

# Gewichtsansätze bei der Ausgleichung von altem Katasterzahlenwerk

Markus Rembold

## Zusammenfassung

Aus Gründen der Katastererneuerung wird das Katasterzahlenwerk im einheitlichen geodätischen Raumbezug mittels Ausgleichungsverfahren neu berechnet. Hierfür werden Gewichtsansätze für Messbandstrecken, Geraden, rechte Winkel und Koordinaten abgeleitet, die den Entstehungsgenauigkeiten der jeweiligen Liegenschaftsvermessungen entsprechen.

## Summary

*The cadastral measures and computations in the uniform coordinate system will be calculated again by parameter estimation due to the remarking of the cadastre. Therefore weight formulation for distances, straight lines, right angles and coordinates will be derived that correspond to the origin precision of the particular cadastral surveying.*

**Schlüsselwörter:** Katastererneuerung, Neuberechnung, Gewichte, Varianzkomponentenschätzung

## 1 Einführung

Das nordrhein-westfälische Liegenschaftskataster unterliegt einem grundsätzlichen Aktualisierungs- und Erneuerungsgebot (§ 11 Abs. 1 VermKatG NRW, § 8 Abs. 7 DVOzVermKatG NRW). Dieser gesetzliche Auftrag trägt vor allem dem Umstand Rechnung, dass die bestehenden Nachweise des Liegenschaftskatasters sehr inhomogen sind, was sich – neben einer häufig mangelnden Aktualität der Nutzungsarten- und Gebäudenachweise – insbesondere in einer für die Nutzer nicht ausreichenden geometrischen Qualität der Flurkarte zeigt (Rembold 2017). In der Praxis ist das Ideal der Identität von Zahl (Katasterzahlenwerk) und Karte (digitalisierte Flurkarte) nicht annähernd realisiert (Gomille 2014). Um diese Identität herzustellen wird das nachgeordnete Vermessungspunktfeld (Grenzpunkte, Gebäudepunkte) vor allem durch die Neuberechnung mit vorhandenen Messwerten erneuert, bei der die Koordinaten vornehmlich durch flächenhafte Ausgleichungsverfahren zu ermitteln sind (Nr. 46.1 f. VPerl. 1996).

Für das amtliche Vermessungswesen können die Beobachtungsgewichte aus den Standardabweichungen der Messwerte oder aus Erfahrungswerten sachgemäß abgeleitet werden (Nr. 3.2.3.1 Anlage 5 ErhE). Geeignete Beobachtungsgewichte für die Neuberechnung von altem Katasterzahlenwerk fehlen jedoch bisher. Wie in dem vorliegenden Beitrag für den nordrhein-westfälischen Rechtsraum gezeigt wird, lassen sich diese Gewichte ent-

weder aus den Genauigkeiten früherer Messverfahren oder aus den größten zulässigen Abweichungen, die in den seinerzeitigen Katastervorschriften enthalten waren, ableiten.

Auch wenn der Begriff »Katasterzahlenwerk« (§ 11 Abs. 1 Satz 3 VermKatG NW 1990) im nordrhein-westfälischen Recht keine Verwendung mehr findet und anstelle dessen der (umfassendere) Begriff »Liegenschaftskatasterakten« (§ 8 Abs. 3 DVOzVermKatG NRW) verwendet wird, wird der Begriff »Katasterzahlenwerk« als Oberbegriff für die Ergebnisse von Liegenschaftsvermessungen (Messungszahlen, Feldmaße, Koordinaten) aufgrund seiner Prägnanz für diesen Beitrag bewusst beibehalten.

## 2 Gewichte

### 2.1 Allgemeines

Bei einer Parameterschätzung im Gauß-Markoff-Modell wird die Kovarianzmatrix

$$D(\mathbf{y}) = \sigma^2 \mathbf{P}^{-1}$$

bis auf die Varianz der Gewichtseinheit  $\sigma^2$  als bekannt vorausgesetzt (Koch 2004). Neben den Beobachtungen  $\mathbf{y}$  werden somit die Elemente  $p_{ij}$  der Gewichtsmatrix  $\mathbf{P}$  benötigt. Im Falle voneinander unabhängiger Beobachtungen  $\mathbf{y} = (y_i)$  vereinfacht sich die Kovarianzmatrix  $D(\mathbf{y})$  zu einer Diagonalmatrix und das Gewicht  $p_i$  der  $i$ -ten Beobachtung  $y_i$  ergibt sich zu (Koch 2004)

$$p_{ii} = p_i = \frac{\sigma^2}{\sigma_i^2}.$$

Die Gewichte  $p_i$  sind somit umgekehrt proportional zu den Varianzen  $\sigma_i^2$  der Beobachtungen  $y_i$ . Je kleiner die Varianzen von Zufallsvariablen ausfallen, desto größer sind ihre Gewichte und desto höher ist die Präzision für Zufallsvariablen, die Messungen repräsentieren (Koch 2004). Demzufolge sollten die präziseren Beobachtungen die endgültigen Koordinaten mit einem entsprechend höheren Gewicht beeinflussen und festlegen (Benning 2016).

Wenn Gruppen verschiedener Beobachtungen – wie zum Beispiel EDM-/Messbandstrecken, Richtungen, Koordinaten(differenzen), Geraden oder rechte Winkel – vorliegen, kann durch das Verfahren der Varianzkomponentenschätzung (Koch 2004) die a priori Varianz der

Gewichtseinheit für jede Beobachtungsgruppe überprüft werden. Da sich bei einer Ausgleichung mit festen Anschlusspunkten Beobachtungsfehler und Netzspannungen überlagern, wird in der Regel eine freie Ausgleichung für eine hypothesenfreie Durchführung von Fehlersuche und Varianzkomponentenschätzung eingesetzt (Benning 2011). Bei der Ausgleichung von altem Katasterzahlenwerk sind jedoch freie Ausgleichungen häufig nicht möglich (Kap. 4).

Die a posteriori Standardabweichung der Gewichtseinheit sollte für jede Beobachtungsgruppe in der Nähe von »Eins« liegen, wobei Abweichungen bis zu 40 % für die Schätzung der unbekannten Parameter im Gauß-Markoff-Modell praktisch unbedeutend und damit tolerierbar sind (Benning 2011). Abweichungen darüber hinaus nach unten beziehungsweise nach oben bedeuten, dass die vorgegebene a priori Standardabweichung für die jeweilige Beobachtungsgruppe entweder zu pessimistisch oder zu optimistisch angenommen wurde (Benning 2011). Von dem Instrument der Einzelgewichtsänderung sollte in der Praxis nur in begründeten Ausnahmefällen Gebrauch gemacht werden (Benning und Lehmkuhler 1989).

## 2.2 Vorschriften und Literatur zu Gewichten

Während die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate im amtlichen Vermessungswesen noch um 1876 als entbehrlich angesehen wurde, änderte sich diese Ansicht wenig später, sodass bereits mit den preußischen Anweisungen VIII und IX von 1881 die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate vor allem für die trigonometrische Punktbestimmung verbindlich wurde (Gauß 1922).

