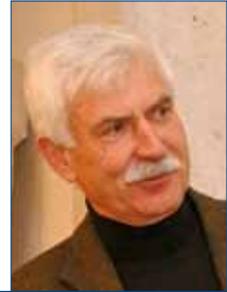


Bestätigung von Setzungen der Erdoberfläche durch Präzisionsnivellements im Reichenhaller Raum zwischen 1977 und 2009



Guatav A. Starzmann

Einleitung

Im Geologischen Jahrbuch 1979¹ berichtete der Verfasser im Zusammenhang mit geologischen Untersuchungen zur Erkundung des Solevorkommens in Bad Reichenhall über Senkungen im Reichenhaller Talkessel, die durch Wiederholung amtlicher Präzisionsnivellements festgestellt worden waren. Bis 1975 konnten durch fünf Wiederholungsmessungen vergleichbarer Genauigkeit seit 1911 am Turm der Kirche St. Nikolaus im Altstadtgebiet von Bad Reichenhall kontinuierliche Setzungen festgestellt werden. Sie betragen in den 64 Jahren 93 mm.

Präzisionsnivellements *gleichwertiger* Genauigkeit waren vom Vermessungsdienst der Deutschen Bundesbahn² und vom Bayerischen Landesvermessungsamt (BLVA)³ auf den Linien des Bayerischen Haupthöhennetzes seit 1955/56 durchgeführt worden. Aus den Wiederholungsmessungen bis 1977 ergab sich an dem genannten Kirchturm eine Setzung von rund 32 mm, die mit nahezu konstanter Geschwindigkeit von 1,5 mm/a verlief.

Genauere Messdaten aus längeren Zeitintervallen, wie sie die Landesvermessung zur Verfügung stellen kann, bieten den Geologen eine wesentliche Hilfe bei der Interpretation von Bewegungen der Erdoberfläche, die gerade im Reichenhaller Raum häufiger auftreten und deren Ursachen nicht eindeutig geklärt sind. Es wurde deshalb angeregt, die Nivellements im Reichenhaller Raum möglichst im Abstand von fünf Jahren zu wiederholen. Zwar kann die Landesvermessung ihre Grundlagenmessungen nicht alleine auf spezielle Fragestellungen anderer Disziplinen abstellen, aber es können ohnehin notwendige Messungen so angelegt werden, dass sie auch für Aufgaben anderer Stellen zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Fall ergab sich z. B. im Jahr 1977 die Erneuerung der Präzisionsnivellements in Bad Reichenhall für den Aufbau eines »Schwere-Grundnetzes« der Bundesrepublik Deutschland, 1988 eine Netzergänzung zur »Versteifung« am Südrand des Haupthöhennetzes und 2009 eine Wiederholungsmessung in Ausführung eines Beschlusses der AdV⁴ zur Erneuerung von Teilen des deutschen Haupthöhennetzes.

¹ G. A. Starzmann, »Präzisionsnivellements zur Beobachtung von Senkungen der Erdoberfläche am Beispiel des Reichenhaller Raumes«, in: Geologisches Jahrbuch, C 22, Seite 103-115, Hannover 1979

² Jetzt: »Deutsche Bahn AG«, die keinen eigenen Vermessungsdienst mehr unterhält und im Untersuchungsgebiet keine weiteren Präzisionsnivellements ausgeführt hat

³ Jetzt: »Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG)«

⁴ »Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland«

Hier sollen diese Messungen vorgestellt und die Ergebnisse mit jenen in der Veröffentlichung von 1979 verglichen werden.

Wiederholungsmessungen nach 1977

Wiederholungsmessungen durch das Bayerische Landesvermessungsamt wurden nach 1977 in den Jahren 1982, 1988, 1994, 2001 und 2009 auf Teilabschnitten der Linien des Haupthöhennetzes im Raum Bad Reichenhall durchgeführt.

