



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Unterschrift Begutachter

DIPLOMARBEIT

*Aktive vertikale Krustenbewegungen in Ostösterreich*

-

*Geodätische Messung geologischer Prozesse*

Ausgeführt am  
Institut für Geodäsie und Geophysik, Abteilung Ingenieurgeodäsie  
der Technischen Universität Wien

durch:  
Sonja Wolfartsberger  
Blumengasse 19/4 1170 Wien

unter Anleitung von:  
Mag. Dr. Erich Draganits  
Dipl.Ing. Dr.techn. Michaela Haberler-Weber

Begutachtung:  
Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Andreas Wieser

9. Mai 2011

Unterschrift der Diplomandin

## Kurzfassung

In der vorliegenden Diplomarbeit werden Vertikalbewegungen von Höhenfestpunkten bearbeitet und geologisch interpretiert. Hauptziel ist es festzustellen, ob und wieviel dieser Höhenänderungen auf aktive geologische Prozesse zurückzuführen sind. Als Beobachtungen dienen Präzisionsnivellementzüge des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) entlang seiner österreichweit verteilten Höhenfestpunkte. Das Beobachtungsgebiet umfasst den nordöstlichen Teil von Österreich und reicht von Horn in Niederösterreich bis zum Neusiedlersee im Burgenland. Dieses Untersuchungsgebiet wurde gewählt, da es mehrere tektonische Einheiten und Störungszonen quert.

Österreich liegt in einem Gebiet, in dem plattentektonische Vorgänge nicht sehr aktiv sind. Daher müssen möglichst alte Nivellementmessungen aus dem Archiv des BEV erhoben werden, um eine größtmögliche Zeitspanne abzudecken. Erst dadurch wird es möglich, neben Messungenauigkeiten und nicht-tektonischen Vertikalbewegungen mögliche rezente Krustenbewegungen herauszufiltern. Nach der Erfassung der Messdaten werden die Linien des gesamten Untersuchungsgebietes zu Nivellements Schleifen zusammengesetzt um so den Bezug aller Höhenmessungen auf ein und denselben Referenzpunkt setzen zu können. Als Bezugspunkt wird ein Höhenfestpunkt in Horn verwendet, der aufgrund seines geologischen Untergrundes als weitgehend stabil (geringes Eigenbewegungsverhalten) angenommen werden kann. Neben kleinräumigen Vertikalbewegungen, die möglicherweise auf anthropogene Einflüsse oder auf natürliche Vorgänge wie Grundwasserschwankungen zurückzuführen sind, gibt es auch großräumige Trends festzustellen. So zeigt sich, dass sich der südöstliche Teil des Untersuchungsgebietes im Vergleich zu Horn mit etwa 2-3 mm/Jahr absenkt.

Aus den zuvor errechneten Höhenänderungen werden verschiedene Visualisierungen erstellt, die die Daten möglichst gut veranschaulichen sollen. Abschließend wird mit Hilfe dieser Visualisierungen und verschiedener geologischer und geophysikalischer Daten eine Interpretation des Bewegungsverhaltens der Höhenfestpunkte erarbeitet. Aufgrund dieser Untersuchung kann das Senkungsverhalten im Bereich des Wiener Beckens bestätigt werden. Von 1023 Messwerten liegen 99% zwischen -4 und +0,6 mm/Jahr und die am Häufigsten auftretende Bewegungsrate im gesamten Datensatz liegt bei -1,4 mm/Jahr.

## Abstract

The target of this diploma thesis is the quantification of active vertical tectonic processes (recent crustal movements) with geodetic methods. The geological interpretation is based on the kinematic behaviour of benchmarks from precise levelling lines. The data are taken from nationwide levellings conducted by the Austrian Federal Office of Metrology and Surveying (BEV). The observation area for this thesis is in the northeastern part of Austria. It reaches from the town Horn in the northern region of Lower Austria to the Neusiedlersee, a lake in the federal state of Burgenland. The observation area includes the capital town Vienna. This area of investigation has been chosen, because it includes several tectonic units and tectonic zones.

In Austria the active crustal movements are generally small. The only opportunity for obtaining significant results is to use the long time periods of levelling data. Therefore it was necessary to collect very old measuring data from the BEV-archive. One of the main targets was the research and the preparation of the levelling measurements of the last decades.

For further processing the levelling lines were assembled to loops. So it was possible to relate all height measurements to the same reference point, which is located in the northwestern part of the observation area, in the town Horn. This region is part of the Bohemian Massif and seems suitable because of its stable geological structure. Based on these data the vertical movements of the benchmarks were derived. Besides small-scale movements that might be explained by human impact or local fault movements also large-scale trends are observed. The evaluation shows a subsidence of 2-3 mm/year in the south-eastern part of the observation area.

These results were the basis for graphic representations and further geological interpretation with geological and geophysical data of the territory which further corroborated the subsidence of the Vienna basin. 99 percent of the whole data is within -4 and +0,6 mm/year. The value -1,4 mm/year has the highest frequency of occurrence in the data.

## **Danksagungen**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die zur Erstellung dieser Arbeit einen wichtigen Beitrag geleistet haben. Das betrifft sowohl die betreuenden Personen als auch meine Familie und Freunde.

Besonderer Dank gilt dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) für die Bereitstellung der Messdaten und einiger Grafiken für diese Diplomarbeit und für die Hilfsbereitschaft und Kooperation seiner Mitarbeiter.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2. Geophysikalische &amp; Geologische Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1. Plattentektonik	10
2.1.1. Konstruktive oder divergierende Plattengrenzen	11
2.1.2. Destruktive oder konvergierende Plattengrenzen	12
2.1.3. Konservative oder transforme Plattengrenzen	12
2.1.4. Komplexe Plattengrenzen	13
2.2. Geologie Österreichs	13
2.2.1. Tektonische Vorgänge und wichtige tektonische Strukturen	17
2.2.2. Entstehungsgeschichte der Alpen	20
2.3. Was verursacht Höhenänderungen?	22
2.3.1. Einfluss des Grundwassers	22
2.4. Bestimmung von Krustenbewegungen	23
2.4.1. Erfassung mit Hilfe der Geodäsie	23
2.4.2. Bestimmung rezenter Krustenbewegungen mit geologischen und geomorphologischen Methoden	24
<b>3. Geodätische Grundlagen</b>	<b>26</b>
3.1. Allgemeines zum geometrischen Nivellement	26
3.2. Das Präzisionsnivellement	27
3.3. Höhenproblematik - Definition der Höhe	29
3.4. Höhensysteme	31
3.4.1. Dynamische Höhen	31
3.4.2. Orthometrische Höhen $h^*$	31
3.4.3. Normalhöhen $H$	32
3.4.4. Ellipsoidische Höhen $H'$	33
3.4.5. Vignalhöhen	34
3.4.6. Normal-orthometrische Höhen bzw. sphäroidische Höhen	34
3.5. Das Österreichische Höhensystem ÖHN	34
3.5.1. Historische Entwicklung	34
3.5.2. Aktuelle Höhenmessung am BEV	38
3.6. Höhensysteme in Europa	39
3.6.1. Das europäische Höhenreferenzsystem	39
3.7. Berechnung der Höhenänderungen	41

3.8. Datenvoraussetzungen zur Ermittlung vertikaler Bewegungen . . . . .	43
<b>4. Das Untersuchungsgebiet</b>	<b>45</b>
4.1. Gebietsbeschreibung . . . . .	45
4.1.1. Die Nordschleife . . . . .	46
4.1.2. Die Südschleife . . . . .	46
4.1.3. Die Wienschleife . . . . .	46
4.1.4. Weitere Südzüge . . . . .	47
4.1.5. Referenzpunkt Horn . . . . .	47
4.2. Die Messdaten . . . . .	47
4.2.1. Datengewinnung . . . . .	49
4.2.2. Datenbearbeitung . . . . .	53
4.3. Berechnungen zu den Messdaten & erste Visualisierungen . . . . .	54
4.3.1. Genauigkeitsberechnungen zu den Nordschleifen . . . . .	56
4.3.2. Berechnungen zu der Südschleife . . . . .	57
4.3.3. Die Linien der Nordenschleife im Detail . . . . .	61
4.3.4. Die Linien der Südschleife im Detail . . . . .	71
4.3.5. Berechnung der Wienschleife . . . . .	76
4.3.6. Weitere Südzüge . . . . .	81
4.4. Visualisierungen mit geologischen Karten . . . . .	89
4.5. Erstellung einer flächenhaften Bewegungskarte des Untersuchungsgebietes . . . . .	90
4.5.1. Erläuterungen zu den verwendeten Interpolationsmethoden . . . . .	91
4.5.2. Ergebnisse . . . . .	94
<b>5. Die geologische Interpretation der geodätischen Ergebnisse</b>	<b>98</b>
5.1. Erste geologische Betrachtungen des Untersuchungsgebietes . . . . .	98
5.2. Lokalisierung der Störungen . . . . .	100
5.2.1. Erdbeben in Österreich . . . . .	100
5.3. Das Wiener Becken . . . . .	101
5.3.1. Lage und Aufbau des Wiener Beckens . . . . .	102
5.4. Ergebnisse für das gesamte Testgebiet im Vergleich mit Österreich und seiner Nachbarländer . . . . .	105
5.5. Aussagen über die Nordschleife . . . . .	107
5.6. Betrachtung des Südschleifenbereichs . . . . .	113
5.7. Betrachtungen einzelner Südzüge . . . . .	115
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>121</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>123</b>
<b>A. Geologisches Material</b>	<b>127</b>

# 1. Einleitung

„The problems of recent crustal movements are related to studies of the geodynamical properties of the upper layers of the Earth. Speaking on these phenomena, we understand them as a continuation of uninterrupted process of tectonical movements in present (recent) time. Contrary to the geological research, the studies of recent crustal movements are based on analyses of repeated geodetic measurements, and their combination with results of geophysical investigations.“ (Vyskočil, 1996, S.77).

Durch die Verknüpfung verschiedener Fachbereiche erhofft sich Vyskočil eine bessere Lösung zur Erforschung von Krustenbewegungen. Neben geologischer Feldarbeit und geophysikalischer Datenerfassung (Seismik, Herdflächenlösungen von Erdbeben) sind es vor allem geodätische Messungen, die sehr aufschlussreiche Daten dafür liefern.

Es können nach (Frisch and Meschede, 2007, S.28) relative Plattengeschwindigkeiten aus der geologischen Vergangenheit berechnet und auf die Gegenwart angewendet werden: entweder anhand der Breite der magnetischen Streifen, die sich an den Mittelozeanischen Rücken gebildet haben oder mit Hilfe der über Heißen Flecken (hot spots) gebildeten Vulkanketten (Beispiel Hawaii). Auf solchen Berechnungen basiert das *Northwestern University VELOCITY model (NUVEL-Modell)*.

Ab den 1970ern versuchte man die Krustenbewegungen direkt mit Hilfe geodätischer Weltraumverfahren wie etwa *Satellite Laser Ranging (SLR)* und *Very Long Baseline Interferometry (VLBI)* zu messen. In den 1990er konnte sich aber das preisgünstigere und leichter handhabbare *Global Positioning System (GPS)*, ein von den USA entwickeltes *Global Navigation Satellite System (GNSS)* gegen die anderen Messmethoden durchsetzen (Frisch and Meschede, 2007, S.29). Ein Vergleich der NUVEL-Daten mit den von GPS-Messungen abgeleiteten Plattenbewegungen ergibt größtenteils Übereinstimmungen, in einigen Fällen aber auch Widersprüche. Grund dafür ist nach (Frisch and Meschede, 2007, S.29) die sogenannte „*Intraplatten-Tektonik*“ (Deformation innerhalb der Platten), die aber eine Größenordnung kleiner ist als die Tektonik an den Plattenrändern.

Für die Erfassung dieser platten-internen Deformationen eignet sich ein GNSS wie etwa GPS oder GLONASS sehr gut, aber auch die klassischen terrestrischen Vermessungsmethoden sind dafür geeignet und wurden auch schon vor dem Einsatz von GNSS verwendet.

Mittlerweile verfügen viele europäische Länder über ein nationales permanentes GPS-Netz. Durch Kombination der nationalen Messstationen kann ein grenzübergreifendes Referenzsystem gebildet werden, wie beispielsweise das *ETRS (European Terrestrial Reference System)*<sup>1</sup>. Durch diese Referenzrahmen sind viele internationale Forschungs-Projekte möglich, so auch im Sektor der rezenten Krustendynamik. Als ein Beispiel soll hier das 1993 ins Leben gerufene *Central Europe Regional Geodynamics Project (CERGOP)* genannt werden, an dem sich elf Länder (unter anderem auch

---

<sup>1</sup>Informationen zum ETRS unter der EUREF-Homepage, the IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe: [http://www.euref.eu/euref\\_egrs.html](http://www.euref.eu/euref_egrs.html) - Menüpunkt European Geodetic Reference Systems

Österreich) beteiligten Grenczy et al. (2000).

Auch die Messdaten des Projekts *ALPS GPSQUAKENET*<sup>2</sup> basieren unter anderem auf dem Zusammenschluss von GPS-Permanent-Stationen mehrerer europäischer Länder und dienen der Erforschung der Krustendeformation, der Analyse zur Erdbebengefahr, der Meteorologie und noch anderen Forschungsthemen in der Alpenregion.

Durch die Auflistung einiger Forschungsschwerpunkte beim ALPS GPSQUAKENET Projekt kann man sich vielleicht konkrete Anwendungsbereiche der Platten- bzw. Intraplattenbewegungen vorstellen. Einer der wichtigsten Gründe für die Erforschung der Krustenbewegungen ist mit Sicherheit die Ermittlung des Gefahrenpotentials von Erdbeben und das damit verbundene Risiko für Mensch, Gebäude und Landschaft. Gerade die aktuellen Tagesgeschehen, wie etwa das Erdbeben in Japan vor der Küste Honshus vom 11. März 2011 und seine verheerende Folgen vermitteln die Wichtigkeit dieses Themas. Auch das umstrittene Thema der Atomindustrie soll hier kurz erwähnt werden. In Zentraleuropa sind zwar keine Starkbeben mit einer Magnitude von 9,0 zu erwarten, aber dennoch ist Vorsicht angesagt. In der Schweiz versucht man anhand des GPS-Landesnetzes einen geeigneten Standort für ein künftiges Endlager für radioaktive Abfälle zu ermitteln Brockmann et al. (2005). In der Arbeit von Bus et al. (2009) wurden für den Bereich des Wiener bzw. des Pannonischen Beckens die Bewegungsraten der Erdkruste aus GPS-Messungen abgeleitet und mit Ergebnissen aus Herdflächenlösungen und Erdbeben-Magnituden verglichen. Das Resultat zeigte gute Übereinstimmungen.

Für die Bildung eines europäischen Höhenreferenzrahmens bedient man sich der Kombination von Nivellementmessungen, Schweremessungen mit einem GPS-Permanent-Netz Adam et al. (1999). Daraus wird ein stabiles kinematisches Höhensystem für Europa gebildet, das *EVRS (European Vertical Reference System)*<sup>3</sup>.

Weiters werden heutzutage mit Hilfe von *Airborne Laser Scanning* erstellte Geländemodelle in Kombination mit geophysikalischen Daten zur Auswertung von Krustendeformationen herangezogen, wie beispielsweise bei Székely et al. (2009), dazu mehr im Kapitel 5.7.

In dieser Diplomarbeit soll der Auswirkung der Krustenbewegungen auf die Höhenkomponente nachgegangen werden. Eine alt bewährte geodätische Messmethode für Höhenmessung ist das Nivellement, speziell in diesem Fall das Präzisionsnivellement. Natürlich sind die geodätischen Welt- raumverfahren ebenfalls sehr gut einsetzbar für diese Fragestellung. Diese Messmethoden reichen allerdings noch nicht sehr weit in die Vergangenheit zurück und nachdem im Untersuchungsgebiet nur mit wenigen Millimetern Krustenbewegungen pro Jahr zu rechnen ist (Decker et al. (2005) und Joó (1992)), muss man einen möglichst großen Zeitraum in die Erforschung miteinbeziehen. In Österreich gibt es ein sehr gut ausgebautes Präzisionsnivellementnetz, welches seit über 100 Jahren besteht und durch das BEV regelmäßig neu übermessen wird. Aus einigen stabilen Punkten des Österreichischen Höhennetzes (ÖHN) wurden auf Basis der mehrmaligen Übermessungen der Punkte die in Österreich vorherrschenden Höhenänderungen berechnet. Das Ergebnis ist der Ab-

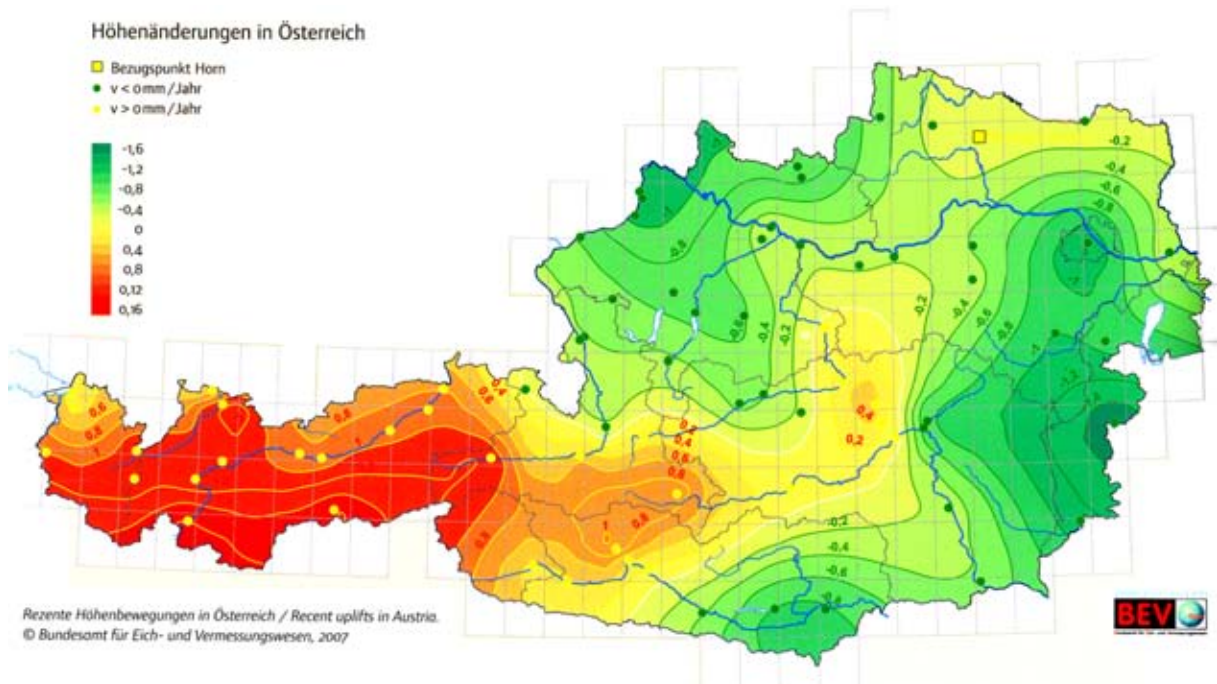
---

<sup>2</sup>Informationen zum Projekt ALPS GPSQUAKENET der Kommission für Erdmessung und Glaziologie - Abteilung Erdmessung (Bayrische Akademie der Wissenschaften): <http://www.bek.badw-muenchen.de/projekte0.html> - Menüpunkt Projekte

<sup>3</sup>Infos zum Europäischen Höhensystem unter der Homepage des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG): [http://www.bkg.bund.de/nn\\_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03\\_node.html\\_nnn=true](http://www.bkg.bund.de/nn_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03_node.html_nnn=true)



bildung 1.1 zu entnehmen. Bezogen werden die Änderungsraten (Angabe in Millimeter pro Jahr)



**Abbildung 1.1.:** Rezente Höhenänderungen in Millimeter/Jahr für ganz Österreich Höggerl (2007). Für diese Auswertung wurden 106 regional stabile Knotenpunkte des ÖHN (Österreichisches Höhennetz) sowie Punkte der Nivellementenetze der Nachbarländer verwendet. Im zentralalpinen Teil Österreichs dominieren Hebungen, während in den nordöstlich liegenden Beckenlandschaften Senkungen zu vermerken sind.

auf einen im stabilsten Teil von Österreich liegenden Punkt in Horn. In Relation dazu hat sich der zentralalpine Teil im Westen gehoben und der nordöstliche Teil gesenkt.

Aufgrund des interdisziplinären Ansatzes dieser Arbeit, der sowohl Geodäsie als auch Geologie umfasst, werden in den ersten beiden Kapiteln einige grundlegende Begriffe und Konzepte der jeweiligen Fachgebiete erläutert. In Kapitel 2 werden zuerst die Grundbegriffe der Plattentektonik und die Geologie Österreichs zusammengefasst. Anschließend werden verschiedene tektonische Begriffe erklärt, deren Verständnis bei der späteren Interpretation wichtig ist. Danach werden die verschiedenen Möglichkeiten vorgestellt, die es zur Erfassung von Krustenbewegungen gibt.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit den geodätischen Grundlagen. Es werden das Prinzip des Nivellements, die verschiedenen Höhensysteme und das Österreichische Höhennetz (ÖHN) sowie die Höhen seiner Nachbarländer vorgestellt. Weiters erfolgt eine Erklärung der notwendigen Datenaufbereitungsschritte für die Beobachtung von vertikalen Krustenbewegungen.

Im Kapitel 4 wird das gewählte Untersuchungsgebiet vorgestellt. Es erfolgt eine Schilderung des Ablaufs der Datensammlung und -aufbereitung, Berechnungsschritte werden dokumentiert sowie erste grafische Ergebnisse vorgezeigt.

Im Kapitel 5 erfolgt die Interpretation der Messdaten des Untersuchungsgebietes anhand verschiedener geologischer Karten und seismischer Daten. Dabei wird sich zeigen, dass im Norden des Untersuchungsgebietes deutlich geringere Bewegungen auftreten als im südlichen Teil, der im Bereich des seismisch aktiven Wiener Beckens liegt.

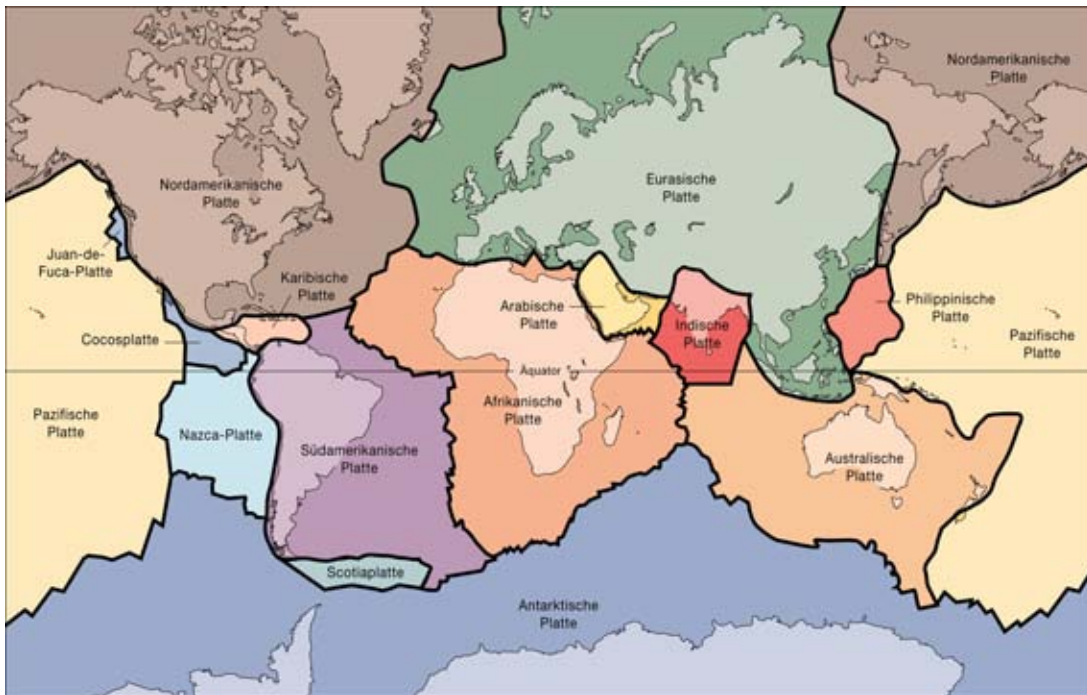
## 2. Geophysikalische & Geologische Grundlagen

### 2.1. Plattentektonik

Die Theorie der *Kontinentaldrift* entstand bereits im späten 16. Jahrhundert. Zurückgeführt wurde sie auf die Ähnlichkeit verschiedener Küstenverläufe, zum Beispiel zwischen der Westküste Afrikas und der Ostküste Südamerikas. Unter vielen soll sich schon Sir Francis Bacon mit diesem Thema auseinandergesetzt haben (Frisch and Meschede, 2007, S.10), sowie auch Benjamin Franklin (Press et al., 2008, S.24). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts versuchte Alfred Wegener die Theorie eines Urkontinents noch zu bekräftigen. Nicht nur die Küsten der heutigen Kontinente scheinen sich wie Puzzleteile ineinander zu fügen, er entdeckte auch Übereinstimmungen zwischen fossilen und rezenten Floren und Faunen auf verschiedenen Kontinenten. Was allerdings immer noch fehlte, war eine plausible Erklärung für die Kontinentverschiebung. Erst in den 1960ern, mit der konkreten Wahrnehmung des *sea-floor-spreading* und der Entdeckung der magnetischen Streifenmuster am Meeresboden, siehe (Frisch and Meschede, 2007, S.12), entwickelte sich die Theorie der *Plattentektonik*, und damit etablierte sich auch die Kontinentaldrift-Theorie. Seither wurde in dem Gebiet viel Forschung betrieben. Durch die geophysikalischen Messmethoden sowie die Satellitengeodäsie konnte die Theorie der Plattentektonik nachgewiesen werden.

Unter Plattentektonik versteht man einen endogenen Prozess auf der Erde, der in engem Zusammenhang mit Vulkanismus, Erdbeben und Gebirgsbildung steht (Font Altaba et al., 1998, S.48). Die Tektonik beschreibt die Bewegungen der Erdkruste und der Lithosphärenplatten. Diese bewegen sich auf der halbplastischen Asthenosphäre, die zum oberen Mantel gehört. Der heute am meisten vermutete Auslöser der Bewegung dieser Lithosphärenplatten ist die Mantelkonvektion. Der Grund für diese thermischen Konvektion liegt im Erdinneren. Seit ihrer Entstehung wird in der Erde durch radioaktiven Zerfall Wärme erzeugt. Durch den im Mantel vorherrschenden hohen Druck und die hohe Temperatur verhält sich der Erdmantel wie eine viskose Flüssigkeit. Nahe an der Erdoberfläche kommt es im Mantel stets zu Abkühlung. Aus den Temperaturunterschieden resultiert thermische Ausdehnung beziehungsweise Kontraktion, was wiederum Dichteunterschiede im Mantel erzeugt. Daraus folgen Auftriebskräfte, die die thermische Konvektion antreiben. Die Fließbewegungen im Mantel liegen bei mehreren Zentimetern im Jahr, die Bewegung der Lithosphärenplatten weisen die gleiche Größenordnung auf. Ob die Mantelkonvektion nun Ursache der Plattentektonik ist oder ihre Auswirkung, ist noch umstritten, siehe beispielsweise bei (Font Altaba et al., 1998, S.50).

Die Lithosphäre besteht aus rund 20 verschiedenen großen Platten und umfasst die gesamte Erde. Die größeren Platten sind in der Abbildung 2.1 zu sehen. Nach (Frisch and Meschede, 2007, S.12) kann die Mächtigkeit der Lithosphäre zwischen 70 und 150 km liegen und ist unter Kontinenten dicker als unter den Ozeanen. Die Lithosphäre besteht aus der Erdkruste und der obersten Schicht



**Abbildung 2.1.:** Ansicht der größeren tektonischen Platten der Erde nach Kious and Tilling (2009). Informationen über die Art der Plattengrenzen und deren Bewegungsgeschwindigkeiten finden sich bei der DTAM der NASA.

des Erdmantels. Weiter unterscheidet (Frisch and Meschede, 2007, S.12) zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste, die verschiedene Mächtigkeiten, Gesteinsaufbau und Dichte aufweisen. Die leichte Kontinentale Kruste ist durchschnittlich 30 bis 40 km mächtig und umfasst die Kontinente und die Schelfgebiete. Die etwas dichtere ozeanische Kruste bildet die Ozeanböden und kann bis zu 8 km mächtig sein.

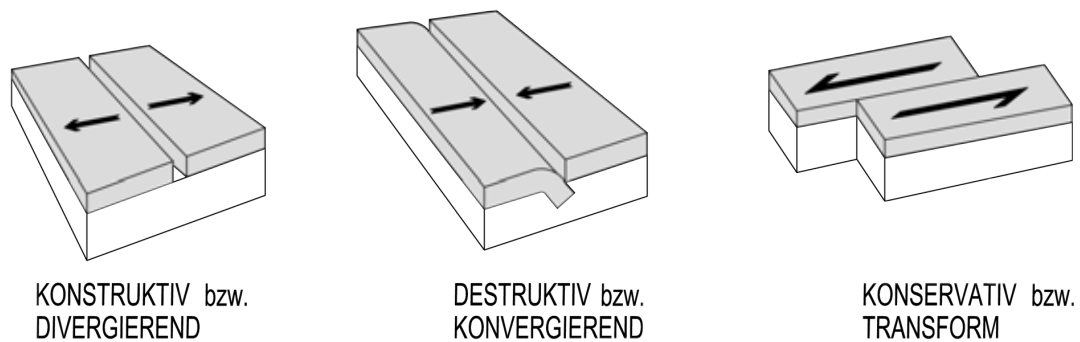
Die Lithosphärenplatten bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in verschiedene Richtungen. An den Plattengrenzen kommt es durch diese Bewegungen zu Vulkanismus, Erdbeben oder Krustenverdünnung. Die National Aeronautics and Space Administration (NASA) erstellte eine Karte der aktuellen Tektonik der gesamten Erde. Diese *Digital Tectonic Activity Map (DTAM)*<sup>1</sup> entstand durch die Verknüpfung geophysikalischer, geologischer und geodätischer Messdaten und zeigt eine maximale relative Plattenbewegung von rund 15 cm (zwischen der pazifischen und der Nazca-Platte).

Es gibt drei verschiedene Typen von Plattengrenzen, die sich durch die Plattenbewegungen ergeben (Frisch and Meschede, 2007, S.13ff). Sie sollen im Folgenden kurz erwähnt werden. Die Abbildung 2.2 zeigt schematische Darstellungen dieser Typen.

### 2.1.1. Konstruktive oder divergierende Plattengrenzen

Die Platten bewegen sich voneinander weg, und dabei entsteht neue Kruste. Konstruktive Plattengrenzen sind die Mittel-Ozeanischen Rücken. Die durch die Auseinanderbewegung entstehende

<sup>1</sup>Digital Tectonic Activity Map der National Aeronautics and Space Administration unter: <http://denali.gsfc.nasa.gov/dtam/dtam/>.



**Abbildung 2.2.:** Die verschiedenen Typen der Plattengrenzen. Darstellung der Platten in grau und der darunter liegenden Asthenosphäre in weiß.

Lücke wird mit aufdringendem Mantelmaterial gefüllt (*sea-floor-spreading*). Bei kontinentalen Platten kommt es zu Beginn zu Krustenausdünnung und letztendlich zu Grabenbrüchen (zum Beispiel der ostafrikanische Graben). Dieser Typ der Plattengrenze weist eher nur schwache Erdbeben auf.

### 2.1.2. Destruktive oder konvergierende Plattengrenzen

Hierbei bewegen sich die Platten aufeinander zu. Eine ozeanische Platte taucht entweder unter eine andere ozeanische oder eine kontinentale Platte. Dabei kommt es zum „Recycling“ von Krustenmaterial der in die Subduktionszone abtauchenden Platte. Im Abtauchbereich der subduzierenden Platte bilden sich Tiefseerinnen (beispielsweise der Marianengraben). Bei dieser Art von Plattengrenze kommt es auch zu sehr starken Erdbeben und Vulkanismus. Ein klassisches Beispiel dafür ist der *Ring of Fire*, ein Vulkangürtel, der Großteile des Pazifischen Ozeans umgibt. Es gibt drei Arten von Plattenkollisionen:

- **ozeanisch - kontinental:** hierbei kommt es zur Subduktion der ozeanischen Lithosphäre unter die kontinentale. Die kontinentale Platte wird dabei durch Krusteneinengung verdichtet und es entsteht ein Gebirgszug entlang der Küste.
- **ozeanisch - ozeanisch:** Entlang der Subduktionszone schiebt sich eine Platte unter die andere, wird teilweise aufgeschmolzen und steigt teilweise wieder an die Oberfläche, was zur Bildung von Inselbögen führt.
- **kontinental - kontinental:** diese Art unterscheidet sich etwas von den anderen beiden. Da die Kontinental-Platten leichter sind als der Mantel, kann keine unter die andere abtauchen. Es kommt zu Überschiebungen, Verfaltungen und Hebungen, die letztendlich zur Gebirgsbildung führen. Ein Beispiel für das Resultat einer Kollision kontinentaler Platten ist das Himalayagebirge.

### 2.1.3. Konservative oder transforme Plattengrenzen

Dabei bewegen sich die Platten horizontal aneinander vorbei. Es kommt weder zu Erzeugung noch zu Zerstörung von Krustenmaterial einer Platte. Entlang von Mittelozeanischen Rücken kommt es

sehr oft zur Bildung von kurzen Transformstörungen. Auf Kontinenten sind konservative Plattengrenzen eher selten, können hier aber verheerende Erdbeben auslösen. Das klassische Beispiel für eine transforme Plattengrenze ist die San Andreas Störung in Kalifornien.

#### **2.1.4. Komplexe Plattengrenzen**

Zusätzlich zu den drei genannten gibt es auch Grenzen, die nicht klar definiert werden können. Daher sind auch ihre Interaktionen untereinander unterschiedlich. Diese sogenannten *plate boundary zones* umfassen nach Kious and Tilling (2009) mindestens zwei große Platten und dazwischen eine oder mehrere Mikroplatten. Dieser Fall tritt beispielsweise im mediterranen-alpinen Raum auf. Zwischen der Eurasischen und der Afrikanischen Platte werden mehrere kleine Plattenteile vermutet.

## **2.2. Geologie Österreichs**

In Österreich treten eine Vielzahl von geologischen Einheiten und damit verbundenen verschiedenen Landschaftsformen auf. Besonders prägend sind die Anteile an den Ostalpen, die sich auf österreichischem Staatsgebiet von Vorarlberg bis Wien erstrecken, sich dann im Untergrund des Wiener Beckens fortsetzen und weiter im Osten als Karpatenbogen wieder an der Oberfläche auftauchen Krenmayr et al. (2002). Neben den Anteilen an der Alpenkette prägen auch Beckenlandschaften, weite Talfluren und enge Flussdurchbrüche das Land Österreich. Nicht zu vergessen sind die im Norden liegenden bewaldeten Hochlandschaften. Es sollen hier nun kurz die von Norden nach Süden auftretenden geologischen Zonen aufgezählt werden, wie beispielsweise bei Krenmayr et al. (2002) nachgelesen werden kann.

In Abbildung 2.3 können die hier aufgelisteten tektonischen Einheiten räumlich zugeordnet werden. Teilweise erfolgt im Text nur eine vereinfachte Beschreibung und unterscheidet sich daher von der Abbildung. Eine korrekte Zuordnung sollte jedoch gegeben sein. Weiters sind in der Abbildung noch Bruch- und Störungszonen sowie die Deckengrenzen eingetragen. Im Anhang A.1 findet sich eine ergänzende Geologische Zeittafel.

### **Die Böhmisches Masse**

Sie erstreckt sich nördlich der Donau im Wald- und im Mühlviertel. Südlich des Flusses umfasst sie beispielsweise den Sauwald und den Dunkelsteiner Wald. Dieses nach Krenmayr et al. (2002) älteste Gebirge Österreichs wurde durch Verwitterung und Erosion bis auf seinen Kristallinsockel reduziert und zeichnet sich heute durch Hügellandschaften und Hochflächen mit waldreichen Taleinschnitten aus. Der österreichische Anteil der Böhmisches Masse kann weiter in eine moldanubische Zone im Westen und in eine moravische Zone im Osten unterteilt werden. Beide Zonen bestehen aus kristallinen Gesteinen, die sich in ihrem Metamorphosegrad unterscheiden. In zahlreichen Steinbrüchen werden die Granite und Gneise der Böhmisches Masse für Straßenpflasterungen abgebaut.

## **Molassezone und Neogenbecken**

Die Molassezone ist geographisch gesehen das Alpenvorland. Sie grenzt an den Nordrand der Alpen und bedeckt weiters den östlichen Rand der Böhmisches Masse, die sich unterhalb der Ablagerungen der Molassezone weiter fortsetzt (siehe Abbildung 2.3). Die im Neogen entstandenen Ablagerungen bestehen weitgehend aus Erosionsprodukten der Alpen und in geringeren Mengen auch aus der Böhmisches Masse. Typisch für die Molassezone ist der sogenannte Schlier, ein meist feinsandiger Schluff. Prägend für diese junge Landschaft sind die sanften, hügeligen Geländeformen. Alter und die Sedimente der Neogenbecken sind jenen der Molassezone sehr ähnlich. Zu den inneralpinen Neogenbecken zählen das Klagenfurter, das Pannonische, das Steirische und das Wiener Becken. Im Untergrund der Molassezone und des Wiener Beckens liegen nach Krenmayr et al. (2002) die größten Erdöl- und Erdgasvorkommen Österreichs.

## **Das Penninikum**

Die drei wesentlichsten Bauelemente der Alpen sind das Helvetikum, das Ostalpin und das Penninikum. Sie bestehen seit der Entstehung des Penninischen Ozeans in der Kreidezeit. Als ein Teil des Penninikums ist die **Flyschzone** zu nennen. Sie zieht sich als schmales Band am Nordrand der Nördlichen Kalkalpen vom Wienerwald über Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg und Bayern bis nach Vorarlberg (Abbildung 2.3). Entstanden ist sie in der Kreidezeit und im Alttertiär aus dem vorgelagerten Meeresbecken der bereits aufsteigenden Alpen. Hauptsächliche Bestandteile sind Mergel, Ton- und Sandsteine. Aufgrund dieser Gesteine ergeben sich Probleme mit häufig vorkommenden Rutschungen. Daher rührt auch der aus der Schweiz stammende Name der Zone („flyschen“ bedeutet so viel wie „fließen“) (Wessely, 2006b, S.85).

Neben der Flyschzone werden noch weitere tektonische Einheiten dem Penninikum zugeordnet. Ihre Gesteine liegen größtenteils unter einer anderen tektonischen Einheit, dem Ostalpin, und treten nur an drei Stellen als sogenannte Fenster (siehe Abbildung 2.5) an die Oberfläche. Diese Anordnung der Einheiten war auch verantwortlich für die Namensgebung dieser penninischen Einheiten. Sie werden treffenderweise **Tauern-, Engadiner und Rechnitzer Fenster** genannt (Abbildung 2.3). Hier finden sich in erster Linie Sedimente aus dem penninischen Ozean.

## **Das Helvetikum**

Wie der Name bereits vermuten lässt, ist die Helvetische Zone mit ihren Sedimentgesteinen in der Schweiz häufiger anzutreffen als weiter östlich in Österreich, wo sie oft in der Nähe der Flyschzone zu finden ist und teilweise auch mit dieser komplex verschleppt ist (Abbildung 2.3). Im Bregenzer Wald noch breit entwickelt, tritt das Helvetikum in Salzburg, Oberösterreich und Niederösterreich nur mehr in streifenförmigen Vorkommen in der Flyschzone zutage. Es ist auch unter dem Ausdruck Klippenzone bekannt.

## **Nördliche Kalkalpen**

Das Landschaftsbild der Nördlichen Kalkalpen ist geprägt von schroffen Felswänden und bewaldeten Mittelgebirgsketten. Bekannte Vertreter dieser Einheit sind die Hohe Wand, der Schneeberg und

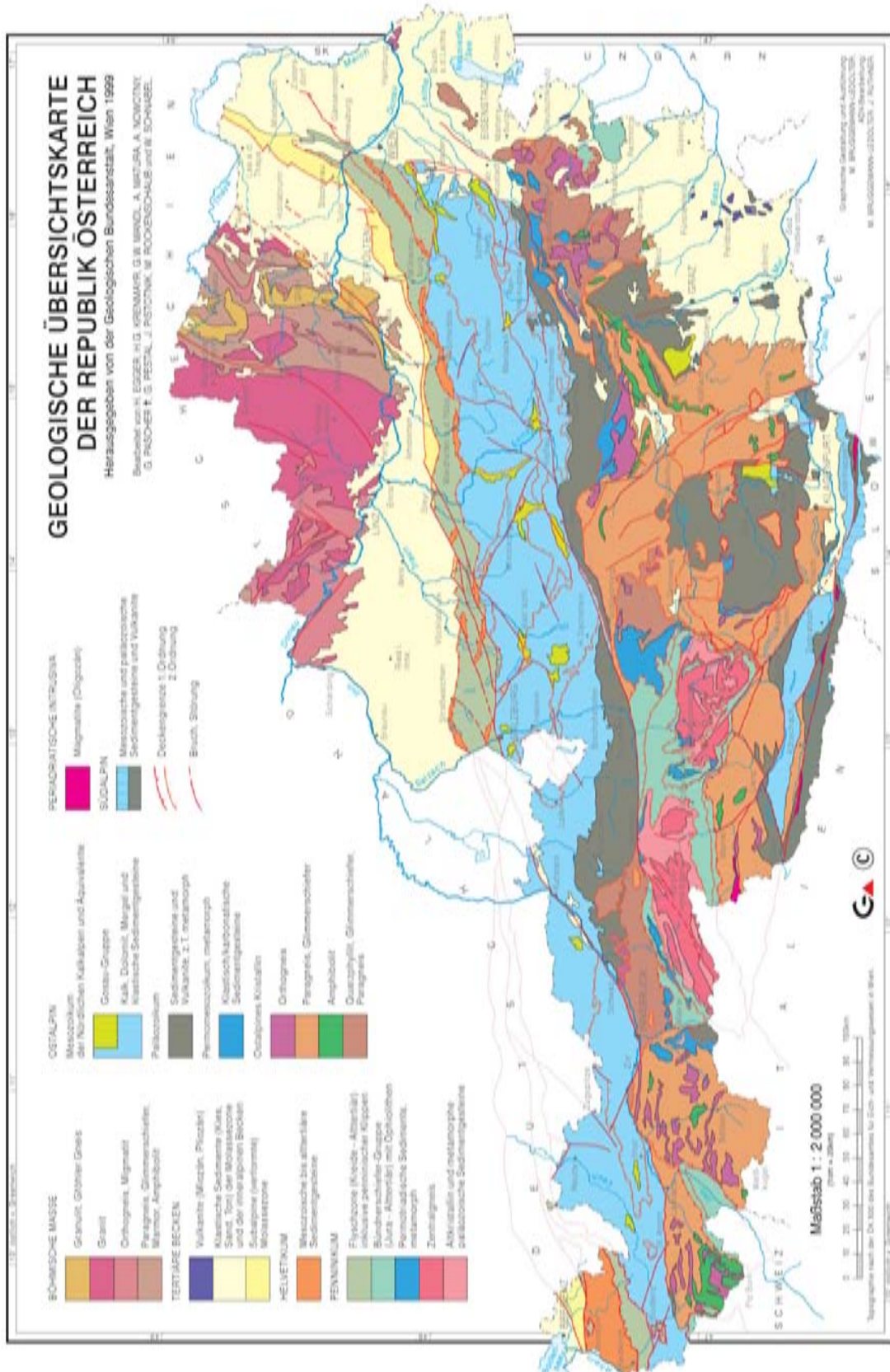


Abbildung 2.3.: Die Großlandschaften Österreichs nach Egger et al. (1999).

die Rax, der Dachstein, das Tote Gebirge, das Tennengebirge, das Karwendel und die Lechtaler Alpen (Abbildung 2.3). Hauptsächlich aus Kalk und Dolomit aufgebaut, sind diese Gebirgszüge aus tierischen und pflanzlichen Überresten in Trias und Jura entstanden. Während der Gebirgsbildung vom Jura bis ins Jungtertiär kam es aufgrund von Einengungen und Faltungen zu Übereinanderstapelung in Decken.

Sehr ähnliche Gesteine und Schichtfolgen wie die der Nördlichen Kalkalpen sind auch im sogenannten **Drauzug** zu finden, der aus den Lienzer Dolomiten, den Gailtaler Alpen sowie aus den Nordkarawanken besteht. Ursprünglich bestand ein räumlicher Zusammenhang zwischen Kalkalpen und Drauzug, der erst durch die alpine Deckentektonik und den horizontalen Versatz des Drauzuges aufgelöst wurde.

### **Grauwackenzone**

Diese Einheit wird hauptsächlich durch Sand- und Tonsteine aufgebaut. Sie bildet weiche wiesenreiche Landschaften im Bereich von Niederösterreich, Steiermark, Salzburg und Tirol (Abbildung 2.3). Die Gesteine stammen aus dem Paläozoikum und sind im Vergleich zu den Kalkalpen etwas älter.

Neben der Grauwackenzone treten noch andere tektonische Einheiten mit ähnlichem Gesteinsaufbau in der Umgebung von Graz und Murau, sowie nördlich von Klagenfurt auf. Diese Einheiten, sowie die Grauwackenzone selbst, sind bekannt für ihre Eisen-, Kupfer- und Erzlagerstätten, wobei als bekanntester Vertreter der Steirische Erzberg gilt Krenmayr et al. (2002).

### **Zentralalpen - ostalpines Kristallin**

Die kristallinen Decken der zentralen Ostalpen bilden den Kern der Ostalpen, beispielsweise Teile der Hohen Tauern und der Zillertaler Alpen. Großteils stammen die Zentralalpen aus dem Mesozoikum und sie reichen von den Ötztaler und Stubai Alpen zu den Niederen Tauern und weiter bis zum Semmering, dem Leithagebirge und den Hainburger Bergen. Paragneise sowie Glimmerschiefer sind in dieser Region das vorherrschende Gestein.

### **Periadriatische Naht**

Die Periadriatische Naht ist ein Störungssystem zwischen den Ost- und den Südalpen (siehe Abbildung 2.3) und durchzieht die gesamte Alpenkette. Die österreichischen Anteile sind die Gailtal- und die Karawankenlinie. An dieser Störung haben nach Krenmayr et al. (2002) Seitenverschiebungen in einer Größenordnung von mehreren zehner Kilometer stattgefunden. Auch durchaus heftige Erdbeben wurden in dieser Region dokumentiert.

### **Südliche Kalkalpen**

Südlich der Periadriatischen Naht befinden sich die Südlichen Kalkalpen, welche bereits zu den Südalpen gehören, aber im Aussehen und in ihren Bestandteilen den nördlichen Kalkalpen sehr ähneln. Zu den Südlichen Kalkalpen zählen die Karnischen Alpen und die Südkarawanken.



### 2.2.1. Tektonische Vorgänge und wichtige tektonische Strukturen

Vorgänge, die durch Kräfte im Erdinneren ausgelöst werden, bezeichnet man als *endogene Prozesse*. Sie verursachen beispielsweise Deformationen im Gesteinsgefüge, Hebungen und Senkungen an der Erdoberfläche, Gebirgsbildung und Erdbeben. Diesen „inneren“ Kräften wirken die sogenannten *exogenen Prozesse* entgegen. Das sind von außen einwirkende Kräfte, die Verwitterungen, Abtragungen und Sedimentation auslösen.

Nach (Zeil, 1990, S.114,134) wird zwischen zwei Arten von tektonischen Vorgängen unterschieden:

- **Epirogenese:** diese Form erfolgt sehr langsam (für geologische Verhältnisse) und bruchlos, ist auch umkehrbar und erstreckt sich meist über großräumige Bereiche. Sie kann auch nur vorübergehende Veränderungen verursachen.
- **Orogenese oder Tektogenese:** Dieser Vorgang verläuft deutlich rascher mit plastischer und damit irreversibler Verformung und kann auch kleinräumig auftreten. Diese Deformation ist durch Faltungen und Brüche erkennbar. Unter Orogenese versteht man auch die Gebirgsbildung. Die Entstehung der Alpen begann beispielsweise vor 30 Millionen Jahren wobei ihre Hebung heutzutage im Ausklingen ist Krenmayr et al. (2002).

### Störung

Normalerweise lagern sich Sedimente in Form von ebenen, flach ausgedehnten Schichten ab (Zeil, 1990, S.134). So hatte es der Geologe Nicolaus Steno bereits 1669 definiert: *das Prinzip der ursprünglichen Horizontalität*<sup>2</sup>. Weiters besagte Steno, dass Sedimentschichten mit der Zeit übereinander abgelagert werden (Lagerungsgesetz). Somit liegen die jüngeren Schichten über den älteren Krenmayr et al. (2002).

Durch das Einwirken von tektonischen Bewegungen kann es zu einer Verkippung der ursprünglich „horizontal“ abgelagerten Sedimente kommen. Durch Verkippung oder Verfaltung der ursprünglich horizontalen oder söhlichen Lagen kann ein Gesteinsgefüge in geneigte bis hin zu senkrechter (saiger) Lagerung gebracht werden. Dabei bleiben die jüngeren Gesteinsschichten (das Hangende) über den älteren Gesteinen (das Liegende). Bei einer Drehung über 90° spricht man von überkippter Lagerung. Weiters wird sie auch als inverse Lagerung bezeichnet, da aufgrund der Drehung älteres Gestein auf jüngerem liegt (Zeil, 1990, S.134f).

Störungen können nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt werden. Man kann einerseits unterscheiden, ob es sich um eine rezente (aktive) Störung handelt oder um eine fossile bzw. inaktive Störung. Eine weitere Einteilung unterscheidet, ob die Störungen durch Einengung oder Dehnung verursacht werden. Eine weitere Einteilungsmöglichkeit richtet sich nach der Art der Verformung:

- **Faltentektonik:** Die Verformung erfolgt bruchlos und zeichnet sich durch wellenförmiges Verbiegen der Schichten aus, meist aufgrund von seitlicher Raumeinengung in der Kruste. Bei sehr starker Einengung kann es sogar zu parallel verlaufenden Falten kommen. In der Umbiegungsstelle treten manchmal Brüche in den Gesteinsschichten auf.

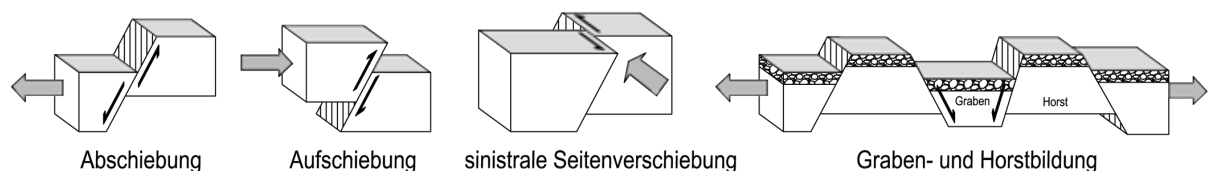
---

<sup>2</sup>siehe Skriptum zur Vorlesung Geomorphologie, Institut für Ingenieurgeologie, TU Wien von Dr. Erich Draganits.

- **Bruchtektonik:** Dabei kommt es zu Bruchstellen, also lokalisierten Versetzungen im Gestein. Man bezeichnet diese Störungen auch als **Verwerfungen** oder **Sprünge**. Die vertikale Versetzung an einer Störung wird auch als *Sprunghöhe* bezeichnet und kann einige Zentimeter bis hin zu einigen Kilometern betragen. Es entstehen dadurch Tief- und Hochschollen, wobei dies nur die relative Lage der Schollen zueinander bezeichnet. Ob sich eine Scholle gehoben oder gesenkt hat, ist damit noch nicht geklärt. Bei eher plastischer Deformation kann anstelle der Verwerfung eine Flexur treten. Dabei werden die Schichten nur ausgedünnt und reißen nicht. Die Bildung von spröden Störungen ist in der Regel mit Erdbebenvorkommen gekoppelt. Störungen an der Erdoberfläche fallen auch oft mit der Lage von fließenden Gewässern zusammen, da durch die Klüfte und Spalten Wasser eindringen kann. Durch die damit verbundene Verwitterung kommt es zu mehr Erosion und damit zu einer Schwächung im Gestein.

Die verschiedenen Versetzungen entlang von Störungen können weiter eingeteilt werden <sup>3</sup>, siehe Abbildung 2.4:

- **Abschiebungen** (Normale Verwerfungen, engl. *normal fault*) entstehen durch horizontale Dehnung der Kruste, die Schollen bewegen sich auseinander und die Störungsfläche fällt zur tieferen Scholle ein. Nach (Frisch and Meschede, 2007, S.36) ist ein typischer Einfallswinkel zur tieferen Scholle 60 bis 65°.
- **Aufschiebungen** (Inverse Verwerfungen, engl. *reverse fault*) entstehen bei Einengung der Schollen bei Scherflächen steiler als 45° (Press et al., 2008, S.179).
- **Überschiebungen** (Inverse Verwerfungen, engl. *thrust fault*) entstehen ebenfalls durch Druck, die flache Bruchfläche (Einfallswinkel kleiner 45°) fällt unter die Hochscholle.
- **Blattverschiebungen** (Transversal-, Horizontal- oder Seitenverschiebungen, auf engl. *strike-slip fault*) entstehen bei rein horizontaler Versetzung der Schollen, meist entlang von steil einfallenden Verwerfungsflächen. Das Resultat dieser Bewegung bezeichnet man als Transformstörung. Das wohl bekannteste Beispiel ist die San-Andreas-Verwerfung in Kalifornien.



**Abbildung 2.4.:** Darstellung der unterschiedlichen Verwerfungsarten und ein Beispiel für ein Verwerfungssystem (rechts).

Wichtig für das Thema der Untersuchung ist die Tatsache, dass mit Auf-, Ab- und Überschiebungen sowie auch manchmal bei Blattverschiebungen lokale und regionale vertikale Krustenbewegungen einhergehen.

<sup>3</sup>Erklärungen dazu finden sich z.B. im Earthquake Glossary des U.S. Geological Survey (USGS) unter <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/>

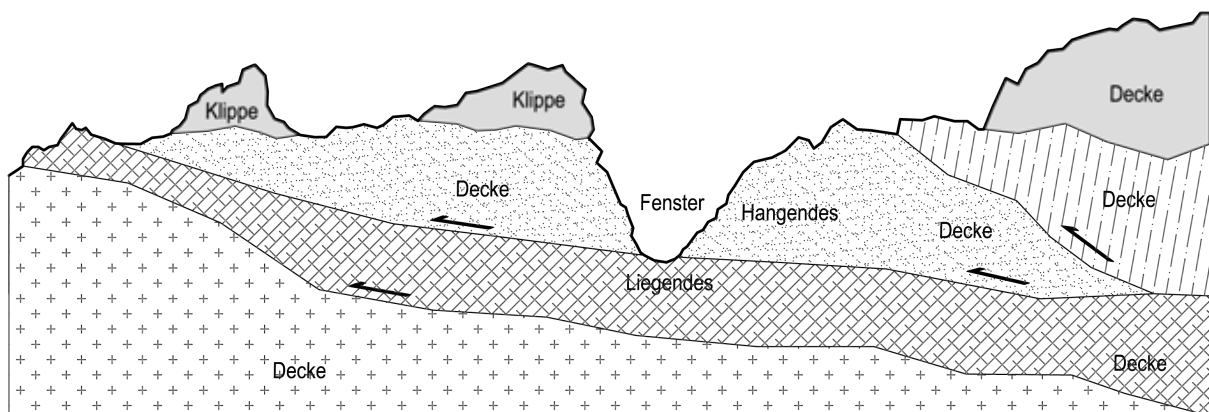
Meistens treten die eben beschriebenen Verwerfungsarten nicht in Reinform auf, sondern in einer Mischung aus zwei Arten. Bei nicht aufgeschlossenen (nicht bis an die Erdoberfläche reichenden), aktiven Verwerfungen kann man die Verwerfungsart mit Hilfe der Herdflächenlösung ermitteln. Dabei werden Messungen von Erdbebenmessstationen bezüglich eines bestimmten Erdbebens dargestellt.

Treten mehrere nahezu parallele Verwerfungen nebeneinander auf, so wie es an großen Schwäche-zonen der Erde oft der Fall ist, kann man von einem *Störungssystem* sprechen. *Staffelbrüche*, das sind mehrere Abschiebungen nebeneinander, finden sich oft in rezenten (oder auch fossilen) Senkungsgebieten, beispielsweise an Sedimentbeckenrändern, wo sich der Absinkvorgang über mehrere Kilometer erstrecken kann. Auch im Wiener Becken treten einige Staffelbrüche auf und erstrecken sich über mehrere Kilometer.

Eine Hochscholle, die sich zwischen zwei Tiefschollen befindet, wird als *Horst* bezeichnet, der umgekehrte Fall wird *Graben* genannt (siehe Abbildung 2.4, rechts unten). Oftmals sind zeitlich weiter zurückliegende Verwerfungen in der Natur, aufgrund verschiedener Erosions- und Verwitterungsvorgänge, nur sehr schwer erkennbar. Indikatoren für Verwerfungen sind dann oft nebeneinander liegende Gesteine unterschiedlichen Alters. Der relative Verschiebungssinn bei vertikalen Störungen (Hoch- und Tiefschollen) lässt sich in geologischen Karten mit Hilfe der verschiedenen Altersangaben der benachbarten Gesteinsschichten verifizieren.

## Decken

Gesteinsmassen, die aufgrund starker Raumeinengung über nahezu horizontale Flächen (Unterlagen) gleiten, nennt man *Decken* und zählen, nach den vorigen Einteilungsarten, zu den Überschiebungen. Dabei ist eine Decke größtenteils von ihrem ursprünglichen Entstehungsraum losgelöst, und sie unterscheidet sich in Bauart, Fazies und Alter meist deutlich von ihrer Unterlage. Man



**Abbildung 2.5.:** Darstellung einer Überschiebungssysteme mit Klippen und einem Fenster. Durch die unterschiedlichen Schraffuren sind die Gesteinsmassen (Decken) voneinander unterscheidbar.

bezeichnet die überschobenen Gesteinsabschnitte als **allochthon** und die darunterliegenden unvershobenen Gesteine (die Unterlage) als **autochthon**.

Decken sind besonders bei Plattenkollisionen (siehe Kapitel 2.1.2) anzutreffen. Kommt es nun auf einem Teil der Lithosphäre zu starker tektonischer Einengung, kann es bei leicht ansteigenden festeren Unterlagen zu horizontalen Überschiebungen über benachbarte Gesteinspartien kommen.

Die Alpen setzen sich aus sehr komplexen Deckensystemen zusammen. Im Bereich der Ostalpen sind Decken über mehrfache 100 Kilometer verschoben worden (Tollmann, 1986, S.95). Ähnliche Überschiebungseinheiten sind auch für die Gesteine des Penninikums und des Helvetikums anzunehmen. Auch für Bereiche im Apennin, in den Karpaten sowie im Himalayagebirge sind Überschiebungen in dieser Größenordnung dokumentiert. Deckenbildungen sind auch aus älteren Gebirgen bekannt, beispielsweise aus dem variszischen Gebirge der Böhmisches Masse.

Innerhalb dieser großflächigen Decken können durch Erosion Teile des Deckenuntergrundes freigelegt werden. Dieser aufgeschlossene Teil wird in der Geologie als **Fenster** bezeichnet. Die Begriff lässt sich wie folgt erklären: durch den freigelegten Teil der oberen Decke kann man durch das dabei entstandene Sichtfenster einen Blick auf die darunter liegende Einheit werfen, auf das Liegende. Die das Fenster umschließenden höher liegenden Gesteine bezeichnet man als Hangendes. In der Regel werden ältere Gesteine über jüngere geschoben, bei bereits inverser Lagerung kann es auch umgekehrt der Fall sein.

Durch Verwitterung können vereinzelte Deckenteile komplett von der Überschiebungsdecke, der sie ursprünglich angehörten, abgetrennt werden. Diese Bereiche werden als **Klippen** bezeichnet und sie liegen tektonisch höher (Hangendes) als die sie umgebenden Gesteinsteile (die Liegenden). In den Alpen findet man Klippen oft als lokale Gipfel. Ein schematisches Beispiel für eine Klippe sowie auch für ein Fenster in einer Überschiebungsdecke ist der Abbildung 2.5 zu entnehmen.

Die in diesem Kapitel erklärten Begriffe können unter anderem bei Wessely and Matura (2006), bei Eisbacher (1991) oder bei Murawski and Meyer (2010) nachgeschlagen werden.

### 2.2.2. Entstehungsgeschichte der Alpen

Nachdem die Alpen die geologische Situation Österreichs stark geprägt haben und ihre Entstehungsgeschichte sowie ihre Strukturen bis heute Auswirkungen auf vertikale Krustenbewegungen ausüben, soll ihre Entstehung nach Wessely (2006a) und Krenmayr et al. (2002) kurz erläutert werden.

#### Es begann im Perm...

Nach Abschluss der variszischen Gebirgsbildung (die heutige Böhmisches Masse entspricht dem Kern dieses Gebirges Krenmayr et al. (2002)) trat im alpinen Raum eine tektonische Ruhephase ein. Ab der Mittel-Trias begann sich, aufgrund des Auseinanderdriftens von Platten, der sogenannte **Neo-Tethys-Ozean** zu bilden. Jährlich kam es zur Bildung von mehreren Zentimetern neuer ozeanischer Kruste. Zwischen Tethys und der Böhmisches Masse entstand, durch Ablagerungen ein flachmariner Meeresbereich, der **Alpine Schelf**.

