

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen

Klasse

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München

Jahrgang 1953

München 1954

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung

Nachweis von Erdkrustenbewegungen in Bayern durch Feinnivellements

Von Max Kneißl in München

Vorgelegt am 9. Januar 1953

Mit 2 Kartenblättern

1. Vorbemerkung

Auf der ersten Erdmessungskonferenz 1864 in Berlin wurde beschlossen, in allen am Erdmessungsunternehmen beteiligten Ländern längs der Eisenbahnen und Landstraßen Präzisions-nivellements durchzuführen und die Höhenfixpunkte so dauerhaft zu vermarken, daß bei späteren Nachmessungen etwaige groß-räumige Hebungen oder Senkungen des Bodens (Erdkrusten- oder Schollenbewegungen) nachgewiesen werden können. Die allgemeinen Grundsätze für die Ausführung dieser Nivellements wurden 1867 auf der zweiten Erdmessungskonferenz festgelegt. Auf dieser Konferenz empfahl der Geologe Prof. Dr. Sartorius von Waltershausen aus Göttingen, die Höhenlage der durch Nivellements eingemessenen Höhenmarken in regelmäßigen Abständen von etwa 10 Jahren nachzuprüfen. Auf dem 3. Internationalen Geographenkongreß, der 1881 in Venedig stattfand, wurden diese Anregungen erneut aufgegriffen und der Internationalen Geodätischen Vereinigung für eine europäische Gradmessung empfohlen, durch wiederholte Nivellierungen etwa meßbare Bewegungen der Erdrinde zu untersuchen. Weiter befaßte sich mit dieser Frage auf Anregung des im Jahre 1903 in Wien abgehaltenen Internationalen Geologenkongresses die Internationale Vereinigung der Akademien und empfahl ebenfalls der Internationalen Erdmessung gemeinsame internationale Untersuchungen, bei denen insbesondere auch in Erdbebengebieten durch wiederholte Nivellements die Unveränderlichkeit der Gebirgsketten oder etwaige Hebungen und Senkungen nachgewiesen werden sollten. Einen eingehenden Bericht über die geschicht-

liche Entwicklung einschlägiger Untersuchungen, die in Frankreich, Japan, in der Umgebung von Agram, am Genfer- und am Bodensee durchgeführt wurden, erstattete 1906 der damalige Direktor des französischen Generalnivelements, Lallemand, auf der 15. Konferenz der Internationalen Erdmessung in Budapest. Lallemand zeigte die Schwierigkeiten derartiger Untersuchungen auf und machte Vorschläge für die anzuwendenden Verfahren. Er empfahl die Anlage von Nivellements, die ganze Kontinente von Küste zu Küste überdecken und die Hauptgebirgszüge überschreiten sollten, sowie die zwei- bis dreimalige Nachmessung dieser Nivellementslinien im Laufe eines Jahrhunderts. Seither hat das Problem der Untersuchung von Schollenbewegungen durch Feinnivellements die Geodäten und Geologen stark beschäftigt. Auf den beiden letzten Generalversammlungen der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik, die 1948 in Oslo und 1951 in Brüssel stattfanden, wurde der Untersuchung systematischer Fehler beim Feinnivellement und nachweisbarer Bewegungen der Erdkruste besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Für die Durchführung dieser Untersuchungen wurden sehr genau formulierte Wünsche und Empfehlungen ausgearbeitet und diese allen Ländern mit der Bitte um Unterstützung der Untersuchungen vorgelegt. Diese Empfehlungen betreffen im einzelnen die Untersuchung systematischer Fehler durch die nivellitische Refraktion und durch periodische Hebungen und Senkungen der Erdkruste (jahreszeitliche langperiodische Schwingungen, lunisolar und thermisch bedingte tägliche Hebungen des Erdbodens, Zeiten oder Atmen der Erde) sowie die Erforschung von kontinentalen Schollenbewegungen, Küstenhebungen und Untersuchung von Höhenänderungen in Erdbebengebieten. 1951 wurde Deutschland in die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik aufgenommen und bei der Internationalen Association für Geodäsie durch die Deutsche Geodätische Kommission unserer Akademie vertreten. Die Deutsche Geodätische Kommission hat nun unter Einschaltung der Landesvermessungsämter eine Reihe von Nivellierungen begonnen.

Der bemerkenswerteste Versuch, säkulare Bodenbewegungen in Deutschland durch Feineinwägungen zu beobachten, ist das

1928–1931 durchgeführte „Nordseeküstennivellement“, gemessen und bearbeitet von der Trig. Abt. des Reichsamts für Landesaufnahme. Spezielle Untersuchungen und Messungen (astronomische Azimutmessungen, Triangulationen I.O., Präzisionsnivellements, Schweremessungen, geologische Begutachtungen) laufen schon seit Jahren am Bodensee, die auf Anregung von Prof. Hausmann seit 1926 von Geologen und Geodäten der dem Bodensee anliegenden Länder (Schweiz, Österreich, Württemberg-Baden, Bayern) gemeinsam durchgeführt werden. Auch diese Arbeiten wurden in den letzten Jahren sehr gefördert. Die auf Anregung der Internationalen Erdmessung seit 1864 in ganz Deutschland erstmals durchgeführten und etwa um 1890 abgeschlossenen ausgedehnten Präzisionsnivellements wurden etwa ab 1912 systematisch erneuert, kamen aber durch den ersten Weltkrieg zum Erliegen und konnten erst wieder 1923 langsam in Gang gebracht werden. Besonderen Auftrieb erhielten die Nivellierungen nach 1935, wurden aber schon bald wieder durch den Krieg unterbrochen und konnten erst 1948 neu aufgenommen werden. Sie finden wohl z. Zt. mit der vollständigen Erneuerung des bayerischen Präzisionsnivellements und mit der Wiederholung des Nordseeküstennivellements einen vorläufigen Abschluß. Die Wiederholungsmessungen haben nun von den erstmaligen Nivellierungen einen zeitlichen Abstand von etwa 50 Jahren und lassen daher vielerorts Schlüsse auf etwaige Schollenbewegungen zu, insbesondere liegen bereits sehr bemerkenswerte Ergebnisse für Bayern vor, über die berichtet werden soll.

