Mit jeder Messausrüstung wurden mind. zwei Prüfungen – meist direkt nacheinander – von verschiedenen Standpunkten aus durchgeführt.

Für den Zeitraum August 2012 bis April 2013 sind die Ergebnisse in Abb. 5 zusammengestellt. Dargestellt sind die Differenzen der Koordinaten zu den Sollwerten. Eine Zeile entspricht einer Prüfmessung. Die grüne Füllung repräsentiert Abweichungen kleiner 5 mm. Die betragsmäßige Abweichung zwischen 5 und 10 mm ist mit gelber Füllung hinterlegt, während Abweichungen größer als 10 mm an der roten Farbe zu erkennen sind.

2.6 Zusammenfassung der Untersuchungs-ergebnisse

Die Untersuchungen der Hochschule Bochum und die des Amtes für Geoinformation der Stadt Bochum liefern Ergebnisse, die zu übereinstimmenden Erkenntnissen führen.

Abb. 5: Zusammenstellung der ersten Prüfergebnisse, Zeitraum August 2012 bis Juni 2013

Bei den ausführlichen Testmessungen traten Differenzen zu den Sollkoordinaten in unterschiedlichen Größenordnungen auf (vgl. Abb. 5). Waren die Abweichungen zu groß (>1 cm), konnte meist die Ursache für die Abweichung gefunden werden. Oft handelte es sich dabei um den Einfluss einer fehlerhaften Additionskorrektur, die entweder durch einen fehlerhaften Reflektor, einen falsch eingestellten Korrekturwert oder durch eine feh-

lerhafte Zielpunktzentrierung in Form eines verbogenen Reflektorstabes oder einer dejustierten Dosenlibelle zu stande kam.

Das Einhalten der gewählten max. Abweichungen (<1 cm) ist nicht von der Genauigkeitsklasse (vgl. Tab. 2) abhängig. Auch mit Instrumenten älterer Bauart und geringer Genauigkeitsklasse kann die Prüfmessung ohne besonderen Beobachtungsaufwand (Einzelmessungen in einer Lage sind im Sinne der Prüfung möglich) erfolgreich absolviert werden.

Die gewählte Geometrie des Prüffeldes hat sich bewährt, insbesondere die Sensitivität hinsichtlich eines mögl. Additionsfehlers in der Streckenmessung lässt sich eindeutig verifizieren.

Der zeitliche Aufwand einer Prüfmessung (inkl. Auswertung vor Ort) bewegt sich im erwarteten Zeitrahmen von ca. einer Stunde.

2.7 Erweiterung des Prüfverfahrens

Nachdem sich im Lauf der Untersuchungen herausgestellt hatte, dass in den meisten Fällen von signifikanten Differenzen ein additiver Streckenfehler vorliegt (der zumindest überwiegend konstant »wirkt«), wurde der Vorschlag zur Prüfung wie folgt erweitert: Vor der Freien Stationierung wird zunächst die aktuelle Additionskorrektur geprüft. Dazu wählt der Beobachter den Standort zur Freien Stationierung in der direkten Linie zweier bekannter Punkte, z.B. der Punkte 11 und 31 (Abb. 6a und b). Vor der Freien Stationierung werden die Strecken zu den Punkten 11 und 31 gemessen, addiert und mit der Sollstrecke verglichen. Im Falle einer Abweichung >5 mm wird empfohlen, zunächst die Ursachen dafür zu finden, zu beseitigen, und dann erst die eigentliche Prüfung durchzuführen. Der zeitliche und messtechnische Mehraufwand ist mehr als gerechtfertigt, zumal kein weiterer oder zusätzlicher Standpunkt notwendig wird.

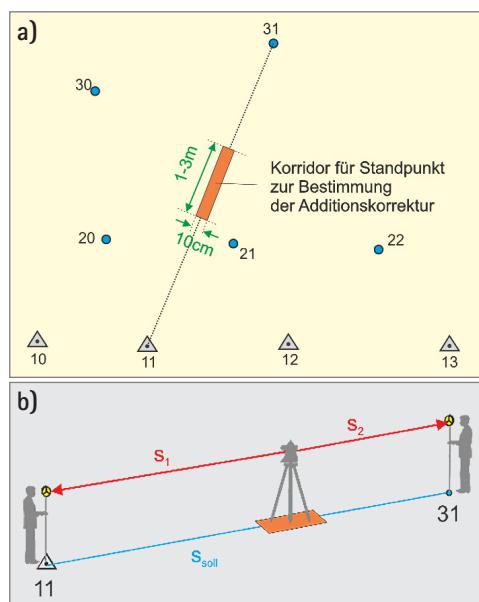


Abb. 6a
und b:
Stand-
punktwahl
zur Freien
Stationie-
rung

3 Das Bochumer Verfahren aus der Perspektive der Vermessungsverwaltung NRW

3.1 TAROT-online

Vermessungsinstrumente, die im amtlichen Liegenschaftskataster Nordrhein-Westfalens eingesetzt werden sollen, sind zu eichen¹ und zu prüfen, sodass die Richtigkeit der

Abb. 7: Ansicht von TAROT-online im Web

Messwerte jederzeit gewährleistet ist (Vermessungspunkterlass, IM NRW 1996). Die Eichung ist demnach jährlich mindestens einmal und darüber hinaus bei erstmaliger Inbetriebnahme und nach Reparaturen vorzunehmen.

