

Erfahrungen aus 20 Jahre GPS Monitoring der Massenbewegung Gradenbach

CAROLINE SCHÖNBERGER, WERNER LIENHART, ERICH LANG & ULRIKE STARY

Seit den katastrophalen Ereignissen in den Jahren 1965 und 1966 wird die Massenbewegung Gradenbach geodätisch überwacht. Bis 1991 wurden dazu terrestrische Messungen mit Polygonzügen durchgeführt. Seit 1999 sind GPS Messungen in unterschiedlicher Konfiguration im Einsatz. In den mehr als 20 Jahren hat sich das grundlegende Messverfahren nicht geändert, jedoch konnten durch Weiterentwicklungen in der Begleittechnologie (z.B. Datenverbindung, Stromversorgung, ...) die Datenverfügbarkeit und Echtzeitfähigkeit des Monitoringsystems massiv erhöht werden.

Diese geodätisch gemessenen Daten werden durch geotechnische, seismische, meteorologische, hydrologische und faseroptische Messungen ergänzt und erlauben dadurch auch die Verwendung moderner Auswertemethode im Rahmen von kausalen Modellen. Der Hang weist wiederkehrende, beschleunigte Phasen mit Geschwindigkeiten von bis zu 50cm pro Jahr in einem Zeitraum von April bis September und beruhigte Phasen im restlichen Jahr auf. Durch eine Gesamtbetrachtung aller gemessenen Parameter ist eine Korrelation mit Einflussgrößen wie z.B. Hangwasserpegelständen zu erkennen.

Der lange Beobachtungszeitraum von mehr als 20 Jahren ermöglicht es, neben Zusammenhängen der Messgrößen, auch technische Herausforderungen an das Monitoringsystem zu beobachten. So kommt es im Dauerbetrieb immer wieder zu unerwarteten Störungen. Besonders hervorzuheben ist dabei die rasante Weiterentwicklung im IT-Bereich, die wiederholt zu unerwarteten Problemen im Gesamtsystem führt. Aufgrund von Sicherheitsvorschriften, Weiterentwicklung von Betriebssystemen und erforderlichen Updates muss das System regelmäßig angepasst werden, um längere Störungen zu verhindern.

In diesem Artikel werden die Erfahrungen in den drei erwähnten Bereichen: Technische Anlagen und Entwicklungsphasen, Bedeutung von Langzeitbeobachtungen und Erfahrung im Langzeitbetrieb erläutert.

1. Einleitung

Die Bestimmung von Deformationen von natürlichen Objekten, wie Hangbewegungen und Felsstürzen, zählt zu den Kernkompetenzen der Ingenieurgeodäsie (Kuhlmann et al., 2013). So gibt es verschiedene Projekte, die sich seit Jahren mit Hangbeobachtungen auseinandersetzen, z.B.: KASIP (EICHHORN, A. 2012), ILEWS (BELL, R. ET AL. 2010) und alpEWAS (THURO, K. ET AL. 2010).

Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Massenbewegung Gradenbach in Kärnten/Österreich, wo seit 1999 ein GPS-Monitoringsystem in Betrieb ist. Die Entwicklung der Hard- und Software, sowie der eingesetzten Peripherie, wird in Kapitel 2 beschrieben. Den Problemen und Herausforderungen die in diesem langen Zeitraum vor allem technischer Natur

sind, aber auch finanziell und zeitlich auftreten, ist Kapitel 4 gewidmet.

Die Auswertung der Daten in Bezug auf das Verhalten des Hanges und der Zusammenhänge der einzelnen Mess- und Einflussgrößen wird in Kapitel 3 dargestellt. Dadurch wird die große Bedeutung langer Datenreihen nachgewiesen.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Messstationen am Hang. Die Stationen und Sensoren, auf die im weiteren Verlauf genauer eingegangen wird, sind darin in der Schriftgröße hervorgehoben. Dazu zählen neben den GPS Stationen MA und MC, die über den gesamten Zeitraum Messdaten lieferten, auch die vom Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) betreuten Sensoren Extensometer 1 und 2 (EX1 und EX2) und die Bohrlöcher 3 und 15 (BL3 und BL15) in denen Hangwasserpegelmessungen durchgeführt werden. Durch diese Daten kann der Prozess der Hangrutschung zusätzlich zur reinen Deformation in einem kausalen Modell analysiert werden (WELSCH, W. & HEUNECKE, O. 2001).