2. Die Entwicklung des bayerischen Präzisions-nivellements

In Bayern wurden die ersten Feinnivellierungen 1868 unter Leitung von Prof. Max von Bauernfeind durch die Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung begonnen und über das ganze Land ausgedehnt. Das alte bayerische Präzisionsnivellement fand 1893 für das rechtsrheinische Bayern und 1895 für die Pfalz mit der Veröffentlichung der Nivellementsergebnisse einen vorläufigen Abschluß. Das damals bearbeitete Nivellements-

netz umfaßte im rechtsrheinischen Bayern 56 Linien mit insgesamt 3501 km nivellierter Linien I. O., die zusammen mit 3 preußischen Linien 21 Schleifen bilden. Ergänzungs- und Erneuerungsmessungen fanden 1901 und später 1906–1918 statt, deren Ergebnisse Prof. Max Schmidt zu umfangreichen Untersuchungen von Erdkrustenbewegungen veranlaßten. Bei diesen Untersuchungen handelte es sich aber immer noch um die Untersuchung einzelner mäßig weit ausgedehnter Linien. Zudem gibt die Unsicherheit der ersten Messungen, insbesondere die mangelhafte Untersuchung des Lattenmeters (Längenänderungen und Längenfehler der Nivellierlatte) Anlaß zu einer sehr kritischen Beurteilung der von Max Schmidt gezogenen Schlußfolgerungen.

In den Jahren 1925 bis 1945 wurden zahlreiche Linien des alten bayerischen Präzisionsnivelements nachgemessen. Es handelte sich dabei keineswegs um eine systematische, sondern vielmehr um eine schrittweise gelegentliche Erneuerung einzelner Linien, die aber im Laufe von 20 Jahren in ihrer Gesamtheit immerhin 43 Linien mit 3036 km und 17 Schleifen des ursprünglichen Nivellementsnetzes umfaßte. Mit Rücksicht hierauf habe ich alle von 1925 bis 1941 durchgeführten Nivellements, die mit dem alten Netz in einem gehörigen Zusammenhang stehen, zu einem neuen Netz, dem erneuerten bayerischen Haupthöhennetz zusammenfassen und die Beobachtungen neu ausgleichen lassen. Die Netzausgleichung wurde von Dipl.-Ing. Eichhorn¹ nach bedingten und vermittelnden Beobachtungen und zum Vergleich der verschiedenen Ausgleichungs-Verfahren auch noch nach dem Verfahren der schrittweisen Annäherung ausgeführt. Durch die dreifache Berechnung wurden alle Berechnungsergebnisse durchgreifend verprobt und andererseits die drei Methoden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen.

Die neu ermittelten Höhen der Knotenpunkte – d. s. solche Punkte, in denen verschiedene Linien zusammentreffen – des erneuerten bayerischen Höhennetzes können nun mit den Höhen identischer Punkte des alten bayerischen Präzisionsnivelements verglichen werden. Da die Knotenpunkte sehr schön über ganz

¹ G. Eichhorn, Untersuchung von Feinhöhenmessungen. Dissertation T. H. München 1952.

Bayern verteilt sind, gestattet der Vergleich ihrer alten und neuen Höhen sehr aufschlußreiche Rückschlüsse auf eventuelle Hebungen und Senkungen im großen (Schollenbewegungen). Es muß aber schon hier darauf hingewiesen werden, daß das erneuerte bayerische Höhennetz nur als ein Zwischennetz für wissenschaftliche Untersuchungen betrachtet werden kann; für Landesvermessungszwecke hat es keine Bedeutung, weil seine Genauigkeit wohl der des alten bayerischen Präzisionsnivellements, nicht aber der eines modernen Nivellements hoher Genauigkeit entspricht.

Mit Rücksicht hierauf wurde 1948 auf meine Anregungen hin im Anschluß an Vorarbeiten des früheren Reichsamts für Landesaufnahme eine vollständige Neubearbeitung des Nivellements hoher Genauigkeit in Bayern eingeleitet. Bei dieser Neubearbeitung, die vom Bayerischen Landesvermessungsamt durchgeführt wird, werden alle theoretischen und praktischen Anforderungen, die wir heute an Nivellements hoher Genauigkeit stellen, beachtet.

