

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 33

**Zur Strukturentwicklung schwach dislozierter Salinarstrukturen
in Nordostmecklenburg, Strukturen Grimmen und Reinkenhagen
(Beiträge zur Mächtigtkeitsanalyse von Salinaren)**

von
Folkwart Wendland

Als Manuskript gedruckt
Potsdam 1976

Anschrift des Autors:

Dr. F. WENDLAND,

Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Physik der Erde,
Institutsteil Berlin

DDR-1199 Berlin, Rudower Chaussee 5

Inhalt

	Seite
Vorwort	
1. Problemstellung	8
2. Allgemeine geologische Übersicht	9
3. Methodik der Untersuchungen	12
3.1. Allgemeine Vorbemerkungen	12
3.2. Postsalinar	15
3.3. Salinar	18
4. Bemerkungen zur Halokinese und zum mechanischen Verhalten der Salinargesteine	20
4.1. Auslösende Faktoren und Ablauf halokinetischer Vorgänge	20
4.2. Mechanisches Verhalten der Salinargesteine	23
4.2.1. Anhydrite	24
4.2.2. Halite	24
4.2.3. Kalisalze	25
4.3. Teilzusammenfassung	26
5. Strukturbau und Mächtigkeitsverteilungen des Salinars (Mächtigkeitsanalyse des Salinars)	29
5.1. Allgemeine Vorbemerkungen	29
5.2. Tiefenlage der Salinarserien	31
5.3. Mächtigkeiten des Salinars	33
5.3.1. Mächtigkeitsverteilung der Salinarserien nach Mächtigkeits- und Abweichungskarten	33
5.3.2. Mächtigkeitsbeziehungen zwischen den Salinargliedern bzw. -gruppen	35
5.3.3. Beziehungen zwischen Mächtigkeiten und Tiefenlage (erweiterte Strukturanalyse)	36
5.4. Erweiterte Mächtigkeitsanalyse	40
5.4.1. Allgemeine Vorbemerkungen	40
5.4.2. Streuung der Mächtigkeitsverteilungen	41
5.4.2.1. Berechnung der Streuungen und Anordnung der Streuung zu Reihen	41
5.4.2.2. Vergleich der Streuungsreihen mit mittleren absoluten Mächtigkeiten	44
5.4.3. Vergleich der Streuungsreihen mit Mächtigkeitsrangfolgen	48
5.4.3.1. Berechnung von Rangkorrelationskoeffizienten	48
5.4.4. Vergleich der Rangkorrelationskoeffizienten mit Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten und ihre geologische Interpretation	51
5.4.4.1. Staßfurt-Steinsalz Na 2	59
5.4.4.2. Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2	59
5.5. Teilzusammenfassung	61

	Seite	
6.	Strukturba u und räumlich-zeitliche Entwicklung des Postsalinar s (Mächtigkeit sanalyse des Postsalinar s)	64
6.1.	Allgemeine Vorbemerkungen	64
6.2.	Tiefenlage der Postsalinarserien	65
6.3.	Räumlich-zeitliche Entwicklung des Postsalinar s (Mächtigkeit s- und Paläostrukturanalyse)	66
6.3.1.	Beschreibung der Mächtigkeit s- und Abweichungskarten	71
6.3.2.	Beschreibung der Paläostrukturm karten der Oberfläche Zechstein	73
6.4.	Beiträge zur erweiterten Mächtigkeit sanalyse	81
6.5.	Teilzusammenfassung	82
7.	Ergebnisse	85
7.1.	Methodik	85
7.2.	Ergebnisse zum strukturgeologischen Bau und zur Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen	85
7.2.1.	Salinar	86
7.2.1.1.	Zu den Vertikalbeziehungen innerhalb des Salinar-Teilstockwerkes	86
7.2.1.2.	Zur primären Mächtigkeit sverteilung	87
7.2.1.3.	Zu den Beziehungen der Teilstockwerke Subsalinar - Salinar	88
7.2.2.	Postsalinar	89
7.2.2.1.	Zu den Vertikalbeziehungen innerhalb des Postsalinar-Teilstockwerkes	89
7.2.2.2.	Zur Mächtigkeit sverteilung und -entwicklung des Postsalinar s	89
7.2.2.3.	Zur Genese der Salinarstrukturen	90
8.	Schlußfolgerungen und Zusammenfassung	91
Literatur		93

Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit stellt einen Beitrag zur Klärung des disharmonischen Stockwerkbaues des postvariszischen Deckgebirges sowie des Baues und Verhaltens des Salinars, speziell der Halite und Anhydrite, in einfachen Salinarstrukturen am Nordrand der Norddeutsch-Polnischen Senke dar. Die traditionelle Mächtigtkeitsanalyse wurde durch mathematisch-statistische Verfahren (Berechnung von Mittelwerten, Streuung und Rangkorrelation) ergänzt. Dadurch ist die Untersuchung der horizontalen Mächtigtkeitsbeziehungen der Salinarglieder untereinander, ihrer räumlichen Verteilung sowie der Vertikalbeziehungen zwischen heutigen Tiefenlagen und Mächtigtkeiten möglich. Das Salinar stellt geomechanisch keinen sich einheitlich verhaltenden Körper dar. Im Zuge der Halokinese kommt es infolge unterschiedlicher Teilbeweglichkeit zu geomechanischer Sonderung des Salinars in zwei sich verschieden verhaltende Abschnitte: die relativ passive Abfolge vom Grenzanhydrit bis zum Kalilager Staßfurt über dem fließfähigen Staßfurt-Steinsalz. In der hangenden Abfolge deutet sich eine weitere Differenzierung nach Teilbeweglichkeitsunterschieden an. Ausdruck der Halokinese im Postsalinar sind Verlagerungen und Richtungswechsel der Salzabwanderungsgebiete (primäre Randsenken) und Salzakkumulationsgebiete. Die Halokinese setzte wahrscheinlich schon im Mittleren Buntsandstein ein und wurde durch die altkimmerischen Bewegungen aktiviert.

Summary

The paper represents a contribution to elucidating the discordant Stockwerk structure of the postvariscan cover as well as the structure and characteristics of saline deposits, particularly of halites and anhydrites, in simple saline structures at the north border of the North German-Polish Basin. The traditional analysis of thickness was completed by mathematical-statistical methods (computation of average values, dissemination, and rank correlation). Thus, the investigation of the horizontal thickness correlations of the saline members one with another of their spatial distribution as well as of the vertical relations between present deep positions and thicknesses has become possible. The saline body is geomechanically no homogeneous. In the course of halokinesis, different componental mobility results in a geomechanical separation of the saline body into two heterogeneous sectors: the relatively passive sequence of Grenzanhydrit as far as the potash deposit of Staßfurt above the Staßfurt rocksalt, which is able to flow. The overlying sequence seems to imply a further differentiation according to differences in the partial mobility. Shifts and changes of direction of those areas from which salt has flown off (marginal depressions and salt accumulation areas) are an expression of halokinesis in overlying Mesozoic sequences. Halokinesis is likely to have started as early as in the Middle Bunter Sandstone and was activated by the early Cimmerian movements.

Résumé

L'ouvrage représente une contribution à l'éclaircissement de la structure des stockwerks discordants des couvertures postvarisques et de la structure et de la réaction du sel et des anhydrites, dans des structures du sel simple au bord septentrional du bassin Germano-polonais. On a complété l'analyse traditionnelle de la puissance par des méthodes mathématiques-statistiques (supputation des moyennes, dispersion et corrélation des rangs). Par là il est possible de rechercher les relations de la puissance horizontal des membres spacieux aussi que relations verticaux entre les positions profondes et les puissances. Le sel ne se tient pas géomécanique comme une masse homogène. Il se passe une séparation du sel en deux parties qui se tiennent différents. Cette séparation du sel se passe au cours de la halokinèse, par une mobilité partielle différente. Les deux parties: La suite d'une passivité relative des Grenzanhydrit jusqu'à la Kalilager Staßfurt sur le Staßfurt-Steinsalz, qui a la fluidité. Une différenciation ultérieure par des différences de mobilité partielle s'annonce dans la suite superposée. Le déplacement et le changement directionnelle des territoires, lesquels le sel quitte (les dépressions marginales primaires et des territoires dans lesquels le sel s'accumule, expriment l'halokinèse dans le Postsalinar. La halokinèse a commencé probablement déjà dans le Grès bigarré moyen et a été active par les mouvements ancien-cimmerien.

Резюме

Предъявленная работа составляет вклад в выяснению дисгармонического послеварисского чехла, а также строения и поведения соленосных толщ (галитов, ангидритов) в пределах простых соляных структур на северном краю Северо-Польской впадины. Традиционный анализ мощностей был дополнен при помощи математически-статистических способов. В связи различной частной подвижности соли в процессе галокинеза происходит геомеханическое обособление соляных серий (относительно пассивная серия от калийного слоя Стассфурта до граничного ангидрита над текучей каменной соли Стассфурта). В кровли намечается дальнейшая дифференциация из-за различной частной подвижности. Выражением галокинеза в надсолевой толще являются перемещениями и изменениями направления в областях миграции (первичные краевые прогибы) и аккумуляции соли. Начало галокинеза происходит, вероятно, уже в среднем пестром песчанике и активируется в связи с древнекиммерийскими движениями.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit stellt die gekürzte und überarbeitete Fassung der Dissertation im Rahmen der Promotion A des Verfassers dar, die am 21.11.1974 vor der Sektion Geologische Wissenschaften der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald verteidigt wurde. Das Thema wurde mir von Herrn Dr. K.-B. JUBITZ, Bereichsdirektor des Instituts teils Berlin des Zentralinstituts für Physik der Erde der AdW der DDR, in Abstimmung mit Herrn Prof. Dr. sc. G. MÖBUS, Sektion Geologische Wissenschaften der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Ende 1968 gestellt. Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen der laufenden Forschungspläne des Zentralinstituts für Physik der Erde der AdW der DDR, speziell unter dem Aspekt der Tektonik junger Tafeln. So erfolgte Anfang 1969 die Konzipierung des inhaltlichen und technischen Ablaufes. Von Juni 1969 bis Oktober 1970 wurde zunächst das Postsalinar der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen im Rahmen der wissenschaftlichen Kooperation mit dem Zentralen Geologischen Institut untersucht. Von November 1970 bis Mai 1972 wurde dann die Mächtigkeitentwicklung des Salinars der beiden Strukturen bearbeitet.

Für die ständige Unterstützung und Diskussion möchte ich den Herren Dr. K.-B. JUBITZ, Prof. Dr. sc. G. MÖBUS, Dr. H. BRAUSE (VEB Geologische Forschung und Erkundung, Betriebsteil Freiberg) und vor allem Herrn Dr. G. SCHWAB, stellvertretender Bereichsleiter des Institutsteils Berlin des ZIPE, sehr herzlich danken. Seine Hinweise und Problemdiskussionen zu Fragen der mathematisch-statistischen Bearbeitung des Salinars waren von besonderer Bedeutung für den Fortgang der Untersuchungen.

Das Primärdatenmaterial für diese Forschungen erhielt ich vom VEB Erdöl und Erdgas Grimmen, Direktionsbereich Geologie, um - in Ergänzung zu abgeschlossenen oder laufenden lagerstättenkundlichen Untersuchungen des Betriebes - eine Verallgemeinerung der Daten in bezug auf spezielle tektonische Fragestellungen durchzuführen. Mein Dank gilt in diesem Zusammenhang den Herren Dipl.-Geologen REINHOLD, Dr. BEUTLER, SCHÜLER und SCHÖN für aktive Unterstützung bei der Sichtung, Einschätzung und Auswahl des sehr umfangreichen Dokumentationsmaterials.

Für die sorgfältige Anfertigung der Abbildungen bin ich besonders Frau S. KUBENZ, Herrn B. v. CHAMIR, Fräulein H. KEMNITZ sowie den Kollegen des VEB Geologische Forschung und Erkundung, Betriebsteil Freiberg, zu großem Dank verpflichtet. Technische Unterstützung bei der fototechnisch aufwendigen Anfertigung des Abbildungsmaterials erhielt ich vom Zentralen Geologischen Institut.

1. Problemstellung

Die **H a u p t a u f g a b e** der Untersuchungen bestand darin, aus dem in der Mächtigkeitentwicklung von Salinar- und Postsalinar-Teilstockwerk dokumentierten tektonischen Istzustand von einfach gebauten Antiklinalstrukturen am Nordrand der Norddeutsch-Polnischen Senke auf deren zeitlich-räumliche Entwicklung zu schließen.

Im einzelnen waren im **S a l i n a r**

- das Verhalten und die Beziehungen der halokinetisch verformten Salinarglieder untereinander zu untersuchen,
- mit Hilfe spezifischer Verfahren der Mächtigkeitsanalyse die durch die Halokinese verschleierte primären Mächtigkeitsverhältnisse von Haliten und Anhydriten zu bestimmen,
- die Beziehungen zwischen Mächtigkeiten und Tiefenlagen der Salinarglieder zu klären;

im **P o s t s a l i n a r**

- die räumlich-zeitlichen Auswirkungen der Halokinese auf das Postsalinar-Teilstockwerk zu untersuchen.

Das **Z i e l** dieser Untersuchungen war es, einen allgemeinen Beitrag zur Klärung des disharmonischen und historischen Stockwerkbaues des postvariszischen Deckgebirges zu liefern. Das sollte dadurch erreicht werden, daß

- allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Baues und des Verhaltens des Salinars sowie der Salinarserien in einfachen Salinarstrukturen abgeleitet und
- die postsalinare Genese der beiden Strukturen als Funktion tektonischer und halokinetischer Prozesse geklärt wurde.

Der nördliche Randbereich der Nordostdeutschen Senke eignet sich wegen geringer halokinetischer Verformung von Salinar und Postsalinar besonders gut für die Lösung der Aufgabenstellung. Als **U n t e r s u c h u n g s o b j e k t** boten sich wegen ihres hohen Erkundungsgrades die Strukturen Grimmen und Reinkehagen in der Barth-Grimmener Strukturzone an.

2. Allgemeine geologische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet, das etwa im Zentrum der Barth-Grimmener Strukturzone liegt, gliedert sich in die Strukturen Grimmen, eine Zwischensenke und in die - im W und E von Störungen begrenzte - Struktur Reinkenhagen (Abb. 1). Die beiden Strukturen liegen auf den Maßstabblättern i.M. 1 : 25 000 Franzburg (1843), Grimmen (1844), Horst (1845) sowie anteilig auf den Maßstabblättern Elmenhorst (1744) und Stahlbrode (1745).

Die Struktur Grimmen erstreckt sich nördlich der Kreisstadt Grimmen im Bezirk Rostock bis etwa Abtshagen, im E bis Stoltenhagen, im W etwa bis Sievertshagen. Die nach der gleichnamigen Ortschaft benannte Struktur Reinkenhagen reicht im SE bis Horst, im NE bis zur Eisenbahnlinie Stralsund - Greifswald. Im W erstreckt sie sich bis an den westlichen Rand des Maßstabblattes Horst (1845). Beide Strukturen nehmen zusammen eine Fläche von ca. 16 x 10 km ein.

Aus der geologischen Übersicht (Abb. 1), den geologisch-tektonischen Schnitten (Abb. 2 und 3) und den Tiefenlinienplänen (Abb. 4) wird der disharmonische Stockwerkbau des postvariszischen Deckgebirges mit seinen Teilstockwerken Subsalinar (durch Bohrungen erfaßter Anteil Staßfurt-Karbonat Ca 2 und Basalanhydrit A 2), Salinar (Staßfurt-Steinsalz Na 2 bis Ohre-Serie Z 5) und Postsalinar (Buntsandstein T 1 bis Quartär Q) im Bereich der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen deutlich.

S u b s a l i n a r: Nach Bohrungen und der Reflexionsseismik sind Aussagen nur über den hangenden Teil des Subsalinars, das Staßfurt-Karbonat Ca 2 und den Basalanhydrit A 2, möglich, da die liegenden Subsalinar-Anteile zumeist nur angeritzt worden sind. Nach dem Relief der Subsalinar-Oberfläche (Abb. 4) bilden Grimmen und Reinkenhagen eine durch eine schwache Depression geteilte, E-W gerichtete Hochlage, deren östlicher Abschnitt, Reinkenhagen, mindestens um 100 m höher liegt als der westliche, Grimmen.

S a l i n a r: Der Subsalinar-Hochlage Grimmen-Reinkenhagen entsprechen im Salinar annähernd die Akkumulationsbereiche (> 1000 m) des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 (Abb. 5 und 6). Das gilt vor allem für Reinkenhagen, nicht so ausgeprägt für Grimmen. Die Subsalinar-Depression zwischen Grimmen und Reinkenhagen zeichnet sich durch Salinarmächtigkeiten von ca. 200 - 300 m aus.

P o s t s a l i n a r: Den Salinar-Akkumulationsbereichen von Reinkenhagen und Grimmen entsprechen reduzierte Postsalinar-Mächtigkeiten (Tab. 1, Abb. 4 und 6). Die Struktur Grimmen als Teil der Struktureinheit Richtenberg-Grimmen stellt eine flache elliptische Aufwölbung dar, deren Längsachse etwa E-W streicht. Buntsandstein und Muschelkalk werden konkordant von Unterem Keuper und Unterem Gipskeuper (T 3.2.1) überlagert. Die übrigen Stufen des Mittleren Keupers (T 3.2) fehlen infolge teils syn-, teils postsedimentärer Abtragung im Top- und angrenzenden Flankenbereich. An der Ost- und Südflanke sind geringmächtiger Schilfsandstein (T 3.2.2) und in der Zwischensenke zur Struktur Reinkenhagen auch Oberer Gipskeuper (T 3.2.3) erhalten.

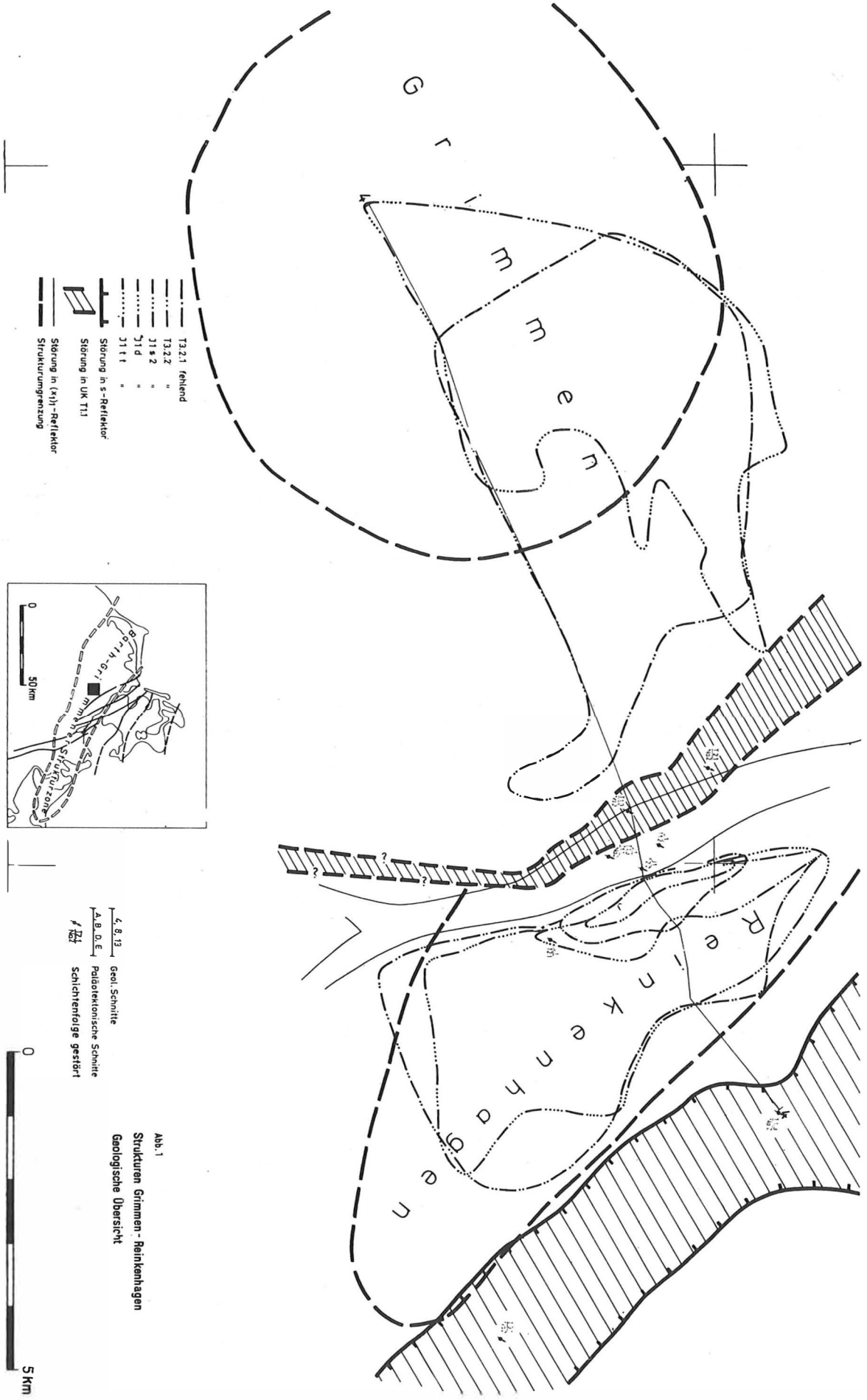


Abb. 1
Strukturen Grimmen - Reinckenhangen
Geologische Übersicht

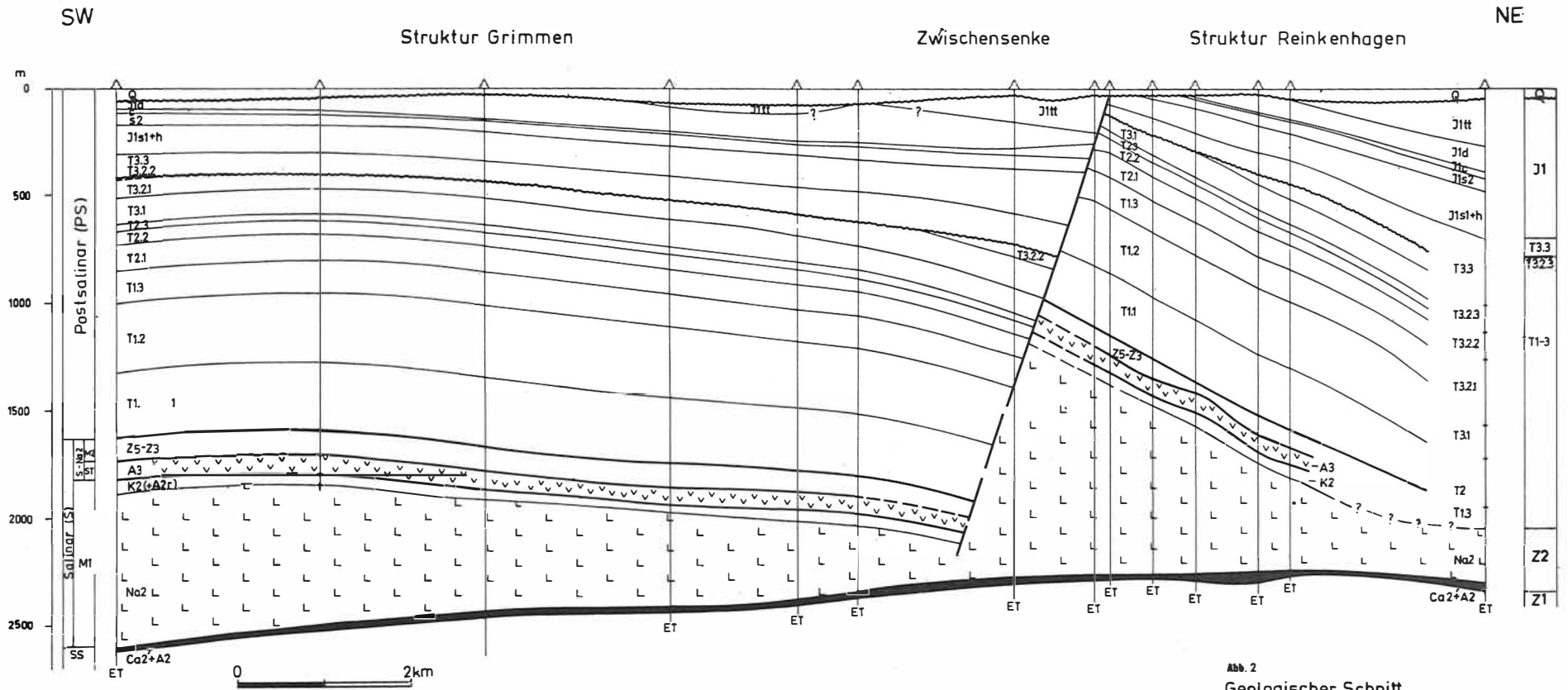


Abb. 2
Geologischer Schnitt
Strukturen Grimmen-Reinkenhagen

Darüber liegen diskordant Rät (einschließlich Steinmergelkeuper; T 3.3) und Lias (J 1). Vom Lias sind Domer zum Teil und Toarce nahezu vollständig, teils syn-, teils postsedimentär, abgetragen worden (Abb. 1 - 3).

Die Struktur Grimmen geht an ihrer Ostflanke allmählich in eine Zwischensenke, kenntlich an ihren geringen Staßfurt-Steinsalz-Na-2- und größeren Keuper- und Liasmächtigkeiten, über (Abb. 4). Im Nordostteil der Zwischensenke liegen auch die größten Quartär-Mächtigkeiten von > 200 m.

An diese Zwischensenke schließt sich die steil herzynisch streichende Reinkenhagener Störung an, welche die Schichtenfolge vom Post- bis Subsalinar versetzt. Sie ist nach BEUTLER (1973) auf 13 km Länge sicher nachgewiesen und setzt sich nach NW im Nieparser Störungssystem fort. Es handelt sich um eine Abschiebung, an welcher der Bereich von Reinkenhagen relativ gehoben, die Zwischensenke und der Bereich von Grimmen relativ abgesunken sind. Im Bereich der Salzakkumulationsgebiete beträgt die Sprunghöhe im Postsalinar, halokinetisch bedingt, etwa 1000 m, außerhalb der Salzakkumulationsgebiete aber unter 500 m. Die Störungsfläche fällt im Bereich der größten Sprunghöhe relativ flach (40° - 60°) ein, mit abnehmender Sprunghöhe nimmt das Einfallen (bis 70°) zu. Zwischensenke und Reinkenhagener Störung sind in genetischer Hinsicht als Einheit anzusehen.

Unmittelbar an die Reinkenhagener Störung grenzt die Struktur Reinkenhagen an, die auch im E von einer Störung begrenzt wird. Nach BEUTLER (1973) liegt die Struktur auf einer antiklinalartigen, nach NE abtauchenden Kippscholle. Im unmittelbar an der Reinkenhagener Störung liegenden Topbereich ist der Untere Keuper teilweise und der Mittlere Keuper präritisch vollständig abgetragen, so daß Rät (einschließlich Steinmergelkeuper) diskordant auf Unteren Keuper übergreift. Das im Topbereich ebenfalls abgetragene Rät wird von Hettange-Untersinemur überlagert. Obersinemur-Toarce sind im Top gleichfalls abgetragen und erst flankenwärts erbohrt. Darüber folgt nach einer Schichtlücke (Dogger bis Tertiär) das Quartär.

SW

NE

Struktur Grimmen

Zwischensenke

Struktur Reinkehagen

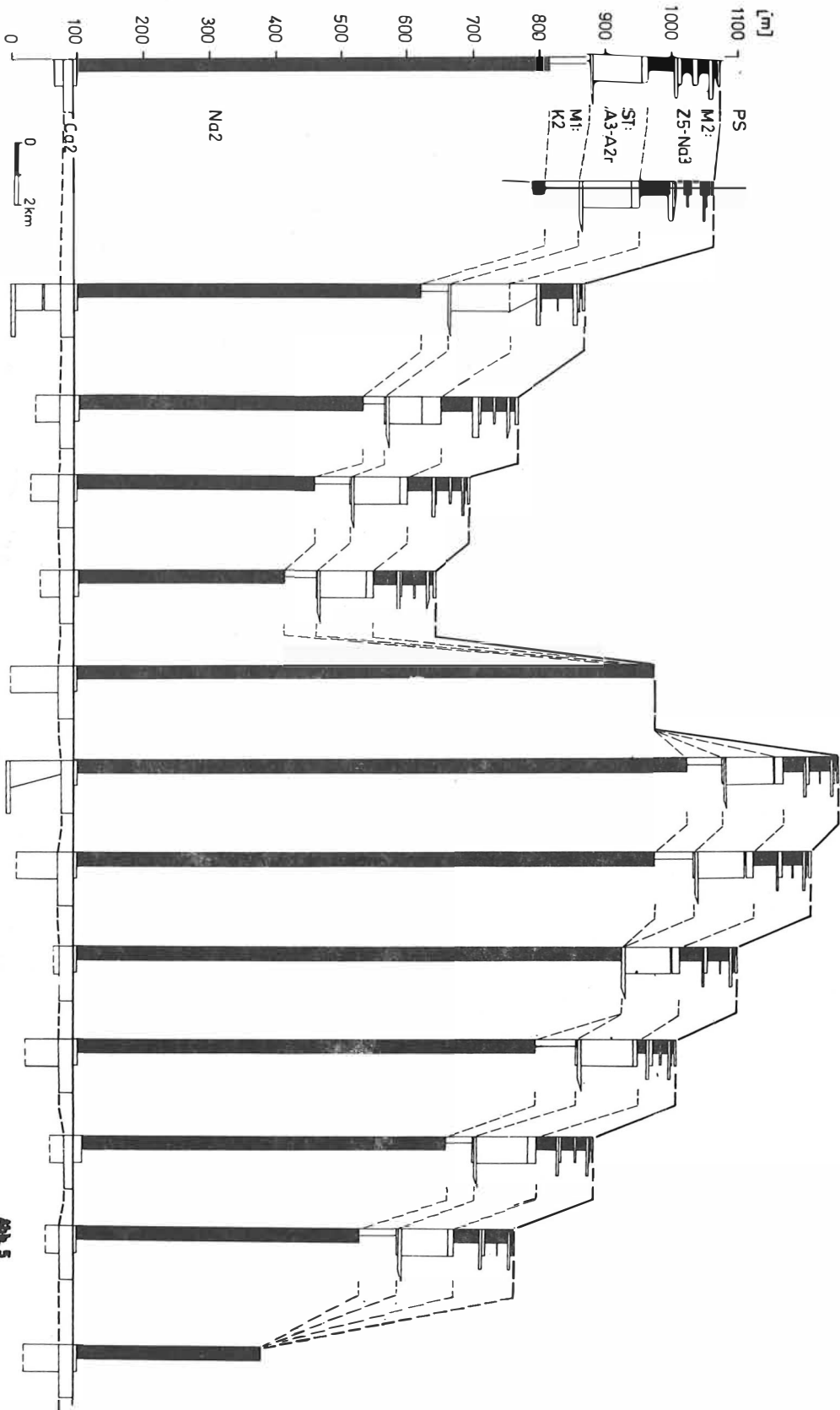


Abb. 5
Zechstein-Stratigraphie
Profilschnitt 4

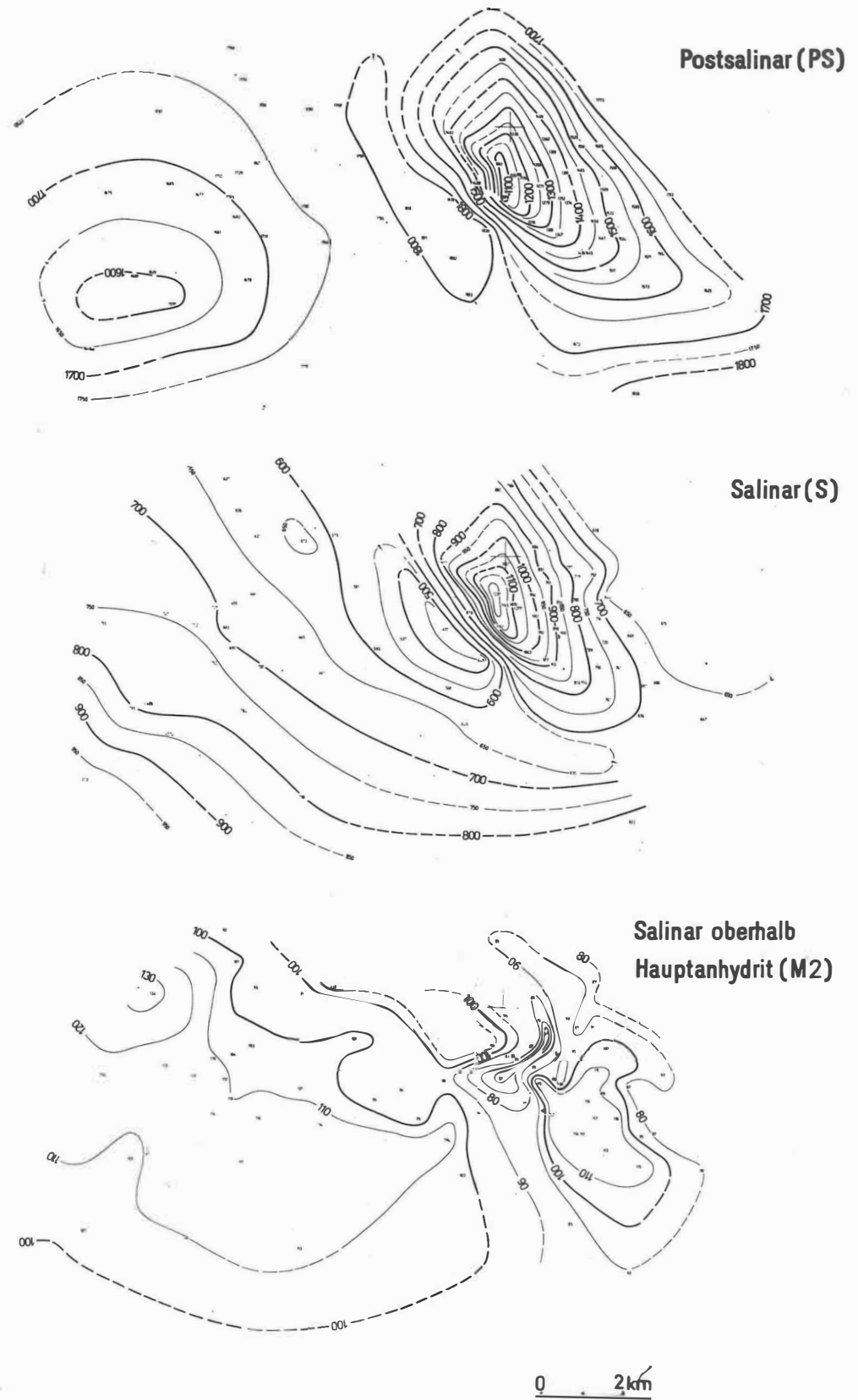
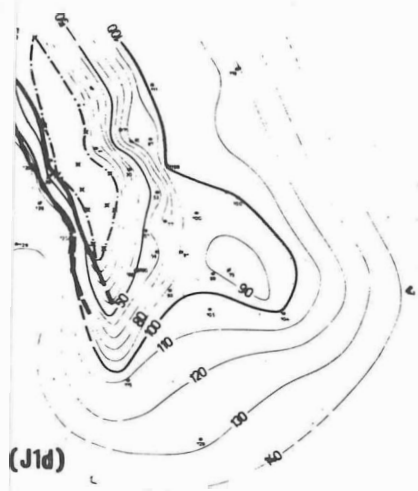
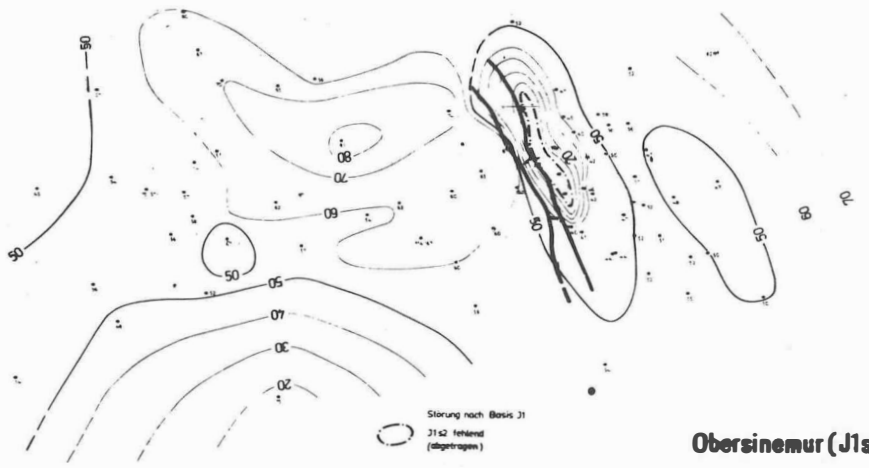


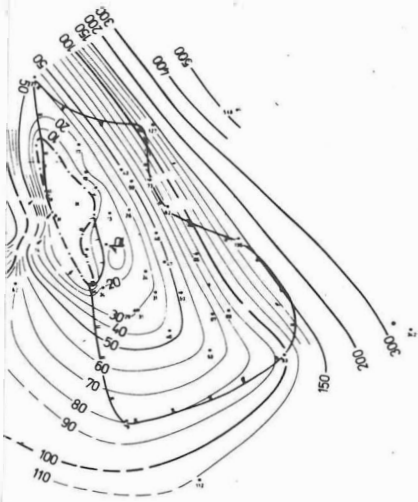
Abb. 6
Mächtigkeiten Postsalinar Salinar,
Salinar oberhalb Hauptanhydrit
Strukturbereich Grimmen - Reinshagen



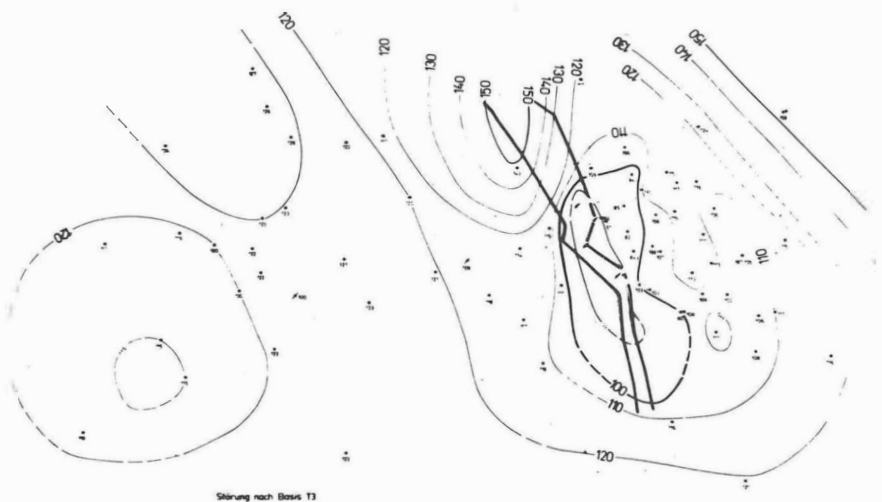
(J1d)



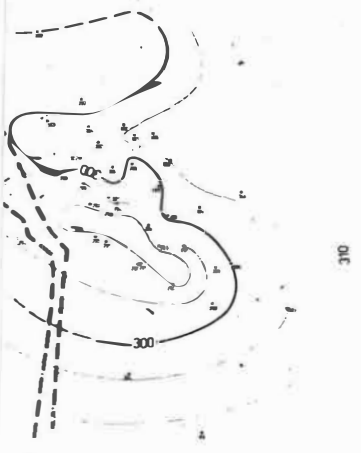
Obersinemur (J1s2)



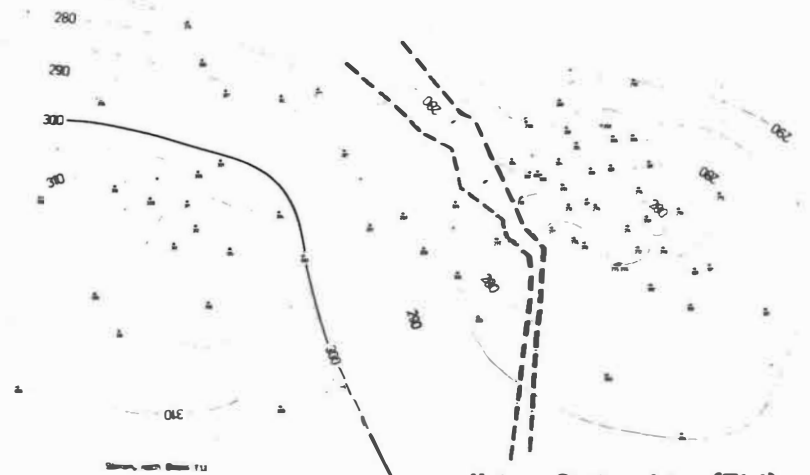
Mittlerer Keuper (T3.2)



Unterer Keuper (T3.1)

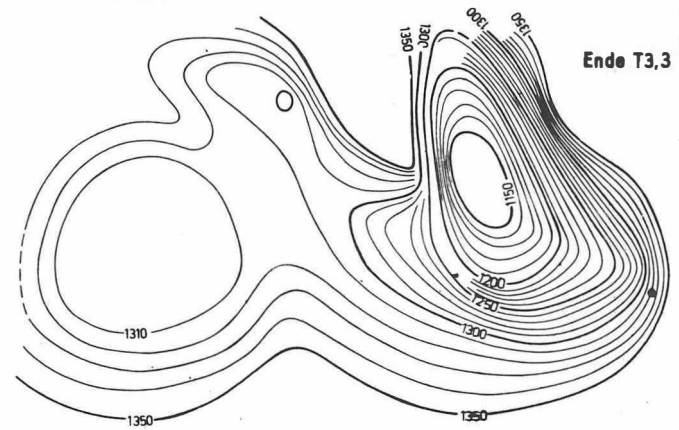
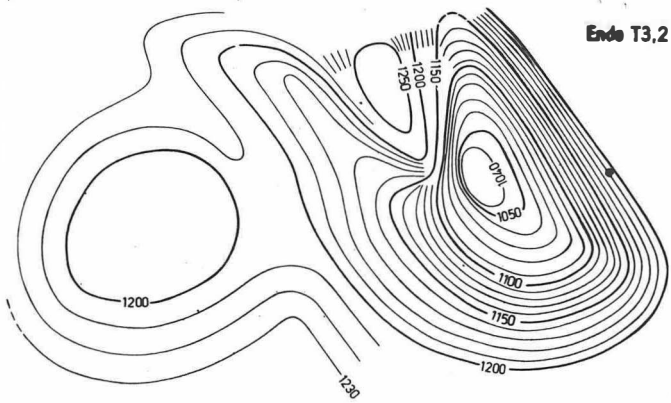
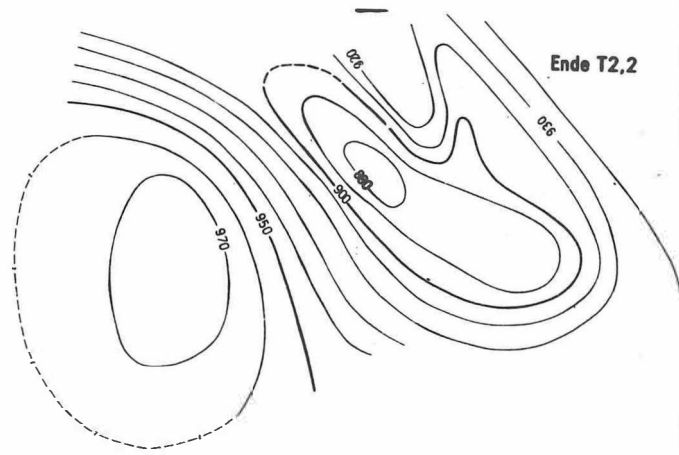
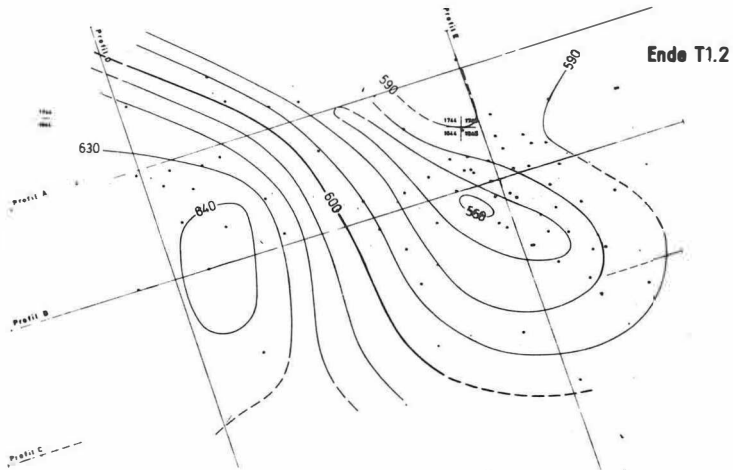


