

Die erste bodengebundene SAPOS-Referenzstation in Sachsen-Anhalt

Von Heiko Sievers und Hans-Peter Bahnemann, Magdeburg

Zusammenfassung

Wenn ein Kind geboren wird, ist dies eigentlich nichts Besonderes, außer es ist das Eigene!

Als 2013 die Idee, die Vorteile einer klassischen Referenzstation und eines am Boden vermarkten Geodätischen Grundnetzpunktes zu vereinen, in Sachsen-Anhalt aufgegriffen wurde, war nicht abzusehen, mit welchen Geburtswehen so ein Vorhaben verbunden sein wird. Dieser Weg zu einer „SAPOS-Bodenstation 2.0“ wird nachfolgend beschrieben.

I Motivation

Als vor mehr als 25 Jahren die erste SAPOS-Referenzstation (RSP) in Sachsen-Anhalt in Betrieb genommen wurde, war der naheliegendste Ort einer Antenne und damit die Vermarktung eines Referenzstationspunktes an oder auf einem Gebäude. Aus damaliger Sicht gab es zahlreiche und gute Argumente für eine solche Entscheidung. Die wichtigsten Kriterien wie horizontfreie Sicht zwischen Satelliten und RSP, Strom- und Datennetzanschlüsse, Unterbringung des GNSS-Empfängers in geschlossenen Räumen wie auch unkomplizierte betriebliche Regelungen zur Unterhaltung dieser Infrastruktur auf den meist öffentlichen Gebäudegrundstücken sind schnell genannt. Seither eingerichtete Stationen befinden sich in Sachsen-Anhalt bis heute alle auf oder an Gebäuden.

Die Erfahrungen der letzten Jahre, erweiterte Anforderungen und Weiterentwicklungen des Qualitätsmanagements zeigten die Schwächen der bislang als idealer Standort betrachteten Gebäudestationen auf. Verwaltungsreformen und damit verbundene Standortverlagerungen von Behörden führten zu Eigentümerwechsel und neuen Ansprechpartnern. Dachflächen unterliegen oft Nutzungsänderungen (Photovoltaik, Mobilfunkanlagen). Die Gebäude werden energetisch saniert oder restauriert. Fast jede dieser baulichen Maßnahmen ist mit schlechteren Empfangsbedingungen verbunden, die in der Regel zu erhöhten Mehrweegeffekten führen. Viele Gebäudestationen weisen periodische oder unregelmäßige Instabilitäten auf, die heute im Koordinatenmonitoring eindeutig nachgewiesen werden können. Terrestrische Messverfahren zur lokalen Sicherung des Referenzstationspunktes auf den Gebäuden können nur eingeschränkt eingesetzt werden.

Die Realisierung und Bereitstellung des amtlichen geodätischen Bezugssystems der Lage ist zweistufig organisiert. Die Bereitstellung des amtlichen Bezugssystems der Lage erfolgt über die 18 sachsen-anhaltischen SAPOS-Referenzstationspunkte, die Realisierung des amtlichen Bezugssystems der Lage hingegen über die Geodätischen Grundnetzpunkte (GGP), über die Festpunkte des Sachsen-Anhaltischen Referenznetzes (SANREF) und des Deutschen Referenznetzes (DREF). Diese Punkte sind als Granitpfeiler im Boden vermarktet und liegen an einem für Satelliten abschattungsfreien und so meist von der Bebauung weit abgelegenen Ort. Die Bestimmung der Koordinaten der GGP erfolgt in bundesweiten (ca. alle 12 Jahre) oder regionalen GNSS-

Kampagnen, bei welchen die Punkte mindesten 2 mal 24 Stunden besetzt werden. So fanden 2008 die Erstmessung des GGP-Rahmennetzes bundesweit und 2013/2015 zwei mitteldeutsche „Verdichtungskampagnen“ zusammen mit Sachsen und Thüringen erfolgreich statt. In den beschriebenen GNSS-Kampagnen wurden die GGP und die RSP miteinander verknüpft. Diese Kampagnen haben gezeigt, dass die Koordinaten eines GGP mit einer kleineren Standardabweichung bestimmt werden können, als die eines RSP. Die Vermarkung eines GGP besitzt darüber hinaus eine bessere Langzeitstabilität. GGP können aber nicht 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr beobachtet und so permanent überwacht werden. Für die Bereitstellung des Raumbezugs sind sie somit nicht geeignet.

Eine ganz neue Qualität eines Festpunktes entsteht.

Wenn man nun die Vorteile eines GGP mit denen eines RSP vereint, entsteht eine ganz neue Qualität eines Festpunktes, quasi ein aktiver GGP. Die Idee einer bodengebundenen Referenzstation war geboren. So begannen die Vermessungsverwaltungen verschiedener Bundesländer und der Bund bodengebundene Referenzstationen an geologisch stabilen Orten zu errichten. Eine Bodenstation versprach die Verringerung von Mehrwegeeffekten und Signalstörungen und somit die Möglichkeit einer Bereitstellung von Daten in besserer Qualität. Ein Zugang zu der Bodenstation ist an 24 Stunden an 365 Tagen gegeben. Saisonale Effekte auf Grund der Eigenbewegung des Punktträgers sollten viel geringer ausfallen. Damit sind perspektivisch viel bessere Rückschlüsse z. B. auf großräumige oder regionale Bewegungen der Erdoberfläche möglich.

Dieser Artikel beschreibt den Weg von der ersten Idee über die Standortsuche, die Bauphase, die Hintergründe der Punktgruppengestaltung bis hin zu der feierlichen Eröffnung der ersten bodengebundenen Referenzstation in Sachsen-Anhalt.