Die Anweisung IX von 1881 enthielt infolgedessen an verschiedenen Stellen Gewichtsansätze, so zum Beispiel streckenproportionale Gewichte ( $1/s^2$ ; »Strahlengewichte«) für das Einschneiden mit grafischer Darstellung der Visierstrahlen (Tafel 1, trigonometrisches Formular 12) und Gewichte der Formen  $p$ ,  $\sqrt{p}$  und  $1/p$  (»Längengewichte«; Tafel 3). Letztere ergaben sich mit  $p = 1/D^2$  aus dem höchstens zulässigen Fehler  $D = D(s)$  einer Liniennlänge  $s$  beziehungsweise einer Gesamtstreckenlänge  $s$  eines Polygonzuges. Sie fanden bei der Berechnung der Knotenpunkte von Polygonzügen (trigonometrisches Formular 21) und beim Bogenschnitt von Messungslinien (trigonometrisches Formular 23) Verwendung.

In dem Werk »Die trigonometrischen und polygonometrischen Rechnungen in der Feldmesskunst« von Friedrich Gustav Gauß (1922), das als »halbamtliche Ergänzung« zur Anweisung IX von 1881 angesehen wurde (Pinkwart 1959), sind die Beobachtungsgewichte der vorgenannten Anweisung und ihre Anwendung bei der Berechnung von Höhenfuß-, Schnitt- und Kreuzungspunkten sowie bei der Ausgleichung von Liniennetzen und dem trigonometrischen Einschneiden umfassend beschrieben.

Auch die den Anweisungen von 1881 nachfolgenden Katastervorschriften enthielten verschiedene Gewichtsansätze, so zum Beispiel die Ergänzungsbestimmungen von 1931 (Anlage 40) oder die Vermessungspunktanweisung I von 1958 (Nr. 146, Tafel 12). Im Vermessungspunkt-erlass I von 1974 wurden folgende allgemeine Regelungen getroffen (Nr. 22.2 Abs. 1): »Bei Ausgleichungen sind die Gewichte der verschiedenen Meßdaten zu berücksichtigen. Sie können aus den mittleren Fehlern der Beobachtungen oder entsprechenden Erfahrungswerten abgeleitet werden. Bilden die einzelnen Elemente gleicher Art (z.B. Winkel oder Strecken) geschlossene Systeme, so werden die Gewichte am zutreffendsten aus Vorausgleichungen gewonnen.«

Der Vermessungspunkterlass von 1996 enthielt schließlich für das Polarverfahren umfangreiche Bestimmungen über anzustrebende Standardabweichungen der Messwerte (Nr. 2.31 Anlage 3 VPERl. 1996). Die a posteriori Standardabweichung der Gewichtseinheit einer Beobachtungsgruppe sollte in der Nähe von »Eins« liegen, bei der Bestimmung von Grenz- und Gebäudepunkten waren Werte zwischen 0,6 und 1,4 tolerabel (so auch Nr. 3.2.3.1 Anlage 5 ErhE).

Außerhalb des nordrhein-westfälischen Rechtsraumes sind insbesondere die in den Verwaltungsvorschriften der Länder Baden-Württemberg und Brandenburg enthaltenen Gewichtsangaben zu nennen, die ältere Vermessungen betreffen:

- In Baden-Württemberg erfolgt für den Fall, dass dem neuesten Katasternachweis nicht einwandfreie Vermessungen zugrunde liegen, der Vergleich des Katasternachweises mit der örtlich vorgefundenen Abmarkung durch Transformationsverfahren (5-Parameter-Transformation, Helmert-Transformation) oder durch die sogenannte Komplexausgleichung (Nr. 200 Abs. 5 VwVLV BW). In der Komplexausgleichung ist zur Schätzung der Genauigkeiten der Aufnahmeelemente (Standardabweichungen a priori) von der Genauigkeit der Messgeräte und der Messverfahren zum Zeitpunkt der Entstehung des Katasternachweises auszugehen (Nr. 241 Abs. 3 VwVLV BW). Als zulässige Standardabweichungen a priori werden beispielsweise für Abszissen/Ordinaten 2 cm bis 6 cm angegeben (Anlage 11 VwVLV BW).
- In Brandenburg wird seit dem Jahr 2006 die Geometrieverbesserung der Liegenschaftskarte als vorrangige Daueraufgabe durchgeführt (Kuhnke und Schröder 2007). Für das dort angewendete Verfahren sind Beobachtungsgewichte für Strecken publiziert worden (Nr. 14 Anlage 3 Prioritätenerlass III). Für eine bis 1881/1896 gemessene 50-m-Strecke wird beispielsweise eine Standardabweichung von 10 cm, für eine bis 1945 gemessene 50-m-Strecke eine Standardabweichung von 5 cm angegeben.

In der Literatur hingegen sind Gewichtsansätze, die bei einer Neuberechnung von altem Katasterzahlenwerk mittels Verfahren der Ausgleichungsrechnung angewendet werden können, nur vereinzelt veröffentlicht worden:

- Die Bezirksregierung Köln vertritt die Auffassung, dass »für die Berechnung von Koordinaten zum Aufsuchen von Vermarkungen in der Örtlichkeit keine ausgefeilte Gewichtung notwendig« ist, jedoch darauf Augenmerk gelegt werden sollte, dass »eine ›altersgerechte‹ Gewichtung der Beobachtungen untereinander gewährleistet ist ...« (Bezirksregierung Köln 2014).
- Helble (1981) benennt Gewichte für die in Baden-Württemberg zur rechnerischen Grenzfeststellung eingesetzte 5-Parameter-Transformation.
- Die Veröffentlichungen von Boljen enthalten aus schleswig-holsteinischer Sicht altersabhängige Beobachtungsgewichte; bezogen auf eine 50-m-Strecke wird für Vermessungen vor 1920 eine Standardabweichung von 0,10 m, für Vermessungen zwischen 1921 und 1949 eine Standardabweichung von 0,05 m und für Vermessungen ab 1950 eine Standardabweichung von 0,025 m angegeben (Boljen 1990, 2010).

### 3 Gewichtsansätze für die Erneuerung des Liegenschaftskatasters

#### 3.1 Gewichtsmodellierung in WinKafka®

Im Programm WinKafka® wird jeder Beobachtung eine Genauigkeitsangabe zugeordnet, wobei die Einzelgewichtung einer Beobachtung durch die Auswahl einer entsprechenden Genauigkeitsangabe realisiert wird (Benning 2016). Dabei sind hier als Beobachtungen insbesondere

- Messbandstrecken (Kap. 3.2),
- örtliche Koordinaten (Kap. 3.3),
- Linienmaßstäbe (Kap. 3.4),
- Geraden (Kap. 3.5) und
- rechte Winkel (Kap. 3.6)

von Interesse.

Bei den Genauigkeitsangaben von Messbandstrecken, Geraden und rechten Winkeln werden grundsätzlich zwei Arten unterschieden, nämlich die Basisgenauigkeit und die abgeleitete Genauigkeit einer Beobachtung (Benning 2016). Bei einer Basisgenauigkeit wird die Standardabweichung einer Beobachtung festgelegt, das individuelle Gewicht hat immer den Wert 1 (Benning 2016). Bei einer abgeleiteten Genauigkeit kann hingegen nur das individuelle Gewicht angesetzt werden; die endgültige Genauigkeitsangabe einer Beobachtung berechnet sich in WinKafka® aus dem Quotienten der Basisgenauigkeit  $\sigma$  und der Wurzel des individuellen Gewichts  $p$  (Benning 2016). Für Geraden und rechte Winkel können auch mehrere Basisgenauigkeiten festgelegt werden.

