

Präzise Koordinaten für Deutschland: Teil 2 – Die Realisierung 2025 im geodätischen Raumbezug

Precise Coordinates for Germany: Part 2 – New Implementation 2025 of the Geodetic Spatial Reference

Bernd Krickel | Andreas Brünner | Ralf Däbel | Hans-Georg Dick | Barbara Görres | Gunter Liebsch |
Björn Mehlitz | Werner Pape | Anette Rietdorf | Ole Roggenbuck | Tetyana Romanyuk | Axel Rülke |
Joachim Schwabe | André Sieland | Laura Vaßmer | Kerstin Westphal

Zusammenfassung

Der geodätische Raumbezug in Deutschland wird seit 2008 durch 251 Punkte des Geodätischen Grundnetzes (GGN) realisiert. Die Koordinaten dieser Punkte sowie der Stationen des Referenzstationsnetzes (RSN) wurden im Rahmen einer ersten Wiederholungsmessung im Jahr 2021 überprüft. Teil 1 des Fachbeitrags (Krickel et al. 2025) befasste sich mit der Planung und praktischen Durchführung der Feldarbeiten und zeigte die verschiedenen Ansätze der Auswertung auf. Im vorliegenden zweiten Teil soll nun die Kombination der Lösungen der beteiligten Rechenstellen zur Herleitung einer neuen Realisierung des amtlichen Bezugssystems ETRS89/DREF91 näher erläutert werden.

Aus den unabhängig voneinander bestimmten Lösungen mit den beiden verwendeten Antennenkalibrieremethoden wurde eine finale Lösung erarbeitet. Nach der Lagerung im globalen und europäischen Referenzrahmen liegen die Ergebnisse nun als neue Realisierung 2025 des ETRS89/DREF91 vor. Mit der Einführung zum 01.07.2025 erhielten die Rahmennetz-GGP und die Referenzstationspunkte (RSP) fortgeschriebene amtliche Koordinaten.

Schlussendlich werden die Auswirkungen der Einführung der neuen Realisierung für die Nutzer betrachtet, im Besonderen die zu erwartenden Auswirkungen im Liegenschaftskataster.

Schlüsselwörter: Geodätischer Raumbezug, Referenzsystem, Referenzrahmen, GNSS-Messungen, Festpunkte, Geosensoren

Summary

The geodetic spatial reference of Germany has been implemented since 2008 using 251 first order network points, according to the highest geodetic quality standards. In conjunction with the reference station points (RSP) of the German Integrated Geodetic Reference Network (GREF) and SAPOS®, the GGP framework network was first determined in 2008 and has now been updated after 13 years as part of a first repeat measurement, the 2021 GNSS campaign. The campaign planning, fieldwork and different options of data analysis are discussed in Part 1 of this paper (Krickel et al. 2025). This second part will focus on the combination of the solutions of the two computing centres and the new implementation of the official reference system ETRS89/DREF91. A final solution was developed from the independently calculated solutions. The two antenna calibration methods used were

taken into account. After referring to the global and European reference frames, the results are now available as the new 2025 implementation of ETRS89/DREF91. With the implementation on July 1, 2025, the framework network GGP and the RSP received updated official coordinates. The following section examines the impact of the introduction of the new implementation on users, particularly the expected impact on the land register.

Keywords: geodetic spatial reference, repeated measurements, GNSS measurements, geosensors

1 Einleitung

Der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug Deutschlands wird durch dauerhaft vermarktete Festpunkte an der Erdoberfläche realisiert und mittels regelmäßiger Überwachungs- und Überprüfungsmaßnahmen nach höchsten geodätischen Qualitätsstandards gesichert. Dieses Festpunktfeld besteht aus den 251 Geodätischen Grundnetzpunkten (GGP) sowie aus den Referenzstationspunkten (RSP) des integrierten geodätischen Referenznetzes Deutschland (GREF) sowie des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Bundesländer (SAPOS®). Die Bestimmung ihrer geometrischen Bezugsgrößen in Lage und ellipsoidischer Höhe erfolgte erstmalig im Jahr 2008 durch die Messung und Auswertung von Signalen der Globalen Navigationssatellitensysteme (GNSS) in einer bundesweiten Kampagne (AdV 2018). Nach einem Beschluss der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) wurde der Netzverbund als erste Wiederholungsmessung in einer weiteren umfangreichen GNSS-Kampagne im Jahr 2021 erneut bestimmt. Dadurch war erstmals eine umfassende Qualifizierung des GGP-Rahmennetzes und somit eine nachhaltige Sicherung des Raumbezugs möglich.

Teil 1 dieses Fachbeitrags stellte den geodätischen Raumbezug mit seinen verschiedenen Komponenten vor (Krickel et al. 2025). Hierin wurden Planung und praktische Durchführung der Feldarbeiten der GNSS-Kampagne 2021 beschrieben und die verschiedenen Auswertansätze zweier Rechenstellen aufgezeigt. Aus der Vielzahl der notwendigen Auswertvarianten erfolgte zunächst eine

Reduzierung von zwölf auf sechs Lösungen durch die Kombination der Ergebnisse der Rechenstellen zu jeweils zwei sich in der Technik der Antennenkalibrierung voneinander unterscheidende Lösungen für die Netzstufen A, B und C.

Im hier vorliegenden zweiten Teil des Beitrags werden die erforderlichen Analyseschritte hin zu einer Gesamtlösung vorgestellt. Für die Realisierung des Raumbezugs wurden verschiedene Konzepte der Netzlagerung betrachtet. Die hier zu treffende Wahl hat erhebliche Auswirkungen auf die systematischen Eigenschaften der amtlichen Koordinaten im ETRS89/DREF91 sowie auf die Konsistenz mit den anderen Komponenten des integrierten Raumbezugs.

Zum 01.07.2025 wurden nach einem Beschluss des Arbeitskreises Raumbezug der AdV die aktualisierten Koordinaten der Rahmennetz-GGP sowie der RSP von den deutschen Vermessungsverwaltungen in den Referenzstationsnetzen (RSN) als neue Realisierung ETRS89/DREF91 (R2025) amtlich eingeführt. Die Auswirkungen auf die Anwender, die mit der Bereitstellung der neuen Realisierung des Raumbezugs einhergehen, werden im Anschluss näher betrachtet.

2 Korrekturparameter der GNSS-Antennen

Die Auswertung der Kampagne mit Datensätzen unterschiedlicher Kalibrierverfahren für die GNSS-Antennen war Teil der Zielstellung der GNSS-Kampagne 2021. In den Feldmessungen wurden auf den GGP, im Gegensatz zur Kampagne 2008 mit zwei Antennentypen, im Jahr 2021 einzig die Antennen vom Typ Leica LEIAR25.R4 eingesetzt und diese mit den beiden verfügbaren Kalibrierverfahren Roboter-Feldkalibrierung (RFK) sowie in der Antennenmesskammer (AMK) für alle GNSS-Frequenzen individuell kalibriert (Details siehe Teil 1, Kap. 2.1). Für Referenzstationen hingegen lagen nur wenige Kalibrierungen ähnlicher Konsistenz hinsichtlich der genutzten Verfahren und der verwendeten GNSS-Systeme vor. Die Verwendung und Auswahl der vorliegenden Kalibrierbibliotheken werden folgend näher beschrieben.

2.1 Beschreibung der Kalibrierbibliotheken

Im RSN werden GNSS-Antennen verschiedener Hersteller verwendet, für die entsprechend eines AdV-Beschlusses aus dem Jahr 2002 zwar grundsätzlich absolute Individualkalibrierungen vorliegen, die jedoch mit unterschiedlichen Verfahren kalibriert wurden. Weitere qualitätsbestimmende Faktoren sind die im Kalibrierverfahren berücksichtigten GNSS-Frequenzen und die Umgebungs- bzw. Installationsbedingungen auf den Referenzstationen (Wanninger und Fettke 2008). Qualitätsmindernd wirkte sich aus, dass nur in wenigen Fällen die antennen-nahe Installationsumgebung (Antennennahfeld) in den Kalibrierprozess einbezogen wurde und für fast 20 % der Referenzstations-

antennen Kalibrierwerte nur für die Frequenzen GPS-L1 und GPS-L2 vorlagen. Somit standen zwei Antennenbibliotheken (AMK und RFK) zur Verfügung. Aufgrund der Einzelvorgaben:

- Vorrang individueller Kalibrierungen vor Typkalibrierungen (Dawidowicz et al. 2023),
- Verwendung von Multi-GNSS-Kalibrierungen (Dawidowicz 2018),
- Verzicht auf eine Mischung von Kalibrierungen aus Kammer- und Roboterverfahren, die nur in Einzelfällen nach spezieller Konsistenzprüfung zulässig wäre (Görres et al. 2018),

wurden zwei Lösungen für jedes Netz berechnet und jeweils nicht vorhandene oder ungenügende Kalibrierungen durch Multi-GNSS-Typkalibrierungen ersetzt. Dazu wurden aktuelle Multi-GNSS-Typkalibrierungen (RFK) der GNPCV-Datenbank (GEO++ GmbH, Garbsen) verwendet; von der Kalibrierstelle in Bonn wurden speziell zur Auswertung der GNSS-Kampagne gebildete Typkalibrierungen (AMK) zur Verfügung gestellt.

2.2 Ergebnisvergleich

Alle Netze wurden mit den Kalibrierverfahren AMK und RFK berechnet und die Differenzen der jeweiligen Lösungen analysiert. Der Vergleich beider Lösungen für Netz A, in dem ausschließlich Antennen eines einzigen Antennentyps mit individueller Antennenkalibrierung verwendet wurden, zeigt sowohl in der Lage- als auch in der Höhenkomponente eine hohe Übereinstimmung der Ergebnisse und erwartungsgemäß sehr kleine Differenzen im Bereich weniger Millimeter (siehe Abb. 1). Hier kommt auch zum Tragen, dass bei der Verwendung gleicher Antennentypen in einem Netz die Antennenkalibrierungen nur geringe Auswirkungen haben.

