

Geodätische Grundlagenvermessung als Werkzeug in der Naturgefahrenanalyse

JÜRGEN OTTER (1), ERICH IMREK (1) & SANDRA MELZNER (2)

Einleitung

Moderne Messverfahren erlauben heute das Monitoring von Bewegungsraten gravitativer Massenbewegungen im Millimeterbereich. Die Beobachtungsdaten erlauben dabei aber meist nur einen Blick auf einen relativ kurzen Zeitraum, eine Abschätzung des Gefahrenpotenzials aus diesen Zeitreihen lässt meist großen Interpretationsspielraum zu. Abhilfe können hier die Festpunkte des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) schaffen, von denen einige Punkte auf eine bis zu hundert Jahre alte Geschichte der Landesvermessung zurückblicken können.

Im Zuge eines Projektes im BEV zur Bestimmung von Koordinaten der Festpunkte im modernen europäischen Bezugssystem ETRS89 werden nicht nur alle bisher gemessenen GPS-Vektoren herangezogen, sondern auch sämtliche seit 1906 gemessenen terrestrischen Beobachtungen, also Richtungs-, Höhenwinkel- und Streckenmessungen. Bei der Auswertung im Bezugssystem ETRS89 werden daraus für jeden Punkt alle verfügbaren Messungen aufbereitet und einem Netzausgleich zugeführt. Widersprüche bei der Berechnung zwischen den einzelnen Messepochen können dabei, nach Ausschluss möglicher Fehlerquellen, einen Hinweis auf eine physikalische Änderung der Punktstabilisierung geben. Analysiert man die Ergebnisse der einzelnen Epochen, kann man daher Rückschlüsse auf eventuelle Bewegungsraten gravitativer Massenbewegungen ziehen, sowie auch deren Größenordnung in Lage und Höhe angeben.

Das österreichische Festpunktfeld

Festpunkte sind Punkte mit einer dauerhaften Stabilisierung, welche für Vermessungen aller Art als Bezugspunkte dienen können. Für Pläne im Kataster mit Urkundencharakter ist die Verwendung der nächstgelegenen Festpunkte und derer Koordinaten sogar rechtlich bindend. Der Begriff Festpunkt deutet schon darauf hin, dass die Punkte grundsätzlich als unveränderbar an-

gelegt wurden. Diese Unveränderlichkeit ist aber nicht immer gegeben. Einerseits kommt es zur Beschädigung oder Verlust mancher Punkte durch Fremdeinwirkung, andererseits kann die Punktlage auch durch natürliche Faktoren wie gravitative Massenbewegungen beeinflusst werden.

Vor dem Entstehen der ersten Satellitennavigationsysteme (GNSS) wie GPS wurden die Festpunkte des BEV ausschließlich aus terrestrischen Beobachtungen bestimmt. Dazu zählen hauptsächlich Richtungsmessungen, Höhenwinkel und später, ab den späten 1970er Jahren, auch Streckenbeobachtungen mit elektronischen Distanzmessgeräten. Die Punktbestimmung erfolgte durch Aufbau eines rechenbaren Netzwerkes von Festpunkten, eines so genannten Triangulierungsnetzes. Dabei werden von jedem Punkt die Beobachtungsgrößen zu benachbarten Punkten gemessen. Die Festpunkte mussten daher stets so angelegt werden, dass alle notwendigen Sichtungen zu den benachbarten Punkten möglich waren. Während man dazu im Flachland zum Teil auf künstlich geschaffenen Hochständen messen musste, konnten in gebirgigen Regionen direkt die Gipfellenen für den Aufbau des Netzwerkes genutzt werden. Bei der Verdichtung des für die Vermessungsaufgaben interessanteren besiedelten Talgrundes wurden viele Punkte auch in die Berghänge gesetzt, um einerseits die Verbindung zu den Tallagen herstellen zu können und andererseits für Folgemessungen sehr gut einsehbare Punkte zu erhalten. Vor allem diese Punkte in den Hanglagen ermöglichen heute vielfach die Erkennung von gravitativen Massenbewegungen aus Messdaten.