#### 3.2 Messbandstrecken

Der Basisgenauigkeit für Messbandstrecken liegt in WinKafka® die Fehlerformel

$$D = a\sqrt{s} + bs + c, \quad a, b, c = \text{const.}, s = \text{gemessene Strecke}$$

zugrunde (Benning 2016). Dies entspricht den Fehlerformeln, die – für Neuvermessungen in Preußen ab 1931 und für Fortschreibungsvermessungen in Nordrhein-Westfalen ab 1955 – den größten zulässigen Abweichungen  $D$  für Streckenvergleiche innerhalb derselben Vermessung zugrunde gelegt wurden. In Abhängigkeit von den jeweiligen Geländeklassen (günstige, mittlere, ungünstige Verhältnisse) waren in den Vorschriften unterschiedliche Koeffizienten  $a$ ,  $b$  und  $c$  angegeben. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die  $D$ -Werte keine Standardabweichungen, sondern größte zulässige Abweichungen (Grenzwerte, Maximalfehler) darstellen. Den  $D$ -Werten lag dabei die vierfache Standardabweichung bezogen auf die Standardabweichung einer Strecke zugrunde (Rembold 2015).

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird durchgängig die Geländeklasse II (mittlere Verhältnisse) zugrunde gelegt. Auf eine gesonderte Differenzierung der Gewichtsansätze nach Geländeverhältnissen kann verzichtet werden, da sich die  $D$ -Werte von Geländeklasse I (günstige Verhältnisse) zu Geländeklasse II nur um den Faktor  $\sqrt{1,5} \approx 1,2$  und von Geländeklasse II zu Geländeklasse III (ungünstige Verhältnisse) nur um den Faktor  $2/\sqrt{3} \approx 1,2$  unterscheiden (Rembold 2012).

Für Neuvermessungen in Preußen ab 1931 und für Fortschreibungsvermessungen in Nordrhein-Westfalen ab 1955 galt für die Geländeklasse II

$$D_{1931/1955} = 0,010\sqrt{s} + 0,0004s + 0,05.$$

Wegen  $D = 4\sigma$  ergibt sich als Standardabweichung

$$\sigma_B = 0,0025\sqrt{s} + 0,0001s + 0,0125,$$

welche als Basisgenauigkeit in WinKafka® gewählt wird (individuelles Gewicht  $p_B = 1$ ).

Mit dem Vermessungspunkterlass I von 1974 wurde eine Differenzierung der  $D$ -Werte nach Geländeklassen aufgegeben und nur die bisherige, für die Geländeklasse I (günstige Verhältnisse) geltende Fehlerformel beibehalten. Aufgrund der geringen Unterschiede der  $D$ -Werte zwischen den einzelnen Geländeverhältnissen kann die Basisgenauigkeit  $\sigma_B$  auch Vermessungen zugrunde gelegt werden, die auf der Grundlage des Vermessungspunkterlasses I von 1974 (bis 1995) durchgeführt worden sind.

Für Neuvermessungen in Preußen ab 1881 und für Fortschreibungsvermessungen in Preußen ab 1896 galt für die Geländeklasse II

$$D_{1881/1896} = 0,01\sqrt{6s + 0,075s^2}.$$

Die größten zulässigen Abweichungen  $D_{1881/1896}$  müssen zunächst auf die  $D_{1931/1955}$ -Werte zurückgeführt werden; es gilt (Rembold 2015):

$$D_{1881/1896} \approx 1,5 D_{1931/1955}.$$

Dann ergibt sich die zu  $D_{1881/1896}$  zugehörige Standardabweichung  $\sigma_{alt}$  zu

$$\sigma_{alt} \approx 1,5 \sigma_B = \frac{\sigma_B}{\sqrt{p_{alt}}},$$

sodass das individuelle Gewicht zu  $p_{alt} = 4/9$  erhalten wird. Für eine 100-m-Strecke ergibt sich beispielsweise  $\sigma_{alt}$  zu 0,07 m; dies entspricht sehr gut den bei Gauß (1922) anhand unterschiedlicher praktischer Fälle berechneten Werten.

Für die Vermessungen, die auf der Grundlage des Vermessungspunkterlasses von 1996 durchgeführt wurden, galt (Nr. 3.22 Anlage 3 VP Erl. 1996):

$$D_{1996} = 0,04 \text{ m.}$$

Den im Vermessungspunkterlass von 1996 geregelten größten zulässigen Abweichungen lag durchweg die zweifache Standardabweichung bezogen auf die Standardabweichung einer Strecke zugrunde ( $D = 2\sigma$ ; Nr. 1.2 Anlage 3 VP Erl. 1996). Für die zu den  $D_{1996}$ -Werten zugehörige Standardabweichung  $\sigma_{neu}$  gilt somit  $\sigma_{neu} = 0,02 \text{ m}$ . Für Strecken  $< 100 \text{ m}$  kann  $\sigma_{neu}$  näherungsweise auf die Basisgenauigkeit  $\sigma_B$  mit

$$\sigma_{neu} \approx 0,5 \sigma_B = \frac{\sigma_B}{\sqrt{p_{neu}}}$$

zurückgeführt werden. Das individuelle Gewicht ergibt sich dann zu  $p_{neu} = 4$ .

Zusammengefasst ergeben sich damit für die Messbandstrecken die in der Tab. 1 dargestellten Beobachtungsgewichte.

Tab. 1: Gewichtsansätze für Messbandstrecken

Art/Jahr der Vermessung	Basisgenauigkeit	Individuelles Gewicht	Abgeleitete Genauigkeit
Fortführungsvermessungen 1896–1954 Neuvermessungen 1881–1930	$\sigma_B = 0,0025\sqrt{s} + 0,0001s + 0,0125$	$p_{alt} = 4/9$	$\frac{3}{2} \sigma_B$
Fortführungsvermessungen 1955–1995 Neuvermessungen 1931–1995		$p_B = 1$	$\sigma_B$
Fortführungsvermessungen ab 1996 Neuvermessungen ab 1996		$p_{neu} = 4$	$\frac{1}{2} \sigma_B$

### 3.3 Koordinaten

Im Programm WinKafka® können Koordinaten mittels der Menüs »Anschlusspunkte« oder »Transformationen« der Ausgleichung zugeführt werden. Für dynamische Ausgleichungen können für jeden Anschlusspunkt individuelle (punktbezogene) Standardabweichungen  $\sigma_P$  eingegeben werden. Unter »Transformationen« können beispielsweise direkte (GNSS-)Koordinatenbeobachtungen oder örtliche Koordinaten (mittels 3-/4-/5- oder 6-Parameter-Transformation) in der Ausgleichung berücksichtigt werden. Bei diesen »Transformationen« werden für alle Vermessungspunkte eines Transformationsblockes zwei Standardabweichungen (Globalgenauigkeit und Nachbarschaftsgenauigkeit) eingegeben; die koordinatenbezogene Globalgenauigkeit  $\sigma_{x,y}$  ( $\sigma_x = \sigma_y$ ) wird für die Transformationsbeobachtung, die Nachbarschaftsgenauigkeit  $\sigma_N$  für die Restklaffenverteilung verwendet (Benning 2011). Aus fachlicher Sicht sollte die Nachbarschaftsgenauigkeit kleiner als die Globalgenauigkeit sein, wobei aufgrund empirischer Untersuchungen

$$0,5 \cdot \sigma_P < \sigma_N < 1,0 \cdot \sigma_P \quad \text{mit } \sigma_P = \sqrt{2} \sigma_{x,y}$$

empfohlen wird (Benning 1998, 2016). Bei den Verfahren zur Katastererneuerung im Ennepe-Ruhr-Kreis wird aufgrund praktischer Erfahrungen die Nachbarschaftsgenauigkeit halb so groß wie die Globalgenauigkeit gewählt.