Zur Auswertung von Prüfmessungen gemäß dem Bochumer Verfahren bietet die Bezirksregierung Köln den Stellen, die in Nordrhein-Westfalen Liegenschaftsvermessungen durchführen dürfen, die kostenlose Web-Anwendung TAROT-online² (Tachymeter- und GNSS-Rover-Test) an (Abb. 7).

Als Input verwendet TAROT-online eine einfache Textdatei mit vorgegebener Struktur, die in der Regel mit büroüblicher Software aus dem Datenfluss des Gerätes ableitbar ist. Alternativ können die erforderlichen Daten auch manuell eingegeben werden. TAROT-online wertet die Prüfmessung aus und erstellt ein Prüfzertifikat (Abb. 8) zum Download im pdf-Format. Dieses bescheinigt bei Einhaltung der Grenzwerte die Eignung des Vermessungsinstruments für den Einsatz im nordrhein-westfälischen Liegenschaftskataster.

1 Anm.: Die kommende Generation von Vermessungsvorschriften in Nordrhein-Westfalen wird den Begriff der Eichung nicht mehr verwenden, sondern von Kalibrierung bzw. Prüfung im Sinne des Bochumer Verfahrens sprechen.

2 www.brk.nrw.de;brk_internet/geobasis/raumbezug/anwendungen_web/tarot/tarot_nrw/index.html.

Tachymeter - Prüfzertifikat für Arbeiten im amtlichen Vermessungswesen NRW			
Vermessungsstelle	unbenannt		
Instrument	unbenannt		
Seriennummer	9999		
Reflektor	unbenannt		
Prüffeld	Bonn	Gültig bis	08.09.2017
Gemessen	08.09.2016		
Berechnungsparameter (Standardeinstellung)			
Auswerteart:	Stationausgleichungen		
Bewegliche Anschlusspunkte:	nein		
Nulpunktkorrektion (K10):	nicht berücksichtigt		
Maßstabskorrektion (K20):	nicht berücksichtigt		
Standardabweichung der Richtungen:	0.000 gon		
Zentrieffehler:	0.002 m		
Standardabweichung der Distanzen:	0.002 m		
distanzabhängiger Fehleranteil der Distanzen:	0.0 mm/km		
konstanter Fehleranteil der Distanzen:	nach Fehlerfortpflanzung		
Ergebnisse der Auswertung			
maximale Abweichung eines Kontrollpunktes:	0.003 m		
Bemerkungen			
Das Instrument ist für Arbeiten im amtlichen Liegenschaftskataster geeignet			
Auswertung online am 08.09.2016 mit Programm TAROT		 <p>GEObasis.nrw der Bezirksgesetzgebung Köln Dezemrat 71 Muffendorfer Straße 19-21 53177 Bonn</p>	
Kundenservice: Tel 0221 147 2071, FAX 0221 147 4182, E-Mail kalibrierung@bezreg-koen.nrw.de			

Abb. 8: Prüfzertifikat zum Nachweis der Eignung eines Tachymeters für Arbeiten im Liegenschaftskataster NRWs

Jedes Mal, wenn eine Prüfung mit TAROT-online ausgewertet wird, werden die bei der Prüfmessung ermittelten Koordinaten von der Landesvermessung zusammen mit dem Datum der Messung (ohne Bezug zur Vermessungsstelle oder den ausführenden Personen) abgespeichert. Die so entstehende Zeitreihe dient der Detektion von Koordinatenänderungen und ist somit Grundlage für ein Monitoring zur Qualitätssicherung der Prüffelder. Eine grundsätzlich wünschenswerte Einmessung aller Prüffelder im Sinne eines Ringversuchs einheitlich mit einem Instrument wird aufgrund mangelnder Ressourcen wohl in absehbarer Zeit nicht umzusetzen sein.