#### Ab dem Jura...

begann sich der Atlantik zu bilden. Gleichzeitig dazu entstand im alpinen Raum auch eine neue Riftzone, das **Penninische Ozeansystem**. Durch diese Entwicklung wurde der vormalige Alpine Schelf auf einen **helvetischen Schelf** am Rande der Europäischen Platte, den penninischen Ozean selbst und den **Ostalpinen (Austroalpinen) Schelf** auf der Afrikanischen Platte (mit der Adriatischen

Teilplatte) aufgeteilt. Gemeinsam mit der Afrikanischen Platte driftete der Ostalpine Schelf vom Süden nach Nordosten und führte schließlich zur kompletten Subduktion des Tethys-Ozeans.

### **Gebirgsbildung zur Zeit der Kreide**

Durch das weitere Nordwärtswandern der Afrikanischen Platte begann in der Unterkreide die Subduktion des Penninischen Ozeans. Teile des Ozeanbodens tauchten unter die Ostalpine Kruste, es bildete sich ein Tiefseegraben. Durch die fortschreitende Einengung des Penninischen Ozeans kam es im Ostalpin zu Trogbildungen, aber auch zu Auffaltungen und Überschiebungen. Schließlich wurden der penninische Ozean sowie beträchtliche Teile der kontinentalen Europaplatte, Teile des ehemaligen Helvetischen Schelfs, unter die ostalpine Kruste subduziert. Weiters kam es zu Deckenüberschiebungen im Zentralalpin und zur Abscherung von Sedimentdecken vom kristallinen Untergrund. Nicht alle Teile des Penninischen Ozeans und des Helvetischen Schelfs wurden subduziert. Einige wenige Fragmente blieben an der Oberfläche und sind heute als Penninikum und Helvetikum anzutreffen.

### **„Die Alpen heben sich zum Gebirge“**

Wessely (2006a) Durch die enorme Krustenverdickung sowie auch durch das Hinunterdrücken von leichter kontinentaler Kruste in den dichteren oberen Erdmantel kam es letztendlich zu istostatischen Ausgleichsbewegungen. Dabei kam es vor etwa 30 Millionen Jahren zu Hebungsraten von bis zu 5 mm/Jahr Krenmayr et al. (2002). Bis heute halten die Hebungen an. Nach Krenmayr et al. (2002) liegen die aktuellen Hebungsraten aber nur mehr bei etwa 0,5 mm/Jahr, da die Orogenese der Alpen nahezu abgeschlossen ist. Zu ähnlichen Ergebnissen führten auch die bei Höggerl (2001) verwendeten Präzisionsnivellementmessungen. Bei den dort vorgenommenen Berechnungen wurden für den südwestlichen Teil (den zentralalpinen Bereich) Österreichs Hebungen von ca. 1 mm pro Jahr festgestellt.

### **Beckenbildung**

Während im Eozän die Zentralalpen endgültig über Meeresniveau gehoben wurden, begann sich durch die alpine Deckenauflast der Nordrand abzusenken. Es entstand ein mariner Sedimentationsraum: die Paratethys, die dem **Molassebecken** entspricht. Parallel dazu hielt die nördlich gerichtete Gebirgsüberschiebung weiter an. So wurde der Südteil der Molassesedimente durch alpine Decken überschoben (Subalpine Molasse).

Durch die anhaltende Nordwärtsbewegung der Adriatischen Teilplatte hin zur Europäischen Platte und der daraus resultierenden weiteren Einengung wurden im Miozän die bisher dominanten nordwärts gerichteten Deckenüberschiebungen zu großen Seitenbewegungen nach Osten. Dadurch erfuhr der Alpenkörper eine deutliche Längserstreckung. Diese ostgerichteten Bewegungen ließen mehrere Störungszonen entstehen: die Periadriatische Naht im Süden, im Norden die Inntalstörung sowie die Salzach-Ennstal-Seitenverschiebung und im Osten die Störung des Lavanttales und die des Mur-Mürztals. Diese miozänen Störungszonen sind auf heutigen Satellitenbildern, in Form verschiedenster Alpentäler, deutlich erkennbar. Am Rücken der nach Osten ausweichenden Krustenteile sowie innerhalb der Störungszonen kam es zur „bruchtektonischen Einsenkung junger

Sedimentbecken“ Krenmayr et al. (2002). Vor allem im mittleren und jüngeren Miozän sowie im späten Pliozän wurde die Beckenbildung von starkem Vulkanismus begleitet, der laut Krenmayr et al. (2002) als Spätfolge der Kollision zwischen dem Ostalpin und der Europäischen Platte zu verstehen ist. Beispiele dafür sind das **Steirische Becken**, welches die Alpen mit dem Pannonischen Tiefland verbindet, und weiters das **Wiener Becken**, das in der Fortsetzung der Mur-Mürztalesstörung in Form eines „pull-apart“-Beckens Schopper (1991) einbricht.

## 2.3. Was verursacht Höhenänderungen?

Durch wiederholtes Messen der einzelnen Nivellementlinien können Höhenänderungen an den Festpunkten beobachtet werden. Als Hauptursachen für diese zeitabhängigen Änderungen werden bei Schweizer (1992) angegeben:

- **Bei der Messung verursachte zufällige und systematische Fehler erzeugen „scheinbare“ Höhenänderungen.** Bei jeder Messung treten systematische und zufällige Fehler auf wobei auf den einzelnen Messstationen die systematischen Fehler normalerweise kleiner ausfallen als die zufälligen Höhen (1997). Bei größeren Distanzen können sich aber vor allem die systematischen Fehler (beispielsweise die Refraktion) sehr stark auswirken. Für weitere Aussagen siehe Kapitel 3.2.
- **Bewegungen der Vermarkung selbst oder an der Vermarkungsbasis:** Als Vermarkungsbasis dient meistens ein Bauwerk, in dem ein Metallbolzen als Vermarkung eingelassen ist. Es können nun Bewegungen bodenmechanischer, hydrologischer oder thermischer Ursache sowohl an der Vermarkung selbst als auch am Bauwerk auftreten. Die Größenordnung der Bewegungen sind gar nicht oder nur bedingt einschätzbar, und können mögliche tektonische Bewegungen nicht nur verfälschen, sondern zur Gänze verdecken. Um eine Beurteilung der Qualität der Vermarkung sowie ihrer Basis zu erlangen, werden bei Schweizer (1992) Ergebnisse sogenannter Stabilitätsmessungen in die Interpretation miteinbezogen. Diese Stabilitätsmessungen sollen die Verbindung zwischen Vermarkung und Erdoberfläche beurteilen Schweizer (1992).
- **Bewegungen an der Erdoberfläche (Geokinetik - Geodynamik):** Die Geokinetik beschäftigt sich mit der rechnerischen Ermittlung der Erdkrustenbewegungen. Die Messdaten sollen durch eine Kombination von funktionalen und stochastischen Modellen ausgewertet werden. Ziele sind ein Ausgleich der Beobachtungen und die Ermittlung von Punktgeschwindigkeiten (Angabe in mm/Jahr). Aufgrund befürchteter Glättungen der Daten wird bei Schweizer (1992) kein Ausgleich durchgeführt und nur ein zwei-Epochen-Vergleich durchgeführt.

### 2.3.1. Einfluss des Grundwassers

Neben tektonischen Einflüssen können auch lokale geodynamische Störungen auftreten. Diese hängen stark vom Untergrund ab. In der Arbeit von Schweizer (1992) werden im Testgebiet Oberrheingraben beispielsweise zusätzlich zur Tektonik folgende Ursachen vermutet: Konsolidierung von tonigen und siltigen Sedimenten durch Absenkung des Grundwasserspiegels, Hangrutschungen oder

Kriechbewegungen, Kalklösung in alpinen Sanden und Kiesen, etc.

Anhand dieser Aufzählung wird klar, dass das Grundwasser eine zentrale Rolle spielt. Aus diesem Grund wurde in der Arbeit Schweizer (1992) auch ein Brunnen in das Testgebiet miteinbezogen, um dessen Einfluss näher zu untersuchen. Das Ergebnis: der Grundwasserspiegel hat nicht grundsätzlich Einfluss auf die Höhenänderungen. Der Einfluss hängt aber stark von den bodenmechanischen Eigenschaften der geologischen Schichten ab. Bei Ton und Silt treten am ehesten Änderungen auf.

## 2.4. Bestimmung von Krustenbewegungen

### 2.4.1. Erfassung mit Hilfe der Geodäsie

Für die Messung interkontinentaler Plattenbewegungen stehen heutzutage mehrere geodätische Messverfahren zur Verfügung. Die sogenannten geodätischen Weltraumverfahren wie etwa VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging) sowie die verschiedenen Global Navigation Satellite Systems (GNSS, zu ihnen gehört das GPS) sind heutzutage so ausgereift, dass sie für die globale Überwachung von Lage- und Höhenbewegungen die idealen Messmethoden darstellen.

Allerdings kommt es auch innerhalb der Lithosphärenplatten zu verschiedenen Bewegungen bzw. sind die Grenzen der Mikroplatten oft nicht klar definiert. Bei (Zippelt, 1988, S.7) werden Gräben, Blockhebungen und Aufwölbungen als Beispiele für Bewegungen innerhalb einer Platte genannt. Für solche Bewegungen, die auch deutlich kleiner sind (einige Millimeter pro Jahr nach Grenczy et al. (2000) oder Lenôtre et al. (1999)) als jene entlang von Plattengrenzen, ist die terrestrische geodätische Messung das Mittel der Wahl. Für horizontale Bewegungen stehen Triangulation und Trilateration zur Verfügung und für vertikale Bewegungen, die laut Zippelt innerhalb der Platten deutlich öfter vorkommen, nutzt man das geometrische Nivellement. Dieses Messverfahren erlaubt einen kostengünstigen Einsatz an vielen Standorten und liefert seit Jahrzehnten sehr genaue Ergebnisse. Bei Lenôtre et al. (1999) erfolgt eine Analyse der Erdkrustenbewegungen in der Bretagne auf Basis vergleichbarer Nivellementmessungen. Ähnlich wie in Österreich bestehen hier seit etwa 100 Jahren Nivellementmessdaten. Durch die extrem lange Zeitspanne können die Fehlergrenzen der Messung bezwungen und auch für Gebiete mit Krustenbewegungen von nur wenigen Millimetern pro Jahr die Bewegungen sichtbar gemacht werden.

Im Zeitalter von gut ausgebauten permanent betriebenen Satelliten-Netzwerken ist aber auch der Einsatz von GPS bzw. GNSS mit guten Ergebnissen vertreten. 1992 wurde das *Central Europe Regional Geodynamics Project (CERGOP)* ins Leben gerufen mit dem Ziel, die gegenwärtige Geodynamik von Mitteleuropa zu erfassen Grenczy et al. (2000). Die Messkampagnen ergaben relativ stabile Werte (Horizontalgeschwindigkeiten unter 2 mm/Jahr) für den Nordteil Europas, für Regionen im Süden (Alpenregion) höhere und schnell variierende Werte (bis zu 4 mm/Jahr). Dieses Ergebnis lässt sich durch die nahe gelegene Plattengrenze zwischen Afrikanischer und Eurasischer Platte und die daraus resultierende Nord-Süd-Kontraktion erklären. Durch die tektonisch verursachte Raumeinengung werden Teile im Nordalpin um etwa 2 mm/Jahr nach Osten gepresst.

Eine weitere Anwendung geodätischer Messverfahren findet sich bei Székely et al. (2009), in der potentielle neotektonische Strukturen im Burgenländischen Seewinkel mit Hilfe von *Airborne Laser Scanning* erkannt werden. Gemeinsam mit geologischen Karten, geophysikalischen Daten wie

Erdbebenepizentren, geomorphologischen Daten und Daten über die Quartär-Sedimentschicht wird das aus dem Scan entstandene *digital terrain model (DTM)*, mit 10 cm Höhengenaugigkeit, auf tektonische Formen ausgewertet, und das durchaus erfolgreich.

Für die Bestimmung der realen rezenten Krustenbewegungen mittels geometrischem Nivellement müssen zusätzlich zu den rohen Nivellementdaten auch noch Schweremessungen erfolgen (siehe Kapitel 3.3). Wegen unzureichender Genauigkeiten oder fehlender Wiederholungsmessungen der Schwere steht jedoch meist nur der nivellierte Höhenunterschied zur Verfügung. Der Einfluss der Schwere ist in Österreich sehr gering, besonders im Osten Österreichs. Der vom BEV berechnete theoretische Schleifenschlussfehler für die Nivellements Schleifen im Osten des ÖHN liegt im Bereich weniger Millimeter). Der größte Wert  $\epsilon$  innerhalb Österreichs befindet sich in Vorarlberg und weist ca. 50 mm auf <sup>4</sup>.

#### **2.4.2. Bestimmung rezenter Krustenbewegungen mit geologischen und geomorphologischen Methoden**

Während in der Geodäsie, so (Zippelt, 1988, S.7f), nur diskrete Messungen über einen kurzen Zeitraum erfolgen, erstreckt sich der Informationsgewinn der Geologie und der Geomorphologie über einen sehr langen Zeitraum. Unter dem Begriff Geologie wird hier die Wissenschaft vom Bau und von der Geschichte der Erdkruste verstanden, die Geomorphologie umfasst hingegen die Beschreibung und die Entstehung der Geländeformen der Erdoberfläche. In der Arbeit von (Zippelt, 1988, S.8-11) werden, neben geodätischen Methoden, auch die Möglichkeiten der Geologie bzw. der Geomorphologie zur Erfassung von Krustenbewegungen aufgelistet. Ein kurzer Überblick darüber gibt der folgende Abschnitt.

##### **Geologische Methoden**

Als Grundlage jeder geologischen Arbeit dienen die verschiedenen geologischen Karten. Daraus lassen sich bereits allgemeine Abläufe der Erdgeschichte ableiten, und man kann auf Gesteine und Formen im Untergrund schließen. Nach geologischer Feldarbeit wird versucht, die Gesteinsformationen in räumliche und erdgeschichtliche Beziehungen zu stellen, um beispielsweise geodynamische Prozesse erklären zu können.

Eine Möglichkeit zur Entdeckung der Krustenbewegungen ist die *mechanische Analyse*. Ursachen tektonischer Bewegungen sind mechanische Beanspruchungen der Erdkruste aufgrund der Plattentektonik, denen Spannungen folgen, aus denen schließlich Verformungen resultieren können. Die Geologie kann nun anhand von Geländebefunden die Entstehung der Lagerungsformen beschreiben. Auf ehemalige Spannungszustände kann durch die in der Natur vorhandenen Deformationsstrukturen wie Falten, Klüfte oder Spalten geschlossen werden. Rezente (gegenwärtige) Spannungen können beispielsweise durch Analysen der Herdmechanismen bei Erdbeben erfasst werden und durch „in-situ“ Spannungsmessungen. Oftmals treten aber Überlagerungen mit schon früheren Deformationen auf.

Zusätzlich zur mechanischen Analyse versucht man die Gesteinsschichten zeitlich einzuordnen. Man

---

<sup>4</sup>Private Kommunikation mit BEV-Mitarbeitern.



unterscheidet dabei die *relative* und die *absolute Zeitbestimmung*. Die erste arbeitet nach dem stratigraphischen Prinzip (das entspricht der Annahme, dass die untere Sedimentschicht älter ist als die obere). Hinweise findet man in den Gesteinen sowie in den Sedimentschichten oder in Fossilien. Die absolute Zeitmessung bedient sich der physikalischen Altersbestimmungen, die auf radioaktivem Zerfall beruhen. Für jüngere Datierungen bieten sich unter anderem auch die Pollenanalyse, die Jahresringanalyse bei Bäumen und die Parallelisierung von Gesteinsschichten an (Zuordnung der Horizonte gleicher Gesteinsschichten, die beispielsweise durch Störungen getrennt wurden und verschieden tief anzutreffen sind). Bei letzterer sind die Vertikalbewegungen besonders gut abzulesen (Sprunghöhe gleichaltriger Schichten).

### **Geomorphologische Methoden**

Veränderungen des Reliefs der Erdkruste werden durch Faktoren wie Klima, Gestein oder Tektonik, die auf das vorher bestehende Relief einwirken, hervorgerufen. Spuren älterer Reliefbildungen bleiben aber auch im aktuellen Relief teilweise erhalten und ermöglichen dadurch Rückschlüsse auf ältere Verformungen.

Wie eng verwandt Geologie und Geomorphologie sind, zeigen auch die Methoden zur Entdeckung von Krustenbewegungen. Auch hier wird in (Zippelt, 1988, S.10) die Methode der Parallelisierung erwähnt. Die Reliefformen (Flächen und Terrassen) werden parallelisiert und dann in ihrer Höhenlage verglichen.

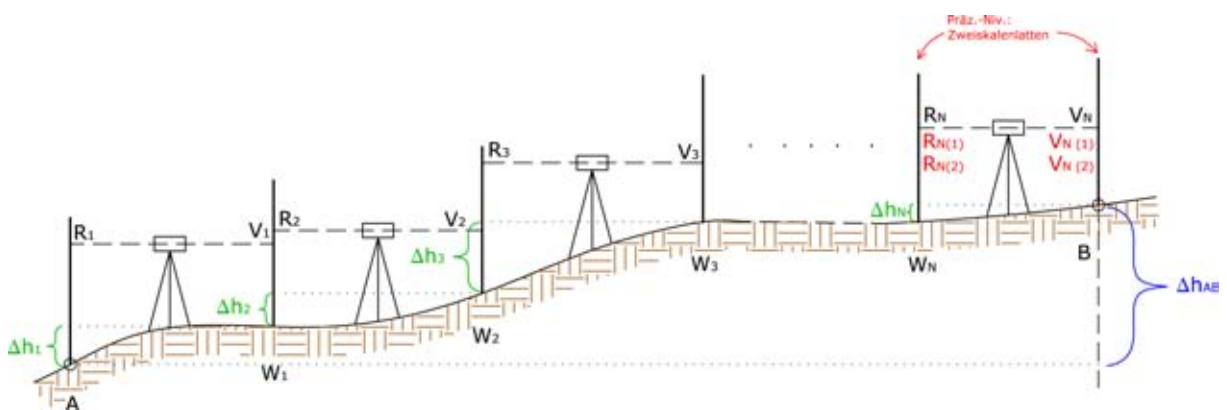
Auch direkt im Kartenwerk sind Hinweise auf tektonische Verformungen zu finden. Beispielsweise lassen ein versetzter Flusslauf oder asymmetrische Täler mit einem flachen und gegenüber einem steilen Hang tektonische Bewegungen vermuten.

Durch die Verbindung von geodätischen und geophysikalischen Daten mit geologischen Daten gelangt man zu gut interpretierbaren Ergebnissen. In der Arbeit von Vyskočil (1996) ist für den Nachweis tektonischer Bewegungen in Tschechien die Kombination von Nivellements mit seismischen Messungen angewendet worden.

## 3. Geodätische Grundlagen

### 3.1. Allgemeines zum geometrischen Nivellement

Das Grundprinzip der Nivellementmessung kann der Abbildung 3.1 entnommen werden. Will man den Höhenunterschied  $\Delta h_{AB}$  zwischen zwei Punkten A und B bestimmen, kann dies unter anderem mit einem Nivellier erfolgen. Dabei wird die Gesamtstrecke zwischen A und B in Teilstrecken unterteilt (die optimale Visurlänge liegt bei 30 Meter), welche mit sogenannten Wechsellunkten ( $W_1, W_2, \dots$ ) verbunden werden. Zuerst wird die Nivellierlatte (z.B.: Holz- oder Metalllatte mit



**Abbildung 3.1.:** Grundprinzip des einfachen und des Präzisionsnivellements

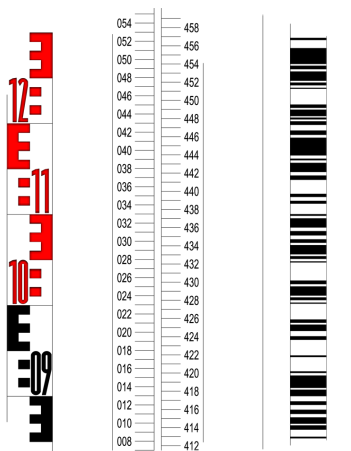
cm-Teilung auf der Vorderseite) auf dem Punkt A und das Nivelliergerät ungefähr in der Mitte der Strecke  $AW_1$  positioniert. Es erfolgt die erste Rückablesung  $R_1$  nach A. Bei Messung mit einer Messlatte muss diese dann auf  $W_1$  umgestellt werden für die erste Ablesung nach vorne ( $V_1$ ). Aus dem jeweils von der Latte abgelesenen Rück- und Vorblick resultiert der Höhenunterschied  $\Delta h_1$  zwischen A und  $W_1$ . Diesen Nivellementabschnitt zwischen Rückblick und Vorblick, der vom selben Gerätestandpunkt angezielt wird, nennt man Stand. Nach abgeschlossener Vormessung zu  $W_1$  wechselt das Gerät auf einen neuen Stand zwischen  $W_1$  und  $W_2$ , und die Messlatte verbleibt auf  $W_1$  und wird nur in Richtung Gerät gedreht, um die nächste Rückmessung  $R_2$  zu ermöglichen. Dieser Ablauf wiederholt sich bis zum Endpunkt B und der Höhenunterschied zwischen A und B resultiert aus der Aufsummierung der Teilstrecken-Höhenunterschiede  $\Delta h_i$ :

$$\Delta h_{AB} = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots = \sum \Delta h_i = \sum R_i - \sum V_i \quad (3.1)$$

Als Kontrolle bzw. zur Aufdeckung möglicher Mess- oder Ablesefehler sollte man bei nur einem Punkt mit bekannter Höhe unbedingt auch eine Messung zurück zum Ausgangspunkt, also eine Nivellementschleife bilden (der zu erreichende Sollwert am Ausgangspunkt beträgt dann Null). Als weitere Kontrollmöglichkeit kann man die Messung auch auf einem weiteren Höhenfestpunkt

abschließen (Sollwert ist hier der vorgegebene Höhenunterschied der beiden Festpunkte). In beiden Fällen ergibt sich am Ende der Messung ein sogenannter Abschlussfehler, der proportional zur Länge der Teilstrecken auf die Standpunkte aufgeteilt werden kann, wenn die Abweichung vom Sollwert signifikant ist. Mit einfachen Nivellements können nach Kahmen (1997) bei idealen Bedingungen Genauigkeiten von  $5-10\text{mm}/\sqrt{km}$  (Standardabweichung) erreicht werden. Die Genauigkeit ist von der Lattenentfernung zum Nivellier abhängig und verbessert sich, je kleiner der Abstand gewählt wird. Aber auch eine große Anzahl an Aufstellungen wirkt sich negativ auf die Genauigkeit aus.

### 3.2. Das Präzisionsnivellement



**Abbildung 3.2.:** Links: einfache Nivellierlatte mit E-Teilung, Mitte: Zweiskalenlatte für Präzisionsnivellements, rechts Strichcodelatte für Digitalnivelliere.

Für höhere Genauigkeitsansprüche, wie beispielsweise für Baustellenüberwachungsmessungen und auch zur Erfassung von Krustenbewegungen, bedient man sich eines sogenannten Präzisions- oder Feinnivellements. Dieses kann nach Kahmen (1997) Genauigkeiten von  $0,5\text{mm}/\sqrt{km}$  erreichen. Das Prinzip der Messung bleibt grundsätzlich gleich (siehe Abbildung 3.1, ganz rechts) wie beim zuvor beschriebenen einfachen Nivellement, doch schon die Ausrüstung macht einen klaren Unterschied sichtbar. Heutzutage erfolgt die Nivellementmessung nicht mehr in „analoger“ Form, sondern man bedient sich sogenannter Digitalnivelliere, die von einer speziellen Messlatte mit Strichcode anstatt der cm-Teilung die Messwerte von selbst ablesen und speichern ((siehe Abbildung 3.2, rechts)).

Am BEV ist seit den 90er Jahren ein Digitalnivellier im Einsatz, siehe Tabelle 3.1. Nachdem aber ein Großteil der in dieser Diplomarbeit verarbeiteten Messdaten zeitlich weiter zurück liegt, wird auch die frühere Messweise dargestellt. Dabei kommt ebenso wie heute ein Feinnivellier zum Einsatz, und zwei formstabile Latten auf deren Vorderseite sich nicht nur eine, sondern zwei Teilungen mit konstanter Versetzung zueinander befinden. Eine Skala beginnt bei Null, die zweite mit einem bestimmten Wert (Lattenkonstante). Durch diese Zweiskalenlatten (siehe Abbildung 3.2, Mitte) erfolgen pro Stand vier Ablesungen: zwei (Skala 1 und Skala 2) zur Messlatte hinter dem Gerät und zwei ebenso nach vorne. Falls man keine Zweiskalenlatten zur Verfügung hat, kann dasselbe Resultat auch mit einem Nivellement mit doppelt besetzten Wechsellunkten erreicht werden Kahmen (1997). In diesem Fall werden einfach zwei Messlatten knapp nebeneinander aufgestellt und jeweils von beiden abgelesen. Nun gibt es verschiedene Ablesereihenfolgen der Rück- (R) und Vorblicke (V), wobei diese auch untereinander kombiniert werden können Stober (1979):

- (1) RVVR    (4) VVRR
- (2) RRVV    (5) RVRV
- (3) VRRV    (6) VRVR

Die alternierende Verwendung der Ablesefolgen 1 und 3 bzw. 2 und 4 finden beispielsweise beim sogenannten Verfahren „Rote Hose“ Anwendung. Bei allen Ablesefolgen ergeben sich jeweils zwei

getrennt auswertbare Nivellements. Misst man die gesamte Linie auch wieder retour, ergeben sich noch zwei weitere. Die letzten beiden Ablesefolgen werden bei Stober (1979) nicht weiter behandelt, da sie weder besonders wirtschaftlich sind noch einen Beitrag zur Reduktion von Einsinkfehlern liefern. Für die anderen vier Ablesearten führt Stober einige Tests zum Bewegungsverhalten der Messlatten und Stativ durch, die hier nicht im Detail wiedergegeben werden sollen.

Grundsätzlich können folgende Effekte auf Präzisionsnivellements einwirken und die Messungen beeinflussen:

- **Einsinkverhalten von Latten und Stativ:** „Um Einsinkfehler möglichst weitgehend zu eliminieren, sind sowohl gleiche Verhältnisse auf den Meßpunkten als auch vor allem auf Hin- und Rückweg zu fordern.“, so Stober (1979). Weiters stellte Stober in seiner Arbeit fest, dass nur eingetretene Bodenplatte und Stativ zu weitgehend homogenen Vertikalbewegungen führen. Wechselnder Untergrund, unterschiedliche Messgeschwindigkeiten sowie Temperaturunterschiede führen logischerweise auch zu verschiedenem Einsinkverhalten.
- **Horizontschräge bei Nivelliergeräten mit automatischem Ziellinienkompensator:** dieser Fehler wirkt sich genauso aus wie eine nicht horizontierte Ziellinie. Bei einem Nivellement von einem Kilometer Länge kann dieser systematische Fehler, je nach angewandter Messmethode (Ableserihenfolge) bis  $\pm 0,20$  mm auf einen Kilometer Nivellement ausmachen und ist damit nicht als bedeutungslos einzustufen.
- **Refraktion:** Prinzipiell versteht man unter der atmosphärischen Refraktion die Brechung des Lichtstrahls in der Erdatmosphäre. Je nach Höhe ändert sich auch die Luftdichte und dies führt schließlich zu einer bogenförmigen, meist zur Erdoberfläche hin geneigten Krümmung des Lichtstrahls. Dadurch scheint beispielsweise die Sonne bei Sonnenuntergang noch über dem Horizont zu stehen, obwohl sie eigentlich schon untergegangen ist. Für die Höhenmessung kann dieser Effekt allerdings problematisch werden, gerade bei Nivellementlinien im Gebirge. Die Beseitigung bzw. Minimierung der Refraktion kann sich oft schwierig gestalten. Eine Möglichkeit wäre, die Linie bei sehr geringem Temperaturgradienten zu übermessen Kahmen (1997), da die Refraktion im sichtbaren Spektralbereich vor allem vom Temperaturgradienten beeinflusst wird. Man kann aber auch versuchen, den Refraktionseinfluss zu modellieren, wofür natürlich genaue meteorologische Daten notwendig sind. Mehr zum Refraktionseinfluss bei der Nivellementmessung ist Kukkamäki (1938) zu entnehmen. Grundsätzlich kommt Stober (1979) zur Erkenntnis, dass bei gleichmäßig steigenden oder fallenden Linien die Hin- und Rückmessung bei möglichst unterschiedlichen Witterungen gemessen werden sollten, was sich zwar wieder negativ auf den Einsinkfehler auswirkt, aber der sonst auftretende Refraktionsfehler wäre noch um einiges größer. Grundsätzlich gilt als Faustregel zur Vermeidung zu großer Refraktionseinflüsse beim Nivellieren: die Anzielung der Messlatte darf nie unter einer Höhe von 50 cm erfolgen.
- **Thermische Lattenveränderung:** die Sonnenstrahlung kann leichte Änderungen bei Invarlatten hervorrufen. Man muss die Temperaturunterschiede zwischen der Eichung und der eigentlichen Messung berücksichtigen und weiters auch mögliche Unterschiede zwischen Vor- und Rückblick. Scheint beispielsweise die Sonne bei einem Nivellement immer direkt auf den

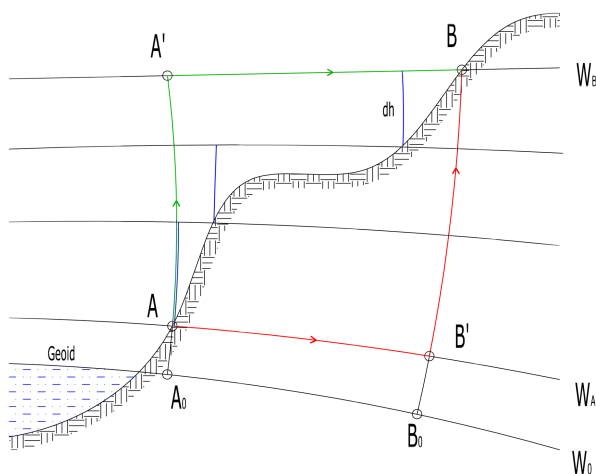
Rückblick, kann zwischen Vor- und Rückblick ein Temperaturunterschied von 2-3 °C auftreten (Stober (1979)). Weiters wird bei Stober (1979) der Ausdehnungskoeffizient von Invar mit  $2 \cdot 10^{-6}/\text{C}^\circ$  angegeben, was bei einer Nivellementstrecke von einem Kilometer zu einem Fehler von ca. 0,7 mm führen kann.

- **Lattenschiefe:** Vermeidung durch öfteres Kalibrieren der Latten-Libellen Rahmen (1997)

Bei Kahmen (1997) und Stober (1979) finden sich noch weitere Fehlereinflüsse, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll. Besonderes Augenmerk ist nach Vyskočil (1996) auf den Refraktionsseffekt, den Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit auf Gerät und Messlatten sowie auf das Stabilitätsverhalten der Festpunkte zu richten. Letzteres ist weitgehend von der Bodenbeschaffenheit abhängig. Besonders negativ wirken sich Böden mit Lehm-, Mergel- oder Tongehalt auf die Festpunkte aus. Laut Vyskočil (1996) kann aber bei Festpunkten mit drei Meter tiefen Fundamenten davon ausgegangen werden, dass diese weitgehend stabil sind, was lokale Oberflächenbewegungen betrifft.

### 3.3. Höhenproblematik - Definition der Höhe

Der Begriff *Höhe* ist, nach Bretterbauer (1986), nicht sehr leicht zu definieren. Eine eindeutige Festlegung der Höhe ist allerdings nicht nur für die Geodäsie von großer Wichtigkeit. Spricht man im alltäglichen Sinn von Höhen, so werden oft Höhendifferenzen gemeint, wie zum Beispiel die Höhe eines Hauses über der Straße. Zur Festlegung eines Höhenreferenzrahmens könnte beispielsweise der tiefste Punkt einer Region dienen, wie es in der Stadt Wien mit der Bezugshöhe *Wiener Null* der Fall ist <sup>1</sup>.



**Abbildung 3.3.:** Wegabhängigkeit des Nivellements: Aufgrund der Nichtparallelität der Äquipotentialflächen führt der Weg AA'B (durch Pfeile markiert) zu einem anderem Höhenwert als der Weg über AB'B.

„Die Lage ist geometrisch definiert, die Höhe aber ist physikalischer Natur, nämlich ein der Potentialdifferenz proportionales Maß, von dem allein die Dynamik aller natürlichen und künstlichen Vorgänge auf der Erde, wie das Fließen von Wasser und das Rollen von Fahrzeugen, bestimmt wird.“ Bretterbauer (1986).

Der Referenzpunkt für Wien liegt 156,68 m über Adria Null und wurde durch den Pegel der heutigen Schwedenbrücke fixiert.

Für manche Bereiche ist die Definition eines absoluten Höhensystems notwendig, da davon Luftdruck und Temperatur abhängig sind. Im Alltag spricht man dann oft von „Meereshöhen“. Prinzipiell lässt sich jeder Punkt in unserer Welt mit drei Koordinaten exakt beschreiben. Trotzdem erfolgt sehr oft eine Trennung in Lage und Höhe. Auch in der Geodäsie werden Lage und Höhe getrennt behandelt. Der Grund dafür: „Die Lage ist geometrisch definiert, die Höhe aber ist physikalischer Natur, nämlich ein der Potentialdifferenz proportionales Maß, von dem allein die Dynamik aller natürlichen und künstlichen Vorgänge auf der Erde, wie das Fließen von Wasser und das Rollen von Fahrzeugen, bestimmt wird.“ Bretterbauer (1986).

<sup>1</sup>Angaben zum Wiener Null unter der Homepage der Stadtvermessung Wien (Magistratsabteilung 41): <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/service/glossar.html>

Diese physikalische Höhendefinition ist entlang einer Wasseroberfläche also als konstant anzunehmen, wobei die Wasseroberfläche Teil einer Niveaufläche ist. Unter Niveauflächen versteht man unregelmäßige, nur in kleinen Bereichen analytisch berechenbare Flächen, die der Schwerevektor orthogonal durchsetzt. Bekanntestes Beispiel für eine Niveaufläche ist das *Geoid*, welches durch die Oberfläche der „ruhenden“ Ozeane verläuft und sich unter den Ozeanen fortsetzt Torge (2003). Natürlich gibt es auch geometrisch definierte Höhensysteme, jedoch weisen diese global zum Teil große Abweichungen bezüglich der Niveauflächen auf. Für die Festlegung eines Höhensystems in der Landesvermessung müssen laut Bretterbauer (1986) nun folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Punkthöhen sollen eindeutig und unabhängig vom Wege bestimmbar sein.
2. Die Höhen sollen möglichst frei von hypothetischen Annahmen sein.
3. Die Korrekturen der gemessenen Höhenunterschiede (rohe Nivellementergebnisse) auf das angenommene Höhensystem sollen hinreichend klein sein, sodaß sie bei Bearbeitung von Nivellements niedriger Ordnung vernachlässigt werden können.

Das geometrische Nivellement kann diese Bedingungen nicht erfüllen, da die Niveau- bzw. Äquipotentialflächen der Erde nicht parallel zueinander verlaufen (das sind Flächen mit konstantem Potentialwert) und daher die Höhenbestimmung vom Weg abhängig ist. Diese Tatsache kann der Abbildung 3.3 entnommen werden. Unabhängig vom Weg ist nur die Potentialdifferenz ( $W_B - W_A$ ) zwischen zwei Niveauflächen  $W_B$  und  $W_A$ . Dies folgt aus der Formel von Bretterbauer (1986):

$$W_B - W_A = - \int_A^B g \cdot dh \cong - \sum_A^B g \cdot \delta h \quad (3.2)$$

wobei  $g$  die Schwerebeschleunigung bzw. der Betrag des Schwerevektors ist,  $dh$  der Abstand zweier benachbarter Niveauflächen und  $\delta h$  der Höhenunterschied des rohen Nivellementergebnisses. Die Formel 3.2 zeigt, wie man zu den Ergebnissen der Potentialdifferenzen gelangt: eine Verbindung aus dem geometrischen Nivellement und Schweremessungen, dem sogenannten *geopotentiellen Nivellement*. Der Schwerewert  $g$  wird meist nur an wenigen Punkten durch Absolutschweremessung bestimmt ( $g(X_0) = \text{Schwere am Ort } X_0$ ). Eine Verdichtung erfolgt dann durch Relativschweremessung ( $\Delta g$ ) mit Hilfe von Gravimetern zwischen zwei solchen Punkten. Der unbekannte neue Schwerewert  $g$  im Ort  $X$  folgt dann aus

$$g(X) = g(X_0) + \Delta g(X_0, X). \quad (3.3)$$

Um für jeden Höhenpunkt entlang einer Nivellementlinie Schwerewerte zu erhalten werden diese aus bereits bekannten Schwerewerten interpoliert. Die Dichte der gemessenen Schwerewerte ist dabei abhängig von der Geländeform, mehr dazu siehe (Torge, 2003, S. 227).

Bezieht man die Potentialdifferenzen auf jene Niveaufläche, die durch die Höhe der ruhend gedachten Weltmeere verläuft, dem Geoid ( $W_0$ ), so spricht man von *geopotentiellen Koten*  $C$  nach Tardi. Ihre Bestimmung erfordert einen Meeresanschluss. Diese Koten stellen aber keine Höhe in Metern dar, sondern sind von der Dimension  $[m^2s^{-2}]$  und daher im praktischen Gebrauch unanschaulich. Von Vorteil ist aber, dass die geopotentiellen Koten wegunabhängig und hypothesenfrei sind. Für

Ausgleichungen von Nivellementnetzen wird daher in geopotentiellen Knoten gerechnet, da in einer geschlossenen Nivellementschleife gilt Bretterbauer (1986):

$$\oint g \cdot dh \approx \sum_A^A g \cdot \delta h = 0. \quad (3.4)$$

Dies gilt allerdings nicht für die rohen Nivellementdaten. Wird bei korrekter Messung eine Schleife gebildet, so ergibt sich in Endpunkt der *theoretische Schleifenschlussfehler*  $\epsilon$ , der aus der Wegabhängigkeit des Geometrischen Nivellements resultiert:

$$\epsilon \approx \sum_A^A g \cdot dh \neq 0. \quad (3.5)$$

Wie bereits erwähnt, sind die Geopotentiellen Knoten für den alltäglichen Gebrauch eher ungeeignet. Daher muss eine Umrechnung auf ein metrisches System erfolgen. Im nächsten Kapitel sind die gebräuchlichsten Höhensysteme, wie sie auch bei Bretterbauer (1986) zu finden sind, zusammengestellt.

## 3.4. Höhensysteme

### 3.4.1. Dynamische Höhen

Um anstatt der geopotentiellen Knoten  $C$ , deren Dimension  $[m^2s^{-2}]$  ist, eine metrische Höhenangabe zu erhalten, muss man durch einen beliebigen Schwerewert dividieren. Nimmt man dazu den theoretischen Schwerewert am Niveauellipsoid in  $45^\circ$  Breite  $\gamma_{45}$  so erhält man die „dynamische Höhe“. Für einen Punkt  $A$  gilt dann:

$$h_A = \frac{C_A}{\gamma_{45}}. \quad (3.6)$$

Die dynamischen Höhen erfüllen die in Kapitel 3.3 angeführten Bedingungen 1) und 2). Punkt 3) ist nicht erfüllt, da die Korrekturen der gemessenen Höhenunterschiede sehr groß werden können Bretterbauer (1986). Nach (Torge, 2003, S.228) sind es im Flachland wenige Millimeter, im Gebirge können es einige Zentimeter bis Dezimeter sein. Ein weiterer Nachteil ist das Nichtvorhandensein einer geometrischen Bedeutung, also einer Bezugsfläche. Dadurch können sie nicht in Beziehung zu ellipsoidischen Höhen gebracht werden. Für hydrologische Projekte sind dynamische Höhen allerdings sehr gut brauchbar, da Punkte gleicher dynamischer Höhe auf derselben Niveaufäche liegen (das bedeutet es fließt kein Wasser).

### 3.4.2. Orthometrische Höhen $h^*$

Als Bezugsfläche für die Höhenangaben wird hier das Geoid gewählt, das heißt man könnte hier von echten Meereshöhen sprechen. Streng betrachtet entspricht die Höhe  $h^*$  der Länge der gekrümmten Lotlinie von  $A_0$  auf dem Geoid nach  $A$  auf der Erdoberfläche, siehe Abbildung 3.4. Die Krümmung ist allerdings vernachlässigbar klein. Man müsste dabei entlang der Lotlinie eines geopotentiellen Nivellement durch die Erdkruste messen, was natürlich nicht möglich ist. Daher wird diese Messung

durch Modellbildung ersetzt. Die in der Erdkruste benötigten Größen werden mit einem \* markiert.

$$C_A = W_0 - W_A = \int_{A_0}^A g^* \cdot dh^* = h_A^* \cdot \underbrace{\frac{1}{h_A^*} \cdot \int_{A_0}^A g^* \cdot dh^*}_{\bar{g}_A^*} \rightarrow h_A^* = \frac{C_A}{\bar{g}_A^*} \quad (3.7)$$

wobei  $\bar{g}_A^*$  der integrale Mittelwert der Schwere in der Lotlinie ist. Dieser kann aus der zuvor erwähnten Modellbildung berechnet werden. Als erste Näherung wählt man oft den Schwerewert in halber Höhe von A. Aber in jedem Fall muss für die Dichte des Erdinneren ein hypothetischer Wert angenommen werden. Damit ist allerdings klar, dass die Bedingung 2) aus Kapitel 3.3 nicht erfüllt sein kann. Für das neue österreichische Höhensystem wurden diese sogenannten orthometrischen Höhen ausgewählt. Die Bedingung 1) ist erfüllt, auch Bedingung 3) deutlich besser als bei den dynamischen Höhen. Bei (Torge, 2003, S.228) liegen die Reduktionen für das Flachland unter einem Millimeter, im Gebirge erreichen sie wenige Zentimeter. Von Nachteil ist noch die eher komplexe Berechnung sowie dass Punkte gleicher orthometrischer Höhe nicht auf derselben Niveaufäche liegen. Als großer Vorteil ist jedoch die geometrische Eindeutigkeit zu nennen, wodurch auf ellipsoidische Höhen umgerechnet werden kann, was gerade für die modernen Satellitenverfahren sehr wichtig ist.

Die folgende Formel zeigt, wie aus einem reinem Nivellementergebnis nun der orthometrische Höhenunterschied folgt:

$$h_B^* = h_A^* + \sum_A^B \delta h + OK \quad (3.8)$$

wobei OK die Orthometrische Korrektur ist. Wie schon bei den dynamischen Höhen, müssen auch hier an den rohen Nivellementdaten Korrekturen angebracht werden, um daraus orthometrische Höhendifferenzen zu erhalten.

### 3.4.3. Normalhöhen H

1960 hat Molodenskij ein Höhensystem vorgeschlagen, das alle drei Höhennetz-Bedingungen erfüllt. Ausgegangen wird dabei von einem Erdellipsoid, welches mit einem künstlichen Potential U ausgestattet und dem Potential des Geoids gleichgesetzt wird:  $U_0 = W_0 = const$ . Weiters sucht man nun in der Ellipsoidnormalen eines beliebigen Oberflächenpunktes A jenen Punkt Q, in dem die Potentialdifferenz, zwischen A und  $U_0$  im theoretischen Feld und zwischen A und  $W_0$  im realen Schwerefeld gleich ist. Es gilt:

$$U_0 - U_Q = W_0 - W_A = \int_0^A g \cdot dh = C_A \quad (3.9)$$

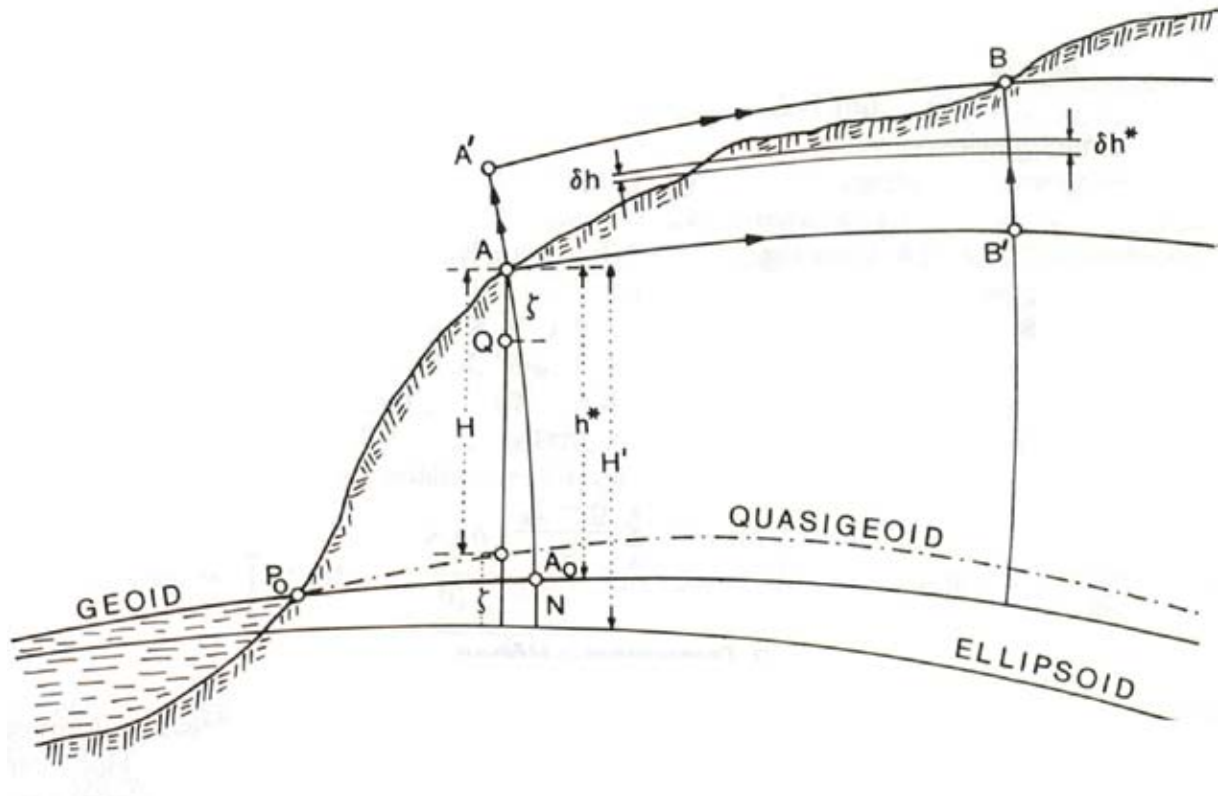
Die Definition der Normalhöhe lautet:

$$H_A = \frac{C_A}{\bar{\gamma}_Q} \quad (3.10)$$

wobei  $\bar{\gamma}_Q$  ein Mittelwert der theoretischen Schwere zwischen  $Q_0$  und Q ist. Es genügt jedoch auch als Mittelwert den Schwerewert in halber Höhe zu verwenden:

$$\bar{\gamma}_Q = \gamma_{Q_0} - \frac{d\gamma}{dH} \cdot \frac{H}{2} \quad (3.11)$$





**Abbildung 3.4.:** Die verschiedenen Höhen und ihre Bezugsflächen, Bretterbauer (1986).  $h^*$ : orthometrische Höhe,  $H$ : Normalhöhe,  $H'$ : ellipsoidische Höhe.

wobei  $\frac{d\gamma}{dH}$  der theoretische Schweregradient ist.  $\bar{\gamma}_Q$  lässt sich nach Bretterbauer (1986) streng, wenn auch nur iterativ, berechnen, und damit gilt die Normalhöhe als hypothesenfrei bestimmbar. Jeder zu einem beliebigen Oberflächenpunkt gehörende Punkt  $Q$  liegt auf dem sogenannten *Telluroid*, einer Fläche, die die Gesamtheit aller Punkte  $Q$  beschreibt. Molodenskij nennt den Abstand zwischen Erdoberfläche und Telluroid die *Höhenanomalie*  $\zeta$ . Die Normalhöhen beschreiben eigentlich die Potentialdifferenz zwischen Niveauellipsoid und Telluroid. Dies entspricht nicht ganz dem gewünschten Ergebnis, da der Höhenabstand nicht im Oberflächenpunkt endet. Daher werden die Normalhöhen von der Oberfläche weg aufgetragen bis zum *Quasigeoid*, das somit die Bezugsfläche bildet (siehe Abbildung 3.4). Als Abstand zwischen dieser Bezugsfläche und dem Geoid ergibt sich die Höhenanomalie  $\xi$ . Das Quasigeoid ist ebenso wie das Telluroid keine Niveauläche. Ein schwerer Nachteil ist, dass der Unterschied zwischen Geoid und Quasigeoid stark mit der Höhe korreliert ist. Im Hochgebirge kommt es daher zu deutlichen Abweichungen zwischen den beiden Flächen, während sie an den Weltmeeren fast zusammenfallen.

#### 3.4.4. Ellipsoidische Höhen $H'$

Die ellipsoidische Höhe  $H'$  ist eine geometrische Höhe: Zwei Punkte mit gleicher ellipsoidischer Höhe liegen nicht auf derselben Niveauläche. Sie ist definiert als der Normalabstand eines Oberflächenpunktes  $A$  von dem Referenzellipsoid, unter Vernachlässigung der leichten Lotlinienkrümmung.

Aus Abbildung 3.4 wird folgende Beziehung ersichtlich:

$$H' = h^* + N = H + \zeta \quad (3.12)$$

Der Abstand  $N$  zwischen Geoid und Ellipsoid wird Geoidundulation genannt. Diese kann entweder aus Schwerefeldanalysen oder durch Koordinatenbestimmungen über Satelliten bestimmt werden. Aus den Satelliten-Koordinaten können Ellipsoidhöhen berechnet werden, und mit Hilfe der orthometrischen Höhen  $h^*$  kann  $N$  berechnet werden. Durch die Geoidundulation ist die Reduktion geodätischer Messungen auf die Rechenfläche möglich.

### **3.4.5. Vignalhöhen**

Die Vignal-Höhen unterscheiden sich von den Normalhöhen nur durch den Ersatz des theoretischen Schweregradienten durch einen konstanten Vertikalgradienten. Sie stimmen nach Bretterbauer (1986) in unseren Breitengraden aber völlig mit den Normalhöhen überein.

### **3.4.6. Normal-orthometrische Höhen bzw. sphäroidische Höhen**

Früher waren entlang der Nivellementlinien noch keine Schwerewerte verfügbar, daher wurden sie entweder vernachlässigt, oder es erfolgte das Ersetzen der Oberflächenschwere durch die Normal-schwere, wie es bei den normal-orthometrischen Höhen der Fall ist. Hierbei werden die Schwerewerte aus einer sphäroidischen Formel berechnet. Diese Höhen sind natürlich wegabhängig und unterscheiden sich von Normalhöhen bzw. Orthometrischen Höhen im Flachland um wenige Millimeter und im Gebirge um einige Dezimeter (Torge, 2003, S. 291). Da das Messen der Schwere aber deutlich leichter geworden ist, gelten die sphäroidischen Höhen heutzutage als überholt und sind nur erwähnenswert, da die Bestimmung der älteren österreichischen Gebrauchshöhen noch sphäroidisch erfolgte.

## **3.5. Das Österreichische Höhensystem ÖHN**

### **3.5.1. Historische Entwicklung**

Auf den kommenden Seiten wurde eine Zusammenfassung der Entwicklungsgeschichte des Höhen-netzes in Österreich erstellt, die sich besonders auf die Arbeiten von Zeger (1986) und Brandtner (1991) stützt. Für weitere Informationen kann bei besagten Referenzen nachgeschlagen werden.

#### **Das Präzisionsnivellement des MGI**

Als Grundlage des österreichischen Gebrauchshöhennetzes diente, nach Zeger (1986), das 1839 vom k. und k. Militär-Geographischen Institut MGI eingeführte Nivellementnetz, das entlang der Eisenbahnstrecken, oder seltener auch entlang der Straßen, geführt wurde. Es sollten zur Kontrolle mehrfache Übermessungen durchgeführt sowie Schleifen gebildet werden. Außerdem wurde, nach Zeger (1986), 1867 auf den Konferenzen der Europäischen Gradmessung eine Grenze für den zufälligen Fehler von  $\pm 3 \text{ mm}/\sqrt{km}$  Nivellementstrecke beschlossen, weiters ein Anschluss auf einen

soliden Nullpunkt für das gesamte Netz gefordert, sowie die Durchführung eines Präzisionsnivelements, welches zwischen 1873 und 1895 auch erstellt wurde.

Entlang der Nivellementlinien wurden ausgewählte Punkte durch verschiedene Arten stabilisiert. Dabei unterschied man:

- Hauptfixpunkte oder Urmarken
- Höhenmarken oder Repèrepunkte 1. Ordnung
- Steinmarken oder Repèrepunkte 2. Ordnung

Insgesamt gab es auf dem gesamten Areal der k. und k. Monarchie sieben Urmarken, die durch glatt polierte Steinflächen mit darauf errichteten Monumenten auf tektonisch stabilem Gelände (zumeist auf Granit oder Gneis) befestigt wurden und von denen sich keine einzige auf dem heutigen österreichischen Staatsgebiet befindet. Diese gleichmäßig über die Monarchie verteilten Urmarken sollten eine Horizontsicherung gewährleisten, da aufgrund der Landesausdehnung nicht jederzeit ein erneutes Anschließen an den Höhenausgangspunkt, den Meerespegel, möglich war.

Im Abstand von ca. drei bis vier Kilometer wurden dann entlang der Linien an Gebäuden wie Kirchen, Bahnhöfen, etc. in einer Höhe von etwa zwei Metern über dem Boden Höhenfestpunkte, Repèrepunkte 1. Ordnung, angebracht. Zwischen diesen wurden dann noch im Abstand von ca. einem Kilometer Steinmarken eingeschaltet. Für diese sogenannten Repèrepunkte 2. Ordnung wurden meist Kilometersteine, Sockel, Brückengeländer, etc. verwendet.

Das Nivellieren erfolgte immer aus der Mitte mit etwa gleichen Zielweiten, die maximal 60m betragen sollten und die Ablesung musste in zwei Fernrohrlagen erfolgen. Für die Messung wurden Nivelliere mit 30facher Vergrößerung von Starke und Kammerer verwendet, die Messlatten waren aus Tannenholz und hatten eine Teilung auf Vorder- und Rückseite.

Es stellte sich in der Zwischenkriegszeit heraus, dass sich die entlang der Bahnlinie gesetzten Höhenmarken zumeist als nicht sehr stabil erwiesen, aufgrund des meist aufgeschütteten Untergrundes und der durch den Bahnverkehr ausgelösten Erschütterungen.

### **Ausgleichung**

Die Ausgleichung des MGI-Höhennetzes erfolgte nach bedingten Beobachtungen in drei Gruppen, wobei die Ergebnisse der vorangegangenen Ausgleichung für die nachfolgende Gruppe fixiert wurden. Die Schleifenschlussfehler der einzelnen Nivellementlinien gingen als Widersprüche in die Ausgleichung ein. Durch diesen Ausgleich wurde festgestellt, dass die Daten einen relativ hohen Anteil an systematischen Fehlern beinhalteten, deren Ursachen wohl teilweise in der Wahl der zu langen Zielweiten und der Messung auf instabilem Untergrund lagen. Hauptursache war jedoch das Nichtberücksichtigen der Lattenmeterkorrektur aufgrund von Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen.

### **Der Bezugshorizont**

Das MGI wählte 1875 das Mittelwasser der Adria in Triest als Bezugshorizont für sein Präzisionsnivelement. Die Höhe der Ausgangshöhenmarke am Molo Sartorio in der Nähe des selbstregistrierenden Flutmessers wurde nach einer nur ein Jahr andauernden Beobachtungszeit des Mittelwassers

der Adria auf  $+3,352 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$  festgelegt. Aus einer später erfolgten achtjährigen Beobachtung des Mittelwassers ergab sich jedoch eine andere Höhe für die Ausgangshöhenmarke:  $+3,2621 \text{ m} \pm 0,0099 \text{ m}$ , was bedeutet, dass sich der gewählte Bezugshorizont nicht auf das langjährige Mittelwasser der Adria, sondern auf einen 89,9 mm tiefer gelegenen Punkt bezog.

### **Nivellements nach der Gründung des BEV**

Die Betreuung der Nivellements des ehemaligen MGI wurden, so bei Zeger (1986), schließlich dem 1921 gegründeten Bundesvermessungsamt, das zwei Jahre später zum *Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)* erweitert wurde, übertragen. Ähnlich wie bei den Arbeiten des MGI wurden nun auch entlang der Linien Höhenmarken im Abstand von 10 km vermarktet und dazwischen im Abstand von 0,8 - 1,3 km Bolzen einbetoniert. Die neue Nivellementlinienführung wurde jedoch nicht mehr entlang der Eisenbahnstrecken geführt, sondern entlang der Straßen. Die Messung erfolgte größtenteils mit ZEISS-Nivellierinstrumenten der Typen III oder A, und später mit optischem Mikrometer unter Verwendung planparalleler Platten. Die Nivellierlatten mit Teilung auf Invarband wurden vor und nach jeder Messung geeicht.

Aufgrund dieser zuletzt genannten Veränderungen bei der Messung wurde eine enorme Genauigkeitssteigerung erreicht und die Einbindung der neuen Messungen in das alte MGI-Netz führte zu immer mehr Netz-Spannungen. Hauptursache waren die durch Instabilität hervorgerufenen unterschiedlichen Höhenänderungen der alten Höhenmarken entlang der Bahntrassen. Angesichts dieser nicht mehr tragbaren Zustände des Präzisionsnivellementnetzes wurde 1937 geplant, ein neues Netz zu schaffen. Allerdings konnte dieser Plan aufgrund der herrschenden politischen Umstände nicht mehr durchgeführt werden.

Zwischen 1938-1945 lag die Verantwortung beim Reichsamt für Landesaufnahme in Berlin, welches gerade am so genannten Reichshöhennetz (RHN) arbeitete. Diese Arbeiten blieben allerdings unvollendet, es existieren keine Karten mit eingetragener Punktlage und auch über Instrumente, Messverfahren und Genauigkeit der damals gemessenen Linien ist nichts bekannt.

### **Aufbau eines neuen Höhennetzes nach 1945**

Aufgrund der Kriegs- und Nachkriegsereignisse waren viele Höhenmarken verloren gegangen. Von einem Nivellementnetz konnte, nach Zeger (1986), eigentlich nicht mehr gesprochen werden, es bestanden nur noch einzelne voneinander isolierte Teile. Auch die bereits angesprochene geringere Genauigkeit der noch vom MGI stammenden Höhenmarken war äußerst problematisch und führte dazu, dass die neueren deutlich besseren Messungen aus der Zwischenkriegszeit enorme Abschlussfehler aufgrund des Zwanges im alten MGI-Netz aufwiesen.

Daher wurde die Idee von 1937, ein komplett neues System zu schaffen, wieder aufgegriffen. Es wurden die bestehenden Linien mit vergleichbarer Genauigkeit sowie die Arbeiten für das Reichshöhennetz ins neue Netz übernommen, und auch diese Daten wurden einer neuen Auswertung unterzogen. Da es allerdings nicht möglich war, einen Anschluss an den Molo Sartorio in Triest herzustellen, wurde der Bezugshorizont des geplanten neuen Höhensystems aus den noch bestehenden Höhen in Österreich abgeleitet, wobei man sich der daraus resultierenden Horizontverbiegung durchaus im Klaren war.

Die Linien sollten nach Möglichkeit auf österreichischem Staatsgebiet geschlossene Schleifen bilden, aber auch zu Punkten an den Staatsgrenzen führen, um eine Verbindung zu den nachbarstaatlichen Höhennetzen zu ermöglichen. Weiters wurde die neue Linienführung weg von den Bahnstrecken und entlang von Straßen gezogen, gleichzeitig sollte sie aber der alten Linienführung angepasst werden, um bereits bestehende Festpunkte miteinbeziehen zu können. Die Messungen erfolgten vorerst weiterhin mit Zeiss-Geräten vom Typ III oder A sowie mit dem WILD 3, später dann mit dem KONI 007 der Firma Carl Zeiss Jena. Geplant war, dass erst bei Abschluss aller Messungen ein strenger Ausgleich erfolgen sollte. Da allerdings in der Zeit des Wiederaufbaus auch an die wirtschaftlichen Bedürfnisse gedacht werden musste und die Forderung eines zumindest vorläufigen Höhensystems immer größer wurde, entschied man sich dazu, eine strenge Ausgleichung der einzelnen Nivellements Schleifen durchzuführen. Auch durch die bereits vorgenommene Ausarbeitung der alten Netzpunkte empfahl es sich aus Zeitersparnisgründen deren Höhen, wenn möglich, beizubehalten. Anfangs waren aufgrund der Besatzungsmächte nur Messungen im Westen Österreichs möglich. Da man aber für den Wiederaufbau dringend Höhen brauchte, wurde doch teilweise auf die alten MGI-Höhen zurückgegriffen. Als dann wieder Messungen über das gesamte Land möglich waren und alle Netzteile wieder zusammengeschlossen wurden, konnte man die bestehenden Gebrauchshöhen nicht mehr ändern. Daraus resultierten erneut Spannungen im Netz. Als Kriterium für miteinbezogene MGI-Höhen galt jedoch, dass ein Netz-Zwang von mehr als 0,5 mm/km vermieden werden sollte. Diese Grenze musste zwar teilweise dennoch überschritten werden, aber der im alten Höhennetz vorherrschende enorme Zwang wurde beseitigt.