Im Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS®) wird für jeden Vermessungspunkt eine Genauigkeitsstufe (GST) je Koordinatenstatus geführt. So entspricht beispielsweise der GST-Wert 2100 einer Standardabweichung  $\leq 0,03 \text{ m}$  (Koordinatenkataster), der GST-Wert 2300 einer Standardabweichung  $\leq 0,10 \text{ m}$  (ältere Polaraufnahmen, berechnete Koordinaten). Die im ALKIS®-Objektartenkatalog NRW Grunddatenbestand (LiegKatErl., Anhang, Anlage Nr. 3.03) definierten GST-Werte bezeichnen durchweg »zum Punktort gehörige mittlere Punktfehler« ( $\sigma_P$ ). Die GST-Werte können somit –

sachgerechte Festsetzung vorausgesetzt – direkt als Standardabweichungen für die dynamischen Anschlusspunkte verwendet werden.

Für Koordinaten, die älteren Koordinatenreferenzsystemen (vorläufige und endgültige preußische Katastersysteme, preußische Landesaufnahme) im nordrhein-westfälischen Rechtsraum entstammen,

können Genauigkeitsangaben der Literatur entnommen werden. So sind die Triangulationen in Nordrhein-West-



falen des 19. und 20. Jahrhunderts von Schmidt (1960) umfassend dargestellt und unter anderem auch mittlere Punktfehler der einzelnen Triangulationen veröffentlicht worden.

Bei den in früheren Vorschriften enthaltenen (lokalen mittleren) Koordinatenfehlern – so zum Beispiel für die preußische Landesaufnahme 0,07 m (Nr. 4.3 TPERl. 1983) oder 0,10 m (Nr. 23 Abs. 4 FP-Erl. 1940) – ist zu beachten, dass es sich um maximal erlaubte Fehler handelte, die von der preußischen Landesaufnahme teilweise nicht eingehalten (Schmidt 1970), bei Kleintriangulationen hingegen deutlich unterschritten wurden (Schroeder o.J.).

In den Anlagen zu Fortführungsrisen sind oftmals örtliche Koordinaten der Vermessungspunkte nachgewiesen, die zur »scharfen« Flächenberechnung und zur Sicherstellung der »inneren Schärfe« der Vermessung berechnet wurden (Gauß 1922). Auch diese örtlichen Koordinaten können als Transformationsblock (4-Parameter-Transformation) in die Ausgleichung eingeführt werden. Die Globalgenauigkeit lässt sich aus den in Tab. 1 angegebenen Genauigkeiten für Messbandstrecken ableiten. Für ein beispielsweise im Jahr 1960 gemessenes örtliches System der Größe 200 m mal 200 m ergibt sich die Genauigkeit einer 200-m-Messbandstrecke zu 0,07 m. Die Globalgenauigkeit des örtlichen Systems ist dann  $\sigma_x = \sigma_y = 0,07$  m beziehungsweise  $\sigma_p = 0,10$  m, die Nachbarschaftsgenauigkeit entsprechend 0,05 m.

### 3.4 Linienmaßstäbe

Beim Linienmaßstab (Einheit [m/100 m]) ist in WinKafka® nur die Eingabe einer (einzigen) Standardabweichung möglich; diese Standardabweichung gilt dann für alle Linienmaßstäbe eines Verfahrens (Benning 2016). Da der Linienmaßstab für die lineare Fehlerverteilung innerhalb einer Messungslinie zuständig ist, sollte er unter Berücksichtigung des auszugleichenden Katasterzahlenwerkes und des Prinzips der Nachbarschaft nicht zu klein bemessen werden. Bei den Verfahren zur Katastererneuerung im Ennepe-Ruhr-Kreis wird aufgrund praktischer Erfahrungen eine Standardabweichung von 0,3 bis 0,4 [m/100 m] gewählt.

### 3.5 Geraden

Im Gegensatz zu den größten zulässigen Abweichungen bei Streckenvergleichen sind die größten zulässigen Abweichungen bei geometrischen Bedingungen – insbesondere Geradenbedingungen – im nordrhein-westfälischen Rechtsraum erst mit dem Vermessungspunkterlass I von 1974 (nach dessen Änderung im Jahr 1977) im Zusammenhang mit dem Polarverfahren festgesetzt worden. Für den davor liegenden Zeitraum waren gesonderte

Regelungen für größte zulässige Abweichungen bei Geradenbedingungen entbehrlich, da in der Regel visuell gefluchtet wurde und die dabei entstehenden Fehler der Eigenart dieses »analogen« Messverfahrens zugerechnet wurden. So war zum Beispiel nach Nr. 42 der Ergänzungsvorschriften von 1913 das »frühere unvollkommene Messungsverfahren zu berücksichtigen«; es musste damit gerechnet werden, »daß die Messungslinien in unübersichtlichem Gelände möglicherweise nicht gerade werden ausgerichtet worden sein«.

Nach Nr. 52.5 VPERl. I 1974/1977 waren bei »Abweichungen aus der Geraden von mehr als 0,05 m« die Vermessungsergebnisse im Allgemeinen örtlich zu überprüfen. Der Vermessungspunkterlass von 1996 reduzierte diesen Wert auf 0,04 m (Nr. 3.4 Anlage 3; so auch Nr. 2.2.2 Anlage 5 ErhE). Da der Erhebungserlass den größten zulässigen Abweichungen eine Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % ( $2\sigma$ ) zugrunde legt (Nr. 3.1.2 Anlage 5 ErhE), kann für direkt oder indirekt mittels Polarverfahren bestimmte Geraden (ehemals Verfahren nach Nr. 41.2 VPERl. 1996) eine a priori Standardabweichung von 0,02 m in Ansatz gebracht werden.