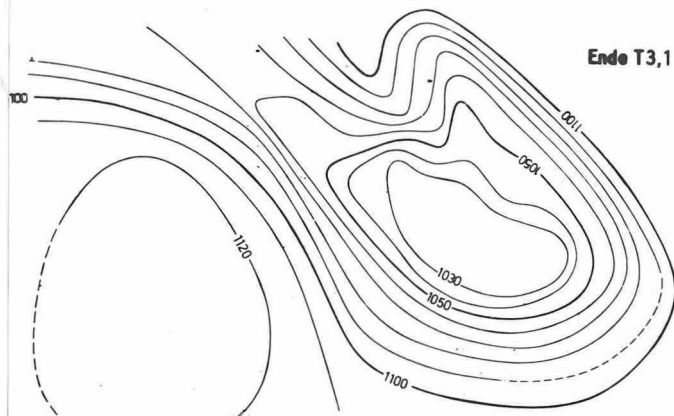
Mittlerer Buntsandstein (T1.2)



Unterer Buntsandstein (T1.1)

Abb. 29
Mächtigkeiten Einzelhorizonte Postsalinar
Strukturbereich Grimmen-Reinkenlagen

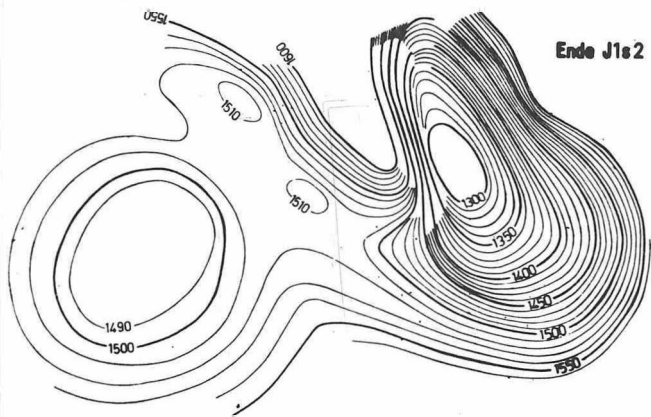




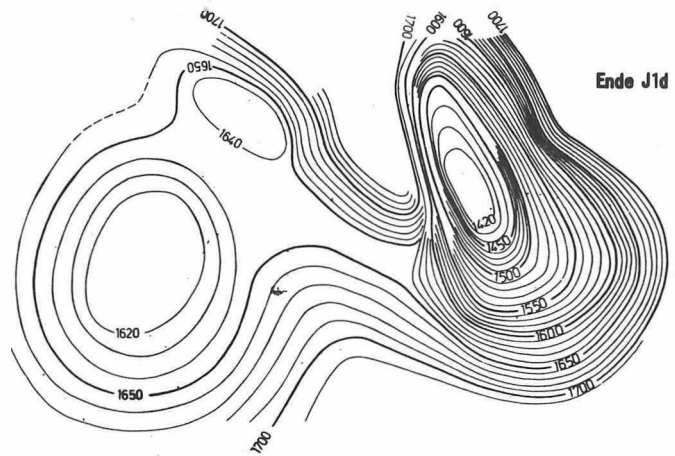
Ende T3,1

Abb.30

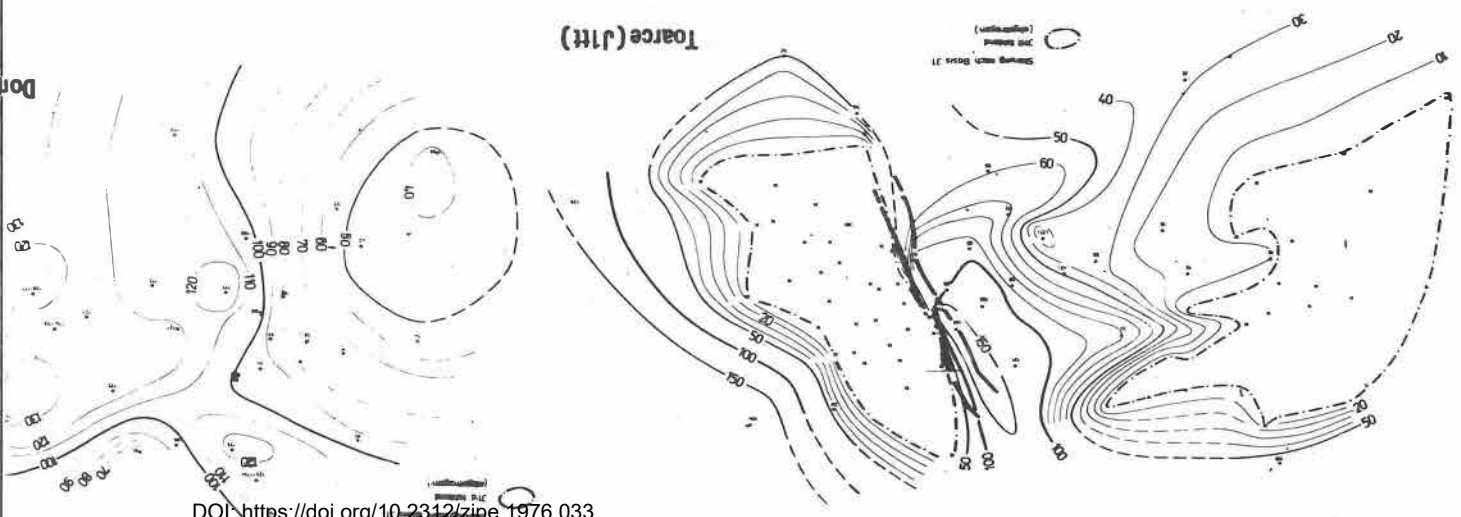
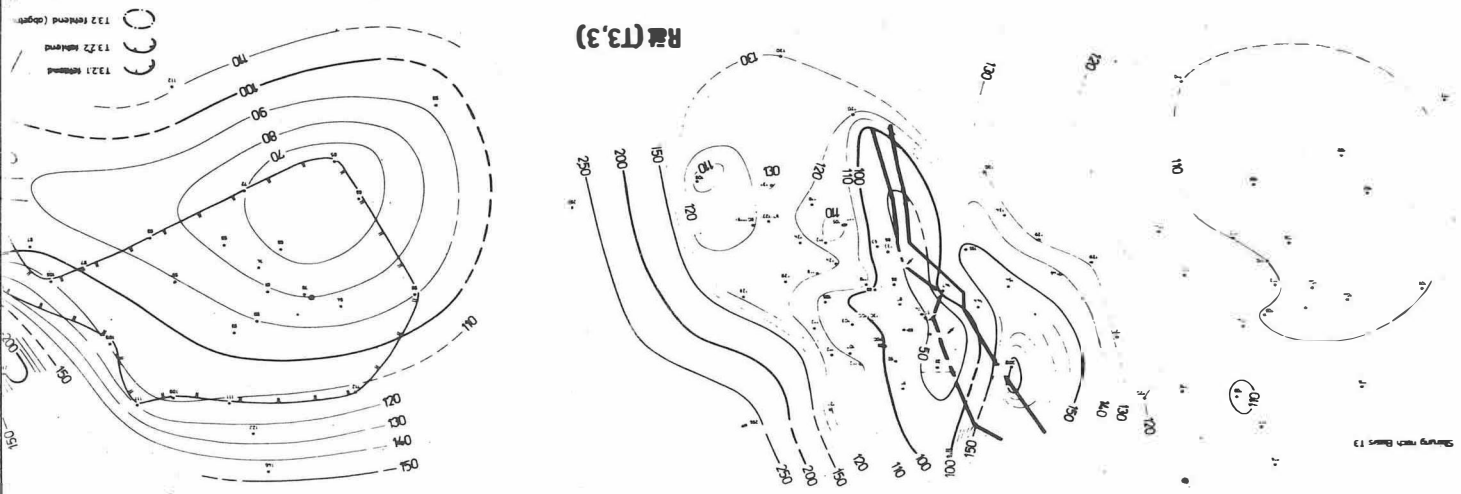
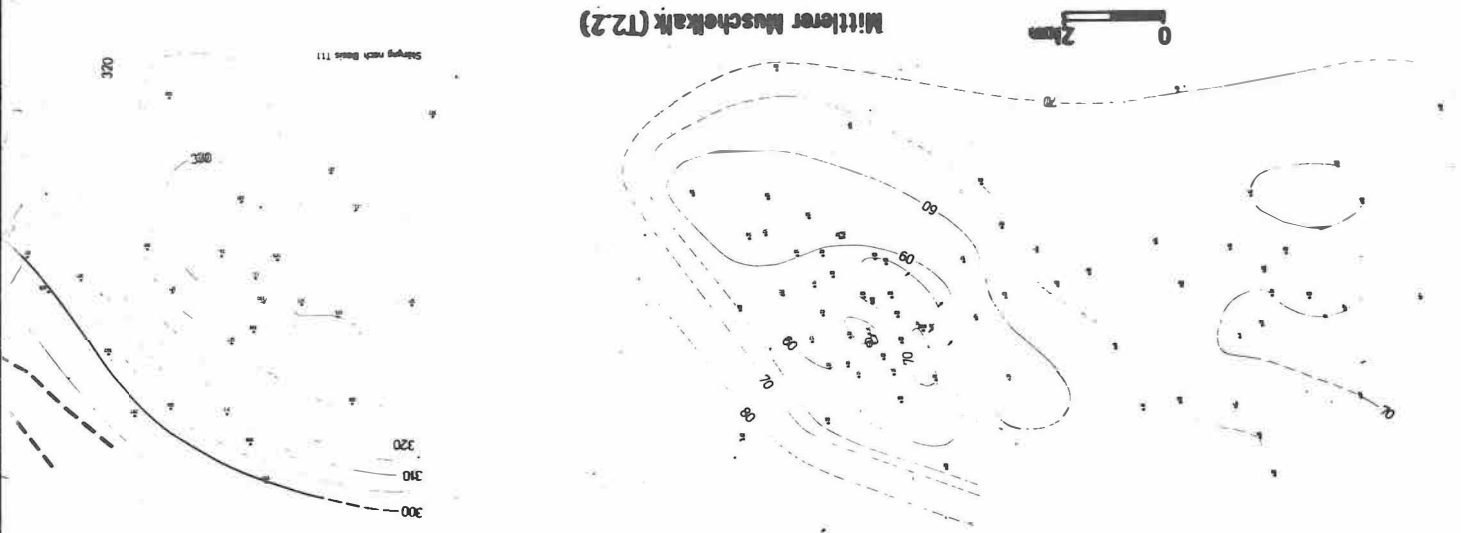
Paläostrukturkarten Zechstein-Oberfläche



Ende J1s2

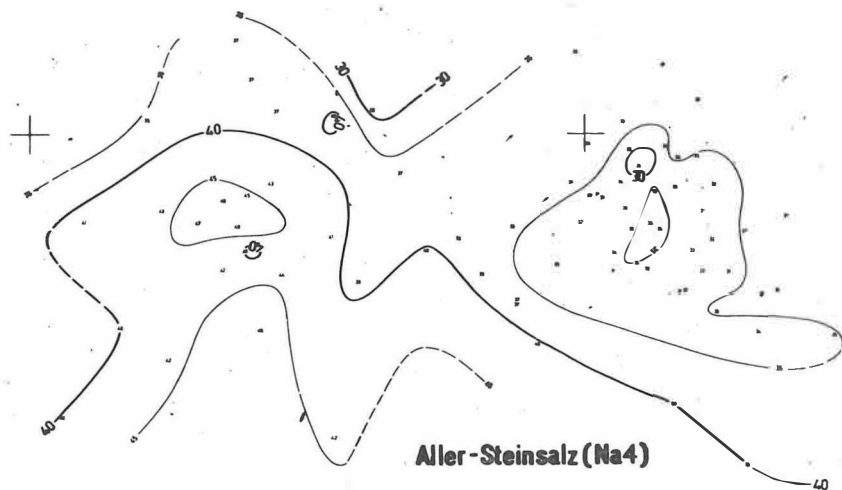


Ende J1d

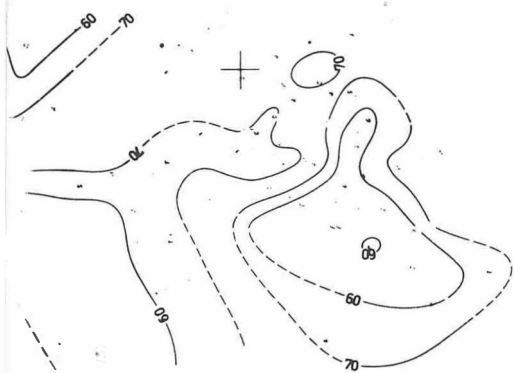




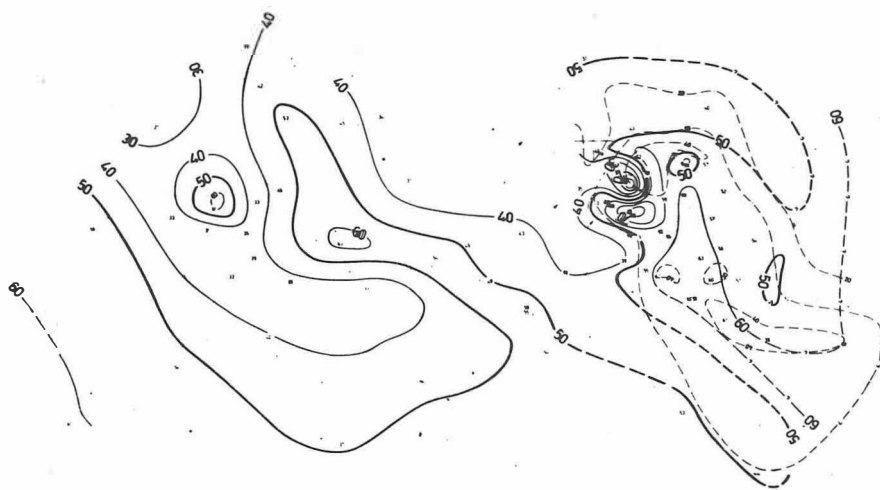
Ohre-Serie (P2.5)



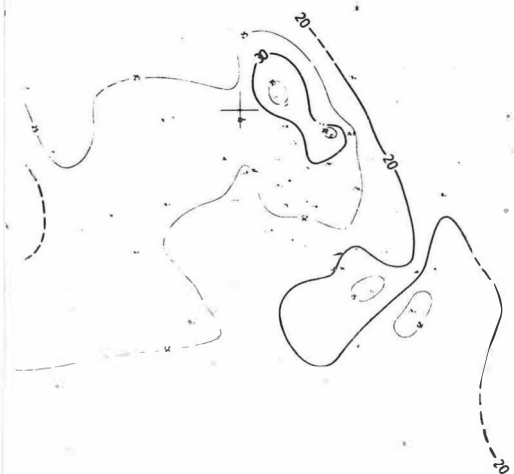
Aller-Steinsalz (Na4)



Hauptanhydrit (A3)



Staßfurt-Kalilager (K2)



Staßfurtkarbonat + Basolanhydrit (Ca2+A2)

**Abb. 7
Mächtigkeiten Einzelhorizonte Salinar**

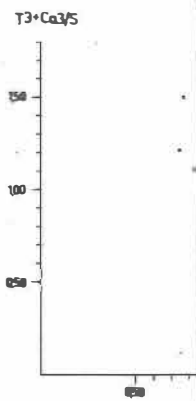
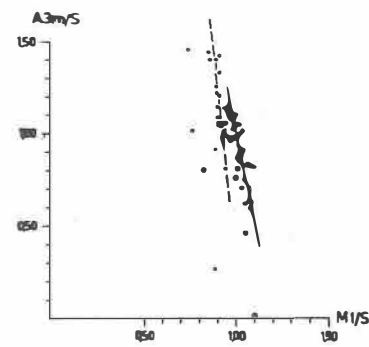
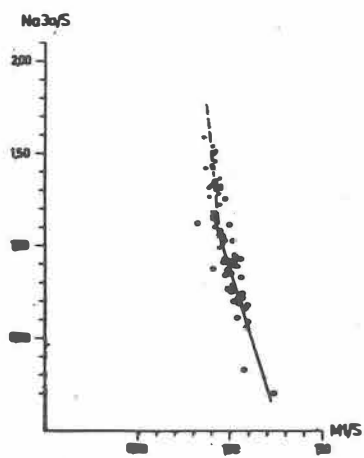
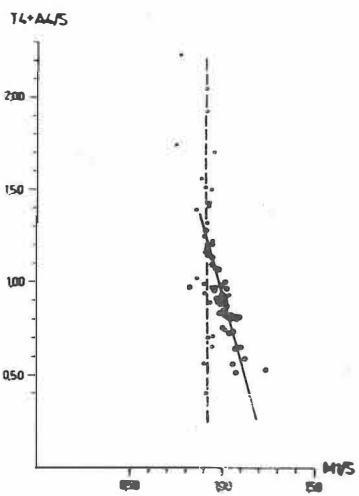
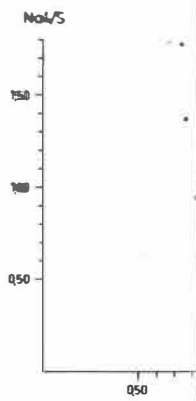
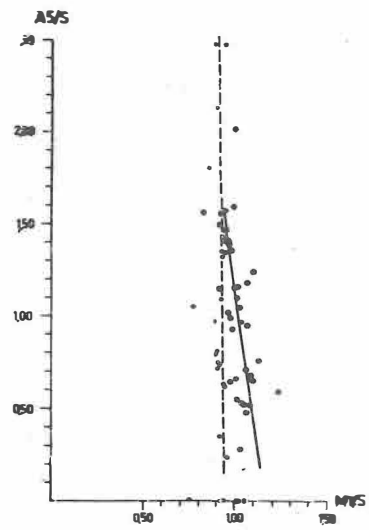
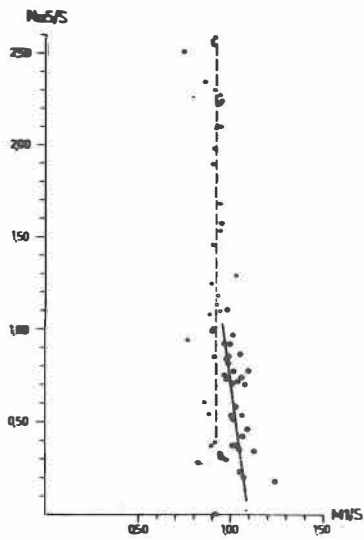
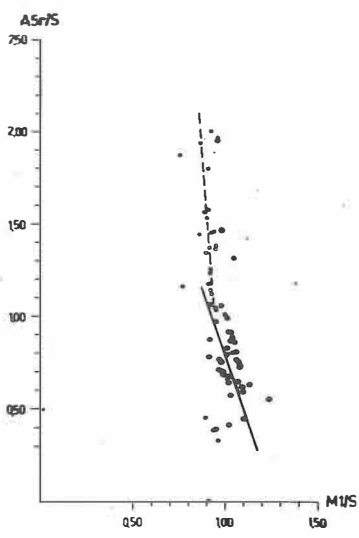
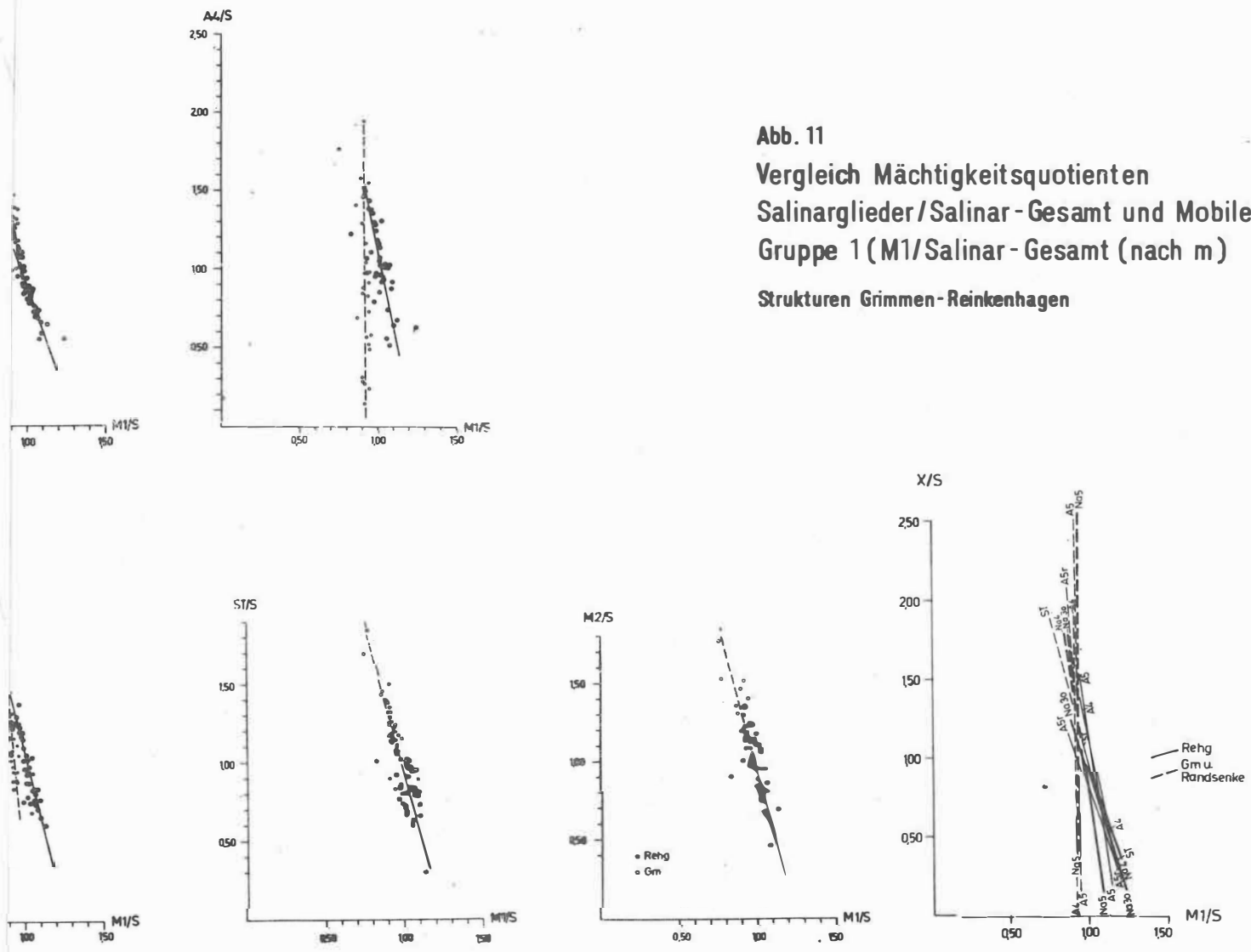
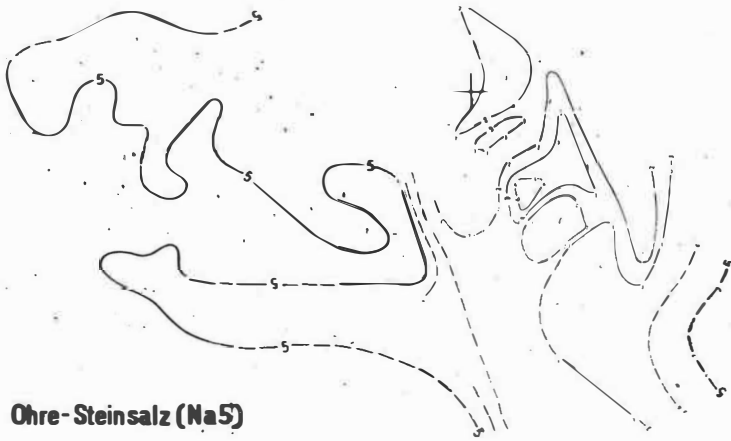


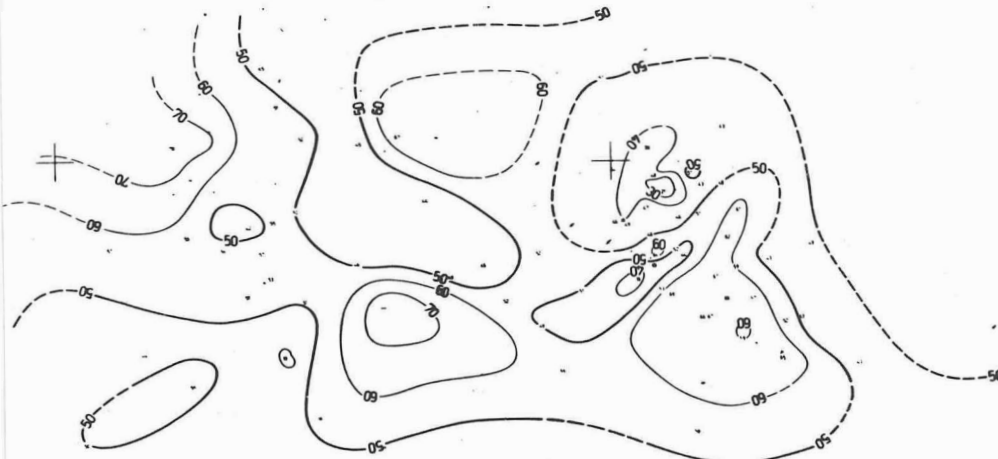
Abb. 11
Vergleich Mächtigkeitsquotienten
Salinarglieder/Salinar-Gesamt und Mobile
Gruppe 1 (M1/Salinar-Gesamt (nach m))
Strukturen Grimmen-Reinkenlagen



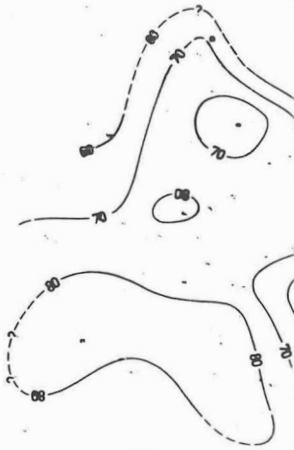
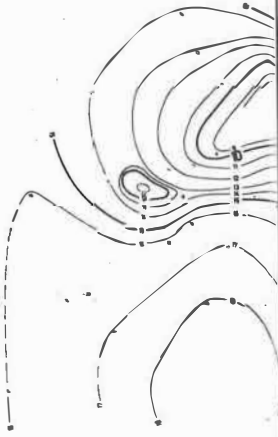
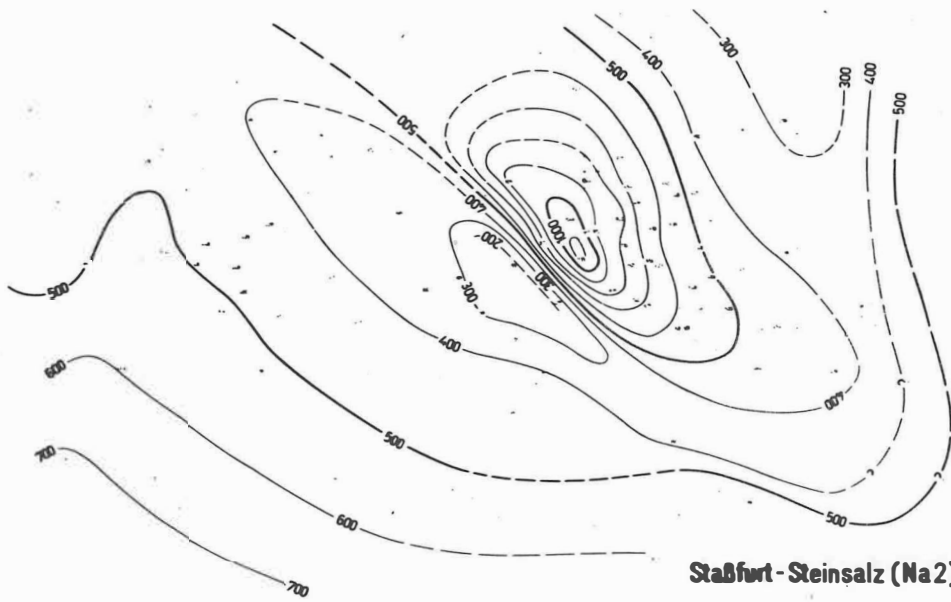
Ohre-Steinsalz (Na5)



Leine-Steinsalz (Na3)



Staufert-Steinsalz (Na2)

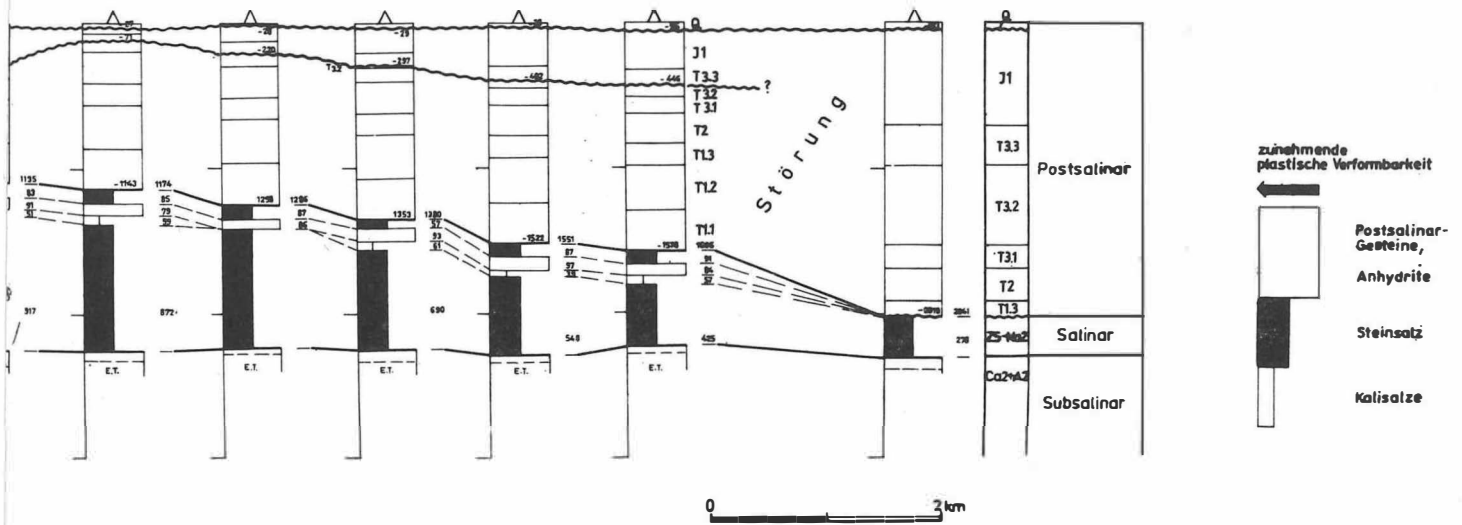


0 2km

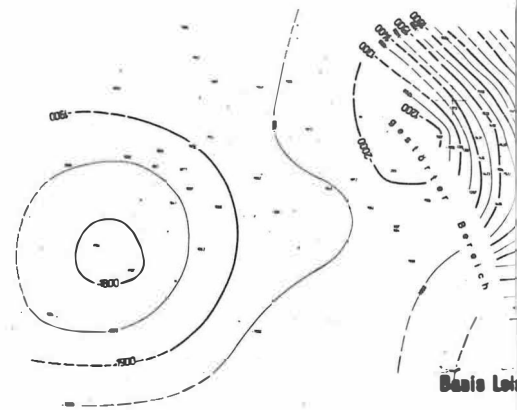
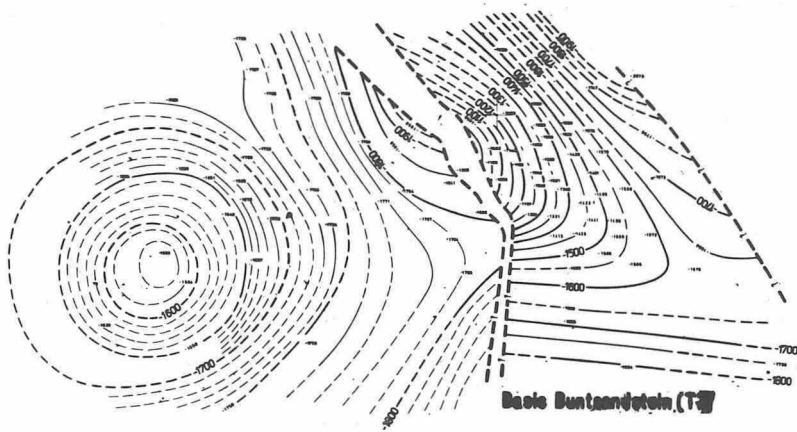
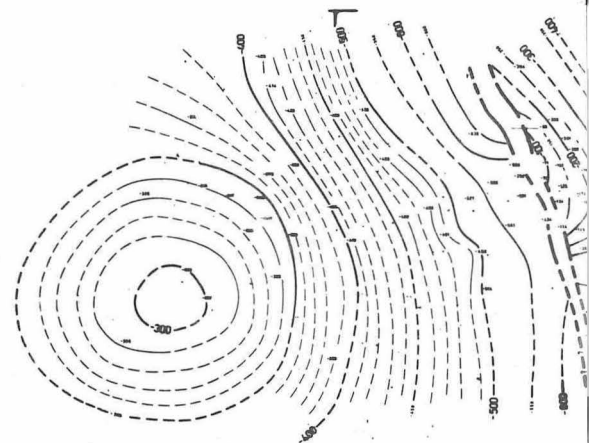
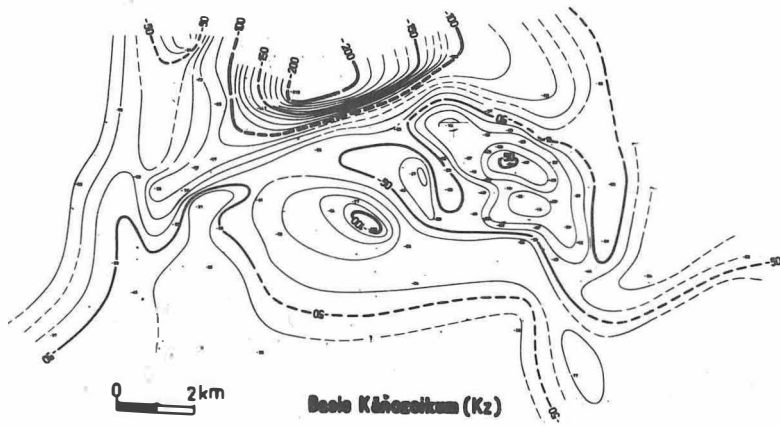


Struktur Reinkenhagen

NE



Stockwerkschnitt Grimmen - Reinkenhagen



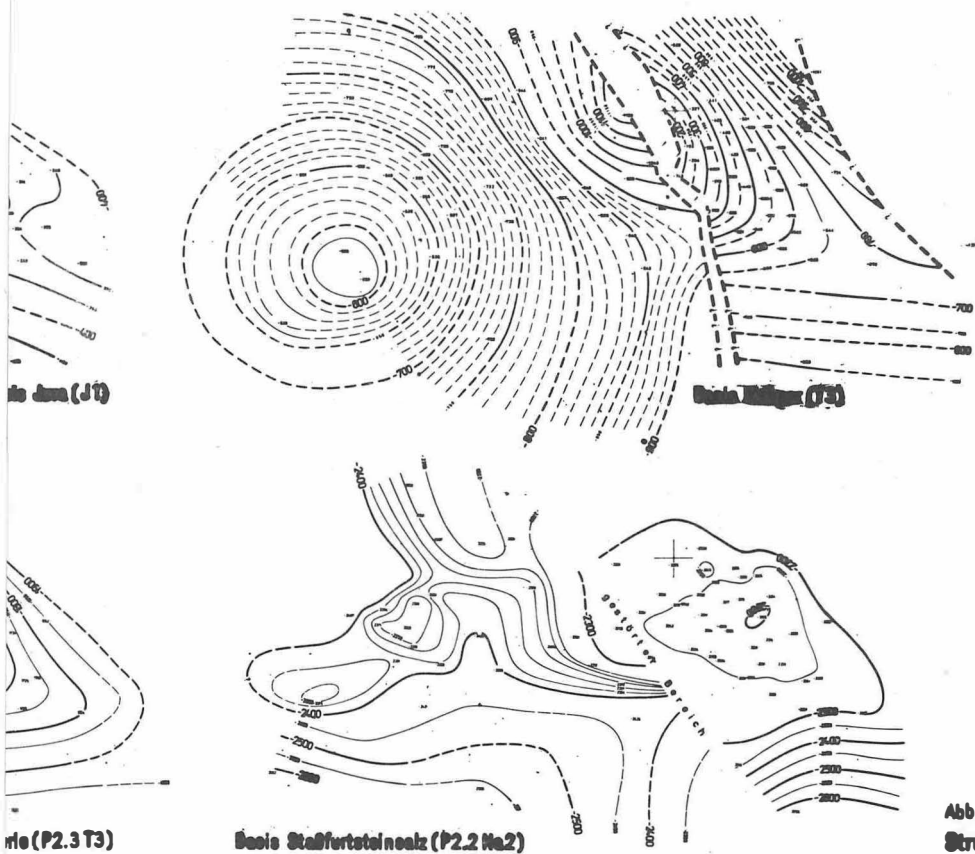


Abb. 4
 Strukturkarten Einzelhorizonte Postsalinar-Salinar

SW

Struktur Grimmen

Zwischensenke

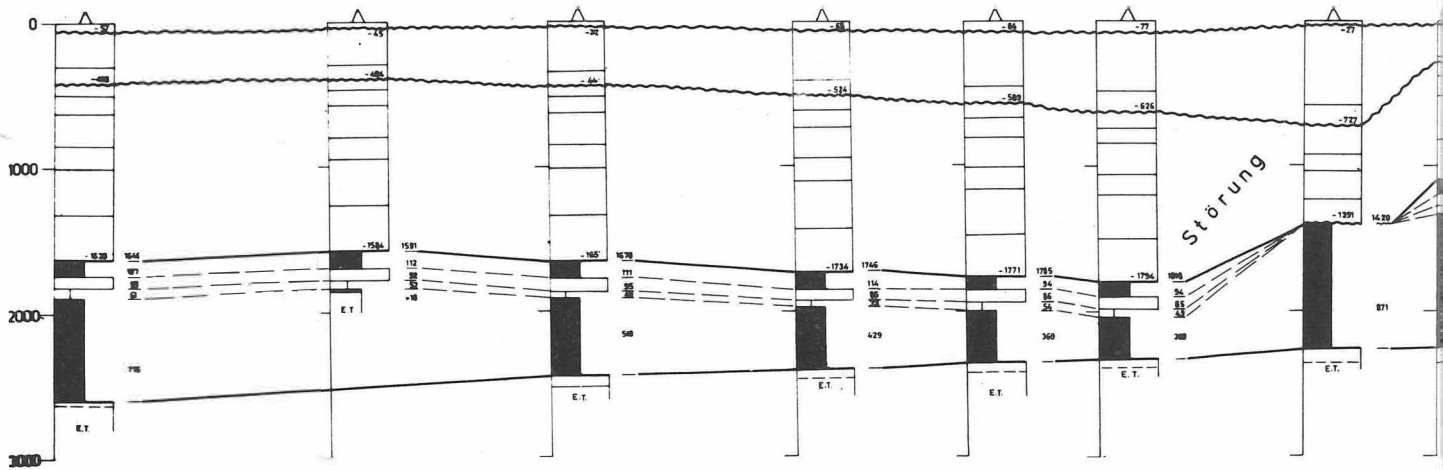


Abb.3
Tektonische
Strukturen

Tab. 1. Mächtigkeiten des postsalinaren Mesozoikums in Nordost-Mecklenburg
und im Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen

Stratigraphie	Nordost-Mecklenburg M [m]	Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen M [m]
Tertiär	0 - 550	-
Oberkreide	0 - 830	-
Unterkreide	0 - 400	-
Malm	0 - 200	-
Dogger	125 - 130	-
Toarce	70 - 150	80
Pliensbach	90 - 150	110
Sinemur	50 - 70	188
Hettange	100 - 320	
Keuper	bis 1200	306
Rät	bis 1000	117
Mittl. Keuper	150 - 200	87
Unt. Keuper		113
Muschelkalk	200 - 250	212
Buntsandstein	750 - 850	743
Ob. Buntsandst.	150	148
Mittl. Bunts.	300 - 350	306
Unt. Bunts.	300 - 350	288

3. Methodik der Untersuchungen

3.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Methodisch wurde eine komplexe **M ä c h t i g k e i t s- u n d S t r u k t u r- a n a l y s e** sowohl des Zechsteinsalinars als auch des mesozoischen Postsalinars in mehreren Arbeitsstufen durchgeführt. Hierzu wurde eine Folge untereinander abgestimmter Tiefenlinienpläne konstruiert und daraus zahlreiche geologische Schnitte quer und parallel zum Streichen der Strukturen abgeleitet. Um die Strukturgenese zu klären, wurden Mächtigteits- und Paläostrukturkarten angefertigt und daraus paläotektonische Schnitte konstruiert.

Auf Grund der durch die Fließfähigkeit der Salinargesteine verursachten großen sekundären Mächtigteitsänderungen reicht die traditionelle Mächtigteitsanalyse zur Lösung der Aufgabenstellung im **S a l i n a r** nicht aus. So können ohne die Kenntnis der primären Mächtigteitsverteilungen der einzelnen Salinargesteine bzw. -serien keine Paläostrukturkarten des Salinars konstruiert werden. Im Gegensatz zu halokinetisch unverformten Folgen des Tafeldeckgebirges repräsentieren die einzelnen Mächtigteitswerte der Salinarglieder nur deren unmittelbare Umgebung; weiterreichende Extrapolationen können mit großen Fehlern behaftet sein. Deshalb ist die Aussagekraft der "normalen" Mächtigteitskarten von Salinarhorizonten eingeschränkt. Die konventionelle Mächtigteitsanalyse des Salinars wurde deshalb durch die Anwendung einfacher mathematisch-statistischer Verfahren - Berechnung von Mittelwerten, Streuung und Rangkorrelation - erweitert (**e r w e i t e r t e M ä c h t i g k e i t s a n a l y s e**).

Die Mächtigteitsänderungen der Salinargesteine sind bisher im wesentlichen nur in Salzstöcken untersucht worden, da dort günstige Aufschlußverhältnisse durch den Stein- und Kalisalz-Bergbau bestanden bzw. bestehen. Beispiele liefern die zahlreichen Publikationen der letzten 70 Jahre, vor allem aus dem nordwestdeutschen Raum und den USA. Allerdings sind in Salzstöcken Mächtigteitsuntersuchungen infolge der starken halokinetischen Salinarverformung besonders schwierig. Vielfach beschränkten sich die Autoren darauf, Teilbereiche solcher komplizierter Strukturen darzustellen, wobei oft noch lithologisch-fazielle Gesichtspunkte im Vordergrund standen. Demgegenüber fehlten derartige Untersuchungen auf Grund mangelnder Aufschlüsse in einfachen Salinarstrukturen, die sich im Anfangsstadium der Halokinese befinden (Salzkissen), weitgehend. Deshalb lieferten die durch Bohrungen gut aufgeschlossenen, einfachen, kaum topgestörten Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhausen ein ausgezeichnetes Objekt zur Lösung der Aufgabenstellung.

Auch im nordöstlichen Randbereich der Nordostdeutschen Senke, d.h. in der Barth-Grimmener Strukturzone, wurden im Rahmen der Strukturerkundung die Salinartektonik und Genese von Salinarstrukturen unter dem Aspekt vergleichend regionaler Betrachtungen untersucht (BEUTLER 1973).