Mit dem Aufkommen satellitengestützter Messverfahren wie GPS war es erstmals möglich, Koordinaten an Triangulierungspunkten abzuleiten, ohne zwingend eine Sichtverbindung zu benachbarten Punkten zu haben. Diese Verfahren lieferten zudem auch eine wesentlich homogenere Genauigkeit in den Koordinatenwerten. Dadurch

(1) Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Schiffamtsgasse 1–3, 1020 Wien. grundlagen@bev.gv.at

(2) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien.

konnten auch erstmals die grundsätzlich bekannten Schwächen des historisch gewachsenen Systems der Landesvermessung MGI erkannt werden. Dieses Bezugssystem MGI mit der Abbildung Gauß-Krüger bildet heute noch, bis zu einer geplanten Ablösung durch das europäische System ETRS89, das offizielle und rechtlich vorgegebene Koordinatensystem in der Katastervermessung.

Seit Beginn der 1990er Jahre werden satellitengestützte Messverfahren im BEV eingesetzt und ersetzen mittlerweile vollständig das Messen von Triangulierungsnetzen mit den klassischen Verfahren der Richtungs- und Streckenmessung.

Homogenisierung des Festpunktfeldes 1.–5. Ordnung

Derzeit ist die Abteilung Grundlagen des BEV damit befasst, für alle Festpunkte des österreichischen Festpunktfeldes 1.–5. Ordnung, ca. 70.000 Triangulierungspunkte (TP), Koordinaten im System ETRS89 zu bestimmen. Aufgrund der Homogenität dieses modernen Koordinatensystems sprechen wir hier auch von der Homogenisierung des Festpunktfeldes. Diese Arbeiten sind derzeit zu ca. 50 % abgeschlossen, vorwiegend im westlichen Teil von Österreich. Die Arbeiten in Vorarlberg, Tirol und Osttirol sind zur Gänze erledigt, Salzburg und Kärnten sind kurz vor der Fertigstellung. Die Auswertungen in den restlichen Bundesländern werden bis Mitte 2019 abgeschlossen sein.

Grundlage für die Realisierung des europäischen Bezugssystems ETRS89 in Österreich bilden die Permanentstationen des österreichischen Satellitenpositionierungsdienstes APOS (Austrian Positioning Service) (HÖGGERL et al., 2007) sowie eine große Anzahl von Punkten mit GPS-Langzeitbeobachtungen. Insgesamt ergeben ca. 430 Punkte das so genannte österreichische Grundnetz, das als Ausgangsnetz für alle weiteren Punktbestimmungen anzusehen ist. Ein permanentes Monitoring der Realisierung von ETRS89 in Österreich findet über regelmäßige Auswertungen der Permanentstationen von APOS statt (TITZ et al., 2010).

Alle ETRS89-Koordinaten der österreichischen Festpunkte werden von diesem Grundnetz abgeleitet. Etwa die Hälfte aller Triangulierungspunkte (ca. 35.000) wurde von 1989 bis 2012 mit GNSS-Methoden eingemessen. Unter Anwendung differenzieller Messverfahren wurden Vektoren zwischen benachbarten Punkten bestimmt und mit diesen Beobachtungen in einem Netzaus-

gleich Koordinaten abgeleitet. Ausgehend von den Koordinaten der Punkte des Grundnetzes wurden mit dieser Methode ETRS89-Koordinaten für alle gemessenen Punkte bestimmt. Für die verbleibenden 35.000 Triangulierungspunkte wurde ein anderer Weg eingeschlagen: Diese Punkte erhalten Koordinaten im Bezugssystem ETRS89 durch Auswertung historischer terrestrischer Messdaten.

Bewegungsvektoren aus historischen terrestrischen Beobachtungen

Sämtliche seit 1906 gemessenen terrestrischen Beobachtungen, also Richtungs-, Höhenwinkel- und Streckenmessungen, wurden vor einigen Jahren in eine Beobachtungsdatenbank eingepflegt. Für die Auswertung im Bezugssystem ETRS89 werden daraus für jeden Punkt alle verfügbaren Messungen aufbereitet und einer Netzberechnung zugeführt. Ausgangspunkte in diesen Berechnungen sind die mit GNSS bestimmten Triangulierungspunkte. Sind die terrestrischen Messdaten für einzelne Punkte unzureichend, werden für diese Punkte, im Rahmen der jährlichen Feldarbeit der Abteilung Grundlagen, zusätzliche Messungen mit dem APOS-Echtzeitpositionierungsdienst vorgenommen.

Etwa 70 % aller Festpunkte wurden im Laufe der Zeit vom BEV mit terrestrischen und/oder GPS-Messungen mehrfach bestimmt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Anzahl der TP in Prozent mit einer bestimmten Anzahl an Übermessungen.