Für visuelle Fluchtungen und die dabei angewendeten Verfahren (Einfluchten, Rückwärtsverlängerung, gegenseitiges Einweisen, Einbinden, paralleles Absetzen) sind die vorgenannten größten zulässigen Abweichungen bei Geradenbedingungen von 0,05 m (VPERl. I 1974/1977) und 0,04 m (VPERl. 1996, ErhE) zu eng gefasst (Rembold 2012). Die in der Literatur angegebenen Genauigkeiten für das visuelle Fluchten gehen häufig von eher optimistischen Bedingungen wie ebenes Gelände, gute Sichtverhältnisse und Fluchten auf die Stabfußpunkte aus. Unter diesen Voraussetzungen geben beispielsweise Weitbrecht (1910) »mit guten Beobachtern« einen mittleren Zielfehler von 10'' (0,5 cm/100 m) und Hammer (1911) einen Wert von 1 cm/100 m an, innerhalb dessen jeder Stab »an seinen richtigen Ort« gebracht werden kann. Nach Kahmen (1997) gelingt es bei sorgfältiger Arbeit, in ebenem Gelände die Zwischenpunkte auf 2 bis 3 Stabdicken in die Gerade zu bringen. Der Durchmesser eines Fluchtstabes beträgt 28 mm (DIN 18705). Eine dreifache Stabdicke ( $2\sigma$ ) entspricht dann einer Fluchtungsgenauigkeit ( $1\sigma$ ) von etwa 0,04 m. Aus den bei Rembold (2012) abgeleiteten größten zulässigen Abweichungen bei Geradenbedingungen ( $d = 0,10$  m,  $4\sigma$ , Geländeklasse II) ergeben sich Fluchtungsgenauigkeiten ( $1\sigma$ ) von gerundet 0,03 m.

Auf der Grundlage der vorgenannten Literaturwerte ergibt sich, dass im Regelfall für visuelle Fluchtungen eine a priori Standardabweichung von 0,04 m gewählt werden kann. Bei schwierigen Geländeverhältnissen, längeren Geraden (>100 m) oder Hinweisen aus den Liegenschaftskatasterakten auf indirekte Fluchtungsverfahren (paralleles Absetzen, Fluchten mittels Hilfslinie) können erfahrungsgemäß eher 0,06 m in Ansatz gebracht werden. In Tab. 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

### 3.6 Rechte Winkel, Lotfußpunkte

Bei dem im Liegenschaftskataster seit seinen Anfängen angewendeten Orthogonalverfahren sind die Grenz- und Gebäudepunkte mit teilweise langen Ordinaten auf Messungslinien aufgewinkelt worden, was sich in unsicheren Lotfußpunkten und damit in fehlerbehafteten Abszissen der Grenz- und Gebäudepunkte niederschlug. Je länger die Ordinaten sind und je näher sie beieinander liegen, umso unzuverlässiger ist die Art der Aufnahme (Wimmer 1928). Die Unsicherheit eines Lotfußpunktes in Abszissenrichtung lässt sich aus der Genauigkeit der eingesetzten Instrumente zum Messen rechter Winkel ableiten. Anfänglich kamen hierfür Diopterinstrumente (Winkelkreuz, Winkelkopf, Kreuzscheibe), später Spiegelinstrumente (Winkelspiegel, Spiegelkreuz) und Prismeninstrumente (Pentagonprisma, Wollastonprisma, Kreuzvisier), schließlich im Zusammenhang mit dem Polarverfahren auch Theodolite und Tachymeter zum Einsatz. Anhand der Liegenschaftskatasterakten kann – mit Ausnahme des Verfahrens nach Nr. 41.2 VPErl. 1996 (»Point-to-line«) – nicht beurteilt werden, mit welchen Instrumenten die rechten Winkel bestimmt worden sind.

Für direkt oder indirekt mittels Polarverfahren bestimmte rechte Winkel (ehemals Verfahren nach Nr. 41.2 VPErl. 1996) kann – analog zu den Ausführungen in Kap. 3.5 – eine a priori Standardabweichung von 0,02 m angesetzt werden.

Für die vorgenannten Diopterinstrumente beträgt die Genauigkeit des Absteckens (mittlerer Zielfehler) »bei gutem Auge und Übung« durchschnittlich 1', bei schwierigen Verhältnissen (Abhänge, schlechte Beleuchtung, ...) auch bis 5' (Kneissl 1963). Bezogen auf eine 20-m-Ordinate entspricht dies 0,01 m bis 0,03 m.

Für die vorgenannten Spiegel- und Prismeninstrumente liegen umfangreiche Genauigkeitsuntersuchungen aus dem Zeitraum von 1886 bis 1926 vor, deren Ergebnisse von Lüdemann (1927) zusammenfassend dargestellt sind. Hiernach liegen die mittleren unregelmäßigen Fehler einer Zielung in der Größenordnung von 1' bis 2'. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass »auch bei genügender Übung, für die rasch zu erledigende Durchschnittsmessung« mit einem Fehler von 3' auch in ebenem Gelände gerechnet werden muss (Lüdemann 1927 mit Bezug auf Hammer 1911). Neben dem Zielfehler sind bei den Prismeninstrumenten noch Schliff- und Zentrierfehler zu berücksichtigen. Der Schlifffehler wird in der Literatur mit kleiner 1' (2 cgon), der Zentrierfehler mit 0,01 m bis 0,02 m angegeben (Kneissl 1963, Kahmen 1997). Für eine 30-m-Ordinate ergibt sich damit eine Standardabweichung von etwa 0,02 m bis 0,03 m.

Eine weitere Abschätzung der Genauigkeit der rechten Winkel beim Orthogonalverfahren lässt sich aus den preußischen Katasteranweisungen ableiten. Ab 1881 war »ein zur Absteckung rechter Winkel dienendes Instrument« erst ab einer Ordinatenlänge über 5 m zu verwenden (§81 Nr. 1 Anweisung VIII 1881, §14 Nr. 6 Anwei-

sung II 1896). Wird eine Genauigkeit von 1° zugrunde gelegt, mit der ein rechter Winkel mit bloßem Auge »gemessen« werden kann (Hammer 1911), so ergibt sich eine Standardabweichung des rechten Winkels von 0,09 m (bezogen auf eine 5-m-Ordinate).

Zudem waren die rechten Winkel erst ab einer Ordinatenlänge über 40 m durch eine »Hypotenusenmessung oder in sonst geeigneter Weise« zu kontrollieren (§81 Nr. 2 Anweisung VIII 1881, §14 Nr. 6 Anweisung II 1896). Die Kathetenlänge auf der Abszissenachse sollte annähernd so groß sein wie die Ordinatenlänge (§81 Nr. 2 Anweisung VIII 1881, allerdings erst ab der 2. Auflage von 1897; §14 Nr. 6 Anweisung II 1896). Für eine beispielsweise 40 m lange Kathete war die größte zulässige Abweichung  $D = 0,16$  m einzuhalten (Tafel 2 Anweisung VIII 1881, Tafel 1 Anweisung II 1896; Geländeklasse II; 4o). Daraus ergibt sich – als indirektes Maß für die Genauigkeit des rechten Winkels – eine Standardabweichung der Kathetenlänge auf der Abszissenachse von 0,04 m.

Auf der Grundlage der vorgenannten Überlegungen ergibt sich, dass im Regelfall für rechte Winkel folgende a priori Standardabweichungen gewählt werden können (siehe auch Tab. 2):

- für direkt oder indirekt mittels Polarverfahren bestimmte rechte Winkel: 0,02 m,
- für Ordinaten bis etwa 40 m Länge oder günstige Verhältnisse: 0,04 m,
- für Ordinaten deutlich über 40 m Länge oder ungünstige Verhältnisse: 0,06 m.