Während in die Zeit der Messungsvergleiche zwischen 1956 bis 1977 an technischen Neuerungen vor allem die Einführung des Pendelprismas statt der Koinzidenzlibelle zur Herstellung des horizontalen Zielstrahles der Nivellierinstrumente fiel, wurden anstelle des noch 1994 verwendeten Präzisions-Nivelliergeräts Ni 002 der Firma Jenoptik (mit Pendelprisma) für die Messungen 2001 und 2009 Digitalnivellierinstrumente und anstelle der Nivellierlatten mit dezimaler Strichteilung Latten mit Strichcode zur automatisierten Ablesung verwendet.

Die Genauigkeit der Wiederholungsmessungen lässt sich nur aus den Streckendifferenzen der Hin- und Rückmessungen berechnen, da keine bzw. für eine Genauigkeitsbetrachtung nicht ausreichend viele Schleifenschlüsse gemessen wurden.

Übersicht der Wiederholungsmessungen des BLVA bzw. LVG

Jahr	Nivellierinstrument	Messlatten	Genauigkeit
1982	Jenoptik Ni 002	3m-Invarbandlatten	±0,36 mm/km
1988	Jenoptik Ni 002	3m-Invarbandlatten	±0,29 mm/km
1994	Jenoptik Ni 002	3m-Invarbandlatten	±0,37 mm/km
2001	Zeiss DINI 11	3m-Zeiss-Invar-Strichcodelatten	±0,48 mm/km
2009	Leica DNA 03	3m-Nedo-Invar-Strichcodelatten	±0,38 mm/km

Ergebnisse der Messungen im Vergleich

Verglichen werden die rohen, gemessenen Höhenunterschiede des Mittels aus Hin- und Rückmessung. Um möglichst viele Vergleichspunkte zu erhalten werden die Wiederholungsmessungen dem ersten Präzisionsnivellament mit hoher Festpunktdichte von 1956, das vom Bayerischen Landesvermessungsamt ausgeführt worden war gegenübergestellt. Schon im ersten Vergleich von 1977 wurde festgestellt, dass sich signifikante Setzungen am Turm der Kirche St. Nikolaus zeigen. Die Setzungen »beruhigen« sich mit zunehmendem Abstand von hier aus nach Süden und nach Norden, wodurch sich eine Bezugsebene ergibt, die im Norden am besten vom Turm des Münsters St. Zeno (Bauzeit etwa 1520 auf romanischen Fundamenten), bzw. einer Felspunktgruppe bei Staufenbrücke und im Süden von einer 1955 vermarkten Felspunktgruppe am Saalachsee repräsentiert wird.

Da der vorrangige Anlass der Wiederholungsmessungen der Landesvermessung nicht die Untersuchung von regionalen Höhenbewegungen war, sondern diese sozusagen als »Nebenprodukt« anfielen, wurden nicht bei jeder Wiederholungsmessung alle Festpunkte angemessen; überdies waren mit wachsendem zeitlichen Abstand der Messungen immer mehr Punkte zerstört. Für die anschauliche Darstellung in Diagrammen bedeutet dies eine Beeinträchtigung, der man entgegenwirken kann, indem der Vergleich in mehrere Diagramme aufgeteilt wird, in denen dann jeweils möglichst viele Punkte enthalten sind, die angemessen bzw. wieder aufgefunden wurden.

Die Anschaulichkeit der Diagramme wird auch durch die Auswahl eines gemeinsamen Bezugspunktes beeinflusst, für den die Höhenveränderung fiktiv zu Null angenommen wird. Zweckmäßiger Weise soll das ein Festpunkt sein, dessen Niveauperänderung mit vielen anderen Punkten außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes übereinstimmt. Er sollte wegen der Ungenauigkeit der Höhenübertragung ausreichend nahe am Untersuchungsgebiet liegen und doch Stabilität erwarten lassen. In Bad Reichenhall liegen die Punkte im anstehenden Fels relativ weit entfernt vom Senkungsmaximum. Für die nachfolgenden Diagramme wurde deshalb als gemeinsamer Bezugspunkt der Mauerbolzen (MB 375/ 8243) am Turm des Münsters St. Zeno ausgewählt, der sich gegenüber den Felspunktgruppen als weitgehend stabil erwiesen hat.