Aufgrund weiterer aufgedeckter grober und systematischer Fehler musste in manchen Regionen Österreichs eine Kotenänderung durchgeführt werden. Insbesondere in Vorarlberg mussten die MGI-Koten um 10 - 20 cm, in Teilen der Steiermark um ca. 9 cm tiefer angenommen werden, wobei hier nicht klar ist, ob sich hier nicht auch noch Erdkrustenbewegungen mitüberlagert haben. Etwa ab 1960 wurde geplant, eine Auswahl der gemessenen Linien zu einem übergeordneten Netz 1. Ordnung zu erklären. Dieses sollte alle Zusammenschlüsse mit den Nachbarstaaten umfassen und eine Punktdichte von 300 - 400 m Abstand erreichen. Durch den Plan von Wiederholungsmessungen sollte dieses Netz auch für die Beobachtung der Erdkrustenbewegungen genutzt werden. Durch diese Art der Höhennetzentwicklung gingen im Gebrauchshöhennetz von Österreich wieder Messgenauigkeiten verloren, was zur damaligen Zeit allerdings als nicht so wesentlich erachtet wurde, da es nur für lokale oder regionale Anwendungen gedacht war.

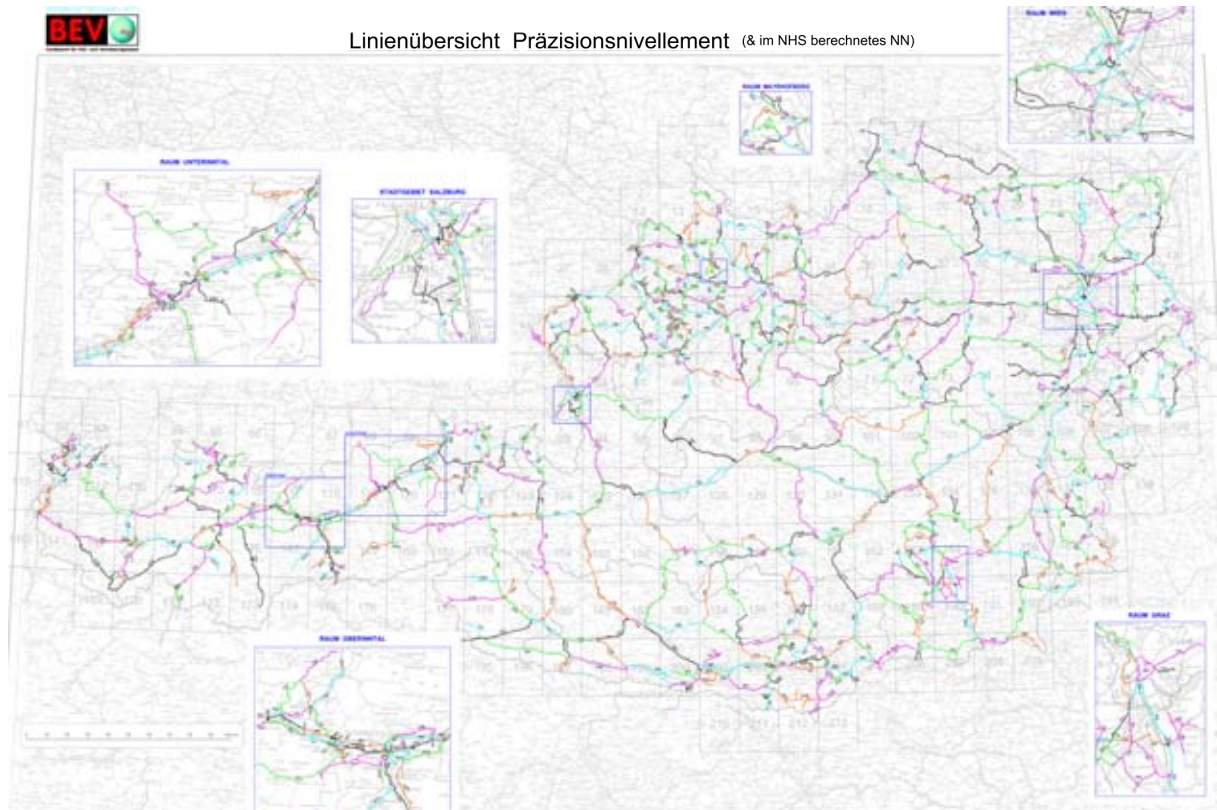
### **Erste Wiederholungsmessung des Höhennetzes 1. Ordnung und anschließender Ausgleich**

Neben der weiteren Verdichtung des Präzisionsnivellementnetzes wurde zwischen 1966 und 1985 eine Neuübermessung der Nivellementlinien des Netzes 1. Ordnung vorgenommen, wobei nach Zeiger (1986) auch Linien vom Netz 2. Ordnung hinzugenommen wurden. Gemessen wurde mit dem selbsthorizontierenden Kompensatornivelliergerät KONI 007. Das Netz erreichte damit eine Länge von 3894 km, unterteilt durch 45 Knotenpunkte und umfasste 13 geschlossene Schleifen auf Staatsgebiet und in Zusammenarbeit mit den Nachbarstaaten 16 Schleifen. Allerdings waren nach Höggerl (1986) seit der Erstübermessung des ÖHN in manchen Gebieten mehr als 50% der Höhenpunkte verloren gegangen.

Die Ausgleichung der Messungen erfolgte, nach Höggerl (1986), im System der geopotentiellen

Koten nach vermittelnden Beobachtungen in Zusammenhang mit Arbeiten am UELN (United European Levelling Network), einer Neuausgleichung des europäischen Nivellementnetzes (siehe Kapitel 3.6). Nach Abschluss der Wiederholungsmessungen wurde der Beschluss gefasst, für Österreich ein neues Höhensystem zu entwickeln. Dieses neue Systems soll dynamische, ellipsoidische und orthometrische Höhen enthalten, wobei letztere die aus dem alten Höhensystem stammenden normal-orthomtrischen Höhen ersetzen sollen.

In der Abbildung 3.5 <sup>2</sup> sind die Linien des aktuellen Österreichischen Präzisionsnivellementnetzes dargestellt. Es umfasst ca. 29 000 Höhenpunkte, verteilt über ganz Österreich <sup>3</sup>.



**Abbildung 3.5.:** Das aktuelle Präzisionsnivellementnetz von Österreich.

### 3.5.2. Aktuelle Höhenmessung am BEV

Die vom BEV verwendeten Messmaterialien wurden im vorigen Kapitel teilweise bereits erwähnt. Es soll nun in Tabelle 3.1 noch einmal eine Auflistung der Geräte, ihre Genauigkeiten sowie auch der Zeitraum ihres Einsatzes zusammengestellt werden. Die Genauigkeiten der jeweiligen Hersteller werden in Standardabweichung pro Kilometer Doppelnivellement mit Präzisions-Invarlatten angegeben.

Bei der Arbeit mit dem KONI 007 wurde nach dem bereits erwähnten Ableseschema RVVR mit Zwei-Skalenlatten gemessen Zeger (1986). Bei den digitalen Nivellieren NA3000 und DINI 12 er-

<sup>2</sup>Diese Abbildung wurde vom BEV zur Verfügung gestellt

<sup>3</sup>Infos zum Höhenfestpunktnetz unter der Homepage des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV): <http://www.bev.gv.at/>, Menü-Punkte: Vermessung und Geoinformation - Produktbeschreibungen - Hierarchischer Katalog - Festpunkte Höhe.

Gerätename	Hersteller	Bauweise	Verwendung	Genauigkeit $mm/\sqrt{km}$
Typ III & A	Zeiss	analog opt. Mikrometer	1921-1938 1947-1961	- ca. 1
Typ 3	Wild	analog	1947-1961	ca. 1
KONI 007	Carl Zeiss Jena	analog Kompensator	ab 1966	0,5
NA3000 bzw. 3003	Wild (Leica)	digital Kompensator	1993-2004	0,4
DINI 12	Trimble	digital Kompensator	seit 2000	0,3

**Tabelle 3.1.:** *Verwendete Messgeräte am BEV, Definition der Genauigkeit: Standardabweichung in Millimeter pro Kilometer Doppelnivellement mit Präzisions-Invarlatten.*

folgte bzw. erfolgt nur eine RV-Ablesung, der Messweg wird aber immer noch doppelt (hin- und retour) zurückgelegt<sup>4</sup>. Die Rückmessung erfolgt heutzutage zumeist gleich am selben Tag wie die Hinmessung. Man arbeitet sich also stückweise weiter entlang einer Nivellementlinie.

### 3.6. Höhensysteme in Europa

Der Vollständigkeit halber soll hier kurz erwähnt werden, dass in Europa verschiedene Höhensysteme vorzufinden sind. Dies ist besonders bei Daten in grenznahen Gebieten wichtig, wie es in dieser Arbeit der Fall ist. Jedes Land definiert für sein staatliches Höhensystem einen bestimmten Bezugshorizont und verwendet eine der in Kapitel 3.3 vorgestellten Höhendefinitionen. Durch diese Unterschiedlichkeiten können Höhenunterschiede bis zu 2 m zwischen den Ländern auftreten<sup>5</sup>. Die Systeme der Nachbarländer Österreichs sind in Tabelle 3.2<sup>6</sup> aufgelistet. Weiters gibt die Abbildung 3.6<sup>7</sup> einen Überblick über die Höhendifferenzen der Höhen der Nachbarländer zu Österreich in Millimeter.

#### 3.6.1. Das europäische Höhenreferenzsystem

Durch einen Zusammenschluss der Nivellementnetze europäischer Länder entstand ein einheitliches Höhenreferenzsystem, das **UELN (United European Levelling Network)**. In älteren Publikationen findet sich noch der Name REUN (Reseau Européen Unifié de Nivellement). Aktuell sind nun Höhennetze 1. Ordnung von 26 verschiedenen europäischen Ländern im UELN enthalten. Am Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) in Deutschland befindet sich das Daten- und Analysezentrum. Die verschiedenen Netze werden nun im sogenannten EVRS (European Vertical

<sup>4</sup> Private Kommunikation mit Mitarbeitern des BEV.

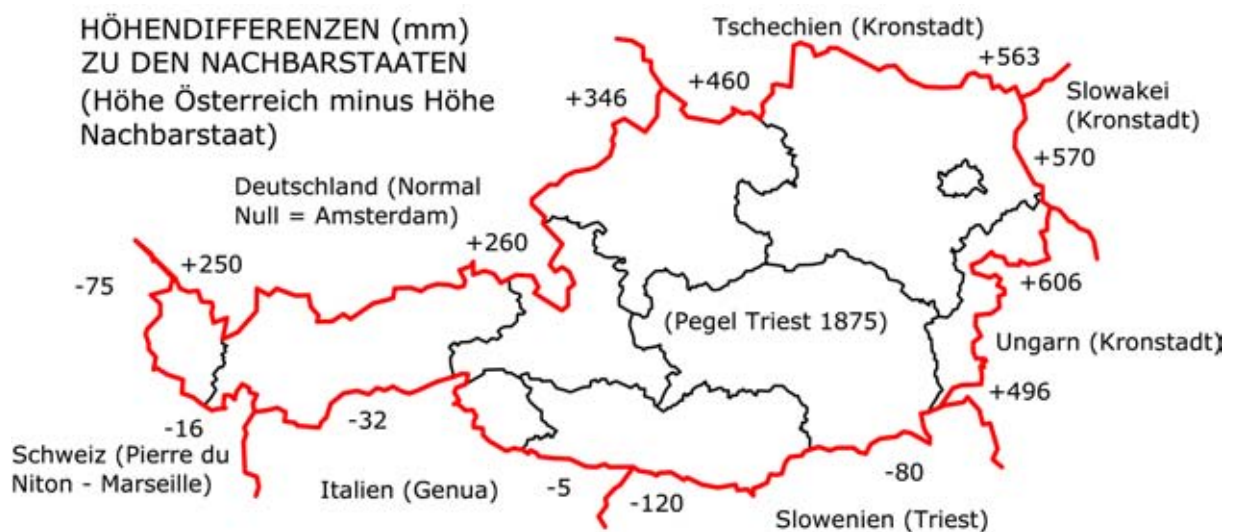
<sup>5</sup> Infos des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) zum Europäischen Höhensystem unter [http://www.bkg.bund.de/nn\\_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03\\_node.html\\_\\_nnn=true](http://www.bkg.bund.de/nn_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03_node.html__nnn=true).

<sup>6</sup> Infos zu den Höhensystemen der Nachbarländer direkt unter [http://www.crs-geo.eu/nn\\_124226/crseu/EN/CRS\\_Description/crs-national\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.crs-geo.eu/nn_124226/crseu/EN/CRS_Description/crs-national_node.html?__nnn=true), verwaltet durch: Coordinate Reference Systems in Europe (CRSEU).

<sup>7</sup> Abbildung Höhen der Nachbarländer unter der Homepage des Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV): <http://www.bev.gv.at/>, Menü-Punkte Vermessung und Geoinformation - Produktbeschreibungen - Hierarchischer Katalog - Höhendifferenzen zu Nachbarstaaten.

Land	Höhendefinition	Pegel	Datumspunkt
Österreich	normal-orthometrische H.	Triest 1875	Hutbiegl
Schweiz (LN02)	nivellierte H.	Marseille	Genf
Deutschland (DHHN92)	Normalhöhen	Amsterdam	Wallenhorst
Tschechien	Normalhöhen	Kronstadt	k. A.
Slowakei	Normalhöhen	Kronstadt	k. A.
Ungarn	Normalhöhen	Kronstadt	Nadap
Slowenien	normal-orthometrische H.	Triest	Ruse
Italien	orthometrische Höhe	Pegel Genua	Genua

**Tabelle 3.2.:** *Verwendete Höhensysteme der Nachbarländer Österreichs und ihre unterschiedlichen Pegel und Datumspunkte.*



**Abbildung 3.6.:** *Höhendifferenzen zwischen Österreich und seinen Nachbarländern.*

Reference System) zusammengefasst. Durch unterschiedliche Ausgleichungen der Netze entstanden daraus verschiedene Realisierungen des EVRS. Die aktuellste Realisierung ist der sogenannte EVRF2007 (European Vertical Reference Frame 2007).

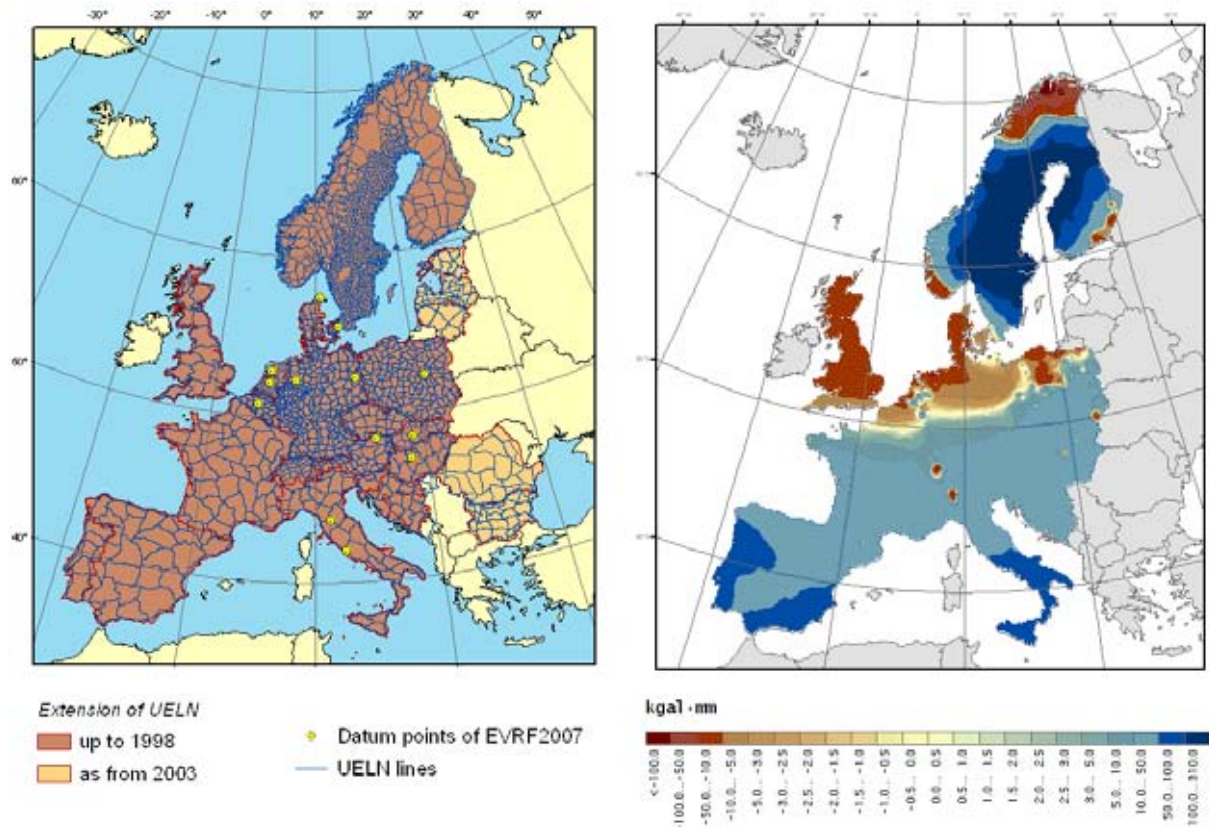
Im EVRF treffen Beobachtungen aus unterschiedlichen Zeiten aufeinander und somit ergeben sich auch unterschiedlich lange Messepochen<sup>8</sup>. Dieser Problematik kann nur durch die Entwicklung eines kinematischen Modells entgegengewirkt werden, welches seine Informationen aus den sogenannten Vertikalgeschwindigkeiten der Höhenpunkte bezieht. Der Bezugshorizont des EVRF2007 errechnet sich aus 13 über Europa verteilten Datumspunkten, die sich als äußerst stabil erwiesen haben. Der Horizont des EVRF2000, Vorgänger des EVRF2007, ergab sich hingegen aus nur einem Datumspunkt in den Niederlanden. In den Ausgleich für das EVRF2007 gingen über 10 000 Beobachtungen ein.

In der Abbildung 3.7<sup>9</sup> sind auf der linken Seite die Nivellementlinien mit den Datumspunkten dargestellt und rechts die Differenzen der Ergebnisse des EVRF2000 und des EVRF2007. Neben der

<sup>8</sup>Infos zum Europäischen Höhensystem unter [http://www.bkg.bund.de/nn\\_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03\\_\\_node.html\\_\\_nnn=true](http://www.bkg.bund.de/nn_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03__node.html__nnn=true).

<sup>9</sup>Abbildung unter [http://www.bkg.bund.de/nn\\_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03\\_\\_node.html\\_\\_nnn=true](http://www.bkg.bund.de/nn_175414/DE/Bundesamt/Geodaesie/RefSys/RefHoehe/Hoehe03__node.html__nnn=true).





**Abbildung 3.7.:** links: Nivellementlinien des EVRF2007 mit seinen Datumspunkten, rechts: Differenzen (der geopotentiellen Koten) von EVRF2000 zu EVRF2007.

Berechnung mit unterschiedlichen Messdaten und Auswirkungen von Meeresspiegelschwankungen (unterschiedliche Gezeitentssysteme) wird auch der *postglacial rebound-effect* als Hauptursache für diese Höhenänderungen genannt. Auch bei Umrechnung in dasselbe Gezeitentssystem bleiben sehr starke Hebungen in Skandinavien zu erkennen. Diese Hebungen in Skandinavien sind somit tektonischer Ursache.

### 3.7. Berechnung der Höhenänderungen

„Das geometrische Nivellement für sich ist ein Meßverfahren, das durch seine Ergebnisse die Höhenlage diskreter Punkte der Erdoberfläche beschreibt. Lediglich die Wiederholung der Messungen in zeitlichem Abstand bei Verwendung identischer Punkte gibt die Grundlage zur Bestimmung rezenter Höhenänderungen. Da die einzelnen Linienmessungen wegen des hohen Personal- und Zeitaufwandes innerhalb einer Beobachtungsepoche (=Zeitraum zur Beobachtung eines zusammenhängenden Netzes) mehrere Jahre bis zu Jahrzehnten auseinanderliegen, entsteht das Problem, für zeitlich inhomogene Beobachtungen ein Modell zur Beschreibung vertikaler Bewegungen der Erdoberfläche abzuleiten.“ (Zippelt, 1988, S.7)

Dieses Zitat beschreibt sehr gut die zu lösende Problematik für die Berechnung von Höhenänderungen. Da es, wie Zippelt beschreibt, nicht möglich ist, zeitlich fortlaufende Messungen durchzuführen, muss mit diskret gemessenen Daten (epochenweise Beobachtung) gearbeitet werden.

Um tektonische Bewegungen erfassen zu können, benötigt man zumindest zwei Messungen: zu Beginn eine sogenannte *Nullmessung* und dann zumindest eine *Folgemessung*, mit Hilfe derer man etwaige Höhenänderungen feststellen kann. Zwischen diesen beiden Messungen sollte ein geeigneter zeitlicher Abstand liegen, der von der Größenordnung der zu messenden tektonischen Bewegungen abhängt. Im Fall von Mitteleuropa kann dieser Abstand im Bereich mehrerer Jahrzehnte liegen. Für die Berechnung vertikaler Bewegungen schlägt Vyskočil (1996) zwei Ansätze vor:

1. Für die Datenbearbeitung werden die Messresultate in einem Netzwerk ausgeglichen. Der Vorteil dabei ist die Minimierung der zufälligen Messfehler. Dabei sollte nicht mehr als ein Festpunkt als stabil und damit als Referenz herangezogen werden (Ansatz eines freien Ausgleichs). Man darf in Folge allerdings nicht einfach die Höhendifferenz zwischen Absoluthöhe der Erstmessung und der in der Folgemessung heranziehen, da diese zwei Höhenwerte aus unterschiedlichen Ausgleichen stammen und weiters zeitlich inhomogen sind. Vyskočil (1996) schlägt daher einen Ausgleich jährlicher Änderungen von Höhendifferenzen zwischen Festpunkten vor:

$$v_{0,i} = dh/dT. \quad (3.13)$$

$v_{0,i}$  sind die jährlichen Differenzen zwischen der Nullmessung zum Zeitpunkt  $T_0$  und der Folgemessung um Zeitpunkt  $T_i$ , wobei hier von linearen Vertikalbewegungen zwischen den beiden Messungen ausgegangen wird. In Formel 3.13 ist

$$dh = dH_i - dH_0 \quad (3.14)$$

die Differenz der zu den Zeitpunkten  $T_i$  und  $T_0$  bestimmten Höhenunterschiede  $dH$  zwischen zwei Festpunkten, und

$$dT = T_i - T_0 \quad (3.15)$$

der zeitliche Abstand zwischen den beiden Messungen (in Jahren).

Werden alle  $v_{0,i}$  entlang einer Nivellementschleife aufsummiert, sollte man, unter Annahme linearer Bewegungen, beim Abschluss das Ergebnis Null erhalten. Die nun berechneten  $v_{0,i}$  kann man in Zusammenhang zu einem Referenzhöhenpunkt setzen, für den keine Bewegungen angenommen werden. Als Einheit dieser berechneten Geschwindigkeiten werden *mm/Jahr* verwendet.

2. Die direkte Analyse der gemessenen Daten ist ebenfalls eine mögliche Lösung. Dabei wird kein Ausgleich durchgeführt.

Werden beide oben genannten Ansätze durchgeführt, kann man die Ergebnisse miteinander vergleichen und kombinieren. Die Ergebnisse können einander bestätigen, was für folgende geodynamische Interpretationen wichtig sein kann. Weitere Unterstützungen können dazu passende geophysikalische Informationen über den Aufbau unter der Oberfläche erbringen.

Für die weitere Analysen der  $dh$  oder der  $v_{0,i}$  wird bei Vyskočil (1996) die Verwendung grafischer Visualisierungen dieser Werte vorgeschlagen, auch um geeignete Festpunkte für die Studien der Krustenbewegungen auswählen zu können.

Im Zitat von Zippelt zu Beginn dieses Kapitels wird noch ein weiteres Problem angesprochen: die Inhomogenität der Messdaten aufgrund verschiedener Beobachtungszeitpunkte. Die Messung eines gesamten Nivellementnetzes kann einfach nicht zum exakt gleichen Zeitpunkt erfolgen. Aus diesem Grund stellt Zippelt in seiner Dissertation eine Sammlung verschiedener Bewegungsmodelle zusammen, die er nach folgenden Kriterien einteilt:

- **statische Modelle:** Es werden unterschiedliche Höhenbestimmungen miteinander verglichen und ausgeglichen, unabhängig davon ob die Daten einer Messepoche aus verschiedenen Beobachtungsjahren stammen oder nicht. Dabei gehen natürlich die Bewegungen verloren, die innerhalb dieses Beobachtungszeitraums stattgefunden haben. Die dadurch entstehenden Verzerrungen der Schätzwerte sind abhängig von den Bewegungsraten der Punkte sowie von der Länge der Beobachtungsepoche. Laut Zippelt sind solche Modelle nur für die Analyse kleiner, lokaler Überwachungsnetze geeignet, die sich über einen relativ kurzen Zeitraum erstrecken.
- **kinematische Modelle:** Die Bewegungsraten werden durch ein zeitabhängiges funktionales Modell beschrieben. Das heißt das Beobachtungsdatum der Höhenänderungen geht in die Berechnung ein. Damit ist auch die Namensgebung des Überbegriffs dieser Modelle erklärbar: zeitabhängige Höhen werden in Anlehnung an die Physik als kinematische Höhen bezeichnet, welche die Vertikalbewegungen beschreiben. Aus dem Ausgleich folgen Schätzwerte der Höhenänderungen, die dem Datenmaterial zugrunde liegen. Zu beachten ist, dass sich die Daten auf einen relativ kurzen Zeitraum (20-60 Jahre) beziehen und Extrapolationen äußerst zweifelhaft wären.

Nachdem in dieser Diplomarbeit der Schwerpunkt in der Erfassung und Interpretation der Daten liegt und nicht in der Bildung eines geeigneten Modellansatzes, soll hier nicht weiter auf diese Problematik eingegangen werden. Genaueres kann in Zippelt (1988) nachgelesen werden.

### 3.8. Datenvoraussetzungen zur Ermittlung vertikaler Bewegungen

Nach Rožić (2007) müssen zur Erkennung verlässlicher Höhenänderungen identischer Höhenmarken aus zeitlich verschiedenen Messepochen einige Richtlinien beachtet werden. In diesem Kapitel erfolgt nun eine Auflistung dieser Richtlinien und gleichzeitig wird überprüft, ob das ÖHN diese erfüllt.

- **Bezug auf dasselbe Höhendatum und Verwendung desselben Höhentyps.** Dieser Punkt wird vom ÖHN erfüllt. Als Bezugshorizont der verwendeten Messungen gilt immer der Adria-Meeresspiegel bei Triest. Als Höhentyp werden bis jetzt noch normal-orthometrische Höhen verwendet, es soll jedoch eine Umstellung auf orthometrische Höhen erfolgen.
- **Die Daten der verschiedenen Epochen sollten nach gleicher Methode ausgeglichen werden.** Für genaue Aussagen liegen hier zuwenig Informationen vor (besonders für ältere Daten). Es ist aber davon auszugehen, dass unterschiedliche Rechenmethoden verwendet wurden. Im früheren Ausgleich wurde ein hierarchischer drei-Stufen-Aufbau gewählt. Vermutlich wurde hier aber kein dynamischer Ausgleich durchgeführt, wie es heutzutage durchaus üblich ist.

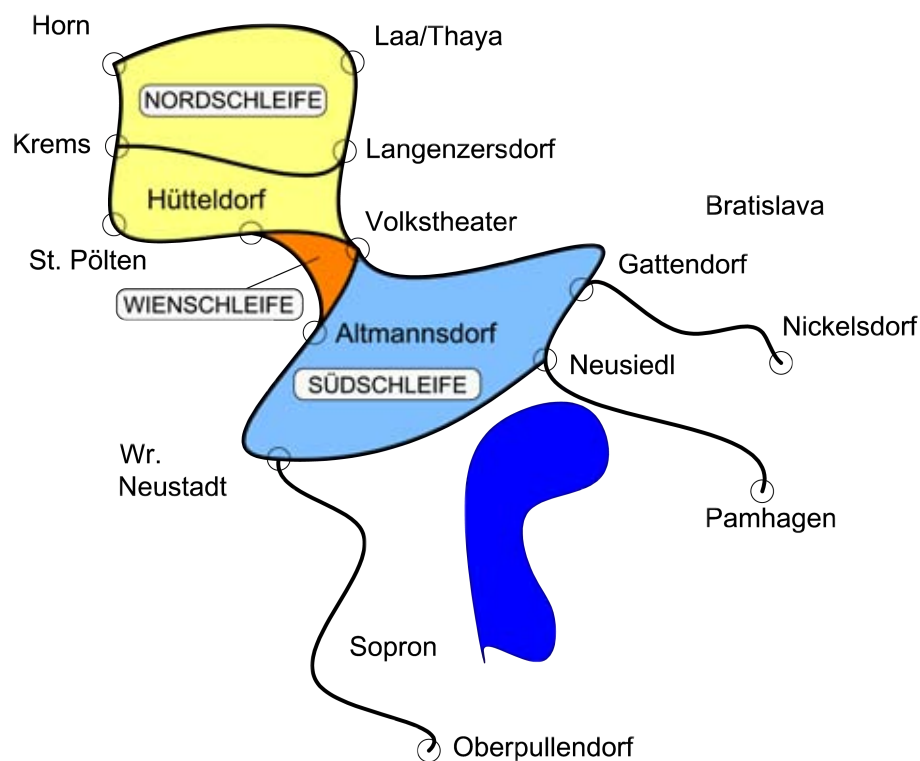
- **Die Nivellementlinien, die identische mehrfach übermessene Höhenpunkte beinhalten, sollten eine möglichst ähnliche Netzkonfiguration aufweisen und ebenso ein möglichst gleiches Gebiet umfassen.** Dies ist für die hier verwendeten Daten des ÖHN großteils erfüllt. Die Linienführung der alten Messungen wurde größtenteils beibehalten, sie wurden nur von den Bahnlinien weg auf die Straßen verlegt Zeger (1986). Manchmal wurden Linien in andere einbezogen oder auf mehrere aufgeteilt.
- **Es sollte absolut kein Zweifel bestehen, dass die Messungen aus zeitlich verschiedenen Epochen auch tatsächlich genau denselben Höhenfestpunkt betreffen,** was bei wenig überlieferter Dokumentation früherer Messungen schon oftmals schwierig sein kann. Die korrekte Zuordnung kann beim ÖHN garantiert werden. Es liegen sehr viele Messdokumentationen vor, und falls Unsicherheiten auftraten, wurden diese darin vermerkt. Bei großen Messunterschieden zwischen erster und Folgemessung liegt das Problem eher an der Vermarkungsbasis. Im Kapitel 5 werden Punkte mit größeren Bewegungen anhand geologischer Karten analysiert.
- **Die festgestellten Höhenänderungen sollen nicht auf die Instabilität der Punkte selbst zurückführbar sein, sondern es sollen wirklich Veränderungen über ein größeres Gebiet erkennbar sein.** Für die meisten Punkte treten Höhenänderungen in der zu erwartenden Größenordnung auf, was eine lokale Stabilität der Punkte vermuten lässt. Wie schon im vorigen Punkt kurz erwähnt, gibt es durchaus ein paar Ausreißer, deren Höhenänderungen sicherlich nicht auf Krustenbewegungen zurückgehen. Diese instabilen Punkte werden aus den Visualisierungen ausgeschlossen, da sie eine Bildverfälschung verursachen würden. Nachdem solche Punkte aber auch Informationen über den Untergrund beinhalten können, werden sie für die Interpretation teilweise herangezogen. Werden Punkte tatsächlich aus den Linien entfernt, wird bei der Analyse der jeweiligen Linie im Kapitel 5 darauf hingewiesen.
- **Die Messgenauigkeiten der Nivellementnetze verschiedener Epochen sollte ungefähr gleich sein.** Dieser Punkt wird wohl für so gut wie kein Höhennetz erfüllbar sein. Nachdem die Erfassung rezenter Krustenbewegungen in unseren Breiten längere Zeitfenster zwischen den Beobachtungen benötigt, um diese überhaupt sichtbar zu machen, bedeutet dies automatisch auch die Verwendung verschiedener Messgeräte. Gerade in den letzten Jahrzehnten fand eine erhebliche Genauigkeitssteigerung statt. Für die Messungen aus den 1950ern kann nach Angaben des BEV <sup>10</sup> mit einer Messgenauigkeit von etwa  $\pm 1,1 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  gerechnet werden, für aktuelle Messungen sind es ca.  $\pm 0,5 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ .

---

<sup>10</sup> Private Kommunikation mit BEV-Mitarbeitern.

## 4. Das Untersuchungsgebiet

### 4.1. Gebietsbeschreibung



**Abbildung 4.1.:** Ausdehnung des zu bearbeitenden Gebietes mit den einzelnen Schleifen

Als Untersuchungsgebiet für diese Arbeit wurde ein Teil im Osten Österreichs gewählt, der mehrere tektonische Zonen abdeckt und damit die unterschiedlichen Einflüsse dieser Zonen auf die Messungen beobachtet werden können (siehe Kapitel 2.2 und 5). Das Gebiet erstreckt sich von Horn über Wien bis hin zum Neusiedlersee (siehe Abbildung 4.1). Auf dem südlichen Bereich liegt geologisch betrachtet das Hauptaugenmerk, da es im Bereich des tektonisch aktiven Wiener Beckens liegt. Wesentlich für die Erkennung von Krustenbewegungen ist allerdings die Herstellung eines Bezugs in ein geologisch stabiles Gebiet, wie es die Umgebung um Horn im Bereich der Böhmisches Masse erfüllt. In der Geodäsie versucht man die Messungen, wenn möglich, einer Fehlerkontrolle zu unterziehen, und daher werden die zurückzulegenden Wege in Form von Nivellementschleifen überbrückt (Kontrolle im Anfangs- bzw. Endpunkt).

Für diese Arbeit wurden zwei Hauptschleifen aus den einzelnen vorhandenen Nivellementzügen gebildet. Zur zusätzlichen Kontrolle wurde auch eine weitere kleine Schleife über den Wiener Raum gebildet (siehe Abbildung 4.1).

#### **4.1.1. Die Nordschleife**

Der als Nordschleife bezeichnete Teil läuft einerseits von Horn nach Süden über Krems, St. Pölten Richtung Wien und andererseits von Horn östlich über Laa an der Thaya, dann Richtung Süden über Korneuburg und Langenzersdorf ebenfalls nach Wien (Abb. 4.1). Dadurch ergibt sich, durch Aufsummierung der in den Gegenüberstellungen des BEV vermerkten Messwege, eine ca. 300 km lange Schleife.

Neben diesen Daten konnte später noch eine Querverbindung von Krems über Perzendorf nach Langenzersdorf gebildet werden. Mit Teilen der anfangs erwähnten Nordschleife kann auch hiermit eine sogenannte „kleine Nordschleife“ berechnet werden, die von Horn ausgehend über Krems, Langenzersdorf und Laa führt.

#### **4.1.2. Die Südschleife**

Analog wurde eine Schleife im Raum südlich von Wien gewählt. Diese Südschleife verläuft von Wien zum einen nach Wiener Neustadt und zum anderen nach Osten über Maria Ellend, Deutsch-Altenburg weiter nach Neusiedl am See und von dort über Eisenstadt beziehungsweise über St. Margarethen ebenfalls nach Wr. Neustadt (siehe Abbildung 4.1). Westlich des Neusiedlersees trennen sich kurz die Wege der Erst- und der Folgemessung. Während die für diese Arbeit als Nullmessung herangezogene Datenreihe über Eisenstadt verlief, wurde später eine Messung über die Umgebung Rust vollzogen. So können zwar keine Informationen zur Höhenänderung angenommen werden, aber es ist dadurch möglich, die Daten zwischen Ost- und Westarm der Schleife zu verknüpfen. Auch im Raum Wiener Neustadt treten kurz getrennte Messwege auf. Während die älteren Beobachtungen von Wiener Neustadt direkt nach Günselsdorf verlaufen, erfolgt der Weg der Folgemessung weiter westlich über Weikersdorf. Die getrennten Messwege sind in Abbildung 4.4 auf der Seite 54 strichliert eingezeichnet. Die fehlenden Informationen der Höhenänderungen werden in Abbildung 4.2 <sup>1</sup> ersichtlich: durch das Fehlen von identen Höhenfestpunkten in den angesprochenen Bereichen entstehen größere Lücken zwischen den Höhenfestpunkten (in Abb. 4.2, Punkte in blau). Die Südschleife umfasst, laut Gegenüberstellungen, eine Strecke von etwa 250 km.

#### **4.1.3. Die Wienschleife**

Aufgrund der großen Anzahl der Nivellementzüge im Raum um Wien fiel die Entscheidung leicht, den Knotenpunkt Wien, also die Verbindung zwischen Nord- und Südschleife, durch weitere Messdaten abzustützen bzw. ebenfalls zu kontrollieren. Diese Schleife verläuft von Hütteldorf ausgehend Richtung Osten zum eigentlichen Knotenpunkt in Wien beim Volkstheater und von dort weiter zur TU Wien und nach Altmannsdorf und wieder zurück nach Hütteldorf. Damit ergibt sich eine Schleifenlänge von ca. 30 km. Ihr Verlauf kann der Abbildung 4.4 entnommen werden.

---

<sup>1</sup>Unterlegung der BEV-Höhenfestpunkte mit einer Karte des Yahoo Routenplaner, siehe: <http://de.maps.yahoo.com/>.

#### **4.1.4. Weitere Südzüge**

Kurzfristig bestand die Hoffnung, noch eine weitere Schleife berechnen zu können. Diese sollte unter Miteinbeziehung von Daten auf ungarischem Staatsgebiet über Sopron und um den Neusiedlersee herum verlaufen. Dieses Projekt des BEV in Zusammenarbeit mit Ungarn wurde zwar schon begonnen, es besteht auch bereits eine erste Übermessung des Gebietes, allerdings erfolgten bisher keine weiteren. Somit existiert keine Mehrfachübermessung der Sopron-Schleife, womit sie für diese Arbeit leider belanglos wurde. Der Verlauf dieser Schleife ist in der folgenden Abbildung 4.4 auf Seite 54 strichliert eingetragen.

Anstatt der Schleifenbildung wurden aus den Daten auf österreichischem Staatsgebiet einzelne Züge berechnet. So konnten östlich vom Neusiedlersee zwei Züge jeweils bis zur ungarischen Grenze miteinbezogen werden. Weiters besteht auch noch ein Zug in der Nähe von Mattersburg bis nach Oberpullendorf.

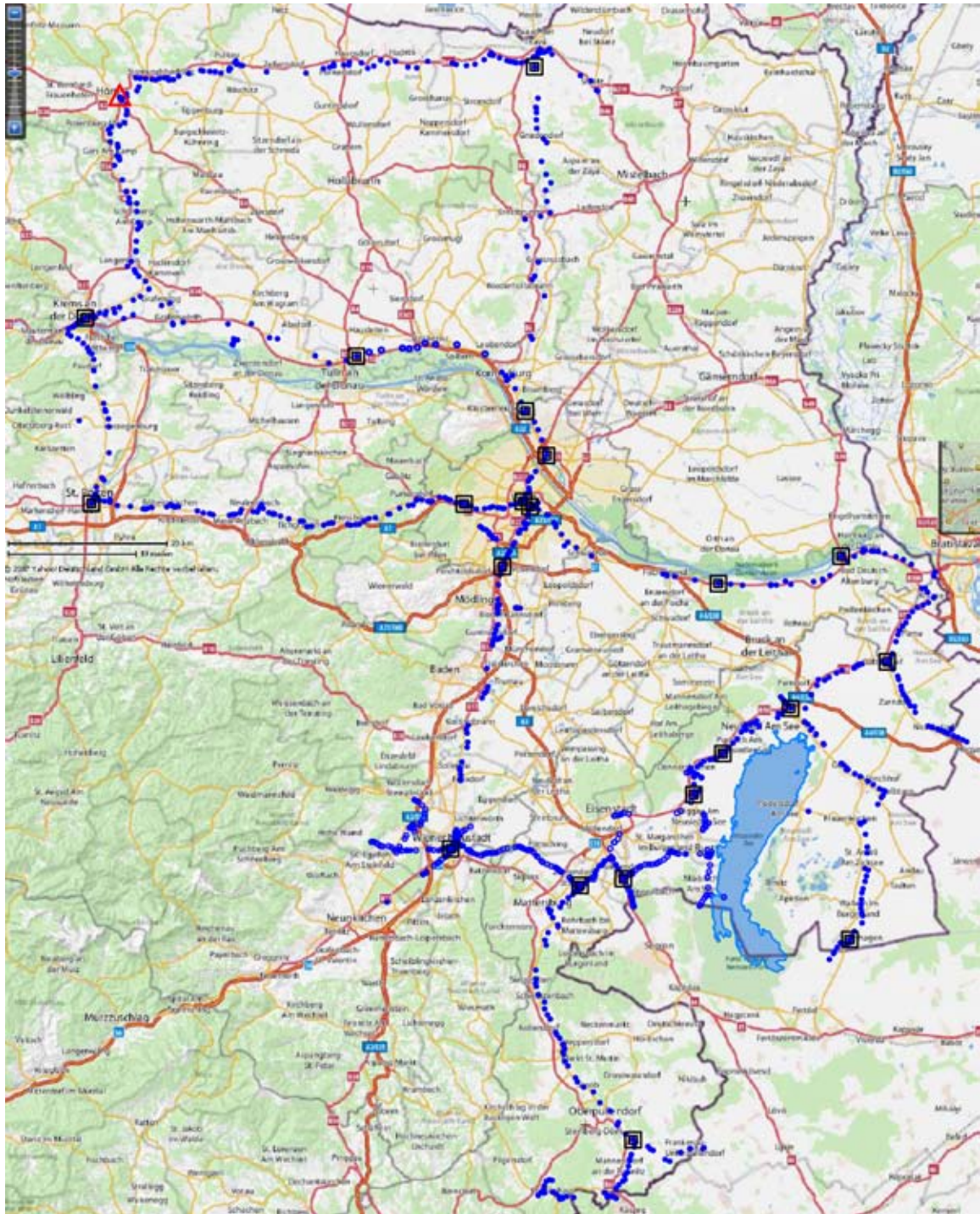
#### **4.1.5. Referenzpunkt Horn**

Ähnlich wie bei dem europäischen Höhenreferenzrahmen EVRF, muss auch bei den hier verwendeten Daten ein Höhenfestpunkt ausgewählt werden, der als Bezug für die Messungen zu allen anderen Höhenfestpunkten dient. Die Höhenlage dieses Bezugspunktes wird als stabil angenommen, auch wenn das der Realität nicht entsprechen muss. Um Eigenbewegungen des Referenzpunktes ausschließen zu können, sollte dieser Punkt in einem tektonisch stabilen Gebiet gewählt werden. Nachdem in dieser Arbeit tektonische Bewegungen erforscht werden sollen, muss nicht nur die Vermarkung des Punktes stabil sein, er sollte auch möglichst unbetroffen von tektonischen Bewegungen sein. Gleich zu Beginn der Datengewinnung wurde vom BEV ein adäquater Bezugspunkt vorgegeben. Es handelt sich dabei um einen Höhenbolzen bei der Schlosskapelle in Horn Höggerl (1986). Dieser Punkt befindet sich in der Böhmisches Masse, dem geologisch stabilsten Teil Österreichs Höggerl (2007).

## **4.2. Die Messdaten**

Für die Beobachtung etwaiger vertikaler Krustenbewegungen sind eine Anfangsmessung (Nullmessung) und zumindest eine Wiederholungsmessung notwendig. Im Falle des österreichischen Höhensystems ist dies für die meisten Regionen bereits erfüllt. Wie bereits in Kapitel 3.5 erwähnt, werden seit den 1960er Jahren vom BEV auch gezielt Messungen zur Beobachtung der Krustenbewegungen gemacht, auch wenn immer wieder Punktverluste diese Aufgabe erschweren Höggerl (1986). Wichtig für eine brauchbare Datenanalyse in Bezug auf Krustenbewegungen ist einerseits die möglichst gute Erfüllung der in Kapitel 3.8 aufgelisteten Voraussetzungen, sowie ein angemessener zeitlicher Abstand zwischen den Übermessungen, damit überhaupt sinnvolle Aussagen getroffen werden können. Im Untersuchungsgebiet liegen die Zeitabstände zwischen Null- und Wiederholungsmessung zwischen 17 und 42 Jahren, für einen speziellen Fall in Wien sind es sogar 61 Jahre. Eine Übersicht über die Verteilung der unterschiedlich langen Messepochen im Messgebiet findet sich in Abbildung 4.4.

Die hier verwendeten Messdaten wurden vom BEV zur Verfügung gestellt. Wie bereits in Kapitel 3.5 erwähnt, verfügt das BEV seit längerer Zeit über ein sehr gut ausgebautes Höhennetz: Ver-



**Abbildung 4.2.:** Darstellung aller Höhenfestpunkte in blau, unterlegt mit einer Karte des Routenplaners von Yahoo. Zusätzlich ist in rot der Bezugspunkt Horn eingetragen, und mit schwarzen Vierecken sind die Verknüpfungspunkte markiert.

wendet werden hierbei die Daten des seit 1875 existierenden Präzisionsnivellamentnetzes. Durch die linienweise Messung von Höhendifferenzen entstand ein maschenförmiges, ganz Österreich abdeckendes Höhenetz Höggerl (2001). Zur Festlegung bzw. auch zur Verbesserung des österreichischen Bezugshorizonts wurden diese Linienzüge zu gegebenen Zeiten wiederholt übermessen. Diese epochalen Messungen sollen nun in weiterer Folge dieser Arbeit genauer betrachtet werden



und in Kombination mit geologischen Informationen etwaige Rückschlüsse auf Krustenbewegungen liefern.

Die für diese Arbeit notwendigen Messdaten wurden vom BEV kostenlos zur Verfügung gestellt, meist in Form sogenannter **Gegenüberstellungen** (Der Begriff wird im Kapitel 4.2.1 erklärt werden, eine Darstellung findet sich in Abb. 4.3 auf Seite 52.) Die im Zuge der Arbeit erfassten Analogdaten wurden wiederum dem BEV in digitaler Form geliefert. Die digitale Datenerfassung erfolgte in Form von *Microsoft Excel*-Tabellen, deren Tabellenblatt-Formatierung vom BEV vorgegeben war. Soweit möglich wurden die Daten um zusätzliche Angaben wie Stabilisierungsarten, Messwege, Zugnummern, vorgehende Punktnummern ergänzt. Es war leider nicht immer möglich, alles auszufüllen, da diese Angaben nicht auf allen Papieren verzeichnet waren und somit einen Zugriff auf die interne Datenbank des BEV erforderten. Der Datenbankzugriff konnte nur über einen BEV-Mitarbeiter erfolgen, weshalb vereinzelt Datenlücken bei den zusätzlichen Angaben auftreten können. Die Tabellen 4.1 und 4.2 liefern einen Überblick über die verwendeten Daten. Es werden darin die verfügbaren Messdaten vorgestellt und sichtbar gemacht, auf welcher Strecke wie viele Übermessungen zu welchem Zeitpunkt getätigt wurden. Die Spalten M1 bis max. M5 beinhalten die Jahreszahlen der Messungen. Die rote Farbe weist darauf hin, dass es sich dabei um analoge Daten handelt, blau sind bereits digital vorhandene Daten. Klammern bedeuten, dass auf jener Strecke nur stückweise Daten vorhanden sind. In den letzten drei Spalten stehen die zur Strecke gehörigen Zugnummern. Wie man sieht, wurde oftmals bei Neuübermessungen eine neue Zugnummer vergeben. Bei jüngeren Messungen erfolgt ein anderes System: Den Nivellement-Linien werden sogenannte *Sublinien* zugeordnet. Diese werden mit Ziffern oder Buchstaben gekennzeichnet und der Linien-Nummer, getrennt durch einen Schrägstrich, angefügt (zB. 770/1). Diese Sublinien entsprechen einer neuen Übermessung oder auch nur Teilübermessung einer Linie und ermöglichen eine leichtere Zuordnung.

Diese wechselnde Nomenklatur tritt nicht nur bei den Zügen auf, sondern auch bei den Nummern der Höhenpunkte. Auch hier gibt es zumeist Vorgänger- und Nachfolgenummern. Um sich in dem System eine Übersicht zu verschaffen, wurde die Tabelle 4.3 auf Seite 55 mit allen Punktnummern der sogenannten *Verknüpfungspunkte* erstellt. Dies war essentiell zur späteren Schleifenbildung. Weiters war auch gleich auf einen Blick ersichtlich, ob zwischen den Zügen überhaupt eine Verbindung bestand. Die hervorgehobenen Punktnummern sind nach diesem Datenbestand die aktuellsten und sollen nun gegebenenfalls hier verwendet werden.

#### 4.2.1. Datengewinnung

Die für diese Untersuchung benötigten Messdaten, fanden sich größtenteils im Archiv des BEV. In den analogen Tabellen war aber bereits eine Zuordnung der Erst- und einer Zweitmessung einer Linie erfolgt. Die Werte der Höhenänderungen konnten somit direkt miteinander verglichen werden. Daher werden diese Tabellen auch als Gegenüberstellungen bezeichnet. In diesen Tabellen sind sowohl die alten Punktnummern, also die Nomenklatur bei der ersten Übermessung, als auch die neuen Punktnummern der Folgemessung der identen Höhenpunkte eingetragen sowie auch die alten und neuen Zugnummern mit der Jahreszahl der Messungen. Weiters stehen darin der Messweg, die Befestigungsart und Absoluthöhe der Punkte, Verlauf der Seitennivellements und die Bewegungen der Punkte zwischen der ersten Messung und ihrer Folgemessung. Mit  $\Delta$  wird die relative Bewegung

von	nach	M 1	M 2	M 3	Zugnr. 1	Zugnr. 2	Zugnr. 3
Horn	Krems	1951	1968		372	879	
Krems	St. Pölten	1951	1978	(2003)	371	880	880/1
Horn	Laa, (Staatz)	1940	1972	1992	373	749, 750	745/2, 746/1, 747/1
		1951	"	"	374, 376	745, 746, 747, 748	748/2, 749/1, 750/1
			1981	"		935	935/3
Langenzersdorf	Laa	1951	1985	(2004)	369/0, 375, 376	977/0, 977/1, 978/0	979/5
			"			979/0	
Floridsdorf	Langenzersdorf	1951	1981		369	956	
Floridsdorf	Volkstheater	1939/40	1994		R590	1035, 1025, 765	
		=	"		=	912	
		1951/52			367, 368		
Langenzersdorf	Perzendorf	1951			369, 370	956/9, 977/2, 1047	
		1953/59	1995		346	1036	
Hütteldorf	St. Pölten	1951	1976	(2000, 2003)	367	826, 827	827/2
Hütteldorf	Volkstheater	1939/40	1975	2001	R590	912/P, 912/Q	779/3, 912/9
		=	1973		=	779/0	
		1951			367/0		
Perzendorf	Krems	1951	1998		370/0	1047/1	

**Tabelle 4.1.:** Datenübersicht Nord. In rot: Analogdaten, in blau: bereits digital vorhandene Daten, die Jahreszahlen der nur zum Teil übermessenene Linien sind eingeklammert.

Linie		Messungen					Zugnummer				
von	nach	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5
Karlsplatz	Altmanndorf	1955	1975 1973	1994			446,447	912/P,Q,R,S 779, 780, 781, 835	912 780, 781, 835		
Karlsplatz	Maria Ellend	1951/52 1954	1973 1975	2002 2001			367/0, 368/0 433/0	765/0 912/Q	765/4 912/9		
Maria Ellend	Deutsch Altenburg	1954/55	1972				435	740			
Deutsch Altenburg	Neusiedl	1956	1972/73				467	766, 767			
Neusiedl	Siegendorf	1956 (x) 1956	1972/73				468 468	737/0, 738/0	1105/0 776/1 775/1		
Siegendorf	Wiener Neustadt	1956	1973	2009			449, 469, 470	773/0, 772/0 774/0	772/2, 773/3, 774/1		
Hütteldorf	Wiener Neustadt	1955 1955 1955 (x) 1961	1973 1973/74 1969 1972		1990	2009	444/0, 447/0 445/0 448/0 538/0	779/0, 783/0 781/0, 782/0 784/0, 785/0 786/0	785/1, 787/2 786/2	785/2	785/4
Hütteldorf	Altmanndorf	1955	1973	2000				779/0, 780/0	779/2, 780/2		
Purbach	Oggau	1972	1990				737/0, 738/0	737/1, 738/1			
Rust	Mörbisch a. See	1972	2009				739/0	739/2			
Gattendorf	Nickelsdorf	1961	1973	(1975,1992)			529	768	768/1, 768/2		
Neusiedl	Pamhagen	1958	1972/73				489	736, 770, 771, 735			
(Neusiedl)	(Pamhagen)	1972	1990	1990			735/0	735/1	735/2		
(Neusiedl)	(Pamhagen)	1972	1973				736/0	736/1			
Pamhagen	Mekszikopuszta	1961	1973				530	735			
Nähe Siegendorf	Klingenbach	1958-64	1973	2009			531	775	775/1		
Zemendorf	Oberpullendorf	1973 1959 1973	1980 " "				773/0 506 533	773/2 918, 919 920			
Oberpullendorf	Lutzmannsburg	1961	1995				532	1046			
Winzendorf	Weikersdorf	1961	1972				538	787/0			

(x) zw. M1 & M2, versch. Messwege

**Tabelle 4.2.:** Datenübersicht Süd: Analogdaten in rot, digitale Daten in blau, Teilübermessungen sind eingeklammert.

der Höhenpunkte zwischen den beiden Messepochen bezeichnet. Der Wert  $\Sigma\Delta$  beschreibt, wie viel sich der jeweilige Höhenpunkt in Bezug auf einen fix angenommenen Bezugspunkt bewegt hat. Bezugspunkte dieser Gegenüberstellungen sind meistens Punkte aus demselben Höhenzug, oftmals der Startpunkt der Messung. Manchmal wurde auch ein anderer Punkt dafür verwendet, der vermutlich für die damalige Beobachtung als am sinnvollsten bzw. am stabilsten erachtet wurde. Im Falle dieser Arbeit hier sollen alle Daten auf denselben Höhenpunkt in Horn bezogen werden. Für die meisten „neuere“ Messungen, ab den späten 1990er Jahren, standen bereits digitale Daten zur Verfügung. Diese wurden von Mitarbeitern des BEV als *Excel*-Tabellen aus der Punktdatenbank des BEV exportiert und konnten direkt weiterverwendet werden. Auch sind Angaben über Genauigkeiten, Messgeräte, etc. am BEV dazu vorhanden. Vor allem in der Nähe von Wien bestanden schon viele Gegenüberstellungen. Es gab auch bereits Grafiken zur Veranschaulichung, die mit der Software *Grapher* der Firma *Golden Software* hergestellt wurden. Je größer die Entfernung von Wien desto schwieriger gestaltete sich die Datengewinnung. Für diese Bereiche gab es die Gegenüberstellungen von zwei Messepochen nur in analoger Form im Archiv des BEV. Diese Daten mussten daher zuerst in ein vorformatiertes *Excel*-Tabellenblatt übertragen werden. In der Abbildung 4.3 ist ein Ausschnitt aus einer analogen Gegenüberstellung sowie auch aus einem *Excel*-Tabellenblatt abgebildet. Eine der ersten Arbeitsschritte war deshalb die manuelle

Ortsbezeichnung	SN	Punktnummer		Objekt	Summe Mw. Messweg [m]	$\Delta H$ [m]		$\Delta$	$\Sigma\Delta$	Höhe [m]
		alt	neu			alt(1956)	neu(1971)	neu-alt [mm]	neu-alt [mm]	
		23104	35864	Ha	0			0,0	0,0	163,870
					2900	1,2959	1,2918	-4,1		
		23110	35871	Ha	2900				-4,1	165,162
					2200	3,6719	3,6684	-3,5		

**Abbildung 4.3.:** Ablauf der Datenerfassung: im oberen Bildteil ein Ausschnitt einer analogen Gegenüberstellung, unten das Endresultat im vorgegebenen *Excel*-Tabellenformat. Neben Ortsbezeichnung, Zug-, Punktnummern, Stabilisierungsart sind in den Spalten  $\Delta H$  die relativen Höhenunterschiede zwischen den Punkten eingetragen (alt für die erste Messung und neu für die Folgemessung).  $\Delta$  ist die Differenz der linksstehenden Höhenunterschiede und in der Spalte  $\Sigma\Delta$  werden alle  $\Delta$  vom ersten Punkt weg aufsummiert.

Erfassung der noch nicht digitalisierten Gegenüberstellungen. Dazu wurde der betreffende Teil des Linienverzeichnisses (LVZ) aus der BEV-Datenbank in eine *Excel*-Tabelle exportiert. In dem Auszug des LVZ sind die notwendigen Informationen zu den Messzügen (Linien) gespeichert. Er gibt Auskunft über Messjahr, Ort, nachfolgende Zugnummern und ob darüber bereits digitale Daten zu den gemessenen Zügen bestehen und wenn ja, in welchen Dateien sich diese befinden. Falls keine Computerdaten dazu angezeigt werden, dann entnimmt man dem LVZ-Auszug, in welchem Ordner des Archivs sich die analogen Gegenüberstellungen zu diesen Beobachtungen befinden. Aufgrund

des LVZ-Auszuges wurden die für das Untersuchungsgebiet relevanten Linien ausgewählt und es gab Auskunft darüber, ob die Daten aus dem Archiv zu erheben waren oder bereits digital vorhanden sind.

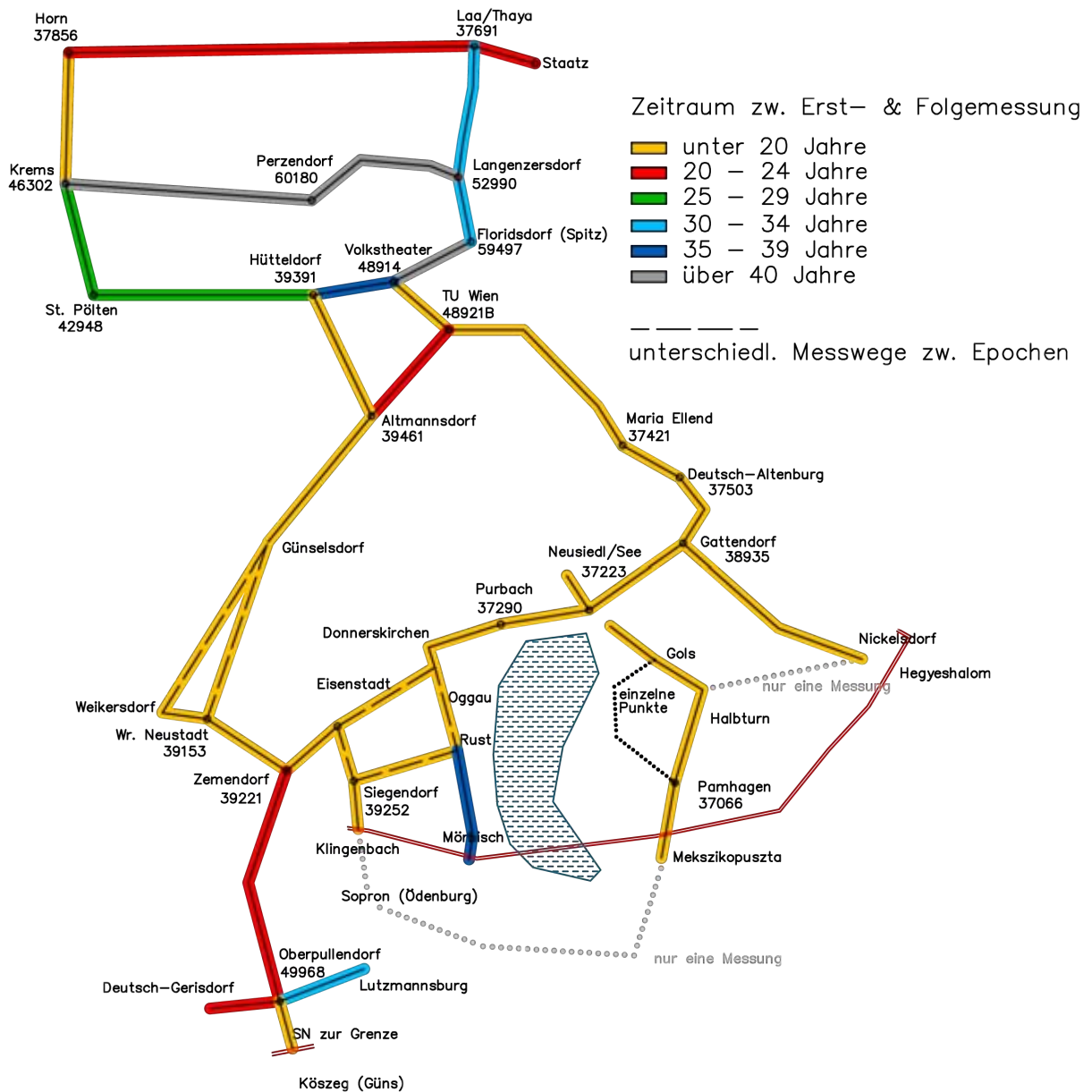
Die Aufgabe der Datengewinnung stellte sich teilweise als schwieriger heraus als zu Beginn angenommen, da manchmal nur unzureichende Angaben über die damalige Vermessung vermerkt worden waren. Beispielsweise war nicht immer die Befestigungsart der Messpunkte festgehalten worden oder sie war nicht eindeutig erkennbar. Oftmals fehlte auch die Angabe des Messweges zwischen den befestigten Höhenpunkten, die für spätere Visualisierungen notwendig war. Die fehlenden Daten konnten aber großteils von BEV-Mitarbeitern in der Datenbank nachgeschlagen werden. Es kam auch immer wieder zu Lesbarkeitsproblemen, aber im Großen und Ganzen konnte die sehr zeitaufwändige Aufgabe der Datenübertragung nach einer gewissen Einarbeitungszeit gut bewältigt werden und war nach wenigen Wochen abgeschlossen.