2 Von der Idee zur Realisierung

2.1 Der Standort

In der Wertermittlung werden als die drei wichtigsten Merkmale eines Grundstückes mit einem Augenzwinkern „die Lage, die Lage und die Lage“ gerne aufgezählt. In fast allen Bundesländern sowie beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) fingen die Kollegen an, Bodenstationen zu konzipieren und einzurichten. Im Erfahrungsaustausch wurde schnell klar, dass die Standortsuche die größte Herausforderung darstellt, so auch in Sachsen-Anhalt.

Der entscheidende Faktor ist der Standort.

Bei der Suche nach einem geeigneten Standort für eine Bodenstation ist die Lage des Punktes von elementarer Bedeutung. Einige wesentliche Lagefaktoren seien hier genannt:

- ◆ langfristige Nutzungssicherung bei geringen Kosten
- ◆ unverbaubare Horizontfreiheit
- ◆ fern von störender Infrastruktur (Elektrische Anlagen, Antennen, Störquellen, Solaranlagen, Windräder usw.)
- ◆ Anschluss an das Stromnetz und an das Landesdatennetz (natürlich BSI-konform)
- ◆ geologische Stabilität
- ◆ gute Erreichbarkeit, aber nicht zu dicht zum Schwerlastverkehr
- ◆ Schutz gegen Vandalismus und Diebstahl usw.

Wenn alle Faktoren erfüllt sein sollen, wird deutlich, dass es nicht ganz ohne Kompromisse gehen kann.

In der Zwischenzeit zeichnete sich ab, dass der vom Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (LVerGeo) angemietete Standort in Staßfurt und damit auch die SAPOS-Referenzstation in Staßfurt, die im Jahr 1996 in Betrieb genommen worden ist, aufgrund des endenden Mietvertrages aufgegeben werden muss. Darüber hinaus wurde an dem RSP Staßfurt mittels des Koordinatenmonitorings eine kontinuierliche Bewegung in Richtung Nordost festgestellt (siehe Abb. 1). Der Bereich Staßfurt befindet sich in einem Kali-Abbaugbiet und ist großflächig von Bodenhebungen und -senkungen betroffen.



Abb. 1: Referenzstation Staßfurt als Geosensor (Koordinatenänderungen im Zeitraum von 2008 bis 2013) GeoBasisDE/LVerGeo LSA

Aber auch aus Sicht von Mehrwegeeffekten (Multipath-Index, MPI) entwickelte sich die Station zum Sorgenkind (siehe Abb. 11). Der MPI an der RSP lag nie unter 30, ein Wert, bei dem bereits Maßnahmen zur Minderung des Mehrwegeeffektes getroffen werden sollten. Werte von 0 bis 20 gelten für eine RSP als gut. Das bedeutet, dass die Verlegung der Station nicht nur wegen des endenden Mietvertrages, sondern ebenfalls aus fachlicher Sicht sinnvoll und notwendig war.

Damit konzentrierte sich die Suche auf den Raum Bernburg/Staßfurt, da das SAPOS-Netz genau dort wieder geschlossen werden musste. Das machte die Sache aber nicht einfacher, denn welcher Standort auch betrachtet wurde, es gab Störquellen oder er war schlichtweg „unterhöhlt“ bzw. geologisch instabil. Den Durchbruch brachte die Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB). Bei einer Fahrt zu einer Standorterkundung mit Kollegen des LAGB wurde ein Grundstück bei Hohenerxleben entdeckt, das ideal in das SAPOS-Netz passt, das durch das LAGB als geologisch stabil eingeschätzt wurde, eine gute Horizontfreiheit besitzt und gut anfahrbar war.

2.2 Lost Place

Bei dem Grundstück in Hohenerxleben handelte es sich um einen ehemaligen zivilmilitärischen Luftüberwachungsbunker der DDR-Zeit, der dem Verfall preisgegeben und nur noch von Geocachern, sogenannten Fußball-Fans und Abfallrowdys genutzt wurde (siehe Abb. 2), quasi ein vergessener Ort – ein sogenannter „Lost Place“.



Abb. 2: Lost Place –
ehemaliger
Luftüberwachungsbunker bei
Hohenerxleben
(Foto: Heiko Sievers)

Als nächstes wurden die weiteren Lagefaktoren bewertet.

- ◆ Strom- und Datennetzanbindung sind möglich, da unmittelbar entsprechende Trassen vorbeilaufen.
- ◆ Leitungsrechte wurden recherchiert und mit den Leitungsbetreibern Kontakt aufgenommen, Baulastflächen, die als nicht störend eingeschätzt wurden, abgesteckt.
- ◆ Ein GNSS-Test zeigte keine Störeinflüsse.

Damit waren die äußeren Lageanforderungen gegeben.

Zu diesem Zeitpunkt beschäftigte sich der SAPOS-Bereich mit den Themen zu 2G/4G (Einführung Galileo und Beidou), GNSS-Antennen, Mehrwegeeffekte oder RTK-Monitoring. Um praktische Tests durchzuführen, ist aber ein geeignetes Testfeld notwendig. Das vorhandene Testfeld war aber auf einem Dach und mit vielen technischen Einrichtungen in unmittelbarer Nähe mitten in Magdeburg aufgebaut, so dass z. B. die Trennung zwischen Einflüssen der Umgebung und der zu testenden Technik nur schwer möglich war. Ein Antennenfeld auf dem Dach bietet darüber hinaus nur begrenzte Möglichkeiten, GNSS-Messungen mit terrestrischen Messungen zu vergleichen. Andererseits stiegen die Zahl der Auszubildenden im LVerMGeo und damit der Bedarf nach einem Punktfeld für eine adäquate Ausbildung an moderner Technik. So entstand der Plan, nicht nur eine SAPOS-Referenzstation zu bauen, sondern gleichzeitig eine Test- und Ausbildungsstation für geodätische Messverfahren und Instrumente zu realisieren.