Das neue bayerische Landesnivellement unterscheidet sich in der Linienführung und in der Punktvermarkung wesentlich vom alten bayerischen Präzisionsnivellement. Die wesentlichen Unterschiede sind nach einer Aufstellung des Bayer. Landesvermessungsamtes etwa folgende:

Das alte bayer. Präzisionsnivellement
(1869–1890)

1. folgt den Eisenbahnlinien,
2. zeigt Schwankungen im Schleifenumfang zwischen 110 km und 380 km,
3. berücksichtigt kaum geologische Verhältnisse,
4. weist nur noch etwa 460 dauernd vermarkte Punkte auf; 85 % der ursprünglichen Höhenpunkte sind verloren,
5. wurde in einem Zeitraum von 21 Jahren beobachtet; es besteht daher die Gefahr, daß das Ergebnis durch tektonische Bewegungen verfälscht wurde,

Das neue bayer. Haupthöhennetz
(1949–1953)

1. folgt den Straßenzügen,
2. zeigt Schwankungen im Schleifenumfang nur zwischen 160 km und 280 km,
3. nimmt weitestgehend Rücksicht auf tektonische Hebungs- und Senkungsgebiete,
4. wird mit etwa 6000 Punkten dauernd vermarkt und damit vor raschem Verfall geschützt,
5. wird in einem Zeitraum von 4–5 Jahren beobachtet, in dem sich tektonische Bewegungen nicht sehr stark auswirken können,

- | | |
|--|--|
| 6. wurde mit Nivellierlatten aus Holz gemessen, deren Länge veränderlich ist, | 6. wird mit Invarlatten gemessen, die kaum Längenänderungen unterworfen sind, |
| 7. wurde nur in einer Richtung nivelliert, wobei unregelmäßige Strahlenbrechung das Messungsergebnis beeinflußt, | 7. wird als Doppelnivellement gemessen, das den Einfluß der Refraktion weitgehend ausschaltet, |
| 8. berücksichtigt keine Schweremessungen, | 8. wird mit einem dichten Schwere-netz verbunden, |
| 9. wurde mit der rohen orthometrischen Korrektur versehen, | 9. wird mit der genauen Reduktion auf wahre Meereshöhen nach Niethammer versehen, |
| 10. wurde mit Anschlußzwang im Norden ausgeglichen; damit wurden Spannungen aus fremden Netzen übernommen. | 10. wird frei ausgeglichen, der Übergang zu den Nachbarnetzen soll durch Anschlußzonen hergestellt werden, die eine Übertragung von fremden Netzspannungen verhindern. |

Infolge der veränderten Linienführung weist das neue Netz nur verhältnismäßig wenig Vergleichspunkte mit dem alten Netz auf. Erst wenn später die alten Linien I.O. als Zwischenlinien I.O. oder auch als Linien II.O. in das neue Netz eingebunden werden, werden sich weitere umfangreiche Vergleichsmöglichkeiten ergeben. Der vorliegende Vergleich des erneuerten Haupthöhen-netzes, dessen Linien und Punkte weitgehend mit Linien und Punkten des alten Netzes übereinstimmen, stellt daher eine wichtige Vorarbeit für die spätere Verbindung der alten und neuen Nivellementsnetze dar.

3. Vergleich des erneuerten und alten bayerischen Präzisionsnivellements

Beim Vergleich der Höhen identischer Punkte zweier Nivellementsnetze sind zunächst die mittleren zufälligen Beobachtungsfehler und, soweit nachweisbar, auch die mittleren systematischen Beobachtungsfehler zu vergleichen, die sowohl von der Beobachtungsanordnung als auch von der Art der Berechnung herrühren können.

Weiter müßten die Vergleichspunkte sorgfältig auf ihre örtliche Standfestigkeit und Unveränderlichkeit untersucht werden. Eine zweifelsfreie Standfestigkeit gewährleisten im allgemeinen horizontale Höhenbolzen im anstehenden Gestein, d. h. im natürlichen Felsen oder an alten, schweren, gut fundierten Bauwerken (gut unterhaltene Staats- und Gemeindegebäude, Kirchen u. ä.). Bei der vorliegenden Untersuchung konnte eine örtliche Überprüfung der Standfestigkeit der Höhenmarken nicht vorgenommen werden. Es kann daher die Vergleichung nur in Form einer statistischen Gegenüberstellung summarisch durchgeführt werden. Eine statistische Untersuchung gestattet keine Einzelschlüsse, sondern nur allgemeine Angaben über größere Gebiete hin. Die Höhenunterschiede dürfen auch nicht nach ihrem Absolutbetrag, sondern nur größenordnungsmäßig bewertet werden. Zudem dürfen nur die Unterschiede beachtet werden, die wesentlich größer sind als die mittleren Höhenfehler, die aus der Beobachtung und Berechnung zu erwarten sind. Für das alte bayerische Präzisionsnivellement, das von Oertel einer systematischen Ausgleichung unterzogen wurde, ergab sich aus den Doppelmessungen der Höhenunterschiede benachbarter Lattenstandorte ein mittlerer Standfehler von $\pm 0,76$ mm für 1 km Doppelnivellement. Aus den Schleifenschlußfehlern dagegen wurde bei der Netzausgleichung der mittlere Gesamtfehler für 1 km Länge und 10 m Höhenunterschied zu $\pm 2,3$ mm ermittelt. Weiter ist hier darauf hinzuweisen, daß auch mit größeren systematischen Fehleranteilen gerechnet werden muß, weil Untersuchungen des Lattenmeters nicht oder nur sehr mangelhaft durchgeführt wurden. Den von der Unsicherheit des Lattenmeters herrührenden systematischen Nivellierfehlern suchte Oertel bei der Netzausgleichung durch Einführung der Voglerschen Gewichtsgleichung entgegenzuwirken. Nach diesen Gleichungen hängt das Gewicht eines Höhenunterschieds von der Länge der Linie und vom Höhenunterschied der Linie ab. Zudem wurden viele Liniennivellements nur einseitig durchgeführt, so daß auch noch systematische Verfälschungen der Höhenunterschiede durch einseitige, zum Standlot unsymmetrische Refraktion befürchtet werden müssen.