Jedoch gibt es bisher keine geschlossene Methodik zur Untersuchung salztektonischer Phänomene in ihrer Gesamtheit. Auch international sind neue Methodiken erst in Ansätzen erkennbar, wie z.B. Anwendung statistischer Verfahren auf Großräume mit Salinarstrukturen (KARASEVA 1970; KITZYK 1970) und tektonophysikalische Modellierung von Salzstrukturen (RAMBERG 1963, 1967, 1972).

Als Voraussetzung einer paläotektonischen Analyse des Zechsteins ist vor allem ein praktischer Lösungsweg erforderlich, um die primären Mächtigkeiten des Salinars - unter Salinar wird in stockwerktektonischem Sinne hier immer die Schichtenfolge vom Staßfurt-Steinsalz Na 2 bis zum Grenzanhydrit A 5 r verstanden -, speziell die des Staßfurt-Steinsalzes Na 2, zu rekonstruieren.

Mehrere Autoren (PUTZIGER, REINHARDT & WEGERT 1966) unternahmen Versuche in dieser Richtung und legten Schemata der primären Zechstein-Mächtigkeiten für den Nordteil der DDR vor. WEGERT (1970) versuchte über die Bestimmung von quantitativen Strukturparametern, wie z.B. Salzstrukturvolumen, Paläovolumen der Salzstrukturen, Salzstrukturfläche, die primäre Gesamtsalzmächtigkeit im Nordteil der DDR großräumig zu analysieren. Im Gegensatz zu den vorliegenden Untersuchungen basieren diese Parameter auf geophysikalischen Vermessungen, bevorzugt der Rx-Seismik. WEGERT definiert als "primäre Gesamtsalzmächtigkeit" die ursprüngliche Mächtigkeit zwischen den Rx-Horizonten X_1 (etwa Zechstein-Oberkante) und Z (etwa Unterkante Staßfurt-Serie). Die Verwendung geophysikalischer Reflektoren hat allerdings den Nachteil, daß in die "primäre Gesamtsalzmächtigkeit" WEGERTs der hangende Anteil des Subsalinars mit eingeht. Vielmehr sollte es darauf ankommen, die primären Mächtigkeiten des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 als des entscheidenden Trägers halokinetischer Vorgänge zu ermitteln.

Das Postsalinare war in diese Untersuchungen mit einzubeziehen, weil seine zeitlich-räumliche Entwicklung als genetischer Prozeß gut verfolgbar ist und das Verhalten des Salinars in bestimmtem Maße widerspiegelt, d.h. durch die Halokinese beeinflusst ist, und somit wiederum Rückschlüsse auf das Verhalten des Salinars zuläßt.

Untersuchungen mit ganz ähnlicher Zielsetzung und entsprechendem Lösungsweg führten im Subherzynen Becken JUBITZ (1963, 1969) an der Huywald-Salziklinale und ROLL (1971) am Salzstock Mölme durch, wenngleich auch nicht auf einer derartigen quantitativen Datengrundlage, wie sie hier durch die zahlreichen Tiefbohrungen und die geophysikalische Vermessung gegeben sind.

Die an sich zur weiteren Vertiefung der Arbeiten erforderlichen lithofaziellen und gefügetektonischen Untersuchungen konnten wegen des ohnehin schon aufwendigen Arbeitsganges der Struktur- und Mächtigkeitsanalyse derartiger Gebiete vom Verfasser nicht mehr durchgeführt werden. Gleiches gilt auch für die bei Ansatz der Arbeiten vorgesehene Interpretation der Rx-Reflektoren sowie der geophysikalischen Bohrlochvermessungen im Salinar.

Tab. 2. Verwendete Größen bei der Mächtigungs- und Strukturanalyse

Größe	Bezeichnung	Berechnung
M	absolute (= erbohrte, heutige) Mächtigkeit [m]	
\bar{M}	mittlere absolute Mächtigkeit [m]	$\bar{M} = \frac{\sum M}{n}$
δM	Abweichung von mittlerer absoluter Mächtigkeit [m]	$\delta M = \bar{M} - M$
$\bar{\delta M}$	mittlere Abweichung von mittlerer absoluter Mächtigkeit [m]	$\bar{\delta M} = \frac{\sum \delta M}{n}$
$\delta \% M$	Abweichung in [%] von mittlerer absoluter Mächtigkeit	$\delta \% M = \frac{\delta M}{M} \cdot 100$
$\bar{\delta \% M}$	mittlere Abweichung in [%] von mittlerer absoluter Mächtigkeit	$\bar{\delta \% M} = \frac{\sum \delta \% M}{n}$
m	relative Mächtigkeit [%]	$m = \frac{M}{\bar{M}} \cdot 100$
\bar{m}	mittlere relative Mächtigkeit [%]	$\bar{m} = \frac{\sum m}{n}$
δm	Abweichung von mittlerer relativer Mächtigkeit [%]	$\delta m = \bar{m} - m$
$\bar{\delta m}$	mittlere Abweichung von mittlerer relativer Mächtigkeit [%]	$\bar{\delta m} = \frac{\sum \delta m}{n}$
m_N	normierte relative Mächtigkeit [%]	$m_N = \frac{m}{\Delta} \cdot 100$
\bar{m}_N	mittlere normierte relative Mächtigkeit [%]	$\bar{m}_N = \frac{\sum m_N}{n}$
Δ	Differenz der extremen absoluten bzw. relativen Mächtigkeiten [m bzw. %]	$\Delta = M_{\max} - M_{\min}$ $\Delta = m_{\max} - m_{\min} (= K_1)$
n	Anzahl der Mächtigkeitswerte (= Bohrungen)	
Σ	Summe aller Mächtigkeitswerte n von Grimmen und Reinkenlagen	
h	Tiefenlage der jeweiligen stratigraphischen Einheit [m NN]	
K_1	tektonische Aktivität (nach NEJMAN 1959) (s.a. unter Δ)	$K_1 = m_{\max} - m_{\min}$
K_3	tektonischer Differenzierungsgrad (nach NEJMAN 1959)	$K_3 = \frac{m_{\max}}{m_{\min}}$

3.2. Postsalinar

Die Analyse der räumlich-zeitlichen Entwicklung, d.h. M ä c h t i g k e i t s - a n a l y s e i. e. S. und p a l ä o t e k t o n i s c h e A n a l y s e , des Postsalinars hat das Ziel, den Entwicklungsgang des Postsalinars der Strukturen Grimmen und Reinkehagen als Funktion tektonischer und halokinetischer Vorgänge zu rekonstruieren (Strukturgenese). Die Arbeitsgrundlage bildeten die dokumentierten Bohrergebnisse, unveröffentliche Berichte und untergeordnet reflexionsseismische Vermessungen. Im Gegensatz zur Struktur Grimmen gibt es für die Struktur Reinkehagen zur Zeit noch keine zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse.

Die Schichtenverzeichnisse der Bohrungen wurden stratigraphisch nicht neu interpretiert, sondern alle Teufen- und Mächtigkeitenangaben übernommen und tabellarisch erfaßt. Es ergaben sich jedoch mehrfach Hinweise auf wahrscheinlich fehlerhafte Einstufungen im Mittleren und Oberen Keuper sowie Lias.

Für alle stratigraphischen Einheiten des Postsalinars wurden analog dem Salinar M ä c h t i g k e i t s k a r t e n (Abb. 6 und 29) konstruiert. Für den Zeitabschnitt Quartär - Lias - Keuper konnten nur die erbohrten, s e k u n d ä r e n absoluten Mächtigkeiten dargestellt werden (scheinbare Mächtigkeiten, ohne Umrechnung auf wahre Mächtigkeiten unter Berücksichtigung der Fallwinkel), d.h. die durch syn- oder postsedimentäre Abtragung veränderten Mächtigkeiten. Die erbohrten Mächtigkeiten des Muschelkalk - Buntsandstein können als p r i m ä r e absolute Mächtigkeiten angesehen werden. Für die Lias- und Keuperstufen wurde darüber hinaus versucht, die primären absoluten Mächtigkeiten zu rekonstruieren. Dafür wurde vor allem der Mächtignitätsgradient außerhalb der Abtragungsgebiete berücksichtigt.

Die P a l ä o s t r u k t u r k a r t e n (Abb. 30 und 31) wurden durch graphische Addition der primären absoluten Mächtigkeiten konstruiert. Als Kartenfolge erlauben sie, die Änderung der Tiefenlage und die morphologischen Verhältnisse der Zechsteinoberfläche als Bezugshorizont zu bestimmten geologischen Bezugszeiten und daraus abgeleitet die Entwicklung der Salinarstrukturen zu verfolgen.

Alle Karten wurden zunächst im Maßstab 1 : 25 000 erarbeitet und später auf den Maßstab 1 : 100 000 verkleinert. Das erwies sich bei der hohen Aufschlußdichte als beste Möglichkeit für einen Vergleich. In der Regel wurden die Isohypsen und Isopachen im 10-m-Abstand konstruiert, was eine anschaulichere Modellierung der jeweiligen Strukturformen erlaubt. Als am aussagekräftigsten erwiesen sich Mächtignitätskarten von mindestens 50 - 100 m mächtigen Folgen, während bei zu kleinen Mächtignitätsintervallen Fehler, z.B. durch ungenaue Korrelationen, auftreten können. Jedoch konnten aus technischen Gründen nicht alle angefertigten Karten- und Schnittdarstellungen als Abbildungen der Arbeit beigelegt werden; sie sind im Archiv des Institutsteils Berlin des ZIPE deponiert.

Um den Informationsgehalt der absoluten Mächtigkeiten weiter auszuschöpfen, wurden zusätzlich folgende verallgemeinernde Darstellungen entworfen:

- tektonische Stockwerkschnitte,
- Absenkungsdiagramme,
- Karten mit der Lage der Sedimentationsmaxima und -minima der verschiedenen Zeitabschnitte.

So stellen die tektonischen Stockwerkschnitte (Abb. 3) nach Gesichtspunkten des disharmonischen Stockwerkbaues abgewandelte geologische Profilschnitte parallel und quer zum Streichen der untersuchten Strukturen dar.

Ein Absenkungsdiagramm (Abb. 32) konnte nur für den Zeitabschnitt Buntsandstein bis Lias konstruiert werden, d.h. für die Absenkungs- und beginnende Differenzierungs- etappe des Beckenbildungsprozesses (SCHWAB, TESCHKE u.a. 1974). Dazu wurde jeweils eine typische Bohrung der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen sowie der Zwischensenke ausgewählt, um deren Entwicklungsunterschiede zu verdeutlichen.

Im Rahmen einer erweiterten Mächtigkeitsanalyse (Abschnitt 6.4.) wurden analog zum Salinar die absoluten in relative Mächtigkeiten ¹⁾ umgewandelt und ihre Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten bestimmt. Die Auswertung erfolgte durch Diagramme, welche die zeitliche Entwicklung der mittleren relativen Mächtigkeiten bzw. der maximalen und minimalen relativen Mächtigkeiten darstellen; ferner durch Diagramme der tektonischen Aktivität K_1 (nach NEJMAN), des tektonischen Differenzierungsgrades K_3 (nach NEJMAN) und Isolinienkarten sowie Schnitte der Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten.

In den Diagrammen der zeitlichen Entwicklung (Abb. 37 - 42), die von den Absenkungsdiagrammen (Abb. 32) abgeleitet sind, wurden die Mächtigkeiten bzw. die daraus abgeleiteten Größen nicht kumulativ, wie in den Absenkungsdiagrammen, sondern als Einzelmächtigkeiten, bezogen auf die jeweilige Zeiteinheit, dargestellt. Die Diagramme ermöglichen eine schnelle Übersicht über die Mächtigkeitsänderungen und die Intensität der paläotektonischen Bewegungen der beiden Strukturen. Zu berücksichtigen ist beim Vergleich des Kurvenverlaufes von Salinar und Postsalinar, daß der Salinaranteil den heutigen Istzustand wiedergibt, während der Postsalinaranteil auch die paläotektonische Entwicklung widerspiegelt.

Auf der Abszisse der Diagramme sind die Zeiteinheiten im absoluten Zeitmaßstab, allerdings in schematischer Einteilung, auf der Ordinate die jeweiligen Größen abgetragen; ferner wird zwischen Gesamtgebiet, Grimmen mit Zwischensenke westlich Reinkenhagen und Reinkenhagen mit östlicher Senke unterschieden. Zu beachten sind folgende Besonderheiten der Diagramme: Angegeben sind die mittleren absoluten Mächtigkeiten (Abb. 37) nur für das Gesamtgebiet, weil sich die Werte von Grimmen und Reinkenhagen zu wenig voneinander unterscheiden, als daß sie in dem verwendeten Maßstab hätten dargestellt werden können. Die Darstellung der mittleren relativen Mächtigkeiten (Abb. 38), die auf die Gesamtmächtigkeit aus allen Bohrungen des Untersuchungsgebietes bezogen ist, erfolgte getrennt für Grimmen und Reinkenhagen. Alle Werte > 100 sind horizontal schraffiert (Grimmen eng, Reinkenhagen weit), alle ¹⁾ jeweils bezogen auf mittlere absolute Mächtigkeiten (vgl. Tab. 2).

Werte < 100 haben Kästchenschraffur. Die Darstellung der maximalen und minimalen relativen Mächtigkeiten (Abb. 39) erfolgte getrennt für Grimmen und Reinkenhagen. Alle Werte > 100 sind horizontal schraffiert (Grimmen weit, Reinkenhagen eng), alle Werte < 100 haben Kästchenschraffur. In der Darstellung der mittleren Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten (Abb. 40) wird räumlich zwischen Grimmen und Reinkenhagen unterschieden. Alle Grimmener Werte, die über der mittleren Abweichung des Gesamtgebietes liegen, sind horizontal schraffiert, die entsprechenden Reinkenhagener Werte dagegen in Kästchensignatur angegeben.

Die Darstellungen der tektonischen Aktivität K_1 (Abb. 41) und des tektonischen Differenzierungsgrades K_3 (Abb. 42) gehen auf NEJMAN (1959) zurück, unterscheiden sich aber von seinen dadurch, daß sie nicht von absoluten, sondern von relativen Mächtigkeiten abgeleitet wurden.

Die tektonische Aktivität K_1 ist hierbei die Differenz der extremen Mächtigkeiten, d.h. der maximalen und minimalen relativen Mächtigkeiten:

$$K_1 = m_{\max} - m_{\min} .$$

Auf der Abszisse werden die absoluten Altersangaben, auf der Ordinate die dazugehörigen extremen Mächtigkeitsdifferenzen abgetragen. Nach NEJMAN (1959) und JARMOLA (1971) veranschaulicht die tektonische Aktivität den Bildungsprozeß von Lokalstrukturen, indem die Zeitpunkte intensiver tektonischer Bewegungen hervorgehoben werden; syn- und posttektonische Vorgänge werden dabei gemeinsam erfaßt.

Um die tektonische Differenzierung von Lokalstrukturen zu kennzeichnen, wird das Verhältnis der extremen relativen Mächtigkeiten ermittelt; der tektonische Differenzierungsgrad K_3 wird berechnet aus

$$K_3 = \frac{m_{\max}}{m_{\min}} .$$

Die Darstellung erfolgt analog der tektonischen Aktivität.

In der Darstellung der tektonischen Aktivität nach NEJMAN (Abb. 41) und des tektonischen Differenzierungsgrades nach NEJMAN (Abb. 42) sind die Strukturen Grimmen und Reinkenhagen getrennt enthalten. Wenn die tektonische Aktivität oder der tektonische Differenzierungsgrad in Reinkenhagen über der in Grimmen liegt, erfolgte Kästchensignatur, im umgekehrten Falle Horizontalschraffur.

Die Isolinienkarten und Schnitte der Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten (Abb. 33 - 35, 36, 39, 40) für die einzelnen Postsalinarstufen sind eine Weiterentwicklung der zuvor genannten Karten der Lage der Sedimentationsmaxima und -minima. Eine ähnliche Methodik wurde von NEJMAN (1959) auf regionale Struktureinheiten angewandt. Sie erlauben einen von dem Absolutbetrag der Mächtigkeiten unabhängigen Vergleich der Intensität der Mächtigkeitsänderungen. Die Schnittfolge (Abb. 36) ist aus den genannten Isolinienkarten abgeleitet. Dargestellt wurden jeweils nur die größten und kleinsten Isopachen der Mächtigkeitskarten. Die Karten bringen das Wandern der

Mächtigungsmaxima und -minima zum Ausdruck, ohne daß sie im einzelnen Auskunft über die Intensität der tektonischen Vertikalbewegungen geben. Trotzdem können diese Darstellungen als eine wichtige Ergänzung der Paläostrukturkarten und paläotektonischen Schnitte sowie zur Extrapolation der Strukturentwicklung angesehen werden.

3.3. Salinar

Den Lösungsweg für die Untersuchung der Mächtigungsbeziehungen innerhalb des Salinars zeigt Tab. 3.

Tab. 3. Schema der Mächtigungsanalyse im Salinar der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen

	Konventionelle Mächtigungsanalyse	Erweiterte Mächtigungsanalyse
Ausgangsdaten	absolute Mächtigkeiten	normierte (sekundäre) Mächtigkeiten Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten
Arbeitsstufen	Mächtigungskarten	Mächtigungskarten Abweichungskarten Streuung der normierten Mächtigkeiten - Rangfolge der Salinarglieder nach zunehmender Streuung (Streuungsreihe) - Rangkorrelationsanalyse; Vergleich der Rangfolgen erbohrter Mächtigkeiten mit der Streuungsreihe - Rangkorrelationskoeffizienten
Aussage	Dokumentation der Mächtigkeitsverteilung der Salinarglieder	Hinweise auf relative Änderung der Mächtigkeiten der Salinarglieder Indirekte Aussagen über die primäre Mächtigkeitsverteilung

Die konventionelle Mächtigungsanalyse des Salinars basiert auf den erbohrten sekundären Mächtigkeiten, die im folgenden als absolute Mächtigkeiten bezeichnet werden. Die angefertigten Mächtigungskarten geben einen Überblick über die heute vorliegende Mächtigkeitsverteilung des Salinars und der Salinarglieder.

Die erweiterte Mächtigungsanalyse geht von normierten sekundären Mächtigkeiten aus. Sie wurden durch Umrechnung der absoluten Mächtigkeiten (M) in relative Mächtigkeiten (m) gewonnen.

Die normierten Mächtigkeiten wurden dann zur Entwicklung von Vorstellungen über die Mächtigkeitsänderungen der Salinargesteine mit unterschiedlichem geomechanischem Verhalten, d.h. Halite und Anhydrite, benutzt. Dazu wurde die Streuung berechnet, und die Halite und Anhydrite wurden in getrennten Reihen, sog. Streuungsreihen, nach steigender Streuung angeordnet. Die Streuung der Halite und Anhydrite wurde mit den mittleren absoluten Mächtigkeiten verglichen und über die Berechnung der Rangkorrelation mit den normierten Mächtigkeiten der Halite und Anhydrite verglichen und geologisch interpretiert.

Die erweiterte Mächtigkeitsanalyse des Salinars wurde durch eine erweiterte Strukturanalyse ergänzt, welche die Untersuchung der Beziehungen zwischen den heutigen Tiefenlagen der Oberkante Salinar und den Mächtigkeiten der Salinarglieder beinhaltet.

In Kap. 5 wird auf die konventionelle und erweiterte Mächtigkeitsanalyse sowie auf die erweiterte Strukturanalyse ausführlich eingegangen.

4. Bemerkungen zur Halokinese und zum mechanischen Verhalten der Salinargesteine

Zur Abschätzung des geomechanischen Verhaltens der Salinargesteine in den Strukturen Grimmen und Reinkenhagen ist es notwendig, aufbauend auf den klassischen Arbeiten von FULDA und LOTZE, sich anhand neuer Gesichtspunkte mit der Kinematik und Dynamik der Salzbewegung zu befassen. Zunächst wird auf die Dynamik eingegangen, während Kinematik und geomechanisches Verhalten der Salinargesteine daran anschließend behandelt werden; dadurch erscheint der Anschluß an die eigenen Untersuchungen gewährleistet.

4.1. Auslösende Faktoren und Ablauf halokinetischer Vorgänge

Im Laufe der jahrzehntelangen Diskussionen um die **U r s a c h e n** halokinetischer Vorgänge haben sich zwei Grundansichten herauskristallisiert, wobei aber immer noch nicht eindeutig entschieden ist, welcher der Vorzug gebührt. Nach STEPHANSSON (1972) können Salinarstrukturen entstehen durch

- tangentialen Spannungen;
- gravitative Instabilität oder inverse Dichteschichtung der Schichtenfolge, d.h., eine oder mehrere Schichten mit geringerer Dichte (Salinar, Salz) liegen zwischen Schichten mit höherer Dichte (Post- und Subsalinar) (Halokinese im Sinne TRUSHEIMS).

Mit der inversen Dichteschichtung als einem allgemein-geologischen Phänomen haben sich in den letzten Jahren eine große Anzahl von Veröffentlichungen auseinandergesetzt. Sie wurde z.B. als Ursache für magmatischen Diapirismus, Faltung und andere tektonische Vorgänge in der höheren Kruste, von Konvektionsprozessen in der tieferen Kruste und im oberen Mantel erkannt (vgl. u.a. BERNER, RAMBERG & STEPHANSSON 1972).

Erstgenannte Richtung leugnet zwar nicht den Einfluß der gravitativen Instabilität, legt das Schwergewicht letztlich aber auf tektonische Kräfte (KITZYK 1963, 1970), insbesondere bei der Auslösung des Prozesses. An Beispielen seien hier nur solche aus Ost-Turkmenien (PILIC & SOKOLOV 1971), dem Irkutsker Amphitheater und der Pripjat-Senke (KARASEVA 1970, 1971) angeführt. So entstanden in Ost-Turkmenien durch die alpidischen Hebungen im Subsalinar Brüche, welche die Halokinese im jurassischen Salz auslösten. Die gravitative Instabilität wurde dort erst am Ende der Strukturbildung wirksam. KARASEVA (1970, 1971) folgert aus einer vergleichenden Analyse von Irkutsker Amphitheater und Pripjat-Senke, daß die halokinetischen Vorgänge durch differenzierte tektonische Bewegungen von Fundamentalschollen ausgelöst werden. Im Irkutsker Amphitheater ist die Halokinese Folgeerscheinung von Heraushebung, in der Pripjat-Senke von Absenkung.

Neuerdings nehmen zahlreiche Autoren an, daß sich die Salinarstrukturen infolge Koppelung bzw. Überlagerung gravitativer und endogen-tektonischer Vorgänge bilden. Beispiele sind Strukturen in der Altmark (KNAPE 1963), im Aquitan-Becken (LIECHTI 1968), im nördlichen Amadeus-Becken Zentral-Australiens (McNAUGHTON & QUINLAN 1968), in Nordafrika (TORTOCHAUX 1968), Südamerika (BENAVIDES 1968) und auf der südlichen Sibirischen Tafel, in der Angara-Lena-Syneklise z.B. der Litvincevo-Wall (BERNŠTEJN u.a. 1971). JUBITZ (1969) sieht die Salztektonik als "weitestgehend tektonisch aktivierten Vorgang, teils aber auch als gravitativ-autonomes Geschehen".

Von den Befürwortern einer durch inverse Dichteschichtung hervorgerufenen Entstehung der Salinarstrukturen werden tektonische Impulse als auslösendes Moment halokinetischer Vorgänge (MEINHOLD & REINHARDT 1967; TRUSHEIM 1957/58) angenommen.

Zahlreiche Autoren beschäftigen sich seit ESCHER & KUENEN (1929) und NETTLETON (1934) mit der tektonophysikalischen Erfassung und Modellierung dieser Vorgänge und ihrer mathematischen Beschreibung (RAMBERG 1963, 1967, 1972; BERNER, RAMBERG & STEPHANSSON 1972). Allerdings fehlt m.E. bisher weitgehend die Verknüpfung der experimentell und empirisch gewonnenen geologischen Ergebnisse zu einem Gesamtmodell.

Die räumliche Lage und Anordnung der Salinarstrukturen zeigt - nach vielen Untersuchungen zu urteilen - keine einheitlichen Beziehungen zum präsalinaren Unterbau. In der Dnepr-Donce-Senke (ČIRVINSKAJA, ZABELLO u.a. 1970; SAVČENKO 1971) liegen die Salinarstrukturen sowohl über Hochlagen als auch über den Senkenrändern oder Flexuren bzw. Tiefenbrüchen des Subsalinars. Am Ostrand der (Pri-)Kaspi-Senke (ŽURAVLEV 1967; SKUTINA, TRAJNIN u.a. 1970) sind die meisten Salzkuppeln an die Tops von lokalen Subsalinar-Aufwölbungen gebunden. Dabei kann der Top der Subsalinar-Hochlage direkt unter dem Top der Salzkuppel liegen, oder aber die Salzstrukturtops sind gegenüber denen des Subsalinars seitlich verschoben. In der östlichen (Pri-)Kaspi-Senke besteht nach IVANOV, SMETANINA u.a. (1971) folgende regionale Beziehung zwischen Subsalinar und den Salinarstrukturen: Im Senkenzentrum befindet sich eine Salzkuppelgiganten-Zone, an den Flanken der Senke liegen intensiv dislozierte kleindimensionale Salzkuppeln (vgl. ŽURAVLEV & SAMODUROV 1960), in den Randbereichen der Senke schließlich linear angeordnete Salzkuppelstrukturen, in denen das Salz unvollständig durchgebrochen ist. Eine ähnliche Anordnung der verschiedenen Salzstrukturtypen ist auch in der Norddeutsch-Polnischen Senke erkannt worden. Die Salzdiapire unterschiedlicher Form und Amplitude im Senkenzentrum werden randlich von Salzkissen umgeben (WIENHOLZ 1967; BUŠ, GOLOV u.a. 1970).

Die Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenlagen liegen am Nordostrand der Nordostdeutschen Senke; beide werden voneinander durch eine tektonische Störung getrennt, die möglicherweise bis ins Fundament reicht.

STEPHANSSON (1972) faßt in Anlehnung an O'BRIEN (1968) folgende Faktoren zusammen, welche die Bildung einer Salzstruktur (Diapir) bestimmen:

- Dichteunterschied Salinar/Postsalinar (= Auflager),
- Verhältnis der scheinbaren Viskosität Salinar/Postsalinar,
- Mächtigkeitsverhältnis Salinar/Postsalinar,
- Festigkeit des Postsalinars,
- räumliche Verteilung des Salinars,
- Porendruck und Wassergehalt der Sedimente,
- allseitiger Druck und Temperatur,
- tektonische Aktivität.

Im Rahmen seiner Untersuchungen hat sich der Autor speziell mit den Mächtigkeitsverhältnissen im Salinar/Postsalinar, der räumlichen Verteilung des Salinars und der tektonischen Aktivität befaßt (vgl. Kap. 5).

Nach MEINHOLD u.a. (MEINHOLD 1956; MEINHOLD & REINHARDT 1967) beruht Salztektonik auf der Verformung viskoser Massen (Salz) mit nichtlinearen Parametern (Viskosität, Fließgeschwindigkeit, Nachgebepannung) durch *p s e u d o v i s k o s e s* *F l i e ß e n*. Wird das hydrostatische Gleichgewicht gestört, z.B. durch einen tektonischen Impuls, so wird infolge der Dichteinversion des Schichtenverbandes eine Bewegung des Salzes ausgelöst. Dabei fließt das Salz als fließfähiges Medium von Gebieten höheren nach solchen niedrigeren Potentials, da nur statisches Gleichgewicht herrschen kann, wenn sich die Teilchen in einer Lage befinden, für die die Energie ein Minimum wird (MEINHOLD 1956). Aus der Umgebung der Strukturen wandert ebenfalls Salz ab; dadurch werden wieder neue Wanderungsbewegungen ausgelöst. Damit das Salz bzw. Salinar fließen kann, muß bei dem jeweiligen statischen Druck, der von der Deckgebirgsmächtigkeit abhängt, eine bestimmte Scherspannung, also ein Differentialdruck, erreicht sein (MEINHOLD & REINHARDT 1967). Die weiteren Vorgänge und Erscheinungen der Salinarstruktur-Entwicklung haben TRUSHEIM (1957/58) und SANNEMANN (1968) eingehend beschrieben, so daß hier auf eine Darstellung verzichtet wird. Wie groß die Massenverlagerungen sind, zeigt das Beispiel der im Durchmesser mehrere Dekakilometer großen Salzkuppel Kenkijak in der (Pri-)Kaspi-Senke (ZUBOV, KUNIN u.a. 1972), wo im Strukturtop 3000 m Salinar vorliegen, während es in den umgebenden Randsenken nur noch < 100 m mächtig ist.

Klarheit besteht auch darüber, daß die Bildung von Salinarstrukturen sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich in mehreren Stadien ablaufen kann. Beispiele bieten die Entwicklung der nordspanischen Salzstöcke (LOTZE 1955, 1972) und die der Salzstrukturen in der Angara-Syneklise sowie der Berezovo-Senke der südlichen Sibirischen Tafel (ARUTJUNOV, DROBOT u.a. 1971). In den ersten Stadien der Strukturbildung (Salzkissen) überwiegt horizontal gerichtete Salzwanderung, im Diapirstadium dagegen Vertikalmigration (ŽURAVLEV 1967; MUEHLBERGER 1968; HITE 1968). CHAJRETDINOV u.a. (1971) konnten nachweisen, daß die Kräfte, die zum Durchbruch eines Diapirs führen, vorwiegend in seiner Randzone konzentriert sind; das Zentrum wird durch das sich schneller vorwärtsbewegende Material der Peripherie passiv einbezogen. Ändert sich zeitlich die Kräfteintensität, so kann sich die Zone maximaler plastischer Verformung bzw. Vorbewegung in den Diapir hinein oder von ihm weg verschieben.

Die Salzbewegung spiegelt sich in der Mächtighkeits- und Faziesentwicklung des über dem Salinar liegenden Postsalinars wider und kann aus dieser indirekt rekonstruiert werden (TRUSHEIM 1957/58; KNAPE 1963; ROMAŠOV 1972). Der Verfasser vorliegender Arbeit beschäftigte sich nicht direkt mit den Salzbewegungen, sondern konnte indirekt aus dem Verhalten des Postsalinars, d.h. aus den etwa gesetzmäßig erfolgenden Verlagerungen der Sedimentationsmaxima und -minima in Raum und Zeit (MEIER & WENDLAND 1971; WENDLAND 1972, 1973), gewisse Rückschlüsse auf die halokinetischen Vorgänge, speziell auf die generelle Zeitlichkeit der Fließvorgänge und auf den Richtungsvektor der Bewegungen ziehen. Außer ŽURAVLEV (1967) und EARGLE (1968) beschäftigte sich auch ROLL (1971) in seiner Untersuchung über den Salzstock Mölme und dessen Umgebung mit dem Wandern der Sedimentationsmaxima und -minima des Postsalinars und leitet daraus Schlüsse über die Salzbewegungen und die Strukturgenese ab.

4.2. Mechanisches Verhalten der Salinargesteine

Im Verlauf der Halokinese, die mit erheblichen Massenverlagerungen und Materialdifferenzierungen (RINNE 1924) einhergeht, reagieren die Hauptkomponenten des Salinars, also Ton- und Karbonatgesteine, Anhydrite, Halite und Kalisalze, verschieden. Die Reaktionsformen der Salinargesteine, die von spröder Reaktion durch Bruch bis zu rein plastischer bzw. stetiger Verformung (LOTZE 1957) reichen, sind abhängig von den

- gesteinsphysikalischen Eigenschaften (Druckfestigkeit, Fließdruck und -grenzen, Viskosität) und innerem Gefüge,
- (primären) Mächtigkeiten und lithologischem Aufbau sowie von
- steigender Temperatur und damit der geologischen Tiefenlage.

Trotz zahlreicher tektonophysikalischer Modelleexperimente sind die gesteinsphysikalischen Parameter der Salinargesteine, sowohl der Einzelkristalle als auch der Kristallaggregate, noch nicht ausreichend bekannt (ODE 1968), insbesondere nicht als Funktion der unterschiedlichen p-T-Bedingungen. In Übereinstimmung mit STÖCKE & BORCHERT (1936) gibt ZÄNKER (1972) folgende Werte der Druckfestigkeit an, die Ausdruck der unterschiedlichen Teilbeweglichkeit (de BOER 1971) und damit der Verformbarkeit bzw. der zu erwartenden Reaktionsform der Salinargesteine sind:

Tab. 4. Druckfestigkeit und Teilbeweglichkeit der Salinargesteine (nach LOTZE 1957 und ZÄNKER 1972, 1974)

Salinargestein	Druckfestigkeit [kp/cm ²]	Teilbeweglichkeit
Anhydrit- u. Karbonatgesteine	600 - 1500	gering (kompetent)
Halitit, Hartsalz	420 - 300	groß (inkompetent)
Carnallitit	150 - 100	sehr groß (inkompetent)

Danach nimmt mit abnehmender Druckfestigkeit die Teilbeweglichkeit der Salinargesteine zu. Weiter wird das Deformationsverhalten der Salinargesteine wesentlich von den primären Mächtigkeiten und dem auftretenden Schichtungsverband, so z.B. von Wechsellagerungen von kompetenten und inkompetenten Schichtgliedern, beeinflusst.

Nachfolgend werden nach der zugänglichen Literatur die mechanischen Eigenschaften bzw. das Verhalten der einzelnen Salinargesteine kurz beschrieben.

4.2.1. Anhydrite

Das Verhalten der wenig teilbeweglichen Anhydrite hängt nach ZÄNKER (1972, 1974) und LOTZE (1957) von ihrer Mächtigkeit und ihrem lithologischen Aufbau, z.B. den Halit-Gehalten, ab:

- Je geringmächtiger Anhydritbänder sind, desto stärker sind sie bruchlos verformbar.
- Geringmächtige reine Anhydritbänke in mächtigeren Haliten (Anhydritmittel) zerbrechen und zerreißen sehr leicht. Je stärker die Anhydrite primär von Halit ("Pegmatitanhydrit") durchsetzt sind, desto plastischer reagieren sie.

Spezielle Untersuchungen (KOSMAHL 1969) liegen über m ä c h t i g e r e Anhydritfolgen, vor allem über den Hauptanhydrit A 3 vor, der auch im Untersuchungsgebiet von Grimmen-Reinkenhausen zwischen 50 m und 80 m mächtig wird. In Salzsätteln herrscht nach LOTZE (1957) reine Bruchtektonik der Anhydrite vor. In den norddeutschen Salzstöcken ist der Hauptanhydrit A 3 dagegen plastisch verformt. Der dort 30 - 40 m mächtige Hauptanhydrit A 3 dünnt an den Flanken zwischen den Spezialsätteln und -mulden kontinuierlich aus. Nach ELBERSKIRCH (1971) kann in den Zufluszonen zum Salzstock und in dessen Randgebieten viel Anhydrit vorliegen, da "Anhydrit, weniger beweglich als Salz, im Fließen zum Salzstock hin dem Salz nachhinkt ..." (vgl. auch FULDA (1927) und andere ältere Autoren).

Erhöhte Mächtigkeiten des Hauptanhydrits gehen nach KOSMAHL (1969) auch auf groß- und engräumige p r i m ä r e Mächtigkeitsschwankungen zurück, die mehr als 35 m betragen können. Zwischen den Mächtigkeitsmaxima der Anhydritkuppen liegen Bereiche mit geringeren Anhydrit-Mächtigkeiten (Problem der "Anhydritklippen").

Allgemein können Anhydrite nach WOHLNICH (1969) homogene und inhomogene Deformationen zeigen. Anhand kleintektonischer Untersuchungen an Gipskeuper-Anhydriten in Ton- und Mergellagen (Aufschlüsse) beschreibt er den kinematischen Deformationsablauf. Zunächst kommt es zu homogenen Deformationen, d.h. zu Ausdünnungen und Verdickungen der Anhydritlagen, wobei deren Schichtflächen eben bleiben. Die nachfolgenden inhomogenen Deformationen bestehen in der Bildung von sinusförmigen Falten. Gehen die Deformationen weiter, so entartet die Faltung. Es kommt zur Durchmischung und völligen Auflösung des ursprünglichen Gesteinsverbandes.

4.2.2. Halite

Die Deformation des Salinars beinhaltet nach LOTZE (1957) und ZÄNKER (1972) nicht nur eine Verbiegung vorzugsweise der wenig teilbeweglichen (kompetenten), eingelagerten Anhydrite und Tongesteine, sondern vor allem Materialverlagerungen in den hoch

teilmobilen (inkompetenten) Haliten und Kalisalzen, wobei ähnlich wie bei den Anhydriten die primären Mächtigkeiten von Bedeutung sind. Bei kleinen primären Halitmächtigkeiten, und bei Einlagerung der Halite zwischen mächtigere kompetente Anhydrite mit geringer Teilbeweglichkeit, paßt sich ihr mechanisches Verhalten trotz großer Teilbeweglichkeit dem der Anhydrite an (sog. Distanzschutz nach ZÄNKER 1972). Auch verhalten sich die einzelnen Halitfolgen entsprechend ihrer Lage im stratigraphischen Profil unterschiedlich. So ging im Südharz-Kalirevier (ZÄNKER 1972) im Staßfurt-Steinsalz Na 2 und im Kalilager Staßfurt K 2 - als Folge der Druckentlastung unter den Sätteln - stets ein Materialtransport von den Mulden zu den Sätteln vor sich. Die damit verbundene "Drucküberwälzung" auf die Mulden zog eine weitere Materialabwanderung nach sich. Demgegenüber wandert das hangende Leine-Steinsalz Na 3 von den Sätteln in die Mulden; ein ähnliches Verhalten zeigt auch das obere Leine-Steinsalz Na 3 o im Bereich von Grimmen.

Das plastische Fließen der Halite beginnt nach HOFRICHTER (in: TAYLOR 1968) bei einem Überlagerungsdruck von 50 - 100 kg/cm³, der einem 350 - 600 m mächtigen Auflager entspricht. ŽURAVLENKO, GORBENKO u.a. (1971) konnten für die Dnepr-Donce-Senke nachweisen, daß Halit bei einem POISSON-Koeffizienten von 0,45 und einem geothermischen Gradienten von 10 °C/km in einer Tiefe von 2200 m plastisch zu fließen beginnt.

Nach OŠAKPAEV (1971), der sich mit den Internstrukturen von Salzkuppeln beschäftigte, soll die Deformation nicht durch plastisches Fließen, sondern durch Granulierung erfolgen. Die großen positiven Salinar-Mächtigkeitsanomalien in den Salinarstrukturen gehen vor allem auf die Halite zurück, die generell in den Tops der Strukturen angestaut sind. So nehmen im Rečica-Viša-Wall (Pripjat-Senke) die Mächtigkeiten der unteren Halitfolge des oberen Salinars von 300 - 500 m in Richtung auf das Zentrum der Salinarstrukturen bis auf 2000 m zu (EROŠINA & KISLIK 1972); ein ähnliches großräumiges Verhalten der Halite beschreibt auch ZAMARAEV (1967) aus dem Irkutsker Amphitheater. Gleiches Verhalten des Halites (Staßfurt-Steinsalz Na 2) gilt auch für die Strukturen Reinkenlagen und Grimmen (Abb. 7) und die des Subherzynen Beckens.

4.2.3. Kalisalze

Auf Grund ihrer großen wirtschaftlichen Bedeutung sind der Aufbau und vorwiegend das kleinräumige Mächtigkeitsverhalten der Kalisalze im Kalilager Staßfurt K 2 des germanischen Zechsteins, in den permisch-devonisch-tertiären Kalilagern der Russischen Tafel, der Pripjat-Senke und der Vorkarpaten-Randsenke recht gut bekannt und von zahlreichen Autoren beschrieben worden.

Entsprechend ihrer geringen Druckfestigkeit sind die Kalisalze im allgemeinen die fließfähigsten Salinargesteine, wobei es in ihrem Verhalten gegenüber Deformationen noch Differenzierungen gibt. LOTZE (1957) macht folgende Angaben über das Verhalten der einzelnen Kalisalze:

- Polyhalit ($K_2Ca_2Mg[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$) und Langbeinit ($K_2Mg_2[SO_4]_3$): Verhalten wahrscheinlich wie Anhydrit;
- Carnallit ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$): sowohl spröde Reaktion, die sich in Brekzienbildung (Trümmern carnallit) äußert, als auch plastisches Verhalten (intensive Feinfältelung schichtiger Carnallite);
- Hartsalz (Sylvinit $KCl + CaSO_4$ und/oder Kieserit $MgSO_4 \cdot H_2O$), Sylvinit ($KCl + NaCl$): im wesentlichen plastische Deformation, während Bruchtektonik außerordentlich selten ist.

Ferner ist mehrfach (KIESEL 1924; AHLBORN 1934; STOLLE 1959; LOEFFLER 1962; ZÄNKER 1972) auf den Zusammenhang bzw. die Abhängigkeit der heute vorliegenden Mächtigkeitsverteilung mit bzw. von der Fazies der Kalilager hingewiesen worden. AHLBORN (1934) unterschied am Bernburger Sattel für das Kalilager Staßfurt K 2:

K 2 geringmächtig: Halit-Langbeinit-Fazies,
 K 2 mächtiger: Sylvinit-Fazies,
 K 2 mächtig: Carnallit-Fazies.

Auch für das K 2 des Südharz-Kalireviers konnten ähnliche Feststellungen getroffen werden (STOLLE 1959; ZÄNKER 1972):

- K 2 vertaubt oder in Hartsalzfazies: Verhalten analog den "Eigenbewegungen" des Hangenden;
- K 2 in Carnallitfazies: plastisches Verhalten etwa analog dem anhydritarmen Na 2 im Liegenden;
- K 2 in Hartsalz/Carnallit-Faziesübergängen: Spezialfaltung ("Eigentektonik"); das Hangende wird nicht beeinflusst, gelegentlich werden die hangenden Partien des Na 2 miterfaßt.

In der Regel dünnen die Kaliserien im Bereich der **S t r u k t u r e n** von den Flanken in Richtung auf die Tops aus; entsprechende Beispiele bringen EROŠINA & KISLIK (1972) sowie KONIŠČEV & MAKAREVIČ (1972) aus dem Rečica-Wall in der Pripjat-Senke. Ähnlich verhält sich das faziell z.T. heterogen entwickelte Kalilager Staßfurt K 2 im Strukturgebiet Grimmen-Reinkenhausen (Abb. 7). Im Gegensatz zu den Haliten (PRUCHA 1968) können die Kalisalze in den Mulden- und Sattelkernen von **F l i e ß f a l t e n** angestaut sein, während sie an den Flanken ausgedünnt sind. Als Beispiele seien hier nur die Kalisalzlagerstätten von Stebnik in der Innenzone der Vorkarpaten-Randsenke (GUNZERT 1967; KUDRJAVCEV 1971), der oberen Kama (GOLUBEV 1972), des Staßfurter und Bernburger Sattels (FLEISCHER 1960; KNAK 1960) und von Wefensleben in der Allertalzone (LOEFFLER 1962) angeführt.