Das Grundstück würde den drei Anforderungen (RSP, Test- und Ausbildungsstation) genügen. Da als Eigentümer noch immer „Eigentum des Volkes“ im Grundbuch eingetragen war, beantragte das LVerMGeo für das Land Sachsen-Anhalt eine Vermögenszuordnung für dieses Grundstück. Dieses doch sehr komplexe Verfahren mit einer Vielzahl an beteiligten Stellen führte zum Erfolg. Binnen 12 Monaten wurde das Grundstück dem Land Sachsen-Anhalt zugeordnet und in die Verwaltung des LVerMGeo gegeben.

2.3 Vom Lost Place zum Hightech-Standort

In Sachsen-Anhalt wurde durch die Landesregierung 2012 beschlossen, das komplette Landesdatennetz einschließlich der aktiven Netz-Komponenten, der Internetübergänge und Rechenzentrumsanbindung vollständig zu erneuern und auf den höchsten Sicherheitsstandard zu bringen. Das Projekt läuft unter dem Namen „ITN-XT“. Von 2018 bis Ende 2019 sollten alle ca. 700 Landesinstitutionen (davon alle 18 Referenzstationen) bau- und sicherheitstechnisch ertüchtigt und netztechnisch vollständig umgestellt werden.

Die IT-Sicherheitsvorgaben des Landes, welche sich an den Standards des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) orientieren, sahen für einen ITN-Anschluss einen 8 m²-Raum, der klimatisiert und fernüberwacht werden muss, vor. Ein vom Platz ausreichender Schaltkasten, wie andere Länder oder der Bund dies realisieren, wurde von den Verantwortlichen des ITN-XT-Projektes kategorisch abgelehnt.

Die „Kröte“, dass ein kleines Gebäude neben der Bodenstation steht, war zu schlucken, aber die Planung, die Ausschreibung und die Ausführung des Baues einschließlich Außengelände war erst einmal gesichert und die angekündigten technischen Bedingungen werden besser sein, als die jeder klassischen Referenzstation, ein echter „Hightech-Standort“ war zu erwarten!

2.4 Der Bau

So klein auch ein Gebäude ist, die Organisation ist genauso aufwändig wie bei einem großen Gebäude.

Planung aller Gewerke, Vergabe, Bauabsteckung, Grundleitungen, Fundament, Rohbau, Dach, Türen, Elektro, Heizung, IT-Anbindung und Verkabelung, Außengelände u.v.m.



Abb. 3: Der Bau!
(Fotos: Heiko Sievers)

Da sich die Baumaßnahme verzögerte, fand die Grundsteinlegung erst im Januar 2020 statt. Die bodengebundene Referenzstation sollte rechtzeitig vor Beginn der AdV-GNSS-Kampagne 2020 betrieben werden, damit die Koordinaten der RSP endgültig in dieser Kampagne im Anschluss an das GGP-Netz bestimmt werden. Durch die einsetzende Corona-Pandemie wurden schlagartig alle Vorhaben zunächst gestoppt. Irgendwie ging der Bau dennoch weiter, auch wenn es immer wieder Rückschläge bei einzelnen Liefer- und Ausführungsterminen gab. Das Wichtigste war, dass die Referenzstation Ende April betrieben werden konnte, auch wenn noch viele kleine Baustellen offen waren. Dann kam der Lockdown und die AdV-GNSS-Kampagne 2020 wurde abgesagt.

Die IT-Sicherheit spielt eine immer größere Rolle und macht die Sache nicht einfacher.

3 SAPOS-Bodenreferenzstation 2.0

Die Station mit einer Fläche von ca. 300 m² soll nicht nur als RSP, sondern ebenfalls für Test- und Ausbildungszwecke genutzt werden. Neben den baulichen Besonderheiten wurden die Schwerpunkte bei der Planung auf ein lokales Überwachungsnetz, welches die terrestrische Überwachung von Punktbewegungen bei laufendem Betrieb ermöglicht, die Reduzierung von Mehrwegeeffekten und die Optimierung des RTK-Monitoring verstärkt gelegt. Diese Kombination von mehreren Funktionalitäten, demnächst ergänzt mit einem Cornerreflektor zur Verknüpfung von Fernerkundung und Raumbezug, stellt eine neue Qualität bei der Ausbildung einer SAPOS-Bodenstation dar – eine SAPOS Bodenstation 2.0.

3.1 Das Überwachungsnetz

Ziel war es, nivellistisch und klassisch mit Winkel und Streckenmessung die GNSS-Punkte überwachen zu können. Dazu war es notwendig, den Kopf der GNSS-Pfeiler so zu gestalten, dass auch während der Messung verschiedene Anzielungen exakt möglich sind. Dazu wurde eine Zentriereinrichtung (Grundplatte) für die Aufnahme eines DIN-Steckzapfens angefertigt und in ca. 10 cm über der Säulenoberkante angebracht, sodass direkt an der Unterseite des Zapfens ein kalibriertes Kugelprisma befestigt werden kann.