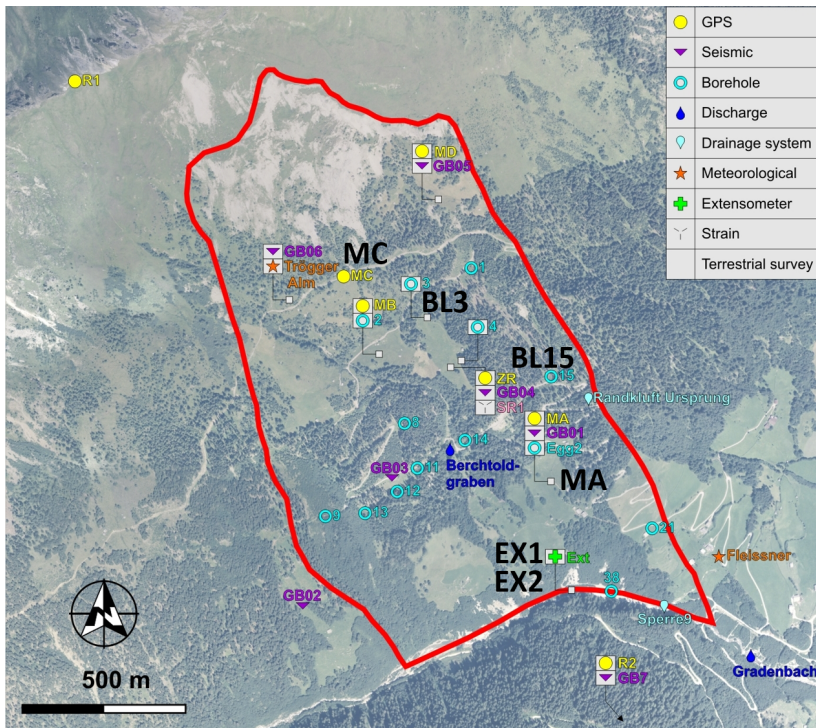


Abbildung 1: Übersicht der Sensoren am Hang der Massenbewegung Gradenbach

2. Technische Anlagen und Entwicklungsphasen

Seit der ursprünglichen Einrichtung des GPS Überwachungssystems waren zahlreiche Hardware- und Softwareaktivitäten erforderlich, um möglichst lückenlose und konsistente Datenreihen zu erhalten. Abbildung 2 zeigt eine tabellarische Übersicht der Entwicklungen, die in Abbildung 3 photographisch dokumentiert sind. Auffällig sind dabei die laufenden Veränderungen in der Software und gleichzeitig die Beständigkeit der Hardware. So wurden z.B. seit dem Beginn der Messungen die gleichen Antennen verwendet, während sich die Betriebssysteme häufig geändert haben.

		Epochenweise Messungen				Kontinuierliche Messungen						Ganzjährliche Messungen									
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
HW	Antenne	Choke-Ring Antenne																			
	Empfänger	Ashtec										Novatel									
	Datenübertragung	Lokale Speicherung					Richtfunk					UMTS									
SW	Auswertesoftware	GRAZIA				KFrün						Bernese mit IGMS Routinen									
	Windows Systeme*	NT	2000	XP				Vista		7		8			10						
	Online Darstellung											gbonline									

* Es wurden nicht alle Umstellungen mitgemacht

** Wird in Kürze bekanntgegeben

Abbildung 2: Eingesetzte Hard- und Software

2.1. Epochenweise Messungen

Den Anfang bildete das Jahr 1999, in welchem epochenweise Messungen von jeweils 72 Stunden durchgeführt wurden. Dabei wurden 6 Stationen, davon 2 Referenzstationen (R1 und R2) außerhalb des Rutschhanges und 4 Monitoringstationen (MA, MB, MC, MD) im Rutschgebiet aufgestellt. Diese Punkte wurden durch vorangegangene terrestrische Messungen bestimmt. Die Daten wurden dabei auf Notebooks und auf internen Speichermedien im Empfänger gespeichert.

Diese Messungen wurden in zwei begrenzten Zeitabschnitten pro Jahr, jeweils im Frühling und im Herbst durchgeführt. So konnte bereits eine Beschleunigungsphase im Sommer und eine ruhige Phase im Winter festgestellt werden. Für die jeweilige Messepoche wurde die gesamte Ausrüstung auf- und wieder abgebaut. Dies erforderte das Tragen schweren Equipments in unwegsamem Gelände und eine stabile und reproduzierbare Vermarkung der Messpunkte.

Für die Auswertung der Messdaten wurde GRAZIA, eine von GPSofT an der University of Calgary entwickelte Software, verwendet und nach eigenen Bedürfnissen, unter anderem der Reduktion von Mehrwegeeffekten, erweitert und verbessert (BRUNNER, F. ET AL. 2008, S1ff).

2.2. Kontinuierliche Messungen

Die ersten kontinuierlichen Messungen erfolgten im Jahr 2000 mit einer Dauer von 3 Wochen. Ab 2003 waren die 2 Stationen MA und MD von Juni bis Oktober durchgehend mit Messgeräten ausgestattet. An den anderen Messstationen wurde weiterhin epochenweise gemessen. Das anfängliche Auf- und Abbauen des Equipments wurde schrittweise durch Stationen mit Solarpanelen und Richtfunk ins Tal hinfällig. Mit den Grundeigentümern vereinbarte man einen Nutzungsvertrag der auch den Winter miteinschloss (BRUNNER, F. ET AL. 2008, S8ff).

