

W. Losecke, K. Knödel, Wo. Müller, Hannover

ERGEBNISSE magnetotellurischer Messungen in Norddeutschland

In den letzten Jahren wurde in Norddeutschland eine großräumige flächenhafte magnetotellurische Vermessung durchgeführt mit dem Ziel, Mächtigkeit, Ausdehnung und Struktur des Sedimentbeckens aufzuklären und insbesondere eine Untergliederung des Präzechsteins zu gewinnen. Es wurde an ca. 50 Meßpunkten auf insgesamt 6 Profilen (Profile 2 bis 7) gemessen. Die Lage der zweiziffrig gekennzeichneten Meßpunkte geht aus Abb. 1 hervor.

Grundlage für die Auswertung sind die auf Hauptachsen gedrehten Scheinwiderstands- und Phasenkurven im Periodenbereich von 0,2 bis 2000 Sekunden; ferner Anisotropiekenngößen. Dort, wo es vertretbar erschien, wurde eine Horizontalschichtinterpretation mit dem geometrischen bzw. arithmetischen Mittel der Scheinwiderstands- und Phasenwerte folgendermaßen vorgenommen: Zunächst ergab eine Horizontalschichtinversion nach BOSTICK (private Mitteilung) eine genäherte Widerstandstiefenverteilung für jeden Meßpunkt. Sodann gelang es, gewisse Maxima und Minima dieser Widerstandstiefenkurven mit denen nördlich und südlich bzw. westlich und östlich benachbarter Meßstationen zu korrelieren. Daraus resultierten für die Profile 2 bis 7 Horizontalschichtmodelle in erster Näherung. (Aus diesen Modellen konnten Anzahl und Mächtigkeit der Schichten bis zum höherohmigen MT-Basement entnommen werden sowie ein ungefähre Wert des spezifischen Widerstandes jeder Schicht.)

Eine verbesserte zweite Näherung wurde mit Hilfe der Horizontalschichtinversion nach MARQUARDT-MÜLLER [1] erreicht. Dazu mußte zunächst für jeden Meßpunkt ein geologisches Modell erarbeitet werden. Dieses Modell hat drei

Hauptfunktionen: 1. Bereitstellung einer wirklichkeitsnahen Anfangsschätzung (initial guess) für das Inversionsverfahren (zusammen mit den Ergebnissen der 1. Näherung). 2. Einschränkung der Mannigfaltigkeit der Lösungen des Umkehrproblems. 3. Das Modell ist Ausgangspunkt für die Übertragung der geophysikalischen Messungen in geologische Aussagen. Das geologische Modell wurde gewonnen aus einer regionalen Analyse unter Verwendung von Tiefbohr- und sonstigen geophysikalischen und paläogeographischen Ergebnissen. Es enthält u.a. im wesentlichen für die Postzechsteinsedimente Mächtigkeits- und Teufenangaben für einzelne Formationen sowie Größenabschätzungen für die spez. Widerstände der Formationen. Das Schichtmodell 1. Näherung und das geologische Modell ergaben eine sinnvolle Anfangsschätzung (Anzahl der Schichten, Mächtigkeiten und spezifische Widerstände) für das Marquardt-Müller-Verfahren. Es wurde meist mit 8- bis 9-Schichtfällen zur Anpassung der Meßdaten gearbeitet, wobei das Präzechstein bis zum Basement sich häufig in 3 Schichten aufgliedern ließ. Es erschien sinnvoll, ein konsistentes Konzept für das ganze Meßgebiet durchzuhalten, und es zeigte sich, daß die hier vorgelegten Ergebnisse damit unter allen gerechneten Modellen die kleinste Varianz aufweisen.

Aus den Schichtmodellen ist der auf Abb.63 dargestellte Tiefenlinienplan des magnetotellurischen Basements abgeleitet. Der spezifische Widerstand des MT-Basements ist um etwa einen Faktor 10 bis einige 1000 größer als derjenige der darüberliegenden Schichten. Innerhalb des Modells wird es als stark gefaltetes metamorphes Grundgebirge gedeutet, das von nicht oder nur relativ schwach beanspruchten Ablagerungen (Deckgebirge) überdeckt wird. Das Basement fällt im Meßgebiet von etwa 9 km Tiefe im Süden bis auf 18 km im Norden ab.

Von den für den leitenden Untergrund eines Meßpunktes typischen Kenngrößen hat die Längsleitfähigkeit S einer Anzahl von Schichten besondere Bedeutung,

da sie relativ unempfindlich gegen kleinere Modelländerungen ist. Für ein Schichtpaket von n Schichten ist S definiert als

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho_i} \quad (1)$$

m_i = Schichtmächtigkeit, ρ_i = spezifischer Widerstand der i -ten Schicht.