Auch dem erneuerten bayerischen Höhennetz haften wesentliche Mängel an (mehrere nur einseitig beobachtete Linien, ver-

schiedene Beobachtungsverfahren, Verwendung verschiedener Instrumententypen durch drei verschiedene Beobachter, mangelhafte Überprüfung des Lattenmeters, uneinheitliche Auswahl der Linienausgangs- und Endpunkte und der Knotenpunkte). Die mittleren zufälligen Kilometerfehler für das Doppelnivellement, berechnet aus Streckendifferenzen, sind für die drei Beobachter $\pm 1,24$ mm, $\pm 0,85$ mm bzw. $0,83$ mm.

Bei der Ausgleichung des erneuerten Höhennetzes wurde das Gewicht einer doppelt nivellierten Linie wie üblich umgekehrt proportional zur Länge gesetzt. Einseitig nivellierte Linien erhielten halbes Gewicht. Höhenunterschiede wurden bei der Gewichtsfestsetzung nicht berücksichtigt. Aus der Ausgleichung des erneuerten Höhennetzes ergab sich ein mittlerer km-Fehler von $\pm 2,1$ mm.

Hiernach können also das alte und das erneuerte bayerische Präzisionsnivellement hinsichtlich der Beobachtungsgenauigkeit als gleichwertig betrachtet werden. Die Beobachtungsgenauigkeit liegt innerhalb der von der zweiten Erdmessungskonferenz 1867 in Berlin aufgestellten Fehlergrenze für das Präzisionsnivellement (± 3 mm/km bzw. $4,5$ mm/km wahrscheinlicher bzw. mittlerer zufälliger Kilometerfehler), entspricht aber schon nicht mehr den Genauigkeitsansprüchen, die auf der 17. allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung 1912 in Hamburg zu $\pm 1,5$ mm/km bzw. $0,3$ mm/km für den mittleren zufälligen und für den mittleren systematischen Nivellierfehler für ein km Doppelnivellement gefordert wurden. Bei einem modernen Nivellement liegen die entsprechenden Fehler bei etwa $\pm 0,4$ bis $\pm 0,3$ mm/km bzw. $0,2$ bis $0,1$ mm/km. Bei der Berechnung des erneuerten Höhennetzes (Ausgleichung durch Eichhorn) wurde ebenso wie bei der Berechnung des alten bayerischen Höhennetzes (Oertelsche Ausgleichung) an den beobachteten Höhenunterschieden einheitlich die sphäroidisch-orthometrische Korrektur

$$(\gamma = -2,57 \cdot 10^{-4} H \cdot \Delta \varphi'' \sin 2 \varphi)$$

angebracht.

Die Höhen der Knotenpunkte des erneuerten Netzes wurden im Anschluß an die alte Höhe des Knotenpunktes Nürnberg berechnet; damit ergaben sich im Sinne neue Höhen (1945) minus

alte Höhen (1893) die Differenzen d' in Spalte 4 der Tabelle. Die überwiegend einseitig negativen Differenzen lassen eine örtliche Hebung des Punktes Nürnberg vermuten. Mit Rücksicht hierauf wurden die neuen Höhen (1945) auf einen mittleren Landeshorizont bezogen, der so gewählt wurde, daß die Summe aller Höhenunterschiede Null wird. Dies ergab für den Ausgangspunkt Nürnberg eine Höhenänderung von $-\frac{[d']}{27} = +5,63$ cm, um die noch sämtliche neuen Höhen zu verbessern waren (endgültige neue Höhen, Spalte 5). Die Umrechnung auf einen mittleren Landeshorizont ist notwendig, weil durch das Nivellement nur Höhenunterschiede und damit nur relative Höhenänderungen, nicht etwa direkt Meereshöhen oder gar Hebungen oder Senkungen des Horizonts oder des ganzen Landes bestimmt bzw. nachgewiesen werden können. Bildet man nun die Differenzen, endgültige Höhen 1945 (Spalte 5) minus alte Höhen 1893, so erhält man die endgültigen Differenzen d in Spalte 6. Die Summe der endgültigen Differenzen gibt als Rechenprobe bis auf kleine Abrundungsfehler Null. Andererseits zeigen aber diese Differenzen wiederum eine vollständig einseitige Verteilung der Vorzeichen; im Norden und Westen von Bayern sind sie ziemlich eindeutig positiv, im Osten und Süden dagegen ziemlich eindeutig negativ, wobei das positive Vorzeichen auf Hebungen, das negative Vorzeichen auf Senkungen hinweist. Dabei erreichen die positiven Differenzen etwa 6–7 cm, die negativen Werte bis zu 10 cm. Hier erhebt sich nun die überaus wichtige Frage, welche Genauigkeit kommt den alten und den neuen Höhen und damit den oben ermittelten Höhenunterschieden zu? Aus der Ausgleichung der beiden Höhennetze ergab sich für das Doppelnivellement ein mittlerer zufälliger Kilometerfehler von $\pm 2,3$ bzw. $\pm 2,1$ mm. Damit wird die Unsicherheit des Höhenunterschieds zweier um rund 100–150 km voneinander entfernten Punkte – so weit liegen die Randpunkte des Netzes etwa vom Zentralpunkt Nürnberg ab – rund ± 2 bis $\pm 2,5$ cm. Herr Eichhorn hat diese Unsicherheiten ausgehend von Nürnberg bei der Netzausgleichung berechnet und damit für die Knotenpunkte die in Spalte 2 angegebenen mittleren Fehler der Meereshöhen gefunden. Die Meereshöhen der einzelnen Knotenpunkte