#### **4.2.2. Datenbearbeitung**

Nach bestmöglicher Datenvervollständigung der Gegenüberstellungen und Korrekturlesung durch BEV-Mitarbeiter wurde die Berechnung der zuvor vorgestellten Schleifen durchgeführt. Um den Überblick über den vorhandenen Datensatz zu wahren, entstanden schon während der Erfassung der Daten verschiedene Tabellen und die Linienübersicht Abbildung 4.4. Dies war wichtig, um sicherzustellen, dass die einzelnen Züge von den abbeschriebenen Gegenüberstellungen durch idente Punkte verbunden waren. Durch die Vergabe von verschiedenen Punktnummern für ein und denselben Höhenpunkt sowie auch die Umbenennung der Messzüge bei jeder Übermessung, war es wichtig, diese in einer Skizze einzutragen. In der Abbildung 4.4 sind die Verknüpfungspunkte der Linien eingetragen, sowie auch die verstrichene Zeit zwischen erster und erneuter Messung. Die Züge wurden in dieser Skizze mit Farbe unterlegt, die darauf hinweist, wie viele Jahre zwischen Null- und Folgemessung vergangen sind (siehe Farblegende). Aus dieser unterschiedlichen Einfärbung ergibt sich auf einen Blick, ob die einzelnen Messlinien ungefähr gleich lange Zeitintervalle zwischen den Messungen aufweisen oder nicht. Dies ist für den weiteren Bearbeitungsablauf sehr wichtig. Wenn ein Punkt sich bewegt hat, ist es entscheidend zu wissen, ob diese Bewegung über einen Zeitraum von 10 oder 50 Jahren passiert ist. Wann genau die Messungen stattgefunden haben, ist nur den Gegenüberstellungen zu entnehmen, ist aber hier zweitrangig, da für die Interpretation in erster Linie die Intervalllänge zählt und erst nachrangig die Jahreszahl.

Es lässt sich nun aus der Grafik sofort herauslesen, dass die Nordschleife auf großteils ältere Daten zurückgreift als die Südschleife, deren Null- und Folgemessungen nie über 20 Jahre auseinander liegen. Im Norden variieren die Epochenlängen (Zeitfenster zwischen Erst- und Wiederholungsmessung) mehr als im Süden. Daher werden zusätzlich zu den Berechnungen über die Gesamtzeit aller Züge noch Vertikalbewegungen in Millimetern pro Jahr berechnet. Dabei wird von einem linearen Bewegungsablauf zwischen der Null- und Folgemessung ausgegangen.

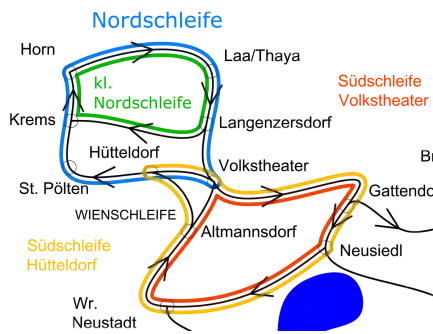
Weiters sind in der Abbildung 4.4 nicht miteinbezogene Züge, die bisher nur einmal übermessen wurden und daher hier nicht verwendet werden konnten, punktiert eingezeichnet.



**Abbildung 4.4.:** Übersicht über die einzelnen Züge mit Angabe ihrer Epochenlänge, Lage der Verknüpfungspunkte, Eintragung der getrennten Messwege bei der Südschleife

### 4.3. Berechnungen zu den Messdaten & erste Visualisierungen

Da die Gegenüberstellungen bereits in *Excel*-Format vorhanden waren, bot es sich an, hier auch die Berechnungsschritte vorzunehmen. Auf den Linien der jeweiligen Schleifen liegen verschieden lange Zeitfenster zwischen der Erst- und Folgemessung vor. Daher kann der Bezug auf einen Referenzpunkt nur durch eine Normierung erfolgen. Normalerweise wäre das durch die Ausführung eines Ausgleichs erreichbar, beispielsweise nach den Formeln von Vyskočil (1996) (siehe Kapitel 3.7). Aus Zeitgründen war es im Zuge dieser Arbeit nicht möglich einen Ausgleich durchzuführen. Als Schwerpunkt wurde gleich zu Beginn der Diplomarbeit die Erfassung, Verwaltung und geologische Interpretation festgesetzt.



**Abbildung 4.5.:** Darstellung der Berechnungswege der Schleifen. Nordschleife in blau, kl. Nordschleife in grün. Südschleifen: über TU Wien rot, über Hütteldorf gelb.

Es erfolgt daher nur die Umrechnung auf Vertikalgeschwindigkeiten  $v_i$  durch Division der Höhenänderungen der Punkte pro Linie durch die Anzahl der verstrichenen Jahre zwischen Null- und Folgemessung. Eine Übersicht der so berechneten Geschwindigkeiten der Verknüpfungspunkte ist in der Tabelle 4.3 zusammengestellt. Damit werden die aufgetretenen Höhenänderungen als linear angenommen, was wahrscheinlich nicht der Fall ist, aber ein anderer Ansatz ist durch die epochalen Messungen nicht möglich. Für eine kurze Genauigkeitsanalyse werden die Vertikalgeschwindigkeiten der einzelnen Linien nun zu Schleifen zusammengefasst. Der Abbildung 4.5 können die durchgeführten Berechnungsverläufe entnommen werden. Für den nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes werden Vertikalgeschwindigkeiten entlang der Nord- und der kleinen Nordschleife (siehe Kapitel 4.1) durchgeführt, im Bereich südlich von Wien lassen sich ebenfalls zwei Berechnungen durchführen.

	Ort	Pktnr. 1	Pktnr. 2	Pktnr. 3	$v_i$ [mm/Jahr]
NORD	Horn		20883	<b>37856</b>	0,0
	Laa/Thaya	20083	37692	<b>55222</b>	-0,3
	Langenzersdorf		19770	<b>52990</b>	-1,1
	Perzendorf		19813	<b>60180</b>	-1,2
	Wien Floridsdorf	19759	49146	<b>59497</b>	-1,1
	Wien Volkstheater		19737	<b>48914</b>	-1,2
	Hütteldorf		19720	<b>39391</b>	-0,9
	St. Pölten		19610	<b>42948</b>	-0,7
	Krens		19879	<b>46302</b>	-0,4
	SÜD	Wien Karlsplatz TU	23007	38760	<b>48921</b>
Maria Ellend			23130	<b>37421</b>	-1,6
Dt. Altenburg (Petronell)			23152	<b>37503</b>	-1,0
Gattendorf			24957	<b>38935</b>	-1,8
Neusiedl am See			24993	<b>37223</b>	-1,4
Purbach am See			25020	<b>37290</b>	-1,3
Abzw. Oggau			25047	<b>37313</b>	-0,9
Siegendorf			25083	<b>39252</b>	-1,2
Zemendorf			25106	<b>39221</b>	-1,6
Wr. Neustadt			23843	<b>39153</b>	-1,9
Altmannsdorf			23742	<b>39461</b>	-2,6
Oberpullendorf			27238	<b>49968</b>	-2,4
Pamhagen			26292	<b>37066</b>	-

**Tabelle 4.3.:** Übersicht über die Verknüpfungspunkte mit ihren Vorgänger- und Nachfolgernummern (in der Spalte zwei von rechts stehen die in weiterer Folge verwendeten Nummern), benannt nach der nächstgelegenen Ortschaft. Die Verknüpfungspunkte sind in der Abb. 4.2 auf Seite 48 eingetragen. Ganz rechts sind die Vertikalgeschwindigkeiten  $v_i$  bezogen auf Horn in mm/Jahr angegeben.

### 4.3.1. Genauigkeitsberechnungen zu den Nordschleifen

Die Berechnung der Nordschleife erfolgte im Uhrzeigersinn von Horn über Laa a. d. Thaya, Langenzersdorf, Floridsdorf bis zum Volkstheater in Wien, dann weiter nach Hütteldorf und über St. Pölten und Krems zurück nach Horn, siehe Abbildung 4.5. In der Tabelle 4.4 auf der Seite 58 sind die Berechnungsschritte zu dieser Schleife dargestellt. Spalte eins bezeichnet den Abschnitt der Schleife (die jew. Linie), die Spalten zwei und drei beinhalten die Jahreszahlen der stattgefundenen Übermessungen der Linien. In Spalte vier ist die Länge des Zeitfensters  $\Delta T$  zwischen erster und zweiter Messung angegeben. In der fünften Spalte stehen die jeweiligen Höhenänderungen der Linien  $\Delta\Delta h_i$  in Millimeter, die sich zusammensetzen aus den Höhenunterschieden  $\Delta h_i$  gemessen zu den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ :

$$\Delta\Delta h_i = \Delta h_i(t_2) - \Delta h_i(t_1). \quad (4.1)$$

Das entspricht den Werten  $\sum \Delta$  aus den Gegenüberstellungen. Gleich daneben stehen die Vertikalgeschwindigkeiten  $v_i$  in mm/Jahr:

$$v_i = \frac{\Delta\Delta h_i}{t_2 - t_1} \quad (4.2)$$

wobei  $t_2 - t_1$  ab nun als  $\Delta T$  bezeichnet wird. Durch Aufsummieren aller angeführten Linien ergibt sich der Schleifenabschlussfehler der rohen Nivellementmessungen von  $-0,3$  mm/Jahr.

Zur Klärung ob dies ein gutes Ergebnis ist oder nicht, sollen nun die Genauigkeiten der einzelnen Linien berechnet werden. Für die verschieden alten Nivellementmessungen hatten BEV-Mitarbeiter Untersuchungen zu deren Genauigkeiten durchgeführt. Nach Angaben des BEV ist für Messungen aus den 50er und 60er Jahren eine Standardabweichung von  $\pm 1,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  anzunehmen und bei Messungen ab den 70er Jahren etwa  $\pm 0,8 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ <sup>2</sup>.

Nach der einfachen Form des *Varianz-Fortpflanzungsgesetzes* gilt in diesem Fall:

$$\sigma\Delta\Delta h_i = \sqrt{\sigma_{DNIV_{t_1}}^2 \cdot L + \sigma_{DNIV_{t_2}}^2 \cdot L} \quad (4.3)$$

Das erklärt die Angabe der Länge L der einzelnen Schleifenabschnitte in Tabelle 4.4 (siebte Spalte). In den nachfolgenden Spalten sind die vom BEV angegebenen Messgenauigkeiten eingetragen. Nachdem alle ersten Messungen (Zeitpunkte  $t_1$ ) aus den 50er Jahren stammen, wird dafür die Genauigkeit von  $\pm 1,6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$  verwendet. Für die zweiten Messungen (Zeitpunkte  $t_2$ ) gilt die Genauigkeit von  $\pm 0,8 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ , die für Messungen ab den 70er Jahren angegeben wurde. Damit lassen sich nun nach Formel 4.3 die  $\sigma\Delta\Delta h_i$  der einzelnen Linien berechnen (siehe Spalte zehn der Tabelle 4.4).

Um eine Genauigkeitsabschätzung für den aufsummierten Wert aller  $v_i$  der Schleife zu erhalten, werden noch die Standardabweichungen der einzelnen Linien für ihre Bewegungen pro Jahr berechnet:

$$\sigma v_i = \frac{\sigma\Delta\Delta h_i}{\sqrt{\Delta T}}. \quad (4.4)$$

Die Gesamtstandardabweichung aller Linien über die Schleife ergibt sich durch

$$\sigma_{VGES} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2}. \quad (4.5)$$

<sup>2</sup>Private Kommunikation mit dem BEV.



Die Varianzen unter der Wurzel wurden zuvor mit Formel 4.4 berechnet.

In weiterer Folge legt man für einen Signifikanztest fest, dass der Betrag der aufsummierten  $v_i$  größer ist als die dreifache Standardabweichung von  $\sigma_{VGES}$ :

$$\left| \sum v_i \right| \geq 3 \cdot \sigma_{VGES}. \quad (4.6)$$

Für die Summe der  $v_i$  erhält man bei der Nordschleife  $-0,3$  mm/Jahr und als  $\sigma_{VGES}$  den Wert  $6,3$  mm/Jahr. Diese Hypothese ist damit nicht erfüllt, die Messung ist nach diesen Berechnungen als sehr gut einzustufen. Ähnliches gilt auch für die Werte der kleinen Nordschleife. Nach Höggerl (2001) können Vertikalgeschwindigkeiten erst als signifikant angesehen werden, wenn diese den Wert des zweifachen mittleren Fehlers annehmen.

### 4.3.2. Berechnungen zu der Südschleife

Wie sich aus der Datenübersichts-Abbildung 4.4 auf Seite 54 entnehmen lässt, ist die Südschleife durch zwei Punkte mit der Nordschleife verbunden, einmal im Verknüpfungspunkt Kirche Hütteldorf (39391) und in Wien Nähe Volkstheater (48914). Für die Berechnung der Vertikalgeschwindigkeiten auf Hornbezug der Punkte der Südschleife wird folgendermaßen vorgegangen: die Bewegungsraten (mm/Jahr) von Horn bis zum Volkstheater (über Laa) werden aus der Nordschleife übernommen. Danach verläuft die Berechnung im Uhrzeigersinn weiter über die TU Wien, Maria Ellend, Deutsch Altenburg, Neusiedl/See, Siegendorf bis nach Wiener Neustadt und von dort wieder Richtung Norden. Ab Altmannsdorf teilen sich die Wege: einer davon führt direkt zurück nach Hütteldorf, der zweite Weg verläuft über über die TU Wien zurück zum Volkstheater.

Ähnlich wie für die Daten nördlich von Wien lassen sich auch hier Abschätzungen über die Genauigkeiten der Messdaten berechnen. Durch die getrennten Messwege ab Altmannsdorf können hier zwei Schleifen anhand der Vertikalgeschwindigkeiten der Linien gebildet werden. Die erste Berechnungsschleife verläuft über Hütteldorf im Uhrzeigersinn und ist in der Abbildung 4.5 in gelb eingetragen. Die zweite Schleife verläuft über die TU Wien (Markierung in Abb. 4.5 in rot). Die Vertikalbewegungen  $v_i$  der einzelnen Linien finden sich in der Tabelle 4.5 in der sechsten Spalte. Aufgrund der Länge der Schleifenabschnitte  $L$  und der Zeitfenster  $\Delta T$  lassen sich wieder die  $\sigma v_i$  sowie ihre Summe  $\sigma_{VGES}$  berechnen.

Für die Berechnung über Hütteldorf erhält man einen Abschlussfehler der Geschwindigkeiten von  $-0,7$  mm/Jahr und eine Standardabweichungssumme von  $6,8$  mm/Jahr. Bei der zweiten Berechnung über die TU Wien beläuft sich die Summe aller  $v_i$  auf  $-0,4$  mm/Jahr und ihre Summe der Standardabweichungen beträgt  $6,6$  mm/Jahr. Ähnlich wie bei den Ergebnissen der Nordschleifen sind Messungen im Süden frei von groben Messfehlern.

Nach der Erfassung und Berechnung war die Erstellung verschiedenster Grafiken ein entscheidender Punkt in dieser Diplomarbeit. Die grafischen Visualisierungen dienen der anschließenden geologischen Interpretation der Daten als Grundlage. Für den Großteil der jüngeren Messungen (ab den 1990er Jahren) stellte das BEV digitale tabellarische Daten (Gegenüberstellungen) zur Verfügung, sowie Auszüge seiner Visualisierungen (wie zum Beispiel Abbildung 4.14 auf Seite 69), die mit der

### NORDSCHLEIFE:

Linie	Zeitraum		Jahre	Höhenänderungen/Linie		Länge [km]	$\sigma_{DNNV}$ [mm/ $\sqrt{km}$ ]		$\sigma\Delta\Delta h_i$ [mm]	$\sigma v_i$ [mm/Jahr]
	1951	1972		$\Delta\Delta h_i$ [mm]	$v_i$ [mm/Jahr]		Messung 1	Messung 2		
Horn - Laa	1951	1972	21	-6,2	-0,3	67	1,6	0,8	14,6	3,2
Laa - Langenzersdorf	1951	1985	34	-26,3	-0,8	58	1,6	0,8	13,6	2,3
Langenzersdorf - Floridsdorf	1951	1981	30	-1,9	-0,1	7	1,6	0,8	4,7	0,9
Floridsdorf - Volkstheater	1952	1994	42	-3,8	-0,1	9	1,6	0,8	5,4	0,8
Volkstheater - Hütteldorf	1940	1975	35	12,0	0,3	9	1,6	0,8	5,4	0,9
Hütteldorf - St. Pölten	1951	1976	25	5,0	0,2	60	1,6	0,8	13,9	2,8
St. Pölten - Krems	1951	1978	27	8,1	0,3	34	1,6	0,8	10,4	2,0
Krems - Horn	1951	1968	17	0,9	0,1	53	1,6	0,8	13,0	3,2
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,3		297			Summe der $\sigma v_i$ : 6,3	

### kleine Nordschleife

Linie	Zeitraum		Jahre	Höhenänderungen/Linie		Länge [km]	$\sigma_{DNNV}$ [mm/ $\sqrt{km}$ ]		$\sigma\Delta\Delta h_i$ [mm]	$\sigma v_i$ [mm/Jahr]
	1951	1972		$\Delta\Delta h_i$ [mm]	$v_i$ [mm/Jahr]		Messung 1	Messung 2		
Horn - Laa	1951	1972	21	-6,2	-0,3	67	1,6	0,8	14,6	3,2
Laa - Langenzersdorf	1951	1985	34	-26,3	-0,8	58	1,6	0,8	13,6	2,3
Langenzersdorf - Perzendorf	1954	1995	41	-3,5	-0,1	29	1,6	0,8	9,6	1,5
Perzendorf-Krems	1951	1998	47	22,6	0,5	56	1,6	0,8	13,4	2,0
Krems - Horn	1951	1968	17	-1,7	-0,1	53	1,6	0,8	13,0	3,2
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,8		263			Summe der $\sigma v_i$ : 5,6	

**Tabelle 4.4.:** Die Bewegungen und Geschwindigkeiten der einzelnen Linien der Nordschleife und der kleinen Nordschleife. Der Abschlussfehler der Schleifen ist blau markiert.

**SÜDSCHLEIFE (über Hütteldorf):**

Linie	Zeitraum		Jahre	Höhenänderungen/Linie		Länge [km]	$\sigma_{DNIV}$ [mm/ $\sqrt{km}$ ]		$\sigma\Delta\Delta h_i$ [mm]	$\sigma v_i$ [mm/Jahr]
	1940	1975		$\Delta\Delta h_i$ [mm]	$v_i$ [mm/Jahr]		Messung 1	Messung 2		
Hütteldorf - Volkstheater	1940	1975	35	-12	-0,3	10	1,6	0,8	5,7	1,0
Volkstheater - TU Wien	1952	1974	22	-8,4	-0,4	2	1,6	0,8	2,5	0,5
TU Wien - Maria Ellend	1952	1974	22	-0,3	0,0	30	1,6	0,8	9,8	2,1
Maria Ellend - Deutsch Altenburg	1955	1972	17	10,8	0,6	24	1,6	0,8	8,8	2,1
Deutsch Altenburg - Gattendorf	1956	1973	17	-14	-0,8	28	1,6	0,8	9,5	2,3
Gattendorf - Neusiedl	1956	1973	17	6,7	0,4	17	1,6	0,8	7,4	1,8
Neusiedl - Siegendorf	1956	1973	17	3,3	0,2	39	1,6	0,8	11,2	2,7
Siegendorf - Wr. Neustadt	1956	1973	17	-11,3	-0,7	32	1,6	0,8	10,1	2,5
Wr. Neustadt - Hütteldorf	1955	1972	17	5,9	0,3	73	1,6	0,8	15,3	3,7
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,7		255			Summe der $\sigma v_i$ : 6,8	

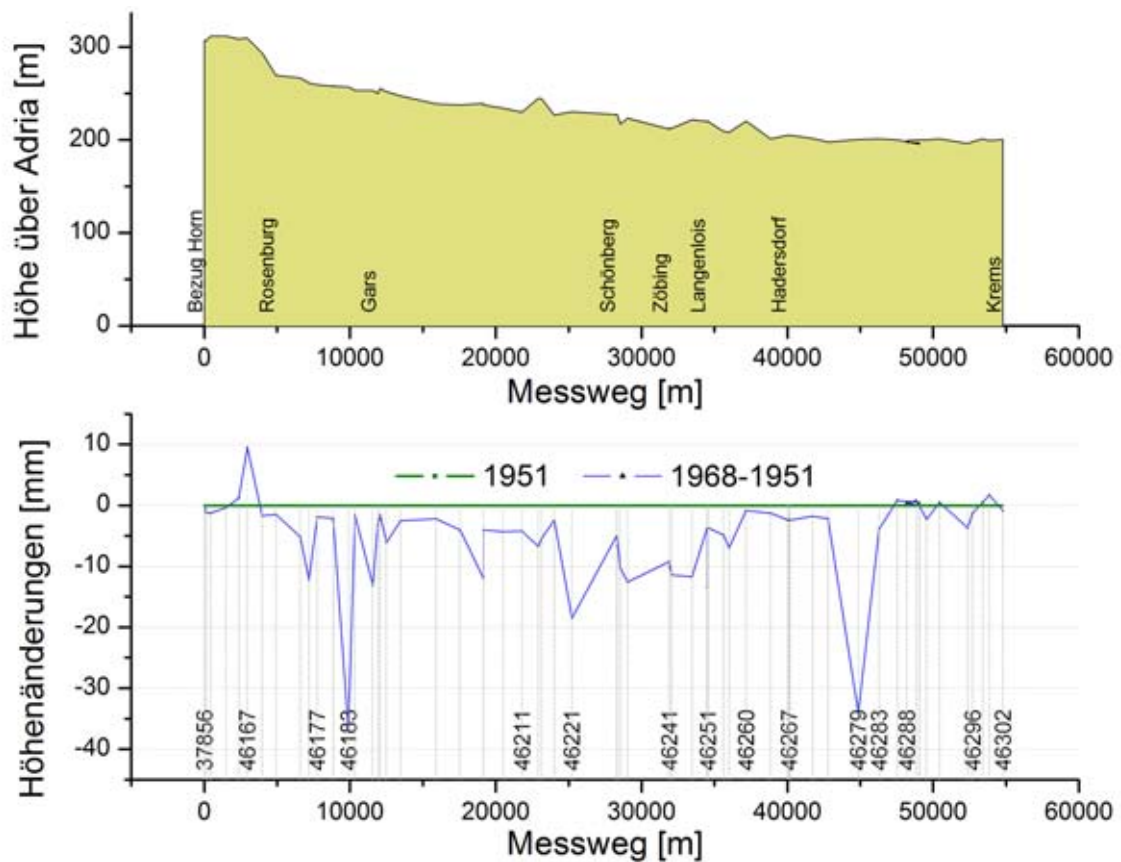
**SÜDSCHLEIFE (über TU Wien):**

Linie	Zeitraum		Jahre	Höhenänderungen/Linie		Länge [km]	$\sigma_{DNIV}$ [mm/ $\sqrt{km}$ ]		$\sigma\Delta\Delta h_i$ [mm]	$\sigma v_i$ [mm/Jahr]
	1952	1974		$\Delta\Delta h_i$ [mm]	$v_i$ [mm/Jahr]		Messung 1	Messung 2		
TU Wien - Maria Ellend	1952	1974	22	-0,3	0,0	30	1,6	0,8	9,8	2,1
Maria Ellend - Deutsch Altenburg	1955	1972	17	10,8	0,6	24	1,6	0,8	8,8	2,1
Deutsch Altenburg - Gattendorf	1956	1973	17	-14	-0,8	28	1,6	0,8	9,5	2,3
Gattendorf - Neusiedl	1956	1973	17	6,7	0,4	17	1,6	0,8	7,4	1,8
Neusiedl - Siegendorf	1956	1973	17	3,3	0,2	39	1,6	0,8	11,2	2,7
Siegendorf - Wr. Neustadt	1956	1973	17	-11,3	-0,7	32	1,6	0,8	10,1	2,5
Wr. Neustadt - Altmannsdorf	1955	1972	17	-12,4	-0,7	61	1,6	0,8	14,0	3,4
Altmannsdorf - TU Wien	1955	1975	20	12,7	0,6	10	1,6	0,8	5,7	1,3
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,4		241			Summe der $\sigma v_i$ : 6,6	

**Tabelle 4.5.:** Genauigkeitsberechnungen der Südschleife über Hütteldorf im oberen Teil und über TU Wien im unteren Teil. Die Abschlussfehler der  $v_i$  sowie ihre berechneten Standardabweichungen sind blau hervorgehoben.

Software *Grapher* produziert wurden. Diese Grafiken enthalten jeweils einen Geländeschnitt der Nivellementlinien mit Angabe der Gebrauchshöhen (entspr. sphäroidischen Höhen) und weiter die Höhenveränderungen der Punkte bezogen auf eine Nullmessung. Dieses Prinzip wurde auch für die im Zug dieser Arbeit digitalisierten Daten übernommen. Mit Hilfe des Programmes *Origin 7.5* der Firma *OriginLab* konnten von den einzelnen Nivellementlinien optisch ähnliche Abbildungen erzeugt werden, die gleich in diesem Kapitel bei der jeweiligen Schleifenberechnung eingefügt wurden oder im Kapitel 5 bei der Interpretation zu finden sind. Im oberen Teil dieser Grafiken werden immer die Geländehöhen dargestellt, darunter die Bewegungsraten der Höhenfestpunkte. Die Nullmessung wird dabei immer als grüne Linie dargestellt, eine blaue Linie zeigt die Bewegungen der Festpunkte zwischen Null- und Folgemessung an. Für den Fall einer weiteren Folgemessung befindet sich in den jeweiligen Grafiken noch eine rote Linie, die die Änderungen zwischen Null- und Drittmessung anzeigt.

### 4.3.3. Die Linien der Nordenschleife im Detail

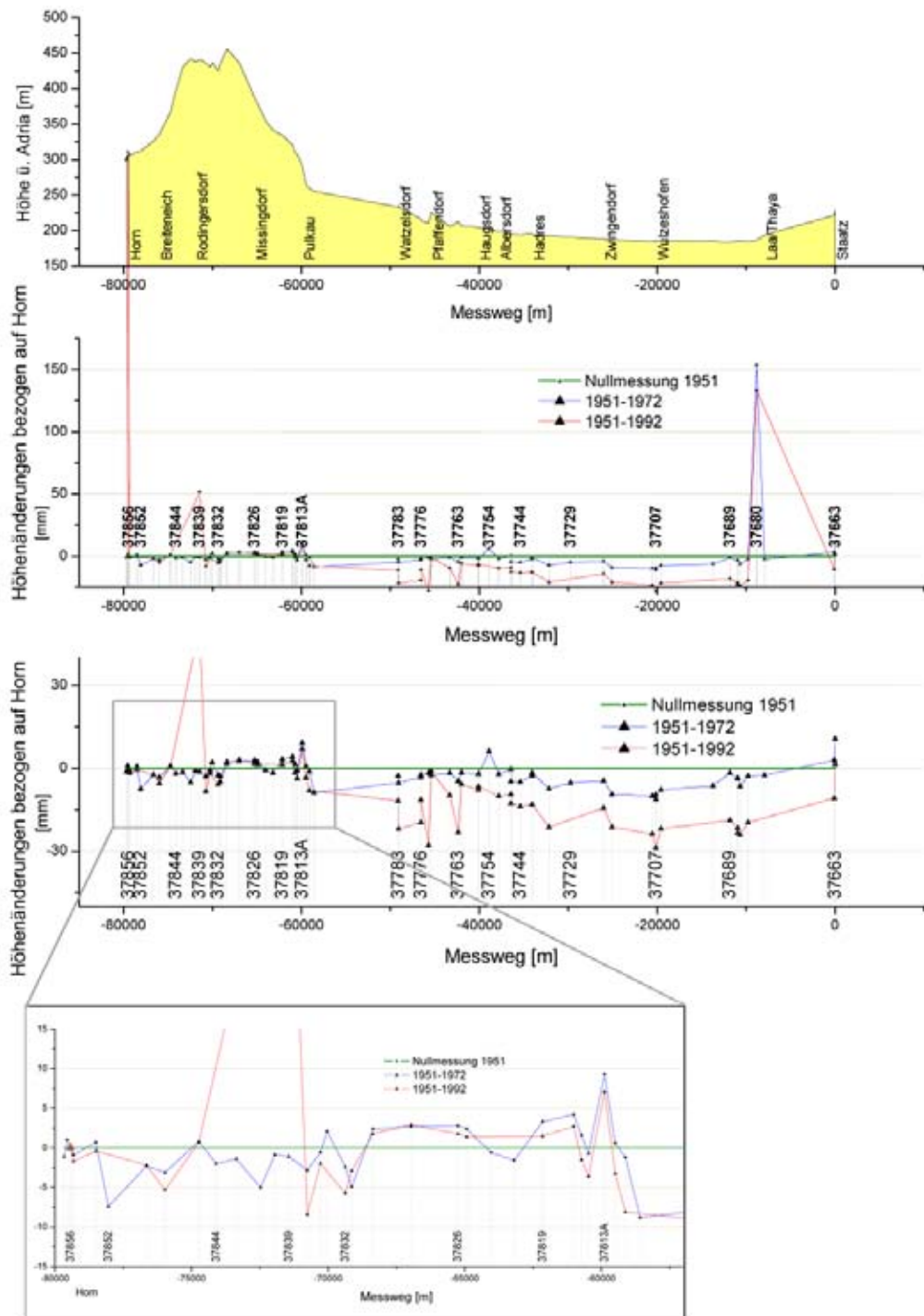


**Abbildung 4.6.:** Zug Horn - Krems. Oben: Geländeerelief auf Basis der Höhen über Adria der Höhenfestpunkte. Unten: Die blaue Linie zeigt die Bewegungen der Höhenfestpunkte über 17 Jahre in Bezug auf Horn (37856) zwischen der Nullmessung 1951 (in grün) und der Folgemessung 1968.

In der Abbildung 4.6 ist die Linie **Horn - Krems** mit Geländehöhen der Höhenfestpunkte und einer Visualisierung der Gegenüberstellung der Messungen ( $\sum \Delta$ ) zu sehen. Im oberen Teil ist ein Geländeschnitt dargestellt, der sich durch die einzelnen Adriahöhen (Gebrauchshöhen) der Höhenfestpunkte ergibt. Darunter sind Höhenänderungen der Festpunkte zwischen Null- und Folgemessung in Millimeter aufgetragen. Die Linie in grün stellt die in diesem Fall aus dem Jahr 1951 stammende Referenzmessung dar. Die blaue Linie zeigt die Bewegungen an, die sich zwischen der Messung 1951 und der Folgemessung 1968 ereignet haben, hier bezogen auf den Bezugspunkt Horn (37856). Bei Linien, die nicht durch den Bezugspunkt führen, wird ein Höhenfestpunkt innerhalb der Linie als lokale Höhenreferenz verwendet. Auf diese lokale Referenz beziehen sich dann die Änderungen entlang der Linie. Durch die zusätzliche Definition lokaler Referenzpunkte muss natürlich immer konkret darauf hingewiesen werden worauf sich die Höhenbewegungen beziehen.

In der Abbildung 4.6 erkennt man, dass sich während der 17 vergangenen Jahre zwischen Erst- und Zweitmessung die Höhenpunkte fast ausschließlich gesenkt haben. Die Bewegungen, bezogen auf den Punkt Horn (37856), reichen von -37,2 bis +9,5 mm. Bei den extremen Senkungsraten der Punkte 46183 und 46279 können, aufgrund der Größenordnung der Bewegungen, tektonische Ursachen ausgeschlossen werden. Auch folgen ihre Nachbarpunkte nicht diese Extrembewegungen. Die Höhenänderungen der anderen Punkte könnten auf tektonische Ursachen zurückzuführen sein.

Von Horn Richtung Osten verläuft die Linie **Horn - Staatz**, die auch den Verbindungspunkt Laa/Thaya beinhaltet. Ihre Geländehöhen sind in Abbildung 4.7 oben dargestellt. Von den Hö-

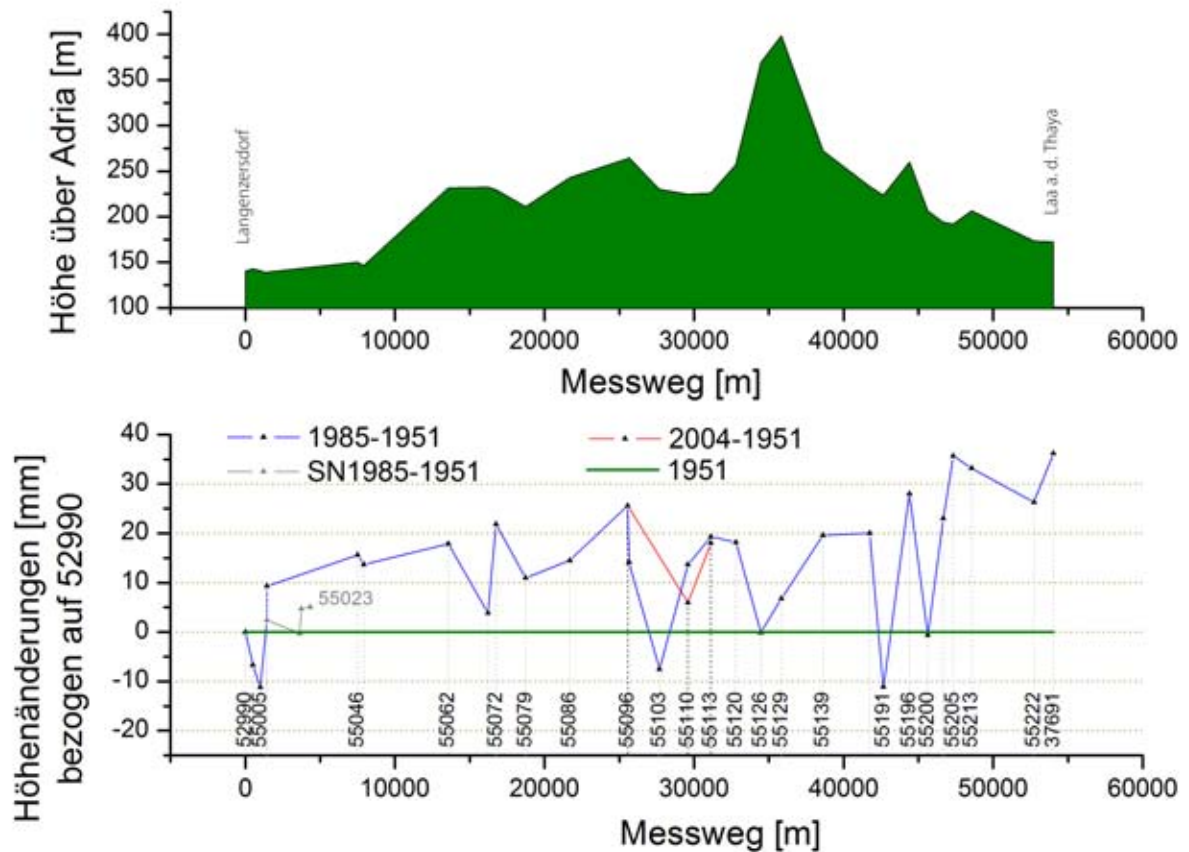


**Abbildung 4.7.:** Zug Horn-Staatz. Ganz oben: Geländeschnitt der Linie, darunter die Darstellung der Höhenänderungen aller Festpunkte in Bezug auf Horn (37856), danach dasselbe nach Entfernung der „Ausreißer“, unten ein Detail der Punkte von Horn bis Pulkau zur Verdeutlichung der hier sehr geringen Bewegungen.

henänderungen der Festpunkte gibt es mehrere Darstellungen. In grün ist wieder die Nullmessung aus 1951 dargestellt, in blau die Änderungen zwischen 1951 und 1972 und die rote Linie zeigt

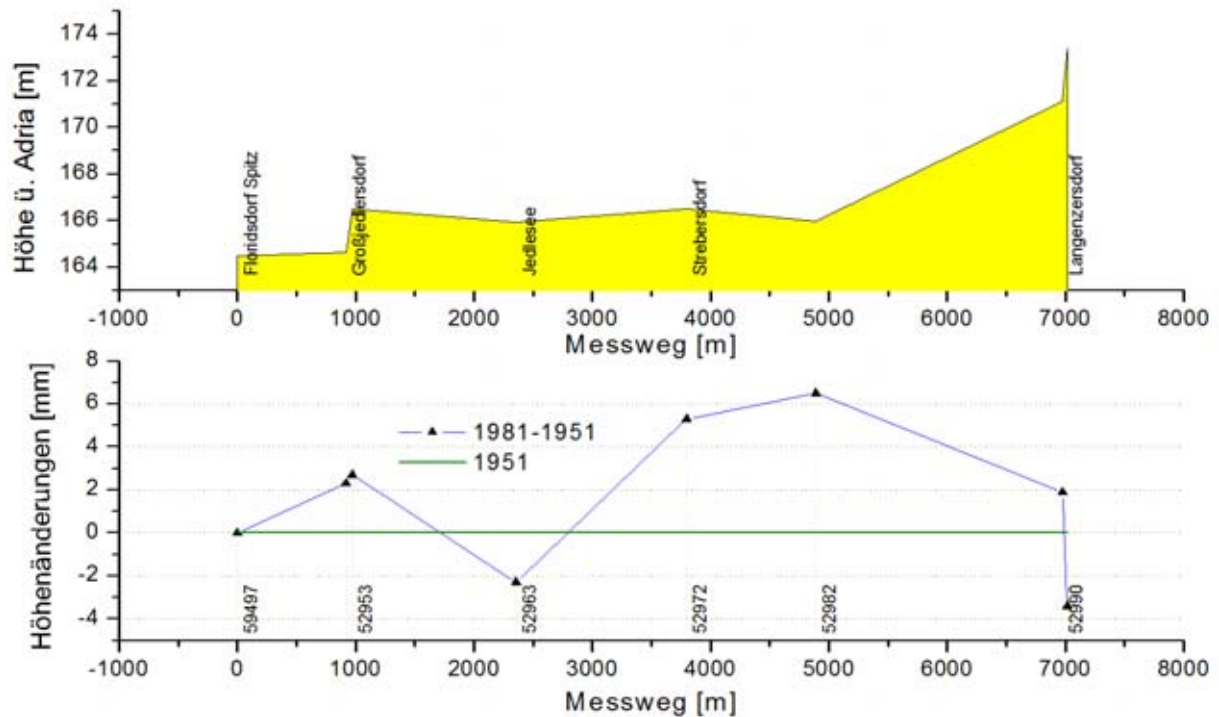
die Änderungen zwischen der Nullmessung und der Drittmessung aus 1992. In der ersten Grafik der Höhenänderungen sind die gesamten Messdaten aus der Gegenüberstellung eingezeichnet. Bei den Bewegungen, die deutlich über 100 mm liegen handelt es sich zweifelsfrei um Ausreißer (möglicherweise Punktverrutschungen). Da Bewegungen von solcher Größenordnung sicher nicht durch Krustenbewegungen verursacht wurden, werden sie aus dem Datensatz entfernt und dies führt zur unteren Bewegungs-Grafik in Abb. 4.7. Da die Messungen grundsätzlich von Staats nach Horn durchgeführt wurden, mussten auf der x-Achse negative Messwege angenommen werden um eine geographisch korrekte Ansicht zu erhalten. In der untersten Zeile befindet sich noch ein Ausschnitt der Linie von Horn bis Pulkau, welcher aus Lesbarkeitsgründen extra dargestellt wurde. Die Höhenänderungen, bezogen auf Horn, sind in diesem Bereich relativ gering und es lässt sich kein Trend feststellen. Für den Bereich von Pulkau bis Laa/Thaya können fortschreitende Setzungen der Punkte festgestellt werden. Bezogen auf Horn setzt sich der Verknüpfungspunkt Laa/Thaya um -6,2 mm. Nach 41 Jahren reichen die Bewegungen von -29 bis +51 mm. Der positive Maximalwert (37839) scheint aber kein realistischer Wert zu sein.

An die Linie Horn-Staatz schließt die Linie **Laa/Thaya - Langenzersdorf** an. Im oberen Teil der Abbildung 4.8 sind die Geländehöhen dargestellt, im unteren Teil die Bewegungen der Höhenpunkte. Die Nullmessung (dargestellt in grün) fand 1951 statt, die Folgemessung (in blau) im Jahr 1985 und ungefähr in der Mitte der Linie befindet sich eine dritte Übermessung aus dem Jahr 2004 (rote Linie). Lokaler Bezug dieser Linie ist hier der Startpunkt der Übermessung in Langenzersdorf. Lokal gesehen treten fast ausschließlich Hebungen auf.



**Abbildung 4.8.:** Zug Langenzersdorf - Laa an der Thaya mit Bezug der Höhenänderungen auf Langenzersdorf (52990). Am Beginn der Linie ist in grau ein kurzes Seitennivellement eingetragen. Seine Daten stammen aus der selben Zeit wie die der Hauptlinie. In der Mitte der Linie, beim Punkt 55096, findet sich ein kurzes Stück mit dreifacher Übermessung.





**Abbildung 4.9.:** Zug Floridsdorf - Langenzersdorf mit Floridsdorf (59497) als Bezug.

Mit der nächsten Linie **Langenzersdorf - Floridsdorf** erreicht man Wien. Der Geländeverlauf und die Höhenänderungen dieser Linie sind der Abbildung 4.9 zu entnehmen. Die Übermessung der Linie erfolgt erstmals 1951 und wurde 1981 wiederholt, womit sich ein Zeitfenster von genau 30 Jahren ergibt. Lokaler Höhenbezug in dieser Grafik ist der Verknüpfungspunkt Floridsdorf (59497). Lokal betrachtet liegen die Bewegungen zwischen -3,5 und 6,5 mm.

Die nächste Linie **Floridsdorf - Volkstheater** war schon Bestand des Reichshöhennetzes 1939/40. Sie wurde 1952 kontrolliert und ihre Messwerte beibehalten. Eine weitere Übermessung erfolgte 1994. Aus den zuletzt genannten Übermessungen ergibt sich eine Zeitdifferenz von 42 Jahren. In der Abbildung 5.7 auf Seite 111 sind wieder Gelände und Höhenänderungen der Höhenpunkte dargestellt. Als lokaler Höhenbezug der hier rot eingetragenen Änderungsdaten wurde hier vom BEV der Verknüpfungspunkt Floridsdorf gewählt. Es treten ausschließlich Senkungen auf, lokal betrachtet liegen die Werte zwischen -3 und -21 mm. Die Abbildung wird im Kapitel 5.5 noch näher betrachtet und ist daher dort zu finden.

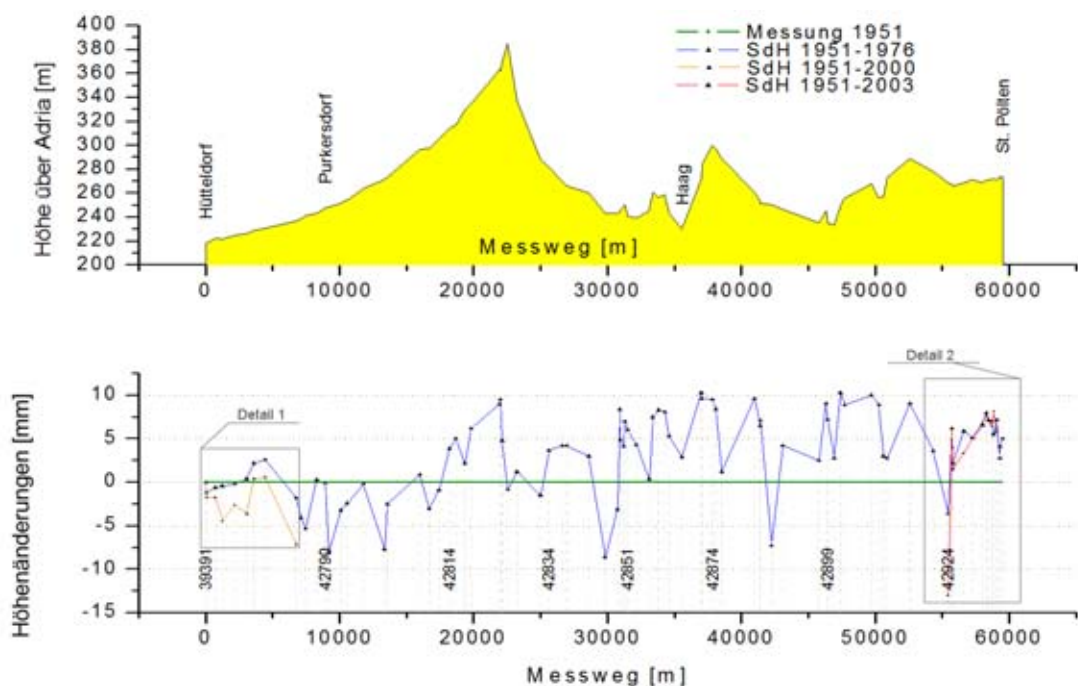
Auf der Linie **Volkstheater - Hütteldorf** liegen drei Übermessungen vor: 1940, 1975 und 2001, wobei aus den ersten beiden die Vertikalgeschwindigkeiten und die Genauigkeitsberechnungen dieser Linie abgeleitet wurden. In Abbildung 5.8 auf Seite 112 sind das Gelände und die Höhenänderungen eingetragen, wobei hier die Kirche Hütteldorf (39391) den lokalen Höhenbezug bildet. Großteils liegen auf dieser Strecke Senkungen vor. Bezogen auf den Verknüpfungspunkt Hütteldorf liegen die Bewegungen zwischen 3 und -28 mm. In der Abbildung 5.8 kann man sehr gut die zunehmende Senkung bis zum Ring feststellen. Die Drittübermessung bekräftigt die Höhenbewegungen zwischen erster und zweiter Messung. Besonders beachtenswert ist die drastische Absenkung in der Mitte der Linie bei den Punkten 48894 und 48896. Nach der Ursache dieser Bewegungen soll im Kapitel 5.5 mit Hilfe geologischer Unterlagen gesucht werden. Die zugehörige Abbildung befindet sich daher

auch dort.

Die Linie **Hütteldorf - St. Pölten** weist zwei Gesamtübermessungen aus den Jahren 1951 und 1976 auf, und zwei weitere Teilübermessungen aus 2000 und 2003, wie sich auch der Datenübersichtstabelle 4.1 auf Seite 50 entnehmen lässt. Gelände und Höhenänderungen der Punkte lassen sich der Abbildung 4.10 entnehmen. Die Höhenänderungen zwischen den beiden Gesamtübermessungen sind in blau dargestellt und schwanken, bezogen auf den Verknüpfungspunkt Hütteldorf (39391), zwischen -8 und 10 mm.

Zwischen Hütteldorf und Purkersdorf erfolgte 2000 eine Teilübermessung (orange Linie in Abb. 4.10) ausgehend von 39391. Durch diese Drittübermessung sind für diesen Bereich Trendaussagen möglich. In Abbildung 4.11 ist im oberen Teil eine Detailansicht dieses Linienabschnitts abgebildet. Darin ist ein Abwärtstrend erkennbar, wenn auch mit sehr geringen Werten.

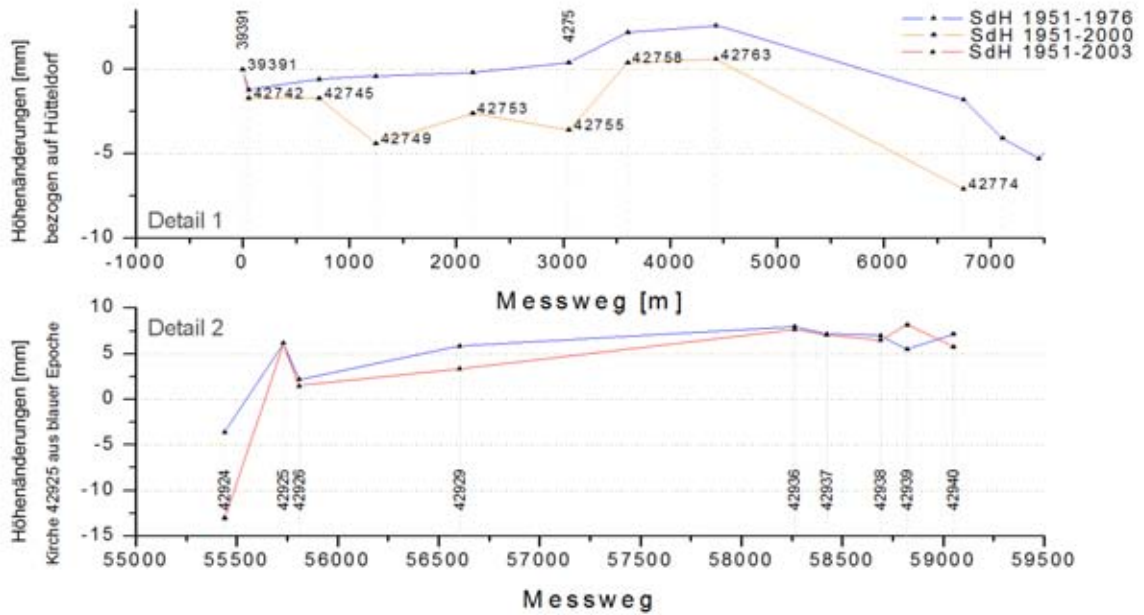
Für den Raum um St. Pölten existiert eine Drittübermessung aus 2003 (rote Linie in Abb. 4.11 unten). Dabei wurde die dritte Übermessung über den Punkt 42925 an die Gesamtmessung angebunden, daher zeigen sich in diesem Punkt keine Veränderungen. Für seine Umgebungspunkte zeigen sich großteils leichte Senkungen, die für konkrete Trendaussagen aber zu gering sind.



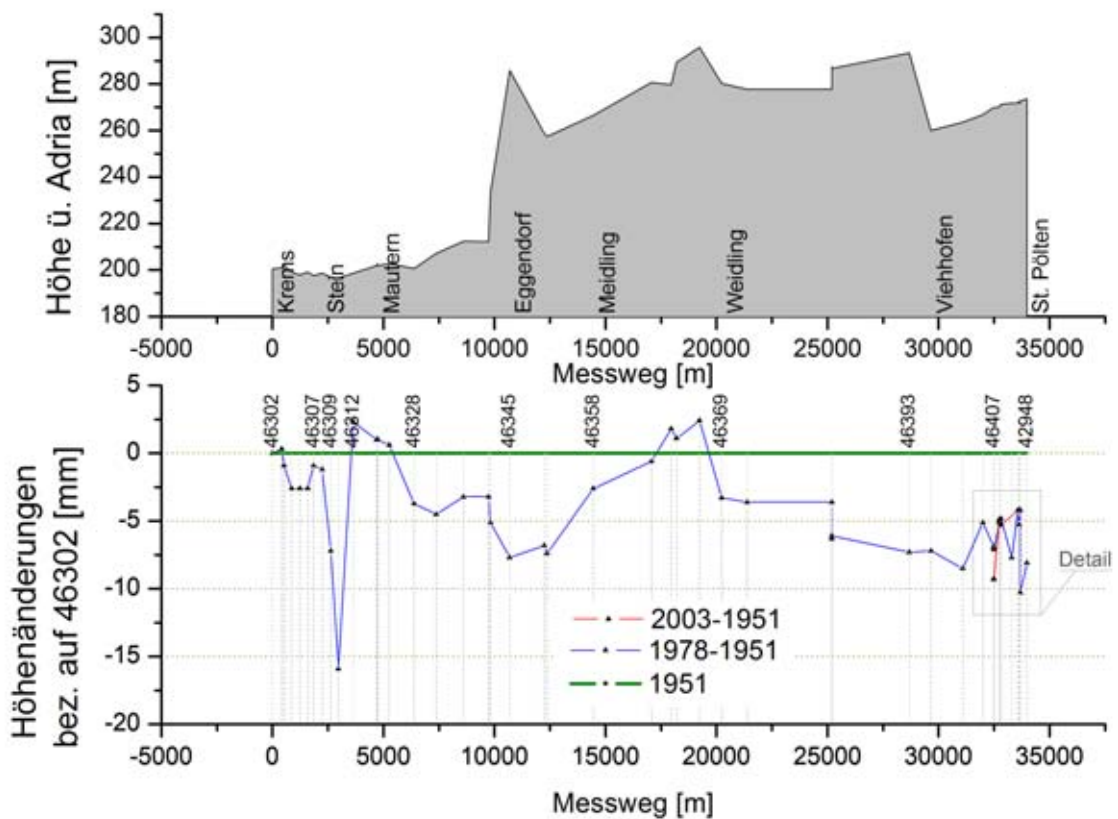
**Abbildung 4.10.:** Zug Hütteldorf - St. Pölten in Bezug zu Hütteldorf (39391). Zwei Details sind der Abbildung 4.11 zu entnehmen.

In Abbildung 4.12 ist die Linie **Krems - St. Pölten** dargestellt. Neben den Geländehöhen sind die Bewegungen der Höhenfestpunkte, bezogen auf den Verknüpfungspunkt Krems (46302) eingezeichnet. Die blaue Linie stellt die an den Festpunkten aufgetretenen Höhenänderungen zwischen der ersten Messung aus 1951 und der Zweitmessung aus dem Jahr 1978 dar. Entlang dieser Linie treten nach 27 Jahren fast ausschließlich Senkungen in einer Größenordnung von -5 bis -10 mm auf. Von der Größenordnung her könnten diese Senkungen für Krustenbewegungen sprechen.

Im Bereich von St. Pölten wurde 2003 noch eine Teilübermessung der Linie Krems - St. Pölten



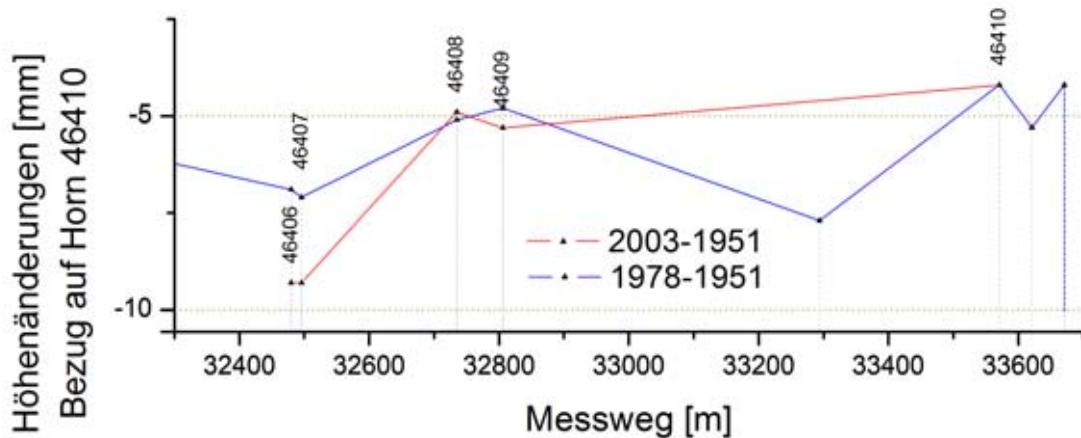
**Abbildung 4.11.:** Details zum Zug Hütteldorf - St. Pölten. Obere Grafik (Detail 1) stellt die Mehrfachübermessung gleich am Beginn der Linie bei Hütteldorf dar, die untere Abbildung (Detail 2) jene im Raum St. Pölten mit Anschlusspunkt 42925.



**Abbildung 4.12.:** Zug Krems - St. Pölten mit Bezug auf Krems (46302). Der Großteil der Linienpunkte senkt sich in Bezug auf Krems.

durchgeführt. Die Bewegungen der Höhenpunkte in Relation zur Nullmessung 1951 sind in den Abbildungen 4.12 und 4.13 in rot eingezeichnet. Die Abbildung 4.13 ist lediglich ein Ausschnitt der

vorigen Abbildung 4.12, die den dreifach übermessen Teil vergrößert darstellt. Über den Punkt 46410 ganz rechts der roten Linie wurde die Drittübermessung an die Nullmessung angeschlossen. Daher ergeben sich für 46410 selbst keine neuen Bewegungen, die Punkte 46406, 46407 und 46409 weisen fortschreitende Senkungen auf.

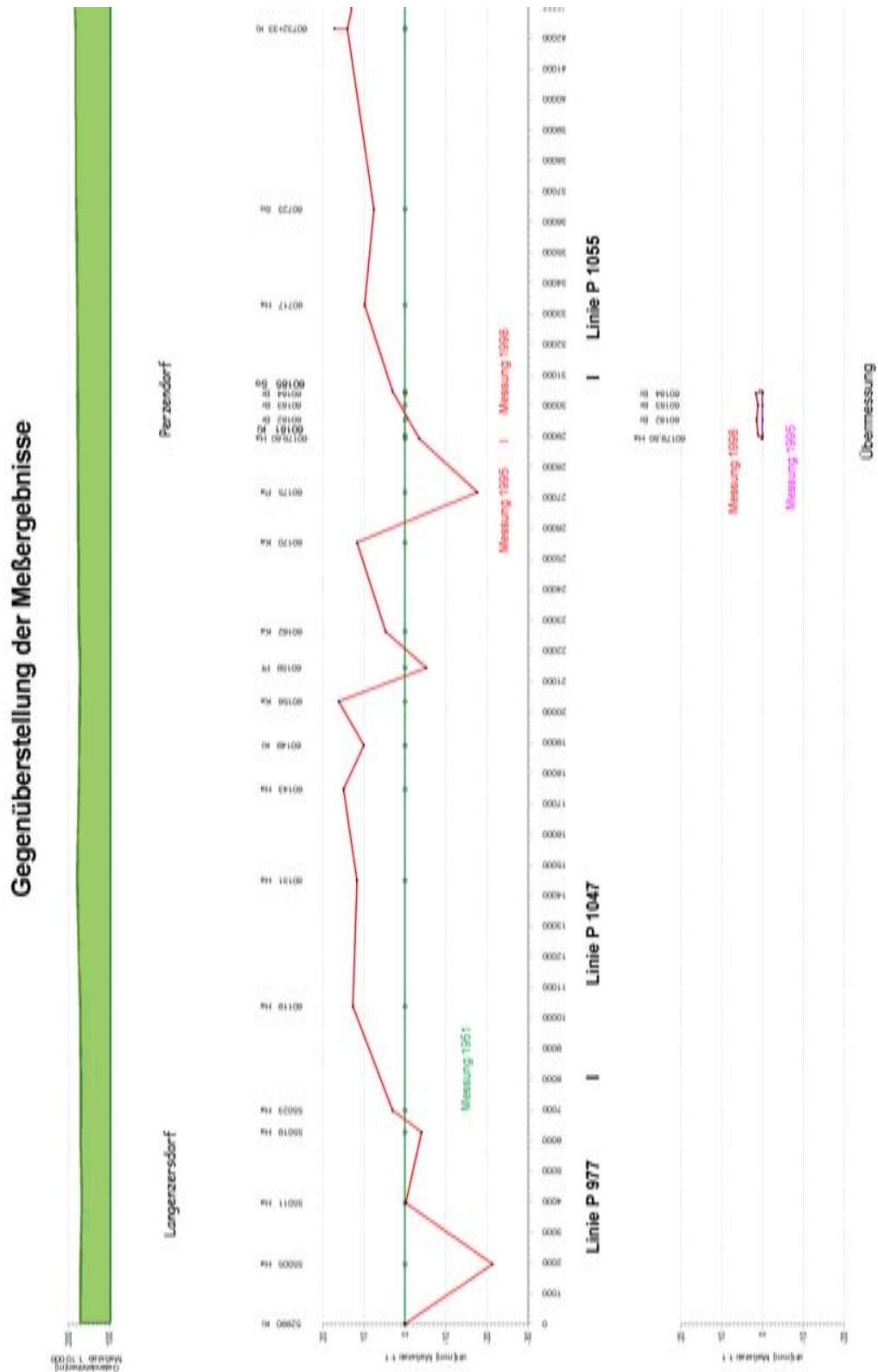


**Abbildung 4.13.:** Detail aus dem Zug Krems - St. Pölten: Dreifache Übermessung in der Nähe von St. Pölten. Verknüpfung der dritten Messung erfolgte über Punkt Nr. 46410. Die Punkte 46406, 46407 und 46409 senken sich weiter ab.