Man kann das Schichtpaket zu einer einzigen Schicht mit gleicher Längsleitfähigkeit S zusammenfassen, dann hat diese Schicht die Mächtigkeit $m = \sum m_i$ und den spezifischen Widerstand ρ_e mit

$$m = \rho_e \cdot S \quad (2)$$

und

$$\rho_e = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\rho_i}} \quad (3)$$

mit den Ergebnissen der Horizontalschichtinversion und den bekannten Teufen der Zechsteinbasis wurde nach (1) die Längsleitfähigkeit S_m der Postzechsteinschichten (Schichtpaket von der Erdoberfläche bis zur Zechsteinbasis) berechnet und auf Abb.58 dargestellt. Entsprechend konnten die Längsleitfähigkeiten S_p der Präzechsteinschichten (Schichtpaket zwischen Zechsteinbasis und MT-Basement) gewonnen werden (s. Abb.59). Zunächst fällt auf, daß die maximalen Längsleitfähigkeiten im Präzechstein etwa doppelt so groß sind wie im Postzechstein und in ihrem Betrag wesentlich höher liegen als bisher angenommen wurde. Es fallen ferner starke, laterale Änderungen der Längsleitfähigkeit, besonders in Nord-Süd-Richtung, auf, und zwar im Post- und Präzechstein in unterschiedlicher Weise: Während im Postzechstein die hohen Werte mehr im nördlichen Bereich des Meßgebietes liegen und nach Süden hin

abnehmen, ist der Verlauf im Präzechstein genau umgekehrt; die hohen Werte liegen weiter südlich mit einem Maximum z.B. bei Nienburg/Weser; besonders soll auf den starken Gradienten der S-Werte am südlichen Beckenrand hingewiesen werden.

Mit S_m und den Teufenwerten für die Zechsteinbasis lassen sich nach Gleichung 2 mittlere spezifische Widerstände für das Schichtpaket zwischen Erdoberfläche und Zechsteinbasis berechnen. Das Ergebnis ist auf Abb.61 dargestellt. Die Werte liegen zwischen 1.3 Ohm.m hauptsächlich im nördlichen Teil des Meßgebietes und 10 Ohm.m im Südosten.

Da ein Tiefenlinienplan des MT-Basements vorliegt, kann in ähnlicher Weise mit S_p die Verteilung des spezifischen Widerstandes für das Schichtpaket zwischen Zechsteinbasis und MT-Basement gewonnen werden (s. Abb.62). Es ergeben sich unerwartet niedrige spez. Widerstände von 1 Ohm.m und laterale Änderungen in ähnlicher Weise wie bei den S_p -Werten, gute Leiter finden sich im Süden und schlechtere Leiter im Norden. Die Verteilung des spezifischen Widerstandes ist in den Postzechsteinschichten wesentlich anders als im Präzechstein.

Im nächsten Schritt wurde für das Profil 5 ein einfaches zweidimensionales Modell erstellt (s. Abb.64). Es sollte geklärt werden, ob für E- und H-Polarisation Messung und Rechnung miteinander verträglich sind, und ob die angenommene Leitfähigkeitsverteilung zu einer entsprechenden Verbreiterung der Hz-Anomalie mit wachsender Periode führt.

Das Modell ist ein Nord-Süd-Schnitt durch das Norddeutsche Sedimentbecken; es ist im wesentlichen zu einem Vierschichtmodell (Postzechstein, Präzechstein, MT-Basement-Halbraum) vereinfacht, die lateralen Änderungen der

Leitfähigkeiten sind berücksichtigt, der Beckenrand liegt zwischen den Stationen 55 und 56, er ist gekennzeichnet durch eine Übergangszone von niedrigen zu höheren spez. Widerständen.

Unter Berücksichtigung, daß das Modell vereinfacht ist (Zusammenfassung von Schichtkomplexen) sind Rechnung und Messung, besonders im Beckenbereich, sowohl für Scheinwiderstand und Phase der E- und H-Polarisation gut miteinander vereinbar.

Das Maximum des Betrages von H_z/H_x wird für die langen Perioden zwischen den Stationen 55 und 56 erreicht, also etwa auf einer Linie, die west-östlich durch Minden/Weser verläuft. Die Anomalie verbreitert sich mit zunehmender Periode, ihre Breite beträgt ca. 100 km für $T = 1000$ sec. Die wichtigsten Ergebnisse unserer Arbeiten lassen sich etwa folgendermaßen aufführen:

- 1) Für weite Teile Norddeutschlands wurde mit Hilfe von Modellrechnungen aus magnetotellurischen Messungen ein Leitfähigkeitsmodell gewonnen, das sehr gute elektrische Leiter im Sedimentbecken in einer "Deckschicht" (bis max. ca. 18 km Tiefe) aufweist und keine guten Leiter in größerer Tiefe erfordert.
- 2) Das MT-Basement variiert zwischen etwa 9 km Tiefe in südlichen und 18 km in nördlichen Bereichen des Interpretationsgebietes; damit ist das Norddeutsche Sedimentbecken in einigen Teilen tiefer als erwartet. Der spez. elektr. Widerstand des Basements ist etwa um einen Faktor 10 bis zu einigen 1000 größer als derjenige der darüberliegenden Schichten.
- 3) Das Modell enthält einen großen Leitfähigkeitssprung etwa auf einer OW durch Minden verlaufenden Linie (gute Leiter nördlich, schlechtere südlich dieser Linie).
- 4) Es wird die Existenz extrem guter Leiter im Präzechstein (1 Ohm.m unterhalb von 5 km) aus den Messungen abgeleitet; die Präzechsteinsedimente weisen starke laterale Änderungen der Leitfähigkeit auf, und zwar nimmt

der spez. Widerstand von Nord nach Süd ab. Die besten Leiter liegen in der Gegend des Leitfähigkeitssprungs. Das Auftreten derart guter Leiter im Präzechstein ist in früheren Jahren kaum in Betracht gezogen worden.

- 5) Es werden ebenfalls sehr gute, sich lateral ändernde Leitfähigkeiten im Postzechstein angegeben; die laterale Änderung verläuft in anderer Weise als im Präzechstein.
- 6) Das Präzechstein wird regional unterschiedlich in 3 bis 4 Schichten aufgliedert; diese Aufgliederung gibt Anregungen für die Exploration auf Kohlenwasserstoffe.