Diskussion der Diagramme⁵

Das Diagramm 1 (Vergleich der Messungen von 1982 und 2009 mit der Ausgangsmessung von 1956) zeigt keine auffällige Änderung des Höhenunterschiedes zwischen der Felspunktgruppe in Staufenbrücke und dem als Bezugspunkt gewählten Turm von St. Zeno sowie dem massiven Gebäude des Kurmittelhauses im Norden der Stadt.

Signifikant ist jedoch die Absenkung im Stadtinneren mit ihrem Maximum am Turm von St. Nikolaus und die Rückkehr fast zum Ausgangsniveau am massiven Gebäude der Talstation der Predigtstuhlbahn und einem nahegelegenen Felspunkt, der zu einer sich über ca. acht Kilometer erstreckenden Felspunktgruppe entlang des Saalachsees gehört. Diese zeigt in sich kaum Veränderungen, hat sich jedoch gegenüber den Felsen in Staufenbrück bis 1982 um etwa einen Zentimeter und bis 2009 um durchschnittlich weitere fünf Millimeter gehoben. Einen Hinweis zur Interpretation dieser Erscheinung hat bereits Dr. Ganss vom damaligen Bayerischen Geologischen Landesamt, zitiert ebenfalls im Geologischen Jahrbuch 1979, gegeben⁶.

⁵ Die Diagramme 1 und 2 wurden freundlicherweise vom LVG erstellt

⁶ a. a. O.: siehe Fußnote 1.

Das Gutachten wurde später veröffentlicht in: Bayerisches Landesvermessungsamt (Hrsg.), Das bayerische Landesvermessungswerk, Heft 8, Teil I b, Seite 79, München 1990

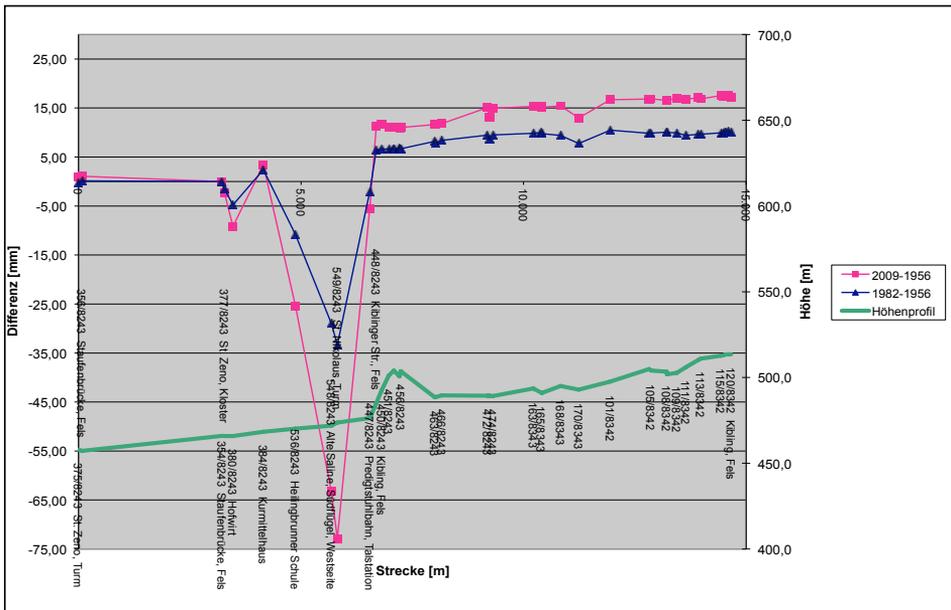


Diagramm 1: Linie 776 Piding - Bad Reichenhall - Schneizlreuth 1956 - 1982 - 2009

Festzuhalten ist, dass die Wiederholungsnivellements zwischen 1982 und 2009 den Vergleich der Messergebnisse von 1956 mit denen von 1975 und 1977 insofern bestätigen, als die Senkungen innerhalb der Stadt Reichenhall andauern und eine Größenordnung erreichen, die die Messungsunsicherheiten mindestens um das Zwanzigfache übersteigt (siehe Diagramm 1).