4.3. Teilzusammenfassung

Zusammenfassend werden einige Feststellungen zur Dynamik und Geomechanik des Salinars hervorgehoben, die für die Interpretation der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen des Verfassers, speziell der erweiterten Mächtigkeitsanalyse, von Bedeutung sind:

1. Salztektonische bzw. halokinetische Erscheinungen dürften vorwiegend durch inverse Dichteschichtung entstehen. Tektonische Impulse und Prozesse als Auslöser für die Bildung der Salinarstrukturen spielen eine wichtige Rolle.
2. Bedeutsam erscheint die Koppelung von gravitativen und endogen-tektonischen Vorgängen bei der Bildung von Salzstrukturen. Eine exakte methodische Trennung beider Vorgänge ist im Rahmen struktureller Untersuchungen bislang in der Regel nicht möglich.
3. Zwischen räumlicher Lage und Anordnung der Salinarstrukturen einerseits und dem Strukturbau des unterlagernden Subsalinars andererseits bestehen keine einheitlichen Beziehungen.
4. Die Bildung der Salinarstrukturen läuft sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich in mehreren Etappen/Stadien ab. Zuerst überwiegt horizontale, später vertikale Salzmigration in Richtung auf die bzw. innerhalb der sich entwickelnden Salinarstruktur.
5. Aus der Mächtighkeits- und Faziesentwicklung des Postsalinars ergeben sich Rückschlüsse auf den Ablauf der Halokinese und auf die Veränderungen im Salinar in Zeit und Raum.
6. Im Zuge der Halokinese kommt es zu erheblichen Massenverlagerungen und -differenzierungen im Salinar, die sich in den Mächtigkeitsschwankungen der einzelnen Salinarglieder widerspiegeln. Das Fließverhalten der Salinargesteine, d.h. Halite, Kalisalze, Karbonat- und Tongesteine, hängt vor allem von ihrer unterschiedlichen Teilbeweglichkeit ab, wird aber auch von der Größe ihrer primären Mächtigkeiten (Halit, Anhydrit), von ihrer lithologischen Ausbildung (Kalisalze), ihrer Lagerung im Gesamtverband des Salinars und von den sich während der Halokinese einstellenden Druck- und Spannungsverhältnissen beeinflusst.
7. Die Halite sind im allgemeinen aus den sich bildenden Randsenken abgewandert und in den Tops der Strukturen angestaut; an den Flanken sind Halite und Anhydrite dagegen reduziert. Andererseits können die Halitfolgen im Hangenden mächtiger Halit-Akkumulationen, wie z.B. Staßfurt-Steinsalz Na 2, ausdünnen; Beispiel: Leine-Steinsalz Na 3 im Südharz. Das trifft insbesondere auch auf die hoch teilbeweglichen Kalisalze (Kalilager Staßfurt K 2) zu, die in den Strukturtops in der Regel ausgedünnt sind. Bei den Anhydriten können auch größere primäre Mächtigkeitsschwankungen auftreten.

In den Mächtigkeiten drückt sich integrativ die Wirkung aller Faktoren aus, die auf die Teilbeweglichkeit der Salinarglieder und ihr mechanisches Verhalten während der Halokinese einwirken. Daher kann die Mächtighkeitsanalyse, aufbauend auf den Erfahrungswerten zur Kompetenz bzw. Inkompetenz der Salinarglieder, zu begründeten Aussagen über das Verhalten des Salinars bei der Halokinese kommen.

Tab. 5. Teilbeweglichkeit, Mächtigkeiten und räumliches Verhalten der Salinargesteine (nach Literaturangaben, speziell LOTZE 1957 u.a.)
(M = Mächtigkeiten)

Salinargestein	Teilbeweglichkeit	Mächtigkeitsänderungen		Räumliches Verhalten (strukturbezogen)
		primär	sekundär	
Anhydrit (A)	gering	+	+	unregelmäßig M klein: bruchlose Verformung, kaum Mächtigkeitsänderungen M groß: Bruchtektonik in einfachen Strukturen Salzstöcke: Ausdünnen an Flanken, Anreicherung in den Muldenböden
-----	-----	-----	-----	-----
Halit (Na)	groß bis sehr groß	+		entspr. regionaler Mächtigkeitsverteilung M groß: Anstau in Strukturkernen und -tops, Ausdünnung an den Flanken der Strukturen sowie zwischen den Strukturen M klein: vgl. Na 3
-----	-----	-----	-----	-----
Kalialze (K)	groß bis sehr groß	+	+	M groß: Ausdünnung in Richtung bzw. in den Tops der Strukturen

5. Strukturbaue und Mächtigkeitverteilungen des Salinars (Mächtigkeitanalyse des Salinars)

5.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Vor der eigentlichen Untersuchung bzw. Rekonstruktion der Fließvorgänge im Salinarkörper steht die Darstellung der Mächtigkeitverteilungen der Salinarglieder, um eine Übersicht über das Salinar im Sinne einer Bestandsaufnahme zu erreichen. Dazu wurden die in Tab. 6 zusammengestellten Karten des Salinars im Ausgangsmaßstab 1 : 25 000 bzw. im Endmaßstab 1 : 100 000 angefertigt.

Tab. 6. Übersicht über die angefertigten Tiefenlinienpläne, Karten der absoluten Mächtigkeiten und Karten der Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten des Salinars

Tiefenlinien	Absolute Mächtigkeiten	Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten
Basis Leine-Serie (Abb. 4)	Staßfurt-Steinsalz Na 2	dito
	Kalilager Staßfurt K 2	dito
Basis Staßfurt-Steinsalz (Abb. 4)	Grauer Salzton T 3 und Plattendolomit Ca 3	-
	Hauptanhydrit A 3	dito
	unteres Leine-Steinsalz Na 3 u	-
	Anhydritmittel A 3 m	dito
	oberes Leine-Steinsalz Na 3 o	-
	Leine-Steinsalz Na 3	dito
	Roter Salzton T 3 und Pegmatitanhydrit A 4	Pegmatitanhydrit A 4
	Aller-Steinsalz Na 4	dito
	-	Ohre-Anhydrit A 5
	Ohre-Steinsalz Na 5	dito
	-	Grenzanhydrit A 5 r
	Ohre-Serie Z 5	-
	Salinar (S)	dito
	Mobile Gruppe 2 (M 2)	dito
Starre Gruppe (ST)	dito	
Mobile Gruppe 1 (M 1)	dito	
Abbildungen:	Abb. 7, Abb. 43	Abb. 6, 8 - 10, 26, 28, 44

Im folgenden werden die Tiefenlinienpläne (Abb. 4), die Karten der absoluten Mächtigkeiten (Abb. 5 - 7) und der Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Abb. 8 - 10) beschrieben. Neben der Einzeldarstellung der Mächtigkeitsverteilungen der Salinarglieder (Abschnitt 5.3.) wird hier zunächst kurz auf die der nach stockwerktektonischen Gesichtspunkten zusammengefaßten Salinargruppen

- Salinar (S): Staßfurt-Steinsalz Na 2 bis Ohre-Serie Z 5,
 - Mobile Gruppe 2 (M 2): Salinaranteil oberhalb Anhydritmittel A 3 m,
 - Starre Gruppe (ST): Hauptanhydrit A 3 und Anhydritmittel A 3 m,
 - Mobile Gruppe 1 (M 1): Kalilager Staßfurt K 2 und Staßfurt-Steinsalz Na 2
- eingegangen. Anschließend werden anhand von Diagrammen die Beziehungen zwischen den Mächtigkeiten der Salinarglieder bzw. -gruppen untersucht (Abschnitt 5.3.2.).

In den Karten der absoluten Mächtigkeiten (M) für die einzelnen Salinarglieder und -gruppen sind die Strukturelemente unterschiedlich deutlich ausgeprägt; ebenso wechselt ihre räumliche Lage: Reinkenhagen stellt ein deutliches Akkumulationsgebiet des Salinars dar, dessen höhere Mächtigkeiten etwa reziprok den geringeren Postsalinar-Mächtigkeiten sind. Grimmen bildet kein entsprechend deutliches Akkumulationsgebiet des Salinars, trotzdem lassen dort die geringeren Postsalinar-Mächtigkeiten eine kuppelartige Kontur erkennen. In der Zwischensenke entsprechen den erheblich geringeren Salinar-Mächtigkeiten höhere Postsalinar-Mächtigkeiten.

Die Mächtigkeitsverteilung der Salinargruppen ST (Hauptanhydrit A 3 und Anhydritmittel A 3 m) und M 2 (oberes Leine-Steinsalz Na 3 o - Grenz-anhydrit A 5 r) unterscheidet sich von der des Gesamtsalinars: Die Differenzierung sowohl der Mächtigkeiten insgesamt als auch der Anhydrite und der Halite oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 sind größer. In den Mächtigkeiten der Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 (Salinargruppen ST und M 2) sind Grimmen und die Zwischensenke durch höhere Mächtigkeiten ausgewiesen.

Generell zeigen die Karten der Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten (δm) der Salinarglieder ein ähnliches Bild wie die Mächtigkeitskarten. Deutlicher als dort ist jedoch erkennbar, daß die Mächtigkeitsverteilung der Salinarfolge oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 (Gruppen M 2 + ST) von der des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 (Gruppe M 1) abweicht. Sowohl Bereiche mit positiven ($\delta m+$) als auch mit negativen ($\delta m-$) Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten der Gruppen ST und M 2 flankieren jeweils die Akkumulations- oder Abwanderungsbereiche des Staßfurt-Steinsalzes Na 2. Die Isopachen und δm -Isolinien (Linien gleicher Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten) streichen generell NW—SE, untergeordnet im Bereich von Reinkenhagen NE—SW.

Tab. 7. Anteil der Salinargesteine unterschiedlicher Teilbeweglichkeit am Aufbau des Salinars und der Salinargruppen; Strukturbereich Grimmen-Reinkenhausen

Salinar- gesteine	Mächtigkeiten [m]	Anteil [%] der Salinargesteine an			
		Salinar gesamt	Salinargruppe		
			M 2	ST	M 1
Halite und Kalialze	< 10 ¹ bis > 10 ³	87	75	0	100
Anhydrite	< 10 ¹ bis < 10 ²	11	18	100	0
Ton- und Karbo- natgesteine	< 10 ¹	2	7	0	0

5.2. Tiefenlage der Salinarserien

Die Strukturkarte der **B a s i s L e i n e - S e r i e** (Abb. 4) zeigt die heutige Tiefenlage und damit das Relief des Salinaranteiles oberhalb des Staßfurt-Steinsalzes Na 2. Die räumliche Gliederung entspricht weitgehend der in den Tiefenlinienplänen des tieferen Postsalinars. Die im Grundriß fast kreisrunde Struktur Grimmen ist von der Struktur Reinkenhausen durch eine Einsenkung und die angrenzende Reinkenhausener Störung getrennt. Die Struktur Grimmen besitzt eine Amplitude von etwa 120 - 150 m, die Struktur Reinkenhausen demgegenüber ca. 700 m.

Die Strukturkarte der **B a s i s S t a ß f u r t - S t e i n s a l z N a 2** (Abb. 4) entspricht dem heutigen Relief der Subsalinar-Oberfläche, d.h. dem der nichtfließfähigen Salinargesteine einschließlich Staßfurt-Karbonat Ca 2. In ihr sind auch Komponenten alter, endogen-tektonischer Überprägungen enthalten. Das Tiefenlinienbild der Basis Staßfurt-Steinsalz Na 2 weicht vom Strukturplan des Postsalinars und des hangenden Salinaranteiles ab. So bilden die Strukturen Grimmen und Reinkenhausen einen zusammenhängenden, E-W gerichteten Rücken, dessen Ostteil im Bereich der Reinkenhausener Störung gegenüber dem Westteil (Grimmen) um etwa 100 m höher liegt. Zwischen beiden Teilhochlagen erstreckt sich im Bereich der Störung eine NW-SE gerichtete Depression von ca. 100 m. Die unterschiedliche Höhenlage der Teilhochlagen Grimmen und Reinkenhausen dürfte im wesentlichen durch eine endogen-tektonisch bedingte Hebung der östlichen Scholle hervorgerufen worden sein.

Die Basis Staßfurt-Steinsalz Na 2 wurde nicht nach der Tiefenlinienkarte des Z-Reflektors (KURRAT 1963; FABIANEK 1967) bzw. nach vorliegenden Darstellungen des Staßfurt-Karbonates Ca 2, die ein von Kleinstörungen begrenztes Schollenmosaik zeigen, konstruiert. Statt dessen wurde sie aus der Tiefenlage des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 in den Bohrungen abgeleitet. Auf jeden Fall ist im Bereich der heutigen Reinkenhausener Störung mit einem dislozierten Bereich zu rechnen. Die Existenz eines Systems von Kleinstörungen im Staßfurt-Karbonat Ca 2 wird durch die neue Kartenkonstruktion nicht in Frage gestellt.

Aus dem Vergleich beider Tiefenlinienpläne geht hervor, daß einerseits zwar eine deutliche Disharmonie zwischen den Strukturplänen des Subsalinars und des hangenden Salinaranteiles über dem Staßfurt-Steinsalz Na 2 bzw. tieferen Postsalinars in Streichrichtungen der Isobathen und der Reliefgliederung besteht, daß andererseits aber die Lage der Strukturzentren im hangenden Salinaranteil mit der der Subsalinar-Hochlagen Grimmen und Reinkenhagen räumlich etwa zusammenfällt. Der disharmonische Stockwerkbau ist daher gradueller Art.

5.3. Mächtigkeiten des Salinars

5.3.1. Mächtigkeitsverteilung der Salinarserien nach Mächtigkeits- und Abweichungskarten

Staßfurt-Steinsalz Na 2 (Abb. 7, 8, 26); $\bar{M}^* = 543$ m

Der Bereich Grimmen ist zwar gegenüber seiner Umgebung durch erhöhte Mächtigkeiten ausgewiesen, stellt aber keine solche ausgeprägte Mächtigkeitsanomalie wie der Bereich Reinkenhagen dar. Das Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulationsgebiet Grimmen (δm bis +30%) korrespondiert etwa mit einem Bereich geringerer Mächtigkeiten im Subsalinar (Anteil Ca 2 + A 2). Der Bereich Reinkenhagen ist eine ausgeprägte positive Mächtigkeitsanomalie (δm bis +100 %) mit den größten in der Barth-Grimmener Strukturzone erbohrten Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Mächtigkeiten. Eindeutige Beziehungen zwischen Subsalinar (Anteil Ca 2 + A 2) und Staßfurt-Steinsalz Na 2 sind nicht zu erkennen, da über der Subsalinar-Hochlage Reinkenhagen sowohl positive als auch negative Mächtigkeitsanomalien des Salinars liegen. Von den negativen Mächtigkeitsanomalien, die seitlich die Akkumulationsgebiete umgeben, ist nur die westliche Zwischensenke (δm bis -40 %) deutlicher ausgeprägt.

Kalilager Staßfurt K 2 (Abb. 7, 8, 26); $\bar{M} = 49$ m

Der Bereich Grimmen und der stärker differenzierte Bereich Reinkenhagen weisen höhere Mächtigkeiten als ihre Umgebung auf. Während der Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation von Grimmen ebenfalls eine positive Mächtigkeitsanomalie (δm bis +50 %) entspricht, folgt weiter östlich ein Gebiet mit geringeren Mächtigkeiten, das sowohl über dem Na-2-Abwanderungsgebiet der Zwischensenke als auch über dem nördlichen Abschnitt der Na-2-Akkumulation von Reinkenhagen liegt. Demgegenüber ist der südliche Abschnitt von Reinkenhagen durch höhere Mächtigkeiten (δm +50 %) gekennzeichnet. Das K-2-Mächtigkeitsmaximum (>50 m) liegt an der Ost- bzw. Südostflanke der maximalen Na-2-Mächtigkeit (> 1000 m).

Hauptanhydrit A 3 (Abb. 7, 9, 26); $\bar{M} = 69$ m

Der Strukturbereich Grimmen zeichnet sich durch größere Mächtigkeiten aus, während die Zwischensenke eine Übergangstellung zum Bereich Reinkenhagen mit seinen geringeren Mächtigkeiten einnimmt.

Unteres Leine-Steinsalz Na 3 u; $\bar{M} = 6$ m

Im Bereich von Grimmen und im Nordteil von Reinkenhagen fehlt das ohnehin geringmächtige Na 3 u, während nördlich und südlich davon größere Na-3u-Mächtigkeiten vorliegen.

Anhydritmittel A 3 m (Abb. 26); $\bar{M} = 10$ m

Der Bereich Grimmen, der mittlere und nördliche Abschnitt der Zwischensenke sowie der Bereich von Reinkenhagen zeichnen sich durch geringere Mächtigkeiten aus, die nach S größer werden.

Oberes Leine-Steinsalz Na 3 o (Abb. 26); $\bar{M} = 35,5$ m

Grimmen und die Zwischensenke stellen ein Gebiet mit größeren Mächtigkeiten dar. Demgegenüber finden sich im nördlichen Teil von Reinkenhagen geringere, im südlichen größere Mächtigkeiten.

Leine-Steinsalz Na 3 (Abb. 7, 8); $\bar{M} = 51,5$ m

Gegenüber dem hangenden Aller-Steinsalz Na 4 ist das Untersuchungsgebiet in mehrere Teilgebiete mit größeren oder kleineren Mächtigkeiten gegliedert. Im Bereich Grimmen liegen geringere Mächtigkeiten, die im NW und ESE von höheren flankiert werden. Im nördlichen Abschnitt von Reinkenhagen liegen kleinere, im südlichen größere Mächtigkeiten.

Roter Salzton und Pegmatitanhydrit T 4 + A 4 (Abb. 26); $\bar{M} = 8$ m

Die Bereiche Grimmen und Reinkenhagen zeichnen sich gegenüber ihrer Umgebung durch geringere Mächtigkeiten aus.

Aller-Steinsalz Na 4 (Abb. 7, 8, 26); $\bar{M} = 37$ m

Grimmen weist größere Mächtigkeiten, Reinkenhagen kleinere auf.

Ohre-Steinsalz Na 5 (Abb. 7, 8, 26); $\bar{M} = 4$ m

Im Bereich von Grimmen sind die Mächtigkeiten etwas größer als im Bereich von Reinkenhagen. Während die Isopachen in Grimmen andeutungsweise NW—SE streichen, verlaufen sie in Reinkenhagen fast N—S.

Ohre-Serie Z 5 (Abb. 7); $\bar{M} = 11,5$ m

Grimmen stellt ein Gebiet mit größeren Mächtigkeiten (15 - 18 m) dar, dem im NE und E ein Gebiet mit kleineren Mächtigkeiten vorgelagert ist. Reinkenhagen bildet demgegenüber ein Gebiet mit niedrigeren Mächtigkeiten.

Als allgemeine Tendenz der Mächtigkeitsverteilung läßt sich ableiten (Tab. 8), daß Maxima der (sekundären) absoluten Mächtigkeiten vorwiegend in Grimmen (Na 5, Na 4, Na 3 o, A 3, K 2, z.T. Na 2) liegen, während in der Zwischensenke nur oberes Leine-Steinsalz Na 3 o und in Reinkenhagen nur Kalilager Staßfurt K 2 und Staßfurt-Steinsalz Na 2 Mächtigkeitsmaxima aufweisen. Vorwiegend durch Mächtigkeitsminima ist der Bereich von Reinkenhagen gekennzeichnet.

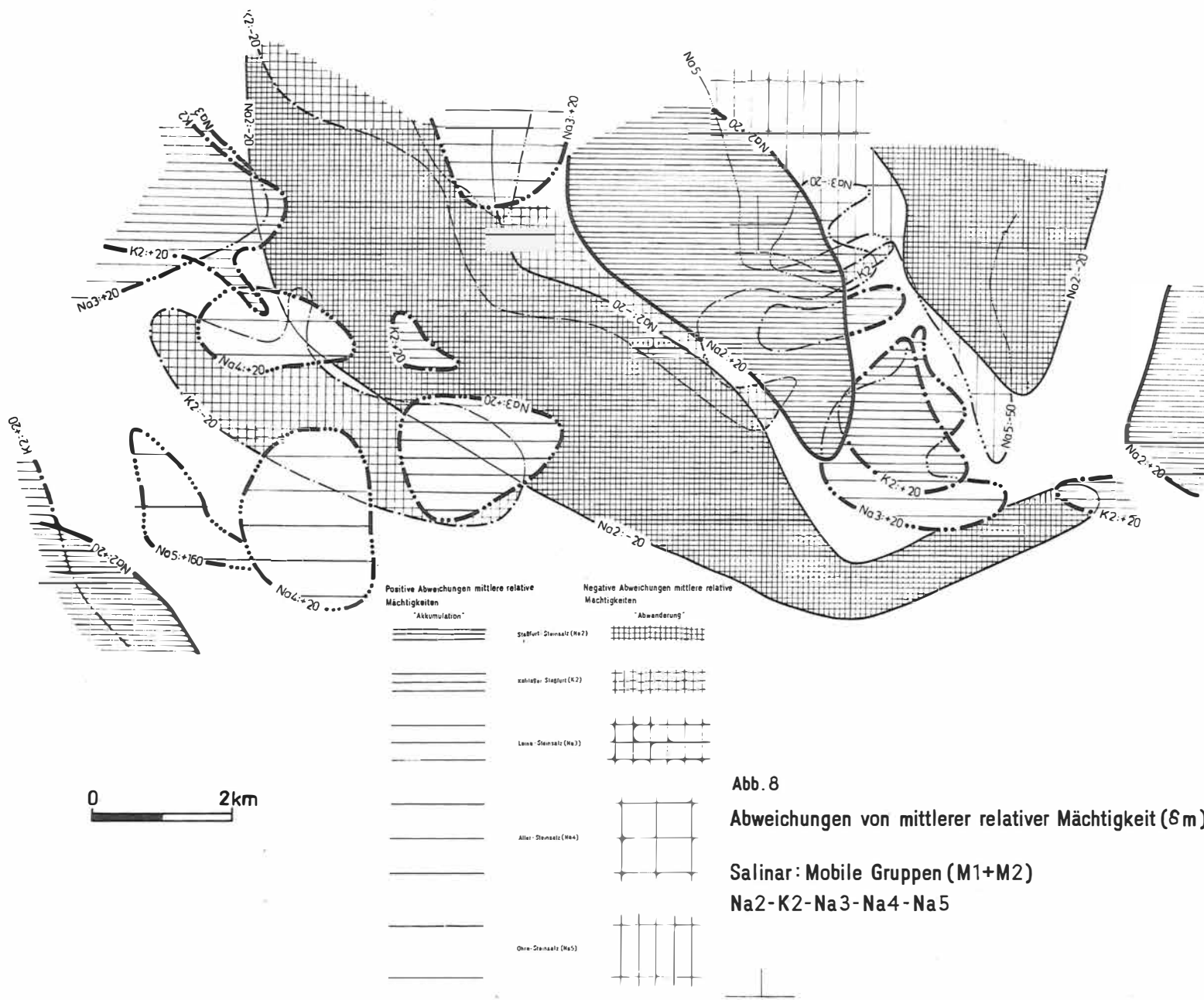


Abb. 8
 Abweichungen von mittlerer relativer Mächtigkeit (δm)
 Salinar: Mobile Gruppen (M1+M2)
 Na2-K2-Na3-Na4-Na5

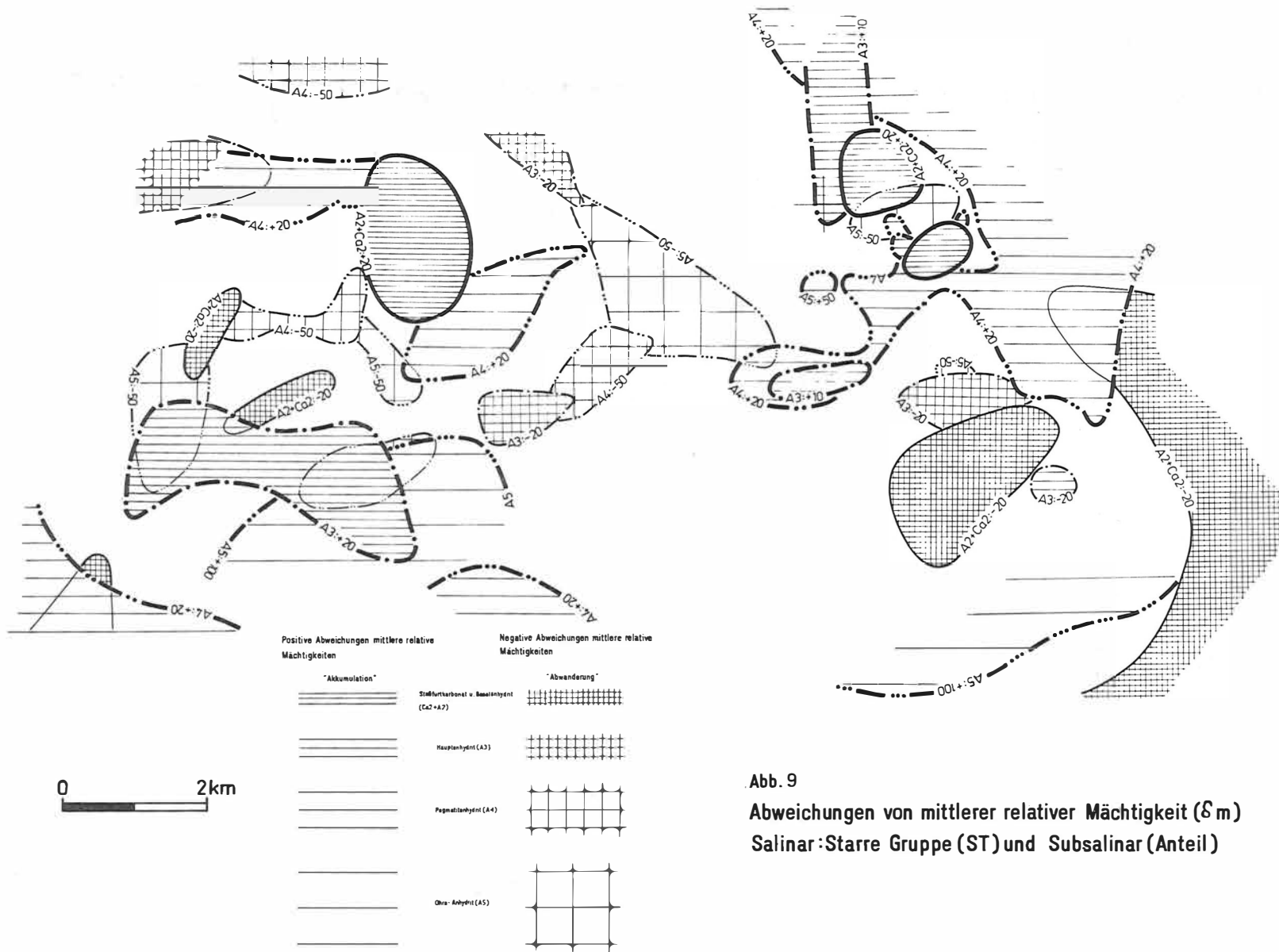


Abb. 9
 Abweichungen von mittlerer relativer Mächtigkeit (δm)
 Salinar:Starre Gruppe (ST) und Subsalinar (Anteil)

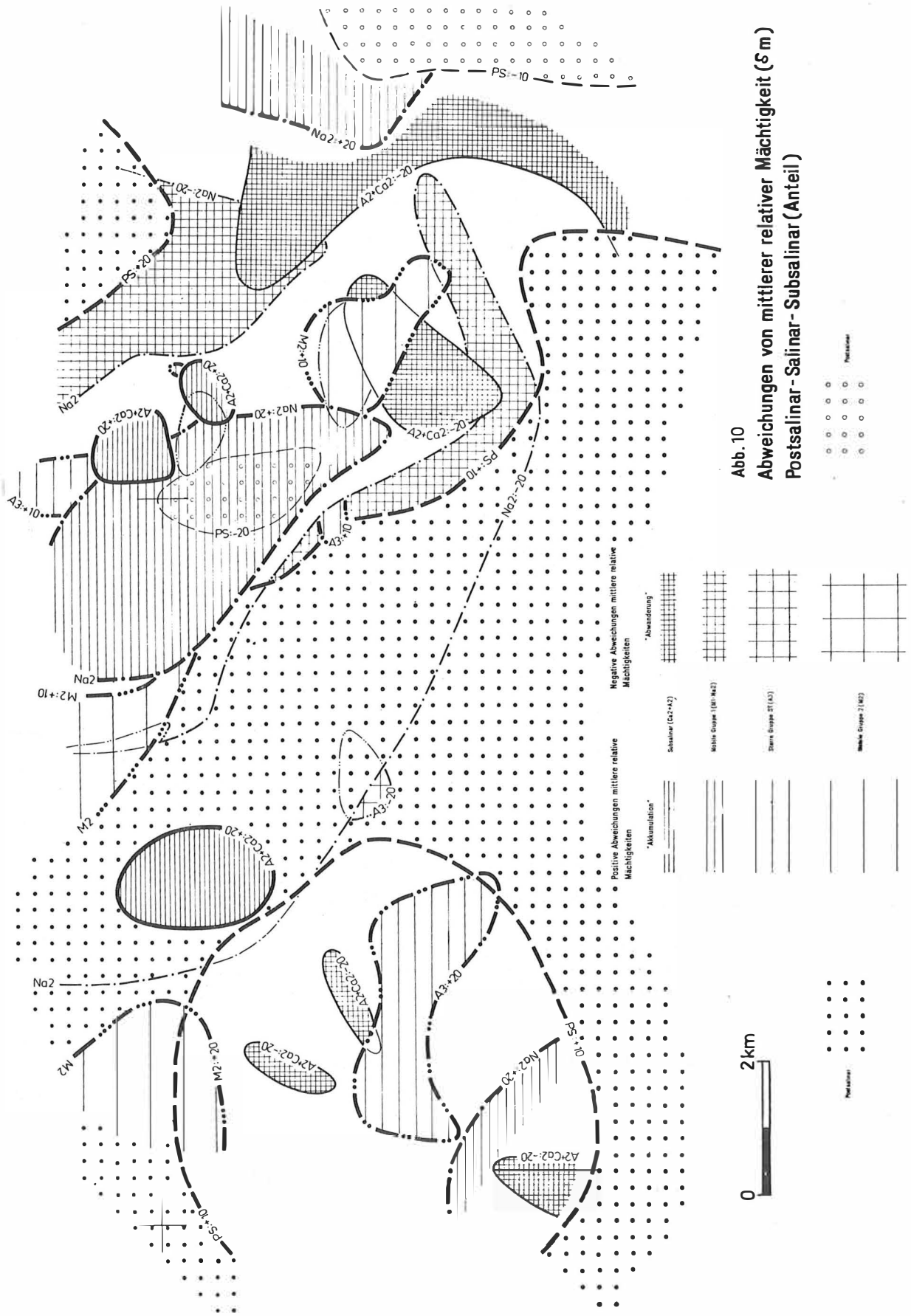


Abb. 10
Abweichungen von mittlerer relativer Mächtigkeit (δ m)
Postsalinar-Salinar-Subsalinar (Anteil)

Tab. 8. Mächtigkeitsverteilung der Salinarglieder im Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen (nach Karten von M und 5m)

Salinarglied	Bereich Grimmen		Zwischensenke			Bereich Reinkenhagen			
	W	gesamt	E	N	gesamt	S	N	gesamt	S
Na 5		Max			Min			Min	
Na 4		Max			Min			Min	
T 4 + A 4		Min			Min			Min	
Na 3 o		Max			Max		Min	Min	Max
A 3 m		Min		Min		Max		Min	Max
Na 3 u		Min			Min		Min		Max
A 3		Max			Zwischenstell.			Min	
T 3 + Ca 3	Max		Min		Min			Min	
K 2		Max			Min		Min	Max	
Na 2		(Max)			Min			Max	
Ca 2 + A 2		Min					Max	Max	Min

Max: Mächtigkeitmaximum, d.h. größere Mächtigkeit als Umgebung; Min: Mächtigkeitminimum, d.h. kleinere Mächtigkeit als Umgebung. Na 3 u fehlt in Grimmen und im Nordteil von Reinkenhagen, entsprechend als Mächtigkeitminimum gewertet.

5.3.2. Mächtigkeitsbeziehungen zwischen den Salinargliedern bzw. -gruppen

Zur Veranschaulichung der Mächtigkeitsbeziehungen zwischen den einzelnen Salinargliedern oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 und diesem selbst einschließlich Kalilager Staßfurt K 2 (Gruppe M 1) wurden deren relative Mächtigkeiten in den Bohrungen miteinander verglichen. Dazu wurden die Quotienten

$$\frac{\text{relative Mächtigkeit des Salinargliedes (X)}}{\text{relative Mächtigkeit des Salinars gesamt (S)}}$$

und

$$\frac{\text{relative Mächtigkeit der Salinargruppe (M 1)}}{\text{relative Mächtigkeit des Salinars gesamt (S)}}$$

für jeden Bohrpunkt gebildet. Um zu verwendbaren Aussagen zu kommen, werden die (relativen) Mächtigkeiten durch die Bildung der Quotienten X/S und $M 1/S$ normiert. Anschließend wurden beide Quotienten in Diagrammen (Abb. 11) miteinander verglichen.

Danach besteht zwischen den normierten Mächtigkeiten der Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 und diesem selbst folgende Beziehung: Die Mächtigkeiten aller Salinarglieder ändern sich in Abhängigkeit von denen des Staßfurt-Steinsalzes Na 2. Sie sind um so geringmächtiger, je mächtiger das Staßfurt-Steinsalz Na 2 ist. Im einzelnen bestehen graduelle Unterschiede zwischen Grimmen und Reinkenhagen insofern, als die genannte Beziehung im Bereich von Grimmen und der Zwischensenke undeutlicher

als im Bereich von Reinkenhagen ist. Ferner scheint die Tendenz zu bestehen, daß die Mächtigkeiten der Salinarglieder oberhalb des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 vom Liegenden (Hauptanhydrit A 3) zum Hangenden (Grenzanhydrit A 5 r) vom Staßfurt-Steinsalz Na 2 unabhängiger und weniger beeinflußt werden.

5.3.3. Beziehungen zwischen Mächtigkeiten und Tiefenlage (erweiterte Strukturanalyse)

In den vorhergehenden Abschnitten beschäftigten wir uns ausschließlich mit den Mächtigkeiten der Salinarglieder. Nach JUBITZ (1963) sind in der Huywald-Struktur des Subherzynen Beckens die Mächtigkeiten der Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2, wie z.B. Kalilager Staßfurt K 2 und Hauptanhydrit A 3, eindeutig eine Funktion der "Strukturhöhenlage". Er deutet diese Beziehung als Ausdruck intensiver halokinetischer Beanspruchung des Salinaranteiles oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 infolge Beulung im Top der Struktur.

Auch in den einfachen Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhagen wurde versucht, die Beziehungen zwischen erbohrten, absoluten Mächtigkeiten der Salinarglieder bzw. -gruppen und ihrer heutigen Position im Salinarkörper zu klären.

Methodik

Da sich aus der traditionellen Strukturanalyse (vgl. Abschnitt 5.2.) die Vertikalbeziehungen nicht erkennen lassen, wurde diese erweitert, indem die Quotienten

$$\frac{\text{relative Mächtigkeit des Salinargliedes (X)}}{\text{relative Mächtigkeit des Salinars gesamt (S)}}$$

und

$$\frac{\text{erbohrte Tiefenlage der Oberkante Salinar (h_G)}}{\text{mittlere Tiefenlage der Oberkante Salinar (\bar{h}_G)}}$$

für jeden Bohrpunkt beider Strukturen gebildet und in Diagrammen (Abb. 12 - 16) miteinander verglichen wurden.

Ergebnisse

Aus Abb. 12 - 16 geht hervor, daß auch in den halokinetisch relativ wenig verformten Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhagen zwischen den Mächtigkeiten der Salinarglieder bzw. -gruppen und ihrer Lage im Salinarkörper Beziehungen bestehen. Diese sind in der Struktur Reinkenhagen - auf Grund der sehr intensiven Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation - deutlicher ausgeprägt als in der Struktur Grimmen.

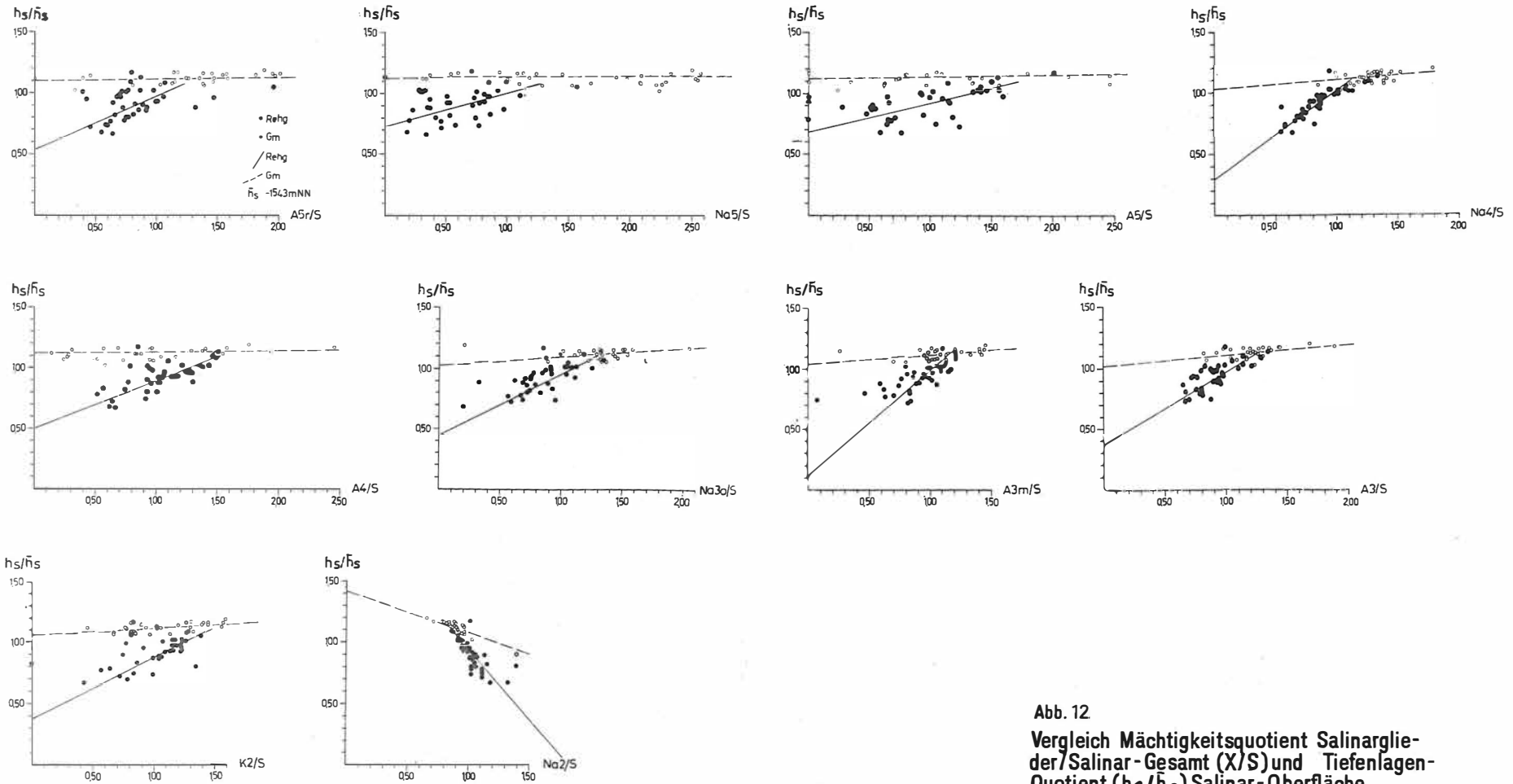


Abb. 12
 Vergleich Mächtigkeitsquotient Salinarglieder/Salinar-Gesamt (X/S) und Tiefenlagen-Quotient (h_s/h_s) Salinar-Oberfläche

Strukturen Grimmen-Reinkenlagen

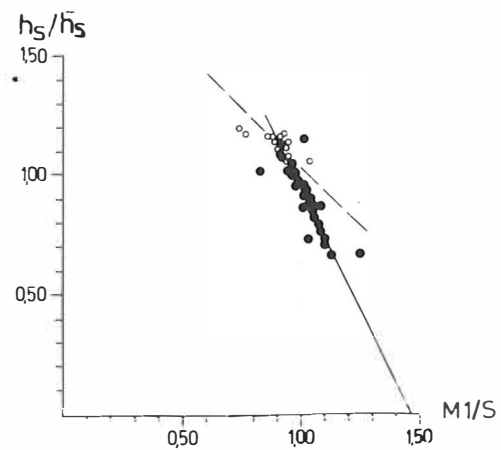
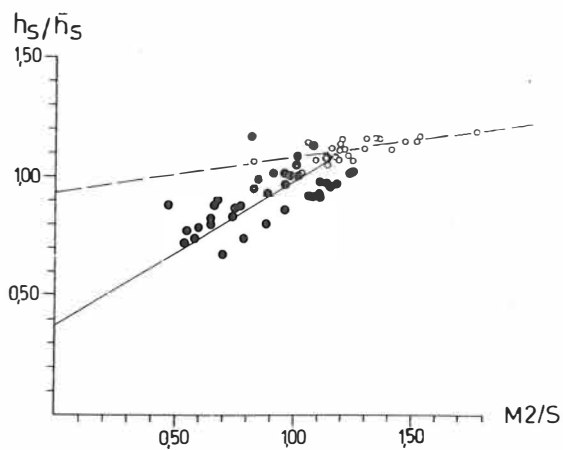
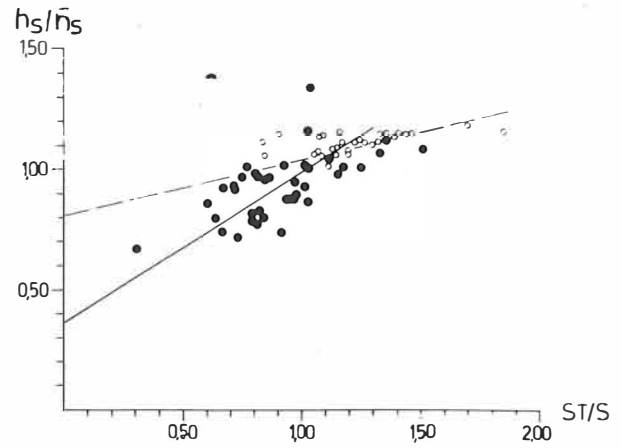
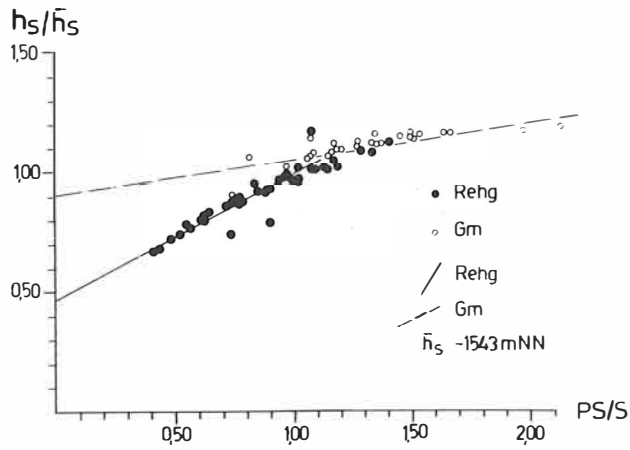


Abb. 13

Vergleich Mächtigkeitsquotient Postsalinar und Salinargruppen/Salinar-Gesamt (X/S) und Tiefenlagen-Quotient (h_S/\bar{h}_S) Salinar-Oberfläche

Strukturen Grimmen und Reinkenlagen

Abb. 14

Interpretation Mächtigkeitsquotienten (X/S) und Tiefeniagen-Quotienten (h_s/\bar{h}_s) Salinar-Oberfläche