In dieser Zeit wurden Tests mit verschiedenen Empfängern und Antennen durchgeführt und 2010 auf Low Cost Novatel L1 Receiver umgestellt. Diese sind nun seit 10 Jahren im Einsatz. In diesem Zeitraum waren bereits 8 Firmwareupdates erforderlich. Als Antennen blieben die Ashtech Choke-Ring Antennen mit sphärischen Radomen bestehen (BRUNNER, F. ET AL. 2014, S9ff).

Ab 2003 erfolgte die Auswertung der kontinuierlichen Daten mit KFRUN, einer Matlab Anwendung, die am Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme (IGMS) der TU Graz programmiert wurde. Für die epochenweisen Messungen verwendete man Bernese, das bekannte Programmpaket des Astronomischen Institutes der Universität Bern (BRUNNER, F. ET AL. 2008, S8ff).

2.3. Ganzjährige Messungen

Seit 2009 werden die Stationen durch ein erhöhtes Anbringen der Solarpaneele größtenteils den ganzen Winter mit Strom versorgt und liefern somit fast durchgehend Messdaten. Die Datenübertragung wurde vom Datenfunk ins Tal auf eine UMTS Übertragung ins Auswertezentrum nach Graz umgestellt. Aufgrund der höchsten Verschiebungsraten wurden die Station MA, im unteren Teil des Hanges, und die Station MC, im oberen Teil des Hanges, als Messstationen ausgewählt. Auf die epochenweisen Messungen während des Außendienstes wurde seither, unter anderem aufgrund der auslaufenden Finanzierung des Forschungsprojektes, verzichtet (BRÜCKL, E. ET AL. 2013).

Mit der permanenten Datenankunft in Graz wurde ein Datenverarbeitungssystem erstellt, welches mit Dateien aus Perl, Batch und der Windows Aufgabenplanung arbeitet. Dabei werden die GPS Daten mit Bernese und eigens entwickelten Zusatzmodulen zur besseren atmosphärischen Korrektur berechnet. Ältere Daten wurden mit Bernese nachprozessiert (BRUNNER, F. ET AL. 2014, S9ff).

Somit wurde ein Monitoringsystem mit möglichst geringem Wartungsaufwand entwickelt und installiert. Seit 2012 läuft das Projekt autonom mit lediglich 1-2 Außendiensten zur Betreuung der Messstationen im Ausmaß von ca. 1 Woche pro Jahr vor Ort.

Dabei ist auch zu erwähnen, dass sich die verwendete Sensorik in dieser Zeit kaum weiterentwickelt hat, und sich deren Nutzen aber wegen der erweiterten Peripherie gesteigert hat. 2019 wurde das Projekt mit höherer Intensität, vor allem im Einsatz von Personal, wiederaufgenommen und aufgetretene Probleme, z.B.: fehlende Datenankunft in Graz, behoben.



Abbildung 3: Fotos der Setups der unterschiedlichen Phasen: Epochenweise Messungen (links), kontinuierliche Messungen mit Richtfunk ins Tal (Mitte) und ganzjährige Messungen mit UMTS Übertragung ins Auswertezentrum (rechts)

2.4. Weitere Deformationsmessungen

Bis 2010 wurden terrestrische Vermessungen am Rutschhang Gradenbach durchgeführt um in ausgewählten Bereichen erweiterte Informationen über den Verlauf der Oberflächenbewegungen und deren Dynamik zu erhalten. Zusätzlich dienten Messungen am Hangfuß zur Klärung jener Bewegungsmuster die die Sperrbauwerke in diesem Bereich zerstören (LIENHART, W. & BRUNNER F. 2013, S70).

Ab 2004 wurden Tests zu einem Einbau von faseroptischen Sensoren durchgeführt, die 2007 zum Einbau einer Strainrosette am Punkt ZR führte (BRUNNER, F. ET AL. 2008, S19ff). In der Schluchtstrecke sind über den Gradenbach 2 Drahtseilextensometer gespannt. Diese liefern seit 1999 Messdaten.

2.5. Messungen von Einflussgrößen

Zusätzlich zu den ingenieurgeodätischen Messgrößen werden weitere Einflussgrößen am Hang messtechnisch erfasst. Dazu zählen die Parameter Temperatur, Niederschlag, Hangwasserpegelstand (in Bohrlöchern), Hangwasserabfluss und Schnee-Wasser-Äquivalente.

2.6. Online Darstellung

Um die Daten der Öffentlichkeit, vor allem dem Landesgeologen und den Personen vor Ort, zugänglich zu machen, arbeiteten seit 2010 wissenschaftliche MitarbeiterInnen an einer Online Darstellung. Die Website www.gbonline.at war von 2012 bis 2015 online und präsentierte die GPS-, seismische, geotechnische, meteorologische und hydrologische Daten. Aufgrund von Sicherheitsproblemen und gesteigerten Sicherheitsanforderungen im Internet musste diese Seite vom Netz genommen.