Mit den vorliegenden Ergebnissen kommen wir derzeit zu der Auffassung, daß sich im gesamten, mit MT-Messungen überdeckten Raum die Norddeutsche Leitfähigkeitsanomalie im Periodenbereich der MT mit einem Deckschichtmodell des o.g. Typs erklären läßt, wobei die anomalen Felder sowohl durch den unter 3) genannten Leitfähigkeitssprung, wie auch durch die guten Leiter im tieferen Präzechstein und ihre laterale Änderung sowie durch die Verteilung der Leitfähigkeit in der angegebenen Weise im Präzechstein erzeugt werden.

Die Diskussion eines MT-Modells zur Erklärung der Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie muß einen Bezug zu den neueren Ergebnissen der Tiefensondierung herstellen. So ist nach Arbeiten von SCHMUCKER und WEIDELT [2] und GUNDEL [3], die sich auf das SCHMUCKER'sche Ostprofil beziehen, ebenfalls ein Trend zur Erklärung der Leitfähigkeitsanomalie im Sinne einer Deckschichtanomalie festzustellen (s. hierzu den Beitrag von WEIDELT in diesem Protokoll). Während SCHMUCKER und WEIDELT [2] nach einer Neubearbeitung von Daten des Ostprofils auf dem "Third Workshop on Electromagnetic Induction" in Sopron/Ungarn ein bis in 10 km Tiefe gutleitendes Deckschichtmodell mit lateraler Leitfähigkeitsänderung angeben, wird von den Magnetotellurikern für das weiter westlich gelegene Meßgebiet ein Modell guter Deck-

schichtleitfähigkeit bis in Teufen je nach Ort zwischen 10 und 19 km auf der gleichen Tagung vorgestellt [4] .

Inzwischen hat WEIDELT (s. Beitrag in diesem Protokoll) die Interpretation für das Ostprofil weiter verfeinert, wie auch die Autoren das MT-Modell detaillieren konnten [5] , [6] .

Soweit Vergleiche zwischen MT und magnetischer Tiefensondierung wegen der Kürze der Zeit bisher überhaupt durchgeführt wurden, ergeben diese

- 1) die Lage des Maximums der Anomalie auf Profil 5 etwa in Höhe von Minden stimmt mit der von Steveling [7] geforderten Lage etwa 160 km südlich Wingst gut überein. (Das von STEVELING et al. vermessene Profil liegt westlich des SCHMUCKER'schen Ostprofils etwa auf einer Linie Wingst-Göttingen in der Nähe des MT-Profils 5.)
- 2) Das MT-Modell liefert für den Leitfähigkeitssprung auf diesem Profil in etwa die richtige Phasenlage zwischen vertikal- und horizontalmagnetischem Feld.
- 3) Extrapoliert man die im östlichen Bereich des MT-Meßgebietes gewonnenen Längsleitfähigkeiten auf das SCHMUCKER'sche Ostprofil, so ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den von WEIDELT (s. dieses Protokoll) aus Tiefensondierungsmessungen hergeleiteten Werten. Ähnliches gilt für die Basementteufen.
- 4) Ein genauer Vergleich zwischen den Messungen von STEVELING und den für das MT-Modell berechneten Vertikalkomponenten H_z/H_x ist noch unbefriedigend, was den südlichen Profilbereich anlangt.
Wir bemühen uns z.Zt. darum, die Ursachen für die Abweichungen herauszufinden, um - falls erforderlich - das MT-Modell so abzuändern, daß es sowohl die Meßdaten der magnetischen Tiefensondierung als auch der MT hinreichend erklären kann.

L I T E R A T U R

- [1] MÜLLER, W.: Inversion by simultaneous fitting of apparent resistivity and phase angle. -
Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci.Hung.
Tomus 12 (1-3), 1977.
- [2] SCHMUCKER, U, P. WEIDELT: New analysis of geomagnetic variation data in Northern Germany. -
Vortrag beim "Third Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth", Sopron/Ungarn, 1976.
- [3] GUNDEL, A.: Erdmagnetische Induktion in einer dreidimensionalen Salzstruktur.-
Dissertation Institut für Geophysik, Göttingen, 1977.
- [4] LOSECKE, W., W. MÜLLER, K. KNÖDEL, E.K. BLOHM: Erkundung neuer Energiequellen in Niedersachsen. -
Sachbericht 1975, magnetotellurische und geoelektrische Tiefensondierungen, Hannover, Archiv NLFb, 1976.
- [5] LOSECKE, W., I. SCHEELKE, K. KNÖDEL: Magnetotellurische Tiefenerkundung in Norddeutschland. -
Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie, Bd 31, Heft 1, 1978.
- [6] KNÖDEL, K., W. LOSECKE, W. MÜLLER: Detailauswertung magnetotellurischer Vermessungen tiefer Stockwerke in Norddeutschland für Rückschlüsse auf mögliche, erdölgeologisch interessante Strukturen. -
Abschlußbericht zum BMFT-Projekt ET 3214, Archiv BGR, Hannover, 1978.
- [7] STEVELING, E.: Erdmagnetische Tiefensondierung mit Variationen und Pulsationen im Einflußbereich der Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie. -
Dissertation, Institut für Geophysik, Göttingen, 1973.