Abb. 4: Grundplatte zur Befestigung der Antenne, von Prismen oder eines Nivelliermaßstabes für Überwachungsmessungen

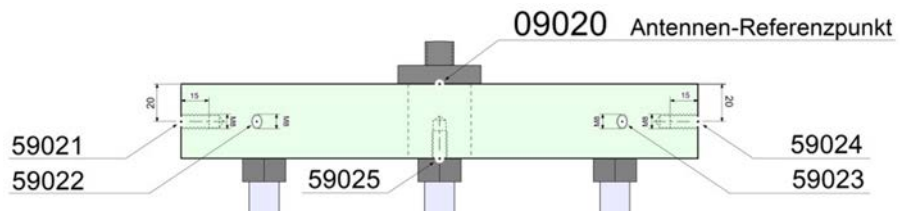


Abb. 5: Antennenhalterung
(Foto: Heiko Sievers)

Da die Zapfen durch eine feinmechanische Werkstatt hergestellt wurden, konnte eine Lageabweichung des Prismas zum Antennenreferenzpunkt von $< 0,3$ mm erreicht werden. An der Grundplatte wurden 4 weitere M8-Gewindebohrungen geschnitten, welche ebenfalls Kugelprismen aufnehmen können (Abb. 5). Dadurch kann die Eigenbewegung (Torsion und Biegung) der Säule bzw. der Antenne direkt aus dem Sicherungsnetz tachymetrisch und durch reine Winkelmessung gut beobachtet werden.

Um die Längenausdehnung zu beobachten, wurde in den Fundamenten jeweils ein Kopfbolzen zum Aufhalten einer Nivellierlatte eingebracht. An die seitlichen M8-Gewinde der Grundplatte kann anstatt der Prismen ein Nivelliermaßstab befestigt werden. So sind Änderungen der Säulenlänge hochgenau analysierbar.

Als Sicherungspunkte wurden drei Rammstäbe (ca. 18 m tief) mit zentrischer Marke und mit einem Schutzkasten eingebracht. Zwei Marken besitzen ihren höchsten Punkt in ca. 20 cm und eine Marke in ca. 80 cm Tiefe. Alle drei Punkte wurden mit einer Stativfußvermarkung versehen. Die Bestimmung der Streckenlängen zwischen den Sicherungspunkten erfolgte durch den Einsatz einer kalibrierten Basislatte und die Winkelmessung mittels eines Sekunden-Theodolits.



Abb. 6: Rammstabvermarkter Sicherungspunkt mit Schutzkasten und Stativfußvermarkung (Foto: Heiko Sievers)

Eine Besonderheit stellt ein weiterer Punkt in der Punktgruppe dar. Er ist vermarktet, ähnlich eines GGP, aber er wurde auf ein über 40 Jahre altes Beton-Fundament (2,3 m x 2,5 m x 2 m, ca. 27 t Beton) gesetzt. Er soll multifunktional genutzt werden. So besitzt er Stativfußvermarkungen in zwei Abständen. Einerseits die klassische GGP-Stativfußvermarkung und andererseits die für ein Großstativ, um z. B. in gleicher Höhe wie die RSP eine Antenne aufzubauen oder Dehnungsmessungen durchzuführen. Von einem Schutzkasten direkt neben der Vermarkung ist ein GNSS-Antennenkabel zum Gebäude unterirdisch dauerhaft verlegt, so dass der Empfänger im Gebäude betrieben werden kann. Des Weiteren soll dieser Punkt für Schweremessungen zur Verknüpfung von ellipsoidischen und physikalischen Höhen sowie als Referenzpunkt bei terrestrischen Messungen genutzt werden.

Darüber hinaus wurden weitere Punkte (Abb. 7) vermarktet, die hauptsächlich für die Ausbildung genutzt werden.

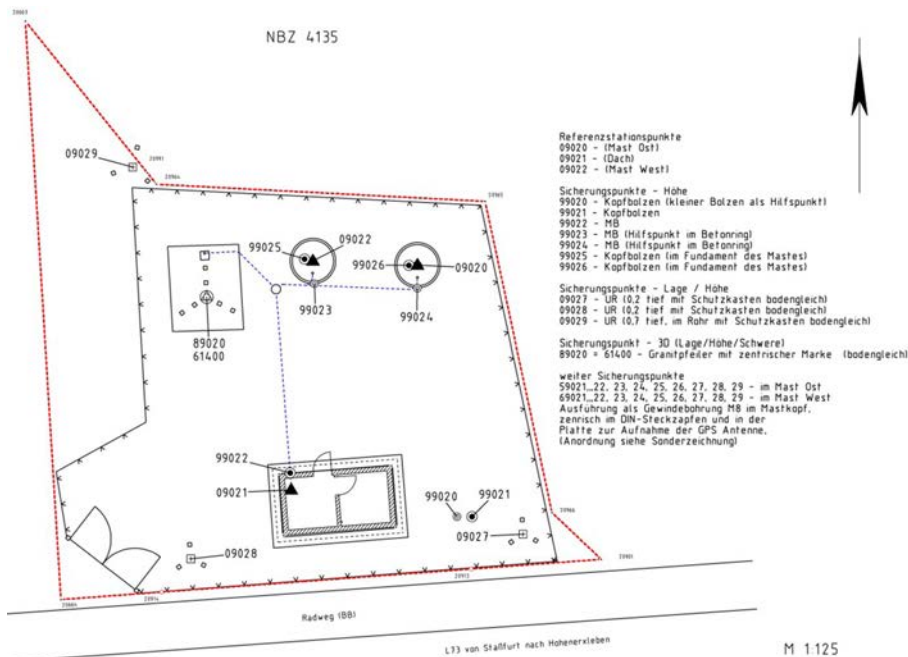


Abb. 7: Überwachungsnetz

3.2 Die besondere Vermarktung

Das Ziel aller SAPOS-Betreiber ist die Bereitstellung von verlässlichen GNSS-Daten höchster Qualität, d. h. vollständig und rauscharm. Bisher wurde viel zur Qualitätssicherung unternommen und SAPOS hat sich in vielerlei Hinsicht zu einem „Premiumdienst“ entwickelt. Doch auf ihren Lorbeeren haben sich die SAPOS-Betreiber noch nie ausgeruht und die Entwicklung wird immer weiter vorangetrieben. Das war auch das Ziel bei der Errichtung der Bodenstation bei Hohenerxleben. Der Fokus wurde dabei auf die Signalqualität gelegt. Ein Maß für die Signalqualität ist der Multipath-Index (MPI). Wenn GNSS-Signale auf verschiedenen Wegen das Antennenphasenzentrum erreichen, kommt es zu Überlagerungen und damit zu einem erhöhten und unerwünschten Messrauschen. Diese Datenverfälschung wird als Multipath- oder Mehrwegeeffekt bezeichnet. Tritt die Verfälschung bei Referenzstationen verstärkt auf, so hat sie einen negativen Einfluss auf die Initialisierungszeiten eines GNSS-Rovers oder auf die Berechnungsqualität einer virtuellen Referenzstation.