3.2 Mehrwerte für die Vermessungsverwaltung in NRW

Um Tachymeter gemäß der alten Eichrichtlinie untersuchen zu können, existieren in NRW bis heute Pfeilermessstrecken sowie Prüflabore mit Frequenzmessplätzen und Prüfschienen, die entweder durch die Landesvermessung, die Bezirksregierungen oder durch Hochschulen unterhalten werden. Das Konzept des Prüfens wie in der Praxis beinhaltet, dass keine aufwändige Infrastruktur mehr vorgehalten werden muss, die naturgemäß auf wenige Orte beschränkt ist. Ein Prüffeld für das Bochumer Verfahren

kann mit überschaubarem Aufwand überall dort eingerichtet werden, wo ein geeigneter Platz gefunden wird. Daher können und sollen die neuen Prüffelder durch interessierte Stellen des amtlichen Vermessungswesens selbst angelegt werden. Die Messwerte der Ersteinrichtung werden der Bezirksregierung Köln eingereicht und dort auf Plausibilität geprüft. Danach wird das Prüffeld mit seinen Sollkoordinaten in TAROT-online eingetragen und steht ab diesem Moment für Auswertungen zur Verfügung. Auf diese Weise sind bislang zehn Prüffelder für das Bochumer Verfahren in NRW entstanden (Abb. 9).

Damit steht die Frage im Raum, warum z. B. eine Katasterbehörde die Mühe auf sich nehmen sollte, ein Prüffeld anzulegen, das in der Folge auch noch von anderen amtlichen Vermessungsstellen kostenlos mitbenutzt werden kann? Katasterbehörden führen in NRW selber Liegenschaftsvermessungen aus und sind wie jede andere Vermessungsstelle daher verpflichtet, die Tauglichkeit ihrer Vermessungsinstrumente nachzuweisen. Sollte ein Vermessungsinstrument bislang untersucht werden, bedeutete dies nicht selten, dass das Gerät und der Messtrupp einen ganzen Arbeitstag ausfielen. Die Anlage eines eigenen günstig gelegenen Prüffeldes ermöglicht demgegenüber die zügige Prüfung des gesamten Geräteparks »vor der Haustür« ohne langwierige Anfahrtswägen und Ausfallzeiten der Geräte.

Das Prüffeld ist selbstverständlich nicht nur für Aufgaben im amtlichen Vermessungswesen einsetzbar. Je nachdem, welche Vermessungsaufgaben typischerweise zum Aufgabenspektrum der Katasterbehörde gehören, kann das Prüffeld modifiziert werden, indem bspw. Hochpunkte mitbestimmt werden. So wurde von einer Katasterbehörde die Idee formuliert, das Prüffeld künftig auch in Vergabeverfahren einzubinden. Werden Vermessungsdienstleistungen ausgeschrieben, kann eine Referenzmes-

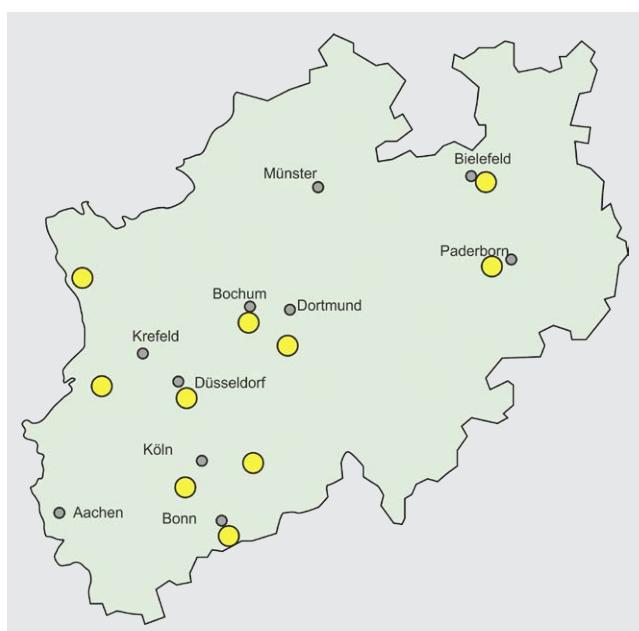


Abb. 9: Lage der Prüffelder für das Bochumer Verfahren in NRW

sung auf dem der Katasterbehörde im Detail bekannten Prüffeld verlangt werden, um auf diese Weise die vermessungstechnische Kompetenz des Bieters zu beurteilen.

Nicht zuletzt bietet es sich an, das Prüffeld auch in der Ausbildung einzusetzen. Handwerkliche Fehler, das unsaubere Aufstellen des Instruments, das nachlässige Abstützen des Reflektors, werden sich in den Ergebnissen der Prüfmessung unmittelbar widerspiegeln. So lässt sich das notwendige Bewusstsein schaffen, dass Vermessungswesen bis heute – und in der Zukunft – mehr ist, als nur »Knöpfchen drücken«.

Der Wandel von staatlich vorgehaltener Infrastruktur hin zu Prüffeldern des Bochumer Verfahrens scheint zunächst einen Rückzug des Landes NRW zulasten der Vermessungsstellen zu bedeuten. Tatsächlich bietet ein eigenes Prüffeld jedoch die Chance, die genannten Mehrwerte einzustreichen, die sich mindestens mit Blick auf deutlich geringere Ausfallzeiten auch in Euro und Cent darstellen lassen.