Im Zuge einer neuen Online Darstellung wird auf kommerzielle Systeme umgestellt, um die erforderlichen Sicherheitsstandards zu erfüllen. Die zwei Datendarstellungsplattformen Leica GeoMoS Now! und Canary Systems werden aktuell getestet und in Kürze auf

www.igms.tugraz.at unter „laufende Projekte“ abrufbar sein. Abbildung 4 zeigt Screenshots der drei erwähnten Darstellungsplattformen.

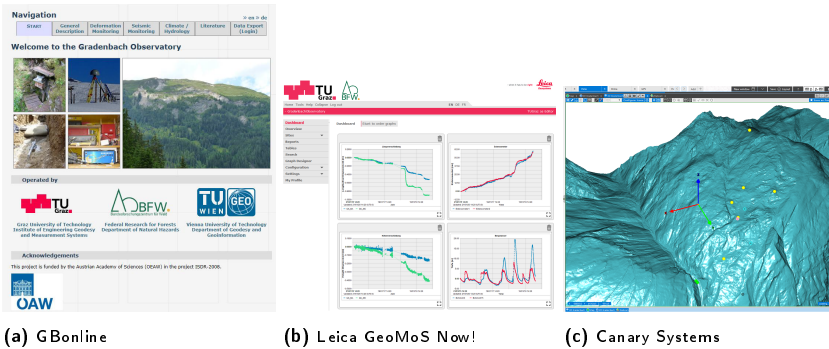


Abbildung 4: Screenshots der verschiedenen Online-Darstellungen des Gradenbachobservatoriums

3. Bedeutung von Langzeitbeobachtungen

Aufgrund der mittlerweile 20-jährigen Datenreihen kann die Wichtigkeit der Beobachtungen nachgewiesen werden. Die Station MC hat sich seit Beginn der Aufzeichnungen bereits um fast 5 Meter, MA um ca. 3 Meter verschoben. Die Zeitreihen sind in Abbildung 5 dargestellt. Des Weiteren kann ein Rutschverhalten mit Beschleunigungs- und Verlangsamungsphasen beobachtet werden. Aus den GPS-Daten sind Starrkörperbewegungen und Verformungen (Definition nach DIN, 2013) ablesbar. Das ist ein Vorteil gegenüber lokalen Messverfahren, wie z.B. faseroptischen Sensoren mit denen nur Verformungen, diese jedoch mit höherer Auflösung, erfasst werden können. Zusätzlich können mit den Langzeitdaten kausale Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen und Messgrößen identifiziert werden (HEUNECKE, O. ET AL. 2013).

Abbildung 5 zeigt neben der gesamten Bewegung der letzten 20 Jahre in Hauptrutschrichtung auch eine kontinuierliche jährliche Rutschbewegung von einigen Zentimetern. In manchen Jahren treten beschleunigte Phasen von Frühling bis Sommer mit einer Geschwindigkeit von 1,4cm pro Tag auf.

Durch die durchgehende Besetzung mehrerer Stationen am Hang kann auch die zeitliche Abfolge einer Beschleunigungsphase analysiert werden. Abbildung 6 zeigt die Bewegungen der Station MA (blau) und MC (rot) der letzten zwei rutschintensiven Jahre 2018 (durchgezogene Linien) und 2019 (strichlierte Linien) im Bezug zur ersten Messung des jeweiligen Jahres. Es ist zu sehen, dass MC früher zu rutschen beginnt, weiter rutscht und auch die Beruhigungsphase früher eintritt als bei MA. Dadurch kommt es zu einer Verformung des Hanges. Es gibt aber auch Phasen in denen sich beide Stationen annähernd gleich schnell bewegen und sich der Hang einheitlich als Block verschiebt. In der Betrachtung der Distanzänderung zwischen den beiden Punkten kommen die abwechselnden

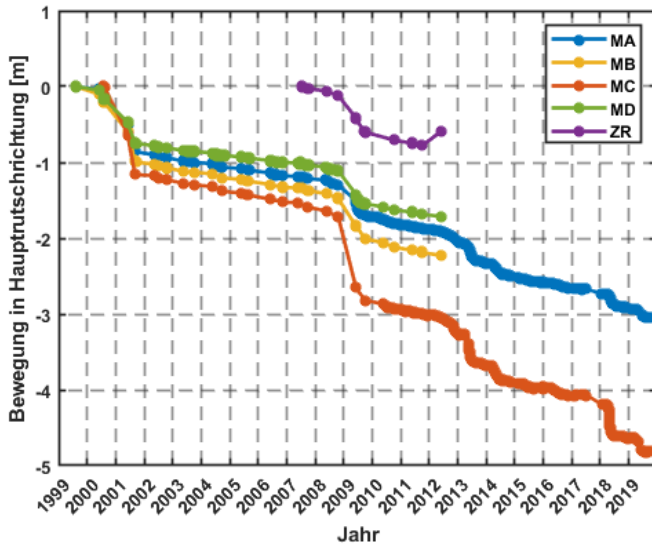


Abbildung 5: Bewegung aller Stationen von 1999 bis 2020 in der Hauptbewegungsrichtung