Anzahl der Übermessungen	Anzahl TP (%)
1 x	30 %
2 x	20 %
3 x	15 %
4 x und öfter	35 %

Tab. 1.
Anzahl der Übermessungen der Triangulierungspunkte (TP).

Die gesamten Messungen aller Epochen eines Punktes werden in einer Netzberechnung aufbereitet. Ergeben sich bei der Berechnung Widersprüche zwischen den einzelnen Epochen, ist dies vielfach ein Hinweis auf eine Lageveränderung des Punktes. Nach Ausschluss möglicher Fehlerquellen werden die Beobachtungen der einzelnen

Epochen voneinander abgetrennt und für jede Epoche eine eigene Koordinate im System ETRS89 bestimmt. Aus den erhaltenen unterschiedlichen Koordinaten können in der Folge für den betroffenen Punkt Vektoren zwischen den Epochen berechnet werden. Diese berechneten Vektoren erlauben Rückschlüsse auf eine Lageänderung durch gravitative Massenbewegungen und können als Bewegungsvektoren aufgefasst werden. Aussagen über Bewegungsraten können so rückwirkend bis zum Jahr der Entstehung des betroffenen Punktes getroffen werden.

Interpretation der Bewegungsvektoren

Im BEV werden die Festpunkte als Punkte mit Bodenbewegungen klassifiziert, wenn einerseits Messfehler oder anders geartete Identitätsverluste ausgeschlossen werden können und andererseits Messergebnisse aus mindestens zwei Epochen vorliegen. Der resultierende vermeintliche Bewegungsvektor muss über alle Epochen eine klare Tendenz zeigen, auch in der Höhenkomponente. Zusätzlich wird mit einem groben Geländemodell überprüft, ob die Bewegungsrichtung plausibel erscheint. Mit diesem Verfahren wurden bis dato bei ca. 500 Punkten Bodenbewegungen

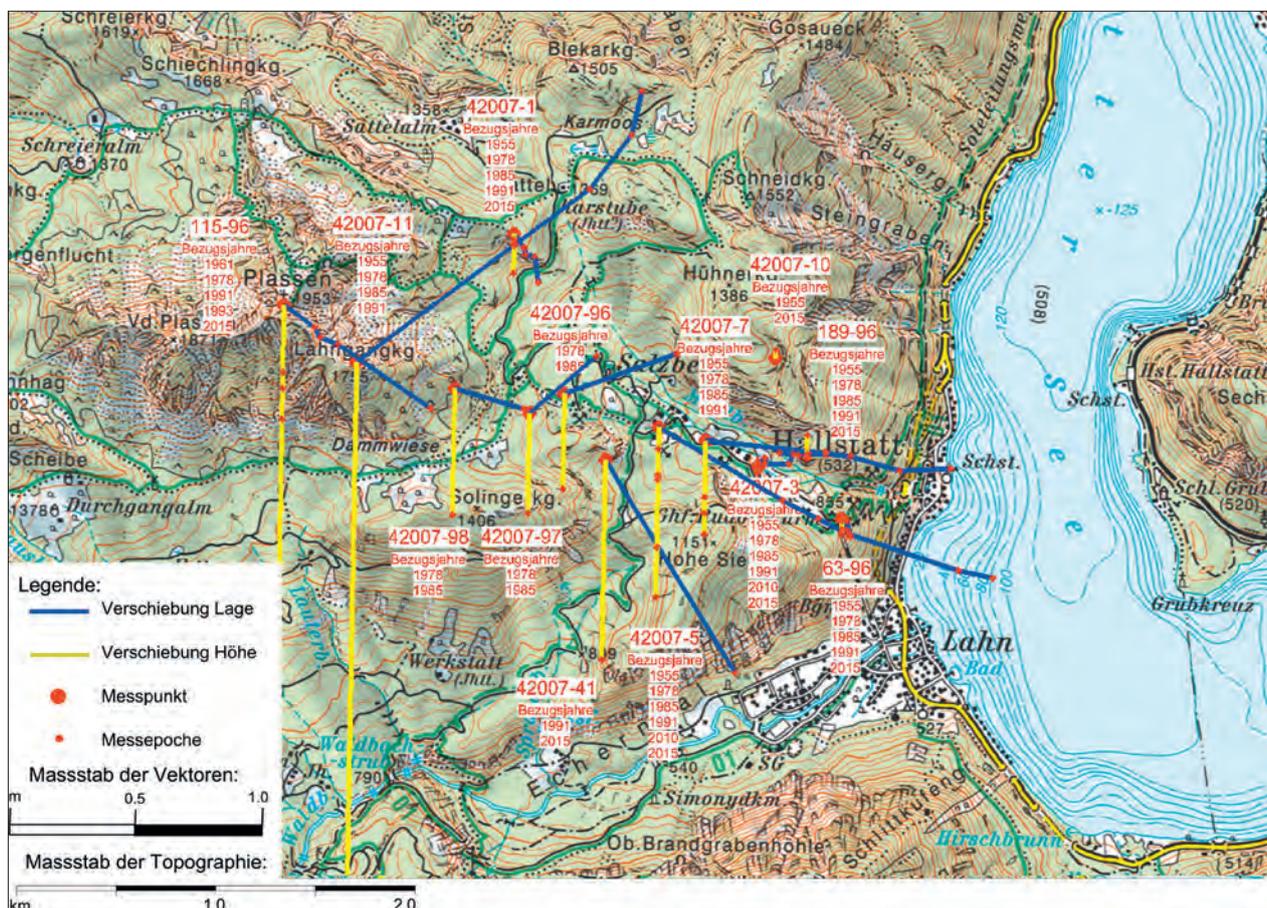
erkannt. Diese Punkte sind in der Datenbank mit dem Punkthinweis „R“ versehen, um den Vermessungsbefugten bei Verwendung der Koordinaten auf diesen Umstand hinzuweisen.