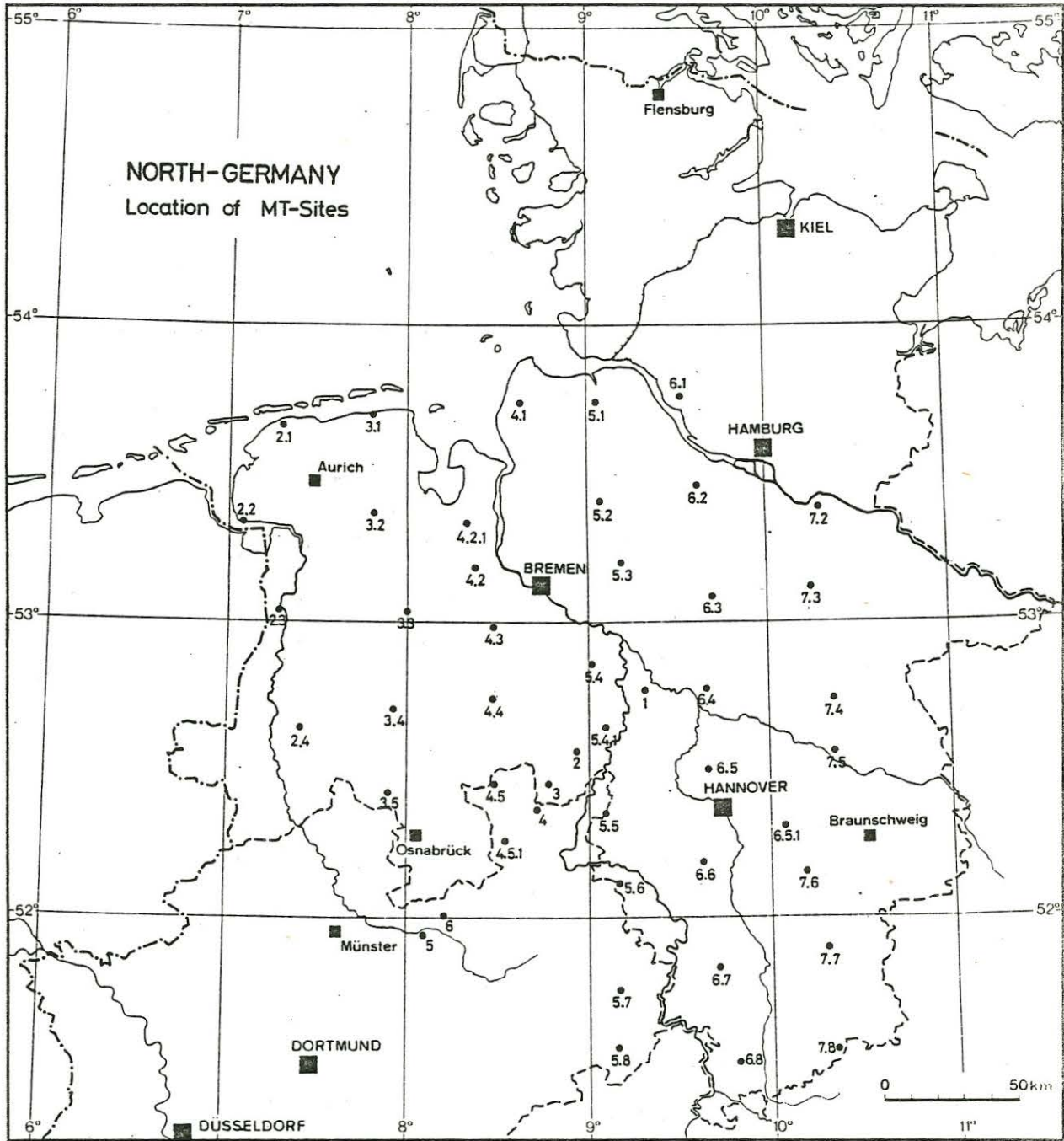
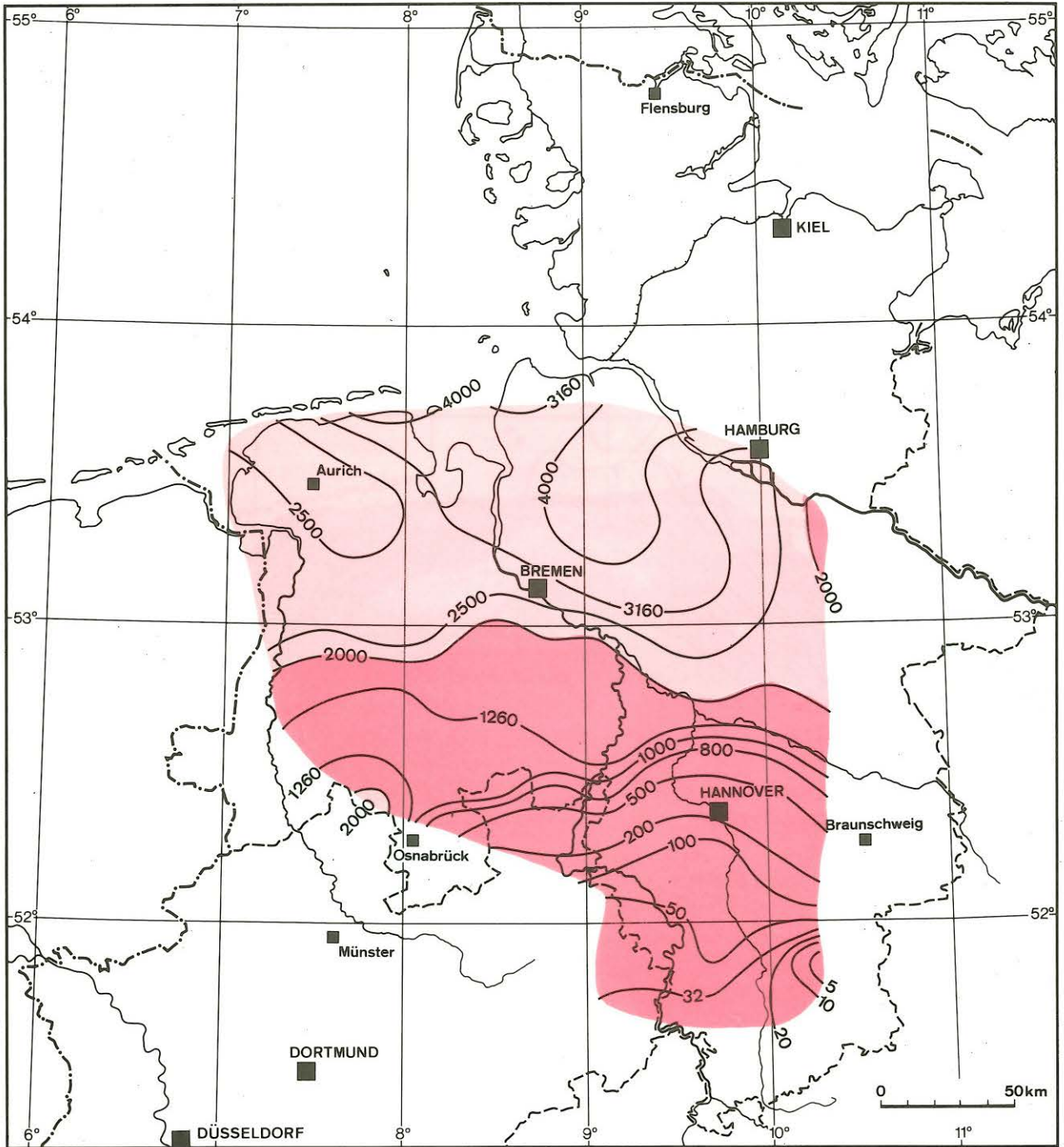