Diagramm 2 zeigt die Wiederholungsmessungen im Reichenhaller Talkessel zwischen 1975 und 2009 gegenüber der Bezugsmessung von 1956. Die Messungen 1975 und 1977 sind zwar schon in dem Beitrag im Geologischen Jahrbuch 1979 dargestellt; sie wurden hier noch einmal aufgenommen, um die Eindeutigkeit der Setzungstendenz und -geschwindigkeit darzustellen. Die Hebung zwischen dem Kirchturm von St. Zeno im Norden der Stadt und den Felspunkten am Saalachsee im Süden wurde anhand des Diagrammes 1 angesprochen.

Im Senkungsgebiet sind an der Messungslinie seit 1956 leider nur drei identische Punkte kontinuierlich bis 2009 angemessen worden. Ihre Bewegung ist aber eindeutig. Der Festpunkt an der Talstation der Predigtstuhlbahn, gebaut 1928 und vermutlich auf Fels gegründet, ist dagegen bereits wieder von der Senkung ausgenommen.

Seit 1956 hat sich der Punkt 549/8243 am Turm von St. Nikolaus um 73 Millimeter abgesenkt. Die Senkung verläuft kontinuierlich mit durchschnittlich 1,4 mm/a (Siehe Diagramm 2).

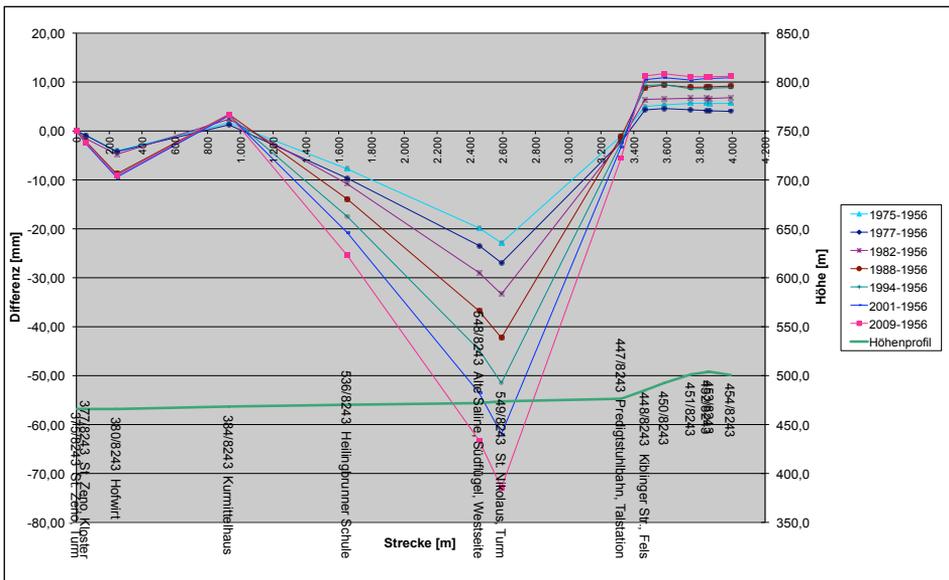


Diagramm 2: Linien 776/870 Bad Reichenhall 1956, 1975, 1977, 1982, 1988, 1994, 2001 und 2009

Interpretation der Senkungen

Die auffälligen Senkungen in Bad Reichenhall geben Anlass zu Interpretationsversuchen. Eine Theorie bezieht sich auf die Auswirkungen der Staumauer, die 1913 für das Saalachkraftwerk errichtet worden war. Die Frage, ob dadurch die Grundwasserhältnisse wesentlich beeinflusst wurden, müssen Geologen beantworten. Sie können dazu auch genaue Aufzeichnungen der Grundwasserpegel heranziehen, die das Salzbergwerk Berchtesgaden in Bad Reichenhall durchführt.

Die bereits 1977 festgestellte Kontinuität der Setzungen an Höhenfestpunkten in Bad Reichenhall bestätigt sich durch die nachfolgenden Wiederholungsmessungen. Das Senkungsmaximum ergibt sich am Turm von St. Nikolaus und den nahe gelegenen Höhenfestpunkten. Die Senkungsgeschwindigkeiten gegenüber der Ausgangsmessung von 1956 bleiben in der gleichen Größenordnung, wie sich aus der nachfolgenden Tabelle ergibt.