Im Netz C hingegen wurden Antennen verschiedener Hersteller verwendet. Der Vergleich beider Lösungen zeigt bei einigen Stationen deutliche Höhendifferenzen bis zu 2 cm, die in Einzelfällen sogar noch darüber liegen können (siehe Abb. 2).

Die Unterschiede in den Lagekomponenten sind deutlich kleiner und nicht systematisch. Die Höhenabweichungen hingegen sind nicht zufällig und lassen sich einzelnen Antennentypen zuordnen. Dies ist in Abb. 3 verdeutlicht, in der die mittleren Höhenabweichungen pro Antennentyp als Balkendiagramm dargestellt sind. Die ellipsoidischen Höhen der Stationen, auf denen Antennen der Hersteller TOPCON oder Trimble im Einsatz waren, weichen signifikant voneinander ab. Dieses Ergebnis zeigt zwar, dass es Unterschiede zwischen den Lösungen mit unterschiedlichen Kalibrierverfahren gibt, aber nicht die Ursache dieser Differenz. Es gibt keinen Hinweis, der zur Bevorzugung eines Verfahrens oder Antennentyps gegenüber dem anderen führen würde. In Konsequenz der aufgezeigten Unterschiede führte dies jedoch letztlich zu der Entscheidung, eine Mittelbildung der Ergebnisse zu verwerfen.

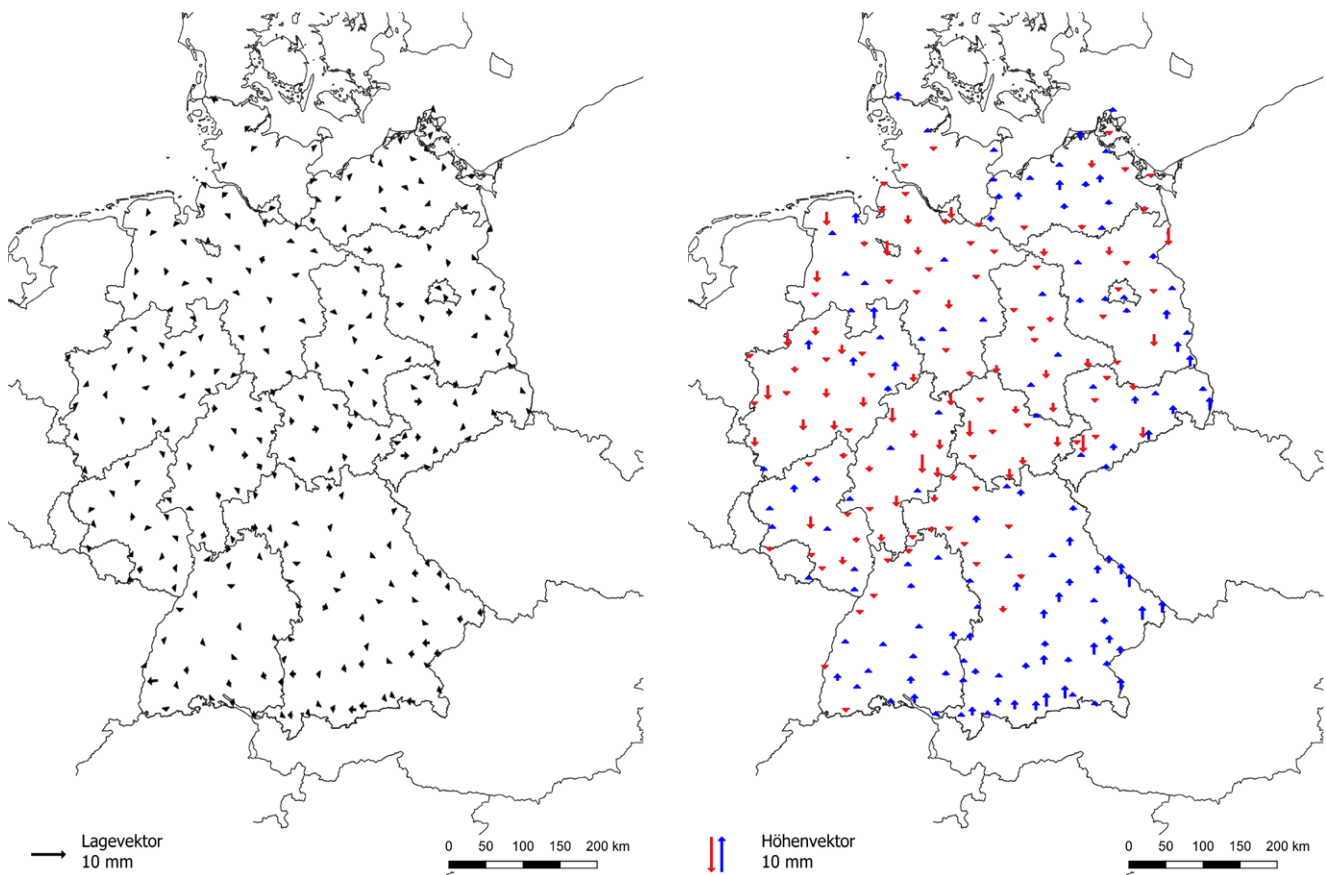


Abb. 1: Vergleich der Lösungen mit Roboter- und Kammerkalibrierung des Netzes A. Es sind die Differenzen der Kombinations-Lösungen (BKG und LGLN) dargestellt. Lagedifferenzen (linke Seite) und Höhendifferenzen (rechte Seite).

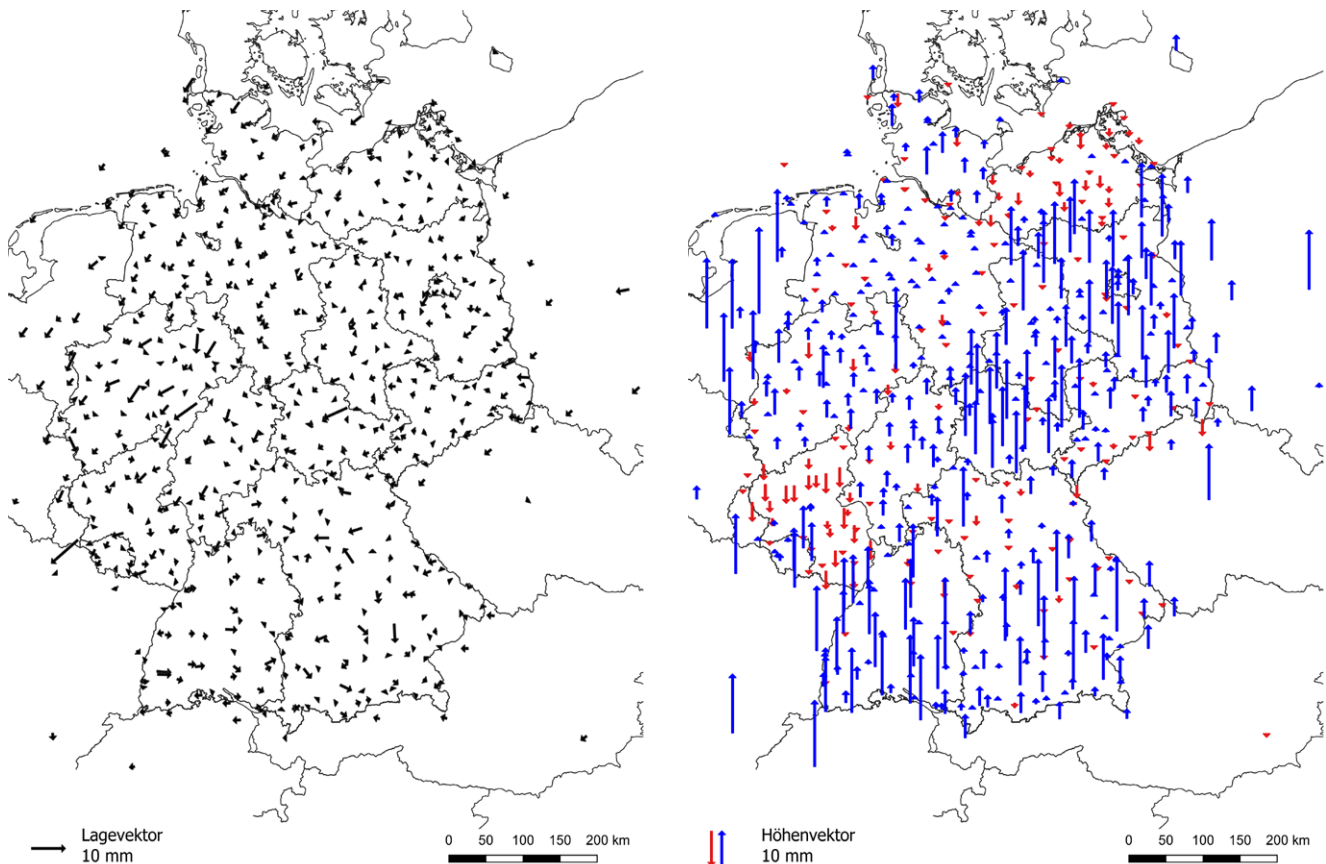


Abb. 2: Vergleich der Lösungen mit Roboter- und Kammerkalibrierung des Netzes C. Es sind die Differenzen der Kombinations-Lösungen (BKG und LGLN) dargestellt. Lagedifferenzen (linke Seite) und Höhendifferenzen (rechte Seite).