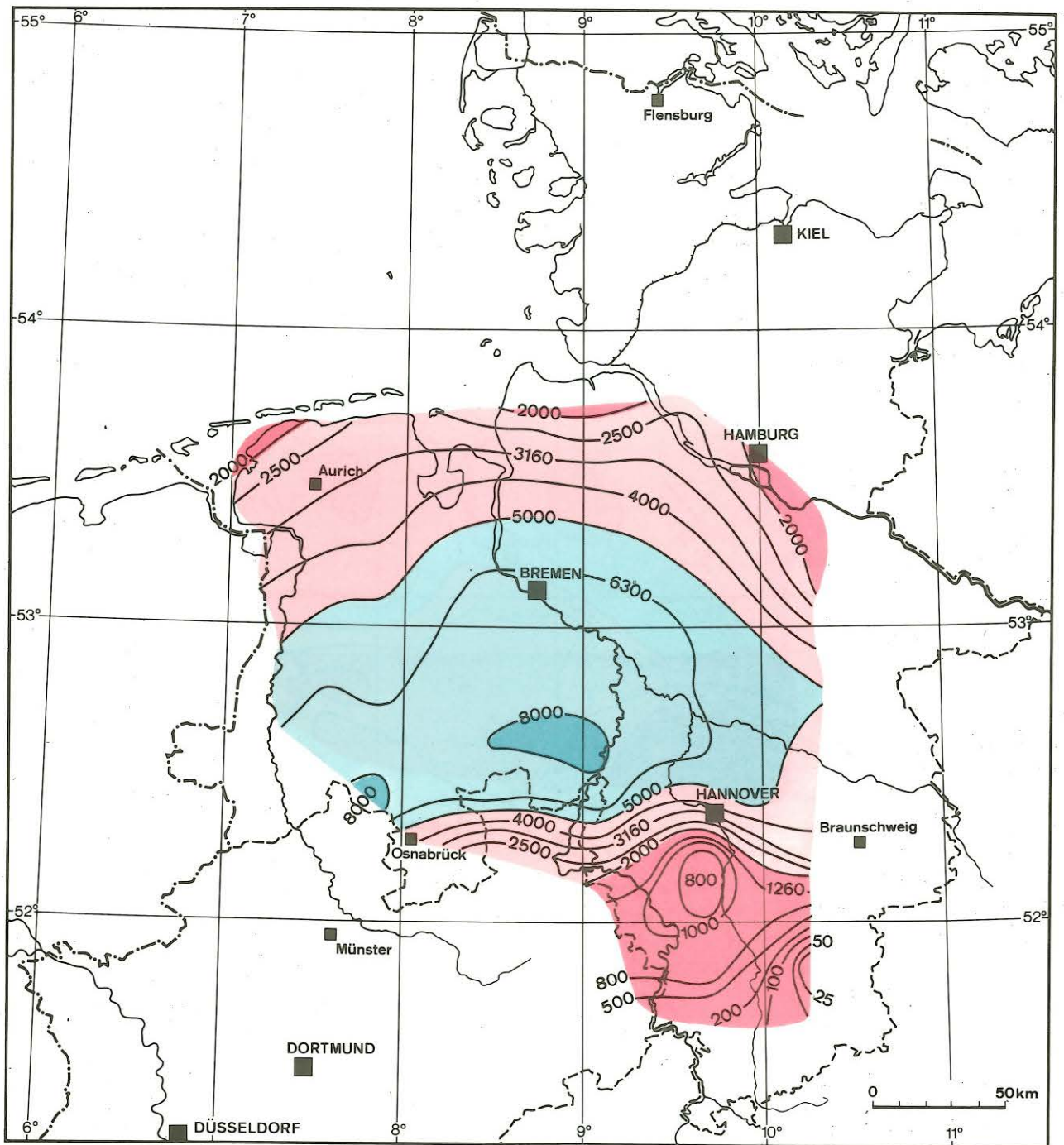
Abb. 1



NORDDEUTSCHLAND

MT - Messungen

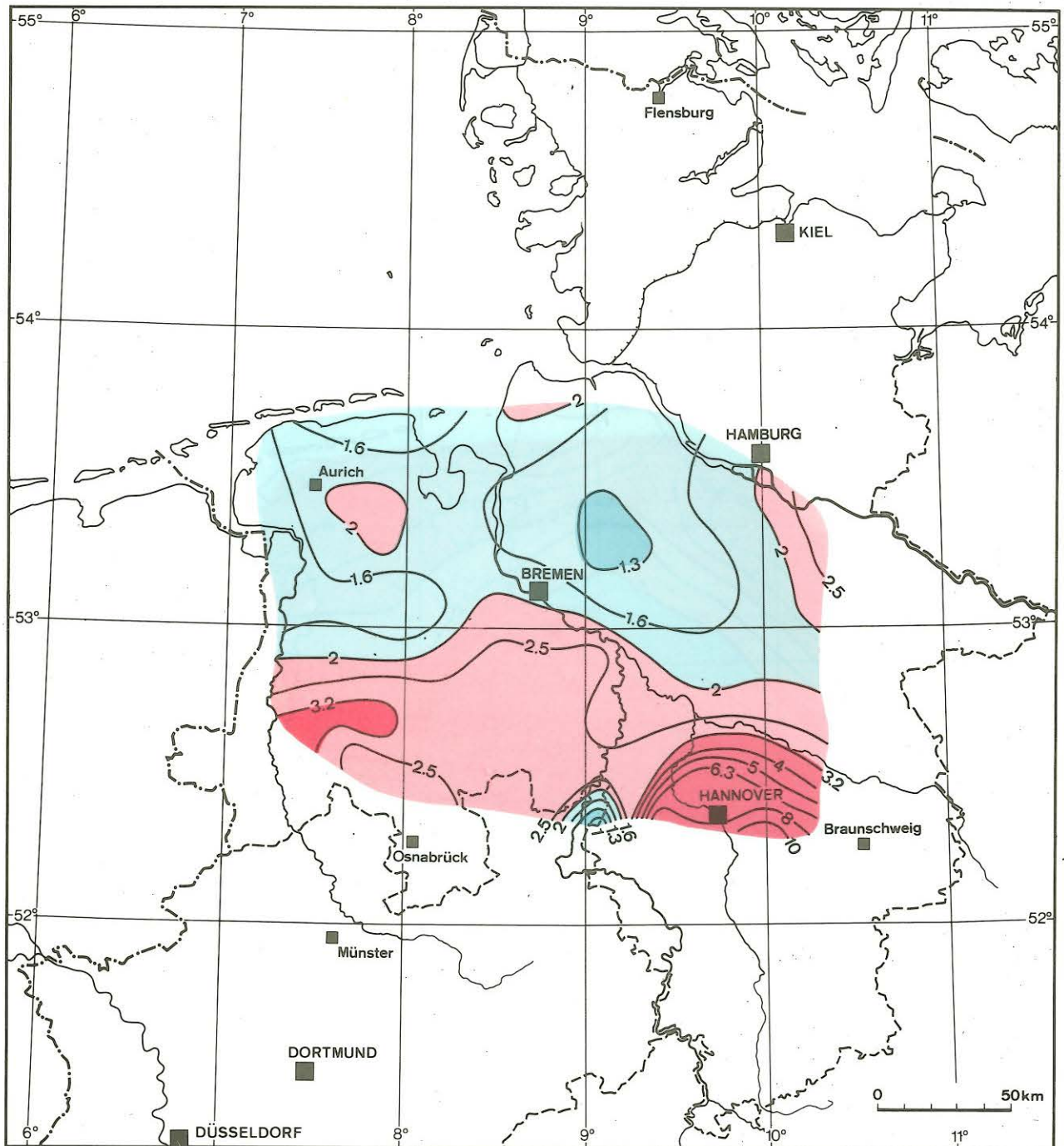
Längsleitfähigkeit S_M des Postzechsteins
(Ohm^{-1})