In Sachsen-Anhalt wurden so bereits seit einiger Zeit nicht nur einmal jährlich der MPI von allen Referenzstationspunkten berechnet, sondern das Detektieren und Visualisieren von Mehrwegeeffekten programmtechnisch regelmäßig ausgewertet und analysiert. Diese Betrachtungen und auch Untersuchungen anderer SAPOS-Betreiber zeigten, dass diese Effekte von äußeren Faktoren im Nahfeld und nicht immer leicht zu identifizierenden Reflektionsflächen im Umfeld verursacht werden. Wenn dieser Effekt auftritt, ist er schwer mathematisch bei einer Koordinatenberechnung zu berücksichtigen. Deswegen sollte bei der Einrichtung eines RSP ein Umfeld geschaffen werden, wo von vornherein dieser Effekt so gering wie möglich auftreten kann.

Den GNSS sind Frequenzen in den Bereichen 1.164 MHz bis 1.300 MHz (25,7 bis 23,1 cm; unteres L-Band) und 1.559 MHz bis 1.610 MHz (19,2 cm bis 18,6 cm; oberes L-Band) zugewiesen. Bei diesen Frequenzbändern handelt es sich um elektromagnetische Wellen. Sie können deshalb ähnlich dem gewöhnlichen Licht reflektiert und gebrochen werden und auch interferieren. Signale in diesem Frequenzband werden von Metallen und elektrischen Leitern reflektiert und durchdringen diese nur teilweise. Glas und einige Kunststoffe sind jedoch durchlässig (transparent) für diese Strahlung und absorbieren sowie reflektieren nur wenig oder gar nicht. Wenn also die Umgebung metallarm gestaltet und ein Punktträger aus Glas oder zumindest aus einem Glasverbundstoff geschaffen wird, sollten der Mehrwegeeffekt und die Interferenzen auf ein Minimum reduziert werden können.

Beim Bau des Gebäudes (einschließlich Außengelände) konnte natürlich auf Metall nicht vollständig verzichtet (Blitzableiter sind nun mal aus Metall), aber zumindest stark reduziert werden. So konnte z. B. der Zaun bis auf die Befestigungsschrauben und Türscharniere komplett metallfrei errichtet werden.

Glasfaser-Kunststoff – der ideale Werkstoff für eine Bodenstation

Als Punktträgermaterial sollte Glasfaser-Kunststoff (GFK) mit einem hohen Glasanteil genutzt werden. GFK hat die folgenden Eigenschaften:

- ◆ hohe Festigkeit und Formstabilität,
- ◆ UV-beständig, witterungsbeständig, nicht rostend, hohe chemische Beständigkeit,
- ◆ normal bis schwer entflammbar, thermisch isolierend,
- ◆ geringer Ausdehnungskoeffizient,
- ◆ nicht magnetisch, elektrisch isolierend, radardurchlässig,
- ◆ wartungsarm und äußerst langlebig, nachhaltig, umweltfreundlich und recyclebar.

Die Gestaltung des Punktes war wesentlich durch zwei äußere Rahmenbedingungen geprägt. Die geologische Voruntersuchung hatte ergeben, dass eine Gründungstiefe von 6 m ausreichend ist. Die Gründung erfolgte über eine Bohrung mit einem Durchmesser von ca. 90 cm, welche metallfrei mit GFK-Fasern bewehrtem Beton hergestellt wurde.

Der zweite gestaltungsbeeinflussende Fakt war, dass ein Gebäude („die zu schluckende Kröte“) mit 2,8 m Höhe in ca. 10 m Entfernung gebaut werden musste. Das bedeutet, dass eine Säulenhöhe von mindestens 3 m geschaffen werden musste, um keine Abschattungseffekte zu erhalten.

Eine Säulen-Höhe von 3 m bringt aber Effekte mit sich, die im Auge behalten werden müssen. Die thermische Dehnung einer GFK-Säule berechnet sich über den Längenausdehnungskoeffizienten (laut Hersteller ca. $7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ bei 20° C). Bei dieser Säulenhöhe und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen von angenommen 50° K (Winter -15° C , Sommer $+35^\circ \text{ C}$) beträgt die Säulen-Höhenvariation ca. 1 mm. Bei Säulen oder Masten aus Stahl ($11 \dots 13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) oder Beton ($12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) wäre die jahreszeitliche Höhenvariation mit fast 2 mm noch größer.

Radial beträgt laut Hersteller der Wärmeausdehnungskoeffizient $15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und eine Auslenkung oder Biegung wächst überproportional zur Höhe einer Säule. Allerdings wirkt hier nur die Temperaturdifferenz zwischen der der Sonne zugewandten und der abgewandten Seite. An Tagen mit einem sehr großen zeitlichen Temperaturgradienten in den Morgenstunden betrug diese Temperaturdifferenz bis zu 20° K . Theoretisch wäre bei diesen Werten eine Auslenkung von 7 mm zu erwarten. Messtechnisch konnte im oben beschriebenen Überwachungsnetz im Rahmen einer Projektarbeit eines Studenten terrestrisch eine Auslenkung aus der Mittellage von immerhin 4 mm bestätigt werden. Diese interessanten Messungen waren möglich, weil der Aufbau des Punkttträgers vor dem Winter erfolgte und so die GFK-Säulen längere Zeit für sich standen. Auf Grundlagen dieser Messung wurden die erforderlichen Isolierungsarbeiten genau konzipiert.