Senkungsgeschwindigkeiten der Niv-Punkte im Setzungsmaximum von Bad Reichenhall (bezogen auf den Festpunkt KB 375 St. Zeno Turm) in mm/a seit 1956 bis ...

Höhenfestpunkt	1975	1977	1982	1988	1994	2001	2009
St. Nikolaus, Turm, KB 549	1,20	1,28	1,28	1,32	1,36	1,38	1,38
Heilingbrunner Schule, MB 536	0,41	0,46	0,42	0,43	0,46	0,46	0,48
Alte Saline Südflügel, LB 548	1,04	1,11	1,11	1,15	1,18	1,19	1,19

Kontrollnetz des Salzbergwerkes Berchtesgaden

Ein Netz von Kontrollpunkten unterhält in Bad Reichenhall das Salzbergwerk Berchtesgaden (Südsalz AG als Nachfolgerin der ehemaligen BHS, Berg-, Hütten-, und Salinen AG). Dessen Markscheide-Abteilung führte seit 1988 jährlich, ab 2005 im Dreijahresturnus Präzisionsnivellements (die allerdings nur in einer Richtung ausgeführt wurden) in dem gesamten Netz durch.

Das Netz umfasst 17 Schleifen mit durchschnittlich 3 – 4 km Schleifenlänge. Die Schleifenabschlusswidersprüche bleiben unter $\pm 1,5$ mm. Als Genauigkeit der Nivellements ergibt sich aus den Schleifenschlüssen eine Standardabweichung von $m = \pm 0,5$ mm/km.

Übersicht der Wiederholungsmessungen der Markscheide-Abteilung des Salzbergwerkes Berchtesgaden

Zeit	Nivellierinstrument	Messlatten	Genauigkeit
1988/89	Zeiss Ni 2 mit Planplatten-Mikrometer	3m-Nedo Invarbandlatten	+0,6 mm/km
1990 – 1992	Wild NA 2 mit Planplatten-Mikrometer	3m-Nedo Invarbandlatten	+0,4 mm/km
1993 – 2005	Wild NA 3000	3m- Nedo Invar Strichcodelatten	+0,4 mm/km
2008	DINI 03	3m- Nedo Invar Strichcodelatten	+0,6 mm/km

Das Netz ist auf Felspunktgruppen des Landesamts für Vermessung und Geoinformation (LVG) »gelagert«, die in Staufenbrück, Kibling und Bayerisch Gmain am Rand des Reichenhaller Beckens liegen und sich als weitgehend stabil erwiesen haben. Wie die Messergebnisse des LVG im Diagramm 1 zeigen, hat sich die Festpunktgruppe entlang der Saalach südlich von Reichenhall gegenüber den Felspunkten in Staufenbrück am Nordrand von Reichenhall von 1956 bis 2009 jährlich um durchschnittlich etwa 0,3 mm gehoben. Bei einer Länge des Messweges zwischen diesen Festpunktgruppen von 15 km und zu beobachtenden Setzungen im Reichenhaller Becken von bis zu 1,38 mm/a hat sich die Markscheide-Abteilung allerdings entschieden, zur Untersuchung der Setzungen im Reichenhaller Becken Höhenwerte aus einer Ausgleichung der Kontrollnivellement-Schleifen zu verwenden. Für die Ausgleichung wurden vom BLVA vermarktete Niv-Punktgruppen im Fels als Festpunkte betrachtet.

Dass dies rechnerisch gerechtfertigt ist, zeigen sowohl *Diagramm 3*, in dem die Stabilität zwischen 1988 und 2008 für den Felspunkt MB 450/8243 (der die in sich stabile Felspunktgruppe bei Kibling im Süden Reichenhalls repräsentiert) als auch *Diagramm 4* für den MB 375/8243 am Kirchturm von St. Zeno (der sich, wie schon die Messungen des BLVA ergeben haben, gegenüber der Felspunktgruppe bei Staufenbrück nördlich von Reichenhall als stabil erwiesen hat)⁷.