NORDDEUTSCHLAND

MT - Messungen

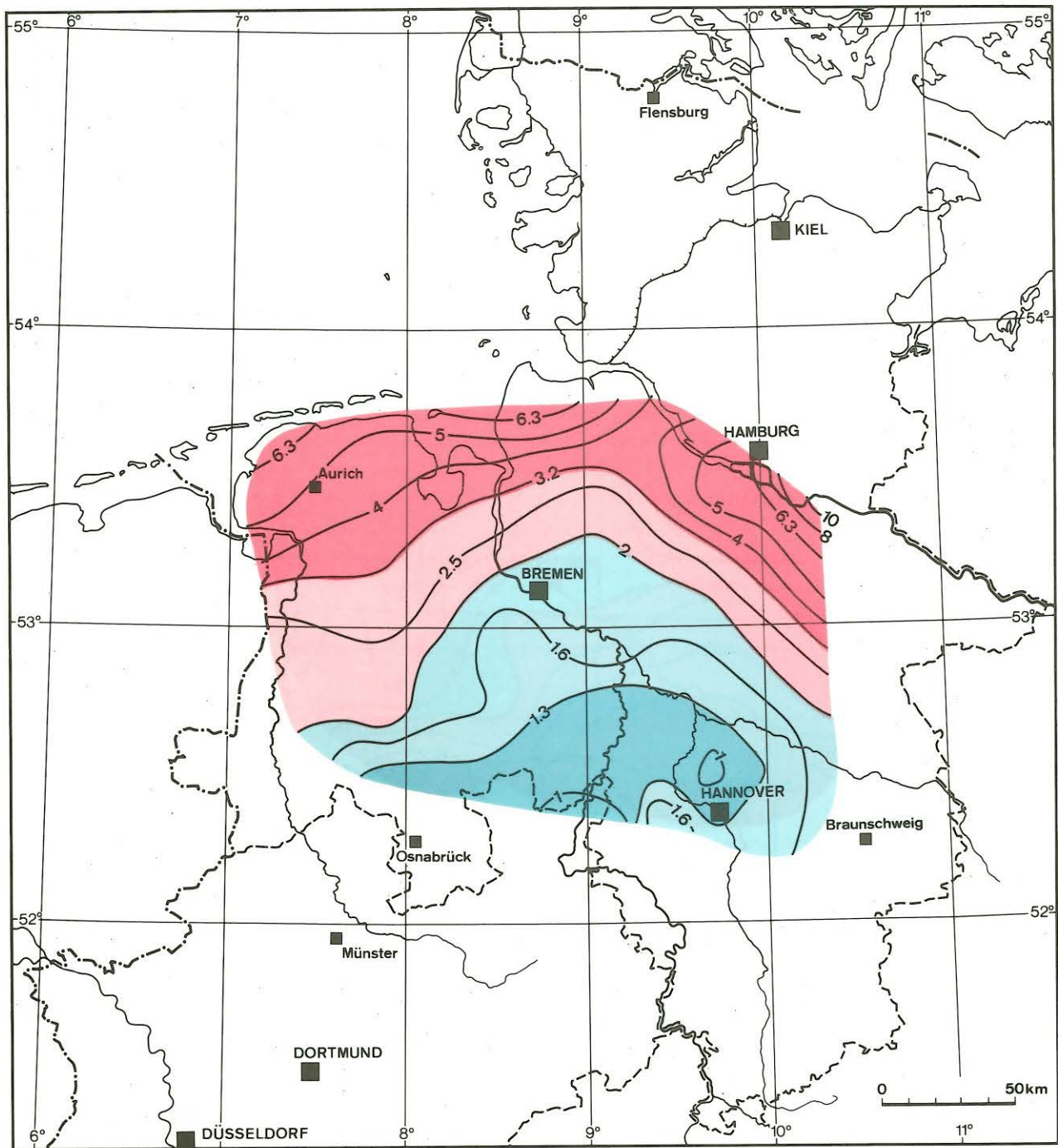
Längsleitfähigkeit S_p des Präzechsteins
(Ohm^{-1})