Die Nordschleife ist mit den erwähnten Linien geschlossen. Es existiert noch eine Querverbindung zwischen Krems und Langenzersdorf (siehe Abbildung 4.4 auf der Seite 54). Damit ergibt sich noch eine etwa halb so große Schleife nördlich von Wien, die bereits als **kleine Nordschleife** bezeichnet wurde. Sie zweigt in Langenzersdorf von der Nordschleife ab und führt von dort über Perzendorf nach Krems, wo sie dann wieder in die Hauptschleife einmündet. Da der Zug von Krems nach Perzendorf bereits digital vorhanden war, konnte rasch diese weitere Datenmenge einbezogen werden. Eine Abbildung der Geländeoberfläche und der Bewegungen wurde vom BEV zur Verfügung gestellt und ist den Abbildungen 4.14 und 4.15 zu entnehmen<sup>3</sup>. Aufgrund der großen Maßstabswahl entlang des Messweges ist die Grafik sehr lange und musste auf zwei Blätter aufgeteilt werden um die Lesbarkeit zu gewähren. Die Höhenänderungen der Linie Langenzersdorf - Krems beziehen sich auf den Punkt Langenzersdorf (52990). Die Nullmessung der Linie Langenzersdorf - Perzendorf stammt großteils aus dem Jahr 1951, für den Abschnitt Langenzersdorf - Perzendorf wird ein gemittelter Wert für die Nullmessung verwendet: es wird mit dem Jahr 1954 gerechnet. In den Abbildungen 4.14 und 4.15 ist die Nullmessung grün dargestellt. Von Langenzersdorf bis Perzendorf fand die zweite Übermessung 1995 statt, ab hier bis Krems wurde 1998 weitergemessen. Die zwischen den 42 bzw. 47 Jahren erfolgten Höhenänderungen sind mit einer roten Linie eingezeichnet. Im Raum Perzendorf fanden 1995 und 1998 noch weitere Übermessungen statt, die in Abb. 4.14 unten außerhalb der Hauptlinie dargestellt werden. Im Raum Kollersdorf fand gleichzeitig zur Vermessung der Hauptlinie ein Seitenivellement statt, welches ebenfalls außerhalb der Hauptlinie dargestellt wird (siehe Abb. 4.15 unten links). Für den Bereich Krems (siehe Abb. 4.15 rechts) wurde 1968 eine Übermessung durchgeführt (Linie in blau), die hier aber nicht weiter diskutiert werden soll. Während auf der

<sup>3</sup>Abbildungen des BEV, erstellt mit dem Programm Grapher.

Teillinie Langenzersdorf - Perzendorf die Höhenänderungen zwischen  $\pm 20$  mm liegen, dominieren auf dem Rest der Linie bis Krems die Hebungen bis etwa 20 mm.



**Abbildung 4.14.:** Zug Langenzersdorf - Perzendorf - Krems, Abbildung des BEV. Aufgrund der Länge wurde die Abbildung auf zwei Teile aufgeteilt. Der Rest der Linie folgt in Abbildung 4.15. Bezug der Linie ist die Kirche Langenzersdorf (52990).



Abbildung 4.15.: Zweiter Teil der Linie Langenzersdorf - Perzendorf - Krems, Abb. des BEV.

#### 4.3.4. Die Linien der Südschleife im Detail

Der Verknüpfungspunkt Volkstheater verbindet Nord- und Südschleife. Die auf Horn bezogenen Vertikalgeschwindigkeiten der Verknüpfungspunkte sind in der Tabelle 4.3 auf der Seite 55 aufgelistet. Nach der Berechnung im Uhrzeigersinn verläuft die Südschleife entlang der Linie **Volkstheater - Maria Ellend**. Die Geländehöhen sowie die Darstellung der Höhenänderungen sind in Abbildung 5.9 auf Seite 113 zu sehen. Diese Linie wurde dreimal übermessen. Die Bezugsmessung stammt aus 1952 (grüne Linie in Abb. 5.9). Mit ihr und der Folgemessung 1974 (blaue Linie) wurden die Vertikalbewegungen der Punkte berechnet. Die dritte Messung fand 2002 statt und ist in Abb. 5.9 rot eingetragen. Für die Abbildung der Höhenänderungen der Linie wurde der Verknüpfungspunkt Volkstheater (48914) als Bezug gewählt. Die Bewegungen der Höhenfestpunkte liegen zwischen -50 mm und +6 mm. Bei Betrachtung der Abbildung 5.9 erkennt man, dass sich zu Beginn der Linie (Wiener Ring bis zur Landstraße Hauptstraße) die drei Messungen sehr gut ergänzen, die Senkungen verstärken sich mit der Zeit. Nur vom Punkt 49211 bis zum Punkt 35844 treten Unstimmigkeiten auf. Von Schwechat bis Maria Ellend sind wieder deutlich die andauernden Senkungen zu bemerken.

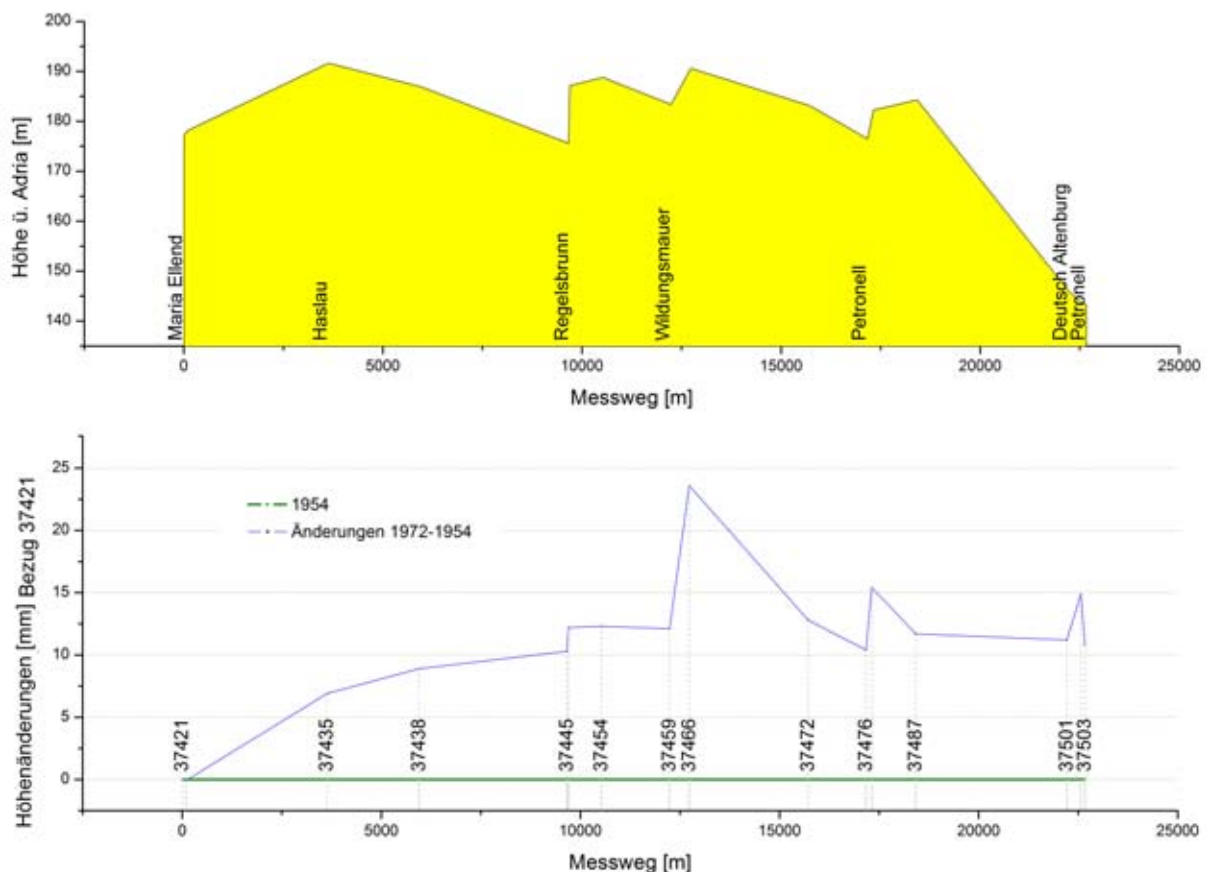
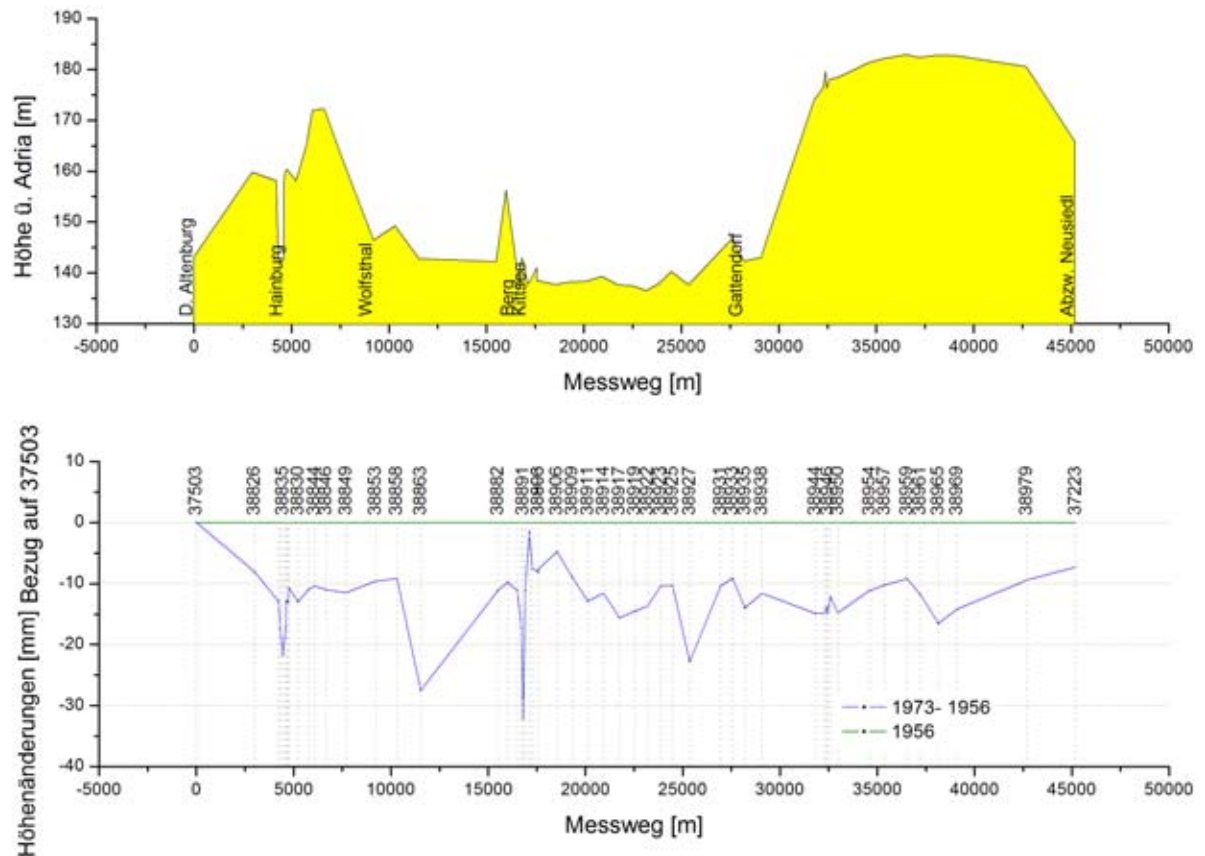


Abbildung 4.16.: Linie Maria Ellend - Deutsch Altenburg mit lokalem Bezugspunkt 37421.

Die Südschleife verläuft als nächstes durch die Linie **Maria Ellend - Deutsch Altenburg**. Ihre Geländeform und die Höhenbewegungen der Festpunkte sind der Abbildung 4.16 zu entnehmen. Die Nullmessung (grüne Linie) stammt aus 1954/55, die Folgemessung aus 1972, woraus sich ein Zeitabstand von 17 Jahren zwischen den Messungen ergibt. Die Veränderungen aus diesem

Zeitraum sind in Abb. 4.16 wie bisher in blau dargestellt. Lokaler Fixpunkt dieser Darstellung ist der Verknüpfungspunkt Maria Ellend (37421). In Bezug auf Maria Ellend treten nur Hebungen bis maximal 24 mm auf.

Mit der Linie **Deutsch Altenburg - Neusiedl** erreicht die Südschleife den Neusiedlersee. Von ihr zweigt bei Gattendorf eine weitere Linie ab Richtung Nickelsdorf (siehe Kapitel 4.3.6 auf Seite 81). In der Berechnungs-Tabelle 4.5 wird diese Linie daher auf zwei Teile, getrennt durch Gattendorf, aufgelistet. Die Abbildung 4.17 stellt Geländeoberkante und Höhenänderungen der Festpunkte



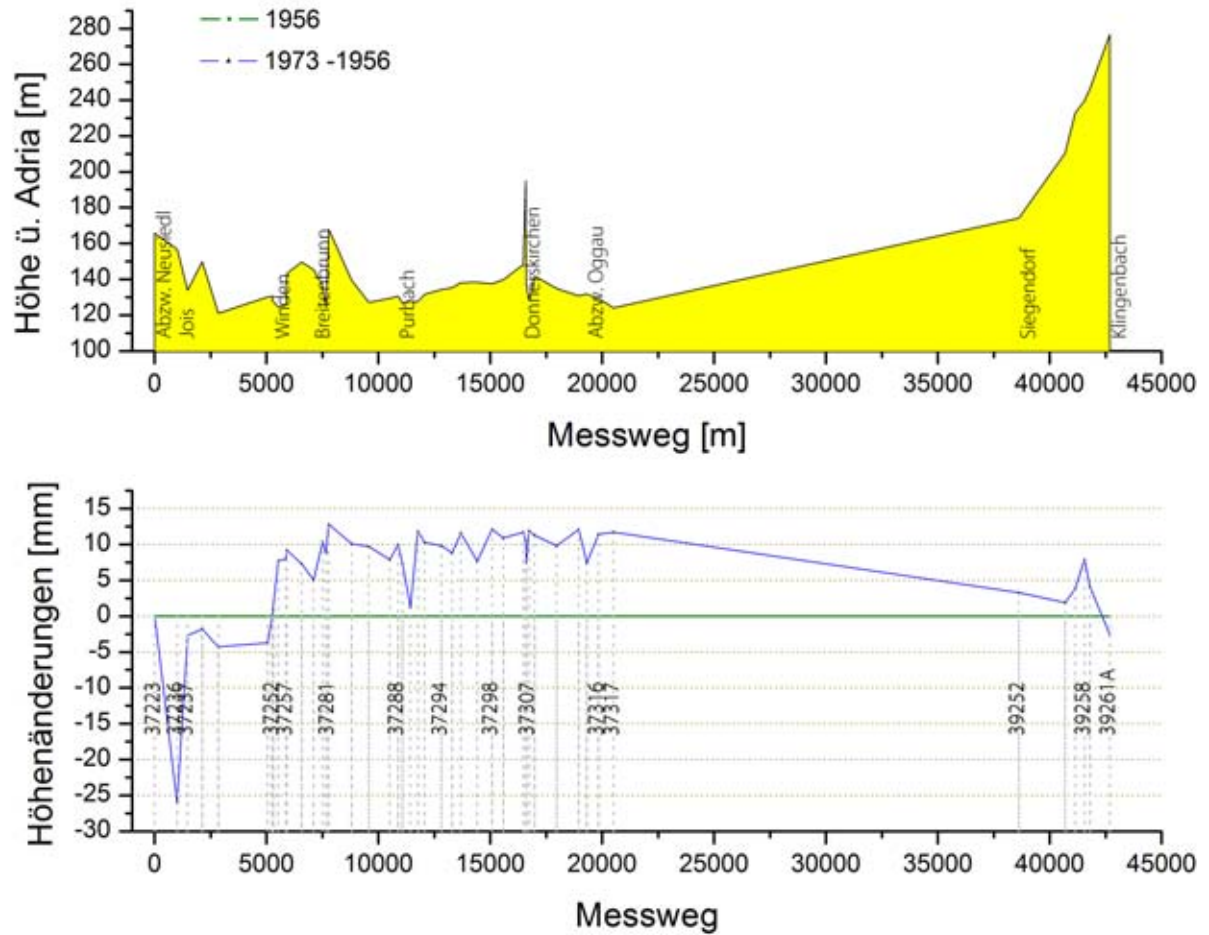
**Abbildung 4.17.:** Senkungsraten der Linie Deutsch Altenburg - Neusiedl am See nach 17 Jahren. Der lokale Bezugspunkt der Linie liegt in Deutsch Altenburg (37503).

dieser Linie dar. In grün ist die Nullmessung aus dem Jahr 1956 eingetragen, in blau die Veränderungen zwischen Null- und Folgemessung 1973. Fixpunkt dieser Abbildung ist der Verknüpfungspunkt Deutsch Altenburg (37503). Relativ zu diesem Punkt haben sich alle Punkte bis Neusiedl gesenkt, der Maximalwert liegt bei -32 mm. Ein Messwert wurde aus der Linie entfernt, da seine lokale Höhenänderung -143 mm betrug und vermutlich eine Punktverrutschung bedeutet.

Richtung Westen verläuft die Linie **Neusiedl - Siegendorf**. Die Nullmessung stammt hier aus 1956 und die Folgemessung aus 1973. In Abbildung 4.18 sind Gelände und Höhenänderungen zwischen den beiden Messungen eingetragen. Die große Datenlücke in der Abbildung rechts entstand durch die Führung der Messungen über getrennte Wege (siehe Datenübersichts-Abbildung 4.4 auf Seite 54). Bei späteren Messungen wurden beide Messwege nochmals übermessen und es können damit Daten aus diesem Bereich gewonnen werden. Die Genauigkeits-Berechnung der Südschleife erfolgte



aber anhand dieser Messungen. Lokaler Fixpunkt dieser Linie ist der Verknüpfungspunkt Neusiedl (37223). Sehr absonderlich erscheint die große lokale Absenkung von -26 mm des Punktes 37236 in der Umgebung Neusiedl. Seine Nachbarpunkte senken sich nicht in diesem Ausmaß. Der Rest der Linie hebt sich in Relation zum Punkt Neusiedl um maximal 13 mm.



**Abbildung 4.18.:** Linie Neusiedl am See - Siegendorf. Bezug dieser Grafik ist der Verknüpfungspunkt Neusiedl (37223).

Von Siegendorf aus läuft eine Linie weiter über Zemendorf bis Wiener Neustadt. Die Strecke **Siegenderdorf - Wiener Neustadt** wurde zweimal gesamt übermessen: 1956 und 1973. In der Abbildung 4.19 sind der Geländeschnitt und die Bewegungen der Höhenpunkte über den Zeitraum zwischen der Null- und Folgemessung (17 Jahre) eingetragen. Lokaler Fixpunkt dieser Abbildung ist der Verknüpfungspunkt Siegendorf (39252). Die lokalen Höhenänderungen auf dieser Linie reichen von -21 mm bis zu +5 mm wobei die Senkungen mit Abnahme der Entfernung zu Wiener Neustadt immer stärker werden.

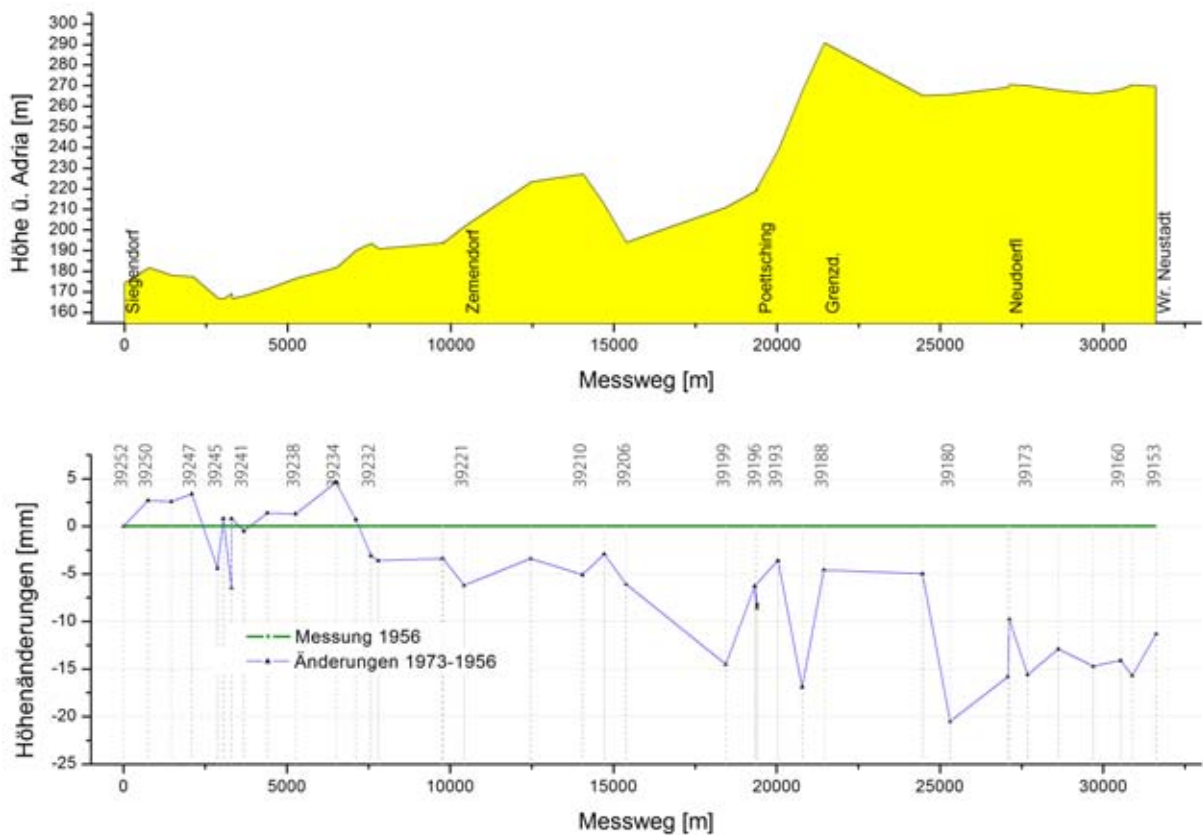
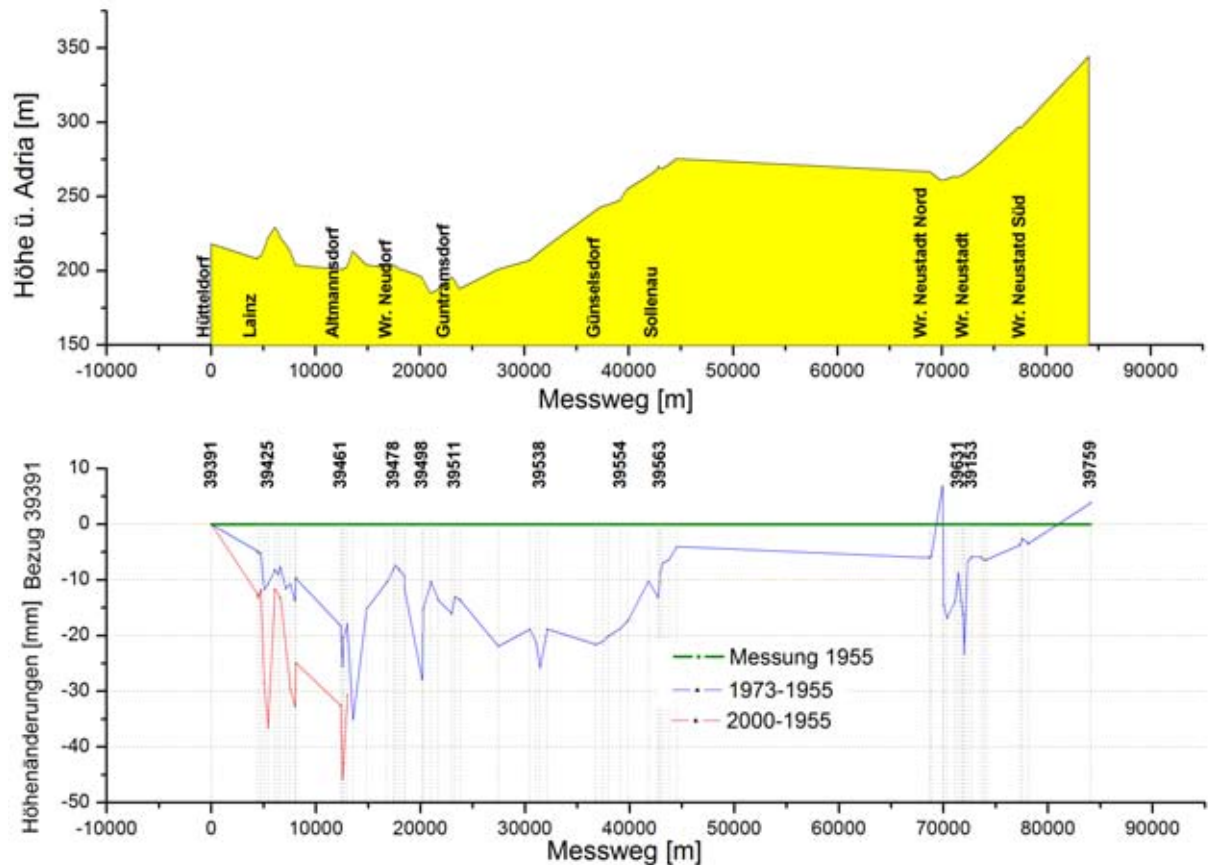


Abbildung 4.19.: Zug Siegendorf - Wiener Neustadt mit Fixpunkt Siegendorf (39252).

Zum Abschluss der Südschleife fehlt noch die Linie **Wiener Neustadt - Hütteldorf**. Auch auf dieser sehr langen Linie verlaufen die Messungen etwas nördlich von Wiener Neustadt auf getrennten Wegen, was die Datenlücke in Abbildung 4.20 erklärt. Im oberen Teil dieser Abbildung ist wieder das Gelände zu sehen, im unteren Teil die Differenzen der Höhenpunkte. Die erste Übermessung, dargestellt in grün, stammt aus 1955. Die Zweitmessung wurde zwischen 1969 und 1974 gemessen.



**Abbildung 4.20.:** Linie Hütteldorf - Wiener Neustadt mit zwei Gesamtübermessungen und einer dritten Übermessung im Raum der Wienschleife (rote Linie, siehe Abb. 4.22). Lokaler Fixpunkt der Abbildung ist der Verknüpfungspunkt Hütteldorf (39391).

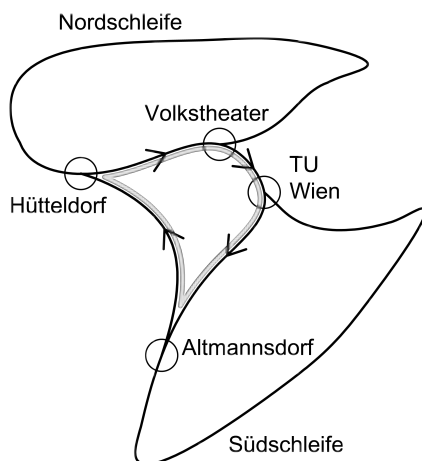
Für die Bestimmung der Vertikalgeschwindigkeiten wird das Jahr 1972 fixiert. Die Differenzwerte zu der Nullmessung sind in Abb. 4.20 als blaue Linie dargestellt. Für den Bereich von Hütteldorf bis Altmannsdorf existiert noch eine dritte Übermessung aus dem Jahr 2000, die Differenzen zu der Messung 1955 sind in Abb. 4.20 rot dargestellt. Deutlich sichtbar sind die sich fortsetzenden Senkungen in diesem Bereich. Ein Ausschnitt aus der Abb. 4.20 findet sich im Kapitel 4.3.5 auf der Seite 78 (Abb. 4.22).

Auf der gesamten Linie dominieren Setzungen. Lokal betrachtet liegen die Maximalbewegungen nach 17 Jahren (Differenz zwischen den beiden Gesamtübermessungen) bei -35 mm. Für die Teilübermessung zwischen Hütteldorf und Altmannsdorf erreichen die lokalen Bewegungen nach 45 Jahren maximal -46 mm.

Für die Berechnung der Südschleife über den Verknüpfungspunkt Volkstheater wird von der Linie Wiener Neustadt - Hütteldorf nur der untere Teil bis zum Verknüpfungspunkt Altmannsdorf verwendet (siehe Abb. 4.4 auf Seite 54). Von da aus folgt die Berechnung der Südschleife über die

Linie **Altmannsdorf - TU Wien** (Abb. 4.24 auf Seite 80) und weiter über die Linie **TU Wien - Volkstheater** (Abb. 5.9 auf Seite 113). Die Messungen beider Linien stammen aus den 50er und 70er Jahren. Im Kapitel 4.3.5 werden sie näher erläutert.

#### 4.3.5. Berechnung der Wienschleife



**Abbildung 4.21.:** Berechnung der Wienschleife.

Aufgrund der vorhandenen Datenmenge ist es möglich, über Wien eine Nivellementschleife zu bilden, siehe Abbildung 4.21. Die Resultate der Berechnungen in und um Wien sind nicht leicht zu interpretieren. Die Schleife verläuft von Hütteldorf über den Verknüpfungspunkt Volkstheater, weiter zur TU Wien, dann nach Altmannsdorf und von dort wieder nach Hütteldorf.

Im Prinzip sind fast alle dieser Züge auch Teile der Nord- beziehungsweise Südschleife. Da hier mehr als zwei Messungen zur Verfügung stehen, wurden über dasselbe Gebiet zwei Differenzberechnungen zu verschiedenen Zeiten berechnet. Es bestand die Hoffnung dadurch positive sich bestätigende Trendbewegungen erkennen zu können, was teilweise auch der Fall ist.

Für die Berechnungen der Geschwindigkeiten und ihrer Standardabweichungen wird der selbe Ansatz verwendet wie bei der Nord- und Südschleife (siehe Formeln in Kapitel 4.3.1).

Für die Berechnung über die beiden älteren Messungen (Zeitfenster 1 in Tabelle 4.6) ergibt sich in Hütteldorf über die Summe der Vertikalgeschwindigkeiten  $v_i$  ein Abschlussfehler von  $-0,3$  mm/Jahr und für  $\sigma v_i$  erhält man  $2,3$  mm/Jahr. Dabei wurde wieder von denselben Messgenauigkeiten ausgegangen wie bei der Nord- und Südschleife. Nur für die neueste Übermessung wurde eine Messgenauigkeit von  $0,5$  mm/ $\sqrt{km}$  angenommen. Die neuere Berechnung mit Messdaten zwischen 1973 und 2002 (Zeitfenster 2) erreicht bei der Summe über alle  $v_i$  einen Wert von  $0,1$  mm/Jahr und für  $\sigma v_i$  erhält man  $1,1$  mm/Jahr. Die einzelnen Berechnungsschritte sind in der Tabelle 4.6 auf Seite 77 einzusehen. Abschließend wurde noch eine Genauigkeitsberechnung zwischen der ersten und der letzten Übermessung durchgeführt (Zeitfenster 1+2). Diese befindet sich in besagter Tabelle ganz unten. Daraus ergibt sich für die aufsummierten  $v_i$   $-0,2$  mm/Jahr und für die Summe der Standardabweichungen der Wert  $1,4$  mm/Jahr.

Unterzieht man die berechneten Resultate wieder dem Signifikanztest aus Formel 4.6, erkennt man, dass auch diese Messwerte frei von großen Messungenauigkeiten sind.

Vergleicht man die Werte der Höhenänderungen über das gesamte Zeitfenster sowie auch die Vertikalgeschwindigkeiten von derselben Linie, zeigt sich bei den meisten Linien einen Trend. Ausnahme bildet die Linie TU Wien - Altmannsdorf.

Die Abbildung 5.8 auf Seite 112 zeigt den Verlauf und die Höhenänderungen auf der Linie **Hütteldorf - Volkstheater**. Die drei nacheinander erfolgten Messungen verdeutlichen die Setzungsbewegungen bis zum Ring.

Auch auf der Linie **Hütteldorf - Altmannsdorf** ergänzen sich die mehrfachen Übermessungen aus

**Wienschleife (1. Zeitfenster):**

Linie	Zeitraum		Jahre	Höhenänderungen/Linie		Länge [km]	$\sigma_{DNV}$ [mm/ $\sqrt{km}$ ]		$\sigma\Delta\Delta h_i$ [mm]	$\sigma v_i$ [mm/Jahr]
	1940	1975		$\Delta\Delta h_i$ [mm]	$v_i$ [mm/Jahr]		Messung 1	Messung 2		
Hütteldorf - Volkstheater (N)	1940	1975	35	-12,0	-0,3	10	1,6	0,8	5,7	1,0
Volkstheater - TU Wien	1952	1974	22	-8,4	-0,4	2	1,6	0,8	2,5	0,5
TU Wien - Altmannsdorf	1955	1975	20	-12,7	-0,6	10	1,6	0,8	5,7	1,3
Altmannsdorf - Hütteldorf	1955	1972	17	18,3	1,1	12	1,6	0,8	6,2	1,5
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,3		34			Summe der $\sigma v_i$ : 2,3	

**Wienschleife (2. Zeitfenster):**

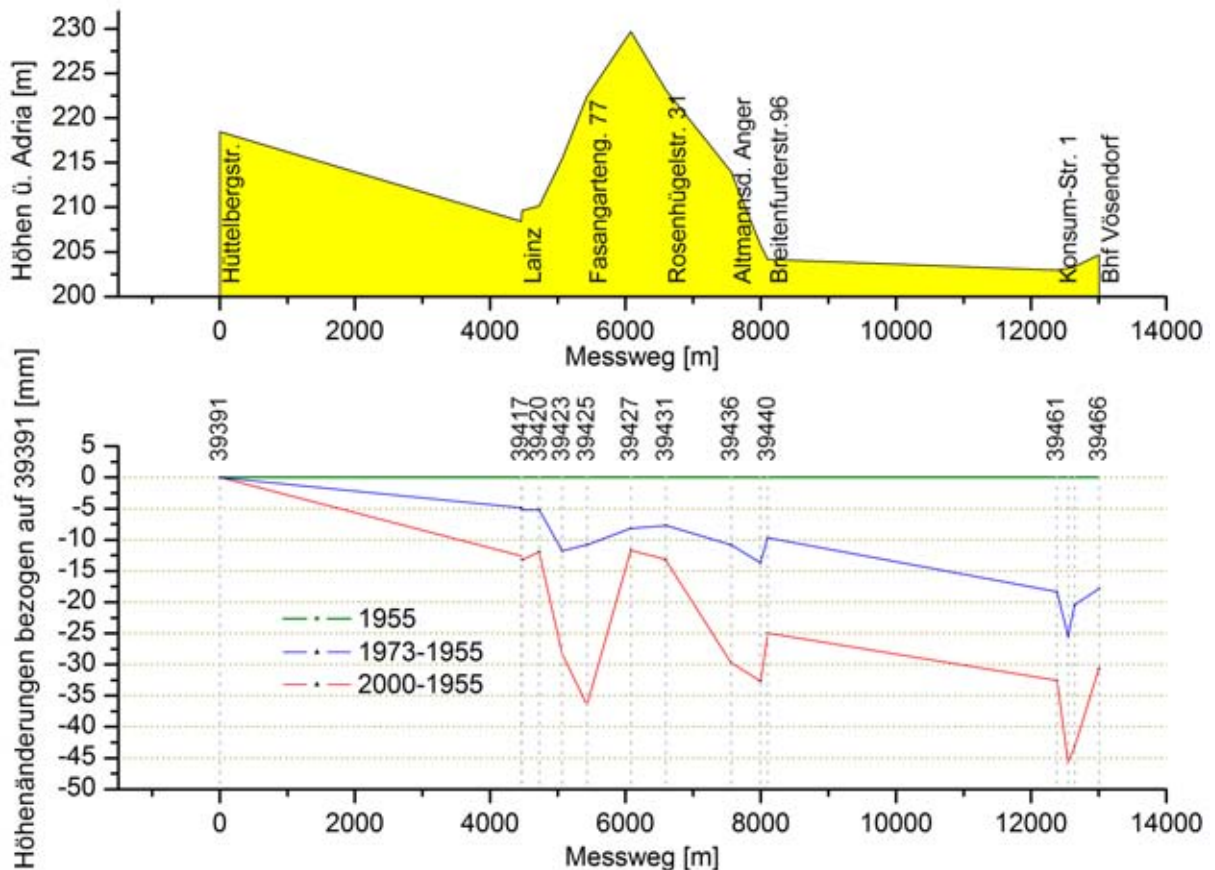
Hütteldorf - Volkstheater (N)	1975	2001	26	-9,9	-0,4	10	0,8	0,5	3,0	0,6
Volkstheater - TU Wien	1974	2001	27	-2,2	-0,1	2	0,8	0,5	1,3	0,3
TU Wien - Altmannsdorf	1975	1994	19	0,5	0,0	10	0,8	0,5	3,0	0,7
Altmannsdorf - Hütteldorf	1972	2000	28	14,2	0,5	12	0,8	0,5	3,3	0,6
versch. Summen				Summe der $v_i$ : 0,1					Summe der $\sigma v_i$ : 1,1	

**Wienschleife (1.+2. Zeitfenster):**

Hütteldorf - Volkstheater (N)	1940	2001	61	-21,9	-0,4	10	1,6	0,5	5,3	0,7
Volkstheater - TU Wien	1952	2001	49	-10,6	-0,2	2	1,6	0,5	2,4	0,3
TU Wien - Altmannsdorf	1955	1994	39	-12,2	-0,3	10	1,6	0,5	5,3	0,8
Altmannsdorf - Hütteldorf	1955	2000	45	32,5	0,7	12	1,6	0,5	5,8	0,9
versch. Summen				Summe der $v_i$ : -0,2					Summe der $\sigma v_i$ : 1,4	

**Tabelle 4.6.:** Genauigkeitsberechnungen der Wienschleife. Für die Erstübermessungen werden wieder die Genauigkeiten von  $1,6\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$  verwendet, für die Zweitmessungen die vom BEV festgelegten  $0,8\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$ . Bei den Drittübermessungen wird von einer Genauigkeitssteigerung ausgegangen und die Messungen gehen mit einer Genauigkeit von  $0,5\text{mm}/\sqrt{\text{km}}$  in die Berechnung ein. Bis auf die Linie TU Wien - Altmannsdorf verstärken sich die Bewegungen auf den einzelnen Linien.

den Jahren 1940 bzw. 1955, 1972/73 und 2000 sehr gut. In der Abbildung 4.22 lassen sich eindeutig Setzungen erkennen zwischen der Nullmessung 1955 in grün, der ersten Folgemessung nach 17 Jahren in blau und der zweiten Folgemessung in rot nach insgesamt 45 Jahren. Lokaler Bezug dieser Abbildung ist der Verknüpfungspunkt Hütteldorf (39391). Auf dieser Linie liegen nur Setzungen vor, die nach 17 Jahren bis maximal -26 mm reichen. In den 45 Jahren zwischen erster und dritter Messung bewegen sich die Höhenfestpunkte bis maximal -46 mm. Für die Darstellung der

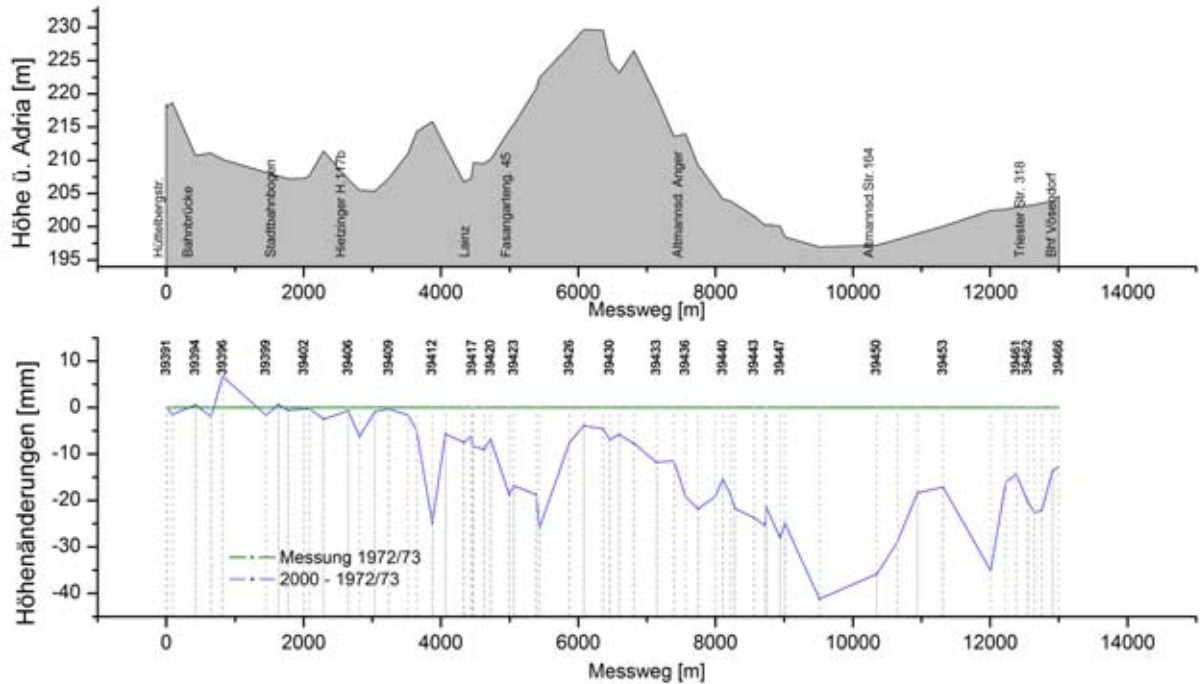


**Abbildung 4.22.:** Detail der Linie Hütteldorf - Wiener Neustadt (gesamte Ansicht siehe Abb. 4.20 auf Seite 75).

Abbildung 4.22 wurden die dreifach übermessenene Punkte extra zusammengefasst und dazwischen liegende Punkte, die nicht in allen Übermessungen vorkommen entfernt. Ursprünglich waren die zweite und die dritte Übermessung sehr viel umfangreicher, wie die Abbildung 4.23 zeigt. Darin wird die Messung 1972/73 als Bezugsmessung verwendet (grüne Linie), die blaue Linie zeigt die Änderungen aus einem Zeitraum von 28 Jahren. Der Verknüpfungspunkt Hütteldorf bleibt der lokale Höhenbezug. In dieser Form waren die Daten im Archiv vorhanden. Bezogen auf Hütteldorf liegen die Höhenänderungen zwischen -41 mm und +7 mm.

Gute Ergebnisse sind auf der Linie **Volkstheater - TU Wien** zu erkennen und der Abbildung 5.9 auf der Seite 113 ganz links zu entnehmen. Diese Abbildung wird im Kapitel 5 noch näher besprochen werden.

Auf der Strecke **TU Wien - Altmannsdorf** treten sich widersprechende Ergebnisse auf, was natürlich einen Fehler in der Berechnung vermuten lässt. Zu diesem Ergebnis war man am BEV auch

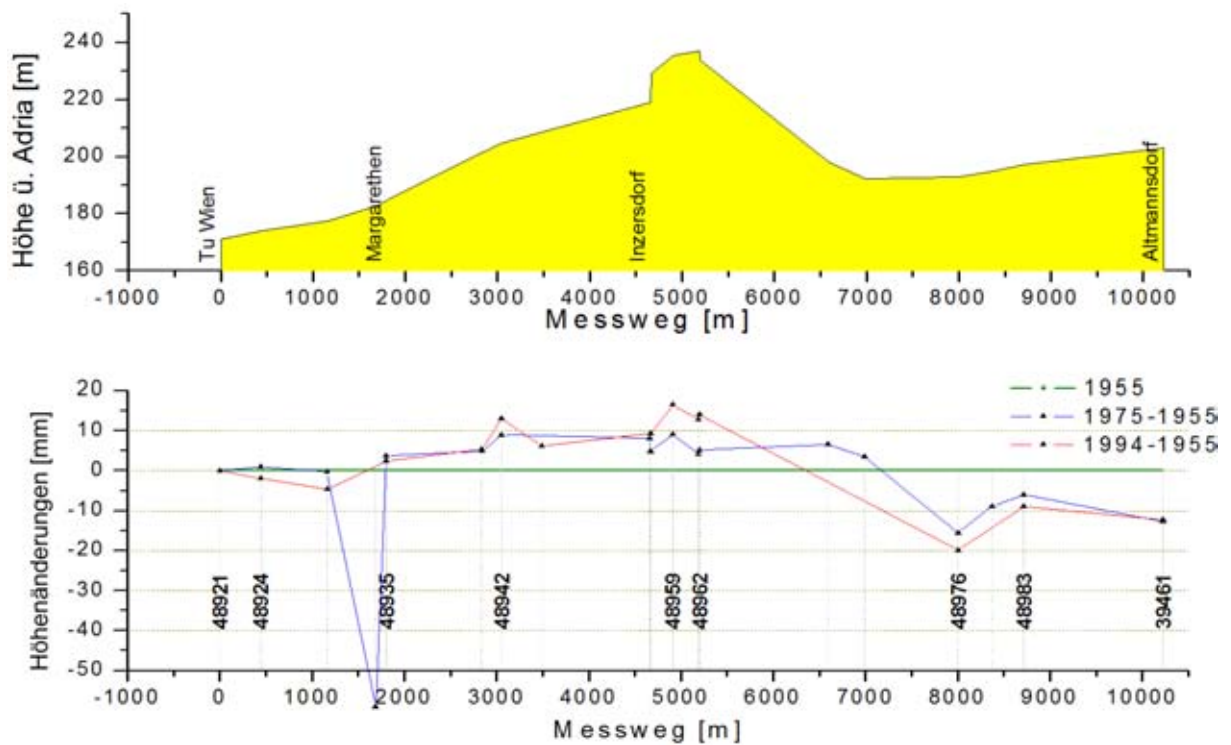


**Abbildung 4.23.:** Zug Hütteldorf - Altmannsdorf mit lokalem Bezug auf Hütteldorf (39391).

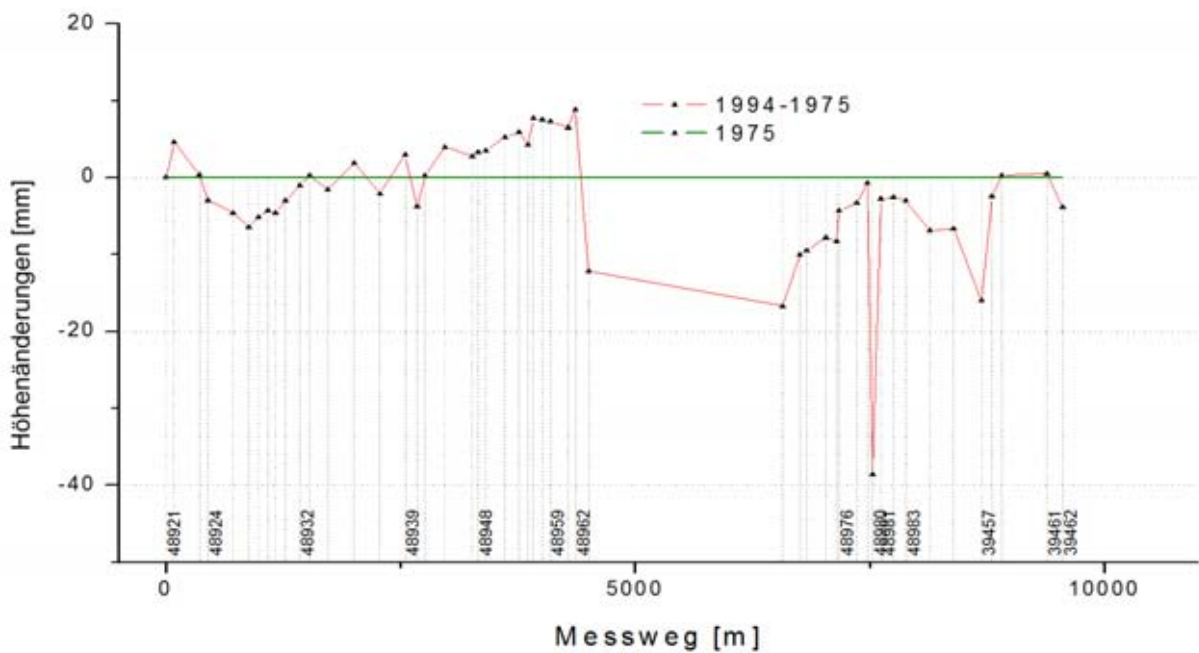
bereits gekommen. Die Ursachen sind jedoch nicht geklärt. Eine mögliche Erklärung wäre dem BEV nach die Beobachtung der beiden Messungen mit unterschiedliche Messgeräten, die auch zu sehr unterschiedlichen Messgenauigkeiten führen könnte <sup>4</sup>.

Zu dieser Linie gehört die Abbildung 4.24. Teilweise sind innerhalb der Linie Trends erkennbar aber der Endpunkt der Linie in Altmannsdorf (39461) senkt sich zuerst um 12,7 mm und wird nach der dritten Messung wieder um 0,5 mm angehoben. Diese Abbildung zeigt die beiden Folgemessungen (blau 1975 und rot 1994) bezogen auf die Erstmessung aus dem Jahr 1955 mit Bezug auf den Verknüpfungspunkt 48921 bei der TU Wien. Die Abbildung 4.25 zeigt die Höhenänderungen aller übermessenene Punkte aus dem Jahr 1994 im Vergleich zur Messung von 1975. In dieser Form war auch die Gegenüberstellung im Archiv des BEV vorzufinden. Für die Abbildung 4.24 wurden die Messdaten aus dem Jahr 1994 aus dieser Gegenüberstellung auf die Nullmessung aus dem Jahr 1955 umgerechnet.

<sup>4</sup>Private Kommunikation mit BEV-Mitarbeitern.



**Abbildung 4.24.:** Zug TU - Altmannsdorf bezogen auf die Nullmessung 1955, die erste Wiederholungsmessung (in blau) stammt aus 1975, die zweite (in rot) aus 1994. Der Endpunkt der Linie in Altmannsdorf (39461) senkt sich zuerst um 12,7 mm und wird nach der dritten Messung wieder um 0,5 mm angehoben.



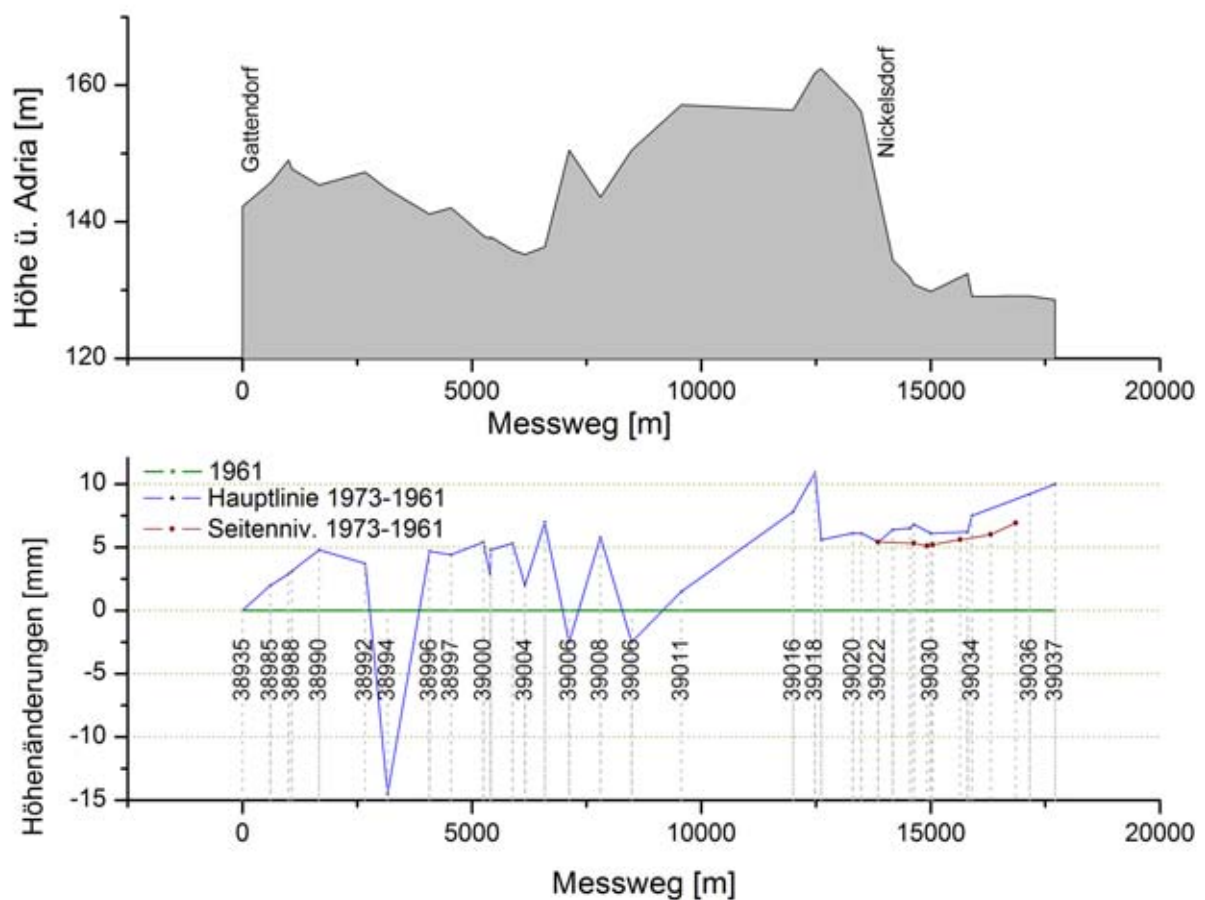
**Abbildung 4.25.:** Zug TU - Altmannsdorf, Höhenänderungen zw. zweiter und dritter Wiederholungsmessung (Zeitfenster 2).



### 4.3.6. Weitere Südzüge

Zuletzt muss für die einzelnen Südzüge der Bezug zum Referenzpunkt in Horn hergestellt werden. Der Bezug bis Horn erfolgt im Uhrzeigersinn. Das heißt der Rechenweg führt bei der Nordschleife über Laa a. d. Thaya bis zum Volkstheater, zweigt dann in die Südschleife ab, wo weiter im Uhrzeigersinn gerechnet wird. Damit ergeben sich für die Südzüge Vertikalgeschwindigkeiten in Bezug auf Horn. Für die Verknüpfungspunkte sind die  $v_i$  in Tabelle 4.3 aufgelistet. Die Lagen der Südzüge finden sich in Abb. 4.1 auf Seite 45 und in Abb. 4.4 auf Seite 54.

Vom Osten kommend zweigt als erster Südzug die Linie **Gattendorf - Nickelsdorf** von der Südschleife ab und läuft bis zur Grenze (Nähe Hegyeshalom). Der Großteil der Zugpunkte hebt sich in Bezug auf Gattendorf, siehe Abbildung 4.26. Grün ist die Nullmessung aus 1961, die Höhenver-



**Abbildung 4.26.:** Am südöstlichen Rand des Untersuchungsgebietes verläuft die Linie Gattendorf - Nickelsdorf. Bezogen auf den lokalen Punkt in Gattendorf (38935) heben sich die Zugpunkte.

änderungen zwischen 1961 und der Folgemessung 1973 sind mit einer blauen Linie dargestellt. Ein aus der selben Zeit stammendes Seitennivellement ist mit einer dunkelroten Linie eingezeichnet. Im letzten Punkt des Zuges lässt sich in Relation zu Horn eine jährliche Bewegungsrate von -1,0 mm feststellen. Die lokalen Höhenveränderungen in den 12 Jahren liegen zwischen -2,5 und +11 mm. Die Bewegung des Punktes 38994 um -14,5 mm bleibt hier unberücksichtigt, es handelt sich vermutlich um einen Ausreißer. Seine Nachbarpunkte weisen komplett andere Bewegungen auf.

Etwas weiter westlich läuft der Zug **Neusiedl - Pamhagen**, der mit dem Zug **Pamhagen - Meks-**

**zikopuszta** verknüpft werden kann und damit bis zur Grenze läuft. Für diese Linie besteht leider keine Anschlussmessung an den Verbindungspunkt Neusiedl (37223). Der Bezug auf den Referenzpunkt Horn kann damit nicht hergestellt werden. Es können zwar keine Vertikalgeschwindigkeiten bezüglich Horn berechnet werden aber eine Betrachtung der lokalen Bewegungen ist natürlich auch hier möglich. Erstmals übermessen wurde die Linie Neusiedl - Pamhagen im Jahr 1958, eine weitere Messung erfolgte in den Jahren 1972 und 1973. Das abgedeckte Zeitfenster umfasst somit 14 Jahre. Für die Teillinie von Pamhagen nach Mekszikopuszta liegen Messungen aus den Jahren 1961 und 1973 vor, die Zeitspanne beträgt hier also 12 Jahre. Die Punkte dieser Linie scheinen sich in Relation zum Startpunkt in Neusiedl (37211) durchgehend zu senken (Abbildung 5.10 auf Seite 116). Im letzten Punkt der Linien erhält man eine Senkung von -6,6 mm nach 12 Jahren, was eine jährliche Senkung von -0,5 mm bedeutet (bezogen auf 37211). Die lokalen Höhenänderungen liegen zwischen -31 mm und +2 mm. Die Abbildung der Geländehöhen und der Höhenänderungen (Abb. 5.10) befindet sich im Kapitel 5.6, wo die Linie einer genaueren Betrachtung in Bezug auf Grundwassereinfluss unterzogen wird.

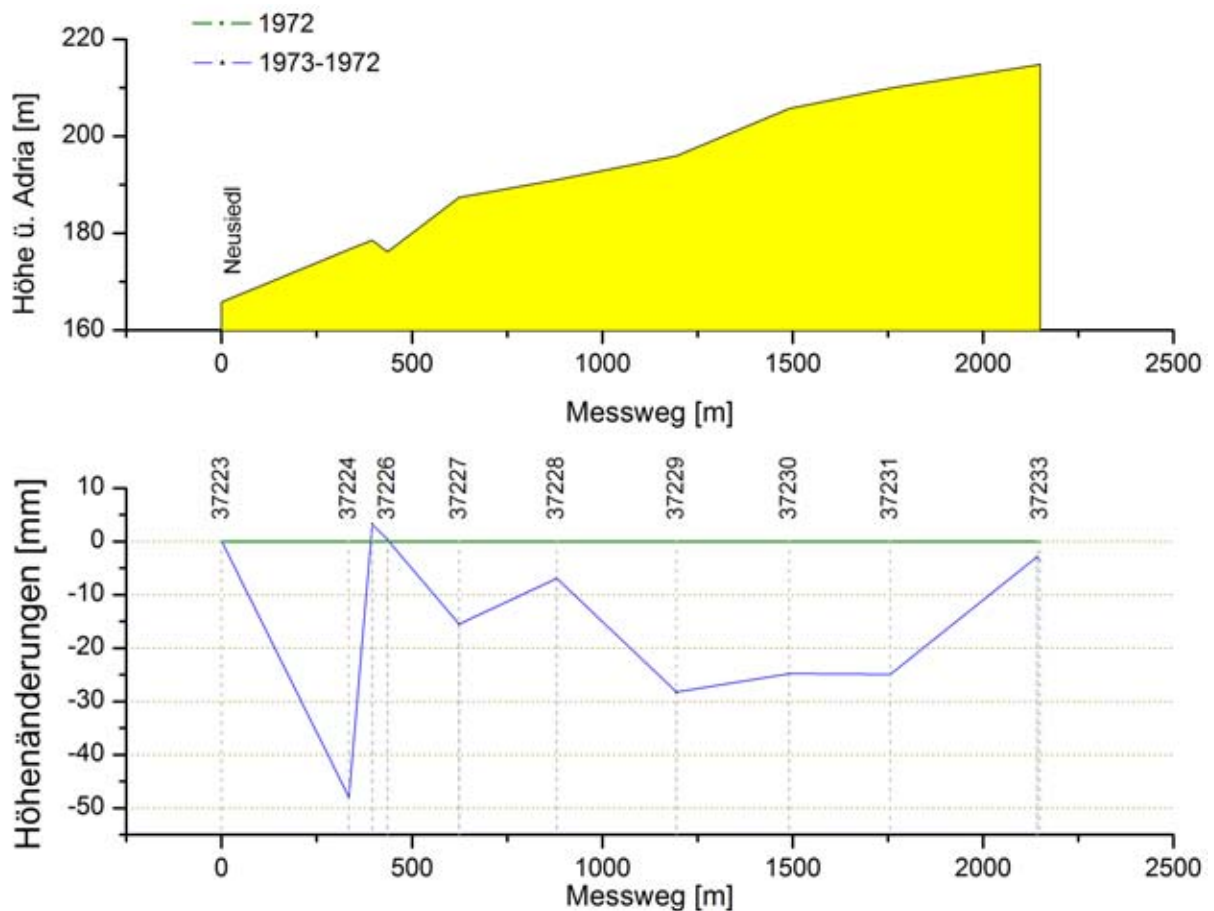
Ausgehend vom Verknüpfungspunkt 37223 **in Neusiedl** verläuft noch eine Linie mit 10 Nivellementpunkten Richtung Norden. Ihre Erst- und Folgemessung liegen nur ein Jahr auseinander und damit lassen sich direkt Vertikalgeschwindigkeiten ablesen. Eine lokale Profildarstellung befindet sich in Abbildung 4.27. Lokaler Bezugspunkt der Darstellung ist der Verknüpfungspunkt Neusiedl (37223). Bezogen auf Neusiedl liegen die Bewegungen zwischen -48 mm und +3 mm. Der letzte Zugpunkt setzt sich bezüglich Horn um -5,0 mm/Jahr. Rein von der Größenordnung her ist es unwahrscheinlich, dass diese Bewegungen rein tektonischer Ursache sind.

In der Abbildung 4.2 auf der Seite 48 ist noch ein einsamer blauer Punkt direkt am Ostufer des Sees zu erkennen. Dies ist ein kleiner Ring von 5 Punkten, der zwar dreimal übermessen wurde, aber ohne Anschluss zum nächsten Verknüpfungspunkt Neusiedl. Die Bewegungen auf einen lokalen Bezugspunkt reduziert entsprechen den Erwartungen. Die Maximalbewegung ist eine Senkung von -1 mm/Jahr (bezogen auf den Startpunkt der Messung).