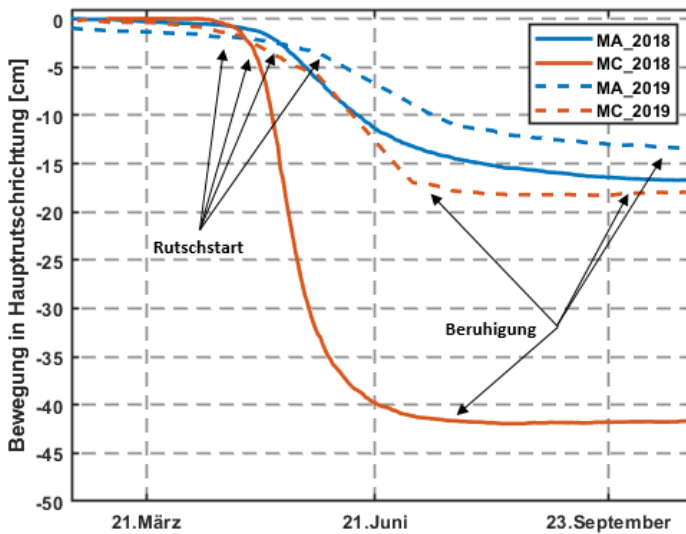


Abbildung 6: Bewegung der Stationen MA und MC in den Jahren 2018 und 2019 in Hauptrutschrichtung

Phasen von Verformung und Starrkörperbewegung klar zum Vorschein (Abbildung 7). In beschleunigten Phasen läuft der Punkt MC auf den Punkt MA auf und es kommt zu einer Verkürzung der Distanz. In Phasen einer Starrkörperbewegung bleibt die Distanz zwischen den beiden Punkten annähernd konstant. Insgesamt hat sich in den letzten 20 Jahren der Hang zwischen MA und MC bereits um rund 2m komprimiert. Diese Kompression zu Zeiten der Beschleunigungsphasen wurde auch durch die lokalen Dehnungsmessungen der faseroptischen Strainrosette bestätigt (LIENHART, W. & BRUNNER F. 2013).

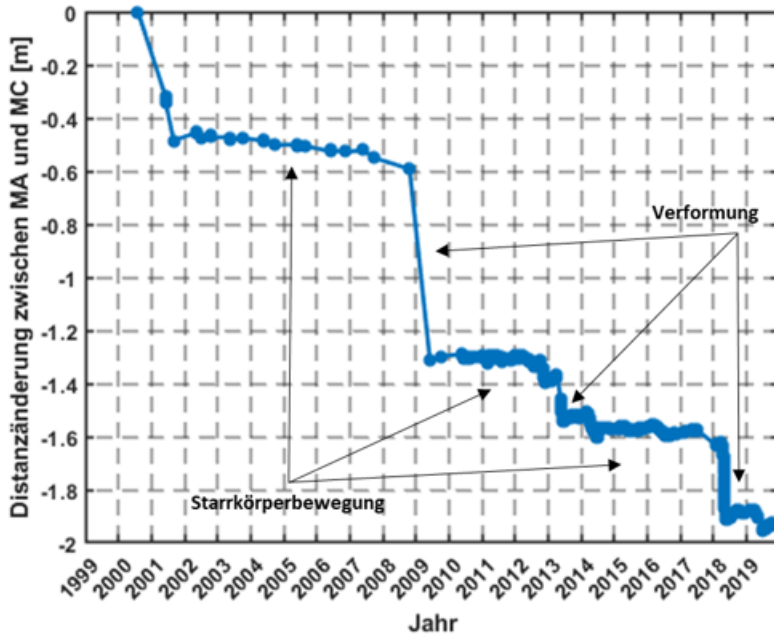


Abbildung 7: Distanzänderung von MA und MC in Hangrutschrichtung

Stellvertretend für die Zusammenhänge die aus den GPS Daten, den Längenänderungen der Extensometer und den Hangwasserpelgemessungen ablesbar sind, werden zugehörige Messwerte für das Jahr 2018 in Abbildung 8 gezeigt. Dabei sind alle Werte relativ zum ersten gemessenen Wert im Jahr berechnet.