⁷ Diese Diagramme sowie die nachfolgenden wurden freundlicherweise vom Salzbergwerk Berchtesgaden zur Verfügung gestellt

Festpunkt (Nr. LVG)

Veränderung seit 1988 in mm

Jährliche Veränderung in mm/a

MB 375/824

-0,63

-0,04

MB 450/8243

+3,03

+0,18

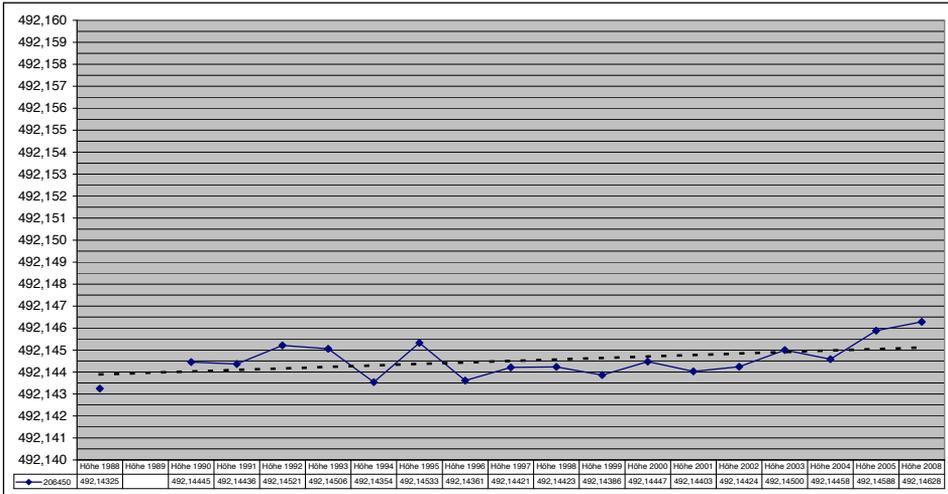


Diagramm 3: Niv Pkt 206450 = MB 450/8243 (LVG) Kibling Fels

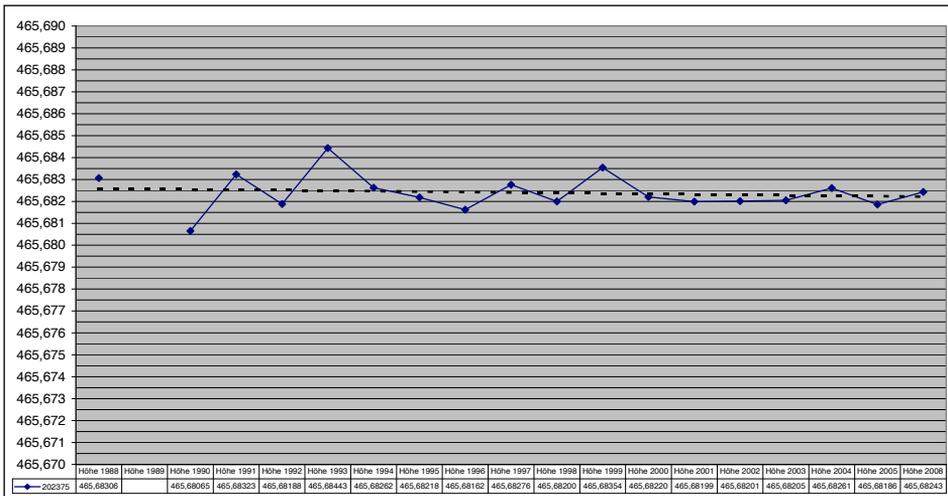


Diagramm 4: Niv Pkt 202375 = MB 375/8243 (LVG) St. Zeno Turm

Identische Messpunkte

Trotz der Vielzahl der vom Bergwerk Berchtesgaden zur Beobachtung von Bodenbewegungen im Reichenhaller Talkessel angemessenen, neu vermarkten oder schon vorhandenen Nivellmentpunkte lassen sich im Interesse eines möglichst langen Vergleichszeitraums mit Messungen des BLVA bzw. des LVG nur wenige Festpunkte bestimmen, die seit 1956 und bis 2008 in jeder Messkampagne angemessen worden sind. Im Gebiet des Senkungsmaximums liegen davon die Punkte:

- KB 549/8243 St. Nikolaus Turm
- MB 536/8243 Heilingbrunner Schule
- KB 541/8243 Alte Saline Brunnhaus

Bestätigung der Setzungen

Für den Vergleich der Ergebnisse der Präzisionsnivelllements des BLVA bzw. des LVG mit den Messungen der Markscheiderei des Salzbergwerkes Berchtesgaden ist der KB 549/8243 am Kirchturm von St. Nikolaus (= Punktnummer der Markscheiderei 219402), der im Setzungsmaximum liegt am interessantesten. *Diagramm 5* zeigt das Verhalten des Punktes seit 1988 und auch deutlich die lineare Absenkung, die bereits durch die amtlichen Messungen festgestellt worden war.

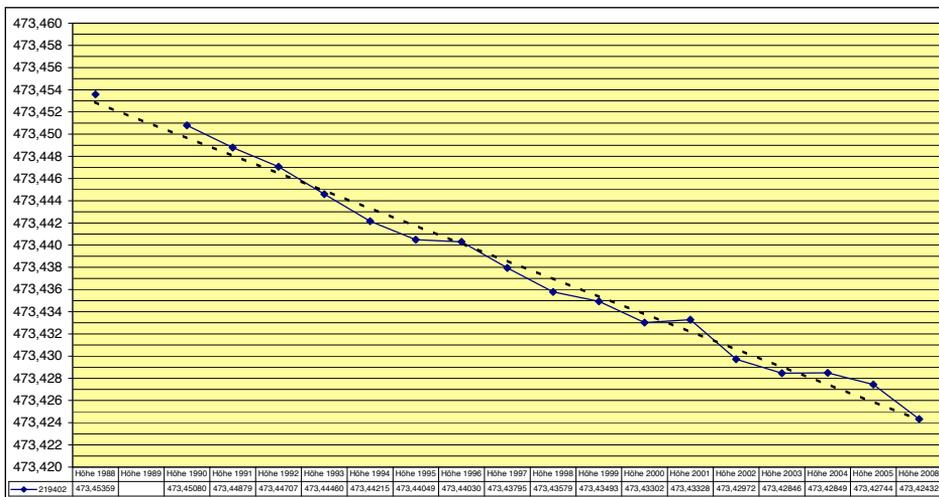


Diagramm 5: Niv Pkt 219402 = MB 549/8243 (LVG) St. Nikolaus Turm

Die geringere Absenkung des MB 536/8243 am Schulgebäude an der Heilingbrunner Straße (= Punktnummer der Markscheiderei 518389) wird durch die Messungen der Markscheiderei, wie deren grafische Darstellung im *Diagramm 6* zeigt, ebenfalls bestätigt.