4 Fazit

Die Regelungen zur Untersuchung von Tachymetern in NRW waren nicht mehr zeitgemäß. Sie waren gekennzeichnet durch den Ansatz der Komponentenkalibrierung, ohne dass die Sensorik eines heutigen Tachymeters als »messender Computer« noch angemessen berücksichtigt worden wäre. Das Bochumer Verfahren bricht mit diesem Ansatz und ersetzt ihn durch eine Systemprüfung nach dem Prinzip des Prüfens »wie in der Praxis«. Damit einher geht eine Neuaustrichtung der benötigten Infrastruktur. Da ein Prüffeld für das Bochumer Verfahren ohne spezialisierte Messtechnik eingerichtet werden kann, ermöglicht es eine kostengünstige Prüfung »vor der Haustür«. Das Bochumer Verfahren ist damit auf dem Stand der Technik und gleichzeitig weniger aufwändig. Dieses Zusammenspiel ist für die Praxis des Liegenschaftskatasters offenkundig überzeugend. Allein basierend auf Freiwilligkeit sind bislang zehn Prüffelder entstanden. Aus Sicht des Landes ein Erfolg.

Literatur

- Bundesregierung (Bund 2014): Mess- und Eichverordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010, 2011). www.gesetze-im-internet.de/messev.
- Deumlich/Staiger (2002): Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. 9. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 2002.
- FIG (1994): Recommended Procedures for Routine Checks of Electro-Optical Distance Meters. Publication No 9, 1994. www.fig.net/resources/publications/figpub/pub09/FIG-Publication_Nr9_english.pdf, letzter Zugriff: Dezember 2016.
- Innenministerium Nordrhein-Westfalen (IM NRW 1996): Die Bestimmung von Vermessungspunkten der Landesvermessung in Nordrhein-Westfalen (Vermessungspunkterlass). Runderlass vom 12.01.1996. www.katastermodernisierung.nrw.de/broschuerenerlasse.html.

Innenministerium Nordrhein-Westfalen (IM NRW 2000): Richtlinien zur Eichung und Prüfung von EDM-Instrumenten (Eichrichtlinien EDM). Entwurf vom Mai 2000, Düsseldorf. www.katastermodernisierung.nrw.de/broschuerenerlasse.html.

JAG3D (2015): (Java Graticule 3D (JAG3D) ist ein kostenloses Programm – keine Freeware sondern OpenSource – zur Ausgleichung von hybriden, geodätischen Netzen, zur Koordinatentransformation, zur Formanalyse und zur Umformung von Koordinaten). <http://derletztekick.com/software/netzausgleichung>, letzter Zugriff: Dezember 2016.

KIVID (2015): (Kataster- und Ingenieurvermessung im Dialog). www.ib-burg.de/software/kivid, letzter Zugriff: Dezember 2016.

Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (LVermA NRW 1991): Auswertung von Eichmessungen elektrooptischer Distanzmessgeräte mit AED (Version 1990) – Handbuch. Bonn

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. www.katastermodernisierung.nrw.de/runderlasse.html.

Samotta, H. (2013): Erprobung eines 2D-Testfeldes zur Leistungsdiagnose tachymetrischer Messsysteme für hoheitliche Vermessungsaufgaben. Bachelor-Arbeit, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, unveröffentlicht.

Spata, M. (2001): Die Bedeutung der Kalibrierung in der amtlichen Vermessung. In: DVW e.V. (Hrsg.): Qualitätsmanagement in der geodätischen Messtechnik, Schriftenreihe des DVW, Bd. 42/2001.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Rudolf Staiger
Hochschule Bochum – Fachbereich Geodäsie
Lennershofstraße 140, 44801 Bochum
rudolf.staiger@hs-bochum.de

Herbert Albuscheit | Tim Mausbach-Judith
Stadt Bochum, Amt für Geoinformation, Liegenschaften und Kataster
Hans-Böckler-Straße 19, 44777 Bochum
albuscheit@bochum.de | tmausbach-judith@bochum.de

Thomas Gräfrath
Bezirksregierung Arnsberg, Dezernat 31, Katasterwesen
Seibertzstraße 1, 59821 Arnsberg
thomas.graefrath@bezreg-arnsberg.nrw.de

Stephan Heitmann
Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen, Geodätische Grundlagen
Friedrichstraße 62–80, 40217 Düsseldorf
stephan.heitmann@mik.nrw.de

Michael Levin | Gerda Schacknies
Bezirksregierung Köln, Dezernat 71 – Datenstandards, Raumbezug
Muffendorfer Straße 19–21, 53177 Bonn
michael.levin@bezreg-koeln.nrw.de
gerda.schacknies@bezreg-koeln.nrw.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodesie.info.