weisen also gegenüber Nürnberg allein schon im Hinblick auf die festgestellten rein zufälligen unvermeidlichen Beobachtungsfehler eine Unsicherheit von ± 1 cm bis etwa $\pm 2,5$ cm auf. Für das alte Netz ergeben sich ganz entsprechende Werte. Damit wird die Unsicherheit einer Differenz endgültige neue Höhe minus alte Höhe mit etwa $\pm 1 \sqrt{2}$ cm $\approx \pm 1,5$ cm bis etwa $\pm 2,5 \sqrt{2}$ cm $\approx \pm 3,5$ cm anzusetzen sein. Es liegt im Wesen der rein zufälligen Fehler, daß sie gleich oft negativ und positiv auftreten müssen. Die in Spalte 6 angegebenen Höhenunterschiede können daher wegen ihres systematischen Charakters nicht durch zufällige Fehler erklärt werden. Nun wäre noch der Einfluß der systematischen Nivellierfehler abzuschätzen; diese sind mehr zu fürchten, weil sie gegenüber den zufälligen Fehlern, die mit der Wurzel aus der Länge des Nivellements fortschreiten, der Länge des Nivellements direkt proportional sind, zudem wirken sie völlig einseitig. Für diese Abschätzung hat man bei beiden Netzen kaum Anhaltspunkte. Herr Eichhorn hat versucht, die gefundenen Höhendifferenzen durch Unsicherheiten im Lattenmeter zu erklären. Dieser Versuch mißlang, weil sich für die Höhenänderungen von Nord nach Süd eine positive Verbesserung (+ 3 cm auf 100 m Höhenunterschied) für die Änderungen von West nach Ost aber eine negative Änderung (— 4 cm auf 100 m Höhenunterschied) ergab und die Änderungen auch der Größe nach um mehr als eine Größenordnung über den Erfahrungswerten lagen. Zusammenfassend muß festgestellt werden: Die in Spalte 6 angegebenen Höhenänderungen, insbesondere ihr systematischer Charakter kann aus Messungsfehlern nicht erklärt werden. Aus den erfaßten Messungsfehlern können Änderungen bis zu rund $\pm 3,5$ cm erwartet werden, diese müßten aber über das Gesamtgebiet rein zufällig verteilt sein. Für die Berechnung des Einflusses systematischer Nivellierfehler reichen die Beobachtungen nicht aus. Mit Rücksicht hierauf sind die geodätischen Feststellungen mit Vorsicht zu verwenden. Ebenso konnten örtliche Änderungen der einzelnen Knotenpunkte nicht untersucht werden.

Würde man die in Tab. Spalte 6 angegebenen Höhenänderungen als reell betrachten können und den bayerischen Landeshorizont als ebene Platte annehmen, so kann man versuchen, die systematischen Höhendifferenzen durch eine Kippung des ganzen

Horizonts und eine damit verbundene zusätzliche Verschiebung der Höhe nach zum Verschwinden zu bringen und so zu ändern, daß ihre Summe Null bleibt, die Einzelwerte zufälligen Charakter annehmen und daß ihre Quadratsumme zu einem Minimum wird.

Ich habe nun auch den Betrag einer solchen Kippung und die damit verbundene Höhenverbesserung durch Herrn Eichhorn rechnen lassen.

Herr Eichhorn stellte hierzu 27 Fehlergleichungen von der Form $N - A = d' = s_x \cdot \alpha + s_y \beta + a$ in bezug auf den Knotenpunkt Nürnberg auf, wobei $N - A = d'$ die Beobachtungswerte in Spalte 4 bedeuten und s_x und s_y die Abstände der übrigen Knotenpunkte in der x - bzw. y -Richtung vom Bezugspunkt Nürnberg, β und α aber die Kippungswinkel um die x -Richtung (Hochachse) bzw. um die y -Achse (Rechtsachse) sind. Endlich ist a noch der Betrag der Parallelverschiebung des Landeshorizonts. Die Gleichungen sind so angesetzt, daß die Unbekannten α , β und a die Verbesserungen für die Angleichung des alten Horizonts an die Neubestimmten Höhen ergeben.

Die Auflösung der Normalgleichungen für die drei Unbekannten α , β und a ergab folgende Werte und mittlere Fehler:

$$a = -2,71 \text{ cm} \pm 0,70 \text{ cm}$$

$$\beta = -0,09'' \pm 0,02''$$

$$\alpha = -0,06'' \pm 0,014''$$

d. h. der alte Horizont wäre in bezug auf den Ausgangspunkt Nürnberg um $2,71 \text{ cm} \pm 0,70 \text{ cm}$ zu senken und dann nach Süden um die Rechtsachse um $0,06'' \pm 0,014''$ und nach Osten um die Hochachse um $0,09'' \pm 0,02''$ nach unten zu kippen. Hiernach scheint also die Kippung des Horizonts etwa um die Linie Kempten–Ingolstadt–Parsberg–Schwandorf erfolgt zu sein; die Hebungsgebiete liegen alle nordwestlich, die Senkungsgebiete südöstlich dieser Linie. Durch dieses Abkippen ergibt sich auf der Linie Neuenmarkt–Weilheim (= 250 km in NS-Richtung) eine Höhenänderung von $7,5 \text{ cm} \pm 1,8 \text{ cm}$ und auf der Linie Würzburg–Deggendorf (= 221 km in WO-Richtung) eine Höhenänderung von $9,6 \text{ cm} \pm 2,1 \text{ cm}$.