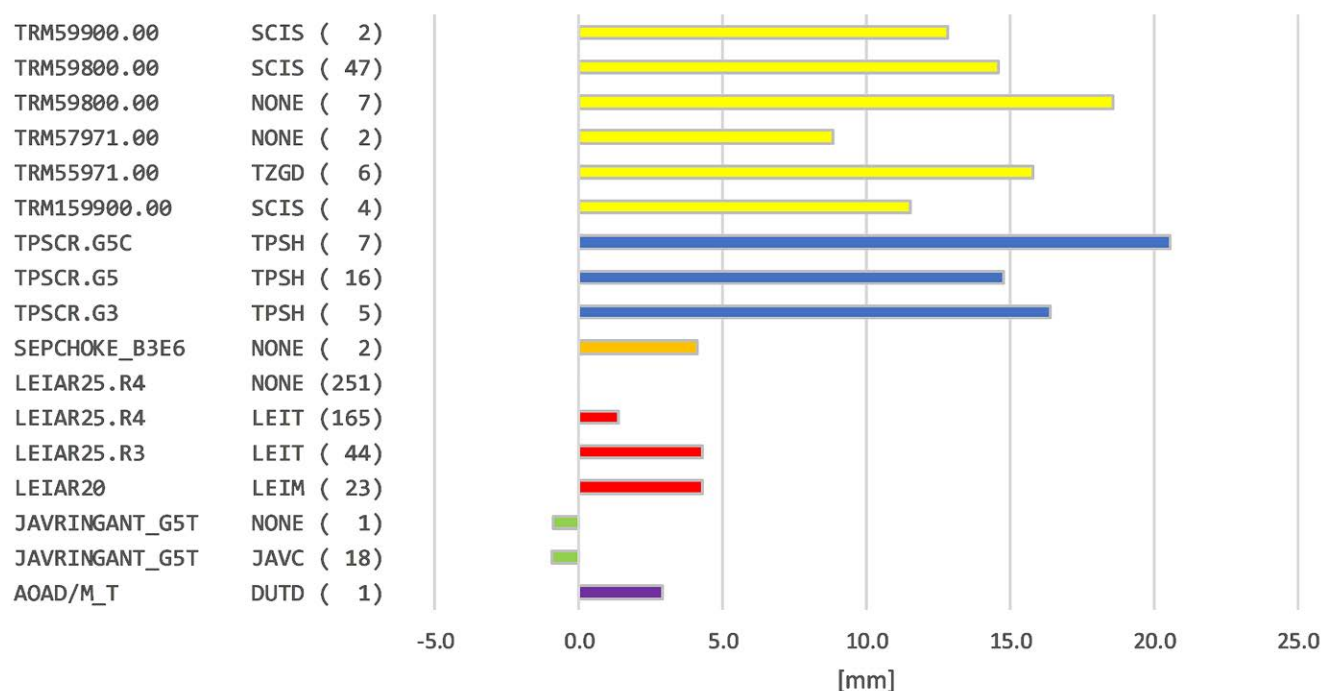


Abb. 3: Gemittelte Höhendifferenzen zwischen den kombinierten AMK- und RFK-Lösungen von Netz C in Abhängigkeit der eingesetzten Antennentypen. Anzahl der jeweiligen Stationen in Klammern und farblicher Herstellerkennung.

2.3 Auswahl der Kalibriermethode

Die beiden mit den Kalibrierverfahren AMK und RFK berechneten Netzlösungen für Netz C führen grundsätzlich zu vergleichbaren Lösungen. Die Differenzen beider Lösungen aufgrund verfahrensspezifischer Unterschiede der verwendeten Kalibriermethode sind systematisch und mit zum Teil mehr als 2 cm in den ellipsoidischen Höhen zu groß, um bei einer Mittelung die gewünschte Genauigkeit entsprechend den Vorgaben der Richtlinie einheitlicher integrierter geodätischer Raumbezug (AdV 2024) zu erreichen.

In umfangreichen Untersuchungen wurden einzelne der verwendeten Antennentypen auf kurzen Basislinien mit bis zu 30 m Länge analysiert. Sie wurden entsprechend der Betriebssituation auf RSP eingesetzt. Besonders bei Antennen mit Wetterschutzhauben (Radome) konnte den Kalibrierungen aus der Messkammer eine hohe Sensitivität gegenüber einem im Kalibriervorgang nicht vollständig reproduzierten Antennennahfeld an der Referenzstation nachgewiesen werden. Die Analyse bleibt unvollständig, da nicht an allen Referenzstationen Individualkalibrierungen in beiden Versionen für alle GNSS-Frequenzen vorliegen. Im Sinne eines eindeutigen Kampagnenergebnisses wurde entschieden, dass nur die Auswertungen auf Basis der Roboter-Kalibrierungen (RFK) verwendet werden, obwohl beide Verfahren aus Sicht des Arbeitskreises Raumbezug als gleichwertig gelten.

Die Entscheidung für die Verwendung der Roboterkalibrierungen wurde getroffen, obwohl für RSN-Stationen fast fünfmal so viele individuelle Multi-GNSS-Kammerkalibrierungen als Multi-GNSS-Roboterkalibrierungen

vorliegen. In Konsequenz entsteht aber durch die Verwendung der Roboterkalibrierungen eine Konsistenz mit den übergeordneten Netzen des European Permanent Network (EPN) und des International GNSS Service (IGS).

Durch die Entscheidung für die Lösungen mit Roboterkalibrierungen lagen nun drei Kombinationslösungen für die Netze A, B und C vor (siehe Abb. 4).

Zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen und der Vergleichbarkeit hat der Arbeitskreis Raumbezug für zukünftige GNSS-Kampagnen empfohlen, jede künftig auf den RSP und GGP eingesetzte GNSS-Antenne individuell mit beiden Verfahren zu kalibrieren. Um das Antennennahfeld zu berücksichtigen, sollten der während der Messung verwendete Antennenunterbau und die ggf. verwendete Wetterschutzhaube in der Kalibrierung einbezogen sein.

3 Lagerung der GNSS-Kampagne 2021

Im folgenden Kapitel wird die Berechnung der Realisierung 2025 des amtlichen geodätischen Raumbezugs vorgestellt. Ausgehend von der Lagerung dieser in Abb. 4 dargestellten finalen Lösung im aktuellen globalen Referenzrahmen ITRF2020 (International Terrestrial Reference Frame, Altamimi et al. 2023) werden verschiedene Varianten zur Transformation in das für den Raumbezug gewünschte ETRF (European Terrestrial Reference Frame) und anschließend in das ETRS89/DREF91 vorgestellt und diskutiert. Die Lagerung und Berechnung des ETRS89/DREF91 (R2025) erfolgt über einen Satz als stabil identifizierter Lagerungspunkte. Für die praktische Anwendung

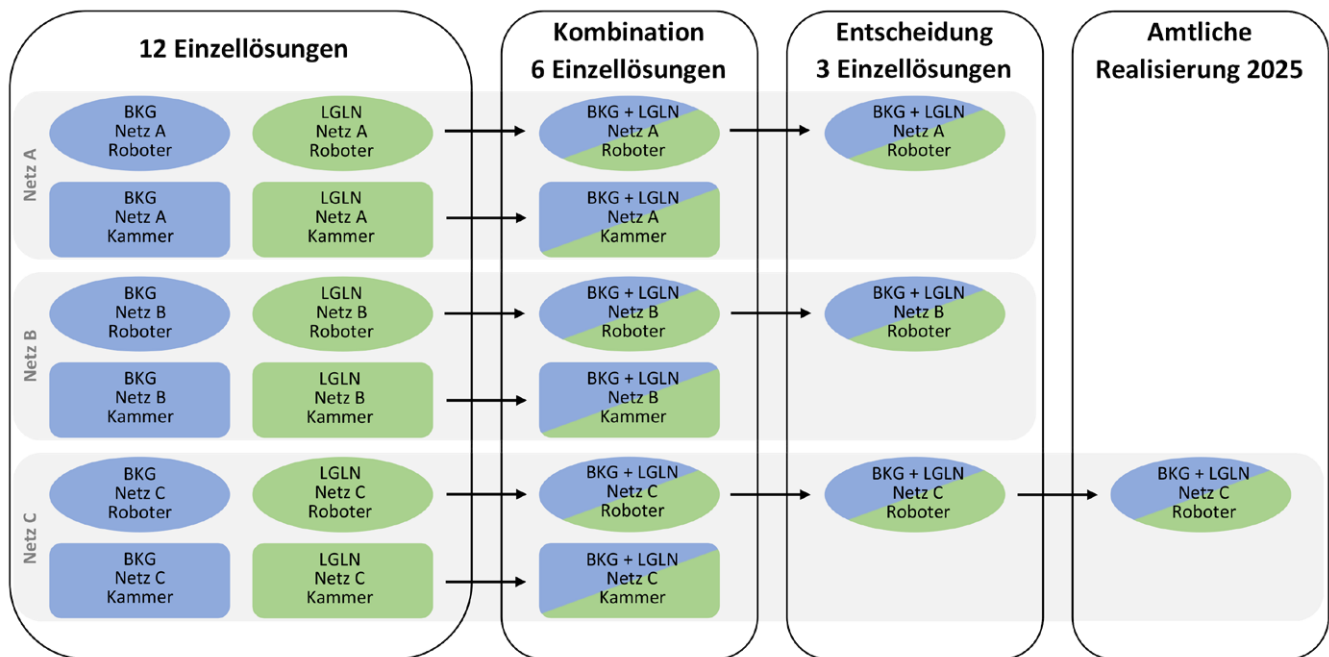


Abb. 4: Schema zur Ableitung der finalen Lösung für die Realisierung des amtlichen Raumbezugs aus anfangs 12 Einzellösungen

werden Transformationsparameter für den Übergang vom ITRF2020 in das ETRS89/DREF91 (R2025) sowie eine NTv2-Transformationsfläche für den Übergang vom bisherigen Raumbezug ETRS89/DREF91 (R2016) in den neuen Raumbezug bereitgestellt.