Hier ist deutlich zu sehen, dass die Schneeschmelze starken Einfluss auf die Pegelwerte der Bohrlöcher im Frühling hat. Der Pegel des Bohrlochs 15 schwankt dabei um bis zu 10m. Im Bohrloch 3 treten sogar Schwankungen von rund 20m auf. Die Messreihe von MC und die Daten von BL3 weisen eine ähnliche Dynamik auf. Dabei ist zu erkennen, dass MC bei einem Pegelanstieg von BL3 zu rutschen beginnt und sich nach Überschreiten

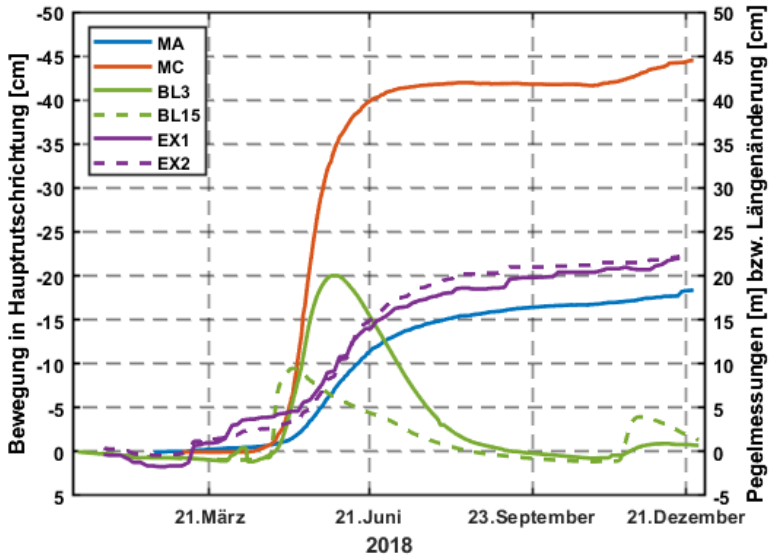


Abbildung 8: Relative Messwerte der GPS Stationen, Bohrlöcher und Extensometer im Jahr 2018

des Maximums wieder beruhigt. MA und die zwei Extensometer weisen eine langsamere, geringere, spätere und längere Bewegung auf. Die drei letztgenannten Sensoren sind dem Talboden am nächsten.

Dieses Verhalten kann auch in den anderen Jahren mit Messdaten beobachtet werden. Dazu wurde der Tag mit der maximalsten Beschleunigung als Reaktionsstarttag berechnet. Dieser Tag kann jedes Jahr pro Station um 1,5 Monate variieren. Es lässt sich daraus jedoch oben genannte Reihenfolge der Ereignisse ablesen. Abbildung 9 zeigt diesen Zusammenhang für die Jahre 2013, 2014, 2018 und 2019. Diese Jahre wurden gewählt, da beide GPS-Stationen in diesen Jahren Rutschgeschwindigkeiten von mehr als 10cm pro Jahr aufwiesen. Zusätzlich zeigen die Messwerte die Wichtigkeit der automatischen Datenübertragung, da MC bereits im März 2014 zu rutschen begann. Zu dieser Zeit waren die Stationen aufgrund des Schnees noch nicht erreichbar. Somit wären ohne automatisierten Ganzjahresbetrieb mit Fernübertragung für diesen Zeitraum keine Daten verfügbar.

Zusammengefasst kann gezeigt werden, dass Sensoren im oberen Bereich des Hanges früher und stärker reagieren und Sensoren im unteren Teil des Hanges langsamer, ruhiger und später. Zusätzlich kann durch die am Gradenbach eingesetzten Sensoren das Wechselspiel einer Starrkörperbewegung und einer Verformung beobachtet werden.

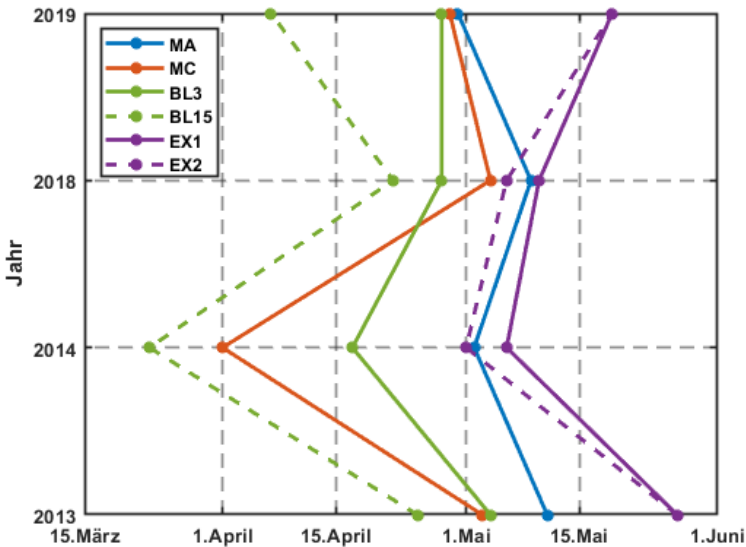


Abbildung 9: Zeitpunkt des Reaktionsstarttages im Frühling für BL3, BL15, EX1, EX2, MA und MC in den Jahren 2013, 2014, 2018 und 2019