In der Abb. 8 ist die endgültige Gestaltung dargestellt. Die GFK-Säulen ragen bei einem Durchmesser von 38 cm und einer Wanddicke von 4 cm bis notwendigerweise 3 m über den Boden. Innerhalb des Fundaments sind die Säulen mit Einpresszement vollständig ausgegossen. Oberhalb des Fundaments sind die Säulen hohl, so dass das Antennenkabel innerhalb der Säule hochgeführt werden kann. Um die Unterhälfte der Säule wurde eine Perimeterdämmung angebracht, welche mit einem Rohr gegen Druck und Feuchtigkeit geschützt ist.

Als Beobachterplattform wurden 3 jeweils 50 cm hohe unbewehrte 2 m-Brunnenringe übereinander um die Säulen gesetzt und mit Rollkies ausgefüllt. Nebeneffekt aus thermischer Sicht ist, dass die Säulenlänge dadurch quasi halbiert wurde.

Als weitere Maßnahme wurde eine GFK-Manschette um die obere Hälfte der Säulen gebaut. Eine permanente Temperaturüberwachung rund um die Uhr wies nach, dass die Oberflächentemperaturdifferenz nach diesen Maßnahmen nicht größer als 6° K betrug. Zusammen mit der thermischen Halbierung der Säulenlänge erhält man die theoretische maximale Biegung von 0,5 mm. Terrestrisch konnte dieser Wert noch nicht überprüft werden. In den GNSS-Daten war nach dem vollständigen Ausbau ein täglicher thermischer Effekt nicht zu identifizieren.

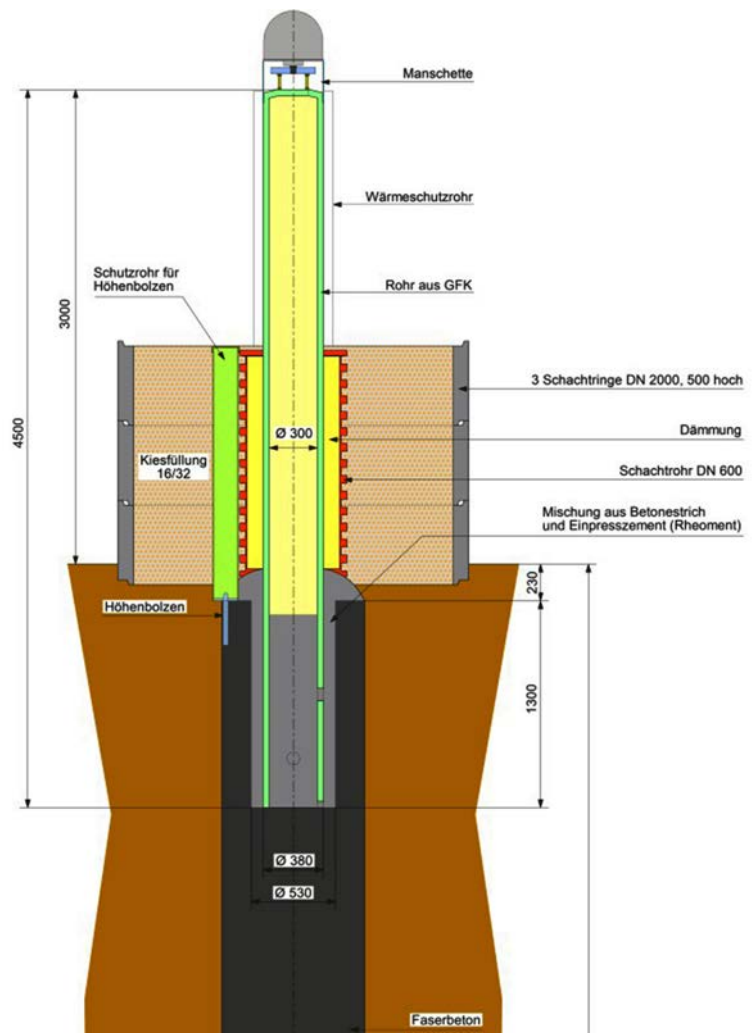


Abb. 8: Schnittdarstellung einer Bodenstation

3.3 Zwei oder drei und nicht nur eine

Ein wichtiger Punkt bei der neuen Qualität der Bodenstation in Hohenerxleben ist, dass die Bodenstation nicht als Solitär konzipiert, sondern von Anfang an als Punktgruppe entstehen sollte. Im Abschnitt 3.1 wurde beschrieben, dass neben dem RSP eine Reihe von Lage-, Höhen- und Schwerefestpunkten geschaffen wurden. Ziel war einerseits, eine unabhängige Station für das RTK-Monitoring zu haben, aber auch GNSS-Antennen und Empfänger zu testen. Deswegen wurde eine zweite Säule in exakt gleicher Bauform in 5 m Entfernung eingerichtet. Am Gebäude wurde zusätzlich in klassischer Bauweise eine Referenzstationsantenne, allerdings mit innen befestigter Antennenhalterung, montiert, so dass die Antennenhalterung nur wenige Zentimeter über das Dach ragt.