2,7 cm betragen. Zusätzlich ergeben sich systematische Änderungen der Vertikalgeschwindigkeiten im ETRF2000 im Vergleich zum ITRF2020 von im Mittel 0,5 mm/Jahr in Deutschland. Da die Grundlage der bisherigen Realisierung 2016 in Deutschland das ETRF2000 ist, ist sie von diesen hier beschriebenen systematischen Effekten betroffen.

3.1 Lagerung im ITRF und Transformation nach ETRF

Die finale Lösung der GNSS-Kampagne 2021 wurde unter Bestimmung von sieben Datumsparametern (drei Translationen, drei Rotationen, ein Maßstabsparameter) über 21 identische Punkte im ITRF2020 gelagert. Die Standardabweichung kann mit $s_0 = 1,7$ mm angegeben werden. Damit liegen Koordinaten für die Punkte des Netzes C im ITRF2020, Epoche 2021.48 vor.

Die Transformationsvorschriften für den Übergang von den ITRFxxxx in das jeweils entsprechende ETRFxxxx einschließlich der zu nutzenden Transformationsparameter sind in der EUREF Technical Note No. 1 (Altamimi und Collilieux 2024) zusammengestellt. Mit der Einführung des ITRF2014 und in der Folge auch für das ITRF2020 war für den Übergang in das entsprechende ETRF2014 bzw. ETRF2020 ein Paradigmenwechsel erfolgt: Während die Translationsparameter bis einschließlich der ITRF2005/ETRF2005 von null verschieden waren, wurden sie ab dem ITRF2014 per Definition zu null gesetzt (vgl. Altamimi und Collilieux 2024, Tab. 1).

Translationsparameter ungleich null führen zu einer Verschiebung des Koordinatenursprungs zwischen ITRF und zugehörigem ETRF und damit zu systematischen Änderungen einschließlich einer scheinbaren Neigung der ellipsoidischen Höhen im ETRF im Vergleich zum ITRF. Diese Systematik vergrößert sich im ETRF2000 im Laufe der Zeit und wird in Deutschland zur Epoche 2031.0 bis

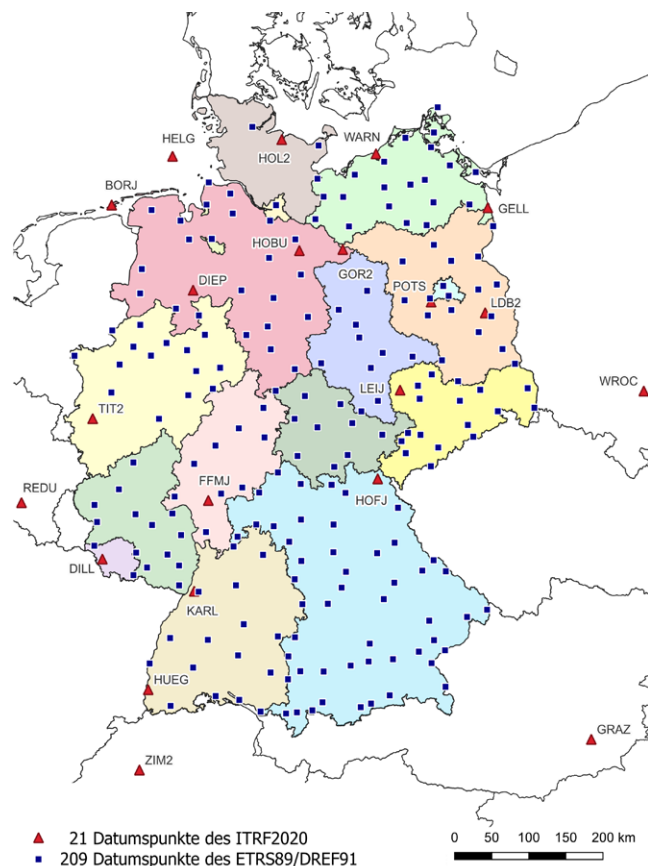


Abb. 5: 21 identische Punkte des ITRF und 209 als stabil identifizierte Datumspunkte des ETRS89/DREF91

3.2 Berechnungsoptionen der finalen Lösungen im ETRS89/DREF91

In der folgenden Betrachtung musste entschieden werden, ob die neue Realisierung für Deutschland weiterhin auf Grundlage des ETRF2000 berechnet wird, oder ob sie sich stärker an das aktuelle ETRF2020 anlehnen soll. Die Lagerung besteht grundsätzlich aus zwei Schritten. Dabei stellen xxxx und yyyy die Bezeichnungen unterschiedlicher Realisierungen von ETRF und ITRF dar:

- 1. Transformation der Lösung im ITRFyyyy in das ETRFxxxx nach EUREF Technical Note No. 1 (Altamimi und Collilieux 2024),
- 2. Transformation der Lösung im ETRFxxxx nach ETRS89/DREF91.

Auf die aktuelle Situation angewendet, ergeben sich für den ersten Schritt grundsätzlich zwei Optionen: Die Transformation der Lösung aus dem ITRF2020 a) in das ETRF2000 oder b) in das ETRF2020. Im zweiten Schritt können verschiedene Transformationsparametersätze für die Transformation von ETRFxxxx in das ETRS89/DREF91 geschätzt werden, z. B. sieben Parameter (drei Translationen, drei Rotationen, ein Maßstab) oder nur drei Parameter (z. B. drei Rotationen). Entfällt der zweite Schritt, liegt die finale Lösung direkt im Referenzrahmen ETRFxxxx vor.

Die Realisierung 2016, als Ergebnis der GNSS-Kampagne 2008, wurde im damals gültigen ITRF2005 gelagert und anschließend mit der Transformationsvorschrift nach Altamimi und Collilieux (2024) in das ETRF2000 transformiert (1. Schritt). Um die Änderungen der Lagekoordinaten zur vorherigen Realisierung des amtlichen Raumbezugs möglichst klein zu halten, wurde eine Restrotation um drei Koordinatenachsen auf die Koordinaten dieser auf der SAPOS®-Diagnose-Ausgleichung 2002 (Altiner 2005) beru-

henden Realisierung durchgeführt (2. Schritt). Durch diese Rotation wurde sichergestellt, dass die ellipsoidischen Höhen der Realisierung im ETRF2000 und der Realisierung ETRS89/DREF91 (2016) identisch sind. Die Lagekoordinaten unterscheiden sich um etwa 1 cm (Liebsch et al. 2018).

Durch die AdV und hier vor allem durch die Vertreter des Liegenschaftskatasters wurde die Forderung formuliert, dass sich die Lagekoordinaten mit der Einführung eines neuen Raumbezugs nur gering ändern sollten. Hierdurch war es geboten, gegebenenfalls hinzukommende systematische Änderungen in der Datumsrealisierung auszuschließen.

Die Ableitung physikalischer Höhen im DHHN2016 aus ellipsoidischen Höhen erfolgt unter Verwendung der amtlichen Höhenbezugsfläche German Combined Quasigeoid GCG2016 (Schirmer u.a. 2018). Da eine Neuberechnung des GCG zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorgesehen war, musste die Konsistenz zwischen ellipsoidischen Höhen, GCG2016 und DHHN2016 ebenfalls gewahrt bleiben.

Die zu betrachtenden Transformationsvarianten zur Lagerung sind in Tab. 1 zusammengefasst. Ein identisches Vorgehen wie zur oben beschriebenen Lagerung der Kampagne 2008 mit einer Transformation nach ETRF2000 und einer anschließenden Restrotation führt zu konsistenten Lagekoordinaten im Vergleich zur Realisierung 2016 (Tab. 1, Transformation #1). Die sich ergebenden ellipsoidischen Höhen entsprechen den Höhen im ETRF2000. Infolge des Epochenunterschiedes zwischen 2008 und 2021 resultieren hier jedoch systematische Änderungen von bis zu 15 mm, wodurch folglich eine Anpassung der Höhenbezugsfläche notwendig wird. Wird anstelle der Restrotation eine Lagerung über sieben Parameter durchgeführt, ergeben sich keine systematischen Unterschiede in den Lage- und Höhenkoordinaten im Vergleich zur Realisierung 2016 und eine Anpassung der Höhenbezugsfläche ist nicht

Tab. 1: Transformationsvarianten zur Lagerung der Kampagne 2021 im ETRS98/DREF91

#	Transformationen		Lage	Höhe	Höhenbezugsfläche
	Schritt 1 ITRF2020 →	Schritt 2 → ETRS89/DREF91			
1	ETRF2000	3 Rotationen	Konsistent zu DREF91 (R2016)	Höhen im ETRF2000 Systematik bis 15 mm zu DREF91 (R2016)	Anpassung
2	ETRF2000	7 Parameter	Konsistent zu DREF91 (R2016)	Höhen im DREF91 (R2016) Systematik zu ITRF2020, ETRF2020	Keine Anpassung
3	ETRF2020	–	Systematik bis 7 cm zu DREF91 (R2016)	Höhen im ITRF2020 und ETRF2020 Systematik bis 10 mm zu DREF91 (R2016) einschließlich Neigung	Anpassung
4	ETRF2020	3 Rotationen	Systematik bis 1 cm zu DREF91 (R2016)	Höhen im ITRF2020 und ETRF2020 Systematik bis 10 mm zu DREF91 (R2016) einschließlich Neigung	Anpassung
5	ETRF2020	7 Parameter	Konsistent zu DREF91 (R2016)	Höhen im DREF91 (R2016) Systematik zu ITRF2020, ETRF2020	Keine Anpassung

notwendig (Tab. 1, Transformation #2). Die in Kap. 3.1 beschriebene Systematik wird jedoch nicht überwunden und führt zu Abweichungen der ellipsoidischen Höhen im ITRF2020 bzw. ETRF2020.