Salinarglieder

Strukturen Grimmen und Reinkenhausen

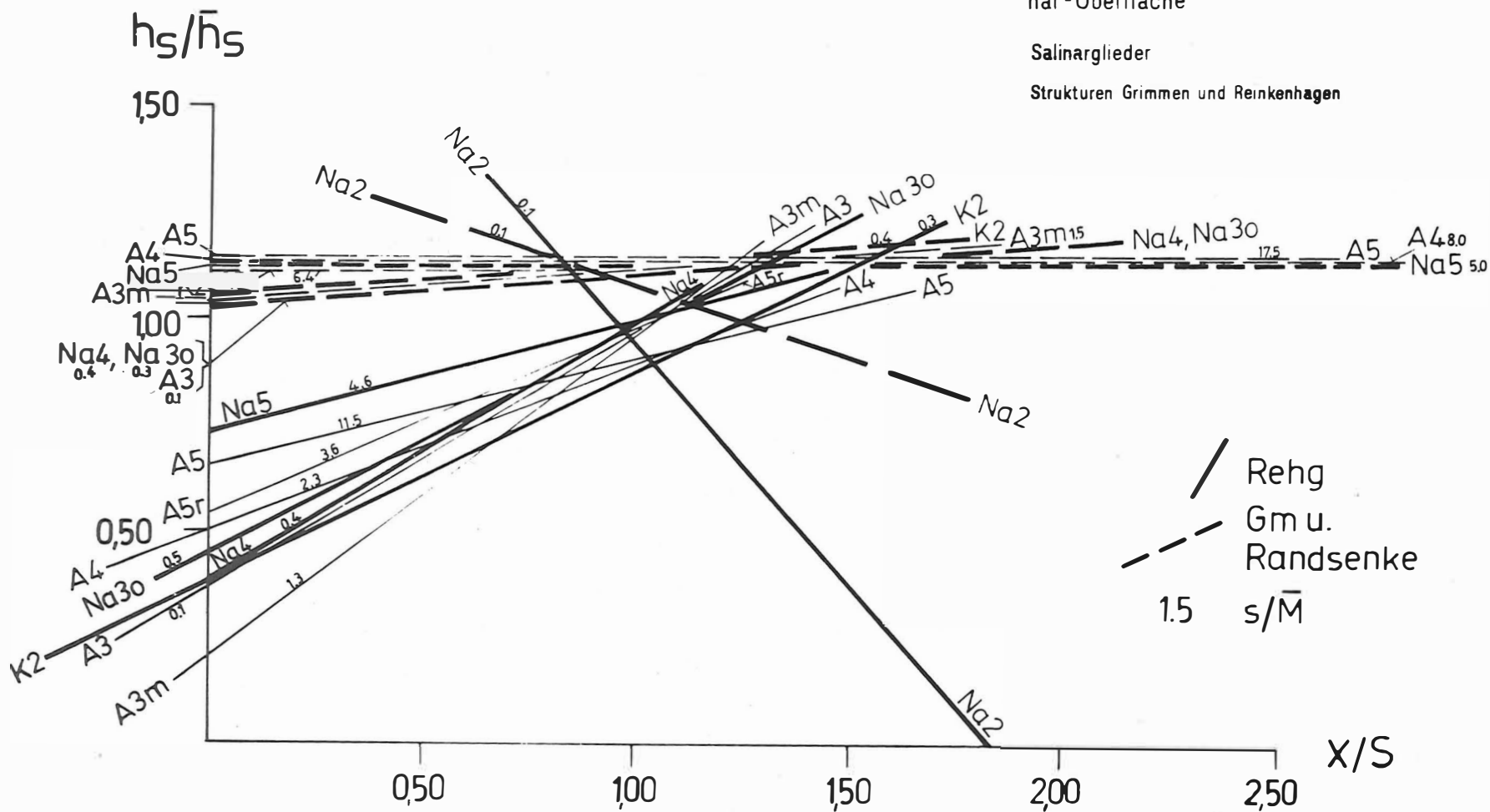
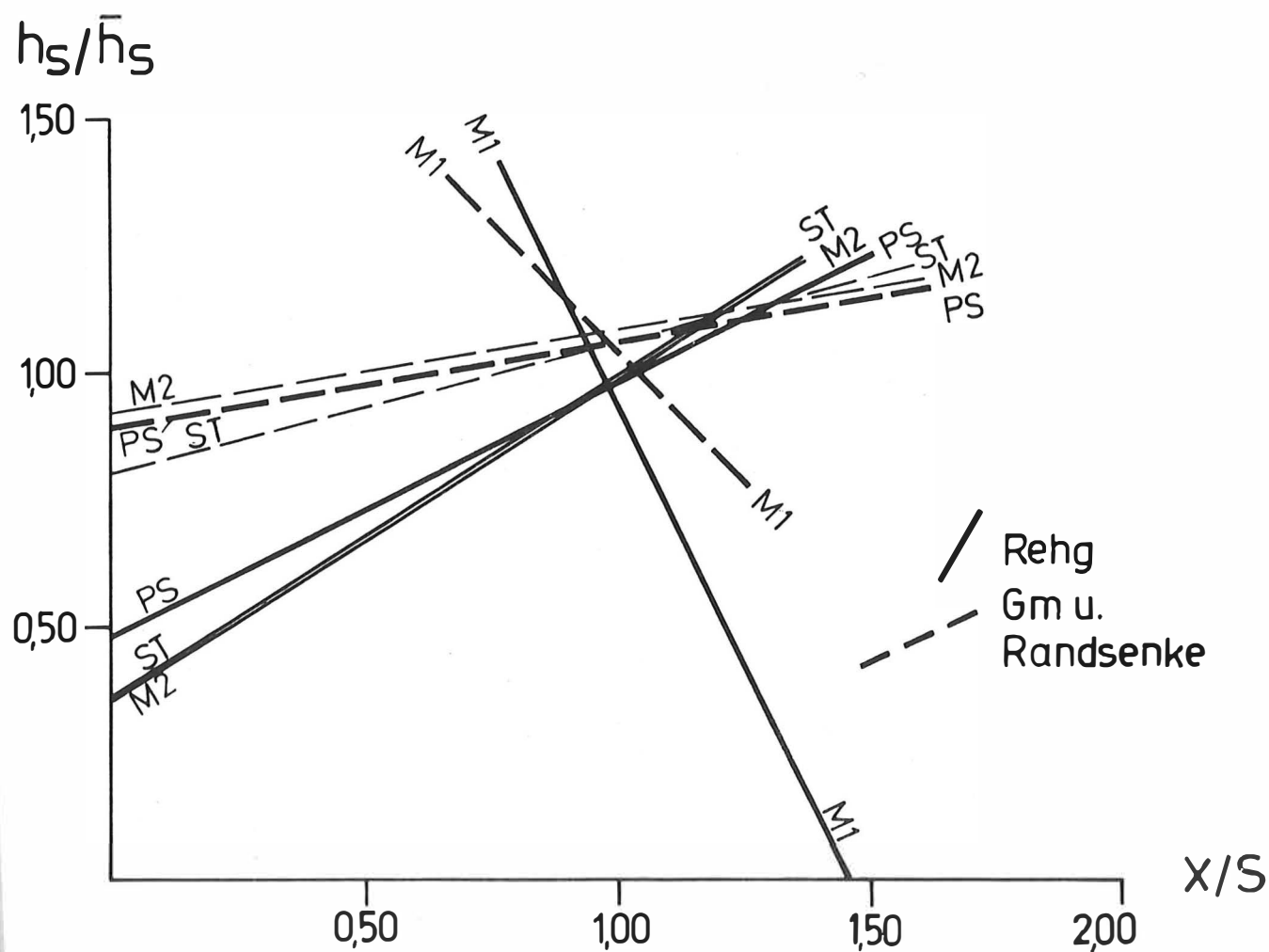


Abb. 15

Interpretation Mächtigkeitsquotienten (X/S)
 und Tiefenlagen-Quotienten (h_s/\bar{h}_s) Salinar-
 Oberfläche. Salinargruppen und Postsalinar

Strukturen Grimmen und Reinkenlagen



Struktur Reinkenhagen

Struktur Grimmen

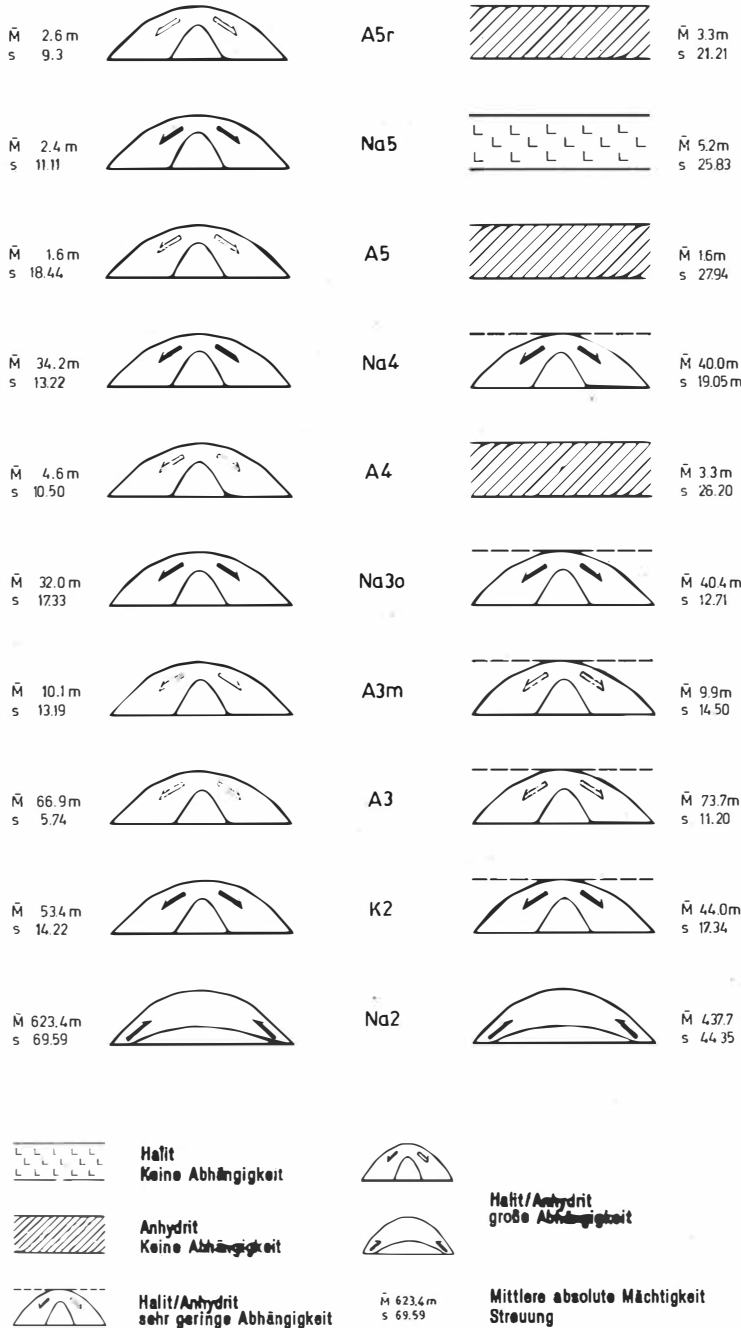


Abb. 16

Interpretationsschema Vergleich Mächtigkeiten Salinarglieder und Tiefenlagen Salinar-Oberfläche (nach Quotienten X/S und h_S/h_S)

Strukturen Grimmen und Reinkenhagen

In der Struktur Reinkenhagen ist das Staßfurt-Steinsalz Na 2 um so mächtiger und sind die Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 infolgedessen um so geringmächtiger, je höher die Oberkante Salinar liegt. Auch in der Struktur Grimmen ist das Staßfurt-Steinsalz Na 2 um so mächtiger, je höher die Oberkante Salinar liegt. Für die Salinarglieder Pegmatitanhydrit A 4, Ohre-Anhydrit A 5, Ohre-Steinsalz Na 5 und Grenzanhydrit A 5 r konnte keine zur Struktur Reinkenhagen analoge Beziehung zwischen Mächtigkeit und Tiefenlage nachgewiesen werden, für die übrigen Salinarglieder (K 2, A 3, A 3 m, Na 3, Na 4) deutet sie sich an.

Aus den Untersuchungen zur erweiterten Strukturanalyse ergeben sich im Prinzip die gleichen Aussagen, wie sie aus der erweiterten Mächtigkeitsanalyse gefolgert wurden: An der Akkumulation des Salinars in den beiden Strukturen, vor allem in den Topbereichen, ist im wesentlichen nur das Staßfurt-Steinsalz Na 2 beteiligt, während die Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 - in Abb. 15 und 16 zu den Salinargruppen ST und M 2 zusammengefaßt - infolge des Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Anstaus ausgedünnt wurden (Reinkenhagen, z.T. Grimmen). Bei geringer Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation zeigen sie jedoch keine Mächtigkeitsänderung (Grimmen z.T.).

5.4. Erweiterte Mächtigkeitsanalyse

5.4.1. Allgemeine Vorbemerkungen

In diesem Abschnitt werden die spezielle Untersuchungsmethodik und die Ergebnisse der erweiterten Mächtigkeitsanalyse ausführlich dargestellt.

Um zu Vorstellungen über die Mächtigkeitsänderungen und -verteilungen der Salinargesteine zu gelangen, gehen wir von folgender These aus: Kompetente Salinarglieder sind die Anhydrite, inkompetente die Halite und Kalisalze. Als kompetente, d.h. wenig teilbewegliche Salinargesteine sind die Anhydrite in den relativ einfach gebauten Salzkissenstrukturen gegenüber den inkompetenten, d.h. hoch teilbeweglichen Haliten und Kalisalzen im Laufe der Halokinese nur wenig verändert worden (vgl. Abschnitt 4.2.1.). Daraus folgt, daß deren absolute Mächtigkeiten näherungsweise als primäre Mächtigkeiten angesehen und als Vergleichsbasis benutzt werden könnten, um auf die Mächtigkeitsänderungen der inkompetenten Halite, speziell des Staßfurt-Steinsalzes Na 2, zu schließen (vgl. ZAMARAEV 1967).

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde die erweiterte Mächtigkeitsanalyse entwickelt, die auf der Anwendung einfacher mathematisch-statistischer Verfahren in mehreren Arbeitsstufen beruht:

1. Normierung, d.h. Umrechnung der erbohrten, absoluten Mächtigkeiten (M) in relative (m) bzw. in normierte relative Mächtigkeiten (m_N), um die absoluten Mächtigkeiten der Salinarglieder mit ihrer großen Schwankungsbreite zwischen < 10 m und $> 10^3$ m vergleichbar zu machen (Abb. 17). Durch die Berechnung von relativen und normierten relativen Mächtigkeiten wird die Schwankungsbreite verringert, d.h., durch die Normierung der erbohrten Mächtigkeiten erfolgt eine Homogenisierung der Mächtigkeitsverteilung (SCHWAB u.a. 1974).

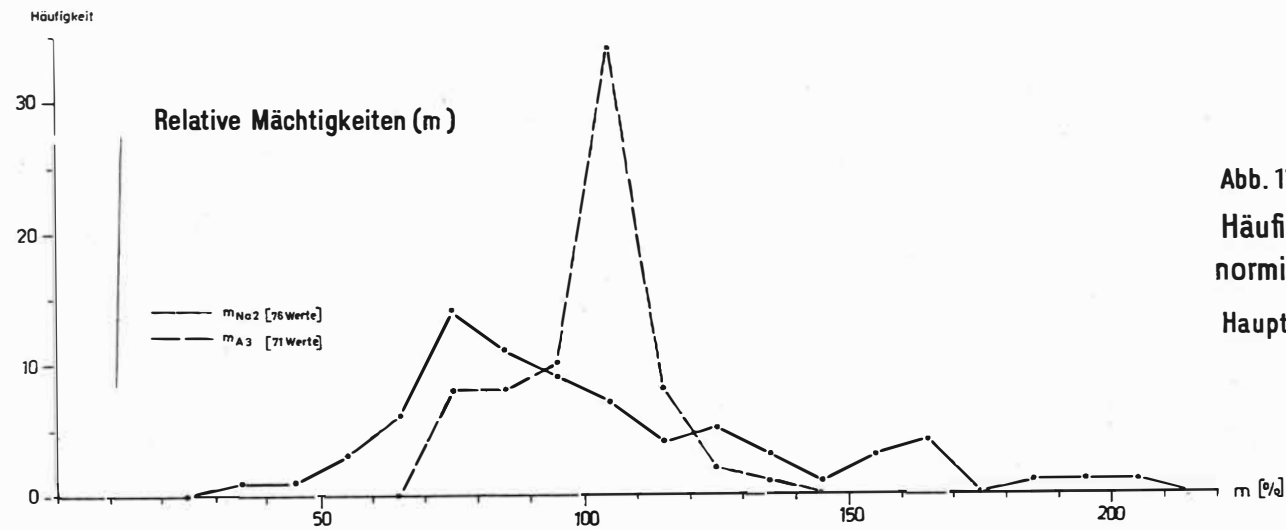
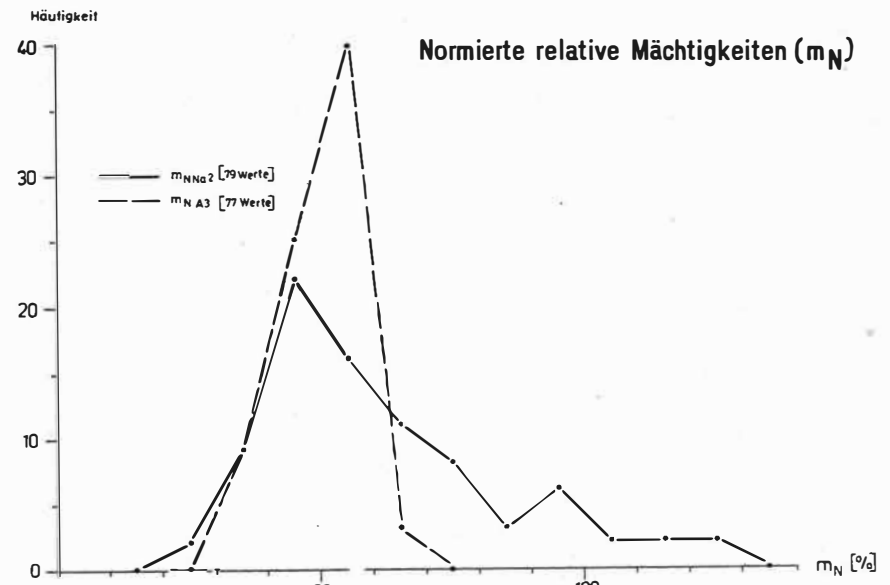
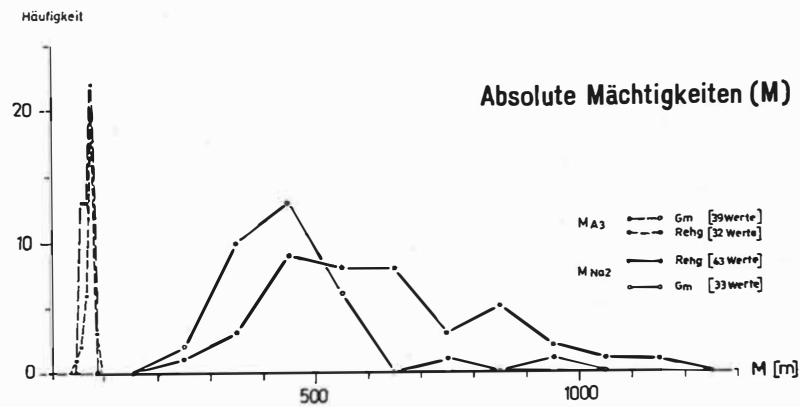


Abb. 17
Häufigkeitsverteilung absolute, relative und normierte relative Mächtigkeiten (M, m, m_N)
Hauptanhydrit A3 und Staßfurt-Steinsalz Na2

2. Entwicklung von Vorstellungen über die Mächtigkeitsänderungen getrennt nach Salinargesteinen unterschiedlichen geomechanischen Verhaltens, d.h. nach Haliten (Staßfurt-Steinsalz Na 2, Kalilager Staßfurt K 2, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o, Aller-Steinsalz Na 4, Ohre-Steinsalz Na 5) und Anhydriten (Hauptanhydrit A 3, Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4, Ohre-Anhydrit A 5, Grenzanhydrit A 5 r) durch Berechnung der Streuung (s) der normierten relativen Mächtigkeiten für die Einzelglieder der Salinarfolge und ihre Anordnung in Reihen steigender Streuung, getrennt nach Haliten und Anhydriten.
3. Interpretation der Streuungsreihen durch Vergleich mit den mittleren absoluten Mächtigkeiten (\bar{M}) der einzelnen Glieder der Salinarfolge und Berechnung der Rangkorrelation (Rangkorrelationskoeffizienten) von Halit- und Anhydritreihe, d.h. Vergleich der Streuungsreihen mit den Mächtigkeitsrangfolgen von Haliten und Anhydriten in den Einzelbohrungen.
4. Vergleich der Rangkorrelationskoeffizienten R mit den Abweichungen der relativen Mächtigkeiten der Salinarglieder von den mittleren relativen Mächtigkeiten der Halite und Anhydrite und ihre geologische Interpretation.

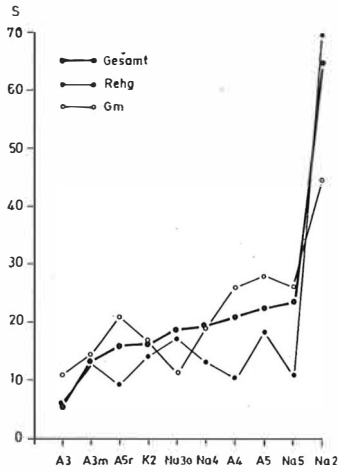
5.4.2. Streuung der Mächtigkeitsverteilungen

5.4.2.1. Berechnung der Streuungen und Anordnung der Streuungen zu Reihen

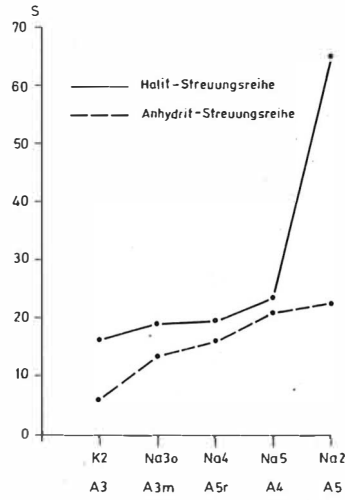
Durch die Berechnung der *S t r e u u n g* (s) der Mächtigkeiten der Halite und Anhydrite ergibt sich eine Möglichkeit, die Mächtigkeitsschwankungen bzw. -änderungen der einzelnen Salinarglieder im Untersuchungsgebiet zu kennzeichnen. Hohe Streuungswerte bedeuten große, niedrige Streuungswerte entsprechend kleine Mächtigkeitsschwankungen oder -änderungen.

Die Streuung ist als Lage bzw. Verteilung von Einzelmerkmalen, hier der Mächtigkeiten, um einen Schwerpunkt (arithmetischer Mittelwert der Mächtigkeiten) definiert. Grundlage für die Berechnung der Streuung sind in unserem Falle die *n o r m i e r t e n* relativen Mächtigkeiten (m_N) der Salinarglieder A 5 r, Na 5, A 5, Na 4, A 4, Na 3 o, A 3 m, A 3, K 2 und Na 2. Die Streuung wurde nach folgender Formel berechnet:

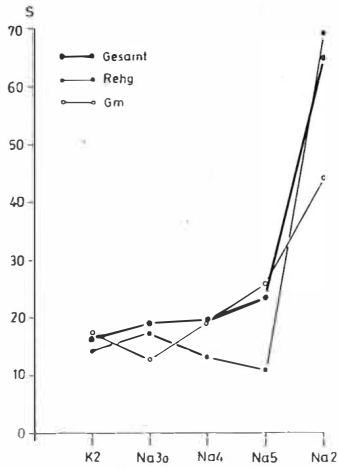
$$s = \sqrt{\frac{\sum m_N^2 - \frac{(\sum m_N)^2}{n}}{n-1}}$$



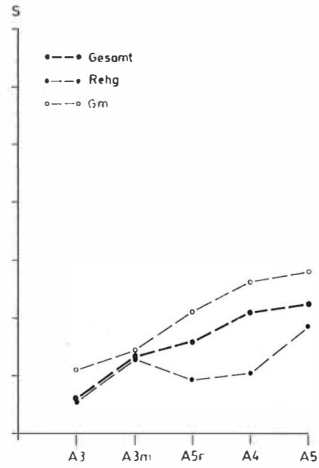
Gesamt - Streuungsreihe Salinar
Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen
und Einzelstrukturen



Halit - Reihe
Anhydrit - Reihe
Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen



Halit - Streuungsreihe
Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen
und Einzelstrukturen



Anhydrit - Streuungsreihe

Abb. 18
Streuung (s) Salinar
Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen
und Einzelstrukturen

In Tab. 9 - 11 und Abb. 18 werden die berechneten Streuungen in der stratigraphischen Abfolge (Tab. 9) sowie nach zunehmender Streuung, geordnet nach Haliten (Tab. 10) und Anhydriten (Tab. 11), dargestellt.

Tab. 9. Stratigraphische Verteilung der Streuung der Salinarglieder im Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen

Stratigraphie	S t r e u u n g (s)		
	Gesamtbereich	Grimmen	Reinkenhagen
A 5 r	15,97	21,21	9,30
Na 5	23,54	25,83	11,11
A 5	22,50	27,94	18,44
Na 4	19,67	19,05	13,22
A 4	21,03	26,30	10,50
Na 3 o	19,03	12,71	17,33
A 3 m	13,66	14,50	13,19
A 3	6,05	11,20	5,74
K 2	16,30	17,34	14,22
Na 2	64,80	44,35	69,59

Grimmen umfaßt das Strukturgebiet Grimmen einschl. Zwischensenke, Reinkenhagen das Strukturgebiet Reinkenhagen einschl. östlicher Senke.

Tab. 10. Anordnung der Halite nach steigender Streuung (Halit-Streuungsreihe) im Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen

Gesamtbereich		Grimmen		Reinkenhagen	
K 2	16,30	Na 3 o	12,71	Na 5	11,11
Na 3 o	19,03	K 2	17,34	Na 4	13,22
Na 4	19,67	Na 4	19,05	K 2	14,22
Na 5	23,54	Na 5	25,83	Na 3 o	17,33
Na 2	64,80	Na 2	44,35	Na 2	69,59

Tab. 11. Anordnung der Anhydrite nach steigender Streuung (Anhydrit-Streuungsreihe) im Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen

Gesamtbereich		Grimmen		Reinkenhagen	
A 3	6,05	A 3	11,20	A 3	5,74
A 3 m	13,66	A 3 m	14,50	A 5 r	9,30
A 5 r	15,97	A 5 r	21,21	A 4	10,50
A 4	21,03	A 4	26,30	A 3 m	13,19
A 5	22,50	A 5	27,94	A 5	18,44

Tab. 9 - 11 und Abb. 18 erlauben folgende Feststellungen:

1. Nach der Streuung der Mächtigkeiten der Salinarglieder deutet sich eine Zweigliederung des Salinars in einen hangenden Abschnitt mit geringer bis mittlerer Streuung (0 - 30) Grenzanhydrit A 5 r bis Kalilager Staßfurt K 2 und einen liegenden Abschnitt mit extrem hoher Streuung (> 30) Staßfurt-Steinsalz Na 2 an, wobei in der stratigraphischen Abfolge keine Tendenz der Streuungswerte zu erkennen ist.
2. Die kompetenten Anhydrite streuen in geringerem Maße als die inkompetenten Halite, wobei der Hauptanhydrit A 3 die geringste Streuung aufweist. Die inkompetenten Halite zeigen eine mittelgroße Streuung, wobei jedoch das Staßfurt-Steinsalz Na 2 mit seiner extrem großen Streuung herausfällt.
3. Die Halitreihe besteht aus zwei Wertegruppen:

s 10 - 30: K 2, Na 3 o, Na 4, Na 5,
s > 30: Na 2.

K 2 streut minimal, Na 2 maximal.

Vergleich Grimmen/Reinckenhagen (Tab. 10, Abb. 18): Ordnet man die Streuungswerte nach zunehmender Größe an, ergibt sich zwar eine etwas verschiedene Abfolge, jedoch die gleiche Gruppengliederung wie für den Gesamtbereich. Die Streuungswerte der ersten Gruppe sind in Grimmen größer als in Reinckenhagen, während das Staßfurt-Steinsalz Na 2 in Grimmen weniger streut als in Reinckenhagen.

4. Die Anhydritreihe besteht aus drei Wertegruppen:

s < 10: A 3,
s 10 - 20: A 3 m, A 5 r,
s > 20: A 4, A 5.

Die geringste Streuung besitzt der Hauptanhydrit A 3, die größte der Ohre-Anhydrit A 5.

Vergleich Grimmen/Reinckenhagen (Tab. 11, Abb. 18): Alle Glieder der drei Gruppen streuen in Grimmen stärker als in Reinckenhagen. Die Abfolge der Anhydrite ist in beiden Strukturen, außer dem Grenzanhydrit A 5 r von Reinckenhagen, die gleiche wie für den Gesamtbereich.

Aus den Unterschieden in der Streuung der einzelnen Halite und Anhydrite wird geschlossen, daß unterschiedliche Teilbeweglichkeiten, die nach FULDA (1928) und LOTZE (1957) in der Reihenfolge Anhydrit - Halit - Kalisalze generell zunehmen, die Ursache der unterschiedlichen Streuung sind (vgl. Abschnitt 4.3.). Große Streuung läßt zunächst auf hohe Teilbeweglichkeit und, umgekehrt, kleine Streuung auf geringe Teilbeweglichkeit schließen, sofern man übergeordnete Faktoren der strukturbedingten mechanischen Beeinflussung, z.B. durch das Hangende des Salinars ("Hangendschutz" des Postsalinars), zunächst ausschließt.

5.4.2.2. Vergleich der Streuungsreihen mit mittleren absoluten Mächtigkeiten

Die in Abschnitt 5.4.2.1. beschriebenen Unterschiede in der Streuung drücken Differenzen in der Teilbeweglichkeit aus. Der Vergleich der Streuungswerte mit den mittleren absoluten Mächtigkeiten \bar{M} der Salinar-

glieder in Form einer Quotientenbildung (Tab. 12 und Abb. 19, 20) zeigt jedoch, daß die Größe der Mächtigkeitsstreuung nicht allein eine Funktion der Teilbeweglichkeit, sondern auch der Größe der mittleren absoluten Mächtigkeiten ist. So nimmt nach Tab. 12 sowie Abb. 19 und 20 die Streuung der Halite und Anhydrite mit abnehmender mittlerer absoluter Mächtigkeit zu. Das Staßfurt-Steinsalz Na 2 bildet jedoch eine Ausnahme.

Tab. 12. Vergleich der Streuung (s) mit der mittleren absoluten Mächtigkeit (\bar{M}) für die Glieder der Halit- und Anhydrit-Streuungsreihe (geordnet nach steigender Streuung)

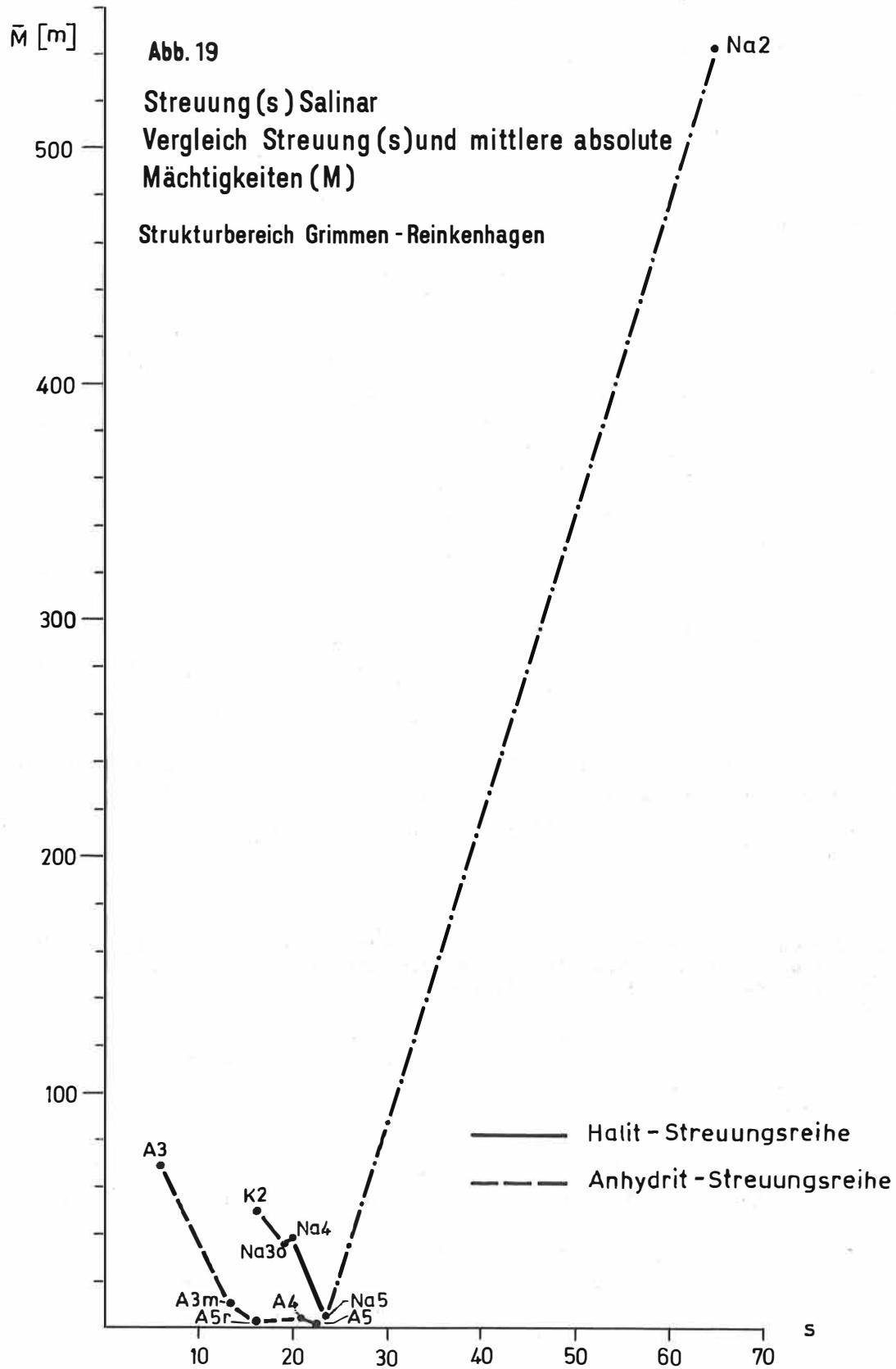
Strukturbereich Grimmen-Reinkenhausen						
s-Gruppe	Halite			Anhydrite		
	s	M	Salinarglied	s	M	Salinarglied
0 - 10 (1 b)				6	69	A 3
11 - 20 (2)	16	49	K 2	14	10	A 3 m
	19	36	Na 3 o	16	3	A 5 r
	20	37	Na 4			
21 - 30 (3)	24	4	Na 5	21	4	A 4
				23	2	A 5
> 31 (1 a)	65	543	Na 2			

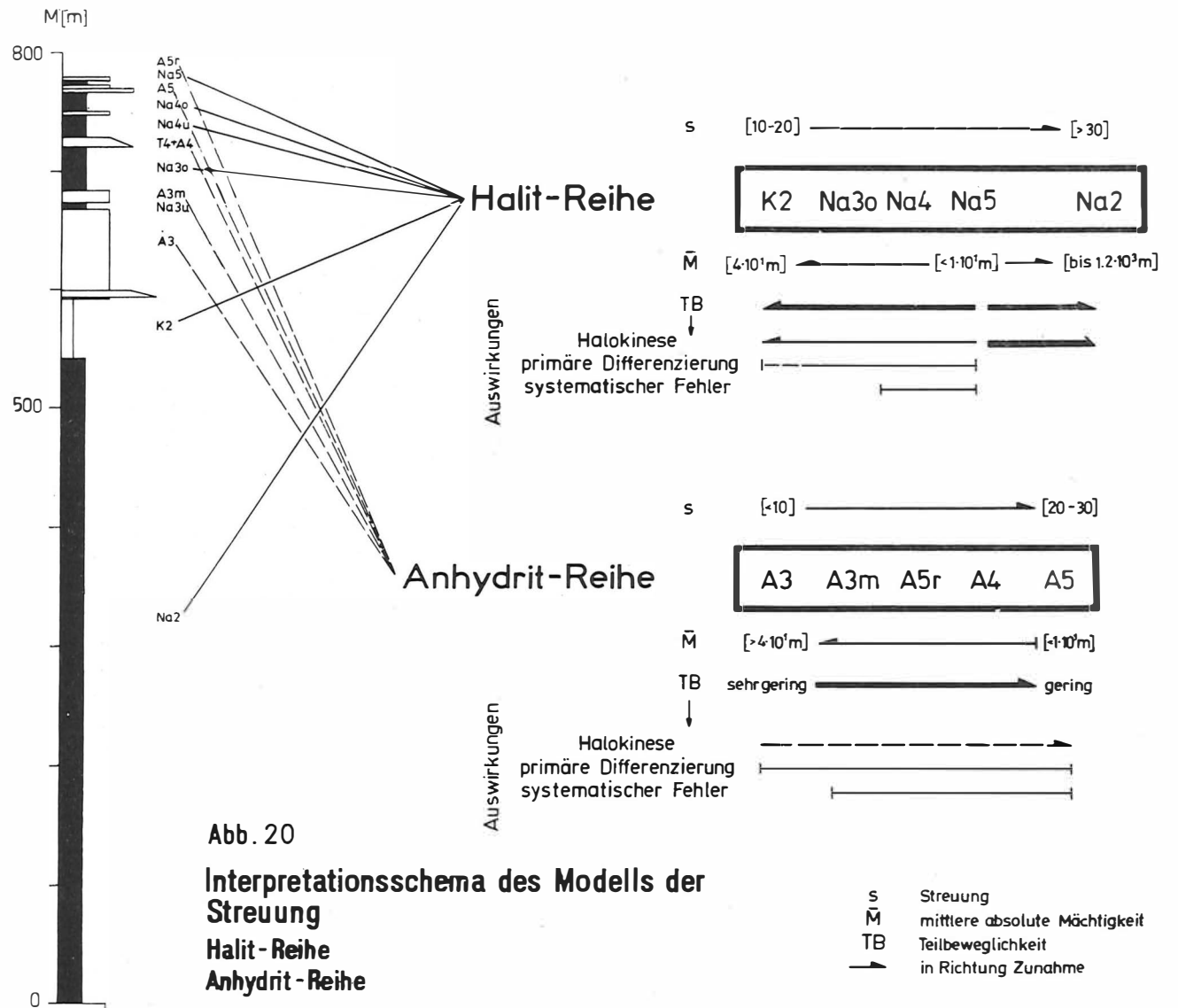
Die Gruppenbezeichnungen 1 a und 1 b in Tab. 12 - 13 wurden gewählt, um Halit (Na 2) und Anhydrit (A 3) bei gleicher Quotientengröße zu unterscheiden.

Nach dem Verhältnis von s und \bar{M} (Quotientenbildung) lassen sich die Salinarglieder in mehrere Gruppen mit unterschiedlichen (mittleren) absoluten Mächtigkeiten (sehr groß: > 500 m, groß: > 50 m, mittelgroß: 30 - 50 m, klein: 0 - 5 m) einteilen (Tab. 13).

Tab. 13. Vergleich der Streuung (s) mit der mittleren absoluten Mächtigkeit (\bar{M}) über den Quotienten s/\bar{M} ; Anordnung der Salinarglieder in Gruppen (geordnet nach zunehmendem Quotienten)

Gruppe	s/\bar{M}	s	\bar{M} [m]	Salinarglied
1 a	0,1	30	100	Na 2
1 b	0,1	10	50	A 3
2	0,3 - 0,5	10 - 20	30 - 50	Na 4, Na 3 o, K 2
3	1 - 15	20 - 30	5 - 0	A 5 r, Na 5, A 5, A 4, A 3 m





Die 4 Streuungsgruppen können wie folgt beschrieben werden (Abb. 20):

Gruppe	s		
1 a	> 30	hohe Teilbeweglichkeit	bei sehr großer absoluter Mächtigkeit: Na 2
1 b	< 10	geringe Teilbeweglichkeit	bei großer absoluter Mächtigkeit: A 3
2	10 - 20	mittelgroße Teilbeweglichkeit	bei mittelgroßer absoluter Mächtigkeit: Na 4, Na 3 o, K 2
3	20 - 30	mittelgroße Teilbeweglichkeit	bei kleiner absoluter Mächtigkeit: A 5 r, Na 5, A 5, A 4, A 3 m

Die relativ hohen Streuungswerte der Gruppe 3 werden wahrscheinlich durch einen systematischen Fehler hervorgerufen, der bei der bohrlochgeophysikalischen Auswertung bzw. Abgrenzung von geringmächtigen Salinargliedern < 10 m auftritt.

5.4.3. Vergleich der Streuungsreihen mit Mächtigkeitsrangfolgen

5.4.3.1. Berechnung von Rangkorrelationskoeffizienten

Um zu klären, inwieweit die Rangfolge der Mächtigkeiten der Halite und der Anhydrite, wie sie raumbezogen in den Bohrungen auftreten, der Abfolge in den Streuungsreihen entsprechen, wurde zwischen Streuungsreihe und den erbohrten Mächtigkeitsabfolgen der Strukturen der Rangkorrelationskoeffizient berechnet. Dazu wurden die Rangfolgen der normierten Mächtigkeiten mit den modellförmigen Streuungsreihen der Halite und Anhydrite verglichen. Für jeden Bohrpunkt der Strukturen Grimmen und Reinkenhausen wurde zunächst eine M ä c h t i g k e i t s r a n g f o l g e der Halite bzw. Anhydrite aufgestellt, indem die normierten Mächtigkeiten mit den Zahlen 1 für kleinste bis k für größte normierte Mächtigkeiten belegt wurden. Aus den Rangfolgen wurde der R a n g k o r r e l a t i o n s k o e f f i z i e n t R nach SPEARMAN berechnet (Tab. 14):

$$R = 1 - \frac{6 \cdot d^2}{k^3 - k},$$

wobei d^2 die Summe der Quadrate der Rangdifferenzen zwischen gleichen Gliedern der verglichenen Rangfolgen und

k die Anzahl der Glieder jeder Rangfolge bezeichnen. Der Rangkorrelationskoeffizient R ist ein statistisches Maß dafür, inwieweit die Mächtigkeitsrangfolgen in den Einzelbohrungen mit der Rangfolge der Salinarglieder in den statistisch, d.h. strukturunabhängig ermittelten Streuungsreihen übereinstimmen oder davon abweichen.

Tab. 14. Beispiel für Berechnung der Rangkorrelation der Anhydritreihe

Streuungsreihe Anhydrite	s	Rang	Relative Mächtigkeit aus Bohrung	Rang	Rangdifferenz d	d ²
A 3	6	1	100,6	3	-2	4
A 3 m	14	2	110	4	-2	4
A 5 r	16	3	86,2	1	2	4
A 4	21	4	97,6	2	2	4
A 5	23	5	125	5	0	0

$$\Sigma d^2 = 16, \quad k = 5, \quad R = +0,200$$

Wenn $R = +1$, stimmen Mächtigkeitsrangfolge der Salinarglieder in den Einzelbohrungen und Rangfolge der Salinarglieder in den statistisch ermittelten Streuungsreihen überein, z.B.

Anhydritreihe	A 3	A 3 m	A 5 r	A 4	A 5
Rangfolge in Streuungsreihe	1	2	3	4	5
Rangfolge der Mächtigkeiten in Bohrung	1	2	3	4	5

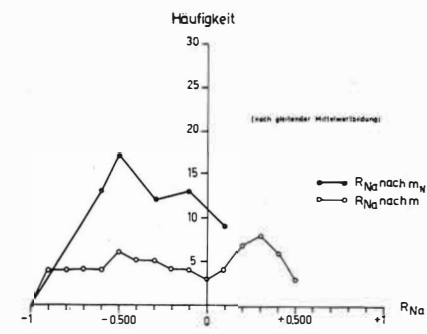
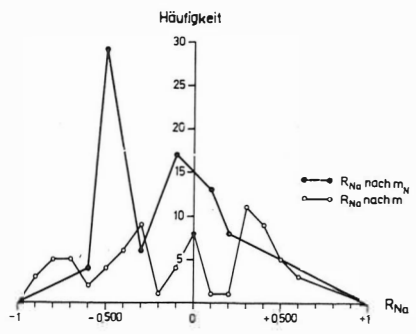
Wenn dagegen $R = -1$, sind Mächtigkeitsrangfolge der Salinarglieder in den Einzelbohrungen und Rangfolge der Salinarglieder in den Streuungsreihen entgegengesetzt, z.B.