Tab. 2: Gewichtsansätze für Geraden und rechte Winkel

	Günstige Verhältnisse	Ungünstige Verhältnisse
Geraden (visuelle Fluchtung)	0,04 m	0,06 m
Rechte Winkel (Spiegel-/Prismeninstrumente)		
Geraden, rechte Winkel (direkt/indirekt mittels Polarverfahren)	0,02 m	

Die in Tab. 2 dargestellten Gewichtsansätze verfolgen nicht das Ziel, die Koordinaten von Vermessungspunkten streng in ihre geometrischen Bedingungen (Geraden, rechte Winkel) einzurechnen, sondern die tatsächliche Genauigkeit der seinerzeitigen Messverfahren abzubilden. Eine durch höhere Gewichtung der Geraden und rechten Winkel zu bezweckende Einrechnung müsste gegebenenfalls mit einer niedrigeren Gewichtung der Messbandstrecken (Abszissen, Ordinaten) einhergehen, da die Durchfluchtung in die gleiche Richtung wie die Ordinatenmessung und die Lotfußpunktbestimmung in die gleiche Richtung wie die Abszissenmessung wirkt.

### 3.7 Grenzwert für die normierte Verbesserung

Im Programm WinKafka® ist zur Identifizierung grober Fehler neben robusten Verfahren (M-Schätzung nach Huber, L1-Norm-Schätzung) das Data snooping nach Baarda implementiert, bei dem normierte Verbesserungen mittels standardisierter Residuen berechnet und mit einem kritischen Wert  $k$  (Grenzwert für die normierte Verbesserung) verglichen werden (Benning 2016).

Während seit dem Vermessungspunkterlass von 1996 unter Zugrundelegung der Normalverteilung die größte zulässige Abweichung durch das Doppelte der vorgegebenen Standardabweichung (Sicherheitswahrscheinlichkeit 95 %,  $k = 2$ ) festgesetzt ist (Nr. 1.2 Abs. 2 Anlage 3 VPERl. 1996; Nr. 3.1.2 Anlage 5 ErhE), lag den preußischen und nordrhein-westfälischen Anweisungen und Erlassen (bis 1996) bei Streckenmessungen die vierfache Standardabweichung (Sicherheitswahrscheinlichkeit 99,994 %,  $k = 4$ ) zugrunde (Rembold 2015).

Der kritische Wert kann für ein Ausgleichungsprojekt in WinKafka® nur einmal vergeben werden. Wird  $k = 2$  gewählt, so werden in den aus vor 1996 stammenden Beobachtungen zu viele Fehler identifiziert. Wird hingegen  $k = 4$  gewählt, werden in den nach 1996 stammenden Beobachtungen zu wenige Fehler identifiziert. Die Wahl von  $k = 4$  wird in der Regel zu vertreten sein, da

- bei den Verfahren zur Katastererneuerung im Ennepe-Ruhr-Kreis die meisten Beobachtungen aus dem Zeitraum vor 1996 stammen,
- für die Beobachtungen aus dem Zeitraum nach 1996 häufig schon Koordinaten berechnet worden sind, die als Anschlusspunktkoordinaten in die (dynamische oder feste) Ausgleichung eingehen, und
- letztlich – für den Fall, dass ein Fehler unentdeckt bleibt – die Neupunktkoordinaten aus der Ausgleichung aus rechtlichen Gründen (Rembold 2017) lediglich mit der Genauigkeitsstufe 2300 (Standardabweichung  $\leq 10$  cm) festgesetzt werden.

## 4 Ergebnisse

Die vorstehenden Gewichtsansätze wurden bei zahlreichen Verfahren zur Katastererneuerung im Ennepe-Ruhr-Kreis getestet. Grundsätzliche Probleme ergaben sich hierbei weniger bezüglich der abgeleiteten Gewichtsansätze als vielmehr bezüglich der eigentlichen Ausgleichung (Konfigurationsdefekte, geringe Zuverlässigkeit).

Tab. 3: Ergebnisse der Varianzkomponentenschätzung

Beobachtungstyp	Gewichtsansatz	$n$	$\sum r$	$\hat{\sigma}_{\text{einzel}}$	$\hat{\sigma}_{\text{Gruppe}}$
Messbandstrecken	1896–1954	260	68,0	0,7	0,8
	1955–1995	807	230,7	0,8	
	ab 1996	20	3,4	n. b.	
Rechte Winkel	Ungünstige Verhältnisse	75	19,3	0,6	0,6
	Günstige Verhältnisse	113	48,4	0,6	
	Polarverfahren	53	8,6	n. b.	
Geraden	Ungünstige Verhältnisse	29	6,7	0,4	1,0
	Günstige Verhältnisse	323	122,8	1,1	
	Polarverfahren	70	12,4	n. b.	
$n$	Anzahl der Beobachtungen				
$\sum r$	Summe der Teilredundanzen				
n. b.	nicht berechnet, da $\sum r/n < 0,2$ (Benning 2016)				
$\hat{\sigma}_{\text{einzel/Gruppe}}$	a posteriori Standardabweichung der Gewichtseinheit für den einzelnen Gewichtsansatz beziehungsweise für die Beobachtungsgruppe				

Im Gegensatz zur Ausgleichung von trigonometrischen (Richtungs- und Strecken-)Netzen zeigten sich bei der freien Ausgleichung von altem Katasterzahlenwerk erwartungsgemäß Konfigurationsdefekte. Sie können zum Beispiel dadurch entstehen, dass einzelne Anschlusspunkte unterbestimmt sind (Benning 1985). Die Konfigurationsdefekte sind alleine den früher im Liegenschaftskataster eingesetzten Messmethoden (Linien-/Einbindeverfahren, Orthogonalverfahren) geschuldet. Sie konnten entweder durch die Einführung fingierter, abgewichteter Ersatzbeobachtungen (Konditionsverbesserung, Benning 1985), durch eine kontrollierte Deaktivierung von Einzelbeobachtungen oder durch eine dynamische Ausgleichung mit stark abgewichteten Anschlusspunktkoordinaten behoben werden.

Wie zu erwarten war, wies die Ausgleichung von altem Katasterzahlenwerk im Vergleich zu trigonometrischen Netzen geringere Zuverlässigkeitsmaße auf. Da wirksame Sicherungsmaße im preußischen Kataster erst ab 1913 eingeführt worden sind, ergab sich eine schwache Kontrolliertheit insbesondere bei den Lotfuß- und Linienpunkten (rechte Winkel, Geradlinigkeit).

Nachfolgend werden die mit den abgeleiteten Gewichtsansätzen erzielten Ergebnisse beispielhaft anhand des Katastererneuerungsverfahrens »Sandlöken« (Stadt Sprockhövel, Gemarkung Haßlinghausen, Flur 3)

beschrieben. Das Gebiet umfasst eine Fläche von 8 ha, die im Wesentlichen landwirtschaftlich und von einer kleineren Ortslage geprägt ist. Die Urvermessung wurde dort in den Jahren 1824/1825 zur Aufstellung des rheinisch-westfälischen Grundsteuerkatasters durchgeführt (Inselkarten, Maßstab 1:2500).