Die Transformationen #3 bis #5 nutzen das ETRF2020 als Zwischenschritt. Wird auf den zweiten Transformationsschritt verzichtet, liegen die endgültigen Koordinaten im ETRF2020 vor. Dies führt im Vergleich zur Realisierung 2016 zu einer systematischen Änderung in der Lage von bis zu 7 cm und zu einer systematischen Höhenänderung von bis zu 10 mm einschließlich der Kompensation der Neigung im ETRF2000. Diese Berechnungsvariante liefert konsistente Höhen und Höhenänderungen zum ITRF2020, erfordert jedoch eine Anpassung der Höhenbezugsfläche. Durch Berücksichtigung einer Restrotation lässt sich die Systematik in der Lage von 7 cm auf 1 cm reduzieren (Tab. 1, Transformation #4).

Die Transformation #5 lagert die Lösung im ETRF2020 über sieben Parameter auf den Koordinaten der Realisierung 2016. Damit wird sowohl für die Lage als auch für die Höhe die Konsistenz im amtlichen Raumbezug gewahrt. Eine Anpassung der Höhenbezugsfläche ist nicht notwendig. Allerdings bleibt die Höhensystematik des zugrundeliegenden ETRF2000 aus Kap. 3.1 erhalten und führt zu Inkonsistenzen mit den ellipsoidischen Höhen im ITRF2020 bzw. ETRF2020. Es muss daher Ziel des nationalen Raumbezugs sein, diese Inkonsistenzen zukünftig zu überwinden. Die Diskussion dieser Thematik und die Entwicklung

von Lösungsansätzen wird im Arbeitskreis Raumbezug der AdV geführt.

3.3 Identifikation stabiler Datumspunkte

Für die Lagerung der Lösung der GNSS-Kampagne 2021 auf den Koordinaten des ETRS89/DREF91 (R2016) mussten als Datumspunkte geeignete GGP identifiziert werden. Instabile Vermarkungen, Krustendeformationen oder auch Veränderungen der Beobachtungsbedingungen können dazu führen, dass einzelne GGP nicht als Datumspunkte geeignet sind. Diese GGP zeigen eine veränderte Netzgeometrie im Epochenübergang von 2008 nach 2021.

Für die Untersuchungen wurde das GGP-Rahmennetz (Netz A) der Kampagne 2021 mit 7-Parameter-Transformationen auf das Bodennetz der GNSS-Kampagne 2008 transformiert. Mit Hilfe statistischer Testverfahren wurden die Grenzwerte der Residuen mit 5,4 mm in der Lage und 9,5 mm in der Höhe festgelegt. Einzelpunkte mit Residuen über den Grenzwerten wurden iterativ als Lagerungspunkte ausgeschlossen. Insgesamt wurden 209 GGP als stabile Punkte identifiziert und als zukünftige Datumspunkte qualifiziert (siehe Abb. 5). Die von der weiteren Nutzung als Datumspunkte ausgeschlossenen GGP befinden sich erwartungsgemäß vor allem im Bereich der Bodenbewegungsgebiete Nordrhein-Westfalens und Niedersachsens (siehe Abb. 6).

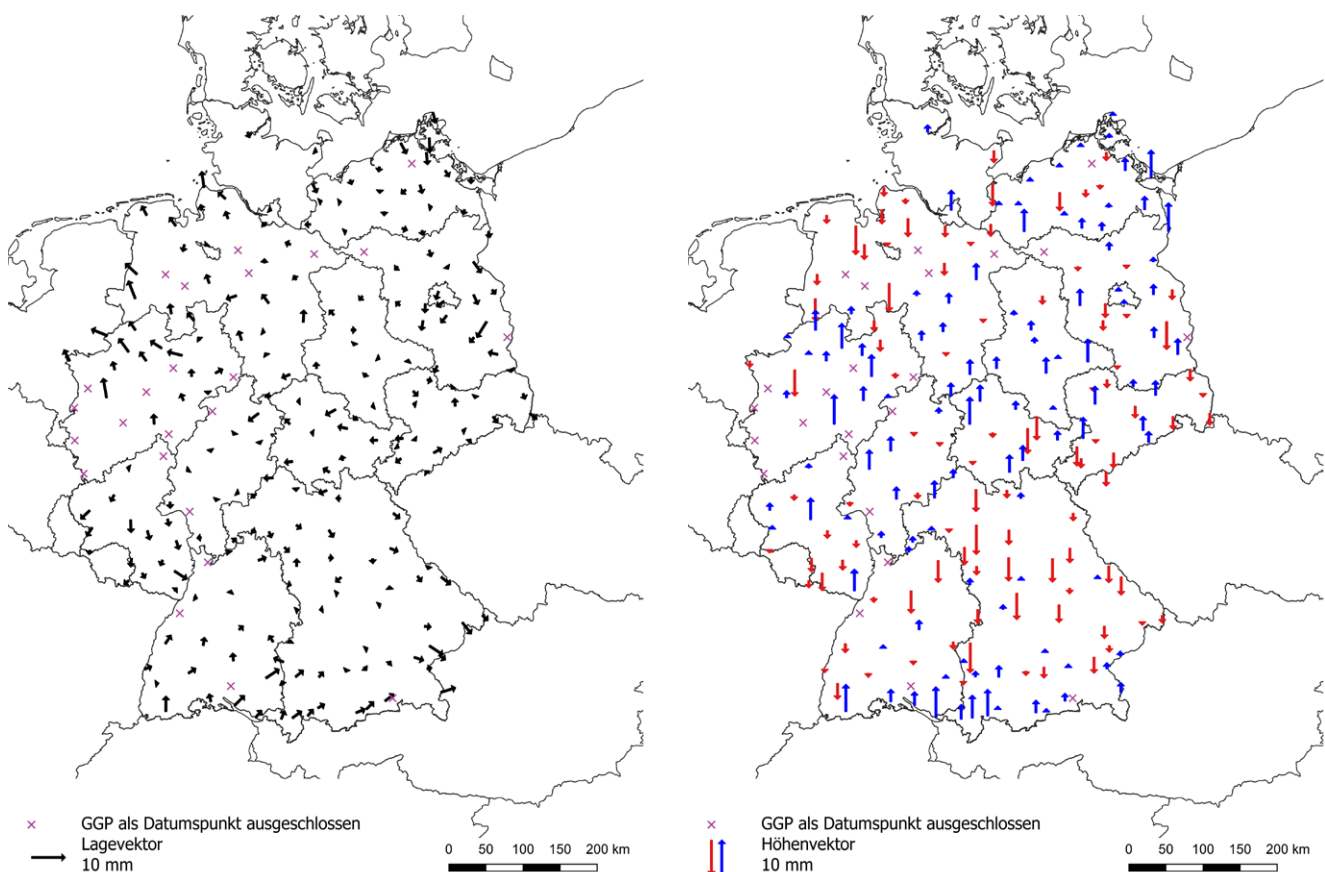


Abb. 6: Residuen nach der 7-Parameter-Transformation der Lösung im ETRF2020 auf die Lösung ETRS89/DREF91 (R2016)

3.4 Berechnung des Raumbezugs 2025

Zur Berechnung des Raumbezugs ist eine Transformationsvariante aus Tab. 1 auszuwählen. Aufgrund der Forderungen nach möglichst unveränderlichen Koordinaten in der Lage und Weiternutzung des GCG2016 als aktuelle Höhenbezugsfläche verbleiben zur Lagerung die Transformationen #2 und #5. Um neben dem Endergebnis ebenfalls ein Zwischenergebnis im aktuellen ETRF2020 zu erhalten, wurde schließlich die Transformation #5 ausgewählt: Die im ITRF2020 gelagerte Lösung des Netzes C wird nach Altamimi und Collilieux (2024) in das ETRF2020 transformiert. Anschließend erfolgt eine 7-Parameter-Transformation auf die Koordinaten des Raumbezugs 2016. Die Transformation erfolgte über 209 als stabil identifizierte GGP des Rahmennetzes. Die Standardabweichung der Transformation beträgt $s_0 = 2,7$ mm. Die Residuen der Lagerung zeigt Abb. 6.

Der so erhaltene Koordinatensatz des Netzes C (vgl. Abb. 4) wird durch Beschluss der AdV zur neuen Realisierung 2025 des ETRS89/DREF91 (R2025).

3.5 Transformationsparameter für den Übergang ITRF2020 nach ETRS89/DREF91 (R2025)

Die Koordinatenbestimmung mit GNSS erfolgt in der Regel im Referenzrahmen der Satellitenbahnen, die derzeit im ITRF2020 bzw. dem damit verknüpften Referenzrahmen IGS20 gegeben sind. Nach der Datenanalyse liegen die Stationskoordinaten somit im globalen Referenzrahmen ITRF2020 vor. Für den praktischen Einsatz müssen GNSS-Anwender zum Übergang vom ITRF2020 in den amtlichen Raumbezug ETRS89/DREF91 (R2025) geeignete Transformationen durchführen und entsprechende Transformationsparameter bereitgestellt bekommen. Diese 14-Parameter-Transformation setzt sich gemäß Kap. 3.3 aus zwei Schritten zusammen:

1. 14-Parameter-Transformation vom ITRF2020 zur Mess-epoche in das ETRF2020 nach Altamimi und Collilieux (2024),
2. 7-Parameter-Transformation vom ETRF2020 in das ETRS89/DREF91 (R2025).

Die Transformationsparameter für den zweiten Schritt ergeben sich unmittelbar aus den Berechnungen in Kap. 3.3. Für eine direkte Transformation vom ITRF2020 in das ETRS89/DREF91 (R2025) in einem Schritt können die 7-Transformationsparameter aus Schritt 2 zu den 14-Transformationsparametern aus Schritt 1 addiert werden. Diese kombinierten Transformationsparameter finden z.B. in den Echtzeitdiensten SAPOS®-HEPS und im PPP-RTK-Dienst SAPOS® | GEPOS™ Anwendung. Sie sind auf der Webseite der AdV unter www.adv-online.de veröffentlicht.