Bei Einführung eines mittleren Landeshorizonts ergibt sich für die Unterschiede zwischen den Höhen der Knotenpunkte im alten

und erneuerten Höhennetz ein Durchschnittswert von $d_d = \pm \frac{[|d|]}{n}$
 $= \pm \frac{103,9}{27} = \pm 3,85 \text{ cm}$, eine Quadratsumme $[dd] = 556,7$ und
damit ein mittlerer Wert

$$d_m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{n}} = \pm \frac{556,7}{27} = \pm 4,54 \text{ cm.}$$

Nach einer Parallelverschiebung und Kippung werden die entsprechenden Werte:

$$d_d'' = \pm \frac{[|d''|]}{n} = \pm \frac{56,5}{27} = \pm 2,09 \text{ cm}$$

$$[d''d''] = 179,5$$

$$\text{und } d_m'' = \pm \sqrt{\frac{[d''d'']}{n}} = \pm \sqrt{\frac{179,5}{27}} = \pm 2,58 \text{ cm.}$$

Im einzelnen sind die nach der Kippung noch verbliebenen Differenzen d'' in Spalte 7 zusammengestellt. Diese Differenzen können durch eine Veränderung des Landeshorizonts im ganzen nicht mehr getilgt werden. Die Quadratsumme ist von 556,7 auf 179,5 zurückgegangen. Die Vorzeichen haben viel von ihrem systematischen Charakter verloren, zudem liegen die meisten Werte innerhalb ihrer mittleren Genauigkeit. Trotzdem lassen sich noch drei Senkungsgebiete erkennen, auf die auch Eichhorn hingewiesen hat,

das Maintal: Bamberg, Schweinfurt, Würzburg;

das Donautal: Ingolstadt, Prüfening, Wutzelhofen, Deggen-
dorf;

das Voralpengebiet: Holzkirchen, Weilheim, Kaufbeuren.

Mehr läßt sich zunächst im ganzen auf Grund dieses Vergleichs über Hebungen und Senkungen in Bayern nicht aussagen.

Zur weiteren Untersuchung hat Eichhorn nun noch eine ganze Reihe von Linien einzeln untersucht, wobei nur solche Linien untersucht wurden, die hin- und zurück beobachtet wurden und für die mehr als drei identische Punkte vorlagen. Diese Untersuchungen sind auf den mittleren Landeshorizont bezogen – die einzelnen Linien sind zwischen die in Tab., Spalte 5 angegebenen Meereshöhen der Knotenpunkte abgeglichen. Durch diese differenzierte Untersuchung werden die oben angegebenen Schluß-

Tabelle. Vergleich der neubestimmten Höhen der Knotenpunkte mit ihren Höhen im alten bayerischen Präzisionsnivellement

	Knotenpunkt	Neue Höhen (Nürnberg) 1945		Alte Höhen 1893	Differenz $N - A = d'$	Endgültige neue Höhen Landes- horizont)	Differenz $E - A = d$	Höhendifferenz nach Kippung des Horizonts $E_K - A = d''$
		N (m)	cm			E (m)	cm	
1		2		3	4	5	6	7
0	Nürnberg	310,5632	+ 0,00	310,5632	0,00	310,6195	+ 5,63	+ 2,71
1	Nördlingen	430,9743	1,36	430,9693	+ 0,50	431,0306	+ 6,13	+ 3,36
2	Dombühl	473,2743	1,28	473,2915	— 1,72	473,3306	+ 3,91	— 0,96
3	Würzburg	175,3379	1,76	175,3502	— 1,23	175,3942	+ 4,40	— 3,27
4	Schweinfurt	216,8929	1,72	216,8962	— 0,33	216,9492	+ 5,30	— 2,26
5	Bamberg	239,5518	1,37	239,5600	— 1,42	239,6081	+ 4,21	— 0,84
6	Neuenmarkt	348,9594	1,76	348,9792	— 1,98	349,0157	+ 3,65	+ 0,14
7	Kirchenlaibach	464,1246	1,75	464,1189	+ 0,57	464,1809	+ 6,20	+ 3,96
8	Amberg	384,4187	1,45	384,4631	— 4,44	384,4750	+ 1,19	+ 0,72
9	Neumarkt	429,6557	1,14	429,7043	— 4,86	429,7120	+ 0,77	— 0,42
10	Irrenlohe	364,4230	1,53	364,4769	— 5,39	364,4793	+ 0,24	+ 0,83
11	Wutzelhofen	344,4781	1,52	344,5782	— 10,01	344,5344	— 4,38	— 2,73
12	Prüfening	349,6338	1,48	349,7397	— 10,59	349,6901	— 4,96	— 3,45
13	Ingolstadt	370,5240	1,69	370,6018	— 7,78	370,5803	+ 2,15	+ 1,60
14	Donauwörth	404,7015	1,57	404,6846	+ 1,69	404,7578	+ 7,32	+ 5,85
15	Neuoffingen	441,5231	1,90	441,5599	— 3,68	441,5794	+ 1,95	— 0,04
16	Augsburg	490,4177	1,83	490,4630	— 4,53	490,4740	+ 1,10	+ 1,15
17	Pasing	528,2023	1,99	528,2809	— 7,86	528,2586	— 2,23	+ 0,95
18	München	524,4816	1,99	524,5413	— 5,97	524,5379	— 0,34	+ 2,66
19	München/Ost	532,8859	2,07	532,9470	— 6,11	532,9422	— 0,48	+ 2,58
20	Langenbach	430,1917	1,97	430,2897	— 9,80	430,2480	— 4,17	— 1,16
21	Deggendorf	323,8125	2,28	323,9429	— 13,04	323,8688	— 7,41	— 2,33
22	Markt	371,3317	2,61	371,4307	— 9,90	371,3880	— 4,27	+ 2,40
23	Rosenheim	450,4035	2,40	450,5053	— 10,18	450,4598	— 4,55	+ 1,20
24	Holzkirchen	685,2844	2,25	685,4424	— 15,80	685,3407	— 10,17	— 5,92
25	Weilheim	564,6736	2,27	564,7762	— 10,26	564,7299	— 4,63	— 1,97
26	Kaufbeuren	682,8156	2,13	682,8936	— 7,80	682,8719	— 2,17	— 1,36