Anhydritreihe	A 3	A 3 m	A 5 r	A 4	A 5
Rangfolge in Streuungsreihe	1	2	3	4	5
Rangfolge der Mächtigkeiten in Bohrung	5	4	3	2	1

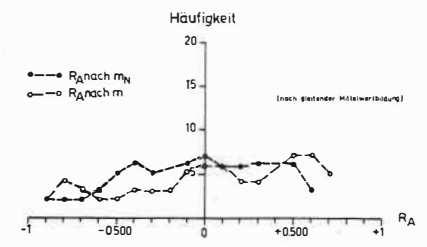
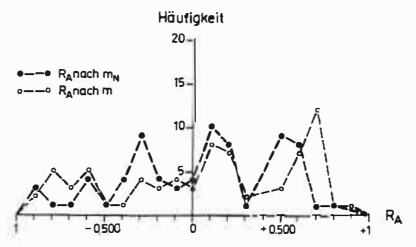
Die Zwischenwerte erlauben eine relative Abschätzung der Ähnlichkeiten zwischen den zu vergleichenden Rangfolgen. Die errechneten Rangkorrelationskoeffizienten liegen zwischen den Extremwerten

$$-0,900 \text{ und } +0,600 \text{ für } R_{Na},$$

$$-0,900 \text{ und } +0,900 \text{ für } R_A.$$



Halite (R_{Na})



Anhydrite (R_A)

Abb. 21
 Häufigkeitsverteilung
 Rangkorrelationskoeffizienten (nach m_T und m_N)
 Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen

Nach der Häufigkeitsverteilung (gleitende Mittelwertbildung) der Rangkorrelationskoeffizienten (Abb. 21) konzentrieren sich die R_{Na} im negativen Bereich; demgegenüber liegen die meisten R_A im positiven Bereich. Generell zeigen die Anhydrite also eine relativ bessere Rangkorrelation als die Halite, d.h., die Abweichungen der Anhydrit-Mächtigkeitserangfolge von der Rangfolge der Anhydrite in der Streuungsreihe sind geringer als bei den Haliten.

Stellt man die Rangkorrelationskoeffizienten in Isolinienkarten dar (Abb. 22 und 23), so zeigen sich folgende Beziehungen zwischen Rangkorrelation und Strukturlage der Bohrungen:

1. Im Topbereich der Strukturen Reinkenhagen und Grimmen besteht für die Halite eine relativ gute Rangkorrelation (R+), in den Zwischensenken westlich und östlich Reinkenhagen und an den Flanken der Struktur Reinkenhagen eine schlechte (R-).
2. Die Rangkorrelation der Anhydrite zeigt prinzipiell ein ähnliches Bild, lediglich in den Topbereichen der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen bestehen Unterschiede auf Grund wechselnder, d.h. positiver und negativer Rangkorrelation.

5.4.4. Vergleich der Rangkorrelationskoeffizienten mit Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten und ihre geologische Interpretation

Der Rangkorrelationskoeffizient R gibt nur eine m i t t l e r e Beziehung zwischen Streuungsreihe und normierten Mächtigkeiten der Halit- bzw. Anhydritabfolge an. Um erkennen zu können, welchen Einfluß das e i n z e l n e Salinarglied auf den Rangkorrelationskoeffizienten ausübt bzw. inwieweit die einzelnen Salinarglieder von ihrem Rang im Modell abweichen, wurden die Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten δm mit dem Rangkorrelationskoeffizienten (Abb. 24 - 28¹⁾) verglichen. Dabei können folgende Fälle unterschieden werden:

		Strukturgebiet
Fall 1		
$R+ - \delta m$	Bei genereller Übereinstimmung zwischen Streuungsreihe und Mächtigkeitserangfolge und vorwiegend reduzierten Mächtigkeiten	Reinkenhagen-Top, Grimmen
Fall 2		
$R+ + \delta m$	Bei genereller Übereinstimmung zwischen Streuungsreihe und Mächtigkeitserangfolge und vorwiegend erhöhten Mächtigkeiten	Reinkenhagen-Top und -Flanken, Grimmen

1) In den Abbildungen 24 und 25 wurden die Bohrungen mit gleichem Verhalten der einzelnen Salinarglieder durch Schraffuren abgegrenzt.

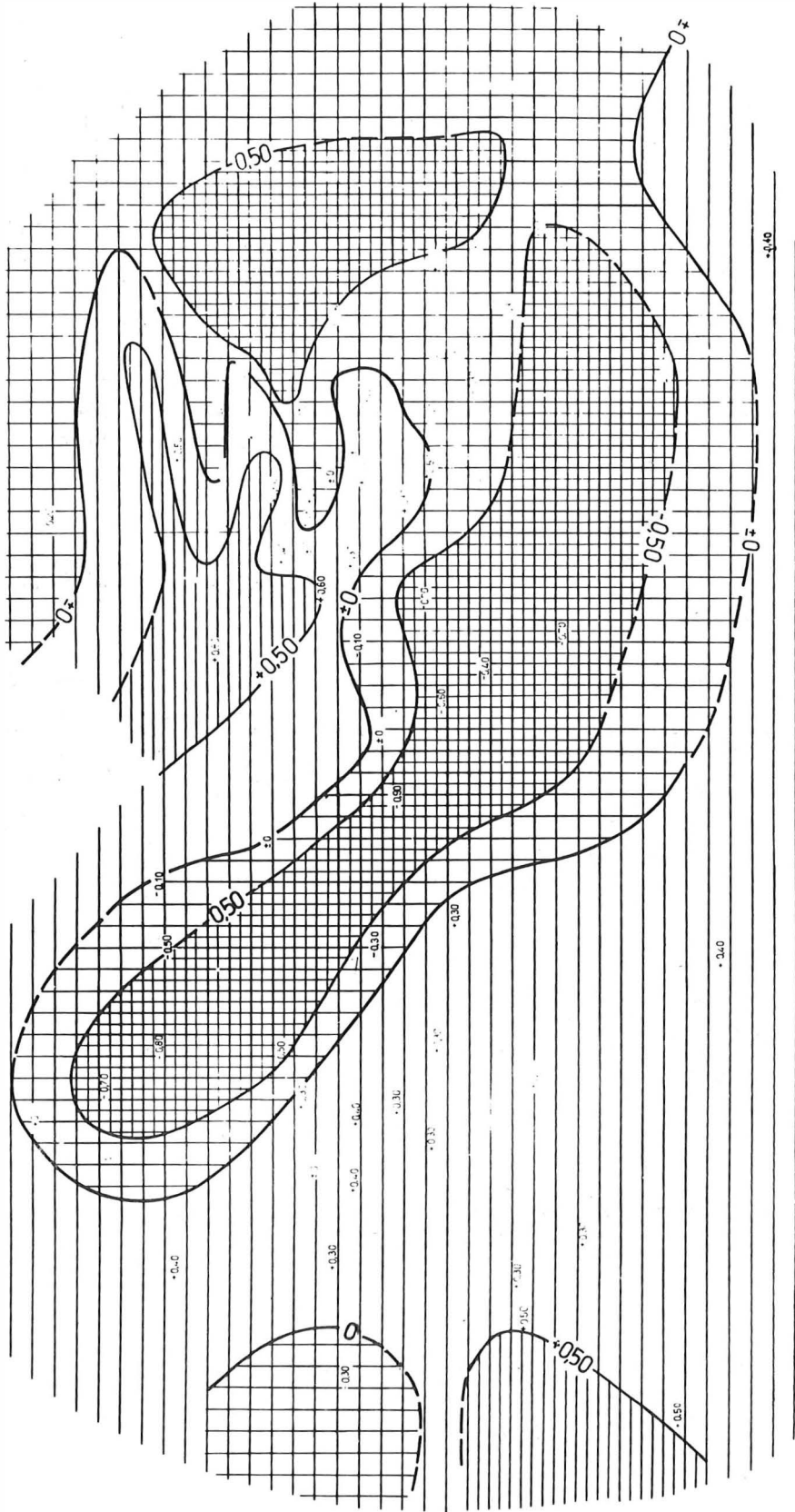


Abb. 22
Isolinienplan Rangkorrelationskoeffizient R_{Na}
Strukturbereich Grimmen - Reinkenlagen

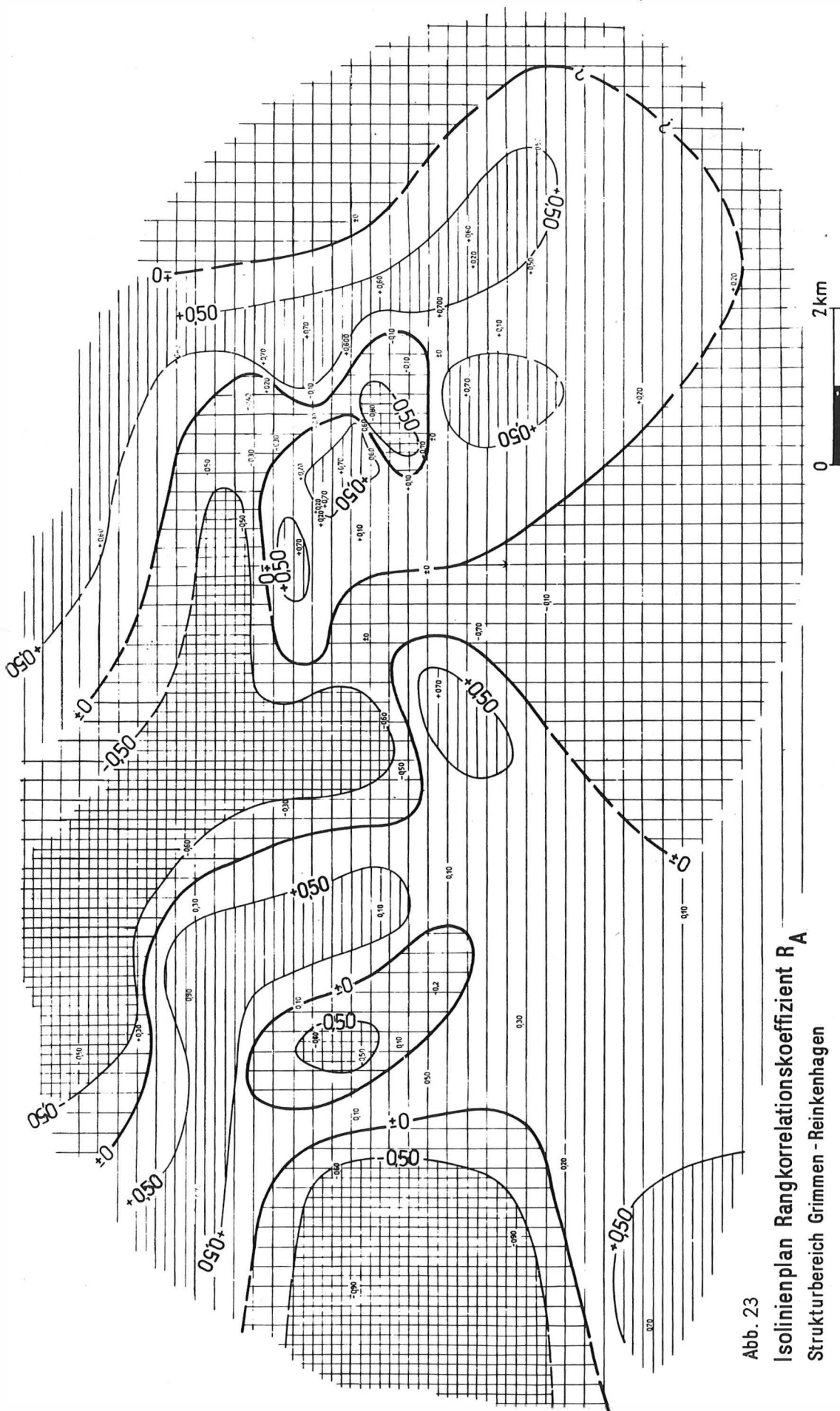


Abb. 23
Isolinienplan Rangkorrelationskoeffizient R
Strukturbereich Grimmen - Reinckenhagen

Fall 3

R- - δm	Bei genereller Nichtübereinstimmung zwischen Streuungsreihe und Mächtigkeitsrangfolge und vorwiegend reduzierten Mächtigkeiten	Zwischensenken, Reinkenhagen- Flanken, Grimmen
-----------------	--	---

Fall 4

R- + δm	Bei genereller Nichtübereinstimmung zwischen Streuungsreihe und Mächtigkeitsrangfolge und vorwiegend erhöhten Mächtigkeiten	Zwischensenken, Reinkenhagen- Flanken, Grimmen
-----------------	---	---

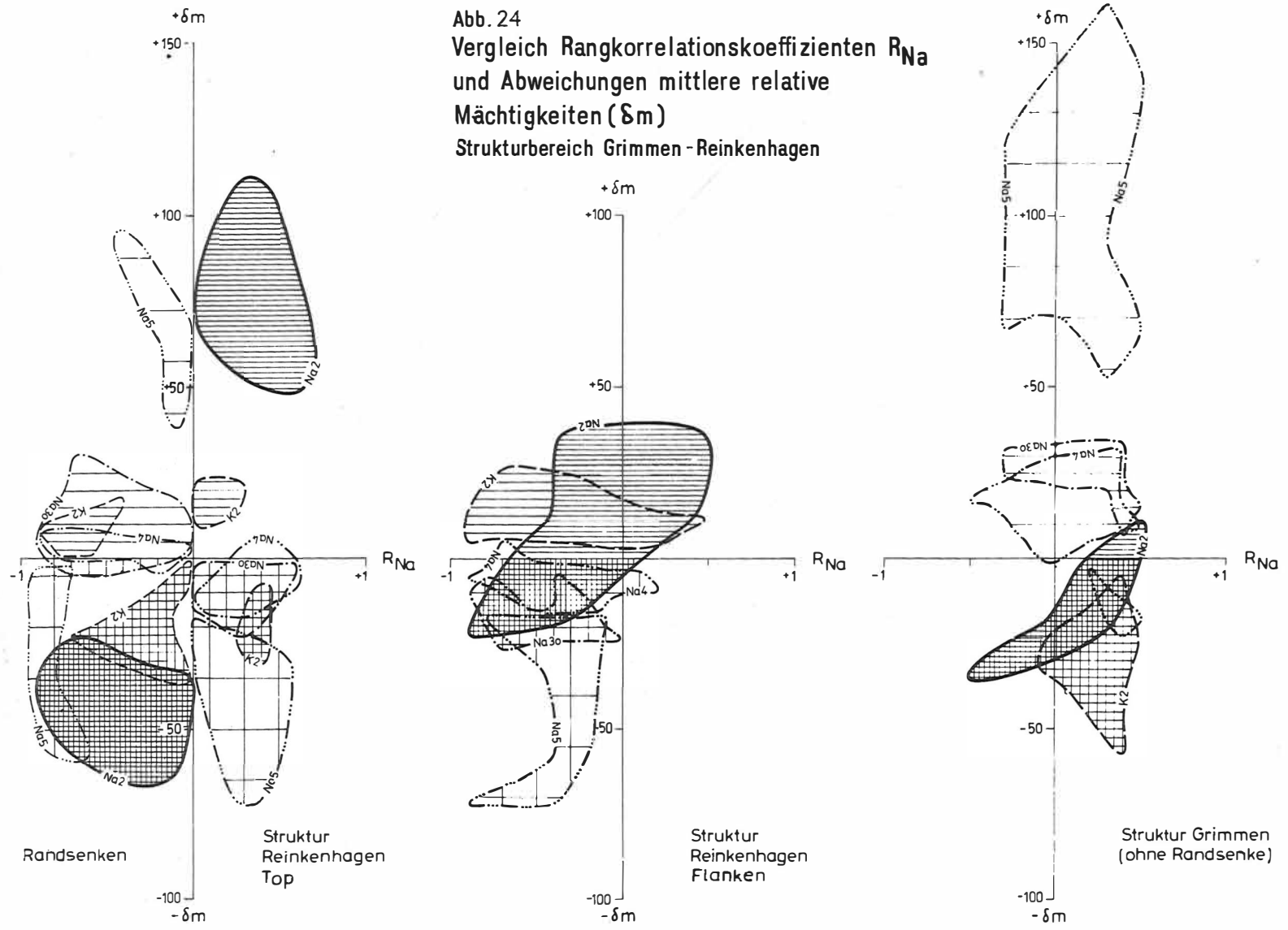
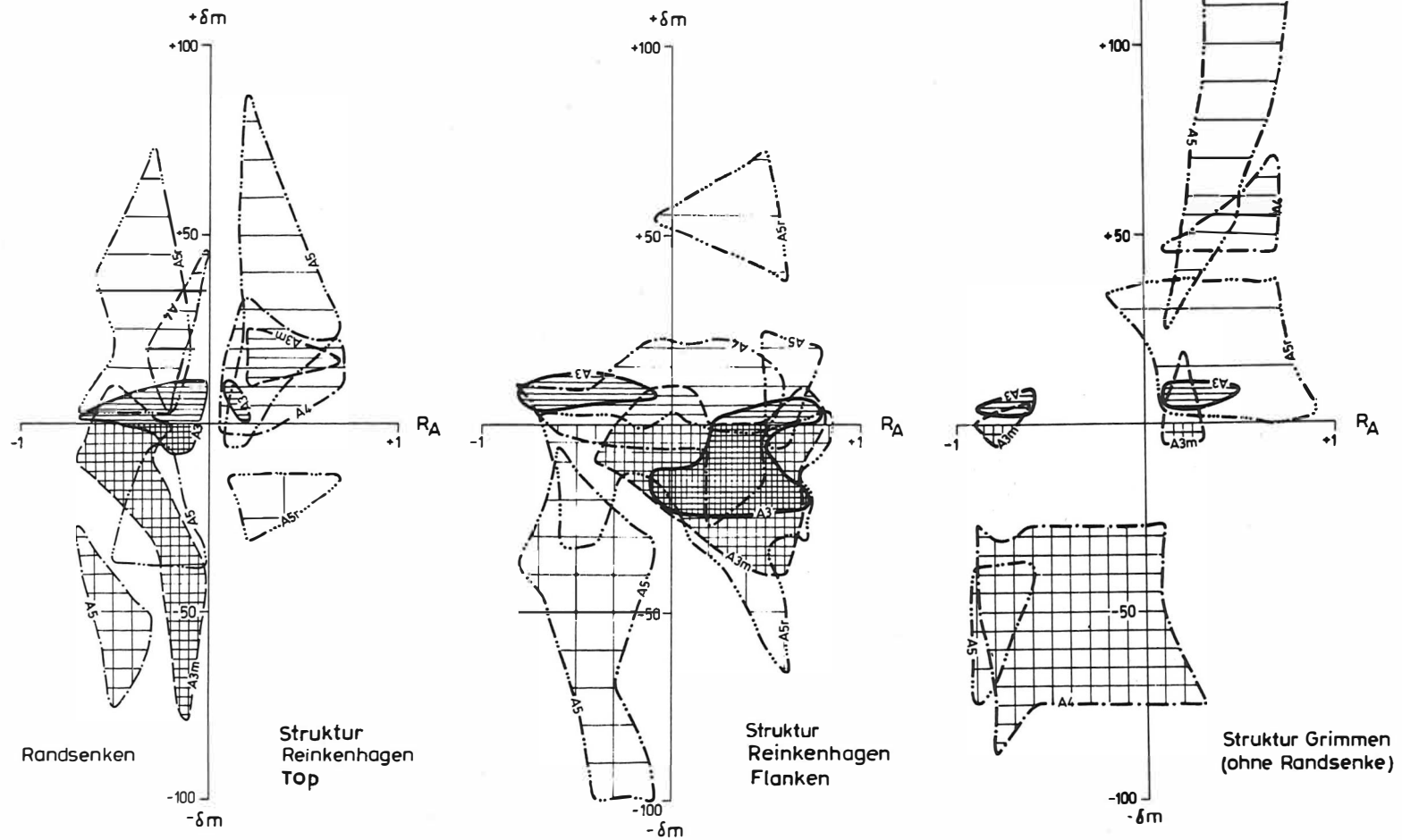


Abb. 25

Vergleich Rangkorrelationskoeffizienten R_A
 und Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten (δm)

Strukturbereich Grimmen - Reinkenhagen



Tab. 15. Vergleich der Rangkorrelationskoeffizienten R_{Na} und R_A mit Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten δm (nach Abb. 24 und 25)

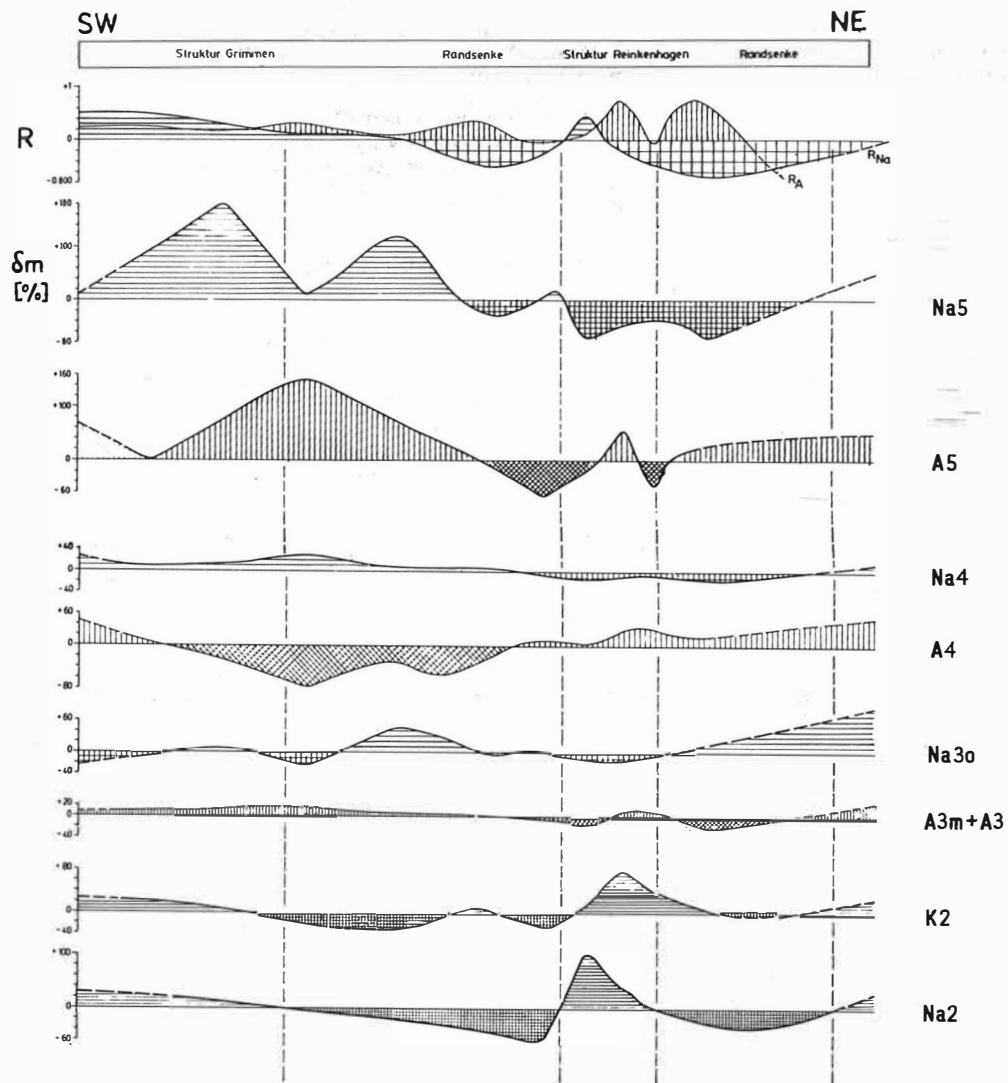
Rangkorrelation	Tendenz der Abweichungen	Salinarglied	Strukturgebiet	
R+	Fall 1	$-\delta m$	A 5 r; Na 3 o - Na 4 - Na 5 K 2	Rehg-Top
	Fall 2	$+\delta m$	A 3 - A 3 m - A 4 - A 5; Na 2 A 3 - A 3 m - A 5 r - A 4 - A 5 Na 2	Rehg-Top Gm Rehg-Flanken
		$+/-\delta m$	K 2 Na 5 - Na 2 A 3 - A 3 m - A 5 r - A 4 - A 5	Rehg-Top Gm Rehg-Flanken
	R-	Fall 3	$-\delta m$	A 5; Na 2 A 5; Na 3 o - Na 4 - Na 5 A 4 - A 5
$+\delta m$			A 5 r A 3; K 2 A 3	Zwischensenken Rehg-Flanken Gm
		$+/-\delta m$	A 3 - A 3 m - A 4; K 2 - Na 3 o - Na 4 - Na 5 A 3 m; Na 2 A 3 m	Zwischensenken Rehg-Flanken Gm

Entsprechend Tab. 15 verhalten sich die Mächtigkeiten der Salinarglieder in den Strukturbereichen wie folgt:

Im Top der Struktur Reinkehagen (Abb. 24, 27, 27) entspricht der Rang der relativen Mächtigkeiten der Salinarglieder zwar generell ihrem Rang in den Streuungsreihen (R+), im einzelnen gibt es aber Abweichungen der Mächtigkeits-Rangplätze gegenüber den Rangplätzen der Streuungsreihen (Kalilager Staßfurt K 2, Ohre-Steinsalz Na 5, Hauptanhydrit A 3, Ohre-Anhydrit A 5); d.h., die Mächtigkeiten sind entweder größer oder aber kleiner als erwartet. Gleichzeitig werden in der Halit- und der Anhydrit-Reihe die Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten von Kalilager Staßfurt K 2 zu Staßfurt-Steinsalz Na 2 bzw. Hauptanhydrit A 3 zu Ohre-Anhydrit A 5 mit abnehmenden mittleren absoluten Mächtigkeiten generell größer. Im einzelnen sind die relativen Mächtigkeiten von oberem Leine-Steinsalz Na 3 o, Aller-Steinsalz Na 4, Ohre-Steinsalz Na 5 und Grenzanhydrit A 5 r reduziert (Tab. 15: $-\delta m$), die von Staßfurt-Steinsalz Na 2, Hauptanhydrit A 3, Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4 und Ohre-Anhydrit A 5 dagegen erhöht (Tab. 15: $+\delta m$). Die relativen Mächtigkeiten des Kalilagers Staßfurt K 2 zeigen kein einheitliches Verhalten ($+\delta m$, $-\delta m$).

In den **Z w i s c h e n s e n k e n** (Randsenken) (Abb. 24, 25, 27) weicht der Rang der relativen Mächtigkeiten der Salinarglieder - im Unterschied zum Top von Reinkenhagen - **g e n e r e l l** von ihrem Rang in den Streungsreihen ab (R-). Im einzelnen trifft das für Staßfurt-Steinsalz Na 2, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o, Kalilager Staßfurt K 2, Ohre-Anhydrit A 5 und Hauptanhydrit A 3 zu. Die Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten werden in der Reihenfolge Kalilager Staßfurt K 2 zu Staßfurt-Steinsalz Na 2 bzw. Hauptanhydrit A 3 zu Ohre-Anhydrit A 5 bei abnehmenden mittleren absoluten Mächtigkeiten generell **k l e i n e r**. Auch das steht im Gegensatz zum Top von Reinkenhagen. In den Zwischensenken sind die Mächtigkeitsschwankungen von Kalilager Staßfurt K 2, oberem Leine-Steinsalz Na 3 o, Hauptanhydrit A 3 und Anhydritmittel A 3 m am größten. Reduziert (- δm) sind vor allem die relativen Mächtigkeiten von Staßfurt-Steinsalz Na 2 und Ohre-Anhydrit A 5, während die übrigen Salinarglieder kein einheitliches Verhalten erkennen lassen.

An den **F l a n k e n** der Struktur Reinkenhagen und im Bereich der Struktur Grimmen (Abb. 24, 25, 27) entspricht der Rang der relativen Mächtigkeiten der Salinarglieder nur in Teilgebieten ihrem Rang in den Streungsreihen (R+). Die Abweichungen der Mächtigkeits-Rangplätze von denen der Streungsreihen sind in Grimmen groß für Staßfurt-Steinsalz Na 2, Hauptanhydrit A 3, Pegmatitanhydrit A 4 und Ohre-Anhydrit A 5, an den Flanken der Struktur Reinkenhagen groß für Kalilager Staßfurt K 2, Ohre-Steinsalz Na 5, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o, Staßfurt-Steinsalz Na 2, Hauptanhydrit A 3, Anhydritmittel A 3 m, Grenzanhydrit A 5 r und Ohre-Anhydrit A 5. Im einzelnen ist das Verhalten der relativen Mächtigkeiten der Salinarglieder uneinheitlich (+ δm , - δm) (Interpretation im folgenden).



Positive Abweichungen
mittlere relative Mächtigkeiten

Negative Abweichungen
mittlere relative Mächtigkeiten

"Akkumulation"

"Abwanderung"



Halit



Anhydrit



0 2km

Abb. 26

Vergleich Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten (δm) Salinar und Rangkorrelationskoeffizienten R_{Na} , R_A
Strukturbereich Grimmen - Reinkenhagen

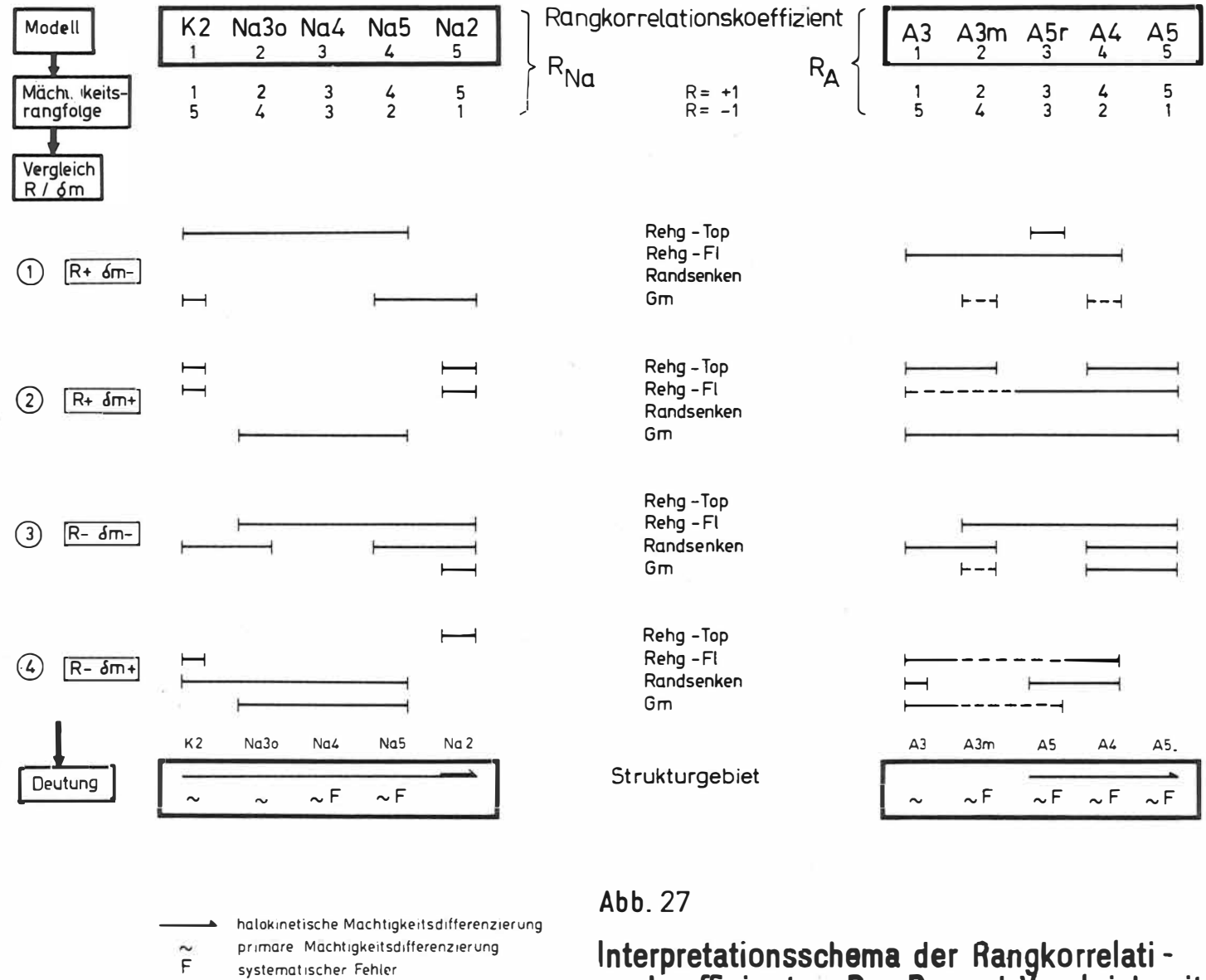


Abb. 27

Interpretationsschema der Rangkorrelationskoeffizienten R_{Na} , R_A und Vergleich mit Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten (δm)

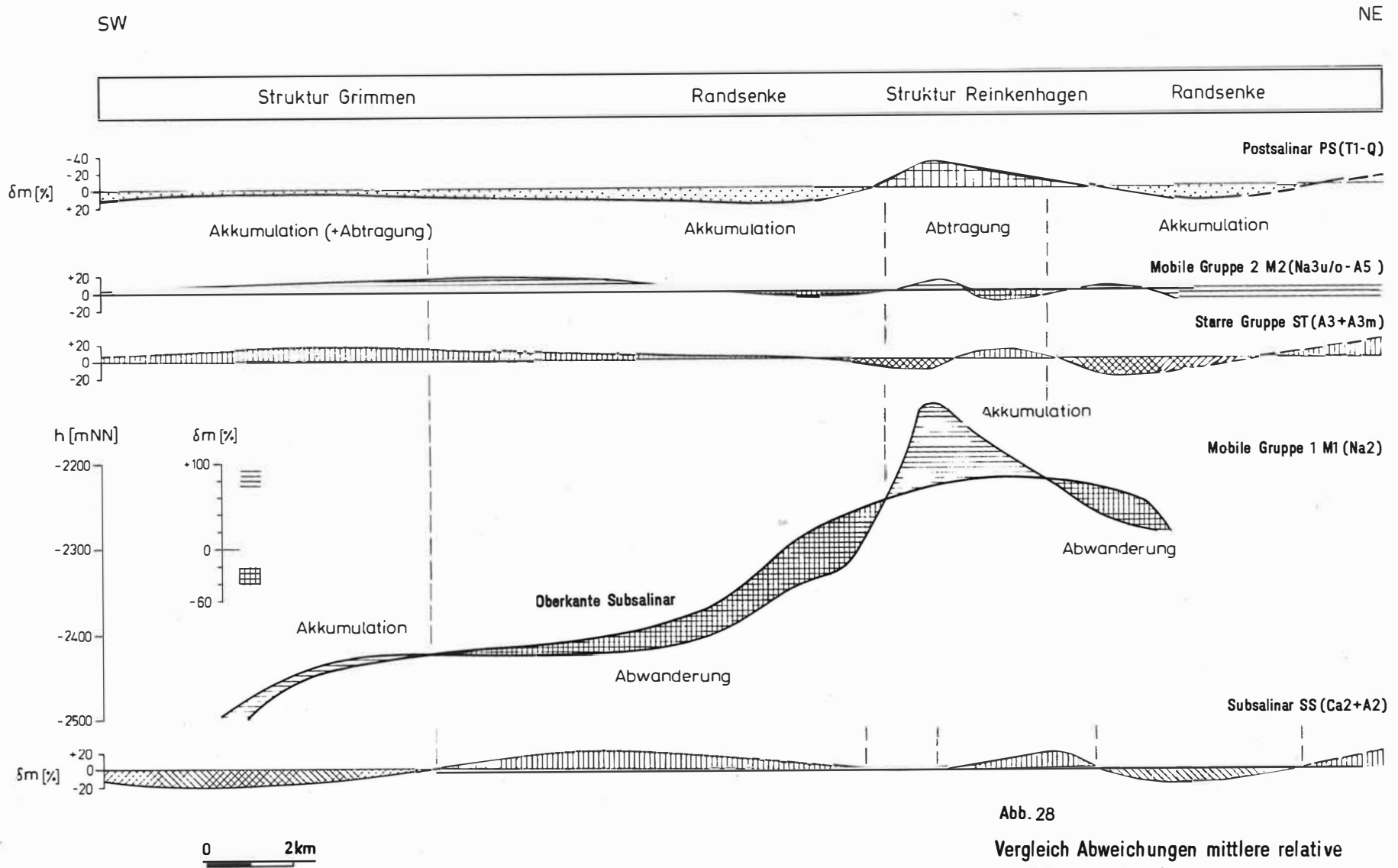


Abb. 28

Vergleich Abweichungen mittlere relative
Mächtigkeiten (δm)
Postsalinar - Salinar (M2, ST, M1) - Subsalinar
(Anteil Ca2+A2)
Schnitt B

Tab. 16. Vergleich von Streuung (s), mittlerer absoluter Mächtigkeit (\bar{M}) mit Rangkorrelation (R) und Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten (δm)

Salinar- glied	Streuung s \bar{M}		Gruppe n. s/\bar{M}	Rang- korrel.	δm	Strukturgebiet
Na 2	65	543	1a	R+	+ +/-	Rehg-Top u. Flanken Grimmen
				R-	- +/-	Zwischensenken Rehg-Flanken
A 3	6	69	1b	R+	+ +/-	Rehg-Top, Gm Rehg-Flanken
				R-	+ +/-	Rehg-Flanken, Gm Zwischensenken
K 2	16	49	2	R+	- +/-	Gm Rehg-Top
				R-	+ +/-	Rehg-Flanken Zwischensenken
Na 3 o	19	36	2	R+	- +	Rehg-Top Gm
				R-	- +/-	Rehg-Flanken Zwischensenken
Na 4	20	37	2	R+	- +	Rehg-Top Gm
				R-	- +/-	Rehg-Flanken Zwischensenken
A 3 m	14	10	3	R+	+ +/-	Rehg-Top, Gm Rehg-Flanken
				R-	+/-	Zwischensenken Rehg-Flanken
A 4	21	4	3	R+	+ +/-	Rehg-Top, Gm Rehg-Flanken
				R-	- +/-	Gm Zwischensenken
A 5	23	2	3	R+	+ +/-	Rehg-Top, Gm Rehg-Flanken
				R-	-	Zwischensenken Gm, Rehg-Flanken
Na 5	24	4	3	R+	- +/-	Rehg-Top Gm
				R-	- +/-	Rehg-Flanken Zwischensenken
A 5 r	16	3	3	R+	- + +/-	Rehg-Top Gm Rehg-Flanken
				R-	+	Zwischensenken

5.4.4.1. Staßfurt-Steinsalz Na 2

Für die Mächtigkeitsverteilung des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 ergibt sich auf Grund seiner hohen Teilbeweglichkeit bei sehr großen Mächtigkeiten (Gruppe 1 a nach Tab. 13) prinzipiell das gleiche Bild, wie aus der traditionellen Mächtigkeitsanalyse abgeleitet (s. Abschnitt 6.2.). Das Staßfurt-Steinsalz Na 2 ist auf Grund seiner hohen Teilbeweglichkeit in großem Umfange aus den Randsenken abgewandert und vor allem im Top von Reinkenhagen, anteilig im Top von Grimmen akkumuliert (Abb. 12 - 15).

Diese Beziehungen ergeben sich daraus, daß in den Randsenken, in Grimmen und an den Flanken von Reinkenhagen die Rangplätze u n t e r dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz liegen, d.h., seine Mächtigkeiten sind dort geringer, als nach dem Modell zu erwarten wäre. Im einzelnen sind seine Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 15, Abb. 26 - 28) im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell erhöht (+ δ m),
Reinkenhagen-Flanken	z.T. erhöht, z.T. reduziert (+ δ m, - δ m),
Zwischensenken	generell reduziert (- δ m),
Grimmen	z.T. erhöht, z.T. reduziert (+ δ m, - δ m).

5.4.4.2. Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2

Das K a l i l a g e r S t a ß f u r t K 2 ist im wesentlichen in den Strukturtops ausgedünnt bzw., anders ausgedrückt, nicht (Grimmen) oder nur in geringem Maße (Reinkenhagen-Top) akkumuliert. Aus den Zwischensenken ist das Kalilager Staßfurt K 2 z.T. ausgewandert und an den Flanken von Reinkenhagen angestaut (Abb. 12 - 15). In diesem Verhalten drückt sich seine gegenüber dem Staßfurt-Steinsalz Na 2 geringere Teilbeweglichkeit aus. Diese Beziehungen sind daran erkennbar, daß in allen Teilbereichen die Rangplätze ü b e r dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz liegen, d.h., seine Mächtigkeiten sind größer als erwartet. Im einzelnen sind seine Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 16, Abb. 26 - 28) im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell schwach erhöht (+ δ m),
Reinkenhagen-Flanken	generell erhöht (+ δ m),
Zwischensenken	z.T. reduziert (- δ m),
Grimmen	generell reduziert (- δ m).

Auf Grund der geringen Teilbeweglichkeit können die an den Flanken und Topbereichen der Strukturen Reinkenhagen und Grimmen erkennbaren Mächtigkeitsunterschiede des H a u p t a n h y d r i t s A 3 nicht durch halokinetische Massenverlagerungen wie beim Staßfurt-Steinsalz Na 2 erklärt werden. Sie müssen vielmehr auf primäre Mächtigkeitsunterschiede zurückgeführt werden. So deuten die erhöhten Hauptanhydrit-A-3-Mächtigkeiten in den Strukturtops auf die Existenz eines Hauptanhydrit-A-3-Walles hin (Abb. 12 - 15, 26 - 28). Diese Beziehungen sind daraus erkennbar, daß in allen Teilbereichen die Rangplätze ü b e r dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz liegen, d.h., seine Mächtigkeiten sind größer als erwartet. Im einzelnen sind seine Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 16, Abb. 26 - 28)

im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell erhöht (+6m),
Reinkenhagen-Flanken	z.T. erhöht, z.T. reduziert (+6m, -6m),
Zwischensenken	generell erhöht (+6m),
Grimmen	generell erhöht (+6m).

Das durch mittelgroße Teilbeweglichkeit gekennzeichnete obere Leine-Steinsalz Na 3 o ist bei der intensiven Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation im Top und an den Flanken von Reinkenhagen ausgedünnt. In der Struktur Grimmen und in der westlichen Zwischensenke ist bei wesentlich geringerer Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation bzw. intensiver Abwanderung eine Akkumulation des oberen Leine-Steinsalzes Na 3 o erfolgt (Abb. 12 - 15). Das wird daraus gefolgert, daß dort die Rangplätze über dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz liegen, d.h., die oberen Leine-Steinsalz-Na-3o-Mächtigkeiten sind größer als erwartet. Dementsprechend sind seine Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 16, Abb. 26 - 28) im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell reduziert (-6m),
Reinkenhagen-Flanken	generell reduziert (-6m),
Zwischensenken	generell erhöht (+6m),
Grimmen	generell erhöht (+6m).

Da das Aller-Steinsalz Na 4 analog dem oberen Leine-Steinsalz Na 3 o eine mittelgroße Teilbeweglichkeit aufweist, ähnelt sein Verhalten dem des oberen Leine-Steinsalzes Na 3 o. Analog dem oberen Leine-Steinsalz ist das Aller-Steinsalz Na 4 im Top von Reinkenhagen ausgedünnt. An den Flanken von Reinkenhagen und in den Zwischensenken scheinen die Aller-Steinsalz-Na-4-Mächtigkeiten nur wenig reduziert zu sein, während es im Bereich von Grimmen ebenso wie das obere Leine-Steinsalz Na 3 o angestaut ist (Abb. 12 - 15). Diese Schlüsse werden deshalb gezogen, weil die Rangplätze in Grimmen über, in Reinkenhagen unter dem lt. Streuungsreihe geforderten Rangplatz liegen, d.h., die Aller-Steinsalz-Na-4-Mächtigkeiten sind größer bzw. kleiner als erwartet. An den Flanken von Reinkenhagen und in den Zwischensenken entsprechen dagegen die angetroffenen Rangplätze generell den Rangplätzen des Streuungsmodells. Die Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 16, Abb. 26 - 28) sind im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell reduziert (-6m),
Reinkenhagen-Flanken	vorwiegend reduziert, z.T. erhöht (+6m, -6m),
Zwischensenken	z.T. erhöht, z.T. reduziert (+6m, -6m),
Grimmen	generell erhöht (+6m).