Die Festpunkte des BEV in der Naturgefahrenanalyse

Wie in Tabelle 1 gezeigt, weisen ca. 70 % aller Triangulierungspunkte Mehrfachmessungen auf. An diesen Punkten lassen sich im Zuge der Berechnungen der Homogenisierung eventuelle Lageänderungen erkennen und in Form von Vektoren angeben. Umgekehrt können aber auch Punkte mit Mehrfachmessungen als stabil betrachtet werden, wenn sich bei den Berechnungen die Daten aus allen Epochen widerspruchsfrei zusammenfügen lassen. Für die Naturgefahrenanalyse sicherlich eine ebenso relevante Information. Weiteres Potenzial über Aussagen hinsichtlich Bodenbewegungen würden auch jene 30 % der Punkte bieten, welche bisher nur einmalig bestimmt wurden. Bei

Abb. 1.

Darstellung der Bewegungsraten im Bereich Plassen und Salzburg-Hochtal (aus OTTER, 2015).



95 % dieser Punkte liegt die Bestimmung schon mehr als zehn Jahre zurück, sodass eine neuerliche Koordinatenbestimmung mit dem APOS-Echtzeitpositionierungsdienst sinnvoll erscheint und auch angestrebt wird.

Im Rahmen einer multidisziplinären Bearbeitungsstrategie wurden von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) unterschiedliche Methoden angewendet, um das geologische Gefahrenpotenzial im Bereich Hallstatt bewerten zu können (siehe MELZNER et al., 2017). Neben Methoden aus Geologie und Geophysik wurden auch die Auswertungen von Bewegungsvektoren in diesem Gebiet zur Untersuchung der Bewegungsraten der gravitativen Massenbewegungen heran-

gezogen. Im Bereich des Untersuchungsgebietes verfügt das BEV über zahlreiche Messpunkte, welche seit 1961 mehrmals übermessen wurden. Zusätzlich wurde die Kooperation zwischen GBA und BEV zum Anlass genommen, die Punkte im Jahr 2015 mit dem APOS-Echtzeitsystem im Bezugssystem ETRS89 erneut zu beobachten. Die einzelnen Beobachtungsepochen der Messpunkte wurden gegenübergestellt und auf diese Weise Verschiebungsvektoren in Lage und in Höhe berechnet. Daraus ergaben sich über den Zeitraum 1961 bis 2015 zum Teil beachtliche Bewegungsvektoren der einzelnen Messpunkte.

Nachfolgend eine Zusammenstellung der Messereignisse und Bewegungsraten (Tab. 2, Abb. 1).