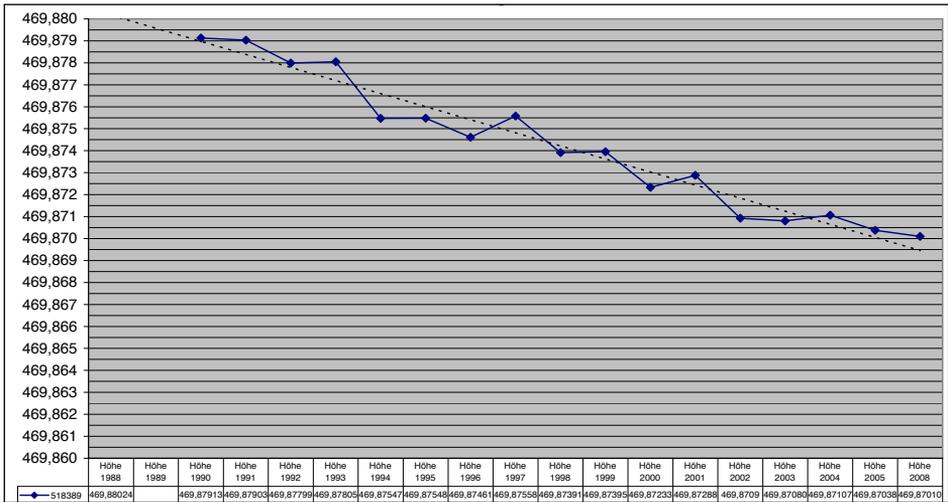


Diagramm 6: Niv Pkt 518389 = 536/8243 (LVG) Heilingbrunner Schule

Der vom BLVA seit 1956 bei jeder Messung verwendete Punkt am Südflügel der Alten Saline LB 548/8243 wurde von der Markscheiderei erst 1998 in das Kontrollnetz aufgenommen. Die Setzungsdaten zeigen aber weitgehende Übereinstimmung mit dem sehr nahegelegenen, älteren Niv-P am Brunnhaus KB 549/8243 (= Punktnummer der Markscheiderei 219393), dessen Setzungsverlauf seit 1988 im Diagramm 7 dargestellt ist. Auch die Setzung dieses Punktes verläuft zeitlich nahezu linear.



Diagramm 7: Niv Pkt 219393 0 KB 541/8243 (LVG) Alte Saline Brunnhaus

Die von BLVA bzw. LVG festgestellten Setzungsgeschwindigkeiten für diese drei am häufigsten angemessenen und an sehr massiven Gebäuden angebrachten Niv-Punkte werden durch die Ergebnisse der Markscheiderei des Salzbergwerkes Berchtesgaden bestätigt. Der nahezu lineare Verlauf der Setzungen mit der Zeit, wie er zwischen 1956 und 2009 durch amtliche Messungen festgestellt worden war (siehe Tabelle der Setzungsgeschwindigkeiten oben) wird von den Messungen des Salzbergwerkes in den Diagrammen 5 bis 7 zwischen 1988 und 2008 bestätigt.

Setzungsgeschwindigkeiten der Niv-Punkte im Setzungsmaximum von Bad Reichenhall aus Messungen der Markscheiderei des Salzbergwerkes Berchtesgaden zwischen 1988 und 2008

KB 549/8243 St. Nikolaus Turm	- 1,46 mm/a
MB 536/8243 Heilingbrunner Schule	- 0,51 mm/a
KB 541/8243 Alte Saline Brunnhaus	- 1,08 mm/a

Die Setzungsgeschwindigkeiten, wie sie sich aus den vorliegenden Präzisionsnivelements berechnen, die innerhalb eines Zeitraums von 53 Jahren mehrmals wiederholt wurden, weichen nur um wenige Hundertstel, in einem Fall bis zu zwei Zehntel Millimeter von einander ab. Dies bestätigt, dass sowohl die amtlichen Messungen im Bayerischen Haupthöhennetz als Grundlage für wiederholte Präzisionsnivelements zur Überwachung von Setzungen geeignet sind als auch, dass das ausgedehnte und verdichtete Festpunktnetz des Salzbergwerkes den Anforderungen an die weitere Beobachtung der Setzungsbewegungen entspricht.

Aus den Ergebnissen des Überwachungsnetzes des Bergwerkes lassen sich vertiefte Aussagen über die Art und gegebenenfalls durch geologische Interpretation auch über die Ursachen der Oberflächenbewegungen im Reichenhaller Becken treffen. Eine Veröffentlichung und flächenhafte Darstellung der Veränderungen im Überwachungsnetz des Bergwerkes wäre daher sicher wünschenswert.

Danksagung

Der vorliegende Aufsatz soll durchaus auch als Anstoß zu einer solchen Veröffentlichung verstanden werden. Er hätte nicht zusammengestellt werden können ohne die Hilfe des Landesamts für Vermessung und Geoinformation (LVG), das Daten zur Verfügung gestellt und die Messergebnisse in Vergleichs-Diagrammen dargestellt hat. Hierfür bedanke ich mich beim LVG und besonders bei Herrn Dipl.-Ing. *Joachim Batscheider*.

Das Salzbergwerk Berchtesgaden hat mir alle notwendigen Daten aus seinen Messungen, auch solche, die nicht für die Veröffentlichung gedacht sind, vertrauensvoll überlassen und zugestimmt, Teile davon sowie Diagramme über die Bewegungen der Punkte im Setzungsmaximum zu verwenden. Für die Zusammenarbeit bedanke ich mich beim Salzbergwerk Berchtesgaden und insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. *Wolfgang Lochner*.