4. Erfahrungen aus dem Langzeitbetrieb

Bei der Wiederaufnahme der Dauerbetreuung des Projektes im März 2019 wurden bereits aufgetretene Probleme gelöst. Unter anderem hat zwischen Juli 2017 und Juni 2019 die Datenberechnung vom Rutschhang in Graz, aufgrund eines fehlenden Receiver-Firmwareupdates nicht funktioniert. Somit wurden in diesem Zeitraum auch keine automatisierten Echtzeitberechnungen durchgeführt. Da die Daten aber auch lokal auf Speicherkarten gespeichert werden, konnten die fehlenden Daten aus 2018 und 2019 mit manuellem Aufwand nachprozessiert und in die Datenbank eingefügt werden. Dies ist nur ein Beispiel aus unseren Erfahrungen aus dem 20-jährigen Betrieb. Allgemein lassen sich folgende Problembereiche von Langzeitmonitoringsystemen ableiten:

IT/Software/Infrastruktur

Die Lebenszeit und Wartungsintensität der Sensoren ist für ein Langzeitmonitoringsystem verständlicherweise wichtig, jedoch werden Aufwand und Auswirkungen von Softwareupdates oft unterschätzt. Diese müssen meist vor Ort im Außendienst erledigt werden. Besonders GNSS Empfänger brauchen regelmäßige Firmwareupdates.

Sensoren halten lange, aber oft wird der Support nach einiger Zeit eingestellt und so ist

ein Zugriff aufgrund von fehlenden digitalen Treibern oft nicht mehr möglich und der Ersatz von Sensoren unausweichlich.

Ein laufendes Datenverarbeitungssystem muss regelmäßig an äußere Veränderungen angepasst werden. So können sich z.B.: Domainnamen von externen Servern ändern. Vor allem entstehen aber auch Probleme in der eigenen IT-Umgebung. So wurden in unserem Fall aus Sicherheitsgründen die Ports des Rechners geschlossen, was den Datenempfang verhinderte. Ebenso wurden Zugänge für externe Projektpartner deaktiviert. Der zentrale Rechner musste aufgrund von internen Vorgaben der Universität auf einen Windows10 Rechner aufgerüstet werden. Bei Windows10 sind allerdings Updates nicht mehr vollständig zu verhindern, was weitere Probleme mit der Kompatibilität anderer Komponenten des Monitoringsystems in der Zukunft erwarten lässt.

Funknetzstandards ändern sich mit der Zeit und unser Mobilfunkanbieter stellte die IP Adressen der Modems auf private IP Adressen um, weshalb ein Zugriff aus Graz nicht mehr möglich war.

Finanzierung

Oft wird die Entwicklung und der Aufbau eines Hangmonitoringsystems, in unserem Falle von der Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) im Rahmen der International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), öffentlich finanziert. Diese Forschungsprojekte laufen allerdings üblicherweise nur für wenige Jahre. Daher musste der Dauerbetrieb mit internen Geldern erhalten werden. Dazu kommt, dass das Projekt nicht von den im Ereignisfall betroffenen Anrainern finanziert werden kann und meist Geld erst nach einem bereits registrierten signifikanten Ereignis, im Extremfall einer Katastrophe, von öffentlicher Hand zur Verfügung gestellt wird.

Grundstücksfragen

Unsere Stationen stehen auf fremden Grundstücken und die Nutzungsverträge werden jährlich verlängert. Die Möglichkeit, dass ein Nutzungsvertrag nicht verlängert wird, ist somit gegeben. Diese Wahrscheinlichkeit erhöht sich bei einem Eigentümerwechsel. Weiters ist im ländlichen Bereich die Eigentümersituation insbesondere in Rutschgebieten teilweise nicht genau bekannt oder geklärt.

Distanz

Die Distanz zwischen dem Gebiet des Monitorings und dem Handlungszentrum ist bei schnell geforderten Reaktionen ein häufiges Problem. Beschädigungen (z.B.: abgebrochene GPRS Antennen) können nicht sofort behoben und Geräte nicht einfach von der Energieversorgung getrennt werden.

Informationsverlust

In den letzten 20 Jahren waren mehr als 15 MitarbeiterInnen am Projekt GPS Monitoring involviert. Somit wird bei Übergaben immer ein Informationsverlust auftreten. Gute Dokumentation ist vor allem bei komplexen Softwarepaketen wie z.B.: Bernese wichtig. Eine Anleitung für Instandhaltungsmaßnahmen zu schreiben, erleichtert die Fortsetzung. Vor allem bei vielen verschiedenen Passwörtern in den unterschiedlichsten Bereichen z.B.: PC, Datenbank, Modem, usw. ist eine Dokumentation dieser unerlässlich.