3.6 Berechnung eines gitterbasierten Transformationsmodells für den Übergang von R2016 nach R2025

Für Nutzer großer Datenbestände kann es bedeutsam sein, diese Daten vom bisherigen Raumbezug ETRS89/DREF91 (R2016) in den neuen Raumbezug überführen zu können. Daher hat die AdV beschlossen, einen Transformationsdatensatz für die Horizontalkomponenten zwischen den Realisierungen 2016 und 2025 durch ein gitterbasiertes Transformationsmodell im NTv2-Format (Ahrens und Böhmer 2010) bereitzustellen. Als Eingangsdaten für diese Modellierung dienen die Koordinatendifferenzen der GGP des Netzes C zwischen den DREF-Realisierungen 2016 und 2025. Der Eingangsdatensatz wurde um Ausreißer bereinigt und einem statistischen Interpolationsverfahren zugeführt. In der Modellierung wurden die beiden Lagekomponenten Nord und Ost separat interpoliert. Der Interpolationsansatz basiert auf einer entfernungsabhängigen Gewichtung über eine Kovarianzfunktion mit fester Korrelationslänge. Als Kovarianzfunktion wurde ein Gauß-Markov-Modell 2. Ordnung (Gaußsche Normalverteilung) verwendet. Durch Variation der Korrelationslänge kann einerseits ein detaillierteres Modell mit besserer Anpassung an die Passpunkte oder andererseits ein glatteres, robusteres Modell erzielt werden. Die Wahl einer geringeren a-priori-Standardabweichung als Maß für das Rauschen der Eingangsdaten bewirkt ebenfalls eine stärkere lokale Anpassung an die Passpunkte.

Für die Berechnung der Transformationsfläche wurden nach umfangreichen Voranalysen identische GGP ausgewählt. In der Wahl der Korrelationslänge wurde ein robuster Ansatz verfolgt und die Korrelationslänge mit 70 km und die a-priori-Standardabweichung der Eingangsdaten mit 1,8 mm festgelegt. Das Signal/Rausch-Verhältnis des interpolierten Ergebnisses beträgt nur etwa 3:2, d.h. die Information der Verschiebevektoren liegt nur gering oberhalb des Fehlerbudgets der Eingangsdaten. Für die Vertikalkomponente ist das Signal/Rauschverhältnis mit 1:1 noch schlechter, sodass auf die Berechnung eines Transformationsgitters für die Vertikalkomponente verzichtet wird.

Das NTv2-Gitter für die Transformation der Lagekomponenten zwischen R2016 und R2025 ist auf den Webseiten der AdV veröffentlicht (AdV 2025a).

4 Einführung der Realisierung ETRS89/DREF91 (R2025)

Die Ergebnisse aus Auswertung und Lagerung stellen aus geodätischer Sicht eine Weiterentwicklung des geodätischen Raumbezugs dar. Im Hinblick auf die getätigten Investitionen zur Durchführung der Kampagne sowie die hohe Qualität der Resultate und die hohe Homogenität innerhalb der Netze führten zur Einführung der neuen Realisierung ETRS/DREF91 (R2025) und damit zur direkten

In-Wertsetzung der GNSS-Kampagne. Die Vorteile für bevorstehende Aufgaben, wie der bundesweite PPP-RTK-Dienst SAPOS® | GEPOS™, hatten hierauf ebenfalls einen starken Einfluss.

Die Einführung dieser neuen Realisierung des Raumbezugs für das amtliche Vermessungswesen in Deutschland erfolgt auf Grundlage eines Beschlusses der AdV. Im Folgenden werden die anwenderseitigen Auswirkungen bei Einführung einer neuen Realisierung im amtlichen Raumbezug näher erläutert und am Beispiel Nordrhein-Westfalens konkretisiert.

4.1 Bereitstellung

Die AdV hat mit Festlegung der amtlichen Koordinaten des Gesamtnetzes (Netz C) die Einführung des amtlichen Bezugsrahmens ETRS89/DREF91 (R2025) beschlossen. Dazu erfolgte der Übergang der in den zuvor dargestellten Auswerteschritten bestimmten und im ITRF 2020 gelagerten Lösung in das ETRS89/DREF91 über den Zwischenschritt in das ETRF2020 mit einer nachgeschalteten 7-Parameter-Transformation (vgl. Kap. 3.4). Die Koordinaten des Gesamtnetzes aus GGP-Rahmennetzpunkten und den Referenzstationspunkten wurden zum Stichtag 01.07.2025 als amtliche Koordinaten eingeführt.

In Abb. 7 sind die mit der Einführung der neuen Realisierung verbundenen Koordinatenveränderungen im Referenzstationsnetz getrennt nach Lage und Höhe gegenüber der bisherigen amtlichen Realisierung 2016 visualisiert.

Die Beschlüsse der AdV haben folgende Bestandteile des amtlichen Raumbezugs festgelegt und veröffentlicht:

- Lagerung des Gesamtergebnisses im ITRF2020; Übergang in das ETRS89/DREF91 mit Zwischenschritt in ETRF2020 mit nachgeschalteter 7-Parameter-Transformation
- Technische Koordinaten der Netze A und B im ETRS89/DREF91(R2025)
- Amtliche Koordinaten des Netzes C im ETRS89/DREF91(R2025)
- NTv2-Transformation zum Übergang R2016/R2025 (AdV 2025a)
- Transformationsparameter ITRF2020 – ETRS89/DREF91(R2025) (AdV 2025b)

Folgende Bearbeitungsschritte wurden beschlossen:

- Einführung der amtlichen Koordinaten zum 01.07.2025
- Prüfung der Eignung der Netz-B-Referenzstationen (bodenvermarktete Stationen) als Datumspunkte
- Empfehlung von Nacharbeiten im GGN (Dokumentationsmessungen und Sicherungsarbeiten an den als instabil erkannten GGP)

Im Rahmen der Realisierung 2025 bleiben weitere Bestandteile des einheitlichen integrierten geodätischen

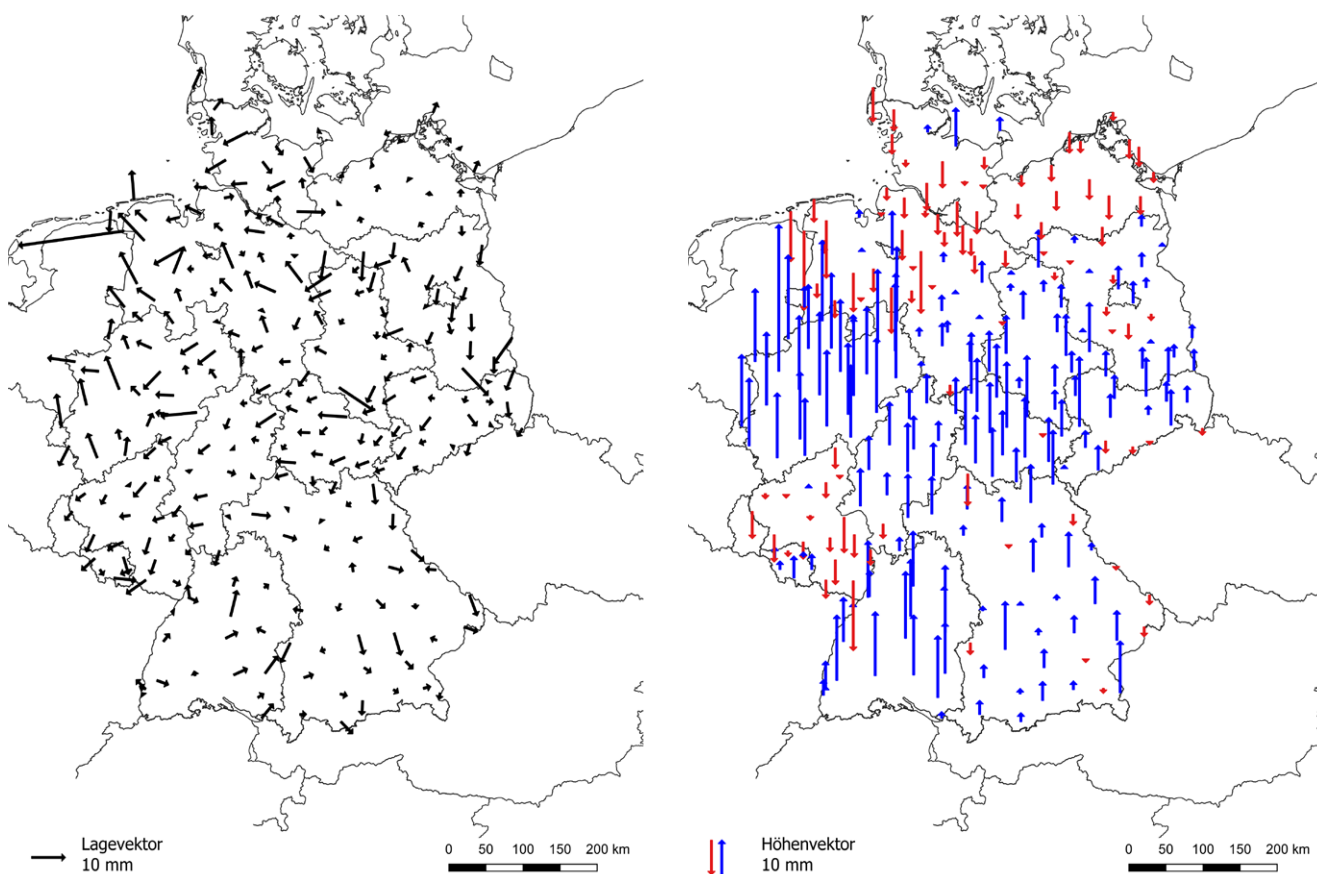


Abb. 7: Koordinatenänderungen des RSN zwischen ETRS89/DREF91(R2016) und ETRS89/DREF91(R2025)

Raumbezugs, die bereits 2016 eingeführt wurden, unverändert gültig (Feldmann-Westendorff et al. 2016). Dazu zählen insbesondere

- das Deutsche Haupthöhennetz 2016 (DHHN2016) als amtlicher Höhenbezugsrahmen,
- das Transformationsmodell HOETRA2016 zur Transformation von Höhen im DHHN92 in Höhen des DHHN2016,
- das Deutsche Hauptschwerenetz 2016 (DHSN2016) als amtlicher Schwerebezugsrahmen sowie
- das German Combined Quasigeoid 2016 (GCG2016) als Höhenreferenzfläche. Es erfährt eine davon unabhängige Aktualisierung.