Neuvermessungen fanden in dem betreffenden Bereich bis heute nicht statt. Das Katasterzahlenwerk beruht auf 12 Fortführungsrisen aus dem Zeitraum von 1896 bis 1954, 14 Fortführungsrisen (Zeitraum 1955–1995) und 3 Fortführungsrisen (Zeitraum nach 1996). Daraus wurden insgesamt 1087 Messbandmaße, 241 rechte Winkel und 422 Geradlinigkeiten erfasst und mit dem Programm WinKafka® ausgeglichen. Berechnet wurden 229 Grenz- und Gebäudepunkte. Der Anschluss an den einheitlichen geodätischen Raumbezug (ETRS89\_UTM32) erfolgte über 37 Anschlusspunkte mit GST-Werten von 2100 beziehungsweise 2300 (Standardabweichung  $\leq 0,03$  m beziehungsweise 0,10 m). Teilweise wurden diese Punkte im Zuge des Katastererneuerungsverfahrens mittels Liegenschaftsvermessungen (§ 12 Satz 2 Nr. 1 VermKatG NRW, »Koordinierung von Grundstücksgrenzen«) im ETRS89\_UTM32 bestimmt.

Die Varianzkomponentenschätzung aus der freien Ausgleichung bestätigte im Wesentlichen die gewählten Gewichtsansätze (Tab. 3). Das Programm WinKafka® berechnet sowohl die a posteriori Standardabweichungen der Gewichtseinheit für jeden einzelnen Gewichtsansatz ( $\hat{\sigma}_{\text{einzel}}$ ) als auch – durch gewichtete Mittelung – die a posteriori Standardabweichungen der Gewichtseinheit für jede Beobachtungsgruppe (Messbandstrecken, rechte Winkel, Geraden;  $\hat{\sigma}_{\text{Gruppe}}$ ).

Im Anschluss an die Neuberechnung des Katasterzahlenwerks wurden die verbleibenden grafischen Vermessungspunkte an die neu bestimmte, lagerichtige Geometrie der ausgeglichenen Koordinaten unter Berücksichtigung des Prinzips der Nachbarschaft und unter gleichzeitigem Erhalt der geometrischen Bedingungen angepasst (Homogenisierung). Der maximale Lagefehler der Flurkarte betrug im vorliegenden Fall 5,5 m.

## 5 Zusammenfassung

Zwischen dem Katasterzahlenwerk und den digitalisierten Flurkarten bestehen nach wie vor erhebliche Genauigkeitsunterschiede. In Nordrhein-Westfalen liegen 41 % des Grenznachweises nur in der Qualitätsstufe »geringe Genauigkeit« (Genauigkeitsstufe 3300, Standardabweichung  $\leq 500$  cm; Jahresbericht der Katasterbehörden 2016) vor. Um eine Identität von Katasterzahlenwerk und digitalisierten Flurkarten herzustellen, wird das nachgeordnete Vermessungspunktfeld (Grenzpunkte, Gebäudepunkte) durch die Neuberechnung mit vorhandenen Messwerten mittels flächenhafter Ausgleichung erneuert. Hierzu sind für den nordrhein-westfälischen Rechtsraum

Gewichtsansätze für Messbandstrecken, Geraden, rechte Winkel und Koordinaten abgeleitet worden, die den Entstehungsgenauigkeiten der jeweiligen Liegenschaftsvermessungen entsprechen. Es wurde Wert darauf gelegt, dass die Gewichtsansätze bei der Messwerterfassung nach einfachen Kriterien (Zeitpunkt der Vermessung, Geländebeziehungen) zu vergeben sind. Die abgeleiteten Gewichtsansätze wurden bei zahlreichen Verfahren zur Katastererneuerung im Ennepe-Ruhr-Kreis durch die Varianzkomponentenschätzung bestätigt.

Die Gewichtsansätze für Geraden und rechte Winkel lassen sich problemlos auch auf andere Bundesländer übertragen. Gleiches gilt auch für die Gewichtsansätze der Messbandstrecken, da sich die nordrhein-westfälischen Fehlerformeln im Wesentlichen auf Vorschläge des Beirats für das Vermessungswesen aus dem Jahr 1929 stützen (Rembold 2015), die auch in anderen Bundesländern Eingang gefunden haben. Auch wenn im vorliegenden Beitrag die Ansätze anhand des Programms WinKafka® beschrieben wurden, ist dadurch ihre Anwendung bei anderen Standardausgleichungsprogrammen (zum Beispiel Panda oder Sysra) nicht ausgeschlossen.

## Literatur

- Benning, W. (1985): Ein Vergleich Helmert-transformierter Koordinaten mit den Ergebnissen einer strengen Ausgleichung. In: zfv – Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 11/1985, 110. Jg., S. 502–512.
- Benning, W. (1998): Netzausgleichungen und/oder Transformationen. Verfahren für die praktische Anwendung. In: BDVI-Forum, Heft 1/1998, 24. Jg., S. 283–299.
- Benning, W. (2011): Statistik in Geodäsie, Geoinformation und Bauwesen. 4. Auflage, Berlin.
- Benning, W. (2016): Programmsystem Kafka, Komplexe Analyse flächenhafter Kataster-Aufnahmen, Handbuch zur Windows-Version 7.6.0. Aachen.
- Benning, W., Lehmkuhler, H. (1989): Auswirkungen von Einzelgewichtsänderungen, verdeutlicht am Beispiel einer Katasterausgleichung. In: AVN – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heft 4/1989, 96. Jg., S. 155–161.
- Bezirksregierung Köln (Hrsg.) (2014): Ausgleichung im Liegenschaftskataster, Integration der Ausgleichungsrechnung in die Arbeitsabläufe des Liegenschaftskatasters: ein Handbuch. Köln.
- Boljen, J. (1990): Aufbau des Koordinatenkatasters durch die Einrechnung vorhandener Unterlagen. In: zfv – Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 4/1990, 115. Jg., S. 137–145.
- Boljen, J. (2010): Der analysierte Zahlennachweis als Grundlage des Koordinatenkatasters. In: AVN – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heft 11–12/2010, 117. Jg., S. 378–386.
- Gauß, F.G. (1922): Die trigonometrischen und polygonometrischen Rechnungen in der Feldmesskunst. 4. Auflage, Stuttgart.
- Gomille, U. (2014): Niedersächsisches Vermessungsgesetz, Kommentar. 2. Auflage, Wiesbaden.
- Hammer, E. (1911): Lehrbuch der elementaren praktischen Geometrie (Vermessungskunde), Band I. Leipzig.
- Helble, W. (1981): Rechnerische Grenzfeststellung mit 5-Parameter-Transformation. In: zfv – Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 11/1981, 106. Jg., S. 590–597.
- Kahmen, H. (1997): Vermessungskunde. 19. Auflage, Berlin.
- Kneissl, M. (1963): Handbuch der Vermessungskunde, Band II (Feld- und Landmessung, Absteckungsarbeiten). 10. Auflage, Stuttgart.
- Koch, K.-R. (2004): Parameterschätzung und Hypothesentests in linearen Modellen. 4. Auflage, Bonn. [www.tg.uni-bonn.de/team/karlrudolf-koch](http://www.tg.uni-bonn.de/team/karlrudolf-koch).