NORDDEUTSCHLAND

MT - Messungen

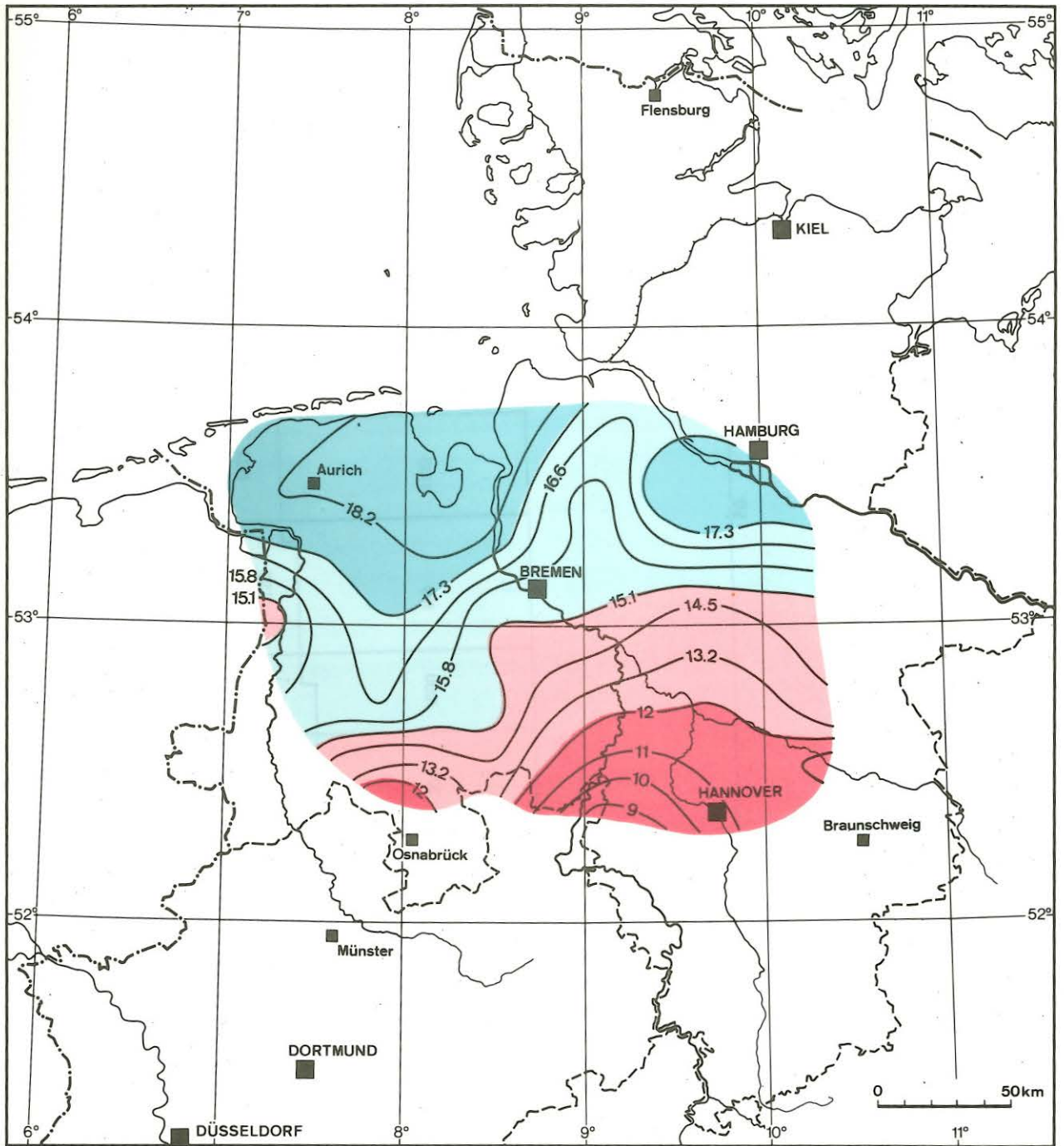
Spez. Widerstand ϱ_M des Postzschsteins
(Ohm·m)