Auf Grundlage dieser Beschlüsse wurden Koordinatenlisten und die passenden Antennenkalibrierwerte den SAPOS®-Betreibern der Bundesländer, der Zentralen Stelle SAPOS® und dem BKG zur Verfügung gestellt. Damit bilden diese Daten die homogene und qualitätsgesicherte Basis für alle Formen der satellitengestützten Positionsbestimmung im amtlichen Raumbezug in Deutschland. Für Restarbeiten, die in Folge durch die Bundesländer auszuführen sind, wurde ein Zeitrahmen bis zum 31.12.2025 eingeräumt.

4.2 Bedeutung und Folgen der neuen Realisierung für Nutzer

Die Einführung der neuen Realisierung hat unmittelbare Auswirkung auf die Koordinaten und die nachgeordneten Netze verschiedener Nutzergruppen. Die mit Einführung der neuen Realisierung auftretenden Koordinatenwertänderungen sind jedoch gering. Sie liegen vor allem in den Lagekomponenten häufig im Rahmen der Messgenauigkeit und innerhalb der Produktspezifikationen der Echtzeit-Positionierungsdienste wie SAPOS®-HEPS.

Bei der Wertung, in welchem Umfang ggf. präzise Fachdatenbestände zu transformieren seien, stand die Nutzergruppe des Liegenschaftskatasters in besonderem Focus. Hier stellt sich die Frage, ob durch die vorangegangene Einführung des Raumbezugs 2016 in Summe bereits Koordinatenwertänderungen von Relevanz eingetreten waren. Diesbezüglich führte die AdV im Rahmen der Einführung der neuen Realisierung aus, dass die amtlichen Grenzpunktkoordinaten eine grundsätzliche Rechtsqualität genießen, sodass eine (exakte) Übereinstimmung von amtlichem Raumbezug und Liegenschaftskataster auch bei fortgesetzt neuen Realisierungen mit sich potenziell aufschaukelnden Veränderungen gewährleistet werden muss. Die Begründung, Veränderungen durch Einführung neuer Realisierungen lägen innerhalb der Messgenauigkeit

von SAPOS®-HEPS, wird in der Frage einer Fortführung des Koordinatenkatasters als grundsätzlich nicht ausreichend erachtet.

Am Beispiel des nordrhein-westfälischen SAPOS®-Netzes sollen die eingetretenen Änderungen im Folgenden näher dargestellt werden. Dieses Beispiel stellt die Situation dar, wie sie in einzelnen Bundesländern anzutreffen ist; sie ist jedoch nicht pauschal auf alle Bundesländer übertragbar.

Bei den in Abb. 8 dargestellten Lagedifferenzen sind die RSP mit einem Kreis umgeben, der zu den Verschiebektoren einen maßstäblichen Durchmesser von 1 cm angibt. Die jeweiligen vektoriell dargestellten Lagedifferenzen stellen in Schwarz die Veränderung zwischen den Realisierungen 2025 zu 2016 dar; also die Auswirkungen der hier in Rede stehenden Ergebnisse. Die mit der damaligen Einführung des Raumbezugs

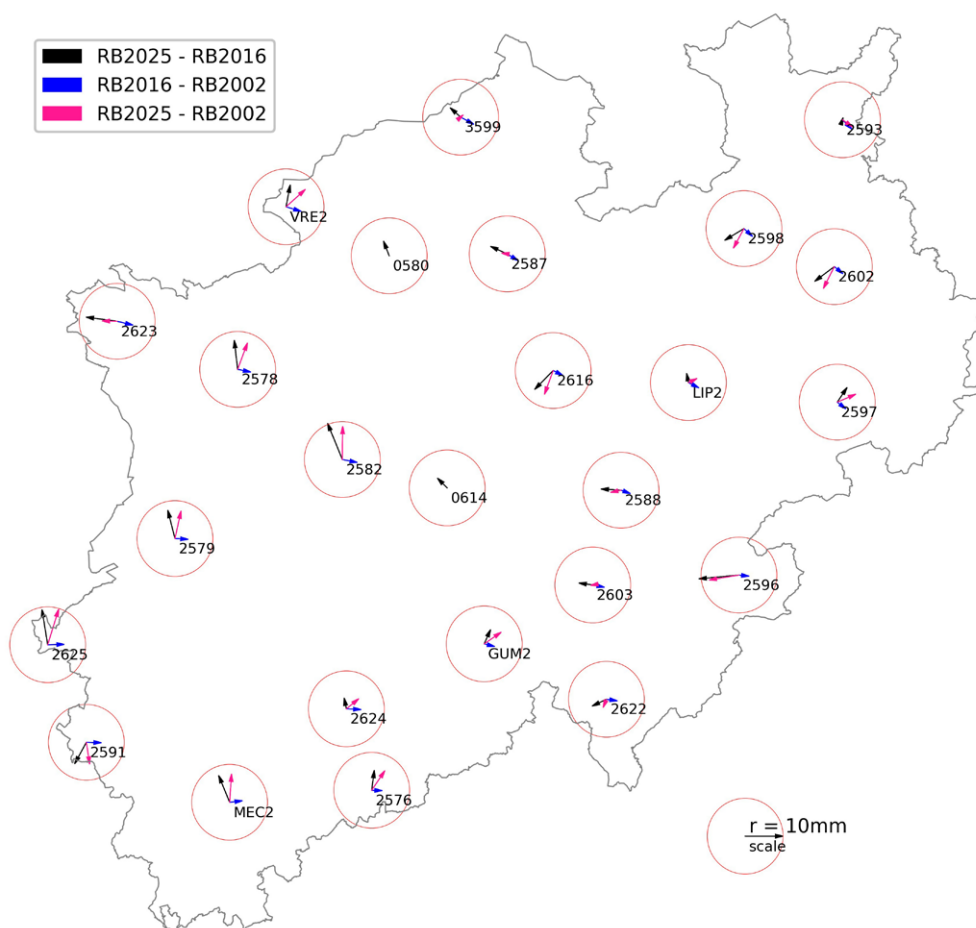


Abb. 8: Lagedifferenzen der Realisierungen ETRS89/DREF91 im RSN (für Nordrhein-Westfalen)

2016 eingetretenen Lagedifferenzen zur ursprünglichen Festlegung aus dem Jahr 2002 (Altiner 2005) sind in Blau gekennzeichnet.

Es ist festzustellen, dass die Veränderungen im Epochenvergleich einen Betrag von bis zu 1 cm erreichen. In der Summe beider Lagedifferenzen, in Rot dargestellt, liegt er ebenfalls in der gleichen Größenordnung. Hier kommt es zwar zu keinem ungünstigen »Aufschaukeln«, nur vereinzelt ist festzustellen, dass sich aktuelle und frühere Lagedifferenzen sogar teilweise aufheben. Schon jetzt ist zu erkennen, dass zukünftig von einer weiteren Vergrößerung der Summe der Lagedifferenzen auszugehen ist und dass daher nach einer zukünftigen Folgekampagne mit einem Überschreiten von Grenzwerten zu rechnen ist.

Wie bereits zur Einführung des Raumbezugs 2016 wurde für Nordrhein-Westfalen nun auch im Zuge der Einführung der Realisierung 2025 eine Transformation des Liegenschaftskatasters aufgrund eingehaltener größter zulässiger Abweichungen als nicht erforderlich erachtet. Durch das Vorliegen des Transformationsansatzes nach der NTV2-Methode (siehe Kap. 3.6) sind die Veränderungen dokumentiert und können nach Vorliegen kommender Realisierungen in eine zukünftig ggf. erforderliche Transformation einfließen.

Nutzern präziser Deformationsnetze wird mit dem bereitgestellten Transformationsdatensatz eine Möglichkeit an die Hand gegeben, die Kontinuität zu früheren Messungen zu wahren.

5 Zusammenfassung, Ausblick

Die Definition, Realisierung, Sicherung, Laufendhaltung und Bereitstellung des einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezugs sind Kernaufgaben der Landesvermessung. Zur Sicherung seiner Qualität sind die Koordinaten der geodätischen Festpunktfelder permanent zu überprüfen und bei Bedarf fortzuschreiben (Heckmann et al. 2015).

Nach der Erstvermessung im Jahr 2008 wurde das GGP-Rahmennetz in der Kampagne 2021 erstmals wiederholt beobachtet. Mit erheblichem logistischem und personellem Aufwand wurden die 251 GGP in mehreren Aufstellungen mit GNSS vermessen und anschließend einer einheitlichen Datenanalyse in zwei unabhängigen Rechenstellen unterzogen. Ergänzt um die Beobachtungen der Referenzstationen des SAPOS®-Netzes sowie einiger Stationen des EPN und des IGS stellt die finale Lösung Stationskoordinaten für insgesamt 608 GNSS-Messpunkte als neue amtliche Realisierung ETRS89/DREF91 (R2025) bereit.