Von dem in der Südschleife liegenden Zemendorf zweigt der Zug **Oberpullendorf - Lutzmannsburg** ab. Dieser Zug setzt sich, wie man in der Datenübersichts-Abbildung 4.4 erkennen kann, aus zwei miteinander verbundenen Linien zusammen, siehe Abbildung 5.11 (Abb. im Kapitel 5.7 auf Seite 118) und Abb. 4.28. Die Linie Zemendorf bis Oberpullendorf wurde erstmals 1959 übermessen (grüne Linie in Abb. 5.11 auf Seite 118), die zweite Übermessung war 1980 (blaue Linie). In diesem Zeitraum von 21 Jahren liegen die Höhenänderungen, bezogen auf den Punkt Zemendorf (39221), zwischen -36 mm und +10 mm. In Relation zu Horn setzte sich der letzte Punkt dieses Zuges um -2,1 mm/Jahr. Der Punkt 49910 mit einer Setzung von -35,6 bezüglich Zemendorf kann als Ausreißer aufgefasst werden, da seine Nachbarn deutlich andere Bewegungen aufweisen.

Vom Verknüpfungspunkt 49968 zweigt schließlich die Linie **Lutzmannsburg** ab und reicht bis zur Grenze zu Ungarn. Diese Linie wurde 1961 und 1995 übermessen. Die grüne Linie in der Abbildung 4.28 stellt die Nullmessung dar, die blaue Linie die über 34 Jahre andauernden Höhenbewegungen. Lokaler Bezugspunkt in dieser Abbildung ist der Verknüpfungspunkt Oberpullendorf (49968). Lokal betrachtet reichen die Höhenänderungen von -24 mm bis +12 mm.

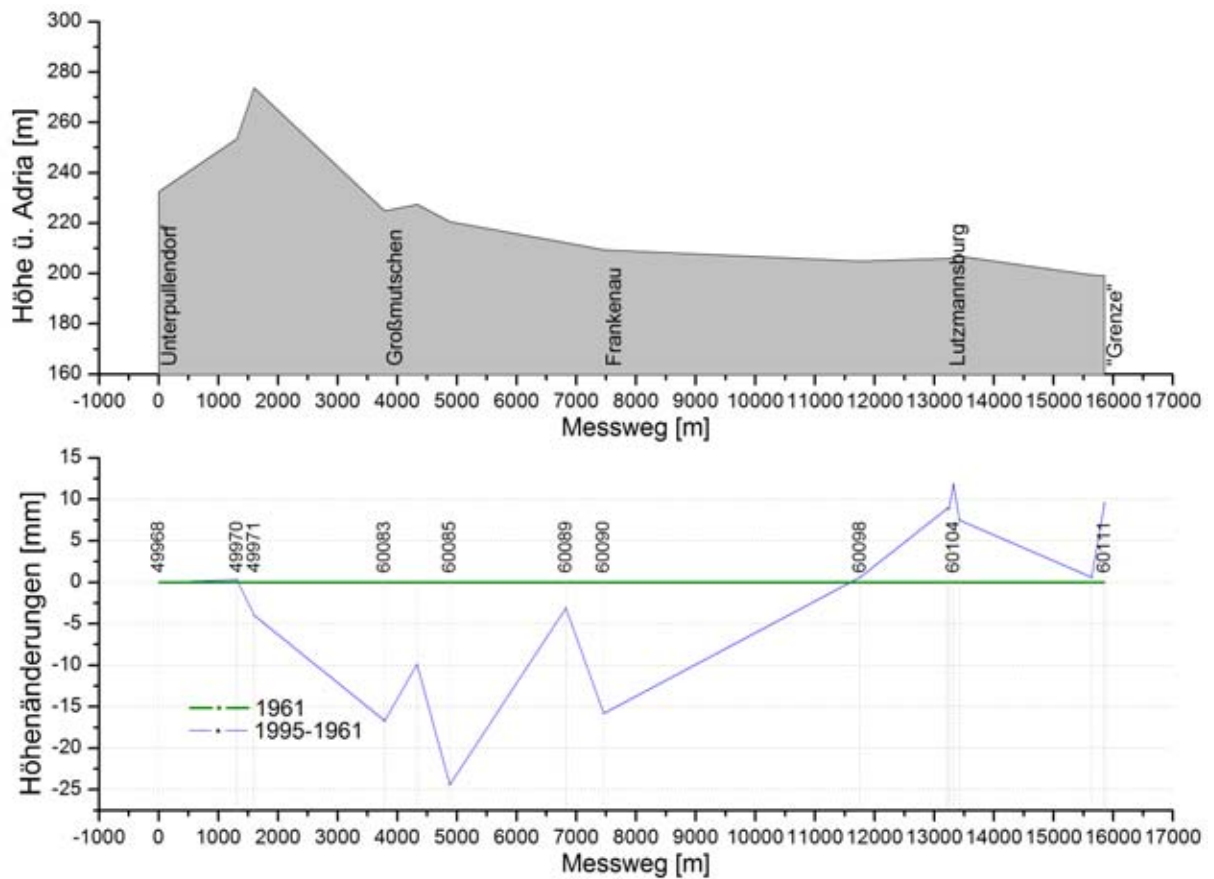
Nachdem die Datengewinnung (die Digitalisierung der Archiv-Daten) bereits abgeschlossen war, wurden vom BEV einige Gegenüberstellung des Bereichs Wiener Neustadt bis Donnerskirchen



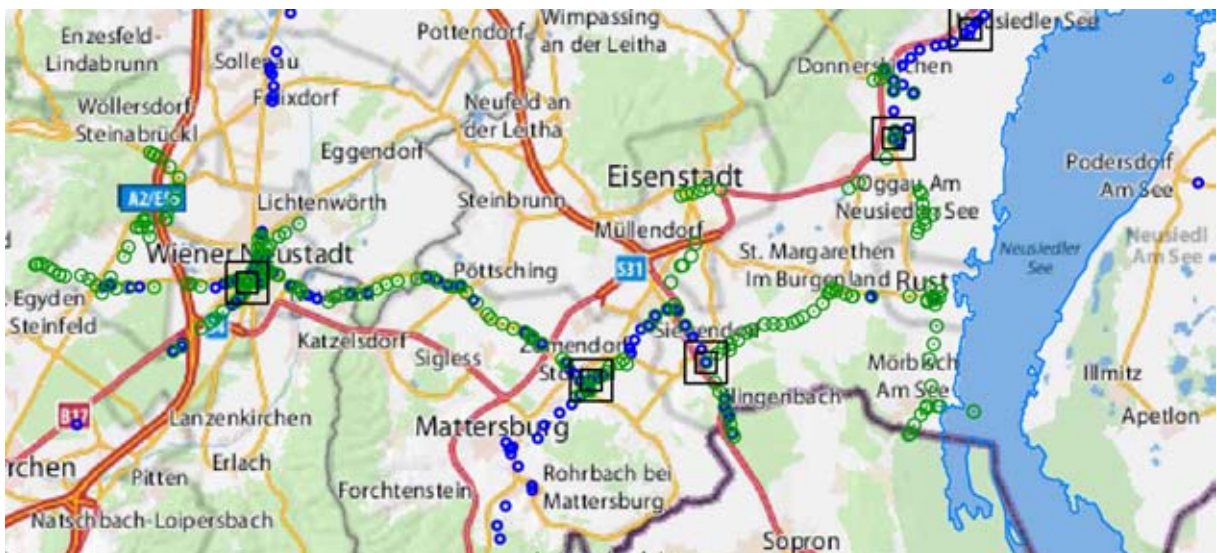
**Abbildung 4.27.:** Zug Neusiedl - Umgebung. Die gesamte Linie, bezogen auf Neusiedl (37223), senkt sich.

vollendet und für diese Untersuchung zur Verfügung gestellt. Durch die neuerlichen Übermessungen der in Abb. 4.4 auf Seite 54 erkennbaren getrennten Messwege zwischen Wiener Neustadt und Neusiedl, konnte eine große Datenlücke geschlossen werden. Ein weiterer großer Gewinn ist eine Linie direkt am westlichen Seeufer des Neusiedlersees. Bisher musste diese Linie aus Mangel an Wiederholungsmessungen ausgelassen werden. Neben einigen kürzeren Gegenüberstellungen gibt es zwei Linien, die fast den gesamten Messbereich der neuen Daten abdecken. Diese beiden Hauptlinien werden anhand der Abbildungen ihrer Geländeoberkanten und der Bewegungsraten ihrer Punkte besprochen. In Abbildung 4.29 sind die neu hinzugekommenen Punkte der Gegenüberstellungen grün hervorgehoben. Die Neuübermessungen beinhalten einige bereits in den früheren Messdaten enthaltene Punkte, aber vor allem kommen sehr viele neue dazu.

Für die insgesamt 13 neuen Gegenüberstellungen in *MS Excel*-Format musste noch der Horn-Bezug hergestellt werden, denn in jeder Gegenüberstellung war ein regionaler Nullpunkt gewählt worden. Dieser Bezugspunkt liegt entweder am Anfang der Gegenüberstellung oder es wurde ein Verbindungspunkt zwischen Gegenüberstellungen dafür gewählt. Es besteht bei fast allen Gegenüberstellungen zumindest eine Verbindung zu einer anderen. In sieben der neuen Tabellen kommen auch verschiedene Verknüpfungspunkte aus den bereits verarbeiteten Daten vor. Dadurch war es möglich zu fast allen neuen Daten einen Bezug zu Horn herzustellen. Die Verknüpfungspunkte Oggau (37313), Siegendorf (39252), Zemendorf (39221) und Wiener Neustadt (39153) stecken in



**Abbildung 4.28.:** Zug Lutzmannsburg zur Grenze mit Bezug zum Verknüpfungspunkt 49968. Der Großteil der Linie senkt sich, erst am Ende des Zuges kommt es zu leichten lokalen Hebungen.



**Abbildung 4.29.:** Ausschnitt des Beobachtungsgebietes im Süden mit den Punkten der neuen Messungen in grün und den Punkten der alten Messungen in blau. Die schwarzen Quadrate markieren wieder die Verknüpfungspunkte der Linien.

den neuen Gegenüberstellungen.

Grundsätzlich kamen diese vier Verknüpfungspunkte für den Bezug auf Horn in Frage. Hierbei sollte

die Verbindung aber nur über einen Punkt erfolgen. Da in unmittelbarer See-Nähe größere Bewegungen vermutet werden, fiel die Wahl auf den entferntesten Punkt in Wr. Neustadt (39153). Dieser Punkt ist auf einem Gebäude befestigt und sollte damit weitgehend stabil sein. Bei Höggerl (2001) ist nachzulesen, dass „große, gut fundierte Objekte eine nahezu gleiche Stabilität aufweisen, wie Vermarkungen im Fels“. Der Anschluss der neuen Messdaten an den Bezugspunkt Horn erfolgte wieder durch die Berechnung im Uhrzeigersinn. Der Punkt 39153 kommt in zwei der neuen Gegenüberstellungen vor. Durch schon zuvor angesprochene idente Punkte zwischen den neuen Tabellen können auch noch weitere Gegenüberstellungen miteinbezogen werden. Leider kann auch durch diesen reichhaltigen Datengewinn keine Verbindung zwischen dem noch nicht angehängten Zug nach Pamhagen und den Hauptschleifen hergestellt werden.

Bei Betrachtung der Datenübersichts-Tabelle 4.2 auf Seite 51 erkennt man eine fünffache Übermessung auf der Linie Hütteldorf - Wiener Neustadt im südlichsten Teil. Wie aber auch in dieser Tabelle angemerkt wird, ist eine Darstellung aller fünf Epochen nicht möglich, da bei der ersten Messung eigentlich ein anderer Weg gewählt wurde, was in Kapitel 4.1.2 bereits erwähnt wurde.

Bei den neuen Daten gibt es zwei Hauptzüge. Einer verläuft von Wr. Neustadt über Eisenstadt nach Donnerskirchen, ein weiterer beginnt ebenfalls bei Wr. Neustadt, läuft aber über St. Margarethen nach Donnerskirchen. Die erste Hauptlinie verläuft von Donnerskirchen über Eisenstadt nach Wiener Neustadt und Umgebung. Ihr Geländeprofil und die vertikalen Punktbewegungen sind den Abbildungen 4.30 und 4.31 zu entnehmen<sup>5</sup>. Lokaler Bezugspunkt dieses Zuges ist der sechste Punkt von links (39589) in Abb. 4.30. Die Linien P 785 und P 786 liegen auf der Strecke Wiener Neustadt - Hütteldorf. Wie bereits erwähnt wurde dieser Teil der Linie insgesamt fünfmal übermessen, die erste Messung aus dem Jahr 1955 folgt aber einem anderen Messweg und liefert daher für diese Gegenüberstellung keine Daten (siehe Tabelle 4.2 auf Seite 51). Seither wurde die Linie im Jahr 1969 übermessen, diese ist auch für diese Darstellung die Referenzmessung (grüne Linie), dann 1986 (rote Linie), weiters 1990 (schwarze Linie) und zuletzt 2009 (blaue Linie). Zu Beginn von P 785 erkennt man sich bestätigende Bewegungen der Punkte, am Ende dieses Teilstücks widersprechen sie sich wieder. Generell sind die hier auftretenden Bewegungen eher gering.

Auch für die Linie P 786 ist die Messung aus dem Jahr 1955, aufgrund eines anderen Messweges, nicht zu verwenden. Die Nullmessung stammt hier aus dem Jahr 1972 (grün), die Folgemessung aus 2009 (blaue Linie). Abgesehen von einer Hebung von +14 mm liegen hier über die 37 vergangenen Jahre nur Senkungen bis zu -24 mm (im Seitennivellment Wiener Neustadt) vor. Dieser Linienteil reicht bis zum Verknüpfungspunkt Wiener Neustadt.

Der Teil P 772 gehört zur Linie Siegendorf - Wiener Neustadt, beinhaltet aber auch hier nicht die älteste Messung aus dem Jahr 1956 sondern die Nullmessung stammt aus dem Jahr 1973, was der Folgemessung in Abb. 4.19 auf Seite 74 entspricht. Diese Messung wird mit der aus 2009 verglichen. Resultate sind, bezogen auf den Felspunkt 39589, deutliche Setzungen zwischen -3 mm und -84 mm über einen Zeitraum von 36 Jahren.

Auch die Linien P 773 und P 774 gehören zur Strecke Siegendorf - Wiener Neustadt. Die Nullmessung stammt aus 1973, die Folgemessung aus 2009. Auch hier liegen nur Senkungen vor.

P 775 ist als Seitennivellment eine Zeile unter der Hauptlinie in Abb. 4.31 zu sehen. Sie zählt

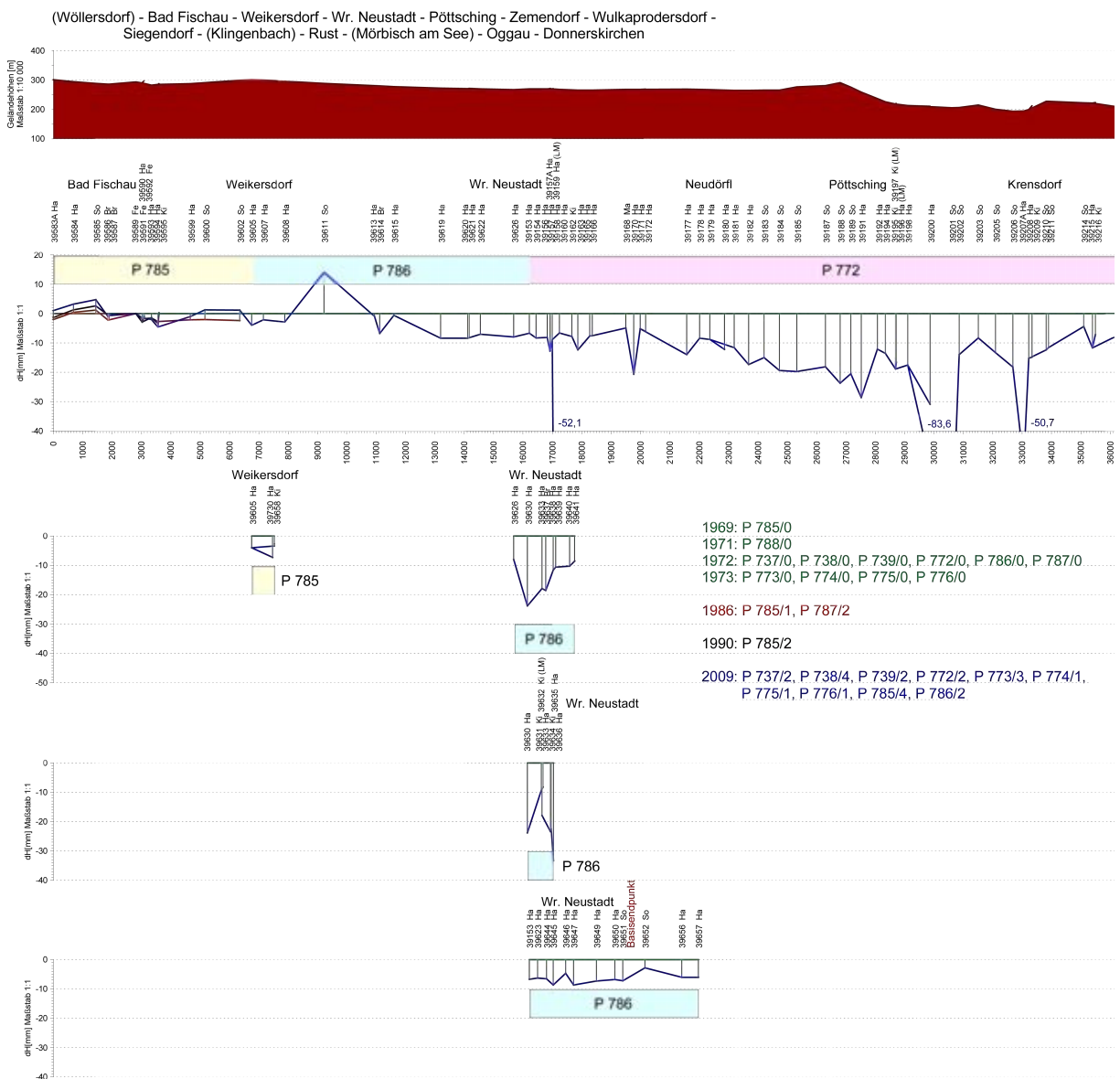
---

<sup>5</sup>Abbildungen des BEV, erstellt mit Grapher.

gemeinsam mit P 776, P 737 und P 738 zur Linie Neusiedl - Siegendorf. Die Messungen stammen wieder aus 1973 und 2009. Bezogen auf 39589 liegen die Höhenänderungen zwischen -68 mm und +37 mm. Interessanterweise sind die beiden Extrema Nachbarpunkte und liegen keine 400 Meter auseinander.

Ausgehend von der Linie P 738 verläuft noch ein Seitennivellement am Westufer des Neusiedlersees entlang bis nach Mörbisch am See. Für diese Region waren bis jetzt keine Werte verfügbar. Die Messungen stammen aus 1972 und 2009. Bezogen auf den lokalen Bezugspunkt 39589 liegen die Höhenänderungen für den Zeitraum von 37 Jahren bei maximal -40 mm. Der Punkt 37379 hat sich sogar um -100,5 mm bewegt, was wohl nicht nur durch Krustenbewegungen verursacht wurde.

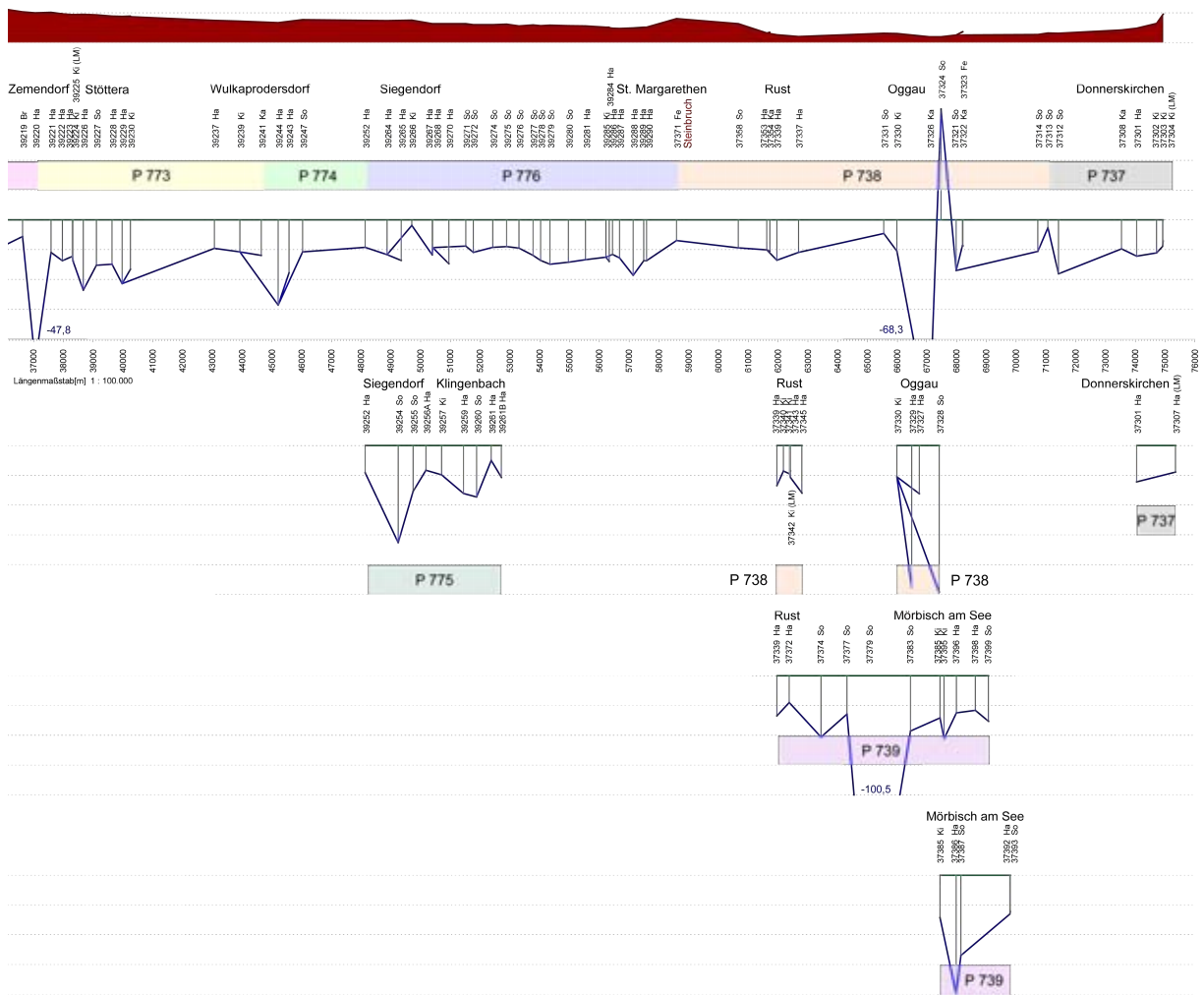
**Gegenüberstellung Nr. 2 der Meßergebnisse Op. 1/09**



**Abbildung 4.30.:** Linker Teil der neuen Daten: Zug über St. Margarethen mit lokalem Bezugspunkt 39589, Grapher-Abb. des BEV. Der anschließende rechte Teil folgt in Abbildung 4.31

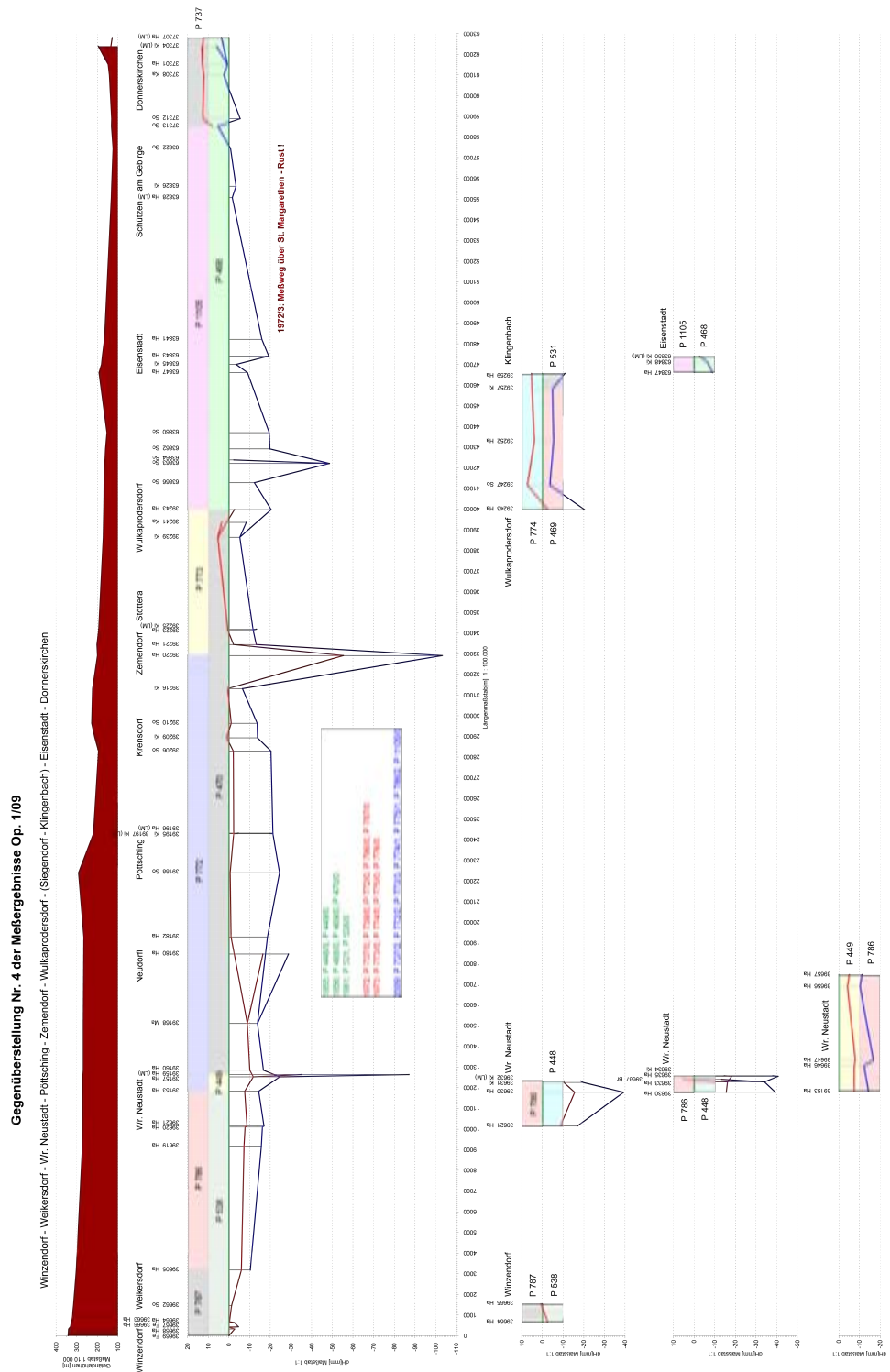
Die zweite Hauptlinie (siehe Abbildung 4.32 <sup>6</sup>) beginnt westlich bei Winzendorf, führt weiter über

<sup>6</sup>Abbildung des BEV, erstellt mit Grpaher.



**Abbildung 4.31.:** *Rechter Teil der neuen Daten des Zugs über St. Margarethen, Abb. des BEV*

Wiener Neustadt und Zemendorf und Wulkaprodersdorf. Bis dahin entspricht der Weg dem der vorigen Hauptlinie, nur mit dem Unterschied, dass hier ältere Messungen aus den 50er Jahren als Nullmessungen herangezogen wurden. Von Wulkaprodersdorf verfolgt die Linie nun einen anderen Weg: über Eisenstadt. Die diese Strecke wurde 1956 erstmals übermessen und dann wieder 2009. Die Berechnung der Südschleife erfolgte noch auf getrennten Messwegen. Beim Verknüpfungspunkt Oggau 37313 treffen die Hauptlinien wieder aufeinander. Bezugspunkt für die Abbildung 4.32 ist 39669 bei Winzendorf. Wie auch auf der ersten Hauptlinie dominieren hier die Setzungen wobei die meisten über -30 mm bleiben. Bei Wiener Neustadt und Zemendorf finden sich Punkte, die Bewegungen um -100 mm aufweisen. Durch die Dreifachübermessung in diesem Bereich scheinen diese Werte durchaus zu stimmen, sind aber sicher nicht durch Krustenbewegungen verursacht worden.



**Abbildung 4.32.:** Zweite Hauptlinie mit lokalem Bezugspunkt 39669: Winzendorf - Eisenstadt - Donnerskirchen, Abb. des BEV.



## 4.4. Visualisierungen mit geologischen Karten

Für die geologische Interpretation war es entscheidend zu wissen, welche geologischen Zonen die jeweiligen Züge durchlaufen. Daher wurde neben den Visualisierungen der Gegenüberstellungen mit den dazugehörigen Höhenprofilen (zB. Abb. 5.8 auf Seite 112) zusätzlich die Koordinaten der Höhenfestpunkte mit verschiedenen geologischen Karten des Untersuchungsgebietes unterlegt.

Dafür stellte das BEV die Lagekoordinaten der Höhenfestpunkte, wieder in Form mehrerer *Excel*-Tabellen, zur Verfügung. Die auf Meter angegebenen Koordinaten wurden zuerst in die Vermessungssoftware *Geosi 6.0* der Firma *IDC EDV-GmbH* eingelesen und anschließend für weitere Bearbeitungsschritte als *DXF* in das Programm *Autocad 2004* von *Autodesk* übertragen.

Parallel dazu wurden aus dem Internet verschiedene geologische Karten erhoben. Auf der Homepage der Geologischen Bundesanstalt (GBA) <sup>7</sup> finden sich digitale Karten im Maßstab 1:50 000 über Gebietsabschnitte von ca. 15 mal 25 Kilometern. Nachdem die geologische Karte im Maßstab 1:50 000 nicht flächendeckend für den Bereich des Untersuchungsgebietes zur Verfügung stand, wurden zusätzlich die geologischen Karten von Niederösterreich im Maßstab von 1:200 000 von Schnabel (2002), verwendet. Die in allen Karten eingetragene Topographie stammt von Daten des BEV. Da der tektonische Informationsgehalt der Karte im Maßstab 1:200 000 für die hier vorzunehmende Interpretation ausreicht, wurde in weiterer Folge auf die Einbindung der Kartenwerke in kleinerem Maßstab für die Visualisierung verzichtet.

Mit Hilfe des von der Firma *Adobe* entwickelten Bildbearbeitungsprogramms *Photoshop CS3* wurde der Kartenrahmen entfernt, um ein möglichst nahtloses Aneinanderreihen der Kartenteile zu ermöglichen (die geologische Karte von NÖ ist unterteilt in einen Nord- und einen Südteil). Zusätzlich mussten die Kartenstücke anhand ihrer Koordinatengitter völlig horizontal gedreht werden, da im Zuge des Einscannens der Karten leichte Verdrehungen entstanden waren. Schlussendlich konnten die Kartenstücke anhand mehrerer Passpunkte zu den Höhenfestpunkten im *Autocad* eingepasst werden. Die Passpunkte ließen sich mit Hilfe der eingezeichneten Koordinatengitter den Karten entnehmen. In den Karten werden Bundesmeldenetzkoordinaten (BMN) im Meridianstreifen M34 verwendet. Um in das System der Höhenfestpunkte zu gelangen, musste somit noch auf Gauß-Krüger-Koordinaten umgerechnet werden <sup>8</sup>. Neben der geologischen Karte von Niederösterreich wurden, in gleicher Weise, noch weitere Karten der GBA in das System der Höhenfestpunkte eingepasst. Weiters fanden die geologischen Themenkarten (vor allem die Strukturkarte) des Wiener Beckens (Kröll and Wessely (1993)) und die geologische Karte im Maßstab 1:2 000 000 (Egger et al. (1999)) Verwendung. Ausschnitte der Karten finden sich bei der Interpretation im Kapitel 5 bzw. im Anhang.

---

<sup>7</sup>Geologischen Karten finden sich unter dem Menüpunkt - Geokarten - der Homepage der Geologischen Bundesanstalt: <http://www.geologie.ac.at/>.

<sup>8</sup>Diese Umrechnung entspricht einer Verschiebung: beim Rechtswert der BMN-Koordinate müssen im M34 750 000 subtrahiert werden und beim Hochwert müssen 5 000 000 zur BMN-Koordinate addiert werden.

## 4.5. Erstellung einer flächenhaften Bewegungskarte des Untersuchungsgebietes

Abschließend wurde eine flächenhafte Darstellung der Bewegungsraten der Höhenfestpunkte in Form von Linien äquidistanter Höhenbewegungsraten (Vertikalgeschwindigkeiten in mm/Jahr) erstellt. Diese Aufgabe wurde mit dem Programm *Surfer 8* der Firma *Golden Software* erarbeitet. Dies erfolgte durch Importieren der Lagekoordinaten aller Festpunkte sowie ihrer Vertikalgeschwindigkeiten in Bezug auf den Punkt Horn in das Programm *Surfer 8*. Damit fließen über 1000 Messungen in diese Darstellung ein. Die Geschwindigkeiten  $v_i$  berechneten sich durch Division der Höhenänderung mit der Jahresanzahl der zwischen den Messungen verstrichenen Zeit und erfordern daher eine individuelle Berechnung auf jeder Linie. Bei Punkten mit mehreren berechneten Werten, zu denen es beim Schleifenabschluss in Horn oder auch beispielsweise bei der Verbindung von Linien kommt, wurden entweder schon vor dem Import, spätestens aber bei den weiteren Bearbeitungsschritten in *Surfer 8* aus dem Datensatz eliminiert. Weiter verwendet wurde der kleinste Wert, da ja eher von geringen Höhenänderungen ausgegangen wird.

Vor der Erstellung der Grafiken mit Linien äquidistanter Geschwindigkeiten musste die Verteilung der Messwerte geklärt werden. Daher wurde anhand der 1023 Messwerte ein *Histogramm* erstellt, wobei die Intervallgrenze mit 0,2 mm/Jahr festgelegt wurde. In Abbildung 4.33 ist das

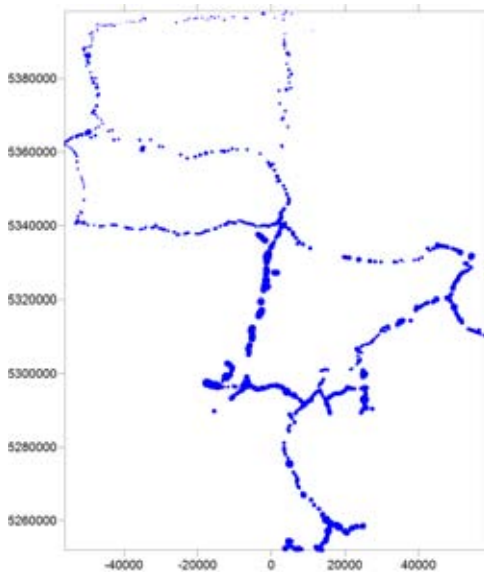


**Abbildung 4.33.:** Häufigkeitsverteilung der Höhenbewegungsraten mit einer Intervallgröße von 0,2 mm für einen Bereich von  $\pm 10$  mm/Jahr (horizontale Achse). Auf der vertikalen Achse ist die Anzahl der auftretenden Werte pro Intervallklasse aufgetragen.

Ergebnis dieser Datenanalyse zu sehen. Das Maximum mit 151 Werten liegt bei -1,4 mm/Jahr. Das arithmetische Mittel des Datensatzes liegt bei -1,3 mm. Wie sich der Abbildung 4.33 sehr gut entnehmen lässt, liegen 99% alle Werte zwischen -4 mm und 0,6 mm. Die einzelnen Werte, die außerhalb dieser Grenzen liegen werden als Ausreißer betrachtet und nicht in die weitere Bearbeitung miteinbezogen. Damit reduzieren sich die importierten Daten in *Surfer 8* zu 1015 Werten. Allgemein lassen sich durch Histogramme und Stamm-Blatt-Diagramme Ausreißer aus einem Datensatz gut feststellen<sup>9</sup>. Eine räumliche Analyse der Datenverteilung ist durch das Histogramm allerdings nicht bewerkstelligt. Durch die Berücksichtigung des räumlichen Zusammenhangs der Daten lassen sich eventuell bereits Trends im Datensatz feststellen. Normalerweise wird bei benachbarten Beobachtungsdaten von einer stärkeren Korrelation zueinander ausgegangen als bei Daten die weiter voneinander entfernt liegen. Zur Begutachtung der räumlichen

<sup>9</sup>Informationen zur Explorativen Datenanalyse bzw. Geostatistik stammen aus dem Vorlesungsskript Ausgleichsrechnung II von Dr. Gerhard Navratil.

Verteilung bedient man sich in der Geostatistik beispielsweise eines Lageplots. Abbildung 4.34 zeigt ein Beispiel für so einen Plot, angewendet auf den Datensatz der Vertikalgeschwindigkeiten.



**Abbildung 4.34.:** Lageplot mit *Surfer 8*. Je größer die Kreise desto stärkere Senkungen.

Die räumliche Lage der Messwerte ist in dieser Abbildung enthalten. Die Werte der Vertikalgeschwindigkeiten werden durch verschieden große Kreise dargestellt, wobei für positive Werte (Hebungen) der kleinste Radius festgelegt wurde. Bei Abnahme der Geschwindigkeiten wachsen die Kreise linear an. Damit ergeben sich für die größten Senkungen im Untersuchungsgebiet auch die größten Kreise. Durch diese Darstellung kann nur ein Trend festgestellt werden: die negativen Geschwindigkeiten nehmen im südlichen Gebiet stark zu, besonders im Südwesten.

Um flächendeckend Höhenbewegungsraten zu erhalten, wurde zuerst eine Rasterdatei aus den importierten Daten berechnet. Dazu bietet *Surfer 8* viele verschiedene Interpolationsmethoden an, die alle versuchsweise auf den Datensatz angewendet wurden. Die zwei aufschlussreichsten Ergebnisse können den Grafiken 4.36 und 4.37 entnommen werden. Die schwarzen Kreuze in den Visualisierungen stellen die einzelnen Nivellementfestpunkte dar. In

Abbildung 4.36 wurden die Rasterdaten mit Hilfe der sogenannten **Kriging-Methode** erzeugt, Abbildung 4.37 zeigt das Resultat der mit der **Natural Neighbor-Methode** erzeugten Rasterdatei. Auf diese Algorithmen soll im folgenden Kapitel kurz eingegangen werden.

#### 4.5.1. Erläuterungen zu den verwendeten Interpolationsmethoden

Im Programm *Surfer 8* ist die Interpolationsmethode *Kriging* als Standard-Methode eingestellt. Laut Hersteller führt sie für die größte Menge an getesteten Datensätzen zu den brauchbarsten Ergebnissen. Bei den hier eingesetzten Daten war das Ergebnis weitgehend zufriedenstellend, es wurden aber noch weitere Interpolationsmethoden, die *Surfer* zur Verfügung stellt, getestet. Dieser Testdurchlauf aller angebotenen Methoden führte teilweise zu sehr unterschiedlichen aber nicht aufschlussreichen Ergebnissen. Die Interpolationsmethode *Natural Neighbor* führte noch zu einem optisch ansprechenden Ergebnis. In Folge sollen die beiden tatsächlich verwendeten Interpolationsmethoden kurz vorgestellt werden.

##### Kriging-Methode

Das ab den 1950er Jahren entwickelte lineare Schätzverfahren ist nach dem südafrikanischen Bergbauingenieur D. G. Krige benannt und diente nach speziellen Anwendungen aus dem Bereich des Bergbaus<sup>10</sup>. Kriging leitet sich von der Methode der kleinsten Quadrate ab. Bei dieser geostatistischen Interpolationsmethode soll anhand der bekannten Daten  $Z(x_j)$  an den unterschiedlichen

<sup>10</sup>Informationen zu Kriging finden sich im Vorlesungsskript Ausgleichsrechnung II von Dr. Gerhard Navratil, Kapitel Geostatistik.

Orten  $x_i$  eine Schätzung des unbekanntes Wertes  $Z(x_0)$  an der Stelle  $x_0$  erfolgen. Dafür definiert man einen Prädiktor  $p(Z; x_0)$  und eine Verlustfunktion  $L(Z(x_0), p(Z; x_0))$ . Letztere gibt die Abweichung an, die entsteht wenn man  $Z(x_0)$  mit dem Prädiktor abschätzt. Ein linearer Prädiktor hat die Form

$$p(Z; x_0) = k + \sum \lambda_i^i \cdot Z_{x_i}. \quad (4.7)$$

wobei die  $\lambda^i$  so bestimmt werden, dass die Verlustfunktion minimiert wird. Für den Schätzer besonders wichtig ist das den räumlichen Zusammenhang der Verteilung beschreibende theoretische Variogramm <sup>11</sup>. Durch dieses Variogramm werden nicht beobachtbare Korrelationen zwischen Messwerten in den Schätzvorgang miteinbezogen um die Gewichtung zu verbessern. Ausgegangen wird dabei auch von der Annahme, dass näher liegende Messungen dem unbekanntes Wert ähnlicher sein müssen, als weiter entfernt liegende Messungen. Diese Tatsache gilt für den hier verwendeten Datensatz aber nicht überall (siehe Abb. 4.34). Stark variierende Werte können aber ein Hinweis auf eine tektonische Störung sein.

Laut offizieller Beschreibung des Herstellers <sup>12</sup> gilt für den implementierten Kriging-Algorithmus in *Surfer 8*:

*„The kriging method uses trends in the map to extrapolate into areas of no data, sometimes resulting in minimum and maximum Z values in the grid that are beyond the values in the data file. This could be acceptable in a structure map or topography map, but not in an isopach map where the extrapolation produces negative thickness values.“*

Nach dieser Beschreibung scheint diese Interpolationsmethode perfekt für den hier verwendeten Datensatz zu sein. Auch in der Arbeit von Schweizer (1992) werden die dort publizierten räumlichen Darstellungen der Höhenänderungen mit dem Kriging-Verfahren interpoliert.

Das Resultat unter Verwendung dieses Schätzers für die Daten dieser Diplomarbeit ist in Abbildung 4.36 dargestellt. Wie vom Hersteller des Programms *Surfer 8* versprochen, werden auch Datenwerte bis in die Randbereiche ohne Messwerte berechnet. Trotzdem scheint mit dieser Abbildung das beste Resultat nicht erreicht zu sein. Die hier generierten Linien gleicher Geschwindigkeiten sind teilweise sehr eckig was vermutlich an der inhomogen verteilten Datenmenge liegt. Im Grunde ist auch eine Ausreizung von prädierten Daten bis an die Bildränder nicht notwendig. Daher wurden in Folge sämtliche Schätzer-Algorithmen, die *Surfer 8* zur Erstellung von Rasterdateien zur Verfügung stellt, ausgetestet. Ein durchaus gutes Resultat wurde, wie bereits erwähnt, mit der Natural Neighbor-Methode erlangt. Diese soll in Folge ebenfalls kurz erläutert werden.

## Natural Neighbor-Methode

Der Hersteller beschreibt in seinem Trainings-Guide <sup>13</sup> diesen Algorithmus folgendermaßen:

*„The natural neighbor gridding method uses a weighted average of the neighboring observations. This method generates good contours from data sets containing dense data in some areas and sparse data in other areas. It does not generate data in areas without data and does not extrapo-*

<sup>11</sup>Informationen zu Kriging unter: [http://www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/gis\\_ws04/ha/kissauer.pdf](http://www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/gis_ws04/ha/kissauer.pdf).

<sup>12</sup>Self-paced Training Guide for Surfer 9 (GoldenSoftware): <http://www.goldensoftware.com/Surfer9TrainingGuide.pdf>

<sup>13</sup>Self-paced Training Guide for Surfer 9 (GoldenSoftware): <http://www.goldensoftware.com/Surfer9TrainingGuide.pdf>

late Z grid values beyond the range of the data.“

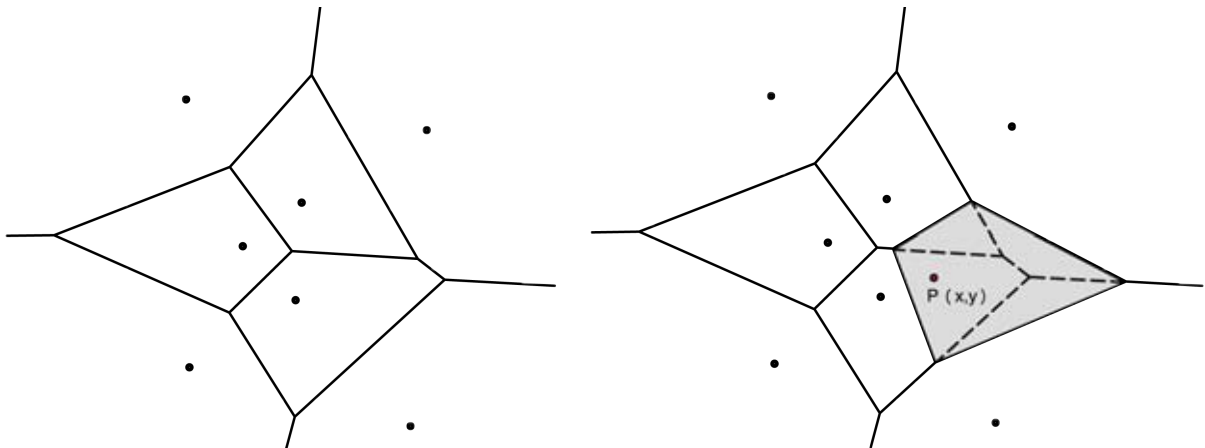
So wie es scheint, ist dieser Algorithmus speziell für inhomogen verteilte Datenmengen ausgelegt, was sich optisch auf jeden Fall bezahlt macht (siehe Abbildung 4.37). Dass für den Raum außerhalb der Nivellementlinien keine Extrapolation generiert wird, ist auch nicht weiter problematisch, da in erster Linie das Ergebnis für den Kernbereich von Interesse ist.

Die Funktionsweise der Natural Neighbor-Methode<sup>14</sup> soll noch kurz beschrieben werden:

Diese Interpolationsart beruht auf den sogenannten *Voronoi-Diagrammen* (manchmal findet sich auch der Ausdruck Thiessen-Polygon), daher wird sie oft auch als Voronoi-Interpolation bezeichnet. Jeder Messpunkt des Datensatzes wird von einem Voronoi-Diagramm so umschlossen, dass der Bereich innerhalb des Polygons immer näher zum umschlossenen Punkt liegt als zu den anderen Nachbarpunkten. Die Polygon-Seiten ergeben sich somit aus dem gleichen Abstand zwischen den jeweiligen Punkten (siehe Abbildung 4.35, Bild links). Die Grundgleichung für einen neu zu schätzenden Wert F an der Stelle x,y lautet:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x_i, y_i) \quad (4.8)$$

mit  $w_i$  als Gewichtung und  $f_i$  als Wert der bekannten Daten in den Punkten  $(x_i, y_i)$ . Grafisch kann man sich das folgendermaßen vorstellen: Fügt man einen weiteren Punkt ein, für den man den Messwert durch Interpolation gewinnen möchte, verändern sich automatisch die Seiten der Voronoi-Diagramme in direkter Umgebung. Für den Neupunkt entsteht ein eigenes Polygon, um das sich seine Nachbarpolygone anschmiegen (rechtes Bild in Abbildung 4.35). Die Fläche, die nun



**Abbildung 4.35.:** Beispiel für eine Messdatenverteilung und deren Voronoi-Diagramme in der linken Abbildung; Abbildung rechts: die durch Einfügen eines weiteren Punktes veränderten Diagramme.

das neue Voronoi-Diagramm umschließt wurde ursprünglich auf verschiedenen große Anteile mehrerer Nachbar-Diagramme aufgeteilt. Durch die Verteilung der ehemaligen Anteile der Nachbarn an dem neu entstandenen Polygon können Gewichtungen für jeden Nachbarpunkt berechnet werden, die dann in die Grundformel einfließen. Der neue Wert in  $F(x,y)$  setzt sich somit zusammen aus den einzelnen Gewichten jener Nachbarpunkte, die durch Einfügen des Neupunktes Fläche an das neue

<sup>14</sup>Zusammenfassung des Natural Neighbor-Alg. z.B. unter der Homepage der Firma *Environmental Modeling Systems Inc. (EMS)* unter [http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation\\_Schemes/Natural\\_Neighbor\\_Interpolation.htm](http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Natural_Neighbor_Interpolation.htm).

Voronoi-Diagramm abgeben müssen.

#### 4.5.2. Ergebnisse

Durch Verwendung sehr unterschiedlicher Interpolationsmethoden entstehen auf den ersten Blick zwei unterschiedliche Ergebnisse. Grund dafür ist die ungleiche Verteilung der in die Interpolation einfließenden Messwerte. Trotzdem verschaffen diese Visualisierungen einen guten Eindruck über die Bewegungsraten in diesem Gebiet.

Grundsätzlich wurden für beide Grafiken dieselben Messdaten verwendet. Größere Bewegungen wurden entfernt, da sie die Visualisierungsergebnisse nur weiter verfälschen würden und sicher auf keine tektonischen Ursachen zurückzuführen sind. Anhand der vorigen Häufigkeitsverteilung (siehe Abbildung 4.33) werden nur Werte zwischen -4 und +0,6 mm/Jahr verwendet. Für beide Abbildungen wurden die Bewegungsraten in Intervallschritte von 0,2 mm/Jahr unterteilt.

Die Abbildung 4.36 wirkt detaillierter, jedoch wird hier aufgrund der eckigen Linien der Höhenänderungen deutlich sichtbar, dass die inhomogene Datenverteilung für den in Surfer implementierten Kriging-Algorithmus problematisch ist. Der bereits in Abbildung 4.34 festgestellte Trend zu größeren Bewegungen im Südwesten des Gebietes kommt aber sehr gut zur Geltung.

Bei Abbildung 4.37 erscheint die gesamte Visualisierung mehr geglättet. Die Farbskala reicht hier auch hier von -4 bis +0,6 mm/Jahr. Die Linien der Bewegungsraten werden in Intervallschritten von 0,2 mm/Jahr angezeigt und der Gesamteindruck ist deutlich ruhiger als jener von Abbildung 4.36.

Wie sich beiden Abbildungen entnehmen lässt, überwiegen im nördlichen Teil die Werte zwischen  $\pm 0,5$  mm/Jahr. Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, zeigt sich die Nordschleife relativ stabil. Die positiven Maximalwerte des Datensatzes befinden sich in der Nordschleife. Am Ostende der Linie Horn - Staatz befindet sich der Punkt 37663 mit +0,5 mm/Jahr. Auf der selben Linie befindet sich der Punkt mit der nächstkleineren Hebungsrate. In Pulkau liegt der Punkt 37813A mit einer jährlichen Bewegung von +0,4 mm.

Bei Hinzunahme der Messdaten der Südschleife liegen mehr als 700 Messungen zwischen -2,5 mm und +0,5 mm/Jahr. Ident in den Abbildungen 4.36 und 4.37 ist auch das eindeutige Senkverhalten je weiter südlich die Linien verlaufen. Diese Senkung wurde auch schon zuvor bei der Berechnung bemerkt. Maximale Senkungen von -3,9 mm/Jahr finden sich in Winzendorf, westlich von Wiener Neustadt (Pkt. 39670). Diese Bewegungen sind dem BEV nach allerdings nicht so groß<sup>15</sup>. Möglicherweise liegt hier ein Rechenfehler vor, der bis jetzt nicht aufgedeckt wurde. Zwischen Rust und Mörbisch (37379) und bei Vösendorf (39469) treten ebenfalls vereinzelt Werte mit Bewegungen um -3,9 mm/Jahr auf.

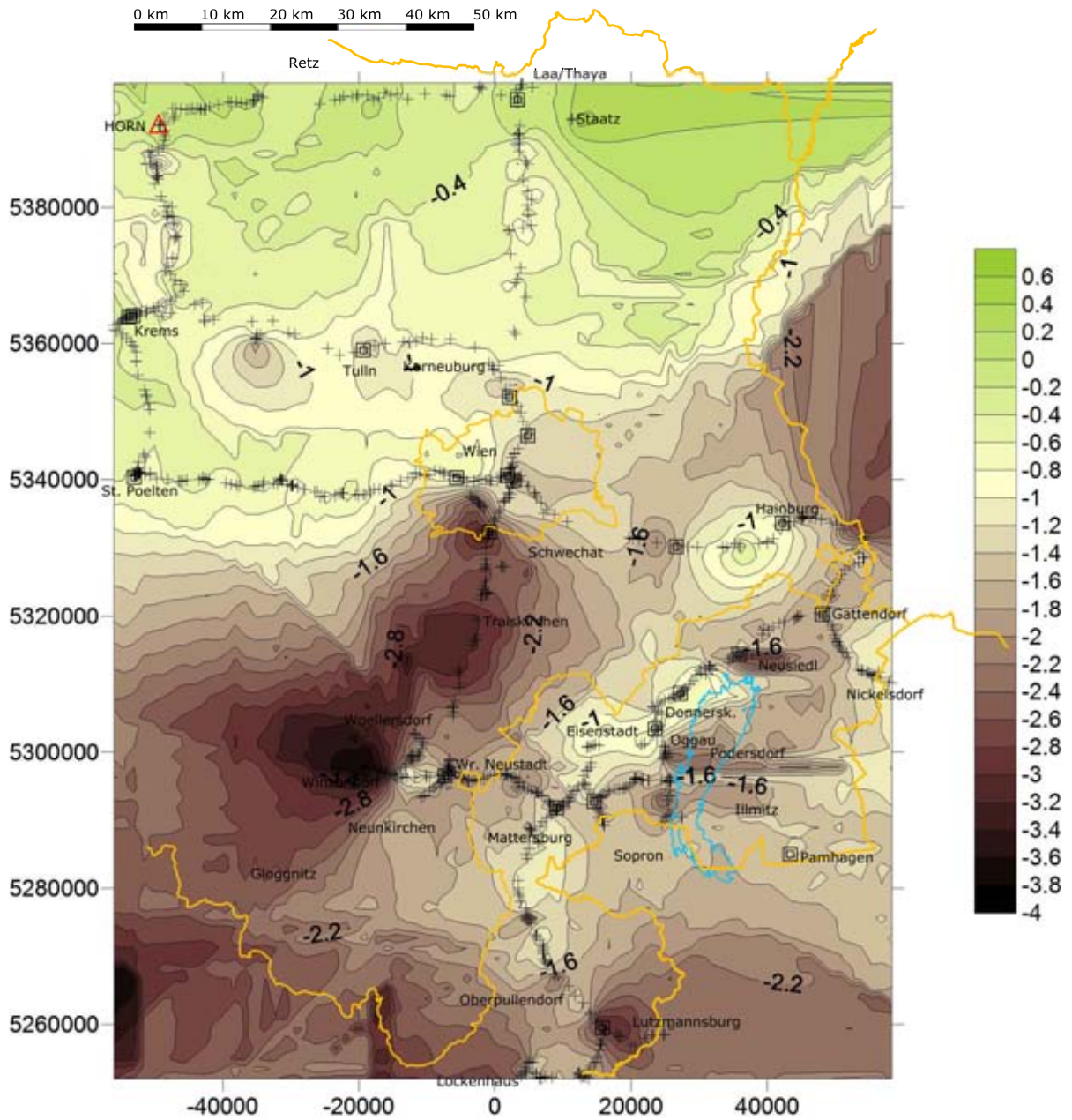
Absenkungen von über -2 mm/Jahr finden sich im Osten der Südschleife von Kittsee bis Neusiedl am See, weiters in der Nähe von Wiener Neustadt, sowie auf der Westseite der Schleife bei Günselsdorf und Vösendorf (leicht südlich von Wien). Auch auf den Südzügen setzt sich der Trend der Absenkung weiter fort. Auf dem Zug östlich des Neusiedlersees, von Gattendorf nach Nickelsdorf, finden sich Senkungen bis etwa -3 mm/Jahr, was sich mit Aussagen von (Tollmann, 1986, S.135)

---

<sup>15</sup>Private Kommunikation mit Mitarbeitern des BEV.

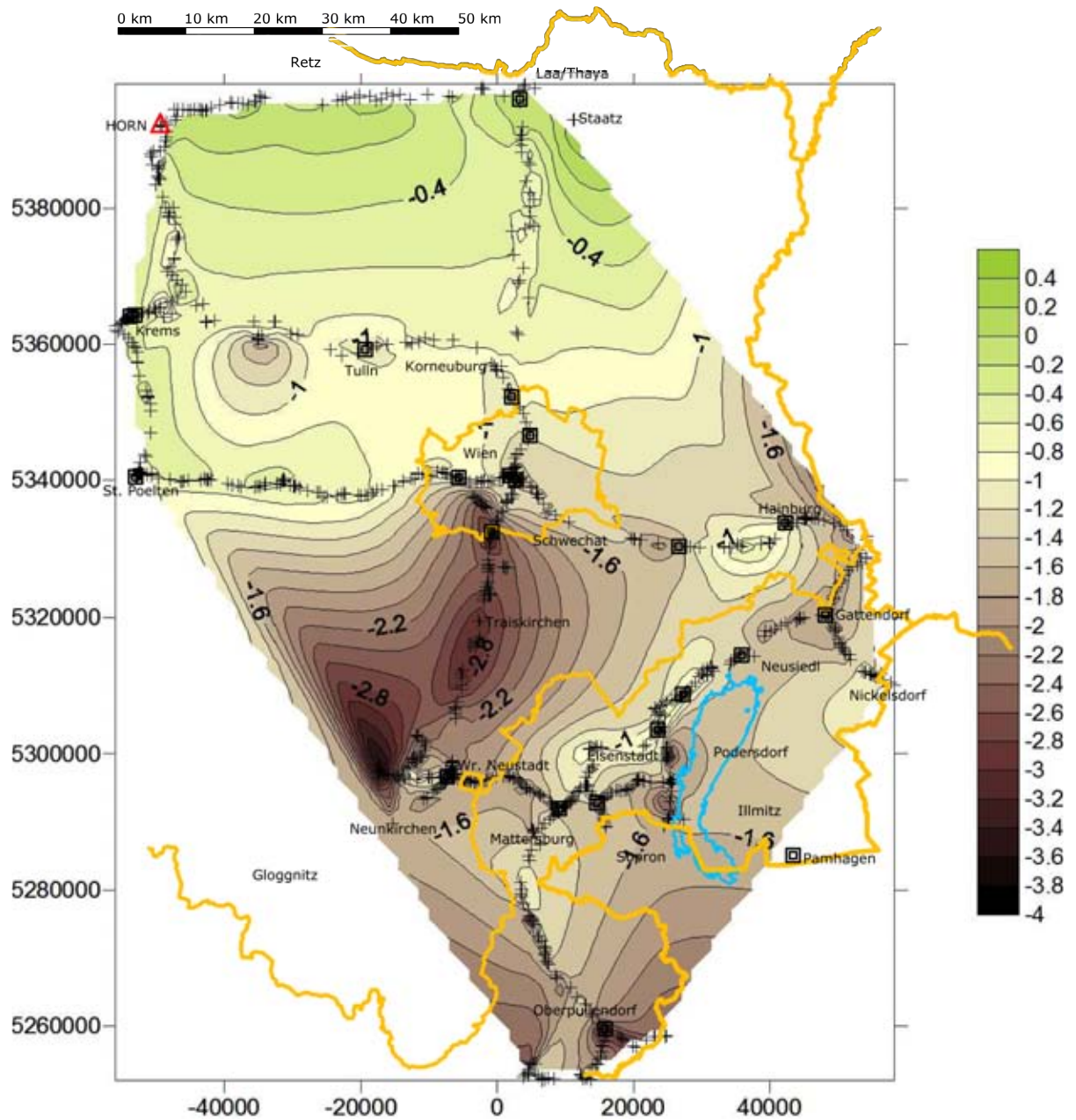
sehr gut deckt. Darin werden Bewegungsraten von etwa -2,5 mm für den Bereich des Seewinkel angegeben. Auf dem Zug westlich des Neusiedlersees, der von Zemendorf bis Lutzmannsburg verläuft, finden sich Bewegungen ähnlichen Ausmaßes in der Nähe von Unterpullendorf. Den Ursachen dieser Bewegungen soll im Kapitel 5 nachgegangen werden.

Grundsätzlich verläuft auch noch eine Nivellementlinie am Ostufer des Neusiedlersees: die Linie Neusiedl - Pamhagen. Wie bereits in Kapitel 4.3 angesprochen, kann aber hier kein Bezug zu Horn hergestellt werden. Aus diesem Grund kann und wird dieser Zug in den folgenden Flächendarstellungen nicht mitberücksichtigt. Es wäre maximal eine lokale Datenanalyse mit einem Referenzpunkt in der Nähe von Neusiedl möglich. Die Größenordnung der Bewegungen dieser Linie sind am Besten der Abbildung 5.10 auf Seite 116 zu entnehmen.



**Abbildung 4.36.:** automatisch generierte Höhenbewegungsraten in mm/Jahr mit Surfer 8. Rasterfelderzeugung mit Kriging. In gelb sind die Staatsgrenze und die der Bundesländer eingetragen. Rot markiert ist der Bezugspunkt Horn.