Die Interpretation der Mächtigkeitsverteilung des Ohre-Steinsalzes Na 5 hat vor allem die geringen Mächtigkeiten zu berücksichtigen. Seine mittelgroße Teilbeweglichkeit und seine hangende Stellung im Salinar lassen es aber als wahrscheinlich erscheinen, daß das Ohre-Steinsalz Na 5 im gesamten Bereich von Reinkenhagen ausgedünnt wurde, während es im Bereich Grimmen akkumulierte (Abb. 12 - 15). Demgegenüber sind seine Mächtigkeiten in den Zwischensenken halokinetisch wohl nur wenig verändert worden. Diese Folgerungen werden dadurch gestützt, daß die Rang-

plätze in den Bohrungen von Reinkenhagen u n t e r , in Grimmen ü b e r dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz liegen, d.h., die zu erwartenden Mächtigkeiten sind kleiner bzw. größer. In den Zwischensenken entspricht dagegen der Rang dem lt. Streuungsmodell geforderten Rangplatz. Die Abweichungen des Ohre-Steinsalzes Na 5 von den mittleren relativen Mächtigkeiten (Tab. 16, Abb. 26 - 28) sind im Teilbereich

Reinkenhagen-Top	generell reduziert (-8 m),
Reinkenhagen-Flanken	generell reduziert (-8 m),
Zwischensenken	z.T. erhöht, z.T. reduziert (+8 m, -8 m),
Grimmen	generell erhöht (+8 m).

Bei der Interpretation der geringen Mächtigkeiten von A n h y d r i t m i t t e l A 3 m , P e g m a t i t a n h y d r i t A 4 , O h r e - A n h y d r i t A 5 u n d G r e n z a n h y d r i t A 5 r ist ebenfalls der Einfluß der geringen absoluten Mächtigkeiten zu berücksichtigen. Die erhöhten Mächtigkeiten von Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit, Ohre-Anhydrit A 4 und Grenzanhydrit A 5 im Top der Strukturen Reinkenhagen und z.T. Grimmen (A 3 m, A 5 z.T.) können - trotz mittelgroßer Teilbeweglichkeit - möglicherweise als primär (Sulfatwall-Bildung?) angesehen werden (Abb. 12 - 15). Die Zwischensenken zeichnen sich dagegen durch geringere Mächtigkeiten aus. Demgegenüber muß für den Grenzanhydrit A 5 r auf Grund seiner hangenden Stellung im Salinar und unter Berücksichtigung seiner mittelgroßen Teilbeweglichkeit im Bereich von Reinkenhagen eine Ausdünnung angenommen werden, während er in Grimmen akkumuliert sein dürfte. Die Rangplätze von Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4 z.T. und Ohre-Anhydrit A 5 entsprechen generell dem lt. Streuungsreihe geforderten Rangplatz, d.h., die dort angetroffenen Mächtigkeiten stimmen generell mit den erwarteten überein. Die Rangplätze des Ohre-Anhydrites A 5 liegen u n t e r dem geforderten Rangplatz, d.h., seine Mächtigkeiten sind kleiner als erwartet. Die Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten der genannten Anhydrite in den Teilgebieten sind den Tab. 15 bzw. 16 (vgl. auch Abb. 26 - 28) zu entnehmen.

5.5. Teilzusammenfassung

Aus den Untersuchungen zum Strukturbau und zu den Mächtigkeitsverteilungen des Salinars im Bereich der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen, die mit Hilfe der Struktur- und Mächtigkeitsanalyse vorgenommen wurden, lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

1. Aus dem Vergleich der Tiefenlinienpläne zwischen der Basis Leine-Serie und der Basis Staßfurt-Steinsalz Na 2, d.h. höherem Salinar und Subsalinar, geht hervor, daß eine deutliche *D i s h a r m o n i e* zwischen Subsalinar einerseits und Salinaranteil oberhalb Na 2 sowie tieferem Postsalinar andererseits besteht. Die Lage der Strukturen im Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 und in diesem selbst fällt jedoch mit der der Subsalinar-Hochlagen Grimmen und Reinkenhagen generell zusammen.

2. Nach der Mächtigkeitsverteilung und der Streuung zu urteilen, deren Größe nicht allein eine Funktion der Teilbeweglichkeit, sondern auch der Größe der absoluten Mächtigkeiten der Salinarglieder ist, zeigt das Salinar-Teilstockwerk eine **V e r t i k a l g l i e d e r u n g** nach Teilbeweglichkeitsunterschieden in zwei Subteilstockwerke:

- oberes Subteilstockwerk: Kalilager Staßfurt K 2 bis Grenzanhydrit A 5 r - mittelgroße Streuung, mittelgroße bis geringe Teilbeweglichkeit,
- unteres Subteilstockwerk: Staßfurt-Steinsalz Na 2 - sehr große Streuung, hohe Teilbeweglichkeit bei sehr großer Mächtigkeit.

Innerhalb des oberen Subteilstockwerkes ist eine weitere Differenzierung der Salinarglieder nach ihrer Teilbeweglichkeit unter Berücksichtigung ihrer absoluten Mächtigkeiten erkennbar:

- Halite oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 (Na 4, Na 3 o, K 2) bei mittelgroßer Mächtigkeit mittelgroße Streuung = mittelgroße Teilbeweglichkeit,
- Anhydrite oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 bei kleiner Mächtigkeit große Streuung = mittelgroße Teilbeweglichkeit (jedoch unter Beachtung des systematischen Fehlers),
- Ausnahme: Hauptanhydrit A 3 bei großer Mächtigkeit kleine Streuung = geringe Teilbeweglichkeit.

3. Aus den Diagrammen über Beziehungen zwischen den Mächtigkeiten der Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 und dem halokinetisch verformten Staßfurt-Steinsalz Na 2 ergibt sich als Ausdruck des **F l i e ß v e r h a l t e n s** die Beziehung, daß diese höheren Salinarglieder um so geringmächtiger sind, je mächtiger das Staßfurt-Steinsalz Na 2 ist.

4. Im einzelnen zeigt die Mächtigkeitsverteilung der Salinargruppen, bezogen auf die **S t r u k t u r l a g e**, folgendes Bild: Der Na-2-Akkumulation über der Subsalinar-Hochlage Reinkenhagen entspricht ein Mächtigkeitsminimum des Salinaranteiles oberhalb Na 2; ebenso entspricht dem Na-2-Mächtigkeitsminimum über der subsalinaren Depression (Zwischensenke) ein Mächtigkeitsminimum des Salinaranteils oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2. Über der undeutlichen positiven Na-2-Mächtigkeitsanomalie oberhalb der Subsalinar-Hochlage Grimmen liegt jedoch ein Mächtigkeitsmaximum des Salinaranteiles oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2.

5. Im Zuge der Halokinese haben sich die einzelnen Salinarglieder wie folgt verhalten:

- a) Während das hoch teilbewegliche Staßfurt-Steinsalz Na 2 aus den umgebenden Zwischensenken in die Tops der Strukturen, vor allem Reinkenhagen und in geringerem Maße Grimmen, eingewandert ist, wurden die Mächtigkeiten des

Kalilagers Staßfurt K 2 in geringerem Maße beeinflusst. Es ist aus den Zwischensenken und z.T. den Tops abgewandert und an der Flanke von Reinkenhagen angestaut.

- b) Die Mächtigkeiten des Hauptanhydrits A 3 an den Flanken und in den Topbereichen der Strukturen werden auf Grund seiner geringen Teilbeweglichkeit als primär angesehen und die erhöhten Mächtigkeiten in den Strukturtops als Hauptanhydrit-A-3-Wall gedeutet, der auch aus der regionalen Mächtigkeitsverteilung bekannt ist.
 - c) Oberes Leine-Steinsalz Na 3 o und Aller-Steinsalz Na 4 sind bei der mittelgroßen Teilbeweglichkeit im Top der Strukturen Reinkenhagen bei der intensiven Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation ausgedünnt, während in der Struktur Grimmen bei wesentlich geringerem Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Anstau eine gewisse Akkumulation möglich erscheint.
 - d) Die erhöhten Mächtigkeiten der Anhydrite Anhydritmittel A 3 m, Pegmatit-Anhydrit A 4 und Ohre-Anhydrit A 5 in den Strukturtops können als primär und damit als Hinweis auf eine Wallbildung angesehen werden. Doch ist bei den geringen Mächtigkeiten der systematische Fehler wahrscheinlich von großem Einfluß.
6. Zusammenfassend ergibt sich hinsichtlich der angewandten Methodik, daß die erweiterte Mächtigkeitsanalyse auf *q u a n t i t a t i v e* Weise die gleichen Ergebnisse liefert wie die konventionelle Mächtigkeits- und Strukturanalyse.

6. Strukturbaue und räumlich-zeitliche Entwicklung des Postsalinars
(Mächtigtkeitsanalyse des Postsalinars)

6.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Aufbauend auf der Analyse des Istzustandes (Strukturanalyse, Abschnitt 6.2.), bieten die anschließende Mächtigtkeitsanalyse im engeren Sinne und die paläotektonische Analyse (Abschnitt 6.3.) des Postsalinars die Möglichkeit, die räumlich-zeitliche Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenhausen, d.h. deren Strukturgenese, zu verfolgen. Die Postsalinar-Entwicklung ist eng mit der postsedimentären Entwicklung des zuvor untersuchten Salinars verknüpft, da sie eine Funktion nicht nur tektonischer, sondern auch halokinetischer Vorgänge ist. Damit lassen sich aus der Untersuchung der Postsalinar-Entwicklung ihrerseits Rückschlüsse auf das Salinar ziehen. Grundlage der Untersuchung des Postsalinars bilden wiederum die absoluten, d.h. erbohrten Mächtigtkeiten. Um die Postsalinar-Entwicklung zu kennzeichnen, kamen neben traditionellen Darstellungsformen auch neue zur Anwendung (vgl. Abschnitt 3.2.).

Der Analyse des Strukturbaues und der räumlich-zeitlichen Entwicklung liegen die in Tab. 17 zusammengestellten Karten, Diagramme und Schnitte im Ausgangsmaßstab 1 : 25 000 bzw. im Endmaßstab 1 : 100 000 zugrunde.

Tab. 17. Übersicht über die angefertigten Tiefenlinienpläne, Karten der absoluten Mächtigtkeiten, Karten der Abweichungen von mittleren relativen Mächtigtkeiten, Paläostrukturkarten und abgeleiteten Darstellungen des Postsalinars

Tiefenlinien der Basis	Absolute Mächtigtkeiten	Abweichungen von mittleren relativen Mächtigtkeiten	Paläostrukturkarten Oberfläche Zechstein zur Zeit Ende
Känozoikum Kz	Toarce J 1 tt	dito	-
Jura J 1	Domer J 1 d	dito	Domer J 1 d
Keuper T 3	Obersinemur J 1 s 2	dito	Obersinemur J 1 s 2
Muschelkalk T 2	Rät T 3.3	dito	Oberer Keuper T 3.3
Oberer Buntsandstein T 1.3	Mittlerer Keuper T 3.2	dito	Mittlerer Keuper T 3.2
Mittlerer Buntsandstein T 1.2	Unterer Keuper T 3.1	dito	Unterer Keuper T 3.1
	Mittlerer Muschelkalk T 2.2	dito	Mittlerer Muschelkalk T 2.2
	Mittlerer Buntsandstein	dito	Mittlerer Buntsandstein T 1.2
Unterer Buntsandstein T 1.1 (Abb. 4)	Unterer Buntsandstein T 1.1	dito	-
Abbildungen:	Postsalinar PS (Abb. 6, 29)	dito (10, 28, 33 - 36)	- (Abb. 30)

Diagramme der zeitlichen Entwicklung (Abb. 37 - 42)

- mittlere absolute Mächtigtkeiten
- mittlere relative Mächtigtkeiten
- maximale und minimale relative Mächtigtkeiten
- mittlere Abweichungen von relativen Mächtigtkeiten
- tektonische Aktivität K_1
- tektonischer Differenzierungsgrad K_3

Paläotektonische Schnitte der Zechstein-Oberfläche und Entwicklung der Zechstein-Oberfläche vom Mittleren Buntsandstein T 1.2 bis Domer J 1 d (Abb. 31)

6.2. Tiefenlage der Postsalinarserien

Das Relief der Basisfläche Känozoikum (Abb. 4, Tab. 18) im Bereich der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen, das der Oberfläche Lias entspricht, ist relativ stark bewegt. Das mittlere Niveau liegt bei etwa -50 m NN, von dem es Abweichungen zwischen -10 und -210 m NN gibt. Trotz der Reliefdifferenzierung ist im großen die gleiche Gliederung wie in den älteren Bezugsflächen, wie z.B. Muschelkalk und Unterer Buntsandstein, zu erkennen. Danach gliedert sich das Untersuchungsgebiet in die Strukturen Grimmen und Reinkenhagen sowie in eine zwischen beiden Strukturen liegende Zwischensenke. Die Konturen der Strukturen, wie sie durch die tieferen Bezugsflächen charakterisiert werden, sind nur im Bereich der Struktur Reinkenhagen und der westlich anschließenden Zwischensenke wiederzuerkennen. Das unruhige Relief der Basisfläche Känozoikum dürfte auf neotektonische Bewegungen bzw. auf glazigene Stauchungs- und Erosionsvorgänge zurückzuführen sein.

Die Struktur Reinkenhagen bildet ein Hochgebiet, das bis ca. 40 m über das mittlere Niveau ansteigt. Ein weiterer Bereich mit Abweichungen vom Normalniveau liegt im Südteil des Strukturgebietes Grimmen (Anstieg bis -31 m NN). Die größten Absenkungsbeträge liegen im Gebiet zwischen den Strukturen Grimmen und Reinkenhagen (Zwischensenke), umfassen aber nicht die gesamte ältere Zwischensenke; auffällig ist der NE-SW-Verlauf der Isolinien.

In der Basisfläche Jura (Abb. 4, Tab. 18) stellen die Strukturen Grimmen (Antiklinale) und Reinkenhagen (flankengestörte Antiklinale) zwei deutliche Hochlagen dar, wobei der Topbereich von Grimmen um 200 m tiefer als der von Reinkenhagen liegt. Beide Strukturen werden durch eine Depression von ca. 200 m und die daran anschließende Reinkenhagener Störung getrennt. Wie anhand der Tiefenlinienpläne der Basisflächen Jura und Känozoikum abgeleitet werden kann, besteht eine gewisse Disharmonie der Strukturpläne, die sich in dem unterschiedlichen Isohypsenbild äußert.

In der Basisfläche Keuper (Abb. 4, Tab. 18) ist die Lage der Topbereiche etwa die gleiche wie in der Basisfläche Jura, nur ist der Top von Grimmen von SE etwas nach NE verschoben. Generell sind die Flanken der Strukturen steiler und die Strukturamplituden erheblich größer. Das gilt auch für die Sprunghöhen an der Reinkenhagener und der Reinberger Störung westlich bzw. östlich Reinkenhagen. Zwischen den Tiefenlinienplänen der Basisflächen Keuper und Jura bestehen Unterschiede infolge der Intra-Keuper-Bewegungen an den Störungen, der Salinar-Akkumulation von Reinkenhagen und Grimmen bzw. der Abwanderung von Salinar und erhöhter Keupermächtigkeiten in den Zwischensenken.

Die Tiefenlinienpläne der Basisflächen Muschelkalk, Röt, Mittlerer Buntsandstein und der Basisfläche Buntsandstein (=Oberfläche Zechstein; Abb. 4, Tab. 16) ähneln einander sehr. Die Toplagen der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen liegen etwa an gleicher Stelle; der Top von Reinkenhagen verschiebt sich etwas nach W, und zwar dadurch bedingt, daß die Reinkenhagener Störung nach W einfällt und das unter der Störungsfläche gelegene Topgebiet bei dieser Darstellung freigelegt wird. Die Amplitude der Struktur Reinkenhagen ist größer als in der Basis-

fläche Keuper. Die Amplitude der Struktur Grimmen wächst bis zu einem Maximum in der Basisfläche Röt, wird aber im Gegensatz zu Reinkenlagen in den älteren Basisflächen wieder kleiner.

Tab. 18. Amplituden der Strukturen Grimmen und Reinkenlagen sowie Sprunghöhen an der Reinkenlagener Störung

	Amplituden		Sprunghöhe an		Sonstiges
	Struktur Grimmen [m]	Struktur Reinkenlagen [m]	der Reinkenlagener Störung N [m]	S [m]	
Basis Kz	ca. 20	ca. 40	?	-	
Basis J	ca. 70	ca. 250	500	150	Sprunghöhe an der Reinberger Störung ca. 150 m
Deutliche Aktivität der Strukturherausbildung u. Bruchtektonik					
Basis T 3	ca. 180	ca. 450	1000	150	
Basis T 2	ca. 180	ca. 450	1000	150	Stillstandsperiode
Basis T 1.3	ca. 200	ca. 500	1000	150	
Basis T 1.2	ca. 170	ca. 550	1000	150	
Basis T 1.1	ca. 160	ca. 600	1000	150	

Amplitude = Teufenunterschied zwischen höchster und tiefster geschlossener Stratoisohypse des jeweiligen Tiefenlinienplanes

6.3. Räumlich-zeitliche Entwicklung des Postsalinars (Mächtigkeits- und Paläostrukturanalyse)

Der Schwerpunkt der Mächtigkeits- und Paläostrukturanalyse liegt vor allem bei der Rekonstruktion des Werdeganges der Strukturen Grimmen und Reinkenlagen, bezogen auf das heutige Strukturbild. Betont werden die

- unterschiedliche Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenlagen,
- Bildung und Verlagerung der Strukturtops sowie Randsenken,
- Postumität des Beanspruchungsplanes,
- Aktivitätsperioden.

Die strukturelle Entwicklung des Postsalinars lief in einzelnen Etappen ab, wie der Vergleich der Tiefenlinienpläne ergab. Nunmehr wird zusammenfassend die Mächtigkeitsentwicklung der einzelnen Schichtpakete zur Charakterisierung des synsedimentären Anteiles während dieser Etappen beschrieben; zusätzliche Einzelheiten sind den Abschnitten 6.3.1. und 6.3.2. zu entnehmen.

Die folgenden Ausführungen basieren, neben den Mächtigkeitskarten (Abb. 29), Paläostrukturkarten (Abb. 30), paläotektonischen Schnitten (Abb. 31) und Absenkungsdiagrammen (Abb. 32), vor allem auf den Karten der Abweichungen von den mittleren relativen Mächtigkeiten δm , die jedoch nur eine methodische Zwischentappe darstellen und im einzelnen nicht gesondert dokumentiert wurden. Zusammengefaßt für einzelne Zeitabschnitte sind die Linien größter positiver und negativer Abweichung dargestellt (Abb. 33 - 36).

Bei der folgenden Beschreibung werden, wie in der Strukturanalyse, die Strukturen Grimmen und Reinkenhagen, die Zwischensenke und eine Senke östlich Reinkenhagen aus-
geschieden. Diese die Strukturen umgebenden Randsenken werden durch das Untersuchungs-
gebiet nur teilweise erfaßt.

Untere Trias bis Obere Trias

Nach der Verteilung der absoluten Mächtigkeiten (Abb. 29) des U n t e r e n
B u n t s a n d s t e i n s und der Lage der Oberfläche Zechstein am Ende T 1.2
(Abb. 30) zu urteilen, liegt bereits eine im Präzechstein (?) angelegte Gliederung
des Untersuchungsgebietes in flache Schwellen (Reinkenhagen) und Senken (Grimmen)
vor. Die gleiche Gliederung findet sich in der Mächtigkeitsverteilung des Mittleren
und Oberen Buntsandsteins wieder, jedoch verlagern sich in diesen Zeiten auffällig
die Achsen des Hebungsgebietes Reinkenhagen nach SE und die des Senkungsgebietes
Grimmen nach N. Die maximalen Mächtigkeitsunterschiede betragen im Buntsandstein
etwa 40 m.

Im M u s c h e l k a l k bleibt Reinkenhagen als Schwellengebiet (Mächtig-
keits-, Abweichungs- und Paläostrukturkarten; Abb. 29, 30) bestehen, während sich
bei Grimmen im Unteren und Oberen Muschelkalk eine geringe Mächtigkeitsreduktion an-
deutet. Im Oberen Muschelkalk ist NW der heutigen Struktur Reinkenhagen erstmals ein
NW—SE gerichtetes Senkungsgebiet erkennbar, das in der Folgezeit eine wichtige Rol-
le als Randsenke (= Zwischensenke) spielen wird. In der Mächtigkeits- und Abweichungs-
karte (Abb. 29 und 34) des U n t e r e n K e u p e r s zeichnet sich Grimmen
erstmals als Schwellengebiet deutlicher ab, dagegen läßt sich in der Paläostruktur-
karte (Abb. 30) noch keine Aufwölbung erkennen. Reinkenhagen ist weiterhin Schwellen-
gebiet mit NW—SE-Streichen (Mächtigkeits-, Abweichungs- und Paläostrukturkarten).
Beide Schwellengebiete mit ihren reduzierten Mächtigkeiten sind weiterhin von Sen-
kungsgebieten mit größeren Mächtigkeiten umgeben.

Diese Entwicklung ändert sich im M i t t l e r e n K e u p e r insofern,
als die Mächtigkeitsverteilung (Abb. 29) stärker von den altkimmerischen Bewegungen
beeinflusst wird. Das Hebungs- und Schwellengebiet von Reinkenhagen vergrößert sich
erheblich, gleichzeitig bildet sich ein NNW—SSE gerichtetes Achsenstreichen heraus,
das bis Ende Domer erhalten bleibt (Paläostrukturkarte, Abb. 30). Die Achse des
Schwellengebietes von Grimmen verlagert sich gegenüber dem Unteren Keuper nach E
(Mächtigkeits- und Abweichungskarten). In der Paläostrukturkarte am Ende Mittlerer
Keuper sind die älteren Absenkungen im Bereich von Grimmen soweit kompensiert, daß
dieses Gebiet als flache Hochlage anzusprechen ist. Auch im Mittleren Keuper hat sich
die Struktur Reinkenhagen stärker herausgehoben als die Struktur Grimmen. Beide Hoch-
lagen sind von sich vergrößernden und vertiefenden Senkungsgebieten (Randsenken) um-
geben. Ab Unterem Gipskeuper ist durch eine enge Isopachenscharung an der Westflanke
von Reinkenhagen erstmals die Reinkenhagener Störung eindeutig zu belegen. Für beide
Hebungsgebiete ist auch durch lithofazielle Untersuchungen nachgewiesen (BEUTLER
1973), daß vor der Transgression des Steinmergelkeupers (T 3.3) im Topbereich von
Grimmen und Reinkenhagen Sedimente des Unteren Keupers, z.T. des Unteren Gipskeu-
pers, des Schilfsandsteins und des Oberen Gipskeupers infolge von Intra-Mittelkeu-

per-Hebungen vollständig abgetragen worden sind. Im Topbereich der beiden Strukturen liegt diskordant Steinmergelkeuper über teilweise reduziertem Unterem Keuper. Nur in den Randsenken ist der Mittlere Keuper etwa vollständig erhalten geblieben.

Lias

Das durch die altkimmerischen Bewegungen entstandene Bild ändert sich zwischen Oberem Keuper und Toarce nicht generell. Das Hebungsgebiet Reinkenhagen dehnt sich zwar nach S und E aus, vor allem vertiefen sich aber die umgebenden Senkungsgebiete (Mächtigkeits- und Abweichungskarten, Abb. 29). Die Amplitude der Aufwölbung nimmt vom Hettange bis zum Domer kontinuierlich zu (Paläostrukturkarten, Abb. 30). Vor allem im Top, aber auch an den Flanken fehlen die Liasstufen. Die Mächtigkeitsentwicklung des Hebungsgebietes Grimmen ist im tieferen Lias nicht einheitlich (Mächtigkeits- und Abweichungskarten), erst ab Domer ist ein einheitlicher Topbereich erkennbar. Grimmen hebt sich langsamer als Reinkenhagen heraus (Paläostrukturkarten), die Folge sind wie bei Reinkenhagen Mächtigkeitsreduktionen, speziell des Domer und Toarce.

Dogger bis Quartär

Der Zeitabschnitt Dogger bis Quartär kann für beide Strukturen nicht direkt untersucht werden, weil - vom Quartär abgesehen - Sedimente von Dogger bis Tertiär im engeren Strukturbereich heute fehlen. Nach der Entwicklung der gesamten Barth-Grimmener Strukturzone zu urteilen, ist eine großräumige Absenkung sowie Strukturbildung wahrscheinlich bis in die Oberkreide weitergegangen. Seit dem höheren Turon (BRÜCKNER & PETZKA 1967) erfolgten die Heraushebung des Grimmener Walles und die Abtragung der mesozoischen Schichten bis auf das heutige Niveau.

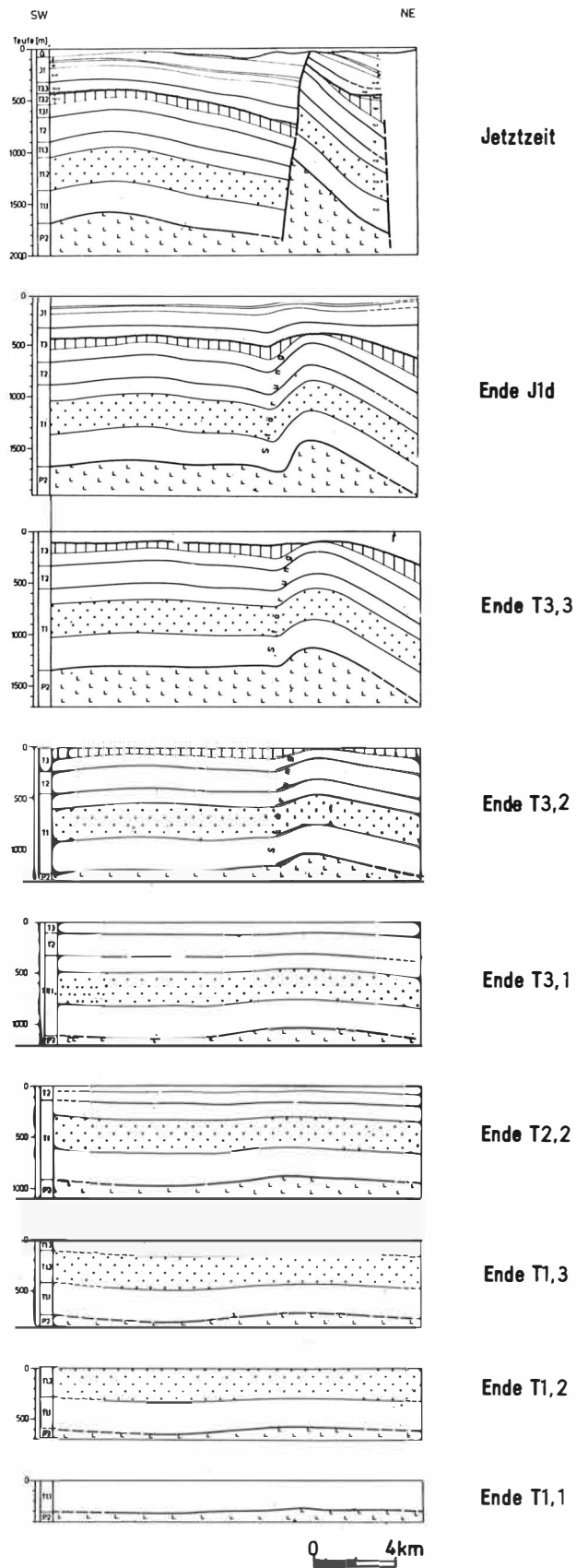


Abb. 31/1
Paläotektonische Schnitte
Schnitt B

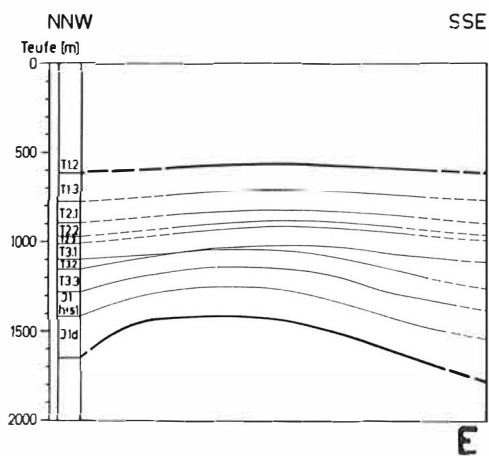
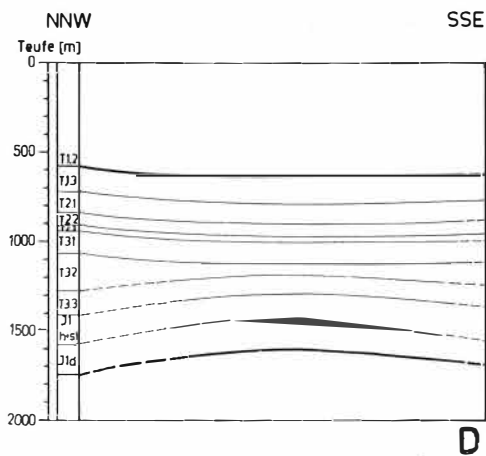
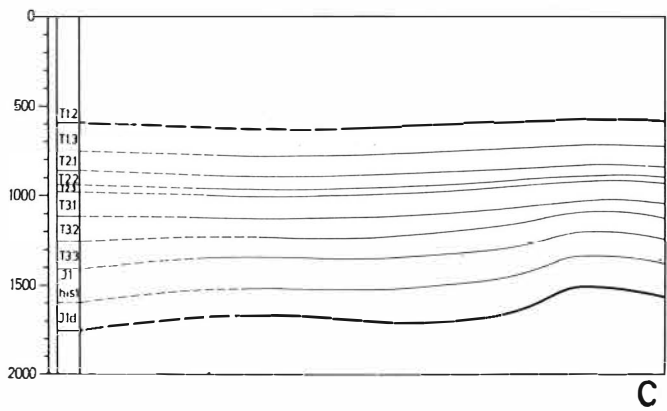
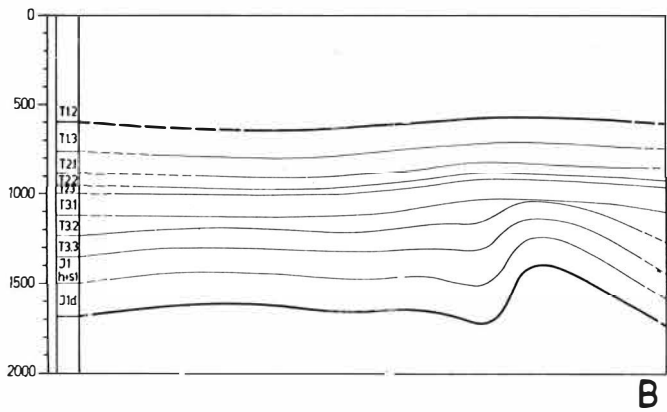
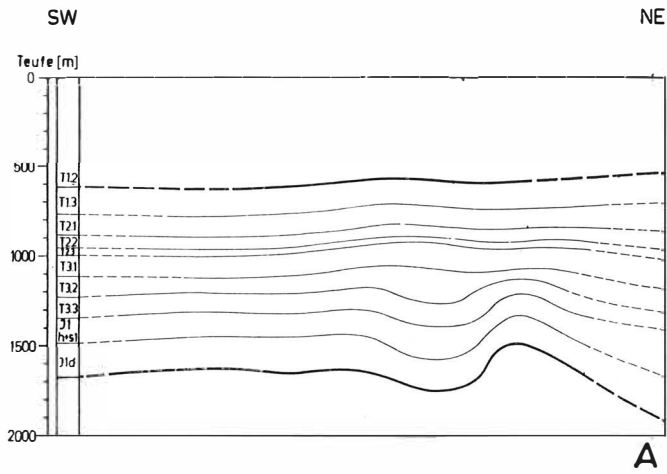
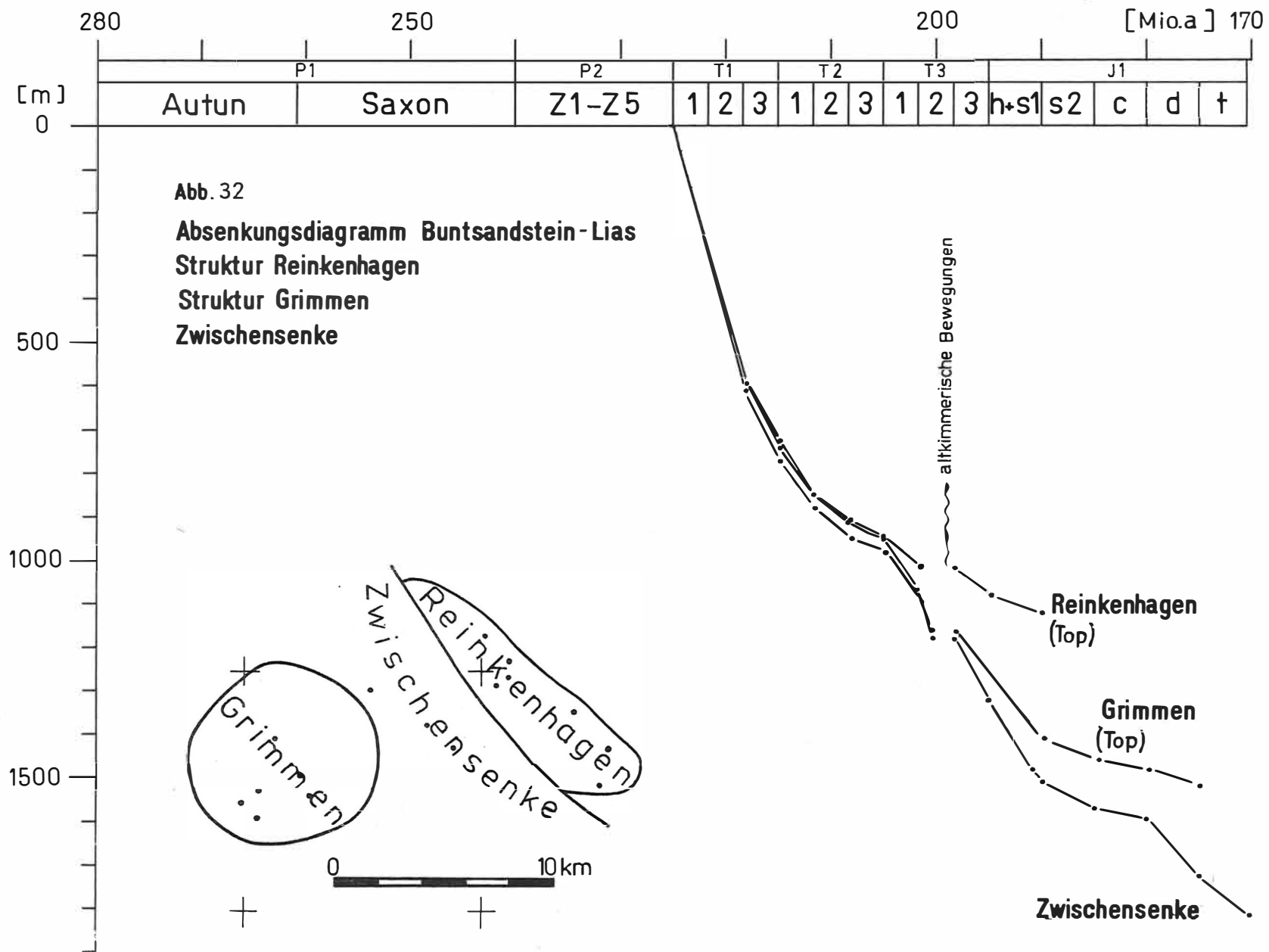


Abb. 31/2
Entwicklung der Zechstein-Oberfläche
Schnitte A, B, C D, E





6.3.1. Beschreibung der Mächtigkeits- und Abweichungskarten

Die nachfolgende Beschreibung der Mächtigkeits- und Abweichungskarten des Postsalinars und seiner Einzelhorizonte einschl. zusammenfassender Darstellungen (Abb. 6, 29 und 33 - 35) stellt eine ergänzende Dokumentation dar; jedoch wird hier auf eine genetische Deutung verzichtet.

Postsalinar (Abb. 6, 10); $\bar{M} = 1568$ m

Das Isopachenbild des Postsalinars zeigt eine Gliederung in das rundliche Schwellengebiet von Grimmen ($M < 1600$ m), das nach E allmählich in eine NNW—SSE gerichtete Zwischensenke ($M > 1800$ m) überleitet, und in das ebenfalls NNW—SSE streichende Schwellengebiet von Reinkenhagen ($M < 1100$ m).

Unterer Buntsandstein (Abb. 29, 33, 36); $\bar{M} = 288$ m

Es fällt auf, daß zusätzlich zum regionalen Mächtigkeitsgradienten am Nordostrand der Nordostdeutschen Senke bereits lokale Unterschiede zwischen Grimmen und Reinkenhagen bestehen. Die mittlere absolute Mächtigkeit des Unteren Buntsandsteins liegt im Strukturbereich Reinkenhagen bei nur 280 m (maximal 290 m), im Strukturbereich Grimmen bei 297 m (maximal 318 m). Im heutigen Strukturbereich Reinkenhagen bestand bereits im Unteren Buntsandstein ein NNW—SSE streichendes Schwellengebiet (negative Mächtigkeitsanomalie nach δm), dem im Nordosten ein E—W verlaufendes Senkungsgebiet vorgelagert ist. Auch in der Mächtigkeitskarte der "unteren Folge" des Unteren Buntsandsteins, hier nicht dargestellt, sind ähnliche Tendenzen der Mächtigkeitsverteilung zu erkennen. Im heutigen Strukturbereich Grimmen lag während des Unteren Buntsandsteins ein NE—SW gerichtetes Senkungsgebiet (positive Mächtigkeitsanomalie nach δm). Eine Störung bzw. synsedimentäre Vorläufersenkung war im Bereich der heutigen Reinkenhagener Störung noch nicht angelegt.

Mittlerer Buntsandstein (Abb. 29, 33, 36); $\bar{M} = 306$ m

Im Bereich Grimmen erreicht der Mittlere Buntsandstein Mächtigkeiten bis maximal 334 m, im Bereich Reinkenhagen nur bis maximal 313 m. Die Achse der NW—SE gerichteten Schwelle von Reinkenhagen hat sich etwas nach SE verlängert, ebenso das N davon gelegene Senkungsgebiet (embryonale primäre Randsenkung). Die Achse des N—S streichenden Senkungsgebietes von Grimmen hat sich nach N verschoben.

Oberer Buntsandstein (Abb. 36); $\bar{M} = 148$ m

Die Mächtigkeiten des Oberen Buntsandsteins sind zwar weitgehend ausgeglichen, zeigen aber die gleiche räumliche Anordnung wie im Mittleren Buntsandstein. Das Senkungsgebiet von Grimmen hat sich ausgedehnt, ebenso das Schwellengebiet von Reinkenhagen bei östlicher Achsenverlagerung. Östlich Reinkenhagen liegt ein Senkungsgebiet. In der summarischen Mächtigkeitskarte des Buntsandsteins ($\bar{M} = 743$ m) zeichnen sich ebenfalls die Gliederung des Untersuchungsgebietes in Schwellen- und Senkungsgebiete bzw. die Mächtigkeitsunterschiede zwischen Reinkenhagen (725 m) und Grimmen (764 m) ab (vgl. auch Abb. 30).

Unterer Muschelkalk (Abb. 36); $\bar{M} = 112$ m

Die Mächtigkeiten des Unteren Muschelkalkes sind analog dem Oberen Buntsandstein sehr wenig differenziert. Im Bereich von Grimmen deutet sich erstmalig eine geringe Mächtigkeitsreduktion an. Das Schwellengebiet von Reinkenhagen hat sich in zwei durch eine Senke getrennte Teilschwellen aufgelöst.

Mittlerer Muschelkalk (Abb. 29, 33, 36); $\bar{M} = 64$ m

In Reinkenhagen besteht im Mittleren Muschelkalk die gleiche Gliederung in Schwelle/Senke/Schwelle wie im Unteren Muschelkalk, allerdings unter Ausdehnung nach NW und SE. Im Osten schließt sich ein annähernd N—S streichendes Senkungsgebiet an. Der Bereich Grimmen ist wieder ein breites Senkungsfeld, dessen Achse um ca. 2 km nach NW verschoben ist.

Oberer Muschelkalk (Abb. 36); $\bar{M} = 36$ m

Zwar sind die Mächtigkeiten des Oberen Muschelkalkes sehr ausgeglichen, trotzdem lassen sich ähnliche Tendenzen wie im Mittleren Muschelkalk erkennen: Im Bereich Grimmen und zwischen Grimmen und Reinkenhagen sind die Mächtigkeiten reduziert. Auch der Bereich von Reinkenhagen stellt eine Schwelle dar, deren Achse sich etwas nach W verlagert hat; in gleicher Richtung ist die Achse des östlich angrenzenden Senkungsgebietes verschoben.

Unterer Keuper (Abb. 29, 34, 36); $\bar{M} = 113$ m

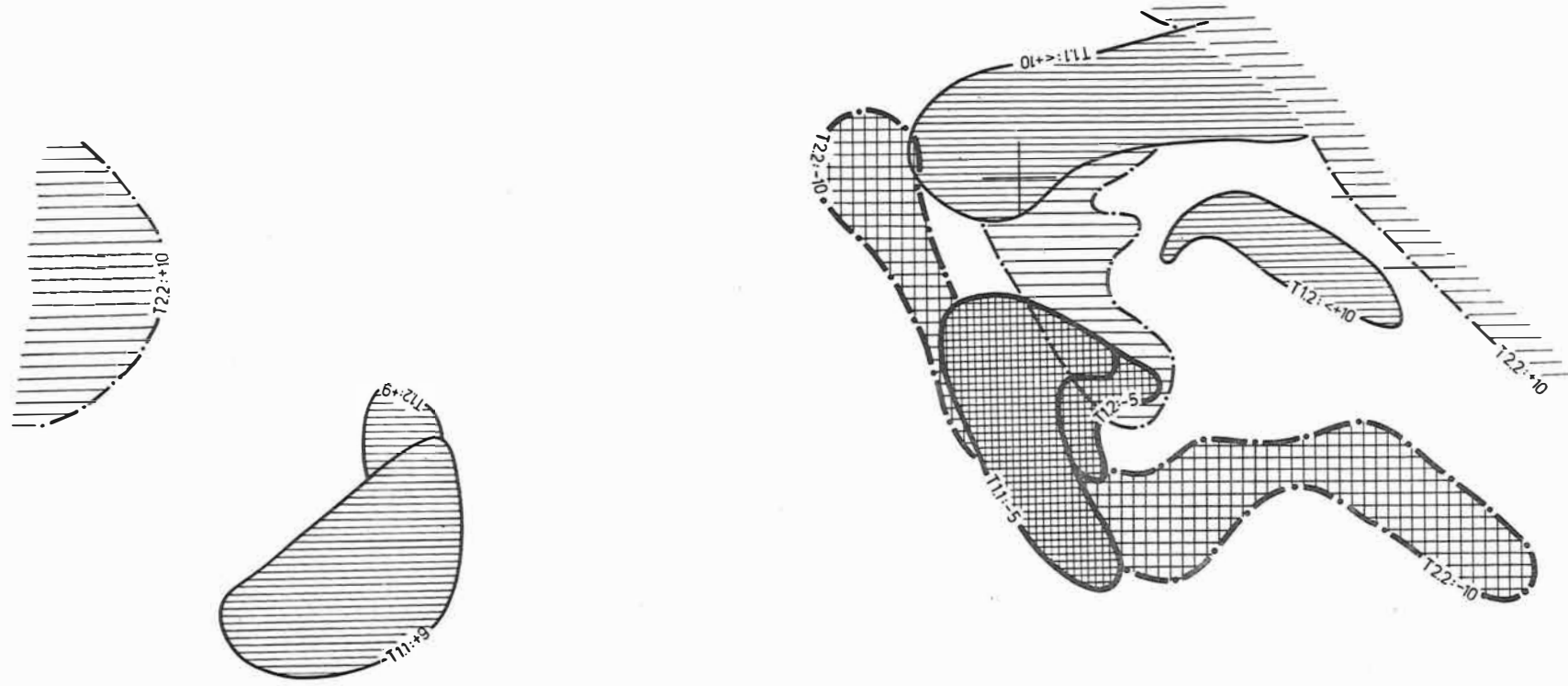
Im Bereich Grimmen hat sich die im Oberen Muschelkalk erkennbare Schwellenposition weiter verstärkt, deren Achse sich nach E verschoben hat. Nördlich und östlich der Schwelle von Grimmen erstreckt sich eine NW—SE streichende Senke. Der Bereich Reinkenhagen stellt eine Schwelle dar, deren Achse weiter nach E verschoben ist. Beide Schwellen werden jeweils von Senkungsgebieten umgeben; offensichtlich sind es primäre Randsenken, bedingt durch Salzabwanderung.