Instandhaltung

Für den Außendienst müssen zeitliche, sowie materielle Ressourcen bereitgestellt werden. Wegen der Witterung müssen die Stationen vor Ort regelmäßig gewartet und wenn nötig Komponenten getauscht werden. Dazu zählen einerseits die für die Messungen wichtigen Ressourcen wie z.B.: Stative oder Teile der Stromversorgung, aber auch die Instandhaltung des Zaunes, um z.B.: Weidevieh von den Stationen fernzuhalten. Ein regelmäßiger Tausch der Batterien ist ein wichtiger Aspekt um Umweltschäden zu verhindern.

5. Schlussfolgerung

Das seit 1999 aufgebaute GPS Monitoring System an der Massenbewegung Gradenbach liefert nun seit 20 Jahren Messdaten zum Rutschverhalten des Hanges. Seit Beginn der GPS-Messungen ist der obere Teil des Hanges bereits um ca. 5m gerutscht. Dabei traten beschleunigten Phasen mit Geschwindigkeiten von bis zu 50cm pro Jahr auf. Das Rutschverhalten lässt sich durch einen stärker reagierenden oberen Teil des Hanges und einen langsamer, ruhiger und später reagierenden unteren Teil des Hanges beschreiben. Zusätzlich zum Talzusub ist das abwechselnde Verhalten einer Verformung der Rutschmasse und einer Starrkörperbewegung zu erkennen.

Das System über eine so lange Zeit zu betreiben, erfordert regelmäßige Wartungen, deren Aufwand jedoch häufig unterschätzt wird. Unerwartete Störungen treten vor allem durch die rasante Weiterentwicklung im IT-Bereich auf. Aufgrund von Sicherheitsvorschriften, Weiterentwicklung von Betriebssystemen und erforderlichen Updates entsteht der meiste Aufwand, vor allem durch den daraus resultierenden Nachbearbeitungsprozess.

Literatur

- BELL, R.; MAYER, J.; POHL, J.; GREIVING, S.; GLADE T. (2010): Integrative Frühwarnsysteme für gravitative Massenbewegungen (ILEWS). Monitoring, Modellierung, Implementierung. Klartext Verlag, Essen: S. 270.
- BRÜCKL, E.; BRUNNER, F.K.; LANG, E.; MERTL, S.; MÜLLER, M.; STARY, U. (2013): The Gradenbach Observatory - monitoring deep-seated gravitational slope deformation by geodetic, hydrological, and seismological methods. Landslides. June 2013.
- BRUNNER, F.; GANDER, D.; KLOSTIUS, R. (2008): ISDR-21 - Gefahrenbewertung von tiefreichenden Massenbewegungen: Projektteil TUG – Monitoring der Verformungen, doi:10.1553/ISDR-21s1
- BRUNNER, F.; LIENHART, W.; MÜLLER, M.; WÖLLNER, J. (2014): ADLL-TUG - Acceleration and Deceleration of Large Landslides: TUG, doi: 10.1553/ISDR-23s1
- DIN (2013): Taschenbuch 111 – Geodäsie, ISBN 978-3-410-21870-8, S. 551
- EICHHORN, A. (2012): KASIP – Monitoring System und numerisches Modell für Rutschhänge. In Proc. GeoMonitoring 2012: S. 6.
- HEUNECKE, O.; KUHLMANN, H.; WELSCH, W.; EICHHORN, A.; NEUNER, H. (2013): Handbuch Ingenieurgeodäsie – Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen, ISBN 978-3-87907-467-9, S55ff
- KUHLMANN, H.; SCHWIEGER, V.; WIESER, A.; NIEMEIER, W. (2013): Ingenieurgeodäsie – Definition, Kernkompetenzen und Alleinstellungsmerkmale, ZfV 138: 391-399
- LIENHART, W. & BRUNNER F. (2013): Geodätische Überwachung von gravitativen Massenbewegungen am Beispiel des Gradenbach-Observatoriums, ZfV 138: 64-74
- THURO, K.; SINGER, J.; FESTL, J.; WUNDERLICH, T.; WASMEIER, P.; REITH, C.; HEUNECKE, O.; GLABS, J.; SCHUHBÄCK, S. (2010): New landslide monitoring techniques – developments and experiences of the alpEWAS project. Journal of Applied Geodesy, 4 (2010): pp. 69–90.
- WELSCH, W. & HEUNECKE, O. (2001): Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations, Proc. 10th international FIG-Symposium on Deformation Measurements, Orange, USA: pp. 390–412.

Kontakt

CAROLINE SCHÖNBERGER

WERNER LIENHART

Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme
Technische Universität Graz
Steyrergasse 30
8010 Graz
Österreich

ERICH LANG

ULRIKE STARY

Institut für Naturgefahren
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,
Naturgefahren und Landschaft
Seckendorff-Gudent-Weg 8
1131 Wien
Österreich