**Abbildung 4.37.:** automatisch generierte Höhenbewegungsraten in mm/Jahr mit Surfer 8, Rasterfelderzeugung mit Natural Neighbor. In gelb sind die Staatsgrenze und die der Bundesländer eingetragen. Rot markiert ist der Bezugspunkt Horn.

## 5. Die geologische Interpretation der geodätischen Ergebnisse

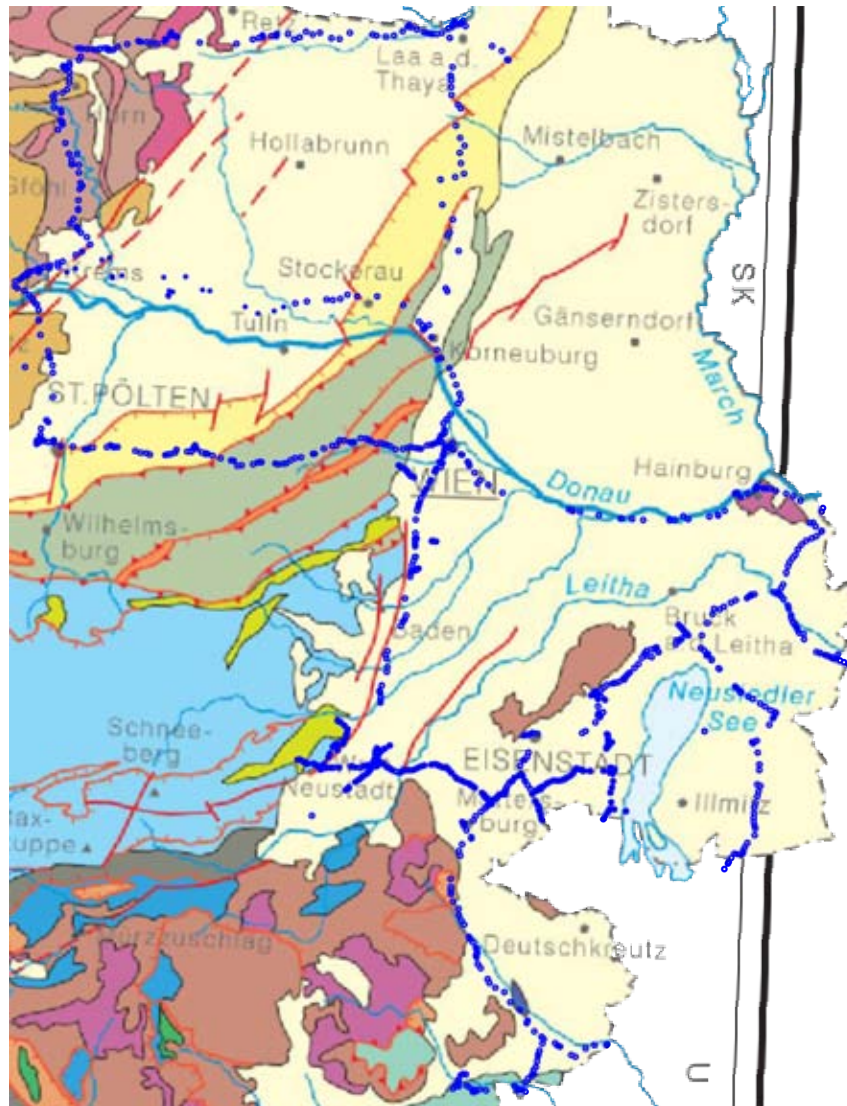
Von den im Kapitel 4 berechneten Höhenänderungen entlang der Präzisionsnivelements sollen einige davon auch aus geologischer Sicht interpretiert werden. Es wurden in seltenen Fällen Höhenfestpunkte entfernt, wenn ihre Bewegungen die Größenordnung für typische vertikale Krustenbewegungen überschritten haben oder weil schon aus Kommentaren in den Gegenüberstellungen auf nicht idente Punkte zwischen erster Übermessung und Folgemessung hingewiesen wurde.

Wie bereits im Kapitel 4 vorgestellt, wurden von sämtlichen digitalisierten Messdaten mit Hilfe von *Origin 7.5* Geländeschnitte und Ansichten der Höhenveränderungen der Punkte erstellt (siehe Kapitel 4.3).

### 5.1. Erste geologische Betrachtungen des Untersuchungsgebietes

Der allgemeine geologische Aufbau von Österreich wurde im Kapitel 2.2 bereits behandelt. Als Grundlage weiterer Datenanalysen soll nun eine kurze Auflistung der im Untersuchungsgebiet auftretenden tektonischen Zonen erfolgen. Die Auswahl des Untersuchungsgebietes zielte darauf ab, möglichst viele unterschiedliche geologische Zonen zu queren, damit man die Auswirkungen in den verschiedenen tektonischen Bereichen untereinander vergleichen kann. Die Zuordnung der Nivellamentlinien, oder auch einzelner Punkte der Züge zu den an der Oberfläche liegenden Großeinheiten, geschieht mit Hilfe der in *Autocad* zusammengeführten Festpunktkoordinaten und verschiedener geologischer und tektonischer Karten Niederösterreichs beziehungsweise des Burgenlandes (siehe Kapitel 4.4). Als Übersichtshilfe für folgende Beschreibungen dient die Abbildung 5.1, eine Kombination der Höhenpunkte mit der geologischen Karte Österreichs im Maßstab 1:2 000 000 von Egger et al. (1999). Die Legende zu diesem Kartenausschnitt findet sich in der Abbildung 2.3.

Ausgehend vom Bezugspunkt in Horn verbleibt der Westteil der Nordschleife bis zum Verbindungspunkt Krems weitgehend im variszischen Kristallin, liegt also im Bereich der Großeinheit Böhmisches Masse, dem tektonisch stabilsten Teil von Österreich. Schon in der Umgebung von Krems queren die Messungen in die klastischen Sedimente (Kies, Sand, Ton) der Molassezone (Abb. 5.1). Durch den Westknick des Zuges verläuft dieser zwischen Krems und St. Pölten wieder teilweise durch Granulit und Gneis der Böhmisches Masse und erreicht dann weiter südlich wieder die Molassezone. Auf dem Weg weiter nach Wien durchquert der Zug die subalpine Molassezone, mehrere Decken der Flyschzone, das Helvetikum und das Wiener Becken. Von dort verläuft der Ostteil der Nordschleife nach Klosterneuburg wieder durch Teile des Wiener Beckens und der Flyschzone. Dort teilt sich von der Hauptschleife der Zug der kleinen Nordschleife, welcher größtenteils durch die Molassezone verläuft, bevor er in Krems wieder in die westliche Hauptschleife mündet. Der Ostteil der Hauptschleife verläuft nun weiter nach Norden bis nach Laa an der Thaya und durchquert dabei



**Abbildung 5.1.:** Verlauf der Höhenpunkte durch unterschiedliche geologische Einheiten der Karte im Maßstab 1:2 000 000 von Egger et al. (1999).

ebenfalls die Molassezone. Von Laa bis zur Umgebung von Retz verbleiben die Höhenpunkte weiter in der autochthonen Molassezone, von hier weg bis nach Horn tauchen sie wieder in die stabile Zone der Böhmisches Masse mit seinen Granit-, Gneis- und Glimmerschiefergesteinen (Abb. 5.1). Die Südschleife verläuft zum Großteil durch den Bereich des Wiener Beckens. Eine Ausnahme findet sich am Ostarm in der Nähe von Hainburg, wo einige Punkte das Kristallin der Hainburger Berge streifen. Diese Berge sind Ausläufer der kleinen Karpaten. Nach Hainburg verläuft die Südschleife im Pannonischen Becken. Zwischen Neusiedl und Eisenstadt bewegen sich die Höhenpunkte knapp südlich am Leithagebirge vorbei, einem letzten Ausläufer der Zentralalpen. Von Eisenstadt Richtung Wiener Neustadt läuft die Südschleife weiter durch das Eisenstädter Becken, das ein Teilgebiet des Pannonischen Beckens ist und gelangt bei Wiener Neustadt wieder in das Wiener Becken. Die westlichsten Punkte des neuesten Datenmaterials liegen teilweise in den nördlichen Kalkalpen. Am Rückweg nach Wien über den Westarm verlaufen die Punkte entlang des Westrandes des Wiener Beckens.

Die Südzüge Gattendorf-Nickelsdorf, Neusiedl-Pamhagen sowie Grenzabschnitte westlich des Neu-

siedlersees nach Mörbisch und Klingebach liegen ebenfalls im Pannonischen Becken. Nur der südlichste Zug Zemendorf-Oberpullendorf verlässt an manchen Stellen diese neogenen Sedimente und verläuft dann durch Teile des Ostalpins. Ganz im Süden bei Lockenhaus finden sich sogar Punkte, die in der Penninischen Zone liegen. Diese zumeist vom ostalpinen Deckensystem überschobene Zone tritt hier durch das sogenannte Rechnitzer Fenster an die Oberfläche.

## 5.2. Lokalisierung der Störungen

Die Erdkruste beginnt an der Erdoberfläche und wird im Untergrund durch die sogenannte Mohorovičić (Moho) Diskontinuität begrenzt. Innerhalb der Kruste treten unterschiedliche Arten von Störungen auf (siehe Kapitel 2.2.1). Störungszonen an der Erdoberfläche können durch geologische Kartierung aber auch durch ihre seismische Aktivität (Herdflächenlösung) dokumentiert werden. Da die Krustenfestigkeit entlang von Störungszonen herabgesetzt ist, kann es hier zu Erdbeben und zu Vulkanismus kommen. Weitere Methoden zur Erforschung der Position von Störzonen sind beispielsweise seismische Messungen und „in-situ“-Spannungsmessungen in Bohrlöchern. Mit Hilfe der unterschiedlichen Arten der Erfassung des Spannungszustandes der Erdkruste werden beispielsweise die Spannungs-Karten im *World Stress Map Project* erstellt <sup>1</sup>.

In weiterer Folge sollen nun Karten mit den eingetragenen vermuteten und gesicherten Störzonen im Testgebiet betrachtet werden, sowie auch Karten mit Erdbebenvorkommnissen.

### 5.2.1. Erdbeben in Österreich

Auch wenn die Erdbebenhäufigkeit und die Intensität in Österreich vergleichsweise gering ist, sind die Erdbeben in manchen Gebieten dieses Landes keine Seltenheit. Innerhalb eines Monats können bereits mehrere Erdbeben wahrgenommen werden. Im Jahr kann es bis zu 400 tektonischen Erdbeben kommen. Mit Hilfe dieser registrierten Beben kann der Aufbau der Erdkruste in den Alpen bestimmt und Bruchzonen ausgewiesen werden <sup>2</sup>. Zu typischen Erdbebenregionen zählen in Österreich das Tiroler Inntal, das Lavanttal in Kärnten, das Mur-Mürztal in der Steiermark und das Wiener Becken, Lenhardt and Hammerl (2007). Diese Gebiete liegen allesamt an seismotektonisch aktiven Störungszonen, Lenhardt and Hammerl (2007). Die durchschnittliche Herdtiefe der Erdbeben, das Hypozentrum, liegt bei 7 bis 8 km, in seltenen Fällen, beispielsweise bei Erdbeben im Bereich der Böhmisches Masse, kann die Tiefe auch geringer sein.

Die im Wiener Wecken auftretenden Beben sind nach Lenhardt (2006) nicht immer nur spürbar (Intensität 3 auf der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-98), in selteneren Fällen kann es auch zu sogenannten Schadensbeben (Intensität 6) kommen. Diese führen zu leichten Gebäudeschäden und treten in Niederösterreich etwa alle 10 Jahre auf. Noch stärkere Beben (Intensität 8) mit schwerwiegenden Gebäudeschäden ereignen sich hier in 100 Jahren etwa einmal.

Die im Untersuchungsgebiet anzutreffenden seismische Aktivitäten werden in Lenhardt (2006) nach den dort auftretenden geologischen Haupteinheiten gegliedert. In der Böhmisches Masse findet sich nur eine sehr geringe Seismizität. Schadensbeben sind hier keine bekannt und die Erdbebenherde

---

<sup>1</sup>Homepage - The World Stress Map Project - unter:[www.world-stress-map.org/](http://www.world-stress-map.org/).

<sup>2</sup>Informationen zu Erdbeben in Österreich unter der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Wien): <http://www.zamg.ac.at/>.

liegen, wie bereits erwähnt, eher nahe an der Oberfläche. An der einzig aktiven Störzone, der Diendorfer Störung, finden sich die meisten Erdbeben im Bereich des Dunkelsteiner Waldes (zwischen Krems und Melk). In der Abbildung 5.2 sind diese Beben etwas Nordwestlich von St. Pölten zu finden.

Für die Molassezone gilt ähnliches wie für die Böhmisches Masse. Eine Ausnahme bildet das verheerende Beben bei Neulengbach im September 1590, das auch für beträchtliche Schäden in Wien sorgte. Deutlich erkennbar ist der große dunkle Kreis in der Abbildung 5.2 zwischen St. Pölten und Wien. Eine weitere Ausnahme ist das 1876 aufgetretene Schadensbeben bei Scheibbs.

In den Kalkalpen gelten Erdbeben ebenfalls als selten. 1939 gab es in Puchberg am Schneeberg ein kräftigeres Beben, welches einige Häuser zerstörte. Messungen von ganz schwachen Beben aus jüngerer Zeit deuten auf eine von Puchberg nach Gloggnitz verlaufende Bruchzone in N-S-Richtung hin, Lenhardt (2006).

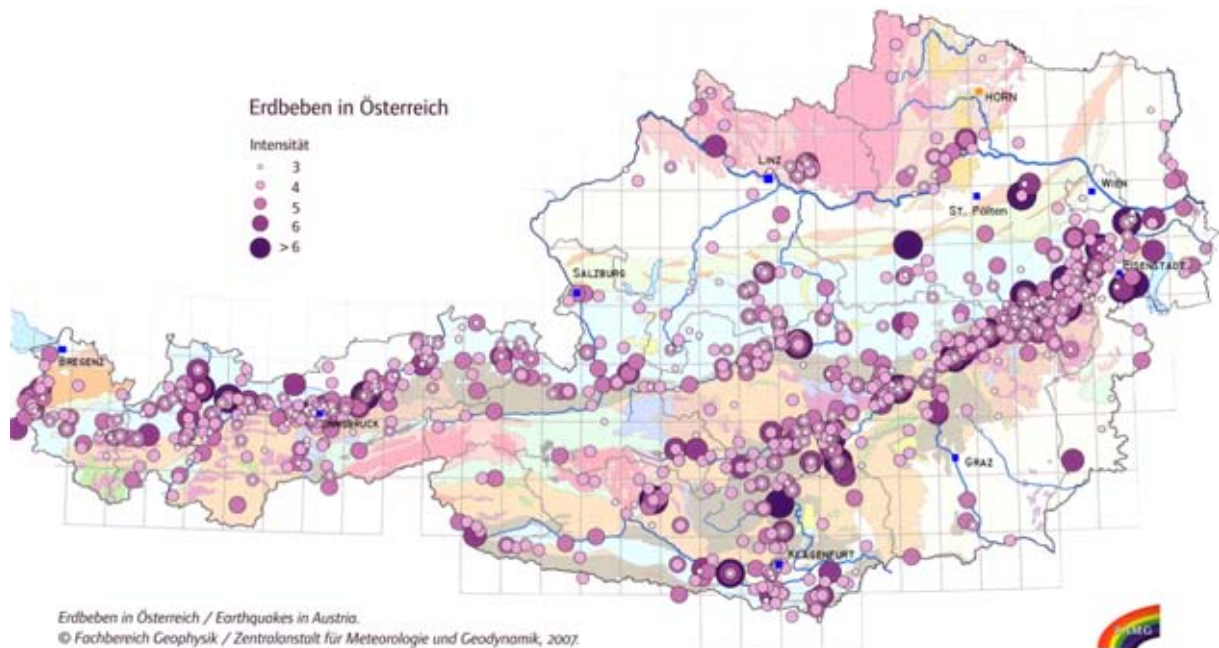
Neben dem Inntal und dem Mur-Mürztal zeichnet sich für österreichische Verhältnisse der Bereich des Wiener Beckens durch hohe Seismizität aus. Dies ist auch der Abbildung 5.2 deutlich zu entnehmen. Innerhalb eines Jahres werden durchschnittlich fünf Beben der Intensität 3 wahrgenommen. Dies bedeutet auch eine höhere Bauwerksbelastung im Ernstfall. Die seismische Aktivität konzentriert sich auf den südlich der Donau liegenden Teil des Wiener Beckens. Die stärksten Beben finden sich entlang einer Tiefenstörung, die von Seebenstein über Wr. Neustadt und Ebreichsdorf bis nach Schwadorf führt und sich, allerdings ab hier nicht mehr sehr aktiv, durch das Marchfeld bis in die Slowakei fortsetzt. Etwa alle 10 Jahre ereignen sich hier Schadensbeben von einer Intensität von mindestens 6 und etwa einmal pro Jahrhundert kann das Beben auch noch deutlich stärker ausfallen. Beispielsweise wurde 1927 das stärkste österreichische Beben des 20. Jahrhunderts mit Epizentrum in Schwadorf registriert.

Weiters wurde 1972 der Bereich bei Seebenstein von einem Starkbeben heimgesucht. Dieser Ort liegt bereits an der Grenze zur Buckligen Welt, die bereits zum Ostalpinen Kristallin zählt.

Vom Österreichischen Erdbebendienst werden österreichweit Seismometer aufgestellt. Diese Stationen dienen der besseren Erfassung von Erdbeben (Bestimmung von Epizentrum und Magnitude) und folglich werden dadurch die tektonischen Störungen im Untergrund bestimmt. Besonders wichtig ist aber auch die Anwendung der Messwerte für Regelungen und Festlegungen der Bauvorschriften in Zusammenhang der Bodenbeschaffenheit, Lenhardt (2006).

### **5.3. Das Wiener Becken**

Das Wiener Becken ist aus mehreren Gründen interessant und daher, laut Wessely (2006c), seit 200 Jahren im Zentrum des Forschungsinteresses. Zum Einen trennt es „*geographisch die Alpen und Karpaten, verbindet diese jedoch im Beckenuntergrund unter einer bis zu 6000 m mächtigen Sedimentfüllung*“, Kröll et al. (1993). Diese Verbindung konnte durch die zahlreichen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Erdöl- und Erdgassuche erkundet werden. Zum Anderen soll an die, für österreichische Verhältnisse, immense Anzahl an Erdbebenvorkommnissen erinnert werden, siehe Kapitel 5.2.1. Zuletzt ist noch die Nähe zu einer Großstadt anzusprechen. Ein Großteil der Fläche Wiens liegt bereits im Gebiet des Sedimentbeckens, was gerade durch die zuvor angesprochene Erdbebenaktivität ein wichtiger Faktor ist.



**Abbildung 5.2.:** Erdbeben in Österreich mit ihrer Intensität (EMS-98) nach der ZAMG, Darstellung aus Lenhardt and Hammerl (2007) erweitert um die Bundeshauptstädte in Blau und den Bezugspunkt Horn in Orange.

### 5.3.1. Lage und Aufbau des Wiener Beckens

Wie bereits im Kapitel 2.2.2 angedeutet, senkte sich das Wiener Becken mit mehreren Brüchen im Ostalpin-Westkarpatenzug im Miozän ein. Der weit südlich reichende Sporn der Böhmisches Masse verursachte bei den Alpenen Decken einen Stau, während die Karpaten-Decken sich weiter nach Norden bewegten Wessely (2006c). Dadurch entstand im frühen Miozän ein „*Dehnungs- und Senkungsraum mit beträchtlichen Verschiebungen. Die größte Absenkungsaktivität wurde im mittleren Miozän erreicht. Eine Vielzahl von Bruchsystemen sind dabei entstanden und waren sowohl innerhalb der Beckenfüllung wie auch im Beckenuntergrund aktiv bzw. sind es z.T. heute noch.*“ Kröll et al. (1993).

Der rhombische Umriss des Beckens beginnt bei Gloggnitz in Niederösterreich und verläuft Richtung Nord-Nord-Osten über die Landesgrenze auf slowakisches und tschechisches Staatsgebiet bis nach Uherské Hradiště in Mähren. Dabei erreicht das Becken eine Ausdehnung von 200 km und eine maximale Breite von 50 km und verläuft nahezu parallel zu der Südostflanke der Böhmisches Masse. Der größere in Österreich liegende Beckenteil wird durch die Donau in einen nördlichen und einen südlichen Bereich geteilt. Neben den bereits erwähnten Bruchsystemen finden sich im Sedimentbecken noch seichte Randschollen, Eintiefungszonen und mediane Hochzonen. Diese verschiedenen Strukturelemente sind in der Abbildung 5.3, von Kröll and Wessely (1993) zu sehen. Diese Karte zeigt den präneogenen Beckenuntergrund dieses Bereichs, der in erster Linie durch Tiefenbohrungen (dargestellt durch schwarze Punkte) und seismische Messungen erforscht wurde. Auch gravimetrische Messungen waren teilweise sehr hilfreich, die unterschiedlichen Dichtewerte von neogener Beckenfüllung und den darunter liegenden Einheiten lieferten oft zusätzliche Information über den Verlauf des Beckenuntergrunds. Der Farbverlauf von hellgelb (entspricht Null) bis blau (-5600 Meter) zeigt die Tiefe des Untergrundes des Wiener Beckens im Bezug auf Adria-Niveau

(AN) an. Weiters werden die tektonischen Brüche als lange dünne Streifen in weiß mit schwarzer Umrandung dargestellt, wobei die dünnere Linie die Unterkante und die dickere die Oberkante des Bruchs darstellt. In beige ist der präneogene Beckenrand gekennzeichnet. Die orangen Kreise zeigen die bereits besprochenen Erdbebenepizentren aus der Abbildung 5.2 mit ihrer Intensität an. Für weitere Details zu der Bezeichnung der tektonischen Einheiten im Wiener Beckens wird hier auf Wessely (2006c) verwiesen. Die Fortsetzungen der alpinen tektonischen Einheiten im Beckenuntergrund sind in einer der Themenkarten des Wiener Beckens ersichtlich: Geologische Einheiten des präneogenen Beckenuntergrundes, Wessely and Kröll (1993).

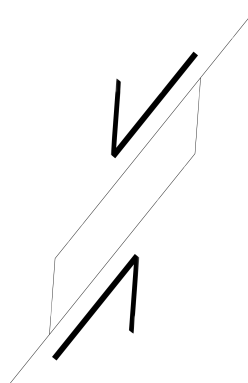
Unter diesen großteils alpinen Einheiten (Flyschzone, Grauwackenzone, Kalkalpen, Zentralalpen) liegt noch der autochthone Untergrund, der sich aus dem Kristallinsockel der Böhmisches Masse und mesozoischen Sedimenten zusammensetzt, Schopper (1991).

### Sedimente des Wiener Beckens:

Die bis zu 5 km tiefen Beckenfüllung stammt aus dem Neogen-Zeitalter und ist laut Krenmayr et al. (2002) großteils mit Abtragungsprodukten aus der Alpenentstehung gefüllt. Die tektonischen Bewegungsursachen sind zwar eher am Beckenuntergrund zu suchen, aber es soll dennoch auch den Schichten zwischen Oberfläche und Untergrund kurz Beachtung geschenkt werden. Immerhin befinden sich die Höhenfestpunkte samt ihrer Vermarkung darin.

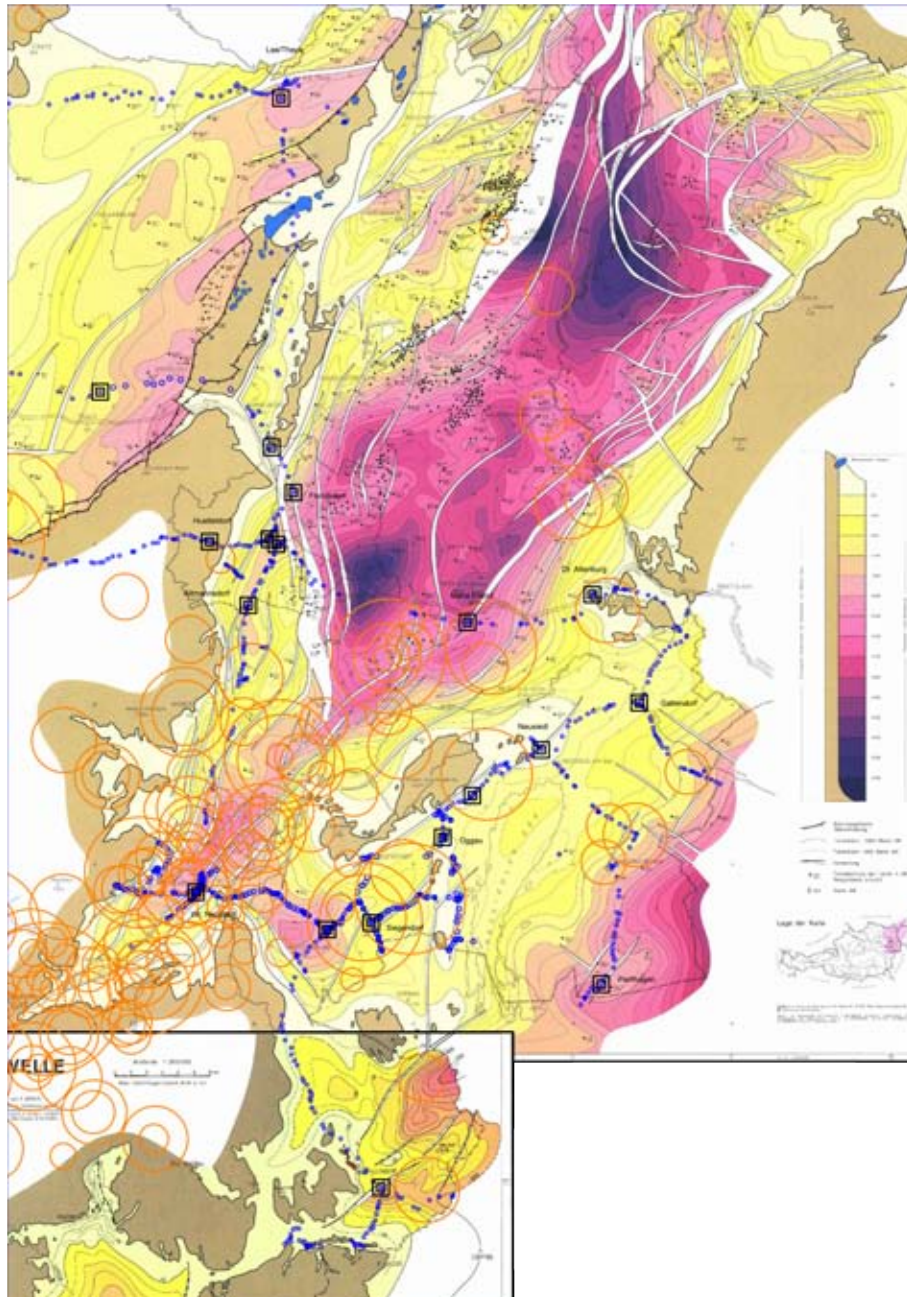
Zeitlich reicht die Ansammlung dieser Sedimente nach Wessely (2006c) vom unteren Miozän bis in die Eis- und Nacheiszeit, also bis zum Beginn des Holozäns. Damit wird ein Zeitraum von 20 Millionen Jahren überstrichen. Lithologisch, also die Sedimentgesteinseigenschaften betreffend, kommen von grobkörnigen Gesteinsablagerungen bis hin zu Feinsedimenten alle Korngrößen vor. Vorherrschend sind jedoch Tone, Sande und Kalke. Die Großteil der Oberflächensedimente entstammt dem Zeitalter des Pannoniums (ca. vor 10 Millionen Jahren) und an den Rändern des Beckens finden sich etwas ältere Sedimente (bis zu 20 Millionen Jahre).

### Aktuelle Tektonik des Wiener Beckens:



**Abbildung 5.4.:**  
*pull-apart-Mechanismus bei linkslateraler Seitenverschiebung*

Vor ca. 17 Millionen Jahren, im Zeitalter des frühen Miozän, begann die Ausdehnung des Wiener Beckens, Wessely (2006c). Nach Decker et al. (2005) soll die Überschiebung der Alpen-Karpaten-Decken über den Sockel der Böhmisches Masse im Miozän 30-40 Kilometer erreicht haben, mit einer jährlichen Bewegungsrate von 3-5 mm. Auslöser für die Bildung des Wiener Beckens war eine NE-SW streichende Seitenverschiebungszone, die vom Mur-Mürztal ausgehend über den Semmering, Gloggnitz und Wiener Neustadt verläuft, dann weiter durch die Mitterndorfer Senke reicht, bei Maria Ellend die Donau überquert, dann noch die Lasseer Senke durchquert und schließlich außerhalb Österreichs in den Zahor-Plavecky-Graben läuft, Peresson (2006). Wie den Abbildungen 5.6 und 5.3 leicht zu entnehmen ist, zerfällt dieses System in eine Vielzahl an kleineren NE-SW oder N-S-gerichtete Brüchen. Bei Peresson (2006) wird dieses Störungssystem kurz GLOGMIL genannt. Durch seine rhombische Form, die vorkommenden Bruchformen, das Auftreten von



**Abbildung 5.3.:** Strukturkarte des Wiener Beckens von Kröll and Wessely (1993) und des Steirischen Beckens von Kröll (1988) im unteren Bildteil. Tiefendarstellung des präneogenen Beckenuntergrundes durch die Farbskala mit Bezug auf Adria (AN); Tektonische Brüche in weiß (dünnere Linie entspricht der Unterkante); Präneogener Beckenrand in beige; orange Kreise: Erdbebenepizentren mit ihrer Intensität nach Lenhardt and Hammerl (2007); Punkte in blau: BEV-Höhenfestpunkte.

Hochzonen direkt neben abgesenkten Bereichen und vor allem die große Menge an Sedimentation ist das Wiener Becken ein typischer Vertreter der so genannten *Pull-Apart-Becken*, Decker et al. (2005) (siehe Abbildung 5.4).

Nach Schopper (1991) bildete sich das Wiener Becken entlang gebogener sinistraler (linkseitigen) Blattverschiebungssysteme, die letztendlich nicht nur zu einem horizontalen Versatz sondern zu vorherrschenden Abschiebungsbewegungen (siehe Kapitel 2.2.1) führten. Hauptabschiebungsflächen



sind nach Peresson (2006) der **Leopoldsdorfer-** und der **Steinbergbruch** mit vertikalem Versatz von rund 5 Kilometer. Deutlich sichtbar wird der Verlauf der Hauptstörungszone GLOGMIL nord-östlich von Maria Ellend durch einen 1,5 km langen linksseitigen Versatz des Donauhauptarms, Peresson (2006) (siehe Abb. 5.3 und Abb. A.2).

Im späten Miozän (vor ca. 9-8 Millionen Jahren) kam es zu einer Verlangsamung der tektonischen Bewegungen, siehe Decker et al. (2005). Ob die Verschiebungen weiter andauerten ist noch unklar, aber eine hohe Dichte an geomorphologischen, geodätischen und geophysikalischen Daten macht eine Neotektonik im Wiener Becken deutlich sichtbar. Ab dem Quartär sind wieder vermehrt Absenkbewegungen festzustellen und der rezente Spannungszustand ist dem im Miozän vorherrschenden sehr ähnlich und daher entwickeln sich die bereits bestehenden tektonischen Linien einfach weiter, Peresson (2006). Wie sich der Abbildung 5.3 entnehmen lässt, herrschen die seismischen Aktivitäten aber nur im südlichen Teil des Wiener Beckens vor, also südlich der Donau, siehe dazu Decker et al. (2005) und Peresson (2006).

#### **Die Mitterndorfer Senke - eine lokale Absenkung:**

Zwischen Wiener Neustadt und Gramatneusiedl erstreckt sich die etwa 40 km lange und bis zu 150 m tiefe Mitterndorfer Senke, die ebenso wie das Wiener Becken selbst durch den *Pull-Apart*-Effekt entstanden ist. Neben den bei Schwadorf zusammenlaufenden NE-SW gerichteten Randstörungen, treten hier noch ein Reihe kleinerer in N-S-Richtung staffelförmig verlaufende Bruchflächen auf, die das linkslaterale Aufreißen noch betonen, Peresson (2006). Bei der Mitterndorfer Senke verlaufen die oberflächennahen Abschiebungen in 3-4 km Tiefe in einer Verschiebungszone (der GLOGMIL) zusammen und bilden eine so genannte *negative Blumenstruktur*, Peresson (2006), was für Schopper (1991) ein weiteres typisches Merkmal eines *pull-apart*-Beckens ist.

### **5.4. Ergebnisse für das gesamte Testgebiet im Vergleich mit Österreich und seiner Nachbarländer**

Wenn auch der Schwerpunkt dieser Untersuchung auf den mit Origin erstellten grafischen Gegenüberstellungen liegt, so zeigt die flächenhafte Surfer-Darstellung in Abbildung 4.37 mit ihren Bewegungsangaben wichtige Trends der Krustenbewegungen. Hier soll nun nicht auf die Bewegungen der einzelnen Punkte eingegangen werden, sondern das Gesamtergebnis näher betrachtet werden.

Wie bereits im Kapitel 4.5 erwähnt, sind Bewegungsraten von 1-2 mm pro Jahr ein zu erwartender Wert für dieses Gebiet (Tollmann, 1986, S.135). Zum Vergleich der hier erzielten Ergebnisse kann beispielsweise eine grafische Visualisierung des BEV für das gesamte österreichische Staatsgebiet herangezogen werden. Für diese Abbildung standen ebenfalls Gegenüberstellungen der Präzisionsnivelementmessungen zur Verfügung, allerdings wurden nur einzelne Punkte, sogenannte Knotenpunkte, zur Berechnung der Vertikalgeschwindigkeiten verwendet Höggerl (2001). Diese 106 Punkte wurden als regional stabil eingestuft und mit einem linearen Modellansatz ausgeglichen. Ausgegangen wurde hier von zwei sich nicht überschneidenden Messepochen. Der Modellansatz selbst setzt sich nach Höggerl (2001) folgendermaßen zusammen:

- die Höhenänderungen werden als linear angesetzt
- Die Differenzen der Höhenunterschiede aus erster und zweiter Messepoche gehen in die Berechnung ein
- Normierung der Differenzen durch eine Umrechnung auf Bewegungen pro Jahr
- Die Gewichtung erfolgt reziprok zur Länge der Nivellementlinie zwischen den Knotenpunkten

Das Ergebnis dieses Modellansatzes liefert Vertikalgeschwindigkeiten bezogen auf den Datums- punkt Horn und ist der Abbildung 1.1 auf der Seite 9 zu entnehmen. Im westlichen Teil Österreichs sind eindeutige Hebungen zu erkennen. Die Hebungen konzentrieren sich auf die Kernbereiche der Ostalpen, die während der pleistozänen Eiszeiten weitgehend durch mächtige Gletscher überdeckt waren, Van Husen (1987). Die Hebungen könnten daher aus der isostatischen Hebung nach Abschmelzen des Eises seit 20 000 Jahren resultieren. Ein möglicher Anteil istostatischer Hebung, resultierend aus der verdickten Kruste in diesem Bereich, wird ebenfalls diskutiert<sup>3</sup>.

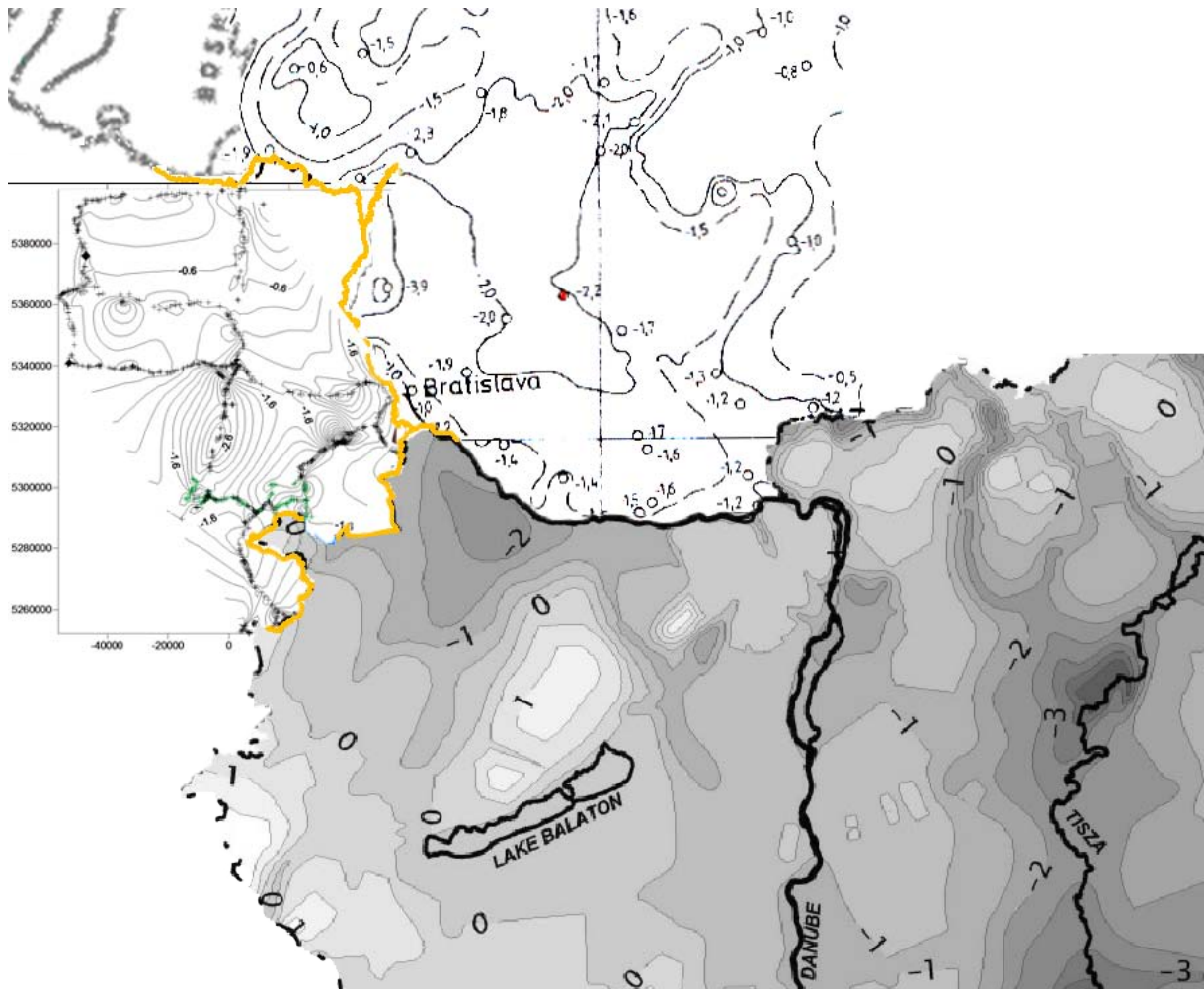
Für den nordöstlichen Bereich lassen sich Absenkungen feststellen. Vergleicht man nun den nord- östlichen Teil dieser Grafik mit dem Inhalt der Abbildung 4.37 so lassen sich sehr ähnliche Resultate feststellen, wenn auch bei letzterer Grafik kein Ausgleich erfolgte. Dieser grafische Vergleich zweier unterschiedlicher Ansätze (siehe Kapitel 3.7) zeigt hier durchaus ein positives, übereinstimmendes Ergebnis.

Weiters soll nun ein Vergleich mit Abbildungen der Nachbarländer durchgeführt werden. Zur Verfü- gung stehen dabei Daten Ungarns aus Timár and Rácz (2002), Teile der Slowakei aus Joó (1992) und Daten von Tschechien aus Vyskočil (1996). Gleich vorweg muss aber erwähnt werden, dass diese Grafiken verschiedene Ansätze widerspiegeln. Hauptaugenmerk ist vor allem darauf zu legen, dass unterschiedliche Referenzpunkte verwendet wurden. Die Grafik von Tschechien im Norden beinhaltet nur Angaben über Hebungen (+) bzw. Senkungen (-) in Relation zu ihrem Bezugspunkt in der Böhmisches Masse und ist daher nicht sehr aussagekräftig. Sie wurde daher in der Abbildung 5.5 fast gänzlich abgeschnitten. Der Bildabschnitt östlich des Untersuchungsgebiets ist ein Teil der Lösungen für die Bewegungsanalyse im Bereich der Karpaten. Die gesamte Grafik erstreckt sich über die Slowakei, Ungarn und Rumänien. Für das ungarische Staatsgebiet konnte aber eine aktuellere Grafik von Timár and Rácz (2002) gefunden werden, die in der gestückelten Abbildung 5.5 südwestlich an das Untersuchungsgebiet angrenzt.

Ziel dieser Abbildung ist die Gegenüberstellung der in diesem Bereich von Europa bestehenden Höhenbewegungen. Lässt man die fundamentale Problematik der unterschiedlichen Bezugsniveaus beiseite und betrachtet rein die Größenordnung der Bewegungsraten, so fügt sich die hier erstellte Grafik recht gut in das europäische Bild. Eine um 1990 erstellte Abbildung jährlicher Vertikal- geschwindigkeiten auf Basis grenzübergreifender Daten von Bayern, Tschechien und Österreich findet sich bei Vyskočil (1996) und war Vorbild für die hier zusammengestellte Grafik 5.5. Durch die Verbindung nationaler Nivellementnetze und anschließender gemeinsamer Ausgleichung, kön- nen Vertikalgeschwindigkeiten für Teile Zentraleuropas erstellt werden oder noch größerer Bereiche, siehe Kapitel 3.6.

---

<sup>3</sup>Anmerkung d. Betreuers Dr. Erich Draganits.

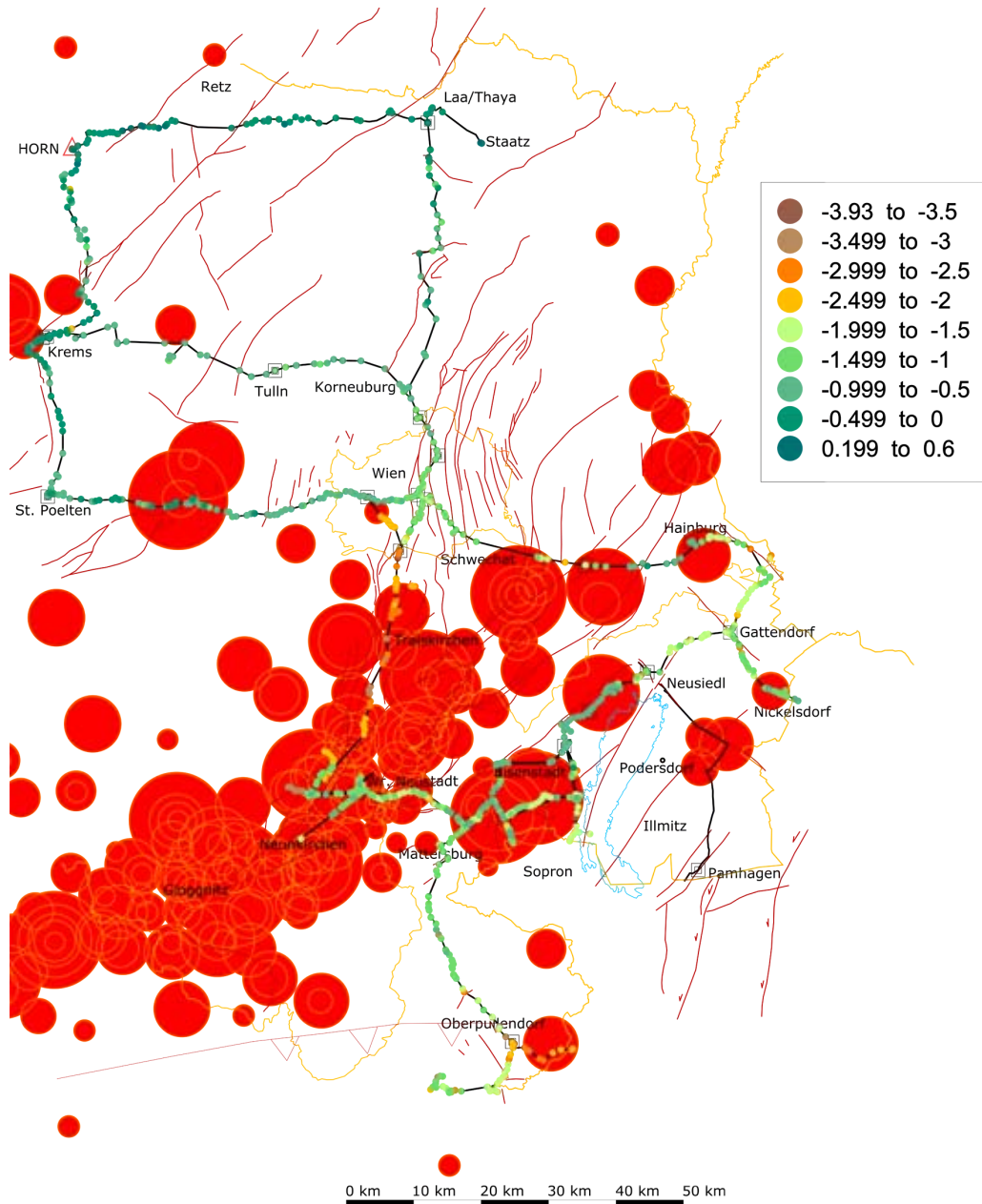


**Abbildung 5.5.:** Verbindung der Daten aus dem Testgebiet (umgeben von der Grenze in gelb) mit Daten von Ungarn (Timár and Rácz (2002)), der Slowakei (Joó (1992)) und am nördlichen Rand sind noch Teile Tschechiens (Vyskočil (1996)) zu erkennen.

## 5.5. Aussagen über die Nordschleife

Neben der Abbildung 5.6, die für die folgenden Beschreibungen herangezogen werden kann, findet sich im Anhang A eine Adaptierung der geologischen Karte von Niederösterreich von Schnabel (2002), die um den Linienverlauf der verwendeten Nivellementdaten des BEV erweitert wurde. Weiters sind die im *Surfer 8* verwendeten Höhenfestpunkte mit einer bestimmten Farbschattierung eingefügt worden. Ja nach Größenordnung der Höhenänderungen in mm/Jahr sind die Punkte in einer bestimmten Farbe abgebildet. Diese Farbkreise wurden mit dem Programm *Surfer 8* erzeugt. Die Farblegende sowie die dazugehörigen Punkte sind in den Abb. 5.6 und A.2 eingetragen. Die Abbildung 5.6 enthält weiters noch die Störungen nach Schnabel (2002) und auch in der Karte im Anhang wurden die Störungen zur besseren Erkennlichkeit hervorgehoben. Als weitere Orientierungshilfe sind noch Ortsnamen und Höhenfestpunktnummern eingetragen. Anhand dieser Kartierung erfolgte der Hauptteil der Datenanalyse.

In der Abbildung 5.6 sind die Intensitätskreise der Erdbebenkarte (siehe Abb.5.2) eingezeichnet und weiters die verschiedenen geologischen Störungszonen, die aus der geologischen Karte von Schna-



**Abbildung 5.6.:** Das Untersuchungsgebiet mit den Nivellementpunkten des BEV mit Kennzeichnung ihrer Bewegungsraten (mm/Jahr) in Farbe (siehe Legende). Die eingetragenen Störungen, geneigten Störungen und Seitenverschiebungen stammen von Schnabel (2002). Die eingetragenen Störungszonen unterscheiden sich stark in ihrem Alter. Weiters sind die von der ZAMG registrierten Erdbeben abgebildet Lenhardt and Hammerl (2007).

bel (2002) digitalisiert wurden. Vor allem im Raum des Wiener Beckens handelt es sich weitgehend um geneigte Störungszonen. Ganz im Südwesten dieser Abbildung sind noch zwei Seitenverschiebungen mit kleinen Pfeilen eingezeichnet. Abgesehen von diesen beiden Seitenverschiebungen, die diese Arbeit nur indirekt betreffen, wurde bewusst keine weitere Unterscheidung zwischen den verschiedenen Störungen eingetragen um die Übersichtlichkeit zu wahren.

Westlich von Krems liegt das erdbebenaktive Gebiet des **Dunkelsteiner Waldes**. Weiters zieht sich von Melk kommend über Krems bis etwas östlich von Retz die Diendorfer Störung, bei der

Aktivität vermutet wird. Wie sich den Abbildungen 5.6 und A.2 entnehmen lässt, kreuzt diese Störung die Nivellementlinie zwischen **Horn und Laa/Thaya**. Die Darstellung der Bewegungsraten dieser Linie findet sich in Abb. 4.7 auf Seite 62. Im Gegensatz zu den meisten anderen Zügen der Nordschleife gibt es entlang dieser Strecke drei Übermessungen. Damit ergeben sich zwei Messintervalle bzw. Gegenüberstellungen. Mit dem älteren Zeitfenster (1951-1972) wurde die Nordschleife durchgerechnet, diese erstreckt sich über 21 Jahre. Das zweite Zeitfenster reicht über 20 Jahre (1972-1992). Um etwaige Trendaussagen treffen zu können, wurde die dritte Übermessung auch auf das Jahr 1951 bezogen. Durch die Kombination der beiden oben genannten Gegenüberstellungen ergibt sich eine Gesamtbeobachtungszeit von 41 Jahren für diese Linie.

Wie bereits auf Seite 62 in Kapitel 4.3 erwähnt, wurden einige Messdaten aufgrund unrealistisch großer Bewegungsraten entfernt (beispielsweise Punkt Nr. 37680). Eine Vermutung wäre, dass der ursprünglich übermessene Höhenfestpunkt nicht mit den später übermessen übereinstimmt, ein Problem das nach so vielen Jahren durchaus auftreten kann. Auf diese Problematik wurde schon im Kapitel 3.8 hingewiesen. Großteils wurden solche „verrutschten“ Steine, durch das BEV aus den Datensätzen entfernt.

Tektonisch unerklärbar ist die Hebungsrate des Punktes 37839 bei Rodingersdorf. In der Nähe des Punktes 37826 befindet sich die Grenze zwischen der Böhmisches Masse und der Molassezone. Hier sowie etwas rechts von 37707 befinden sich nach Schnabel (2002) vermutete Störungszonen, die sich in den Messdaten aber nicht zeigen. Die bereits erwähnte Diendorfer Störung ist zwischen den Punkten 37783 und 37776 zu vermuten. Durch die linkssinnige Blattverschiebung der Störung entstand im SW von Retz ein kleines Becken, Matura (2006). Es wäre durchaus möglich, dass ähnliche Beckenbildungen auch weiter nördlich, entlang der Nivellementlinie vorkommen und die tendenziellen Senkungsraten der Höhenfestpunkte in dieser Umgebung erklären würden.

Bei Vergleich von Gelände und Bewegungsraten aus der Abbildung 4.7, fällt die Nachformung des Beckens östlich von Pulkau auf. Bei der Kirche in Pulkau (37813A) fällt das Gelände steil ab und danach formt sich ein Becken, was sich aufgrund der gemessenen negativen Höhenänderungen, weiter absenkt. Nach Schnabel (2002) liegen hier die letzten Ausläufer der Böhmisches Masse an der Oberfläche und ab Pulkau verschwindet sie unter den Sedimenten der Molassezone. Erst bei Staatz (37663) tritt die Linie wieder aus dem Becken heraus, siehe Abbildung 5.3 (im Nordosten bei Poysdorf) und auch die Senkungsraten gehen zurück. Die geologischen Karten und die Messdaten ergänzen sich damit sehr gut.

Auch entlang der Messungen zwischen Horn und Krems würde die **Diendorfer Störung** verlaufen, allerdings ist hier der Übertrittspunkt nicht eindeutig festgelegt, die Störung ist hier unterbrochen und ihre Lage wird nur vermutet. Ihr sicherer Verlauf ist erst im Gebiet südwestlich von Krems angegeben. Bei Betrachtung der Höhenänderungen in Abbildung 4.6 auf Seite 61 lassen sich zwar vereinzelte Punkte mit größeren Bewegungen erkennen, aber in Summe sind auf der Linie von Horn nach Krems keine Bewegungen zu erkennen, die auf tektonische Aktivität hinweisen würden. Nachdem es sich bei der Diendorfer Störung auch in erster Linie um eine sinistrale Seitenverschiebung handelt, ist dies kaum verwunderlich. Wie bereits zuvor teilweise angesprochen, kam es in der Nähe von Zöbing aufgrund der lateralen Versetzungen im Perm zu einer Beckenbildung, Matura (2006). Auch von Laa sowie von Krems nach Korneuburg werden die Nivellementlinien von einigen kleine-

ren Störungen geschnitten. Die zwischen Laa und Korneuburg gelten als gesichert, jene entlang der kleinen Nordschleife allerdings nicht (u-förmige Störung: West- und Südbruch, Stetteldorfer Bruch). Wie den Abbildungen 4.8 auf Seite 64 und 4.14 auf Seite 69 zu entnehmen ist kommt es auf den beiden erwähnten Linien großteils zu Hebungen, aber Spuren der Störungen sind nicht direkt sichtbar.

Etwa in der Mitte der Strecke von St. Pölten nach Wien, in **Neulengbach**, ereignete sich 1590 ein Schadensbeben von besonders großer Intensität. Störungen sind in dem betroffenen Gebiet nicht vorhanden. Allerdings gibt es eine Vielzahl von Deckengrenzen, die in der Abbildung 5.6 nicht eingetragen sind. Diese Deckengrenzen stammen aus der Kreidezeit bis zum Eozän, sind somit sehr alt und werden stabil angenommen<sup>4</sup>. Beispielsweise finden sich hier abwechselnd Molassesedimente, Flysch-Elemente aus der Nordrandzone, Kalkige Flyschklippen sowie auch die Flyschhauptdecke. Dieser Bereich gehört schon teilweise zum Ostalpin und zeigt auch hier seine komplexe Gestalt unterschiedlichster Decken.

Auf der Linie zwischen **St. Pölten und Hütteldorf** zeigen sich durchgehend Setzungen der Höhenpunkte, siehe Abbildung 4.10 auf Seite 66. Teilstrecken der Linie wurden noch ein drittes Mal übermessen und auch hier setzt sich die Senkung fort (siehe Abb. 4.11 auf Seite 67). Von St. Pölten bis Böheimkirchen reicht das Grundwassergebiet Traisental<sup>5</sup>. Die Bewegungen der Punkte um St. Pölten könnten somit auch unter Einfluss des Grundwassers erfolgt sein (siehe Abb. 4.11 unten auf Seite 67). Die Grundwassermessstationen Oberwagram und Oberzwischenbrunn des Hydrographische Dienst in Österreich befinden sich in der Nähe des betroffenen Linienstücks und zeichnen seit 1989 bzw. 1979 den Grundwasserstand auf. Diese Messungen unterliegen monatlichen (beispielsweise Anstieg im Frühjahr) sowie auch jährlichen Schwankungen im Bereich von einigen 10 Zentimetern. Bei der Station Oberwagram ist aus den über 18 Jahre andauernden Messungen nicht erkennbar, ob sich der Grundwasserstand längerfristig ändert. Für die Station Oberzwischenbrunn kann man aus den 28 Jahren Messung einen leichten Aufwärtstrend erkennen. Der Mittelwert aller Monatsmessungen aus 2007 liegt um ca. 20 cm höher als der Mittelwert des Jahres 1979. Ob diese Veränderung einen Einfluss auf die Bewegungsraten der Höhenpunkte hat, ist aber zweifelhaft.

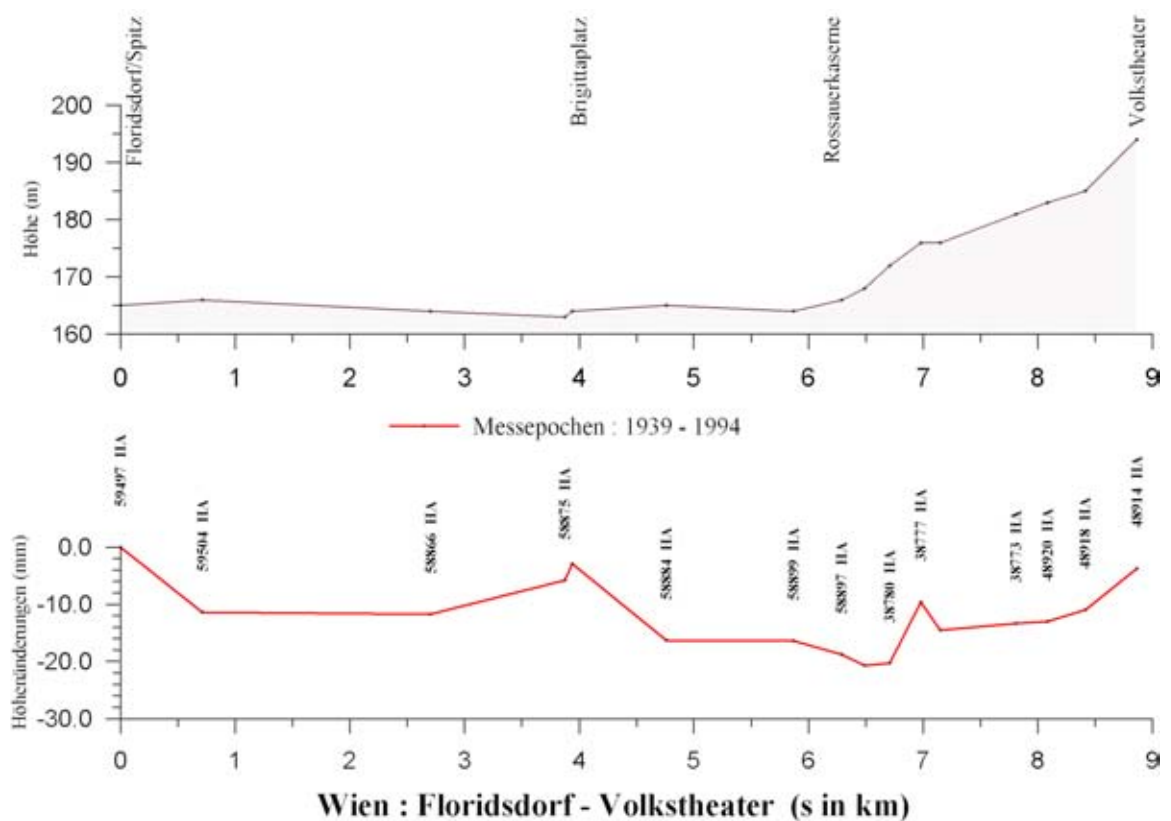
Der dreimal übermessene Teil in der Nähe Hütteldorf (Abb. 4.11 unten auf Seite 67) liegt im Grundwassergebiet Wienerwald<sup>6</sup>. Eine Messstation des Hydrographischen Dienstes liegt in der Nähe Auhof und ihre Beobachtungen über einen Zeitraum von 20 Jahren zeigen einen leichten Grundwasseranstieg. Der aus den monatlichen Messungen berechnete Jahresmittelwert liegt am Ende der Messreihe im Jahr 2007 etwa einen halben Meter höher als der erste Mittelwert aus dem Jahr 1987. Der Untergrund der Punkte 39391 bis 42774 besteht großteils aus Ton, Mergel, vereinzelt auch aus Kalksandstein aus der Kreidezeit bzw. Paläogen, weiters finden sich noch Kies und Lehm des Holozäns. Wie in Kapitel 2.3.1 bereits erwähnt, kann bei Ton durchaus ein Grundwassereinfluss bestehen. Der hier vermutete Grundwasseranstieg würde durch das Aufquellen des Tongesteins bei den Höhenänderungen eher Hebungen auslösen. Da die Messungen aber ein eindeutiges Senkverhalten der Punkte zeigen, ist der Grundwassereinfluss nicht vorhanden.

---

<sup>4</sup>Private Kommunikation mit Dr. Erich Draganits.

<sup>5</sup>Informationen zu dem Thema Grundwasser in NÖ, siehe Homepage des Lebensministeriums: <http://geoinfo.lfrz.at/ehyd>, Basisnetz des Hydrographischen Dienstes in Österreich zur Beobachtung des Wasserkreislaufes.

<sup>6</sup>ebda.