Punktnummer	Mess-jahr	Zeitraum (Jahre)	Lage (cm)	Richtung	Höhe (cm)	Lage (cm/Jahr)	Höhe (cm/Jahr)
42007-1 Natternköpfl	1955						
	1978	23	5	SE	-2	0,2	-0,1
	1985	7	2	SE	-1	0,3	-0,1
	1991	6	3	SE	2	0,6	0,3
	2015	24	7	SE	-9	0,3	-0,4
42007-2 Rote Wand (verloren)	1955						
	1978	23	676	SE	-260	29,4	-11,3
	1985	7	548	SE	-238	78,2	-34,0
42007-41 Rote Wand	1991						
	2015	24	72	SE	-50	3,0	-2,1
42007-3 Theresiastollen	1955						
	1978	23	3	E	0	0,1	0,0
	1985	7	1	E	0	0,2	0,0
	1991	6	9	E	-1	1,5	-0,2
	2010	19	3	E	2	0,2	0,1
	2015	5	5	E	-3	1,0	-0,7
42007-5 Grubenbefahrung	1955						
	1978	23	49	SE	-5	2,1	-0,2
	1985	7	14	SE	-8	2,0	-1,1
	1991	6	12	SE	1	2,0	0,2
	2010	19	41	SE	-18	2,2	-0,9
	2015	5	13	SE	-13	2,5	-2,5
42007-7 Kaiser Josef Stollen	1955						
	1978	23	53	SE	-14	2,3	-0,6
	1985	7	19	SE	-4	2,7	-0,6
	1991	6	19	SE	-5	3,1	-0,9
42007-10 Kreuzberg Ost	1955						
	2015	60	2	--	2	0,0	0,0
42007-11 Lahngangkogel (verloren)	1955						
	1978	23	96	NE	-226	4,2	-9,8
	1985	7	20	NE	-64	2,9	-9,1
	1991	6	12	NE	-97	1,9	-16,2
42007-96	1978						
	1985	7	42	ENE	-24	6,1	-3,4
42007-97	1978						
	1985	7	28	NE	-25	4,0	-3,6
42007-98	1978						
	1985	7	26	ESE	-32	3,7	-4,5
115-96 Plassen Gipfel	1961						
	1978	17	13	SE	-17	0,7	-1,0
	1985	7	3	SE	-4	0,5	-0,6
	1993	8	7	SE	-8	0,8	-1,0
	2015	22	38	SE	-67	1,7	-3,0

Tab. 2.
Bewegungsraten
im Bereich
Plassen und
Salzberg Hochtal.

Der Festpunkt 42007-2 an der Roten Wand wurde wahrscheinlich im Zuge des großen Felssturzereignisses im Jahr 1985 zerstört. Im Zeitraum von 1955 bis 1985 konnten an diesem Punkt sehr große Bewegungsraten von ca. 6 m in südöstlicher Richtung, mit einer vertikalen Bewegung von 2,5 m gemessen werden. Im Jahr 1991 wurde ein neuer Festpunkt (42007-41) im Bereich der Roten Wand installiert, der bis 2015 Bewegungsraten um 0,7 m in südöstlicher Richtung mit einem vertikalen Versatz von 0,5 m aufweist.

Die Festpunkte 42007-5 und 42007-7 im Salzberg Hochtal zeigen Bewegungsraten bis zu 0,5 m in südöstlicher und östlicher Richtung mit vertikalen Bewegungen von ca. 0,1 m im Zeitraum von 1955 bis 1978. Der Festpunkt 42007-1 am Naternköpfl ist durch vergleichsweise geringe Bewegungsraten in horizontaler und vertikaler Richtung gekennzeichnet. Die Festpunkte 42007-10, 63-96 und 189-96 im Dachsteinkalk zeigen keine Bewegungen.

Die geologische Interpretation der Punkte 115-96 und 42007-11 am Plassen kann im Beitrag von MELZNER et al. (2017) nachgelesen werden. Abbildung 2 zeigt jene Gebiete im Salzkammergut, die derzeit gemeinsam untersucht werden.