Somit befinden sich alle drei Antennen in etwa gleicher Höhe auf dem Gelände. Die Antennenreferenzpunkte (ARP) wurden untereinander bzw. aus dem Überwachungs- und Sicherungsnetz terrestrisch exakt bestimmt. Alle Punkte des Überwachungsnet-

zes und die 3 ARP wurden darüber hinaus mittels Präzisionsnivellement in Relation gesetzt. Dies bietet in Zukunft interessante Test- und Untersuchungsmöglichkeiten und zeigte schon erste Erfolge. Messungen auf der zweiten Säule mit einer zehn Jahre alten AR25-Antenne zeigten, dass die ebenfalls zehn Jahre alte Absolutkalibrierung einen relativen Höhenfehler von 9 mm produzierte. 9 mm sind eine Größenordnung, die nach einem Antennenwechsel schon mal vorkommen kann. Weil aber drei Antennen in maximal 10 m Entfernung verglichen werden konnten und die Höhe untereinander bekannt war, konnte dieser Fehler erkannt und der zehn Jahre alten AR25 zugeordnet werden.



Abb. 9: Höhenbestimmung des ARP (Foto: Michael Hirsch)

Die ersten Erfahrungen beim „Warmlaufen“ der Punktgruppe haben das enorme Potenzial einer RSP-Punktgruppe bereits angedeutet. Die Vorteile für das RTK-Monitoring, die Erhöhung der Ausfallsicherheit, die Möglichkeit eines kontrollierten Antennenwechsels (usw.) wurden für diesen Artikel noch nicht einmal betrachtet. Da der Aufwand (auch der Kostenaufwand) für eine zweite Vermarkung in unmittelbare Nähe nur gering höher ist, sollte eine zukunftsorientierte SAPOS-Bodenstation 2.0 mindestens zwei unabhängige, gut überwachbare Antennenträger besitzen.



Abb. 10: Redundante Stationsvermarkung (Foto:Tino Menge)

3.4 Das erste Ergebnis

Dass sich die Einrichtung der ersten Bodenreferenzstation in Sachsen-Anhalt gelohnt hat, zeichnet sich heute schon ab. Die beschriebenen Erfahrungen waren bislang äußerst positiv und sehr lehrreich und bieten eine gute Basis für die Planung und Errichtung von weiteren Bodenstationen in Sachsen-Anhalt.

Die größte Besonderheit der neuen Station ist sicher der konsequente Versuch, metallarm, also mit ansonsten ungewöhnlichen Materialien, zu arbeiten. Deswegen sei ein erster Blick auf die Analyse der Berechnung des MPI bzw. des Mehrwegeeffektes gestattet. Der RSP Hohenerxleben ersetzt den RSP Staßfurt, so sollen im Folgenden diese beiden Punkte verglichen werden.

Der MPI lag in Staßfurt in den letzten Monaten bei Werten zwischen 30 und 35. Damit fiel der RSP eher in eine als schlecht eingestufte Kategorie. Der Punkt in Hohenerxleben setzt sich im Vergleich aller RSP in Sachsen-Anhalt in seiner ersten Woche sofort an die Spitze für den besten Punkt mit einen MPI-Wert von 0 (!), aber auch die nächsten Wochen blieb der MPI bei überdurchschnittlichen Wert von 2.

In Abb. 11 ist der graphische Vergleich der beiden Stationen entsprechend den ausführlichen Werten der WaSoft-Berechnung dargestellt. Von WaSoft werden Satelliten in einer Elevationsmaske von 0° bis 50° berücksichtigt und die Daten von einer Woche zusammengefasst. Die graphische Darstellung zeigt nur die Richtung, in welcher Satelliten mit erhöhtem Mehrwegeeffekt detektiert wurden. Rote Flächen verweisen auf besonders schlechte Werte. Wie die Abb. 11 zeigt, lassen die Werte für die Station Hohenerxleben für die Zukunft viel erhoffen!



Abb. 11: Vergleich der Mehrwegeeffekte der Standorte Staßfurt und Hohenerxleben an Hand des MPI.

Eine neue Qualität einer Referenzstation ist entstanden – eine SAPOS-Bodenstation 2.0!

4 Der Minister kommt!

Im Bereich der Grundlagenvermessung fieberten alle Bundesländer auf das Jahr 2020 zu, da die bundesweite Wiederholungsmessung der AdV-GNSS-Kampagne von 2008 nach 12 Jahren anstand. Bei der Kampagne sollten alle 250 Rahmennetz-GGP und alle 272 SAPOS-RSP einbezogen werden. In Sachsen-Anhalt war geplant, dass für die Punkte der Bodenstation Hohenerxleben ebenfalls die koordinatenmäßige Bestimmung in der AdV-GNSS-Kampagne erfolgen sollte. Diese besondere Kampagne wurde natürlich auch im politischen Raum wahrgenommen und unterstützt. Der Minister für Landesentwicklung und Verkehr des Landes Sachsen-Anhalt, Thomas Webel, wollte es sich nicht nehmen lassen, die Kampagne für Sachsen-Anhalt selbst zu eröffnen. Als besonderer Ort wurde die Bodenstation in Hohenerxleben gewählt. Leider fiel das Land in den sogenannten „Lockdown“. Kampagne und Ministerbesuch mussten abgesagt werden.

Minister Webel wollte mit einem Besuch der 1. bodengebundenen SAPOS-Referenzstation nicht bis zur neuangesetzten GNSS- Kampagne 2021 warten. Gerade als Verkehrsminister liegt ihm SAPOS in seinem Ressort sehr am Herzen.

Da der Bau optisch für den „Normalbürger“ schon sehr ungewöhnlich ist und auf eine gute Nachbarschaft großen Wert gelegt wurde, sollte eine Infotafel zur offiziellen Einweihung der Station aufgestellt werden.