$$\frac{[d']}{27} = \frac{[+]}{[+]} = \frac{52,00}{28,21} = 5,63$$

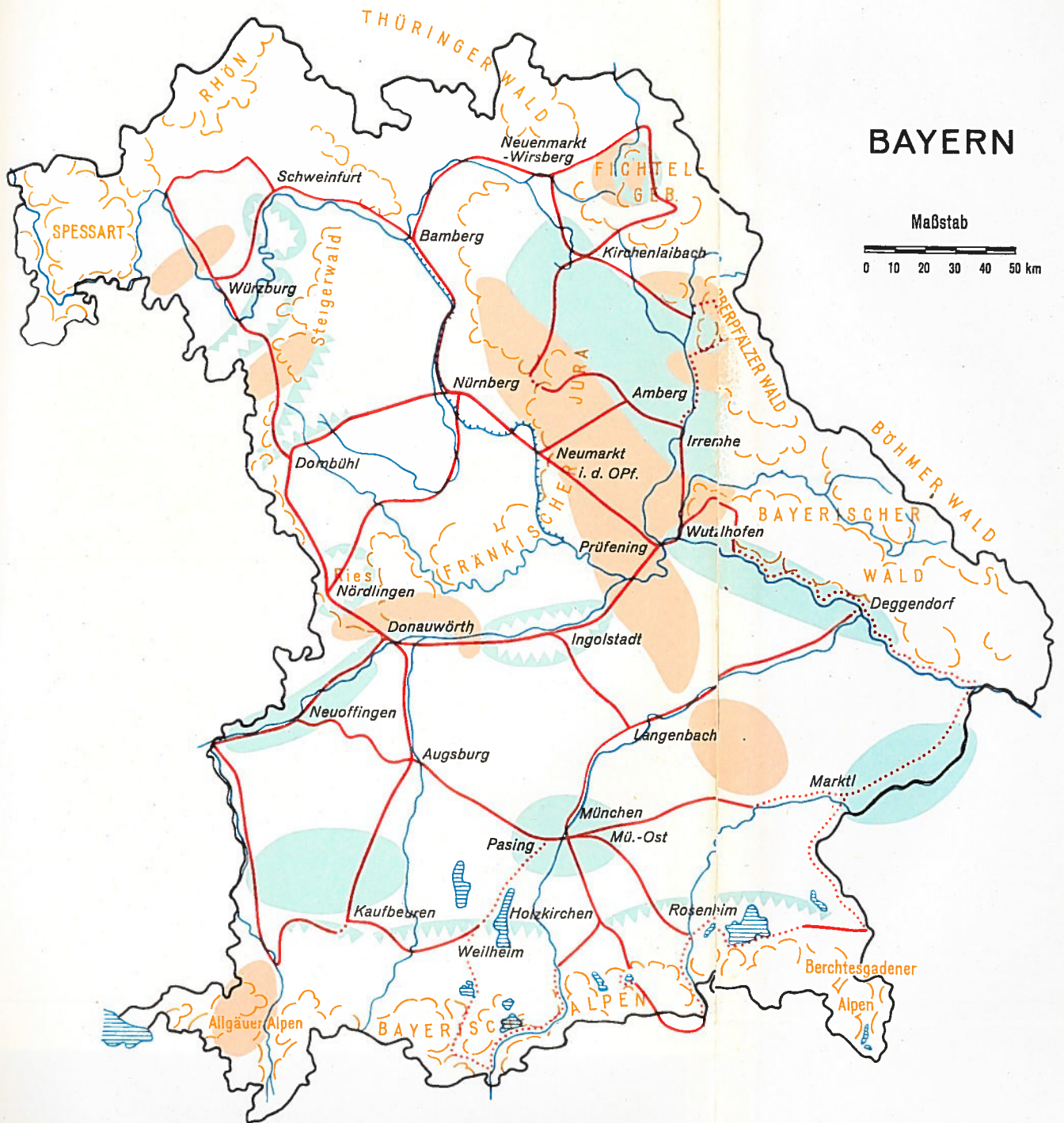
$$\frac{[d']}{27} = \frac{[-]}{[-]} = \frac{51,92}{28,31} = 5,63$$

$$\frac{[d']}{27} = \frac{[d'']}{[d'']} = \frac{556,69}{179,51} = 3,10$$

folgerungen, insbesondere auch die Einsenkung Bayerns im Südosten bestätigt. Herr Eichhorn hat die Ergebnisse dieser Untersuchungen in einer Isobasenkarte (Anl. 2) dargestellt und mit den vom Geologischen Landesamt für die Linienführung des neuen bayerischen Präzisionsnivelement angegebenen Hebungs- und Senkungsgebieten (Anl. 1) verglichen.