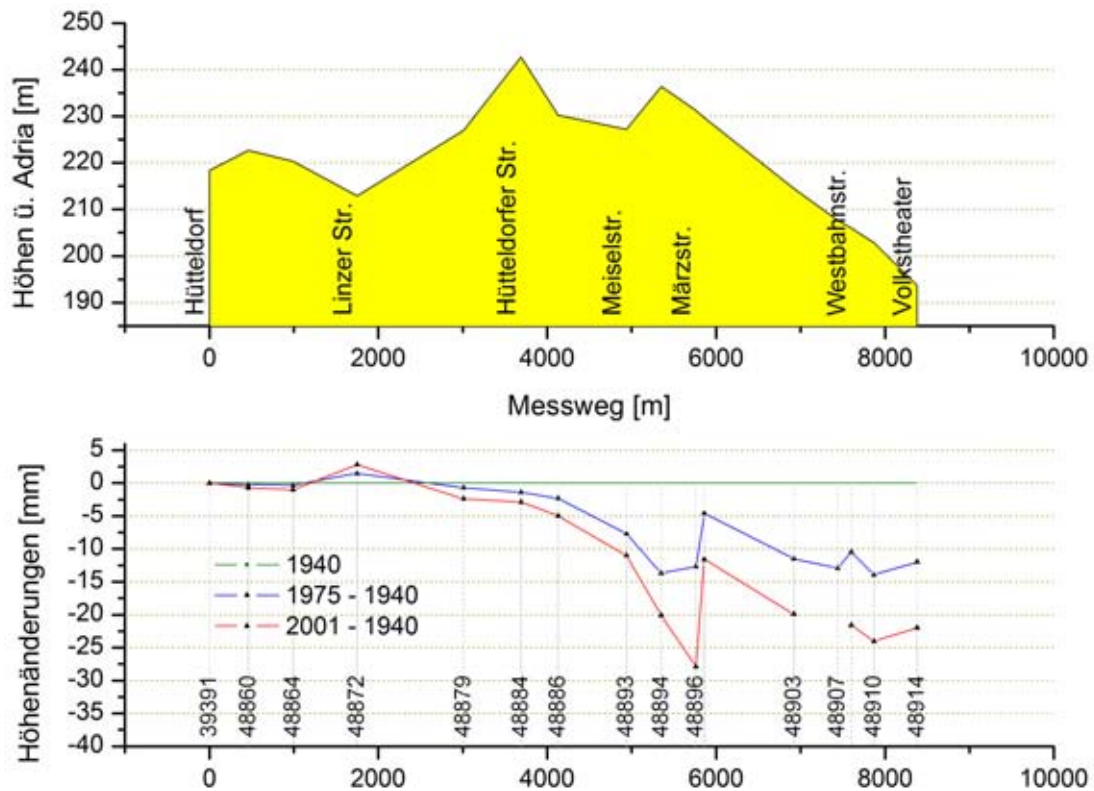
**Abbildung 5.7.:** *Abbildung der Linie Floridsdorf - Volkstheater des BEV mit Floridsdorf (59497) als Bezugspunkt der Darstellung. Floridsdorf hat sich in Bezug zu Horn um -34,4 mm gesenkt.*

Kurz andiskutiert soll die von **Floridsdorf nach Volkstheater** führende Linie werden. In der Abbildung 5.7 treten bei den Höhenänderungen zwischen 1939 und 1994 an zwei Stellen relative Maximalstellen auf, die mit zwei Geländestufen bei den Adria Höhen zusammenfallen. Eine Stufe befindet sich beim Punkt 58875. Das Haus, an dem der Festpunkt befestigt ist, befindet sich nach Schnabel (2002) auf Kies und Auelehm aus dem Holozän. Wie der überarbeiteten geologischen Karte (siehe Anhang A.2) zu entnehmen ist, befindet sich der Punkt zwischen zwei geneigte Störungen, die bereits dem Wiener Becken angehören. Nach Schnabel (2002) gilt die östliche Störung als gesichert. Auch in der Strukturkarte des Wiener Beckens ist dieser Bruch eingetragen (Abb. 5.3). Nach dieser Abbildung liegt auch der Verknüpfungspunkt Floridsdorf 59497 innerhalb einer Bruchzone.

Die zweite Geländestufe im Profil der Abbildung 5.7 liegt beim Punkt 38777. Seine Senkungsrate fiel etwas geringer aus als die seiner Nachbarpunkte. Der Untergrund dieses Punktes setzt sich wie bei Punkt 58875 aus Kies und Lehm des Holozäns zusammen. Die Nivellementlinie verläuft weiter in südwestlicher Richtung bis zum Volkstheater. Diese Punkte liegen auf einer aus Lehm und Löss gebildeten fluviatilen Hochterrasse (siehe Abb. 5.7 im Geländeschnitt rechts), die sich lokal tektonisch abgesenkt hat, Schnabel (2002).

Erwähnenswert ist auch das Ergebnis der Linie **Hütteldorf - Volkstheater**, welches in der Abbildung 5.8 zu sehen ist. Im Kapitel 4.3 wurde bereits auf die sich fortsetzenden Bewegungsraten

bis zum Ring hingewiesen. Von dem Verknüpfungspunkt Hütteldorf (39391) bis zum Punkt 48872



**Abbildung 5.8.:** Linie Hütteldorf - Volkstheater mit Übermessungen 1940, 1975 und 2001. Durch die drei Übermessungen lässt sich die anhaltende Verkippung von Hütteldorf bis zum Wiener Ring gut feststellen. Lokaler Bezugspunkt: Kirche Hütteldorf (39391).

verläuft die Nivellementlinie durch Sand- Ton und Mergelgestein des Penninkums, danach bis zum Punkt 48886 durch Sedimente des Wiener Beckens aus dem Neogen, und endet mit dem Verbindungspunkt Volkstheater (48914) in dem Bereich der fluviatilen Terrassen aus der Mindeleiszeit, Schnabel (2002). Abgesehen von der leichten Hebung des Punktes 48872 in Bezug auf Hütteldorf, liegen bei allen anderen Höhenfestpunkten eindeutige sich fortsetzende Senkungen vor, die in Richtung Volkstheater immer stärker werden. Die drastische Bewegung des Punktes 48896 muss aber auf eine lokale Ursache zurückzuführen sein. Der Festpunkt ist an der Kirche (Maria Königin der Märtyrer beim Kardinal-Rauscher-Platz) auf der Märzstraße im 15. Bezirk befestigt, in deren Umfeld eine U-Bahn verläuft (Linie U3 - die Strecke verläuft laut Wien-Plan<sup>7</sup> auf in der Meiselstraße, direkt hinter der Kirche). Der Tunnel der U-Bahn wäre eine mögliche Erklärung für die größere Absenkung dieses Punktes.

In Summe lassen sich in den Messdaten der Nordschleife kaum tektonische Bewegungen feststellen, was vermutlich auf die geringe Aktivität der letzteren zurückzuführen ist. Dies wird auch durch die nur sehr gering vorhandene Seismizität bestätigt.

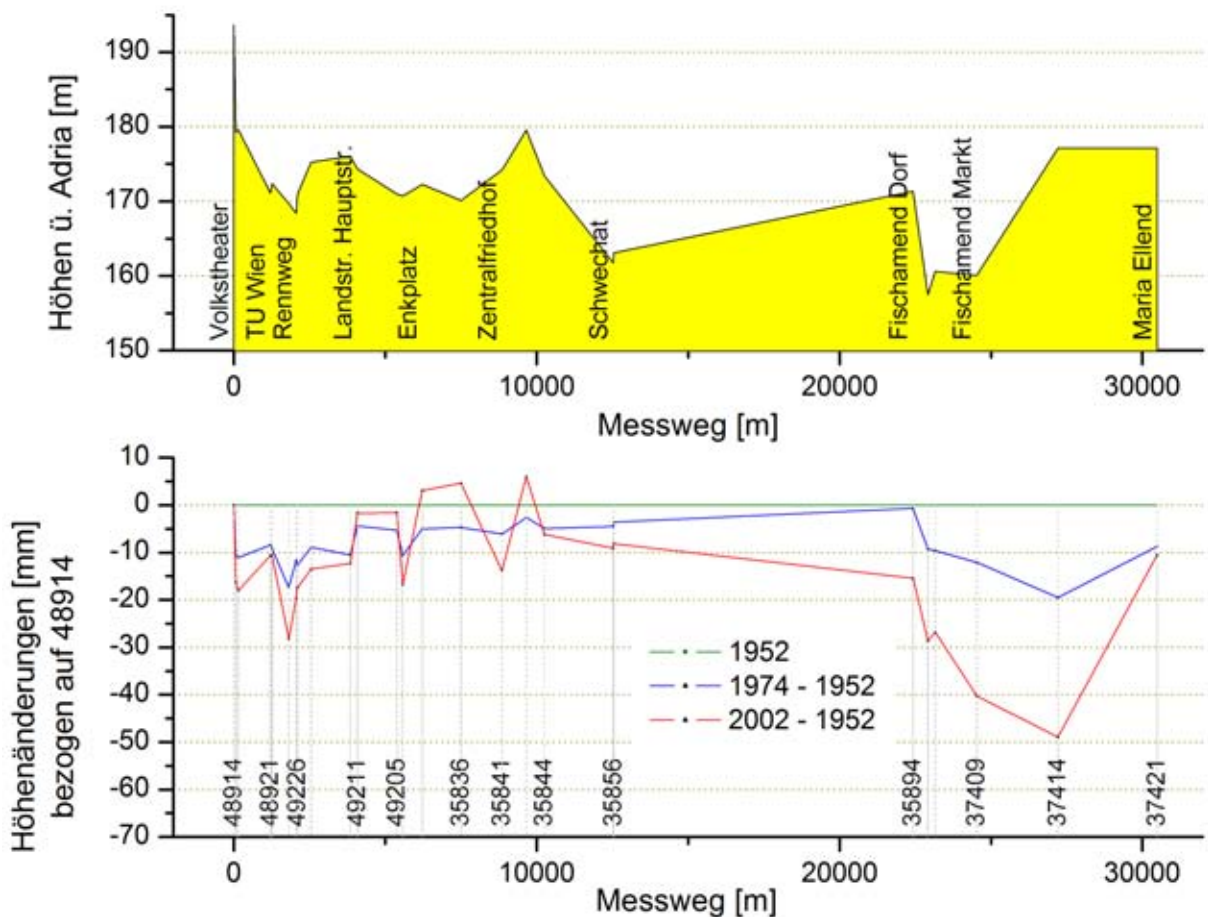
<sup>7</sup>Stadtplan der Stadt Wien mit Eintrag des öffentlichen Verkehrsnetzes unter: <http://www.wien.gv.at/stadtplan/>.



## 5.6. Betrachtung des Südschleifenbereichs

Wien liegt zum Großteil im Wiener Becken, das von zahlreichen geneigten Störungen durchzogen wird. Es handelt sich dabei um ein pull-apart-Störungssystem, bei dem es nach Decker et al. (2005) und Schopper (1991) entlang sinistraler Seitenverschiebungen zu großen Abschiebungen kommt. In der Abbildung 5.6 sind eine Vielzahl von Störungen eingetragen, die sich von Wien ausgehend nach Süden, Südosten und auch in den Nordosten fortsetzen. Im Nordosten wurden nicht mehr alle Störungen digitalisiert, da sie sich außerhalb des Untersuchungsgebietes befinden, aber bei Betrachten der Geologischen Karte von Niederösterreich von Schnabel (2002) kann man auch im Norden von Österreich und im slowakisch-tschechischen Bereich des Wiener Beckens eine ähnliche Störungsdichte erkennen wie im hier digitalisierten Teil. Der hier betroffene Teil des Wiener Beckens soll nun etwas näher betrachtet werden.

Die Linie **Volkstheater - Maria Ellend** verläuft unweit des nordwestlichen Randes bis etwa in die Mitte des Wiener Beckens, siehe Abbildung 5.3, und durchquert dabei einige Verwerfungszonen. Nach den Bewegungsraten der Abbildung 5.9 senken sich die Punkte nahe des Beckenrandes weiter



**Abbildung 5.9.:** Zug Volkstheater - Maria Ellend, bezogen auf den Punkt Volkstheater (48914). Dieser Punkt hat sich im Vergleich zu Horn um -38,2 mm gesetzt.

ab. Unklar ist das Bewegungsverhalten zwischen den Punkten 49211 bis 35884. In diesem Bereich

liegt das Leopoldsdorfer Bruchsystem, das im Zeitalter des Miozäns (siehe Kapitel 5.3.1) tektonisch aktiv war. Aktuelle Tektonik lässt sich nach den Nivellement-Messdaten nicht feststellen und es liegen auch keine aktuellen Erdbebendaten in diesem Bereich vor (siehe Abb. 5.3 und Abb. A.2). Östlich des Leopoldsdorfer Bruches, der nach Peresson (2006) als eine der Hauptabschiebungsflächen des Wiener Beckens gilt, sinkt der Beckenuntergrund ins Schwechater Tief ab und erreicht dabei eine Sprunghöhe von 4000 Meter, Wessely (2006c). Aus diesem Bereich liegen leider keine Nivellementdaten vor.

Direkt am Verknüpfungspunkt Maria Ellend (37421) kreuzt die Hauptstörungszone GLOGMIL (siehe Kapitel 5.3.1) die Nivellementlinie. Aus den Nivellementmessdaten lassen sich westlich der Störung deutliche sich sogar vergrößernde Setzungen feststellen (siehe Abb. 5.9). Im Gegensatz dazu kann man in der anschließenden Linie **Maria Ellend - Deutsch Altenburg** (Abbildung 4.16 auf Seite 71) diesen Abwärtstrend nicht mehr in so starker Form erkennen. Der Verknüpfungspunkt Deutsch Altenburg (37503) liegt nach der Abbildung 5.3 bereits am östlichen Beckenrand des Wiener Beckens. Zwischen Maria Ellend und Deutsch Altenburg kreuzt die Linie den Engelhartstettener Bruch (Abb. 5.3) bei den Punkten 37445 und 37446. Auch im Höhenprofil sowie bei den Höhenänderungen der Höhenfestpunkte in Abbildung 4.16 befinden sich an dieser Stelle Sprünge, die in diesem Fall tatsächlich tektonisch Gründe haben könnten.

Die Linie **Hütteldorf - Altmannsdorf - Wiener Neustadt** verläuft am westlichen Rand des Wiener Beckens (Abb. 5.3). Für den dreimal übermessen in Wien liegenden Teil zwischen Hütteldorf und Altmannsdorf lässt sich bei den Punkten 39427 und 39431 im Höhenrelief der Abbildung 4.22 auf Seite 78 ein Maximum erkennen. Die dazugehörigen Höhenänderungen dieser Punkte zeigen geringere Senkungsraten als ihre Nachbarpunkte an, was auch die Höhenreliefform erklärt. Sämtliche Punkte dieses Teilabschnittes liegen in Sedimenten und Kiesen des Neogen.

Vergleicht man das Höhenrelief der gesamten Linie mit den dort auftretenden Höhenänderungen (siehe Abb. 4.20 auf Seite 75), so erkennt man, dass die Höhenänderungen immer zu den Geländehöhen passen und das Relief grob nachformen. So überwiegen im linken Teil der Abbildung 4.20 die größeren Senkungen und die bereits durch die Geländeform angedeutete Beckenform wird sich vermutlich noch verstärken. Für den Bereich zwischen Sollenau bis Wiener Neustadt sind leider keine Daten vorhanden. Damit stehen aus dieser Gegenüberstellung für den Bereich der Mitterndorfer Senke kaum Daten zur Verfügung. Der Verlauf dieser lokalen Absenkung ist in der Abbildung A.2 durch eine blaue Schraffur gekennzeichnet und beruht auf der Arbeit von Decker et al. (2005). Wie bereits zuvor erwähnt, verläuft durch diesen Bereich die seismisch aktive Störung GLOGMIL. Etwas Information ist noch den letzten Punkten der Abbildung 4.20 zu entlocken. Diese Punkte im Süden von Wiener Neustadt liegen am Randbereich der Mitterndorfer Senke und zeigen eindeutig geringere Senkungsraten an, was sich bereits auch im Höhenrelief der Abbildung ganz rechts widerspiegelt.

Für weitere Aussagen über den Bereich der GLOGMIL können noch die Gegenüberstellungen der Linien zwischen Winzendorf und Donnerskirchen herangezogen werden. Diese Linien liegen im Bereich der Südschleife und wurden durch den Verknüpfungspunkt St. Pölten (39153) auf Horn-Bezug gebracht. (Zwei der 13 Gegenüberstellungsgrafiken sind in diese Arbeit eingebunden, siehe Abbil-

dungen 4.29, 4.30 und 4.31).

Sehr große Jahresbewegungen wurden im Bereich Winzendorf - Weikersdorf berechnet, wie sich der Abbildung A.2 im Anhang mit Hilfe der Farbpunkte aus *Surfer 8* erkennen lässt. Aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraumes von nur 14 Jahren ergeben sich relativ große Geschwindigkeiten in Bezug auf Horn (über -3 mm/Jahr). Etwas weiter nördlich davon verläuft eine kurze Linie bis Wöllersdorf mit Bewegungen über -2 mm/Jahr.

Wie sich der Karte A.2 entnehmen lässt, liegen diese Linien nach der Studie bei Decker et al. (2005) nicht im Bereich der Mitterndorfer Senke. Bei Betrachtung der Abbildung 5.3 auf Seite 104 fällt auf, dass diese Punkte am westlichen Rand des Wiener Beckens liegen und die Sollenauer Brüche überqueren. Auch nach Schnabel (2002) verlaufen in diesem Bereich gesicherte geneigte Störungen. Es lässt sich nun vermuten, dass der Einflussbereich der GLOGMIL weiter anwächst und auch im Bereich westlich von der Mitterndorfer Senke deutliche Spuren hinterlässt.

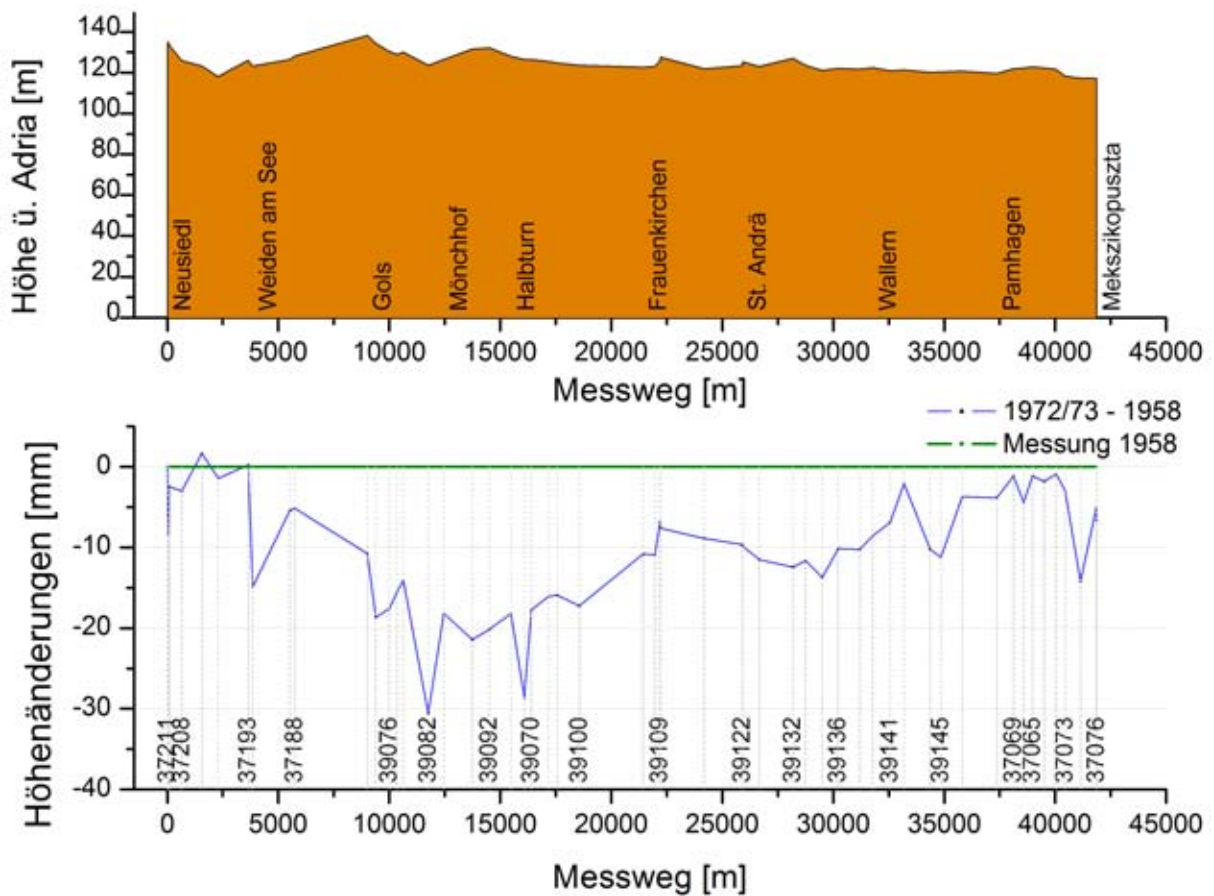
Wie der Karte A.2 zu entnehmen, treten aber im Bereich der Mitterndorfer Senke (Bereich Winzendorf/Weikersdorf bis Neudörfel in den Abbildungen 4.29 und 4.30) keine größeren Senkungen auf, als im restlichen Gebiet des Wiener Beckens und im Eisenstädter Becken. Die Vertikalgeschwindigkeiten liegen bei ca. -1,5 mm/Jahr.

## 5.7. Betrachtungen einzelner Südzüge

Zwischen dem Wiener Becken und dem Neusiedlersee liegt das größtenteils aus kristallinen Gesteinen bestehende Leithagebirge, ein Ausläufer der Zentralalpen. Im Neusiedlersee wird eine geneigte Störung vermutet (siehe Abb. A.2), die in weiterer Folge als **Neusiedler Bruch** bezeichnet wird. Am Ostufer, im Seewinkel, verläuft eine Störung östlich entlang der Nivellementlinie von **Neusiedl über Halbtorn nach Pamhagen** (siehe Abbildung 5.6). Leider verfügt diese Linie über keinen Bezug auf den Bezugspunkt in Horn. Auch ganz im Süden dieser Linie bei Pamhagen werden zwei Störungen vermutet. Aufgrund des fehlenden Horn-Bezugs, konnte diese Linie für die in der Grafik 4.37 visualisierten Vertikalbewegungen pro Jahr nicht herangezogen werden. Eine lokale Interpretation anhand der Abbildung 5.10 ist aber durchaus möglich. Auf der Seite 116 finden sich das Höhenrelief und die Bewegungen bezogen auf den Anfangspunkt 37211 dieser Linie. Der an einem Haus vermarkte Startpunkt der Linie liegt nach der geologischen Karte (siehe Abb. A.2) auf jüngstem Talboden (Lehm und Kies) und direkt am Neusiedler Bruch. Die Nivellementlinie verläuft Richtung NW-SO und folgt dabei einer vermuteten Störung, die südwestliche Begrenzung der **Parndorfer Platte**. Die nach Herrmann (2000) aus der Günzzeit stammende Erhebung überragt ihre Umgebung um 10 - 45 m und fällt an ihren Begrenzungen sehr steil ab, was eine bruchtektonische Entstehung vermuten lässt, Székely et al. (2009). An der Südwestbegrenzung der Parndorfer Platte traten auch in den letzten Jahren vereinzelt Erdbeben auf (beispielsweise 1972 in Gols und 1989 in Halbtorn). Damit gilt diese Zone nach Häusler et al. (2007) als seismotektonisch aktiv. Aus der Herdflächenlösung des Erdbebens im Bereich Halbtorn aus dem Jahr 1989 lässt sich eine relative Hebung der Parndorfer Platte bzw. Senkung des Bereichs Neusiedlersee herauslesen, Häusler et al. (2007). Generell senkt sich das gesamte Neusiedlerseegebiet in Relation zu seinem Umfeld um -0,6 bis -0,8 mm pro Jahr ab, Höggerl (2001).

Von Neusiedl über Gols bis Halbtorn begleitet die Nivellementlinie den Rand der Parndorfer Plat-

te. Die Höhenfestpunkte befinden sich aber immer in Straßennähe und bleiben im quartären Kies



**Abbildung 5.10.:** Geländehöhen und Höhenänderungen zwischen der Linie Neusiedl - Pamhagen - Mekszikopuszta mit den Erstmessungen aus den Jahren 1958 bzw. 1961 und den Zweitmessungen aus den Jahren 1972 bzw. 1973.

bzw. Lehm. Da die Richtungen der Nivellementlinie und der südöstlich streichenden Störungslinie zusammenfallen, ist im Profil der Abbildung 5.10 keine Änderung sichtbar. Bei den Punkten 39089 und 39092 wird die Lage einer NW-SO verlaufenden Störung vermutet. Diese wird bei Székely et al. (2009) und bei Häusler et al. (2007) als **Mönchhofer Bruch** bezeichnet. Aus den Messdaten der Nivellementlinie lässt sich die Lage der Störung leider nicht konkretisieren. Bei Székely et al. (2009) wird aber darauf hingewiesen, dass es in Gebieten mit geringer Reliefbildung wie etwa im Seewinkel, sehr schwierig ist Störungen zu erkennen (siehe Höhenprofil in der Abbildung 5.10). In ebenen Untersuchungsgebieten verhelfen Airborne Laserscanning Daten zu gut brauchbaren Resultaten. Bei Székely et al. (2009) werden aufgrund solcher Daten und einem daraus generierten Geländemodell einige langegezogene Höhenrücken im Seewinkel festgestellt, einer davon fällt fast mit der Mönchhofer Störung zusammen. Aber bereits 1983 konnte die Lage dieser Störung mit Hilfe von Gravimetermessungen sehr gut bestätigt werden, Häusler et al. (2007).

Bei Halbturm (Punkt 39070) knickt die Linie ab und verläuft weiter Richtung Süden über Frauenkirchen nach Pamhagen. Bei Frauenkirchen weist ein 1958 registriertes Erdbeben auf aktive Seismizität hin und wird der nicht weit entfernten Mönchhofer Störung zugerechnet, Häusler et al. (2007). Die Nivellementlinie verläuft nach Frauenkirchen aber weiter östlich als die Störungslinie.

Der Untergrund besteht aus Seewinkelschotter aus der Würmeiszeit. In der Nähe des Punktes 39141 wird eine in Richtung NO-SW streichende Störung vermutet, Schnabel (2002). Südlich davon bei Wallern verläuft parallel dazu noch eine vermutete Störung. Die Punkte zwischen 39145 und 37073 verlaufen direkt entlang dieser Störung. Ab 37073 bis zu den letzten Punkten an der Grenze verläuft die Nivellementlinie parallel aber weiter westlich der Störung. Im Geländeprofil der Abbildung 5.10 ist nach dem Punkt 37073 eine leichte Geländestufe zu bemerken.

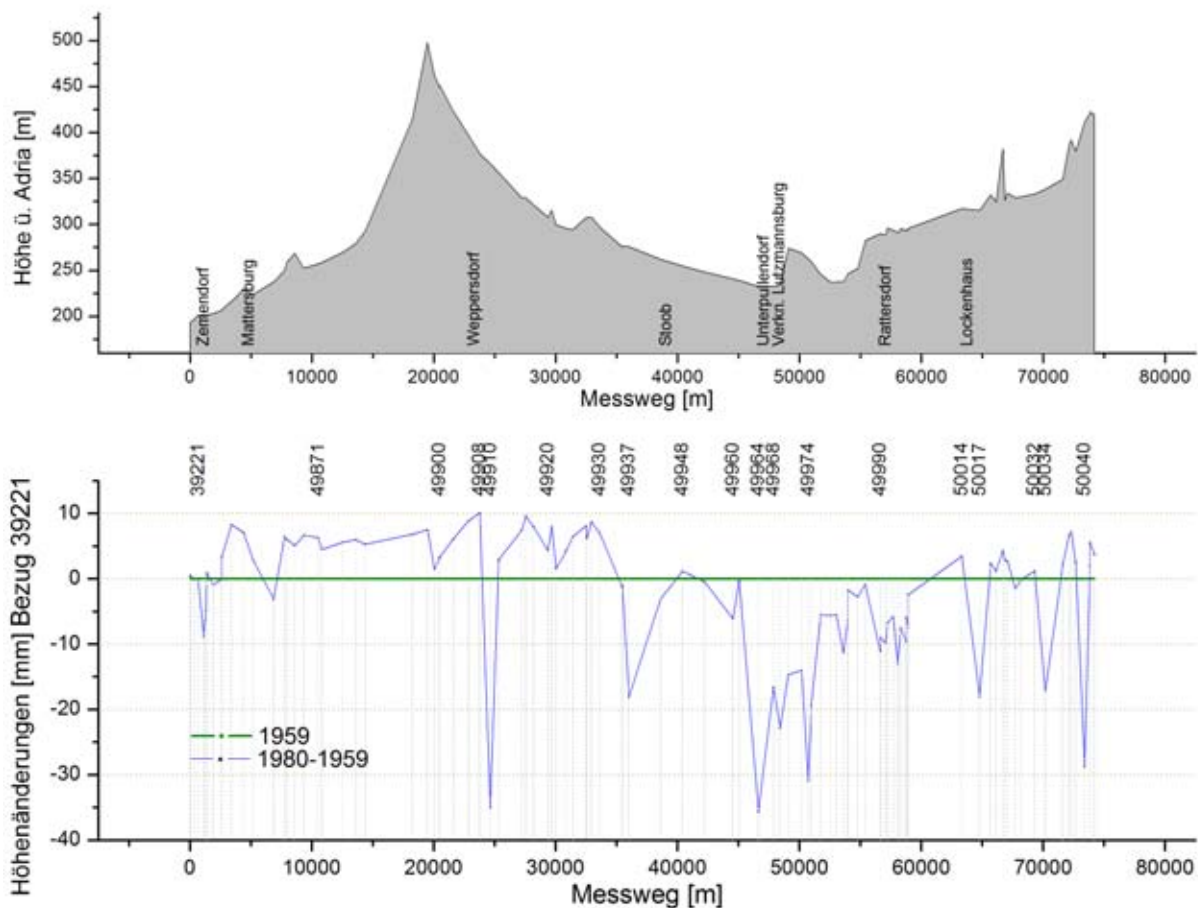
In der überarbeiteten geologischen Karte A.2 sind im Bereich des Seewinkels nach Haas et al. (1992) die Schwankungen des Grundwasserspiegels zwischen 1955 und 1988 verzeichnet. Die in Haas et al. (1992) dokumentierte Grundwasseruntersuchung im Seewinkel basiert auf der Langzeitbeobachtung von 24 Grundwassermessstellen des Hydrographischen Dienstes. Im Verlauf dieser etwa 30 jährigen Beobachtung lassen sich fast ausschließlich Absenkungen des Grundwasserspiegels feststellen. In unmittelbarer Seenähe ist die Absenkung noch am Geringsten und beträgt weniger als 0,2 m. Dieser Bereich ist in der Abbildung A.2 strichpunktiert markiert. Der mit „+“-Zeichen schraffierte Bereich erfuhr eine Grundwasserabsenkung von 0,2-0,4 m, der mit „-“-Zeichen schraffierte und größte Bereich ist von einer Senkungsrate zwischen 0,4 und 0,8 m betroffen. Für den nördlichen Bereich des Ostufers des Neusiedlersees sind aufgrund unzureichender Datenmengen keine konkreten Aussagen möglich. Bei Haas et al. (1992) wird aber vermutet, dass der Grundwasserstand ähnlich gering abgesunken ist, wie im Süden des Uferbereiches (strichpunktierter Bereich). Die Nivellementmessungen der Linie Neusiedl - Pamhagen stammen aus den Jahren 1958 und 1972/73 und fallen damit in den Zeitraum der Wasserstandsbeobachtung. Die Linie durchquert bis zum Punkt 39076 den zuletzt genannten nördlichen Bereich am Ostufer. Ab dann verläuft die Linie bis zum Punkt 37069 durch den Bereich mit der größten Grundwasserspiegelabnahme. Innerhalb dieses Bereichs treten auf der Linie auch die größten Absenkungen auf (siehe Abbildung 5.10). Ein Zusammenhang zwischen der Grundwasserabsenkung und den negativen Höhenänderungen ist durchaus wahrscheinlich. Für konkrete Aussagen wären allerdings Schichtprofile aus diesen Bereichen notwendig. Bei Schweizer (1992) werden Höhenänderungen aufgrund von Grundwasserspiegelabsenkung durch Konsolidierung (zeitlich verzögertes Zusammendrücken des Bodens) bei tonigen und schluffigen Schichten vermutet, manchmal kann die Absenkung auch durch Erosion verursacht werden.

Im Bereich der größten Setzungsraten von Gols bis Frauenkirchen wurden einige Entwässerungskanäle errichtet, welche eine große Auswirkung auf den Grundwasserspiegel ausüben, Haas et al. (1992). Durch die Kanalerichtung wurden die früher versumpften Gebiete trockengelegt und die Kanäle dienen der Landwirtschaft und der Trinkwasserversorgung.

Beachtung ist noch einigen Punkten in der **Umgebung von Neusiedl** zu schenken. Eine Abbildung der Bewegungsraten findet sich auf der Seite 83. Hier wurden die Messungen mit einem Zeitabstand von einem Jahr beobachtet und trotz dieses kurzen Zeitintervalls treten relativ große Höhenänderungen auf. Das Maximum tritt im Punkt 37224 auf mit -47,9 mm (bezogen auf den Verbindungspunkt Neusiedl 37223), siehe Abbildung 4.27. Bei Betrachtung der geologischen Karte von NÖ Schnabel (2002) fällt auf, dass etwas östlicher aber parallel zu den Punkten eine Störung vermutet wird, seismische Aktivitäten traten hier bisher aber nicht auf. Im Untergrund dieser Punkte überwiegen Sedimente aus dem Miozän.

Weiter östlich zweigt von der Südschleife noch ein weiterer Zug ab, der **von Gattendorf nach Nickelsdorf** verläuft. Wie der Abbildung 4.26 auf Seite 81 gut entnehmbar ist, überwiegen lokal auf dieser Linie die Hebungen (bis nahezu 11 mm) in Bezug auf den Verknüpfungspunkt Gattendorf. Wenn auch eine geneigte Störung kurz die Linie bei Gattendorf streift, so kann sie nicht für die drastische lokale Senkung eines Punktes von fast -15 mm verantwortlich sein. Dieser Punkt liegt auf einer mit Löss und Lehm bedeckten Hochterasse, die sich lokal tektonisch abgesenkt hat. Im Raum Nickelsdorf liegt das Epizentrum eines einzigen Erdbebens mit einer geschätzten Intensität von 4.

Südwestlich vom Neusiedlersee verläuft der Zug **Zemendorf - Oberpullendorf - Lutzmannsburg**. Dieser Südzug setzt sich aus zwei Linien zusammen. In dem an der Südschleife liegenden Zemendorf zweigt die erste Linie ab und verläuft über Mattersburg und Oberpullendorf schließlich bis Lockenhaus. Die Vertikalbewegungen (in Bezug auf den Verbindungspunkt Zemendorf) sowie ein Höhenschnitt sind in der Abbildung 5.11 zu finden. Im nördlichen Teil dieser Linie dominieren



**Abbildung 5.11.:** Zug Zemendorf - Oberpullendorf mit Verbindung nach Lutzmannsburg. Bezug der Linie auf Zemendorf (39221).

die Hebungen. Eine Ausnahme stellen beispielsweise zwei Punkte in unmittelbarer Nähe des Verknüpfungspunktes dar. Diese in neogenen Sedimenten aus dem Pannonium liegenden Höhenpunkte haben aber durchaus glaubwürdige Bewegungen.

Bei Vergleich der Abbildung 5.11 mit der Strukturkarte 5.3 auf der Seite 104 erkennt man im Hö-

henrelief und teilweise auch bei den Höhenänderungen leichte Ähnlichkeiten zum Untergrundrelief der Beckenlandschaften. Die Linie beginnt bei Zemendorf, was mitten im Mattersburger Becken (Teil des südlichen Wiener Beckens) liegt. Kurz vor dem Punkt 49900 erreicht die Linie den Rand des Wiener Beckens, im Höhenrelief der Abb. 5.11 deutlich erkennbar durch ein Maximum. Die Höhenänderungen bezogen auf den Anfangspunkt der Linie zeigen keine Zustimmung.

Nach Erreichen des Beckenrandes taucht die Linie wieder in die Beckenregion (siehe Abb. 5.3) ein und durchquert die Bucht von Landsee und Teile der Bucht von Lockenhaus. Im Höhenrelief und in den Höhenänderungen der Abbildung 5.11 ist eindeutig die nachgeformte Beckenstruktur für diesen Bereich bemerkbar, es sind eindeutige Absenkungen verzeichnet.

Die drastische Senkung von -35,1 mm im Punkt 49910 ist jedoch sicher nicht rein tektonischer Ursache, möglicherweise weist sein Verhalten auf Instabilität hin. Dieser Punkt ist, ebenso wie seine etwa 600-800 m entfernten Nachbarpunkte, in neogene Sedimente eingebettet (siehe Abb. A.2). Seine Nachbarn weisen aber Hebungen auf. Ab dem, leicht nördlich von Oberpullendorf liegendem Punkt 49937, treten auf der Linie gehäuft Absenkungen auf. Leicht südlich des Punktes 49937 befindet sich nach Schnabel (2002) eine gesicherte Störung und erklärt die relativ große Senkung dieses Punktes. Zwischen den Punkten 49964 bis 49975 treten Senkungen zwischen -14 und -35 mm auf. Diese Punkte weisen demnach ein ähnliches Bewegungsverhalten auf, Störung findet sich nach Schnabel (2002) in diesem Gebiet der Terrassensedimente keine. Zwischen den Punkten 49981 und 49982 verläuft nach Schnabel (2002) ein vermutetes Störungssystem und erklärt somit die Bewegungen von ca. -11 mm.

Etwa ab dem Punkt 49990 tritt die Linie wieder an den Beckenrand (siehe Abb. 5.3) und bei ihrem Verlauf bis Lockenhaus streift sie bereits die die Rechnitzer Einheit, die dem Penninikum angehört. Abgesehen von ein paar Ausreißern gehen hier auch die Senkungsraten auf -1 bis -2 mm/Jahr zurück (siehe Farbmarkierungen in der Karte A.2). Ab dem Punkt 50014 bei Lockenhaus treten in der Abb. 5.11 wieder gehäuft Hebungen auf. An drei Punkten kommt es zu sehr starken Senkungen, die ungeklärt bleiben.

In der Region Ober- bzw. Unterpullendorf kann über einen Verknüpfungspunkt noch eine Linie an die zuvor erwähnte angehängt werden. Diese Linie (siehe Abbildung 4.28 auf Seite 84) läuft nach **Lutzmannsburg** und erreicht die Grenze zu Ungarn. Als Bezugspunkt dieser Linie wurde in der Abbildung der Verknüpfungspunkt 49968 festgelegt. Die Punkte dieser Linie befinden sich hauptsächlich in aus dem Quartär stammenden Talböden (siehe Abb. A.2). Störungen sind nach Schnabel (2002) in diesem Bereich keine.

Leichte Seismizität zeigt sich nach Lenhardt and Hammerl (2007) im südlichsten Bereich des Testgebietes bei Lutzmannsburg. In diesem Bereich ist nach Lippitsch et al. (2007) die Grenze zwischen der nördlicher liegenden Europäischen Platte und der südlich liegenden Pannonischen Platte, die sich vor ca. 30 Millionen Jahren von der Adriatischen Platte abgespalten hat. Wie bereits im Kapitel 2.2.2 beschrieben, schiebt sich vom Süden die Adriatische Platte über die Europäische Platte. Die östlich liegende Pannonische Platte, im unteren Bildteil der Abbildung 5.6 auf Seite 108 sichtbar, wird dadurch nach Osten „ausgequetscht“, wie es in Lippitsch et al. (2007) so bildlich formuliert wird. Die roten Pfeilspitzen deuten an, wo sich die Pannonische Platte etwa über die Europäische schiebt. Die Plattengrenze sowie die seismische Aktivität sind auch in der Karte A.2 eingetragen (siehe südlicher Rand der Karte). Diese Plattengrenzen sind allerdings zu alt, um noch einen rele-

vanten Einfluss auf rezente Krustenbewegungen zu haben<sup>8</sup>.

Es lassen sich jedoch entlang des Südzuges von Unterpullendorf (Verknüpfungspunkt 49968) bis Lutzmannsburg relativ große Senkungen von maximal -3 mm/Jahr bei Hornbezug feststellen (siehe Farbpunkte in Abb. A.2). Diese Berechnung stimmt gut mit der Seismizität überein, bei Schnabel (2002) ist hier aber keine Störung verzeichnet. Allerdings reicht diese Linie weiter in die Bucht von Lockenhaus hinein und in der Reliefkarte von Kröll (1988) (siehe Abb. 5.3 unten auf Seite 104) sind östlich von Oberpullendorf mehrere Verwerfungen eingetragen. Auch hier geht es offenbar weiter abwärts.

---

<sup>8</sup>Anm. Dr. Erich Draganits.



## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Erforschung regionaler Krustenbewegungen bedient man sich der Triangulations- und der Nivellementmessung. Dazu wurden auf nationaler und internationaler Ebene verschiedene Kontrollnetze entwickelt, die durch Wiederholungsmessungen langfristige Krustenbewegungen sichtbar machen sollen. Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit war die Erfassung und Bearbeitung von vertikalen Krustenbewegungen in Ostösterreich auf Basis der Präzisionsnivellementdaten des BEV. Anschließend hatte eine geologische Interpretation der erarbeiteten Bewegungen zu erfolgen.

Durch den Vergleich von unterschiedlich alten Nivellementmessungen lassen sich Höhenänderungen feststellen. Daher erfolgte eine Recherche der Messdaten im Archiv des BEV und die Digitalisierung von analog vorhandenen Übermessungen. Die im Zuge dieser Arbeit in ein Excel-Format übertragenen Gegenüberstellungen zweier Messreihen wurden dem BEV übergeben.

Unter dem Ansatz linearer Bewegungen wurden dann aus den rohen Nivellementmessdaten Vertikalbewegungen für die Höhenfestpunkte abgeleitet, die sich auf einen Referenzpunkt in Horn beziehen. Auf die Ausführung eines Ausgleichs der Messdaten wurde dabei verzichtet.

Für die nachfolgende geologische Interpretation wurden für sämtliche Nivellementlinien Profildarstellungen des Gelände sowie der Bewegungen der Höhenpunkte mit Hilfe der digitalisierten Gegenüberstellungen erstellt. Weiters wurde noch durch Interpolation der Vertikalgeschwindigkeiten der Festpunkte eine flächenhafte Bewegungskarte des Untersuchungsgebietes ermittelt.

Für die geologische Interpretation wurden verschiedene geologischer Karten der Geologischen Bundesanstalt verwendet, in erster Linie die geologische Karte von Niederösterreich im Maßstab 1:200 000, sowie Themenkarten des Wiener Beckens. Anhand der Koordinaten der Höhenfestpunkte und der in den Karten verzeichneten Raster konnten die Nivellementlinien der richtigen Lageposition und somit der geologischen Zone zugewiesen werden. Für die Interpretation wurden noch die vom ZAMG ermittelten Erdbebenvorkommnisse inkludiert.

Für den nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes zeigen sich in den Messdaten nur sehr schwache Senkungen (ca.  $-0,5$  mm/Jahr) bzw. keine Bewegungen. Durch die geringen Bewegungen ist fraglich, inwieweit diese Ergebnisse tektonische Bewegungen wiedergeben, sind sie doch mit einem geringen Maß an Messunsicherheiten behaftet. Genauigkeitsuntersuchungen ergaben aber, dass der entstandene Messfehler minimal ist.

Aus geologischer Sicht ist das erzielte Ergebnis durchaus sinnvoll. Der nordwestliche Bereich des Untersuchungsgebietes liegt in der Böhmisches Masse, ein ehemaliges Gebirge von dem nur noch sein kristalliner Sockel übriggeblieben ist. Für diesen Bereich sind in der Gegenwart kaum seismische Aktivitäten zu vermelden. Großteil des nördlichen Teils des Untersuchungsgebietes liegt in der autochthonen Molassezone, unter der sich die stabile Böhmisches Masse fortsetzt.

Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nehmen die Vertikalgeschwindigkeiten leicht zu. Hier liegen die Werte großteils bei -2-3 mm/Jahr. Auch dieses Ergebnis ist geologisch betrachtet durchaus sinnvoll. Durch die Kollision der Afrikanischen Platte mit der europäischen Platte begann die Gebirgsbildung der Alpen. Aus der daraus resultierenden Raumeinengung entstanden aus den vorerst nordgerichteten Bewegungen Ausweichbewegungen nach Nordosten. Die sinistrale Seitenverschiebung verursachte im pannonischen Raum ein Dehnungsraum, der sich bis heute noch absenkt: das Wiener Becken. Dieses ist durch eine große Anzahl von seismisch aktiven Störungs-  
linien durchzogen, deren Verlauf durch die Nivellementlinien allerdings nicht konkretisiert werden konnte.

Aufbauend auf diesen zusammengetragenen Daten wäre die Ausführung eines Ausgleichs der Höhenfestpunkte sowie ihrer Vertikalbewegungen wünschenswert. Damit wären durchaus weitere Aussagen möglich. Aufgrund der raschen Entwicklung der satellitenunterstützten Positionsbestimmung der letzten Jahre wäre auch eine Kombination von Präzisionsnivellementmessungen mit GNSS-Messungen anzudenken.

# Literaturverzeichnis

- J. Adam, W. Augath, F. Brouwer, G. Engelhardt, W. Gurtner, B. G. Harsson, J. IHDE, D. Ineichen, H. Lang, J. Luthardt, M. Sacher, W. Schlüter, T. Springer, and G. Wöppelmann. Status and development of the european height systems. *IUGG/IAG General Assembly, Birmingham*, 1999.
- A. Brandtner. *Analyse des österreichischen Höhensystems*. Diplomarbeit Technische Universität Wien, 1991.
- K. Bretterbauer. Das höhenproblem der geodäsie. *Österreichische Zeitung für Vermessung und Photogrammetrie*, 74. Jahrgang, Heft 4, S.205-215, 1986.
- E. Brockmann, D. Ineichen, and A. Wiget. Neumessung und auswertung des gps-landesnetzes der schweiz lv95. *Geomatik Schweiz: Fachzeitschrift für Geoinformation, Landmanagement, Geodäsie, Vermessung, Kartografie, Photogrammetrie, Fernerkundung, Raumplanung, Strukturverbesserung, Landökonomie, Kulturtechnik, Boden, Wasser, Umwelt, Gemeindeingenieurwesen*, Heft 8, 440-444, 2005.
- Z. Bus, G. Grenerczy, L. Tóth, and P. Mónus. Active crustal deformation in two seismogenic zones of the pannonian region - gps versus seismological observations. *Tectonophysics* 474, 343-352, 2009.
- K. Decker, H. Peresson, and R. Hinsch. Active tectonics and quarternary basin formation along the vienna basin transform fault. *Quaternary Science Reviews*, Volume 24, 307-322, 2005.
- H. Egger, H. Krenmayr, G. Mandl, A. Matura, A. Nowotny, G. Pascher, G. Pestal, J. Pistotnik, M. Rockenschaub, and W. Schnabel. *Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:2 000 000*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1999.
- G. H. Eisbacher. *Einführung in die Tektonik*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1991.
- M. Font Altaba, A. S. M. Arribas, and G. Tanelli. *Geologie, Wissen auf einem Blick*. Neuer Kaiser Verlag GesmbH, Klagenfurt, 1998.
- W. Frisch and M. Meschede. *Plattentektonik - Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung*. Primus Verlag, Darmstadt, 2. Auflage, 2007.
- G. Grenerczy, A. Kenyeres, and I. Fejes. Present crustal movement and strain distribution in central europe inferred from gps measurements. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, NO. B9, pages 21,835-21,846, 2000.
- P. Haas, G. Haidinger, H. Mahler, J. Reitinger, and R. Schmalfluss. *Grundwasserhaushalt Seewinkel*. Beitrag zum Forschungsprogramm Hydrologie Österreichs, Technische Universität Wien, 1992.

- P. Herrmann. *Das Quartär, In: Burgenland, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2000.
- N. Höggerl. Die ausgleichung des österreichischen präzisionsnivellementnetzes. *Österreichische Zeitung für Vermessung und Photogrammetrie*, 74. Jahrgang, Heft 4, S.243, 1986.
- N. Höggerl. *Bestimmung von rezenten Höhenänderungen durch wiederholte geodätische Messungen, In: Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 1851-2001, 150 Jahre Meteorologie und Geophysik in Österreich*. Leykam Verlag, S.630-644, 2001.
- N. Höggerl. *Höhenänderungen in Österreich. In: Hofmann, Thomas und Schönlaub, Hans (Hg), Geo-Atlas Österreich*. Böhlau GesmbH und Co.KG, 2007.
- H. Häusler, C. Frank, H. Figdor, and W. Lenhardt. *Erläuterungen zu den Blättern 79 Neusiedl am See, 80 Ungarisch-Altenburg, 109 Pamhagen der Geologischen Karte der Republik Österreich 1:50 000*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2007.
- I. Joó. Recent vertical surface movements in the carpathian basin. *Tectonophysics*, 202:129-134, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 1992.
- H. Kahmen. *Vermessungskunde*. Walter de Gruyter Verlag, 19. Auflage, 1997.
- W. J. Kious and R. I. Tilling. *This Dynamic Earth, The Story of Plate Tectonics*. U.S. Geological Survey (USGS), online verfügbar unter: <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>, 2009.
- H. G. Krenmayr, A. Daurer, T. Hofmann, G. W. Mandl, H. Peresson, G. Pestal, J. Pistotnik, J. Reitner, S. Scharbert, W. Schnabel, and H. P. Schönlaub. *Rocky Austria - Eine bunte Erdgeschichte von Österreich, im Internet verfügbar unter: http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/rockymenue.htm*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2002.
- A. Kröll. *Reliefkarte des prätertiären Untergrundes, Aus: Geologische Themenkarten der Republik Österreich: Steirisches Becken und Südburgenländische Schwelle 1:200.000*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1988.
- A. Kröll and G. Wessely. *Strukturkarte - Basis der tertiären Beckenfüllung, Aus: Geologische Themenkarten der Republik Österreich: Wiener Becken und angrenzende Gebiete 1:200 000*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1993.
- A. Kröll, I. Gnojek, H. Heinz, R. Jiricek, B. Meurers, W. Seiberl, P. Steinhauser, G. Wessely, and D. Zych. *Erläuterungen zu den Karten über den Untergrund des Wiener Beckens und der angrenzenden Gebiete*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1993.
- T. Kukkamäki. *Über die nivellitische Refraktion*. Publication Nr. 25 of the Finnish Geodetic Institute, Helsinki, 1938.
- W. Lenhardt. *Erdbeben, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006.

- W. Lenhardt and C. Hammerl. *Erdbeben in Österreich. In: Hofmann, Thomas und Schönlaub, Hans (Hg), Geo-Atlas Österreich.* Böhlau GesmbH und Co.KG, 2007.
- N. Lenôtre, P. Thierry, R. Blanchin, and G. Brochard. Current vertical movement demonstrated by comparative levelling in brittany (northwestern france). *Tectonophysics 301*, S. 333-344, 1999.
- R. Lippitsch, M. Behm, and E. Brückl. *Die Moho: Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel. In: Hofmann, Thomas und Schönlaub, Hans (Hg), Geo-Atlas Österreich.* Böhlau GesmbH und Co.KG, 2007.
- A. Matura. *Böhmische Masse, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer.* Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006.
- H. Murawski and W. Meyer. *Geologisches Wörterbuch.* Spektrum Akademischer Verlag, 2010.
- H. Peresson. *Neotektonik, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer.* Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006.
- F. Press, R. Siever, J. Grotzinger, and T. Jordan. *Allgemeine Geologie.* Spektrum, Akademischer Verlag, 2008.
- N. Rožić. Vertical crustal displacements on the croatian territory. *Österreichische Zeitung für Vermessung und Geoinformation, Heft 3*, S. 219-229, 2007.
- W. Schnabel. *Geologische Karte von Niederösterreich 1:200 000.* Geologische Bundesanstalt, Wien, 2002.
- T. Schopper. *Strukturgeologische Untersuchungen als Hilfe für die tektonische Deutung des Bewegungsmechanismus des Wiener Beckens.* Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft, Band 84, 1991.
- R. Schweizer. *Höhenänderungen von Nivellementpunkten im südlichen Oberrheingraben.* Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, Dissertation, 1992.
- M. Stober. *Zur erfassung rezenter vertikaler krustenbewegungen durch präzisionsnivellements. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayrischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C (Dissertationen), Heft Nr. 251,* 1979.
- B. Székely, A. Zámolyi, E. Draganits, and C. Briese. Geomorphic expression of neotectonic activity in a low relief area in an airborne laser scanning dtm: A case study of the little hungarian plain (pannonian basin). *Tectonophysics 474*, 2009.
- G. Timár and T. Rácz. The effects of neotectonic and hydrological processes on the flood hazard of the tizza region (east hungary), in: Neotectonics and surface processes: the pannonian basin and alpine/carpathian system. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3: 267-275*, 2002.
- A. Tollmann. *Geologie von Österreich Band 3 - Gesamtübersicht.* Franz Deuticke Wien, 1986.
- W. Torge. *Geodäsie.* Walter de Gruyter Verlag, 2. Auflage, 2003.

- D. Van Husen. *Die Ostalpen in den Eiszeiten*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1987.
- P. Vyskočil. Recent crustal movements, their properties and results of studies at the territory of czech republic. *Seismicity, Neotectonics, and recent dynamics with special regard to the Territory of Czech Republic, Vol.42:S.77-120, Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography (VUGTK)*, 1996.
- G. Wessely. *Alpen und Karpaten, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006a.
- G. Wessely. *Flyschzone und Klippenzonen, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006b.
- G. Wessely. *Wiener Becken, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006c.
- G. Wessely and A. Kröll. *Geologische Einheiten des präneogenen Untergrundes, Aus: Geologische Themenkarten der Republik Österreich: Wiener Becken und angrenzende Gebiete 1:200 000*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 1993.
- G. Wessely and A. Matura. *Geologische Grundbegriffe - Beispiele aus Niederösterreich, In: Niederösterreich, Serie Geologie der österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien, 2006.
- J. Zeger. Historische entwicklung des präzisionsnivellements in Österreich. *Österreichische Zeitung für Vermessung und Photogrammetrie, 74. Jahrgang, Heft 4, S.250-263*, 1986.
- W. B. Zeil. *Brinkmanns Abriß der Geologie - Allgemeine Geologie*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1990.
- K. Zippelt. Modellbildung, berechnungsstrategie und beurteilung von vertikalbewegungen unter verwendung von präzisionsnivellements. *Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayrischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C (Dissertationen), Heft Nr. 343*, 1988.

## **A. Geologisches Material**

Phanerozoic				Eonothem Eon	
Mesozoic		Cenozoic		Erathem Era	
Cretaceous		Paleogene	Neogene	Quaternary	
				System Period	
				Series Epoch	
				Stage Age	
				Age Ma	
				GSSP	
			Holocene	0.0117	↘
			Upper "Holstein"	0.126	↘
			Pleistocene	0.781	↘
			Calahorra	1.806	↘
			Gelasian	2.588	↘
			Pliocene	3.600	↘
			Zanclean	5.332	↘
			Messinian	7.246	↘
			Tortonian	11.608	↘
			Serravallo	13.82	↘
			Langhian	15.97	↘
			Burdigalian	20.43	↘
			Aquitanian	23.03	↘
			Chattian	28.4 ± 0.1	↘
			Rupelian	33.9 ± 0.1	↘
			Prabonian	37.2 ± 0.1	↘
			Barbian	40.4 ± 0.2	↘
			Lutetian	48.6 ± 0.2	↘
			Ypresian	55.8 ± 0.2	↘
			Thanetian	58.7 ± 0.2	↘
			Selandian	~ 61.1	↘
			Danian	65.5 ± 0.3	↘
			Maastrichtian	70.6 ± 0.6	↘
			Campanian	83.5 ± 0.7	↘
			Santonian	85.8 ± 0.7	↘
			Coniacian	~ 88.6	↘
			Turonian	93.6 ± 0.8	↘
			Choromenian	99.6 ± 0.9	↘
			Albian	112.0 ± 1.0	↘
			Aptian	125.0 ± 1.0	↘
			Barremian	130.0 ± 1.5	↘
			Hauterivian	~ 133.9	↘
			Valanginian	140.2 ± 3.0	↘
			Berriasian	145.5 ± 4.0	↘

Phanerozoic				Eonothem Eon		
Paleozoic		Mesozoic		Erathem Era		
Carboniferous		Triassic	Jurassic	System Period		
				Series Epoch		
				Stage Age		
				Age Ma		
				GSSP		
			Upper	Tithonian	145.5 ± 4.0	↘
				Kimmeridgian	150.8 ± 4.0	↘
				Oxfordian	~ 155.6	↘
				Callovian	161.2 ± 4.0	↘
				Bathonian	164.7 ± 4.0	↘
				Badenian	167.7 ± 3.5	↘
				Bajocian	171.6 ± 3.0	↘
				Aalenian	175.6 ± 2.0	↘
				Toarcian	183.0 ± 1.5	↘
				Reculan	189.6 ± 1.5	↘
				Sinemurian	196.5 ± 1.0	↘
				Heselerian	199.6 ± 0.6	↘
				Rhaetian	203.6 ± 1.5	↘
				Norian	~ 228.7	↘
				Carnian	216.5 ± 2.0	↘
				Lusitanian	~ 245.9	↘
				Aalenian	237.0 ± 2.0	↘
				Devonian	~ 249.5	↘
				Indusian	251.0 ± 0.4	↘
				Dangguangian	253.8 ± 0.7	↘
				Wuzhuzhuan	260.4 ± 0.7	↘
				Dapuanian	265.8 ± 0.7	↘
				Wondan	268.0 ± 0.7	↘
				Roadian	270.6 ± 0.7	↘
				Kungurian	275.6 ± 0.7	↘
				Artinskian	284.4 ± 0.7	↘
				Sarmatian	294.6 ± 0.8	↘
				Asselian	299.0 ± 0.8	↘
				Gzhelian	303.4 ± 0.9	↘
				Kasimovian	307.2 ± 1.0	↘
				Missovian	311.7 ± 1.1	↘
				Bashkirian	318.1 ± 1.3	↘
				Serpukhovian	328.3 ± 1.6	↘
				Visean	345.3 ± 2.1	↘
				Tournaisian	359.2 ± 2.5	↘

Phanerozoic				Eonothem Eon		
Paleozoic				Erathem Era		
Cambrian		Ordovician	Silurian	Devonian		
				Famennian	369.2 ± 2.5	↘
				Frasnian	374.5 ± 2.6	↘
				Givetian	385.3 ± 2.6	↘
				Eifelian	391.8 ± 2.7	↘
				Embsay	397.5 ± 2.7	↘
				Ernschan	407.0 ± 2.8	↘
				Pragian	411.2 ± 2.8	↘
				Lochkovian	416.0 ± 2.8	↘
				Pridoli	418.7 ± 2.7	↘
				Ludlow	421.3 ± 2.6	↘
				Gorstian	422.9 ± 2.5	↘
				Homerian	426.2 ± 2.4	↘
				Sinemurian	428.2 ± 2.3	↘
				Telychian	436.0 ± 1.9	↘
				Aeronian	439.0 ± 1.8	↘
				Rhuddanian	443.7 ± 1.5	↘
				Hirnantian	445.6 ± 1.5	↘
				Katian	455.8 ± 1.6	↘
				Sandbian	460.9 ± 1.6	↘
				Dumekian	468.1 ± 1.6	↘
				Dryopagan	471.8 ± 1.6	↘
				Floian	478.6 ± 1.7	↘
				Tremocian	488.3 ± 1.7	↘
				Stage 10	~ 492 *	↘
				Stage 9	~ 496 *	↘
				Patban	~ 499	↘
				Guzhangian	~ 503	↘
				Drunian	~ 506.5	↘
				Stage 5	~ 510 *	↘
				Stage 4	~ 515 *	↘
				Stage 3	~ 521 *	↘
				Stage 2	~ 528 *	↘
				Formanian	542.0 ± 1.0	↘

This chart was drafted by Gabi Ogg, Intra Cambrian unit ages with \* are informal, and awaiting ratified definitions. Copyright © 2009 International Commission on Stratigraphy

Precambrian				Eonothem Eon	
Archean		Proterozoic		Erathem Era	
				System Period	
				Age Ma	
				GSSP GSSA	
			Eoarchean	~ 635	↘
			Orygenian	850	↘
			Tonian	1000	↘
			Serran	1000	↘
			Esthesian	1200	↘
			Clymanian	1400	↘
			Sarbanian	1600	↘
			Orosman	1800	↘
			Physcian	2050	↘
			Siderian	2300	↘
			Neoproterozoic	2500	↘
			Mesoproterozoic	2800	↘
			Paleoproterozoic	3200	↘
			Pre-Cambrian	3600	↘
			Embsayan	4000	↘
			Hadensian (informal)	~ 4600	↘

Subdivisions of the global geologic record are formally defined by their lower boundary. Each unit of the Phanerozoic (~542 Ma to Present) and the base of Ediacaran are defined by a basal Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP), whereas Precambrian units are formally subdivided by absolute age (Global Standard Stratigraphic Age, GSSA). Details of each GSSP are posted on the ICS website ([www.stratigraphy.org](http://www.stratigraphy.org)). Numerical ages of the unit boundaries in the Phanerozoic are subject to revision. Some stages within the Cambrian will be formally named upon international agreement on their GSSP limits. Most sub-Series boundaries (e.g., Middle and Upper Aptian) are not formally defined. Colors are according to the Commission for the Geological Map of the World ([www.cgmw.org](http://www.cgmw.org)). The listed numerical ages are from J.A. Geological Time Scale 2004\*, by F.M. Gradstein, J.G. Ogg, A.G. Smith, et al. (2004; Cambridge University Press) and "The Concise Geological Time Scale" by J.G. Ogg, G. Ogg and F.M. Gradstein (2008).

Abbildung A.1.: die internationale stratigrafische Tabelle der International Commission on Stratigraphy (ICS)



**Abbildung A.2.:** Ausschnitt der geologischen Karte Niederösterreichs 1:200 000 von Schnabel (2002), erweitert um die Nivellementlinien des BEV mit Eintragung ihrer durchschnittlichen Millimeter-Bewegungsraten pro Jahr (siehe Farbschattierung). Weiters ist im Bereich Seewinkel die Beobachtung des Grundwasserspiegels von Haas et al. (1992) durch verschiedene Schraffuren eingetragen. In der Mitte der Karte ist der Bereich der Mitterndorfer Senke nach der Arbeit von Decker et al. (2005) blau schraffiert. Durch diese Karte soll die Zuordnung der Linienprofile aus den Kapiteln 4.3, 5.5 und 5.6 erleichtert werden. Als Orientierungshilfe sind neben den Abbildungsnummern auch einzelne Höhenfestpunktnummern eingetragen.