NORDDEUTSCHLAND

MT – Messungen

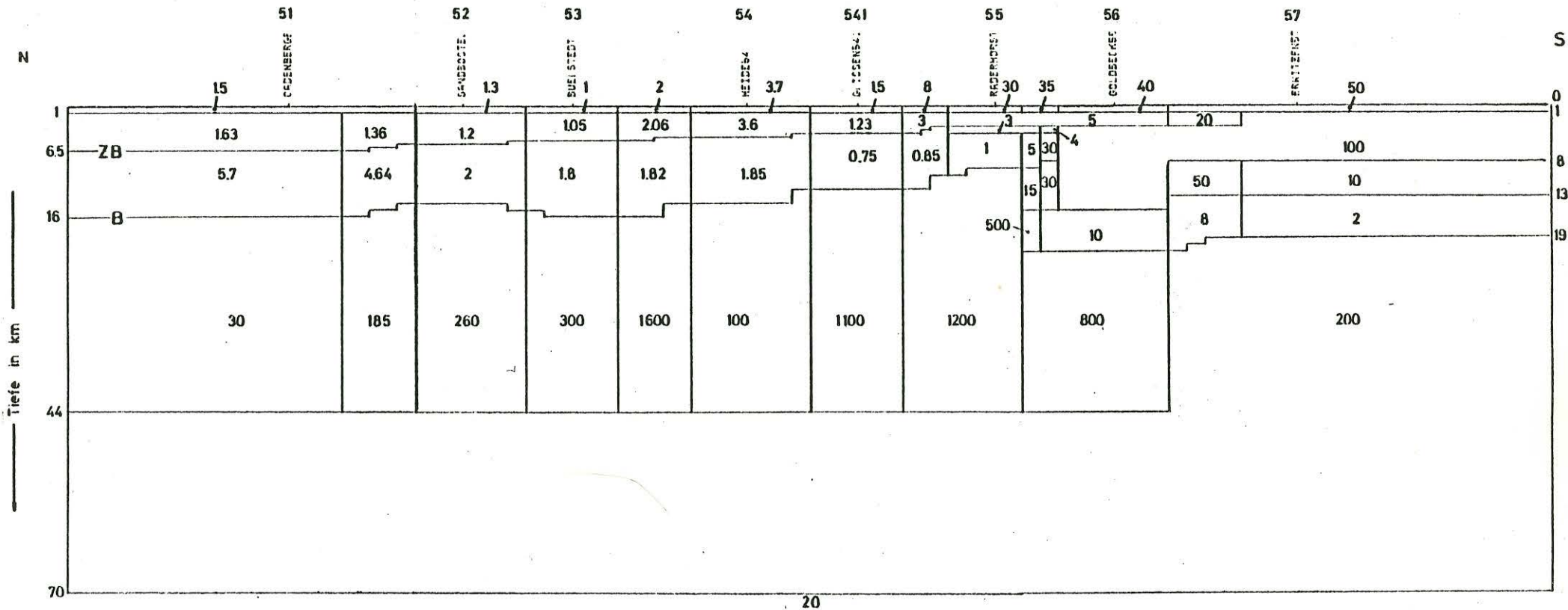
Spez. Widerstand ρ_p des Präzechsteins
(Ohm·m)



NORDDEUTSCHLAND

MT - Messungen

Tiefe des Basements in km
Schichtmodell 2. Näherung



ZB Zechsteinbasis
 B Basement der Magnetotellurik
 spezif. Widerstände in Ohm.m

NORDDEUTSCHLAND
 MT-Messungen
 Zweidimensionales Modell
 Profil 5

0 50 km

Abb. 64