Coronabedingt war eine feierliche Eröffnung mit allen beteiligten Bauleuten und Nachbarn nicht möglich. So sollte nur eine mediale Veranstaltung mit Pressevertretern stattfinden, so dass dieses bedeutende Ereignis zumindest in den zeitgenössischen Medien verfolgt werden kann. Minister Webel war sofort bereit, im Rahmen einer Presseveranstaltung seines Ministeriums die Info-Tafel einzuweihen und der offiziellen Eröffnung der Station einen würdigen Rahmen zu geben.

Am 7.9.2020 war es dann soweit. Die großen sachsen-anhaltischen Tageszeitungen und selbst lokale Fernsehsender kamen. Minister Webel begrüßte alle Medienvertreter zur Eröffnung der ersten bodengebundenen SAPOS-Referenzstation in Sachsen-Anhalt. Er erläuterte, was das Besondere an dieser Station ist. Dabei stellte er die Aufgabe von SAPOS vor und seine Bedeutung für die Verwaltung und Wirtschaft. Besonders betonte der Minister, „dass die Satellitensignale für Vermessungen von Grundstücken genutzt werden, aber auch für die Ingenieurvermessung im Straßenbau und natürlich insbesondere für die Landwirte, wo es um cm-genaue Fahrten der Landmaschinen geht...“.

Dann übergab der Minister das Wort an Jörg Spanier, dem Präsidenten des Landesamtes für Vermessung und Geo-



Abb. 12: Minister Webel (r) lässt sich die Funktionsweise einer Referenzstation erläutern. (Foto: Michael Hirsch)



Abb. 13: Minister Webel und Präsident Spanier enthüllen die Info-Tafel. (Foto: Michael Hirsch)

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de

SACHSEN-ANHALT
#modernendenken

SAPOS®-Referenzstation Hohenexleben

Geographische Koordinaten: Breite: 51° 51' 02,3" N Länge: 11° 38' 15,9" E Höhe: 78,38 m ü. NNH

Die SAPOS®-Referenzstation Hohenexleben stellt im Stationsverbund den amtlichen geodätischen Raumbezug bereit. Sie wird von der Vermessungs- und Geoinformationsbehörde des Landes Sachsen-Anhalt im Rahmen des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung SAPOS® betrieben. Die Station ist gleichzeitig Test- und Ausbildungsgestation für geodätische Messverfahren und Instrumente.

SAPOS® basiert auf einem deutschlandweiten Netz von Referenzstationen. Diese Stationen zeichnen permanent Signale der globalen Satellitennavigationssysteme (GPS, GLONASS, Galileo) auf. Die Signale dienen der zentimetergenauen Positionierung und werden an eine Vielzahl unterschiedlicher Nutzer weitergegeben.

Wesentliche Anwendungsfelder sind die Sicherung des Eigentums, Vermessungen im Rahmen von Baumaßnahmen, die präzise und nachhaltige Flächenbewirtschaftung in der Landwirtschaft und die Erfassung von Bodenbewegungen.

Weitere Informationen zu SAPOS® erhalten Sie hier:
Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Telefon: 0391 567-8055
E-Mail: service.lvermgeo@sachsen-anhalt.de
www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de

07.09.20 7.9.2020

information Sachsen-Anhalt. Spanier erläuterte den Vertretern der Politik und den Journalisten ausführlich die Grundlagen der Satellitennavigation und die Rolle von SAPOS in diesem Zusammenhang. Er lobte die gute Zusammenarbeit zwischen den Vermessungsverwaltungen aller Bundesländer und erläuterte weiter, wo ein Nutzer SAPOS-Daten beziehen kann. Besonders beeindruckt waren die Medienvertreter, als Spanier erwähnte: „Wir sind also in der Lage, mit diesen 270 Stationen bundesweit, den 18 hier in Sachsen-Anhalt und den vielen Satelliten, die auch jetzt in diesem Augenblick über uns sind, die Genauigkeit hier an diesem Punkt, wo ich jetzt bin, auf einen Zentimeter genau zu bestimmen.“

Auch der Oberbürgermeister der Stadt Staßfurt, Sven Wagner, war gekommen und hob hervor, dass er es gut findet, dass in Staßfurt Ortsteil Hohenerxleben eine solche Station aufgebaut wurde.

Dann war es endlich soweit. Minister Thomas Webel und Präsident Jörg Spanier enthielten gemeinsam in einem feierlichen Akt die Info-Tafel. Beide signierten als bleibende Erinnerung eine Miniaturausführung der Info-Tafel.

Mit der in Hohenerxleben errichteten bodengebundenen SAPOS-Referenzstation ist ein großer Schritt in der Qualitätsverbesserung der amtlichen satellitengestützten Positionsbestimmung erreicht. Die gewonnenen und noch zu gewinnenden Erkenntnisse und Erfahrungen sollen in die Errichtung weiterer drei bis vier SAPOS-Bodenstationen in Sachsen-Anhalt einfließen. Am Ende hat das erste EIGENE Kind schnell laufen gelernt und ist dann doch schon mächtig erwachsen geworden.

Anschrift der Autoren *Heiko Sievers und Hans-Peter Bahnemann*

Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15
39104 Magdeburg
E-Mail: Heiko.Sievers@sachsen-anhalt.de
Hans-Peter.Bahnemann@sachsen-anhalt.de

Literaturverzeichnis

AdV 2014:

Richtlinie für den einheitlichen integrierten geodätischen Raumbezug des amtlichen Vermessungswesens in der Bundesrepublik Deutschland vom 25.04.2014

MLV 2014:

Einrichtung, Nachweis und Erhaltung von Festpunkten für den Geodätischen Raumbezug (Raumbezoguserlass) Erl. des MLV vom 15.12.2014 – 42.21-23100 MBl. LSA 2015, Nr. 5, S. 114