Bodenbewegungen im Vermessungsgesetz

Wie bereits erwähnt, ist für Pläne im Kataster mit Urkundencharakter die Verwendung der nächstgelegenen Festpunkte und deren Koordinaten rechtlich bindend. In Gebieten mit Bodenbewegungen erwies sich das Erstellen von Vermessungsurkunden jedoch stets als Herausforderung, da sich die Lage der nächstgelegenen Festpunkte und/oder auch die Lage der von der Vermessung betroffenen Grenzpunkte im Vergleich zu früheren Bestimmungen in vorerst unbekanntem Maße

geändert haben. Mit einem terrestrischen Festpunktanschluss, bei welchem die Grenzpunkte von den Koordinaten der nächstgelegenen Festpunkte abgeleitet werden, kann eine Lageänderung nur relativ zwischen Festpunkten und Grenzpunkten beobachtet werden. Eine Auswertung und eindeutige Aussage gestaltet sich schwierig bis unmöglich. Meist muss man sich hier so behelfen, dass man die Neuvermessung durch Transformation lokal an den Altstand der Vermessung anpasst. Damit bekommt man das unbefriedigende Ergebnis, dass die alten Koordinaten weitergeführt werden, ohne dass die tatsächliche Lageänderung des Grundstückes berücksichtigt wird.

Die heutigen GNSS-Messverfahren operieren unabhängig von den nächstgelegenen Festpunkten und ermöglichen die Koordinate absolut im Raum zu fixieren. Damit werden absolute Lageänderungen an Fest- als auch Grenzpunkten unabhängig voneinander direkt messbar. Diese Möglichkeit wurde nunmehr auch per Gesetz bindend festgelegt. Mit der Novelle des Vermessungsgesetzes 2016 (BGBl. I NR. 51/2016) fließen nun erstmals Bodenbewegungen und deren Einfluss auf den Kataster in den Gesetzestext ein. Eine darauf aufbauende Verordnung regelt die Vorgangsweise, wie bei Katastervermessungen in den Gebieten mit Bodenbewegungen vorzugehen ist. Diese Gebiete sollen durch sogenannte Ermittlungsflächen – Flächen, in denen eventuell vorkommende Massenbewegungen ermittelt werden sollen – beschrieben werden. Innerhalb dieser Flächen ist bei der Erstellung von Vermessungsurkunden ein vermehrter Aufwand an Messungen nötig und die Dokumentation im System ETRS89 bindend.

Abb. 2.
Panoramablick auf Ewige Wand, Zwerchwand, Sandling und Loser.



Das BEV hat sich zum Ziel gesetzt, diese Ermittlungsflächen zu definieren, räumlich einzugrenzen, in einer Datenbank zu führen und den Vermessungsbefugten bereit zu stellen. Eine erste Grundlage bilden die im Zuge der Homogenisierung aufgedeckten Punkte mit Bodenbewegungen. Diese nur punktuell vorhandenen Informationen sollen in der Folge durch flächenhafte Abgrenzungen erweitert werden. Dazu bedarf es einer engen Kooperation des BEV mit unterschiedlichen Institutionen und Dienststellen (GBA, Landesgeologen, WLW, Universitäten etc.). In einer ersten Phase sollen bereits vorliegende flächige Informationen gesammelt und übernommen werden, um dann in einer zweiten Phase die Möglichkeiten der Fernerkundung (Airborne Laserscanning ALS, DIN-SAR etc.) weiter auszuschöpfen. Durch Feldbegehungen und punktuelle Nachmessungen sollen diese Bereiche im Detail eingegrenzt und verifiziert werden.

Ohne Experten mit Fachkenntnissen in der gravitativen Naturgefahrenforschung kann diese Aufgabe vom BEV alleine nicht getragen werden. Mit der Zusammenarbeit zwischen dem BEV und der Fachabteilung Ingenieurgeologie der GBA ist bereits ein erster Schritt in die richtige Richtung getan. Ein Schulterschluss aller Fachexperten ist das erklärte Ziel.

Literatur

- HÖGGERL, N., TITZ, H. & ZAHN, E. (2007): APOS-Austrian Positioning Service. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, **95/1**, 10–23, Wien.
- MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M., MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Platten. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 140–146, Wien.
- OTTER, J. (2015): Gravitative Massenbewegungen im Bereich Hallstatt – die Grundlagenvermessung als Werkzeug der Gefahrenprävention. – Leistungsbericht 2015, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 43–44, Wien.
- TITZ, H., HÖGGERL, N., IMREK, E. & STANGL, G. (2010): Realisierung und Monitoring von ETRS89 in Österreich. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation, **98/2**, 52–61, Wien.
- BGBL. I NR. 51/2016: Änderung des Vermessungsgesetzes. Gesamte Rechtsvorschrift für Vermessungsgesetz: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011400> (Fassung vom 27.03.2017).