In umfangreichen Untersuchungen wurden im Auswerteprozess verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung der Charakteristika der GNSS-Empfangsantennen betrachtet. Die Auswertung mit zwei Kalibrierbibliotheken aus Roboter- und Kammerkalibrierung zeigte die hohe Sensitivität der gegenwärtig verfügbaren geodätischen GNSS-Antennen auf das Messumfeld auf. Obwohl beide Kalibrierver-

fahren als grundsätzlich gleichwertig angesehen werden, wurde entschieden, die Kalibrierwerte der Roboterkalibrierungen für die finale Auswertung zu verwenden. Es wird daher für höchste Genauigkeitsansprüche empfohlen, GNSS-Antennen möglichst mit beiden Verfahren individuell zu kalibrieren. Zusätzlich zu den Koordinaten des Raumbezugs 2025 werden daher die verwendeten Antennenkalibrierungen bereitgestellt. Für maximale Konsistenz im Raumbezug wird empfohlen, diese für nachgeordnete Analysen zu verwenden.

Die Lagerung eines geodätischen Netzes hat erheblichen Einfluss auf die systematischen Eigenschaften der Realisierung. Für die Lagerung des Raumbezugs 2025 wurden verschiedene Varianten diskutiert. Die letztlich gewählte Variante stellt sicher, dass sich sowohl die Lagekoordinaten als auch die ellipsoidischen Höhen im Vergleich zu Realisierung 2016 nicht systematisch ändern. Damit bleibt die Konsistenz zu den weiteren Elementen GCG2016 und DHHN2016 gewahrt. Dies ist jedoch nur möglich, indem systematische Defizite der Realisierung 2016 bezüglich der übergeordneten Realisierungen ITRF2020 und ETRF2020 nicht aufgelöst werden (vgl. Kap. 3.1). Wie bisher ist auch die neue Realisierung 2025 ein statischer Raumbezug, der Stationsbewegungen nicht abbildet. Dies ist für höchste Genauigkeitsansprüche, z. B. zur Bestimmung von Bodenbewegungen, auf Dauer jedoch nicht ausreichend. Hier ist es zukünftig Aufgabe der AdV, auch unter Berücksichtigung der Diskussionen in Europa alternative Lösungen zu entwickeln. Erste Ansätze zum kinematischen Raumbezug werden im Arbeitskreis Raumbezug sowie auf europäischer Ebene im EUREF diskutiert.

Im Epochenvergleich zwischen der Kampagne 2008 und 2021 ergeben sich für einige GGP individuelle Koordinatenänderungen von bis zu 1 cm in der Lage und Höhe. Diese Änderungen beinhalten zwar einerseits noch Unsicherheiten in der Trendbestimmung aus nur zwei Kampagnen, geben aber andererseits bereits Hinweise auf ein tatsächliches Bewegungsverhalten. Die Ergebnisse bestätigen unmittelbar die Forderung der Richtlinie für den einheitlichen geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens der Bundesrepublik Deutschland, die Koordinaten des GGP-Rahmennetzes durch Wiederholungsmessungen in Abständen von maximal 12 Jahren zu überprüfen (AdV 2024). Die nächste Wiederholungskampagne ist somit spätestens für 2033 vorzusehen.

Die einheitliche Bereitstellung der neuen amtlichen Realisierung ETRS89/DREF91 (R2025) mit Wirkung vom 01.07.2025 in den amtlichen Nachweisen sowie die gleichzeitige Einführung in den SAPOS®-Diensten der Länder sowie dem PPP-RTK-Dienst SAPOS® | GEPOS™ des Bundes und der Länder gewährleistet die Homogenität der gesamten GNSS-Prozesskette als Teil der nationalen geodätischen Infrastruktur. Die Realisierung 2025 sichert damit für die nächsten Jahre die hohe Qualität des amtlichen geodätischen Raumbezugs in Deutschland.

Weitere Informationen

Zur GNSS-Kampagne 2021 befindet sich eine umfassende Dokumentation in Erstellung. Diese wird die eingesetzten Feld- und Handlungsanweisungen enthalten und auf der Webseite der AdV veröffentlicht werden. Die Messdaten, Feldebücher und Fotos der GNSS-Kampagne werden archiviert und können für eine wissenschaftliche Nachnutzung zur Verfügung gestellt werden.

Literatur

- AdV (2018): Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes und der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug 2016, Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, AK Raumbezug.
- AdV (2024): Richtlinie für den einheitlichen geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland (Rili-RB-AdV), Version 4.0, 05.07.2024.
- AdV (2025a): Transformationsparameter des Integrierten geodätischen Raumbezugs von ETRS89/DREF91 R2016 nach R2025. <https://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Integrierter-geodaetischer-Raumbezug/Transformationsparameter/ETRS89-DREF91-R2016-R2025/>, letzter Zugriff 08/2025.
- AdV (2025b): Transformationsparameter des Integrierten geodätischen Raumbezugs zwischen ITRF2020/IGb20 und ETRS89/DREF91 R2025. <https://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Integrierter-geodaetischer-Raumbezug/Transformationsparameter/ITRF2020-IGb20-ETRS89-DREF91-R2025/>, letzter Zugriff 08/2025.
- Ahrens, B., Böhmer, K.-H. (2010): NTV2-Gitterdateien zur Überführung katasterbezogener Datenbestände ins ETRS89. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 1/2010, 135. Jg., 16–20. <https://geodaesie.info/zfv/zfv-archiv/zfv-135-jahrgang/zfv-2010-1/ntv2-gitterdateien-zur-ueberfuehrung-katasterbezogener-datenbestaende-ins-etr89>, letzter Zugriff 08/2025.
- Altamimi, Z., Rebischung, P., Collilieux, X., et al. (2023): ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *J Geod* 97, 47 (2023). DOI: 10.1007/s00190-023-01738-w.
- Altamimi, Z., Collilieux, X. (2024): EUREF Technical Note 1: Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. Version March 4, 2024.
- Altiner, Y. (2005): Diagnoseausgleichung SAPOS®: Integration von SAPOS®-Stationen in internationale Netze. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 4/2005, 130. Jg., 209–217. <https://geodaesie.info/zfv/zfv-archiv/zfv-130-jahrgang/zfv-2005-4/diagnoseausgleichung-sapos-r-integration-von-sapos-r-stationen-in-internationale-netze>, letzter Zugriff 08/2025.
- Dawidowicz, K., Krzan, G., Wielgosz, P. (2023): Offsets in the EPN station position time series resulting from antenna/radome changes: PCC type-dependent model analyses. *GPS Solution* 27, 2023. DOI: 10.1007/s10291-022-01339-8.
- Dawidowicz, K. (2018): Differences in GPS coordinate time series resulting from the use of individual instead of type-mean antenna phase center calibration model. *Stud Geophys Geod* 62, 38–56. DOI: 10.1007/s11200-016-0630-1.
- Feldmann-Westendorff, U., Liebsch, G., Sacher, M., Müller, J., Jahn, C.-H., Klein, W., Liebig, A., Westphal, K. (2016): Das Projekt zur Erneuerung des DHHN: Ein Meilenstein zur Realisierung des integrierten Raumbezugs in Deutschland. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 5/2016, 141. Jg., 354–367. DOI: 10.12902/zfv-0140-2016.
- Görres, B., Kersten, T., Schön, S., Zimmermann, F., Wanning, L. (2018): Berücksichtigung von Antennenkorrekturen bei GNSS-Anwendungen (Neubearbeitung). DVW-Merkblatt 1-2018. https://dvw.de/api/assets/downloads/ev/publikationen/merkblätter/01_dvw-merkblatt_antennenkorrekturen-gnss_2018_v3.pdf, letzter Zugriff 08/2025.

- Krickel, B., Brünner, A., Däbel, R., Dick, H.-G., Göres, B., Mehlitz, B., Pape, W., Rietdorf, A., Roggenbuck, O., Romanyuk, T., Rülke, A., Sieland, A., Vaßmer, L., Westphal, K. (2025): Präzise Koordinaten für Deutschland: Teil 1 – Die bundesweite GNSS-Kampagne. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 3/2025, 150. Jg., 197–206. DOI: 10.12902/zfv-0517-2025.
- Liebsch, G., Rülke, A., Schwabe, J. (2018): Datumsrealisierung für die GNSS-Kampagne 2008 im ETRS89/DREF91. In: DHHN2016 – Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes und der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug 2016, AdV 2018, 165–177.
- Schirmer, U., Schwabe, J., Liebsch, G., Denker, H. (2018): Modellierung des Quasigeoids GCG2016. In: DHHN2016 – Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes und der einheitliche integrierte geodätische Raumbezug 2016, AdV 2018, 197–224.
- Wanning, L., Fettke, M. (2008): GNSS-Antennenwechsel auf SAPOS®-Referenzstationen in Rheinland-Pfalz. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, Heft 6/2008, 133. Jg., 375–380. <https://geodaesie.info/zfv/zfv-archiv/zfv-133-jahrgang/zfv-2008-6/gnss-antennenwechsel-auf-den-sapos-referenzstationen-in-rheinland-pfalz>, letzter Zugriff 08/2025.

Kontakt

Dr.-Ing. Bernd Krickel
Bezirksregierung Köln – Geobasis NRW
Scheidtweilerstraße 4, 50933 Köln

Andreas Brünner
Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
Alexandrastraße 4, 80538 München

Ralf Däbel | Laura Vaßmer
Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15, 39104 Magdeburg

Hans-Georg Dick
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
Kriegsstraße 103, 76135 Karlsruhe

Dr.-Ing. Barbara Görres
Zentrum für Geoinformationswesen der Bundeswehr
Kommerner Straße 188, 53879 Euskirchen

Dr.-Ing. Gunther Liebsch | Dr.-Ing. Axel Rülke | Dr.-Ing. Joachim Schwabe
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Karl-Rothe-Straße 10, 04105 Leipzig

Björn Mehlitz
Landesamt für innere Verwaltung – Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen
Lübecker Straße 289, 19059 Schwerin

Werner Pape | André Sieland | Anette Rietdorf | Kerstin Westphal
Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
Podbielskistraße 331, 30659 Hannover

Tetyana Romanyuk | Ole Roggenbuck
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Richard-Strauß-Allee 11, 60598 Frankfurt am Main

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