Im einzelnen darf aber hierzu auf die Arbeit von G. Eichhorn „Untersuchung von Feinhöhenmessungen“ hingewiesen werden, die in den Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C: Dissertationen, erscheint. Für ein abschließendes Urteil aber muß noch der Vergleich des neuen bayerischen Präzisionsnivelements – dessen Beobachtung und Berechnung voraussichtlich in 1 bis 2 Jahren abgeschlossen werden kann – mit dem erneuerten und dem alten bayerischen Präzisionsnivelement abgewartet werden.

Zusammenstellung der geologischen Gutachten



Zeichenerklärung:

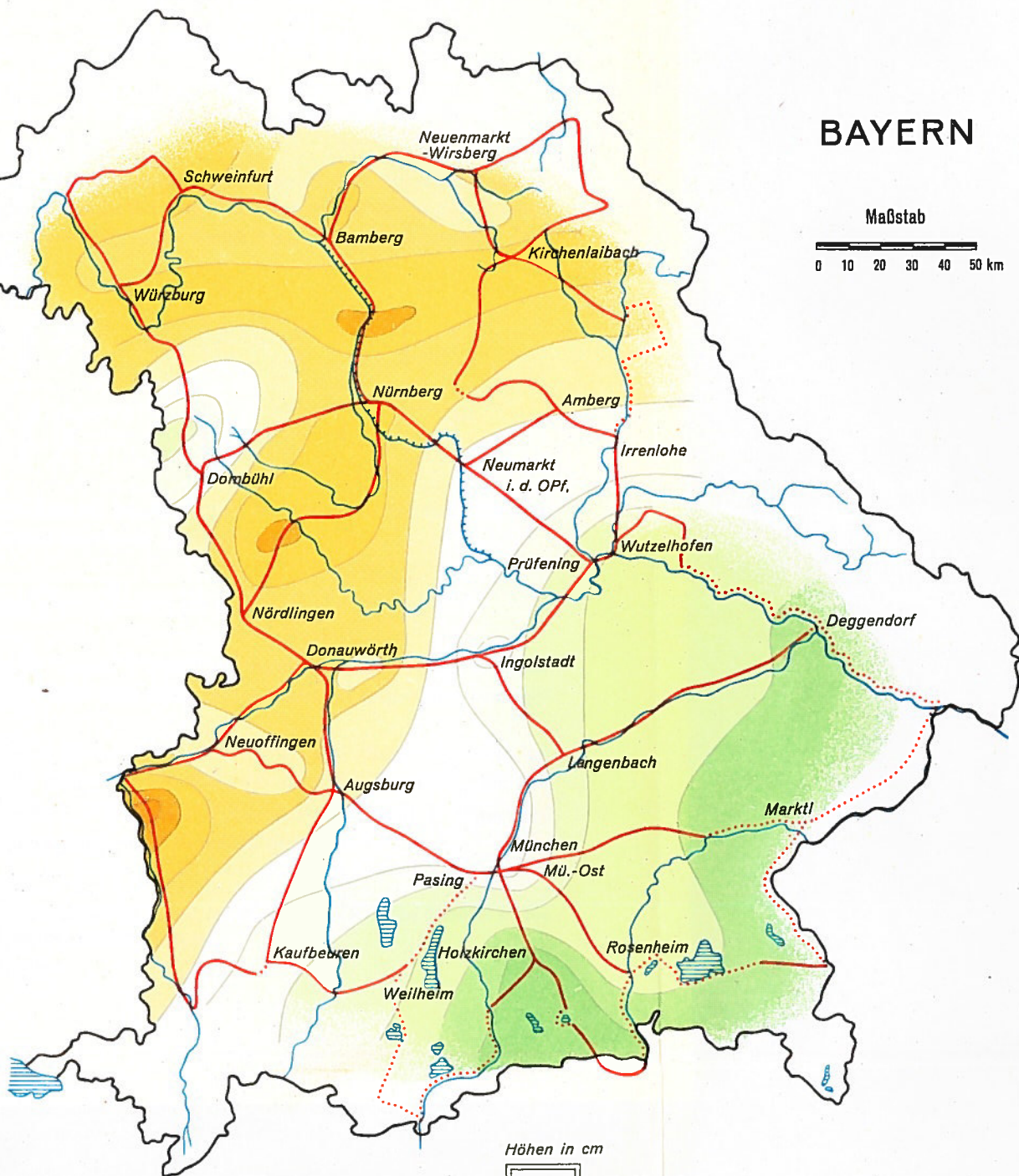
- Hebung
- Senkung
- Einbruch

Isobasenkarte

BAYERN

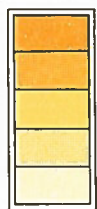
Maßstab

0 10 20 30 40 50 km



Zeichenerklärung:

Höhen in cm



> 9
7 bis 9
5 bis 7
3 bis 5
1 bis 3

Höhen in cm



-1 bis 1
-3 bis -1
-5 bis -3
-7 bis -5
-9 bis -7
< 9