- Kuhnke, M., Schröder, U. (2007): Die geometrische Lageverbesserung der ALK. In: Vermessung Brandenburg, Heft 1/2007, 12. Jg., S. 25–36.
- Lüdemann, K. (1927): Über die Genauigkeit der Absteckung eines rechten Winkels mit Winkelspiegel und Winkelprisma. In: AVN – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, Heft 3/1927, 39. Jg., S. 34–37.
- Pinkwart, E. (1959): Geleitwort zur Vermessungspunktanweisung von Nordrhein-Westfalen. Neubearbeitung der Vermessungsanweisung IX. In: zfv – Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 4/1959, 66. Jg., S. 119–130.
- Rembold, M. (2012): Die Anerkennung und Feststellung von Grundstücksgrenzen – Ein Beitrag zur Entwicklung des Liegenschaftskatasters im Lande Nordrhein-Westfalen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Dissertation, Schriftenreihe des Instituts für Geodäsie und Geoinformation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Heft 27.
- Rembold, M. (2015): Die größten zulässigen Abweichungen bei Streckenvergleichen gegenüber früheren Vermessungen. In: NÖV – Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen, Heft 1/2015, 48. Jg., S. 6–19. [www.mik.nrw.de/nc/publikationen/produktauswahl.html](http://www.mik.nrw.de/nc/publikationen/produktauswahl.html).
- Rembold, M. (2017): »Hauptsache, daß es fertig werde« – Zur Erneuerung des Liegenschaftskatasters. In: NÖV – Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen, Heft 1/2017, 50. Jg., S. 26–45. [www.mik.nrw.de/nc/publikationen/produktauswahl.html](http://www.mik.nrw.de/nc/publikationen/produktauswahl.html).
- Schmidt, R. (1960): Die Triangulationen in Nordrhein-Westfalen. Bad Godesberg.
- Schmidt, R. (1970): Die Genauigkeit der TP-Netze höherer Ordnung und das Problem der Netzerneuerung in Nordrhein-Westfalen. In: NÖV – Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungsdienst Nordrhein-Westfalen, Heft 3/1970, 3. Jg., S. 95–103.
- Schroeder (o.J.): Trigonometrische und polygonometrische Arbeiten. Erläuterungen und Beispiele aus der Praxis. Berlin.
- Weitbrecht, W. (1910): Lehrbuch der Vermessungskunde, Erster Teil: Horizontalmessungen. Stuttgart.
- Wimmer, K. (1928): Die neueren preußischen Katasterneumessungen. Liebenwerda.
- Die Bestimmung von Vermessungspunkten der Landesvermessung in Nordrhein-Westfalen (Vermessungspunkterlaß I – VP Erl. I), RdErl. d. IM. v. 15.11.1974 (I D 3 – 4212, MBl. NW. 1975 S. 3), geändert durch RdErl. d. IM. v. 09.11.1977 (I D 3 – 4212, MBl. NW. S. 1842).
- Das trigonometrische Festpunktfeld in Nordrhein-Westfalen (TP-Erl.), RdErl. d. IM. v. 13.07.1983 (III C 3 – 4212, MBl. NW. 1882).
- Bekanntmachung der Neufassung des Gesetzes über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster (Vermessungs- und Katastergesetz – VermKatG NRW) vom 30.05.1990 (GV. NRW. S. 360).
- Die Bestimmung von Vermessungspunkten der Landesvermessung in Nordrhein-Westfalen (Vermessungspunkterlaß – VP Erl.), RdErl. d. IM. v. 12.01.1996 (Kopferlaß in SMBl. NRW. 71341).
- Die Führung des Liegenschaftskatasters in Nordrhein-Westfalen (Liegenschaftskatastererlass – LiegKatErl.), RdErl. d. IM. v. 13.01.2009 (SMBl. NRW. 71342).
- Gesetz über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster (Vermessungs- und Katastergesetz – VermKatG NRW) vom 01.03.2005 (SGV. NRW. 7134), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 01.04.2014 (GV. NRW. S. 256).
- Verordnung zur Durchführung des Gesetzes über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster (DVOzVermKatG NRW) vom 25.10.2006 (SGV. NRW. 7134), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 08.08.2016 (GV. NRW. S. 680).
- Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg für die Durchführung von Liegenschaftsvermessungen (LV-Vorschrift – VwVLV) vom 05.12.2012 (Aktenzeichen 44-2824.0/5), geändert durch den Erlass des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg vom 10.12.2015 (Aktenzeichen 44-2824.0/6).
- Vordringliche Arbeiten für das Liegenschaftskataster – Prioritätenerlass III, Erlass des Ministeriums des Innern und für Kommunales Brandenburg vom 04.05.2015 (Aktenzeichen 13-511-46), geändert durch Erlass vom 22.07.2016 (Aktenzeichen 13-511.46). [www.vermessung.brandenburg.de](http://www.vermessung.brandenburg.de).
- Erhebung der Geobasisdaten des amtlichen Vermessungswesens in Nordrhein-Westfalen – Erhebungserlass (ErhE) –, Runderlass des Ministeriums des Innern vom 15.09.2017 (SMBl. NRW. 71342).

## Rechtsquellen und Verwaltungsvorschriften

Anmerkungen: Die Rechtsquellen und Verwaltungsvorschriften sind in chronologischer Reihenfolge angegeben. Bei den preußischen Katasteranweisungen ist stets die erste Ausgabe benannt. Ein Großteil der preußischen Katasteranweisungen ist in den Digitalen Sammlungen der Staatsbibliothek Berlin auch online verfügbar, siehe <http://digital.staatsbibliothek-berlin.de>. Ein Großteil der nordrhein-westfälischen Katastervorschriften ist ebenfalls online verfügbar, siehe [www.katastermodernisierung.nrw.de](http://www.katastermodernisierung.nrw.de).

- (VIII.) Anweisung vom 25.10.1881 für das Verfahren bei Erneuerung der Karten und Bücher des Grundsteuerkatasters. Berlin, 1882.
- (IX.) Anweisung vom 25.10.1881 für die trigonometrischen und polygonometrischen Arbeiten bei Erneuerung der Karten und Bücher des Grundsteuerkatasters. Berlin, 1881.
- (II.) Anweisung vom 21.02.1896 für das Verfahren bei den Vermessungen zur Fortschreibung der Grundsteuerbücher und Karten. Berlin, 1896.
- Ergänzungsvorschriften für die Ausführung von Fortschreibungsvermessungsarbeiten vom 21.02.1913. Berlin, 1913.
- Ergänzungsbestimmungen I. Teil vom 01.06.1931 zu den Anweisungen VIII, IX und X für das Verfahren bei den Katasterneumessungen. Berlin, 1931.
- Reichsfestpunktfeld, RdErl. d. RMdI. v. 15.08.1940 (VI A 8976/40-6810, FP-Erl.).
- Anweisung für das Verfahren bei den Fortführungsvermessungen in Nordrhein-Westfalen vom 01.07.1955 (Fortführungsanweisung II), RdErl. d. IM. v. 15.12.1955 (MBl. NW. S. 2193).
- Anweisung für die Bestimmung von Vermessungspunkten in Nordrhein-Westfalen, Teil 1 (Text, Tafeln und VermVordrucke) vom 01.12.1958 (Vermessungspunktanweisung I), RdErl. d. IM. v. 09.06.1959 (MBl. NW. S. 1528).

## Kontakt

Dr.-Ing. Markus Rembold  
Ennepe-Ruhr-Kreis  
Abteilung Liegenschaftskataster und Geoinformationen  
Hauptstraße 92, 58332 Schwelm  
[m.rembold@en-kreis.de](mailto:m.rembold@en-kreis.de)

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaesie.info](http://www.geodaesie.info).