Mittlerer Keuper (Abb. 29, 34, 36); $\bar{M} = 87$ m

Das Isopachenbild des Mittleren Keupers ähnelt dem des Unteren Keupers, doch hat sich das Relief wesentlich versteilt. Grimmen bildet eine größere, etwa E—W gerichtete Schwelle, deren Achse sich gegenüber dem T 3.1 etwas nach E verlagert hat. Die NNW—SSE verlaufende Schwelle von Reinkenhagen dehnt sich nach N, E und S aus, ebenso vergrößern sich die Senkungsgebiete nordöstlich Reinkenhagen und zwischen Reinkenhagen und Grimmen. Nordwestlich bzw. westlich Reinkenhagen deutet sich am Ostrande dieser Senke die Reinkenhagener Störung an.

Oberer Keuper (Abb. 29, 35, 36); $\bar{M} = 117$ m

Die NW—SE streichende Schwelle von Grimmen hat sich im Oberen Keuper gegenüber dem Mittleren Keuper erheblich nach E und N ausgeweitet, ihr ist im NE ein schmales, NW—SE gerichtetes Senkungsgebiet vorgelagert. Das NNW—SSE streichende Schwellengebiet von Reinkenhagen hat sich etwas verkleinert, gleichzeitig dehnt sich das schmaler gewordene Senkungsgebiet zwischen Grimmen und Reinkenhagen weiter nach S aus. Auch östlich Reinkenhagen liegt weiterhin ein Senkungsgebiet.



Positive Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten

Negative Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten

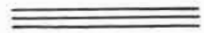



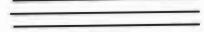
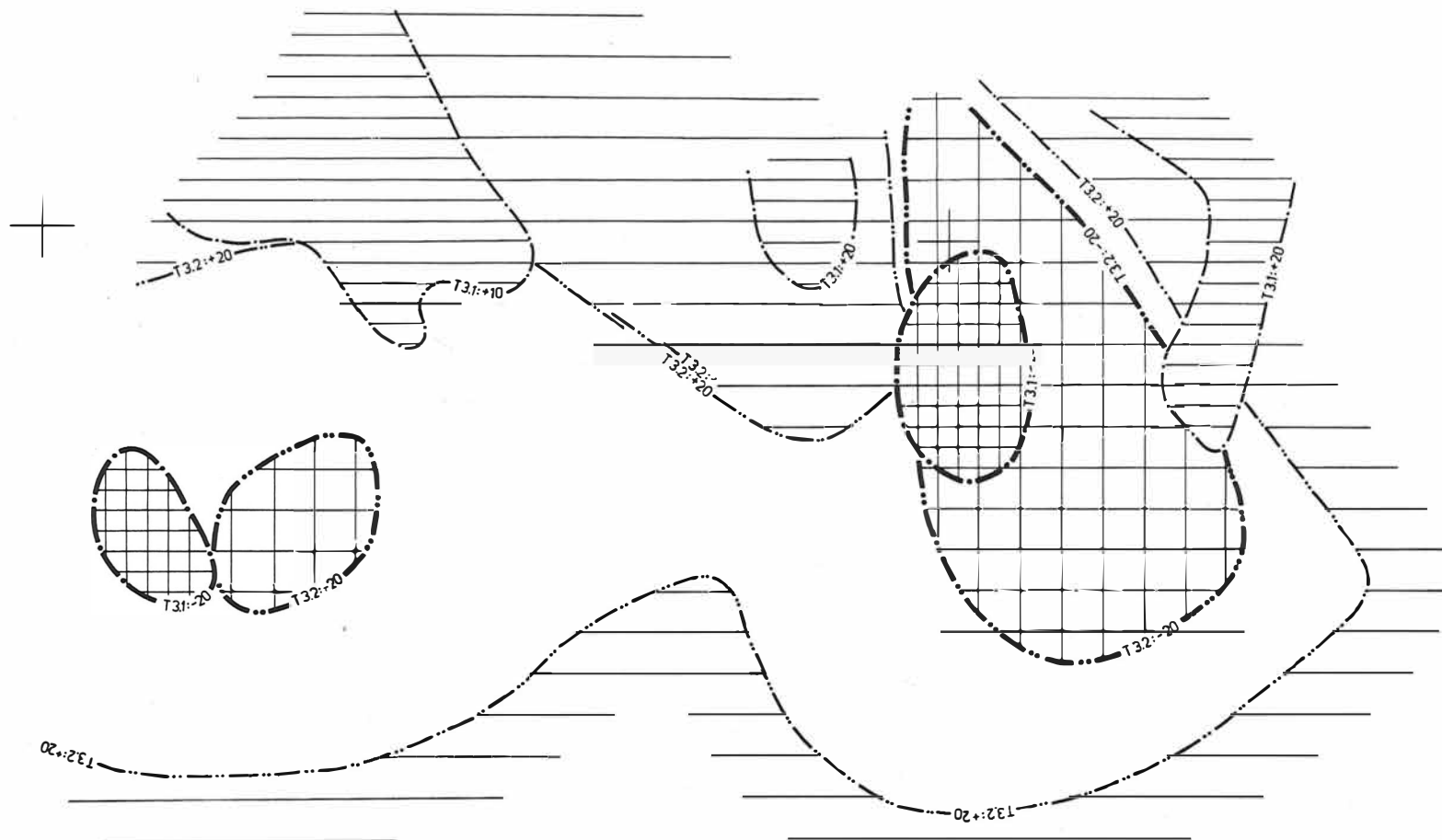
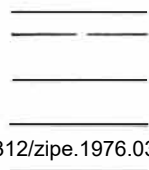
	Unterer Buntsandstein (T1.1)	
	Mittlerer Buntsandstein (T1.2)	
	Mittlerer Muschelkalk (T2.2)	



Abb. 33
Abweichungen von mittlerer relativer Mächtigkeit (δm)
T1.1-T1.2-T2.2



Positive Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten



Unterer Keuper (T3.1)

Mittlerer Keuper (T3.2)

Negative Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten

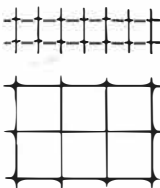


Abb. 34
Abweichungen von mittlerer relativer Mächtigkeit (δm)
T3.1-T3.2

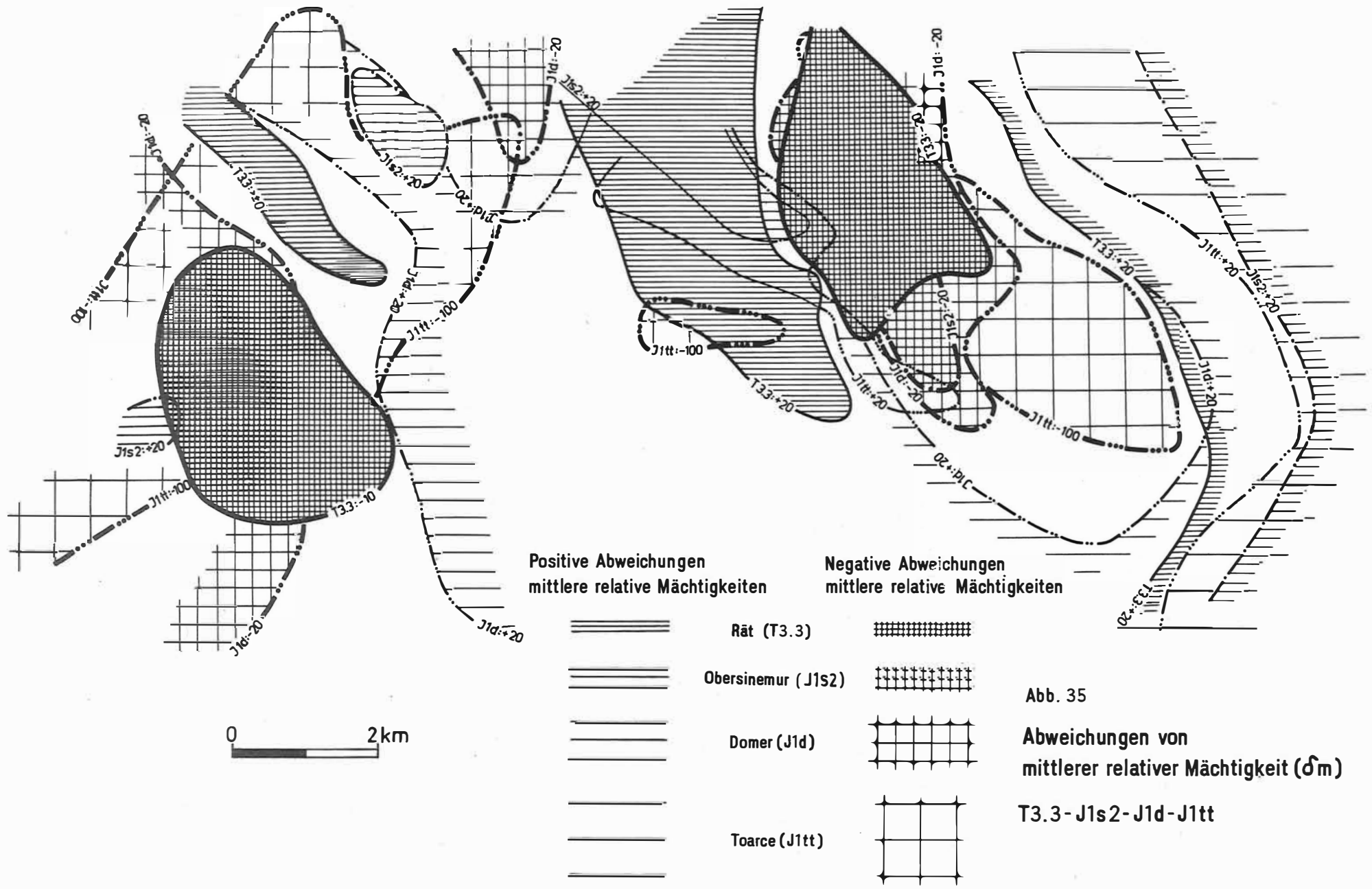


Abb. 35
Abweichungen von
mittlerer relativer Mächtigkeit (δm)
T3.3- J1s2- J1d- J1tt

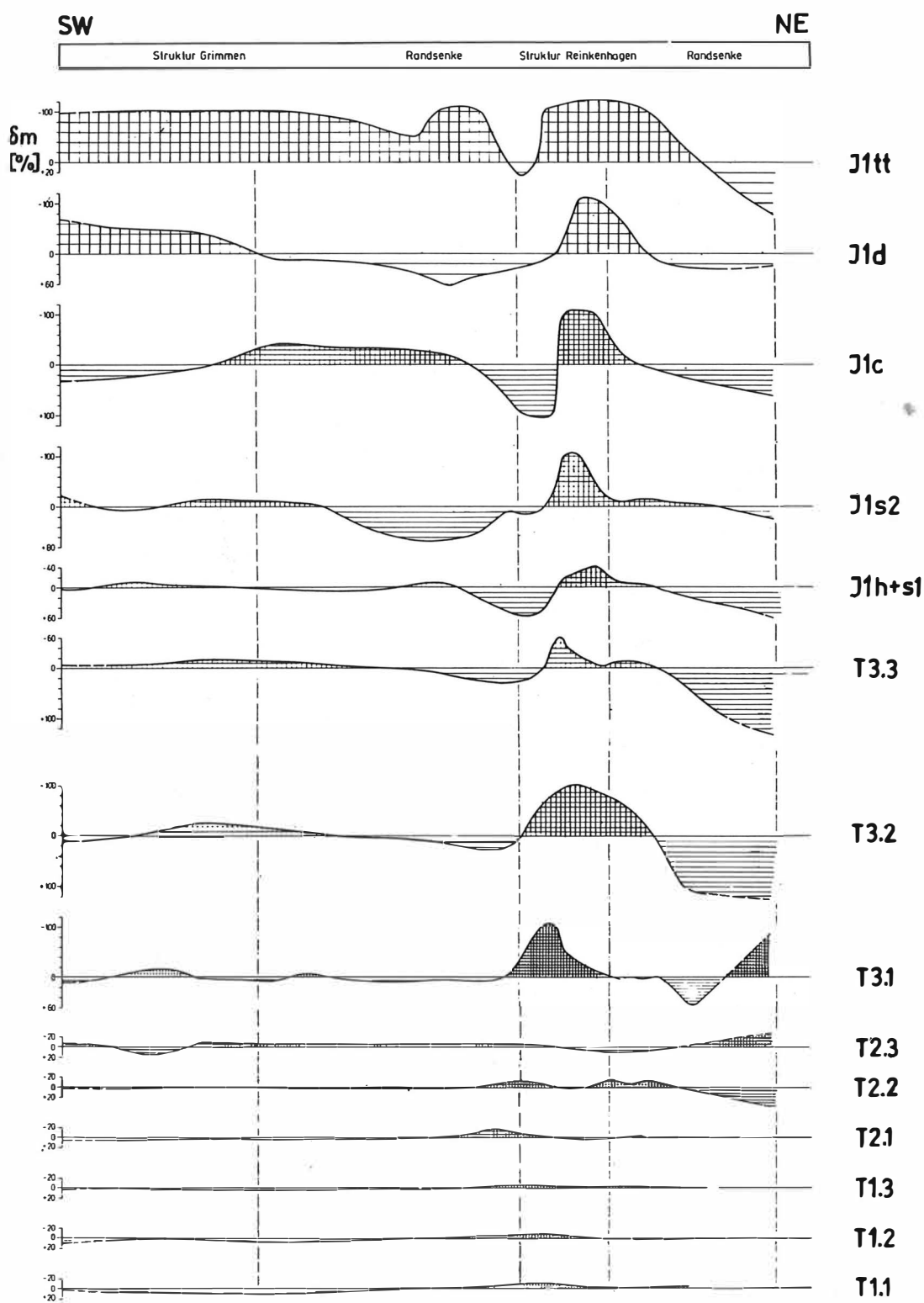


Abb 36

Vergleich Abweichungen mittlere relative
Mächtigkeiten (δm) Postsalinar

Strukturbereich Grimmen - Reinkenbogen

Hettange und Untersinemur (Abb. 36); $\bar{M} = 233$ m

Statt einer einheitlichen Schwelle finden wir im Hettange und Untersinemur im Bereich Grimmen jetzt eine Gliederung in Schwelle/Senke/Schwelle. Die Senke zwischen Grimmen und Reinkenhagen hat sich nach S und W erweitert. Die Schwelle von Reinkenhagen ist auch im E von einem Senkungsgebiet umgeben.

Obersinemur (Abb. 29, 35, 36); $\bar{M} = 55$ m

Die schon im Hettange und Untersinemur erkennbare Differenzierung im Bereich Grimmen hat sich im Obersinemur noch weiter verstärkt. Gleichzeitig hat sich die Achse der Senke zwischen Grimmen und Reinkenhagen nach W verlagert. Die Schwelle von Reinkenhagen dehnt sich bei östlicher Achsenverlagerung nach E und S aus. Ebenso verschiebt sich die Achse seines östlichen Senkungsgebietes nach E.

Carix (Abb. 36); $\bar{M} = 16$ m

Die starke Differenzierung im Raum Grimmen hat sich abgeschwächt. Grimmen ist wieder eine einheitliche Schwelle, die im W von einer Senke umgeben wird. Die Achse der schmaler gewordenen Senke zwischen Grimmen und Reinkenhagen hat sich nach E verschoben. Auch die im E weiterhin von einer Senke umgebene Schwelle von Reinkenhagen hat sich verkleinert.

Domer (Abb. 29, 35, 36); $\bar{M} = 94$ m

Die Mächtigkeits- und Abweichungskarte des Domer zeigt mehrere Veränderungen:

- Die Achse der größer gewordenen Schwelle von Grimmen hat sich nach W verschoben, ihr ist im N ein weiteres kleines Schwellengebiet vorgelagert; beide Schwellen werden im E von dem großen Senkungsgebiet zwischen Grimmen und Reinkenhagen begrenzt;
- das Senkungsgebiet zwischen Grimmen und Reinkenhagen hat sich wesentlich nach W erweitert;
- das Schwellengebiet von Reinkenhagen ist allseitig von Senkungsgebieten umgeben.

Toarce (Abb. 29, 35, 36); $\bar{M} = 80$ m

Das Schwellengebiet von Grimmen hat sich nach NE und etwas nach SW ausgeweitet. Die Senke zwischen Grimmen und Reinkenhagen hat sich gegenüber dem Domer stark verkleinert. Das Schwellengebiet von Reinkenhagen hat sich nach E, S, vor allem aber nach SE erweitert. Die Achse seines östlichen Senkungsgebietes ist nach E gewandert.

6.3.2. Beschreibung der Paläostrukturkarten der Oberfläche Zechstein

Ende Buntsandstein (Abb. 30, 31)

Der Bereich von Reinkenhagen stellt während bzw. Ende Buntsandstein eine NW—SE streichende Hochlage mit entsprechend reduzierter Sedimentation dar, der Bereich von Grimmen demgegenüber eine rundliche, WNW—ESE gerichtete Tieflage, die sich durch größere Mächtigkeiten gegenüber ihrer Umgebung auszeichnet. Die Höhendifferenz zwischen Grimmen und Reinkenhagen, bezogen auf die Tops der Strukturen, beträgt ca. 40 m.

Ende Muschelkalk (Abb. 30, 31)

Der Bereich von Reinkenhagen bildet sich weiterhin als - allerdings breitere und nach N ausbuchtende - Hochlage mit NNW—SSE-Streichen ab, deren Achse gegenüber dem Buntsandstein im Unteren und Mittleren Muschelkalk nach S, im Oberen Muschelkalk dagegen nach N verschoben ist. Nordwestlich Reinkenhagen liegt Ende Oberer Muschelkalk eine kleine Tieflage. Ende Mittlerer und Ende Oberer Muschelkalk deutet sich im Gebiet von Grimmen die allmähliche Inversion von der Tief- zur Hochlage an. Noch ist es eine Tieflage, da die Hebung im Muschelkalk zu gering ist, als daß sie die Absenkung der vorausgegangenen Etappen kompensieren könnte.

Ende Unterer Keuper (Abb. 30, 31)

Trotz einiger Veränderungen bleibt die Reliefgliederung der Zechsteinoberfläche bis Ende Unterer Keuper generell erhalten: Die Tieflage von Grimmen wird weiter abgebaut, während sich Reinkenhagen als Hochlage weiter heraushebt. Ab Unterem Keuper erweitert sich nordwestlich Reinkenhagen eine ebenfalls NNW—SSE streichende Tieflage mit erheblichen Mächtigkeiten, die sich schon Ende Oberer Muschelkalk andeutete.

Ende Mittlerer Keuper (Abb. 30, 31)

Erst Ende Mittlerer Keuper sind die älteren Absenkungen im Bereich Grimmen soweit kompensiert, daß erstmals eine flache Hochlage zu erkennen ist. Im Bereich Reinkenhagen kam es zu einer erheblichen Heraushebung, zur Fixierung der Hochlage auf die heutige NNW—SSE-Richtung. Außerdem entwickelt sich die Zwischensenke nordwestlich der Struktur Reinkenhagen intensiv weiter. Wahrscheinlich beginnt hier im Norden der Westflanke der Struktur Reinkenhagen die Reinkenhagener Störung aufzureißen. Dafür spricht der steile Abfall an der Westflanke der Struktur; an ihrer Ostflanke entwickelt sich die Reinberger Störung.

Ende Oberer Keuper bis Domer (Abb. 30, 31)

Das im Mittleren Keuper geprägte Bild ändert sich von Ende Oberer Keuper bis Ende Domer nicht wesentlich. Die Hochlage von Grimmen hebt sich langsam weiter heraus, vor allem bis zum Obersinemur. Dabei pendelt der Schwerpunkt der Hochlage etwas. Die Struktur Reinkenhagen wird zunehmend weiter herausgebildet, ohne daß sich ihre Achsenlage ändert. Ein Höhepunkt der Heraushebung liegt in der Zeit zwischen Oberem Keuper und höherem Lias. Die Zwischensenke zwischen Reinkenhagen und Grimmen vertieft und baut sich generell nach SE fort.

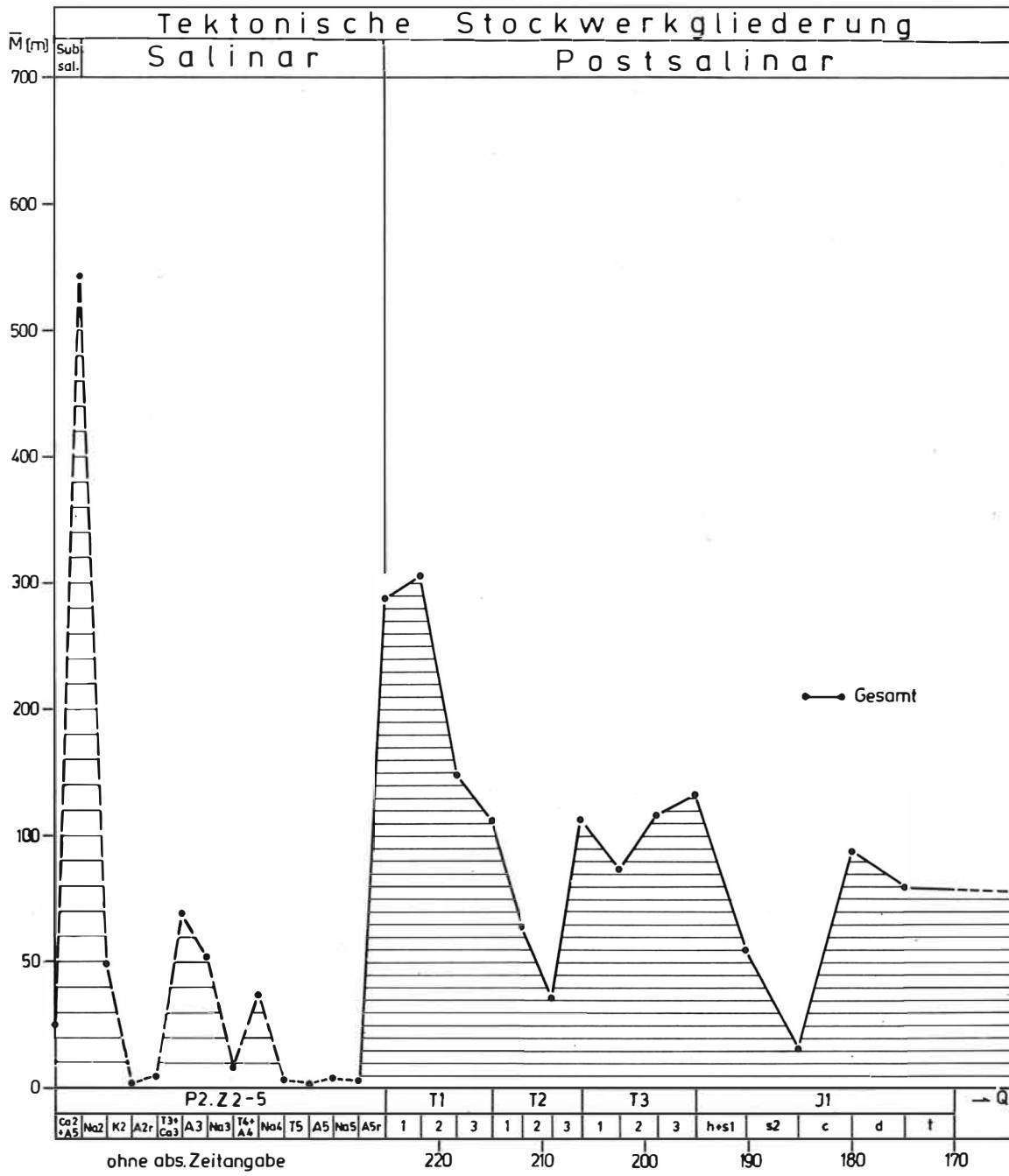


Abb. 37
Mittlere absolute Mächtigkeiten (M)

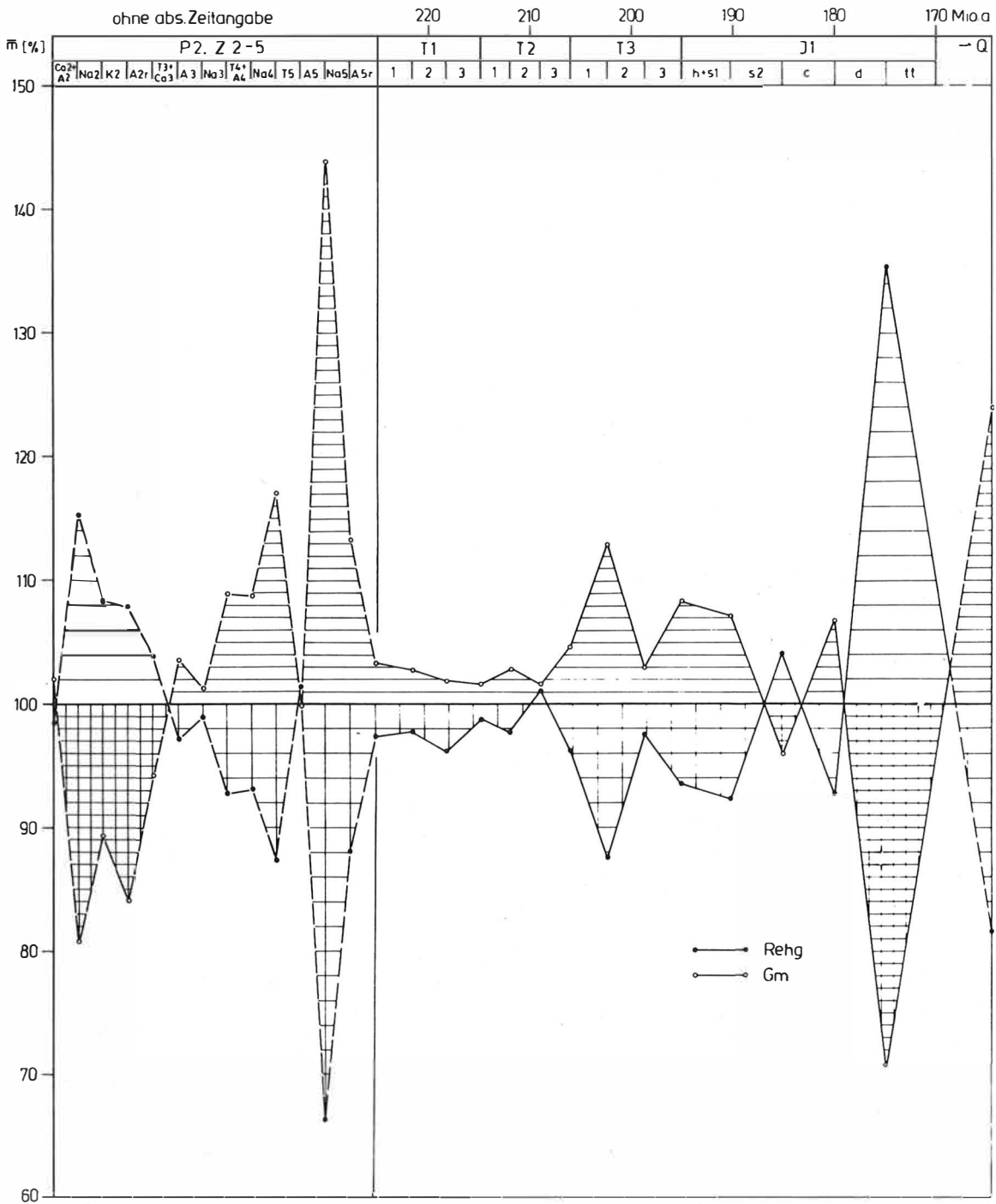


Abb. 38
Mittlere relative Mächtigkeiten (m)

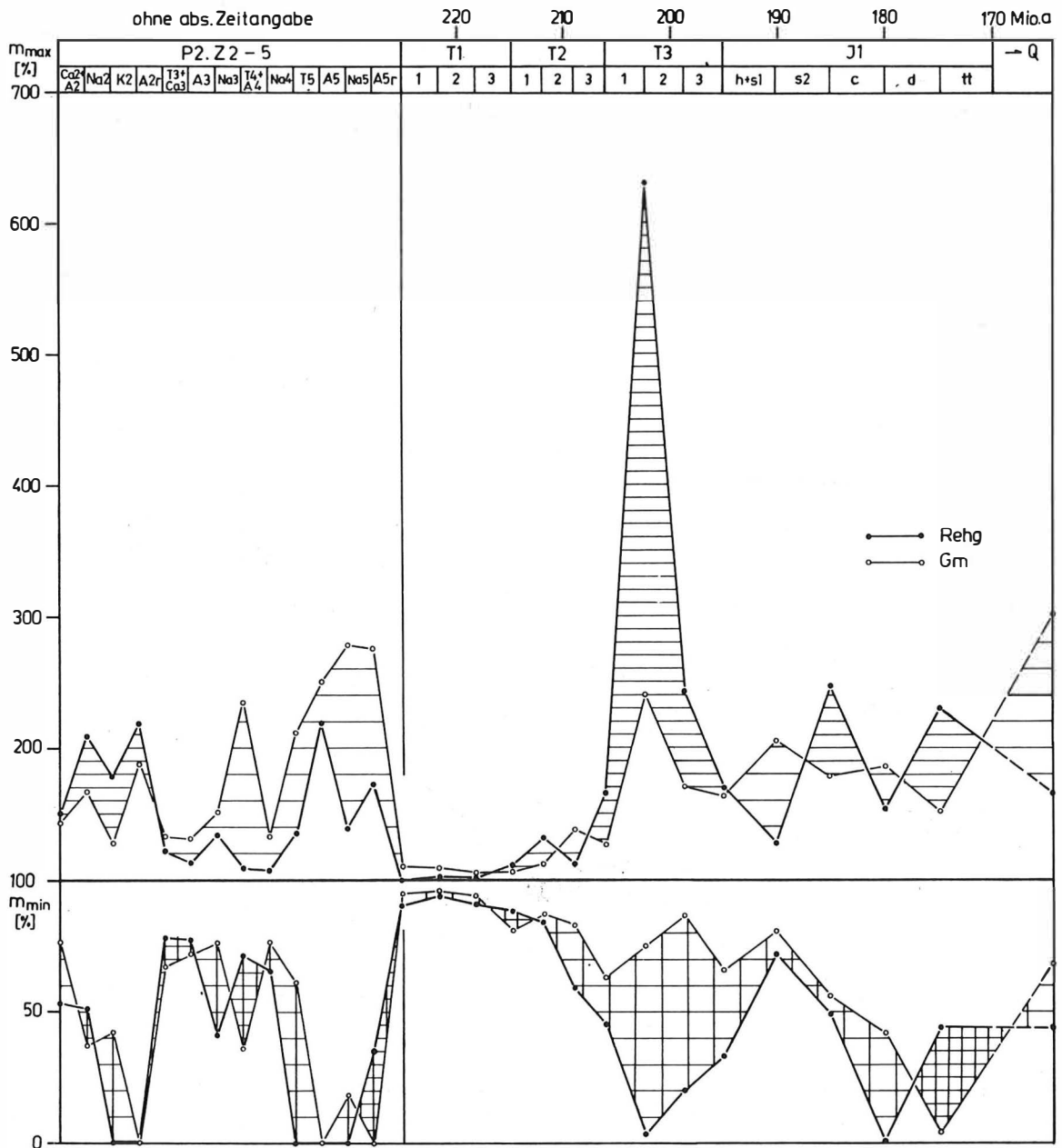


Abb. 39

Maximale und minimale relative Mächtigkeiten
(m_{max} , m_{min})

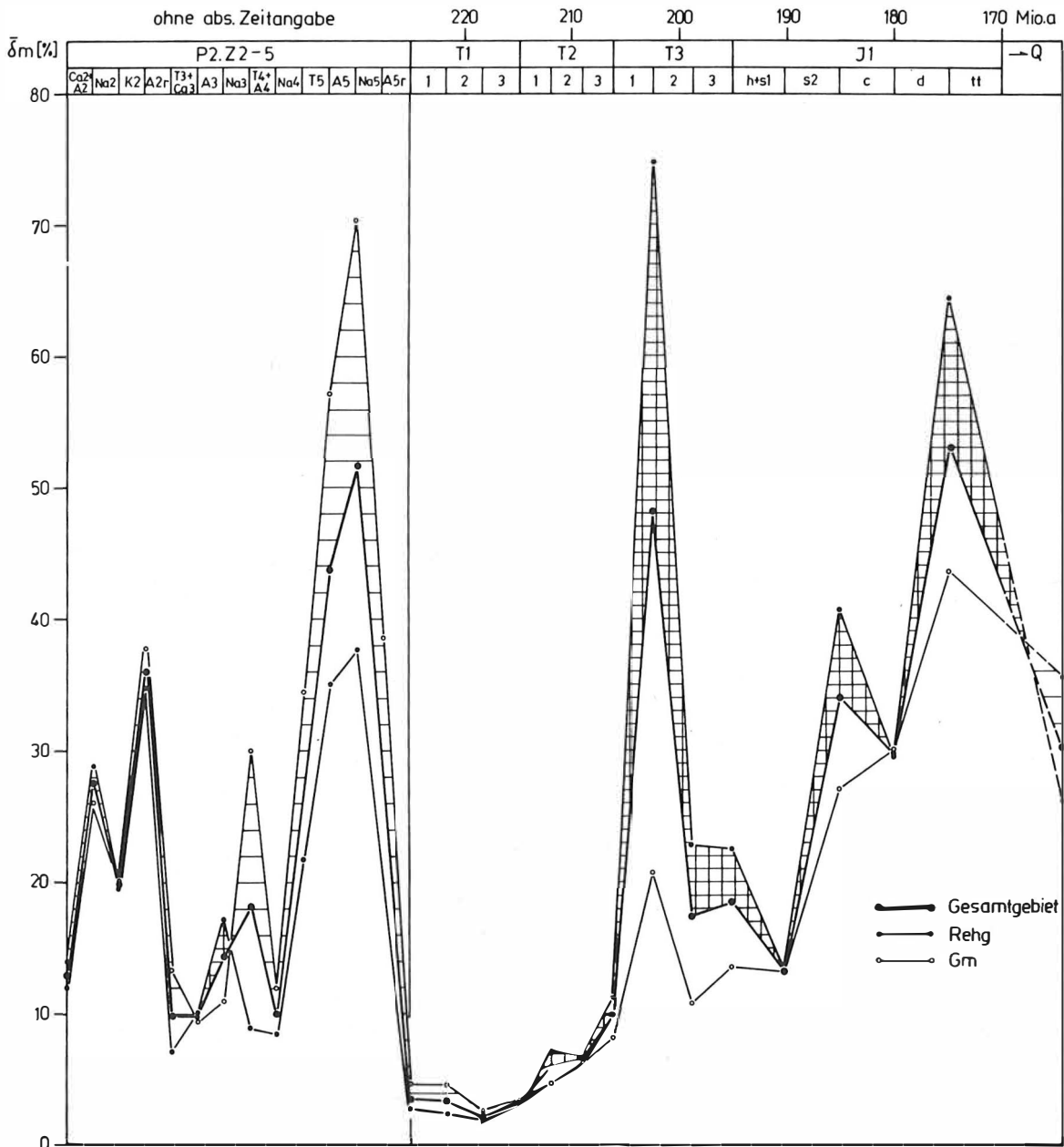


Abb. 40
Mittlere Abweichung relative Mächtigkeiten
(δm)

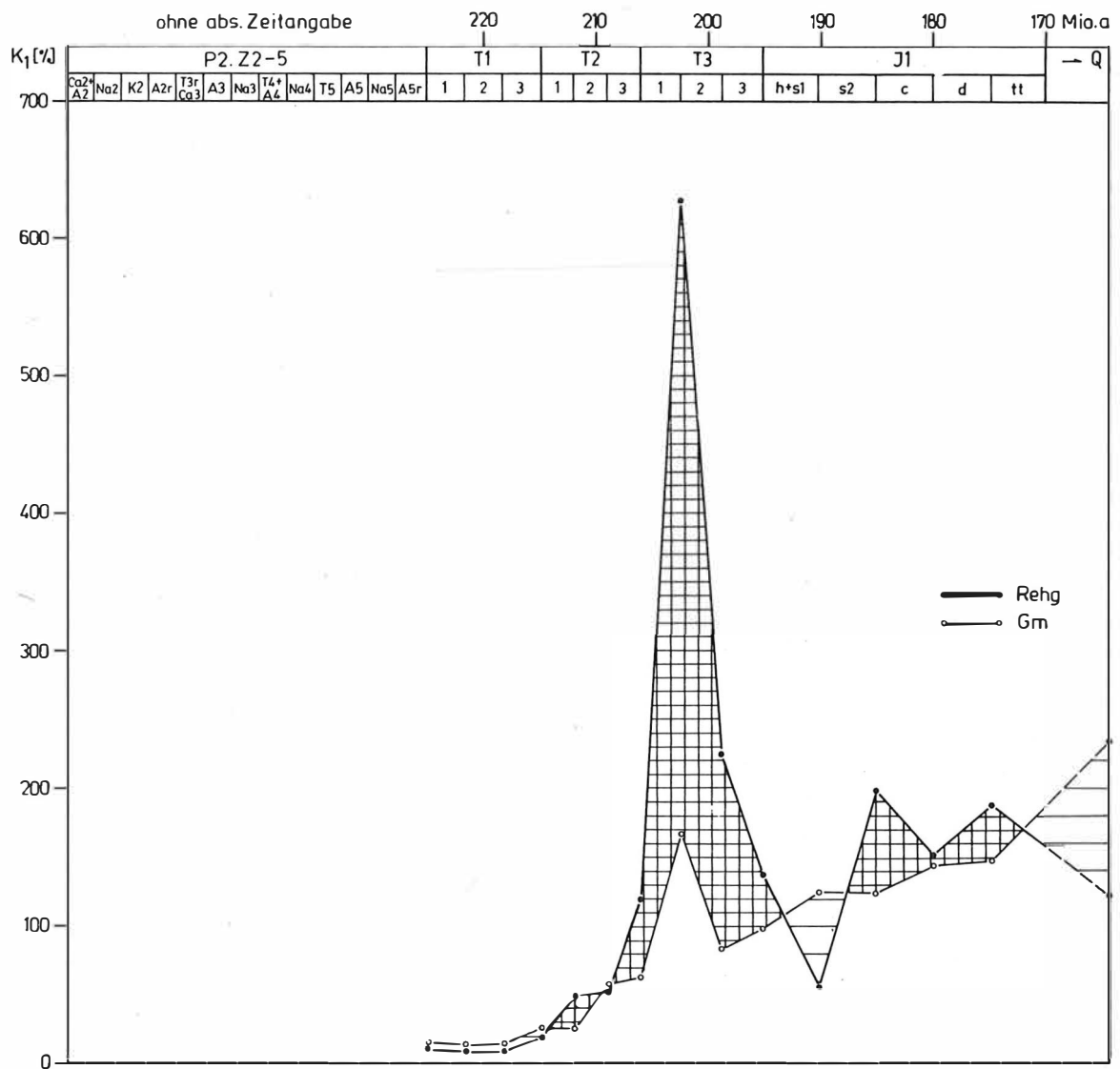


Abb. 41

Tektonische Aktivität K1 (nach NEJMAN 1959)

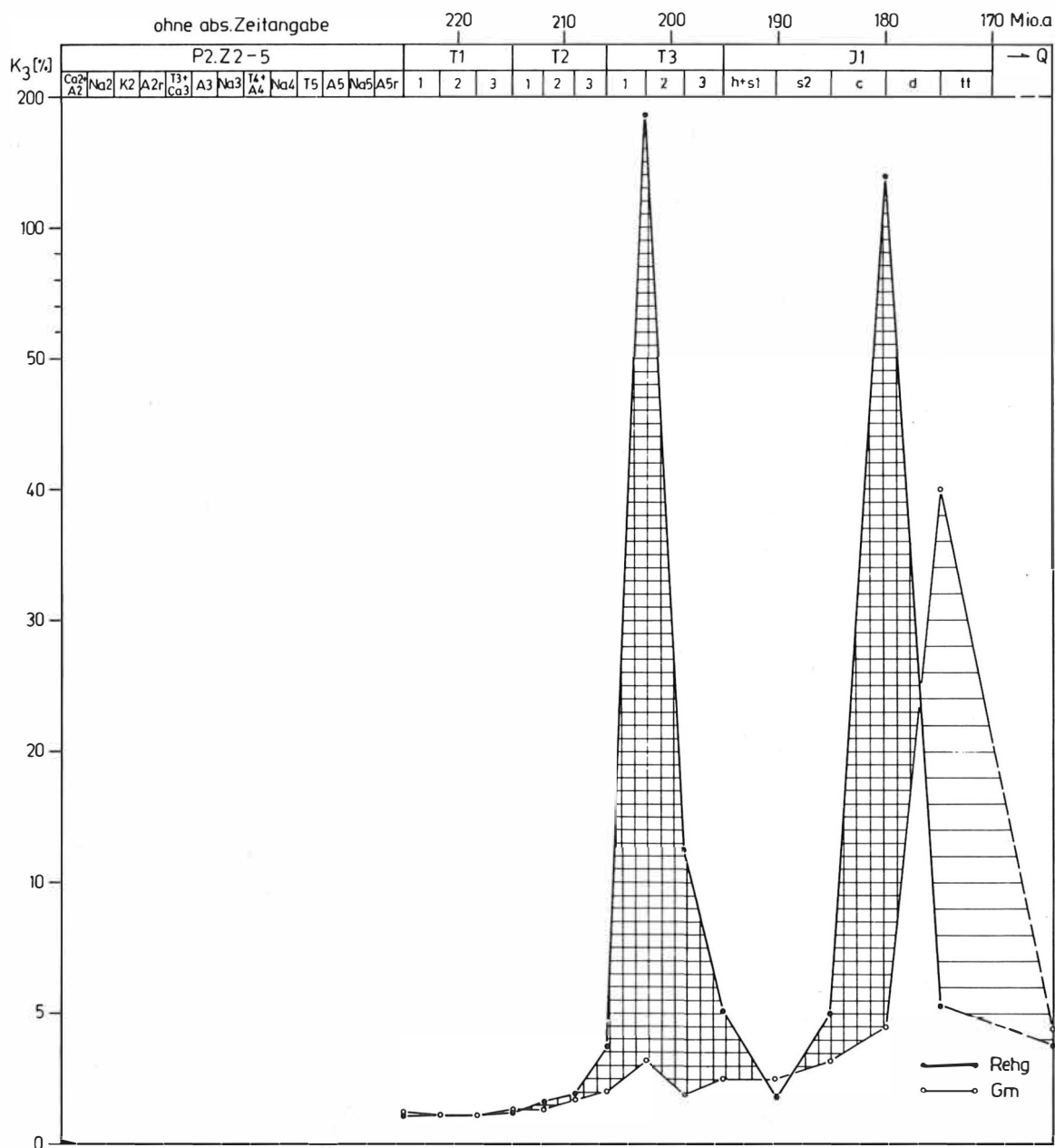


Abb. 42

Tektonischer Differenzierungsgrad K3

(nach NEJMAN 1959)

6.4. Beiträge zur erweiterten Mächtigtkeitsanalyse

Problemstellung

Die anhand der traditionellen Mächtigtkeitsdarstellungen veranschaulichten Untersuchungsergebnisse wurden - analog den Salinaruntersuchungen - durch Darstellungen einer erweiterten Mächtigtkeitsanalyse ergänzt. So wurden, um die Mächtigtkeitsänderungen und die Intensität der paläotektonischen Bewegungen detaillierter zu erfassen, auf der Grundlage der relativen Mächtigtkeiten der Postsalinareinheiten Diagramme der zeitlichen Entwicklung (Abb. 37 - 42) konstruiert. Die Methodik ist Abschnitt 3.2. beschrieben.

Ergebnisse

Vom Unteren Buntsandstein bis zum Toarce nehmen im Strukturgebiet Grimmen-Rein-
kenhagen die m i t t l e r e n a b s o l u t e n M ä c h t i g k e i t e n
(Abb. 37) generell ab. Diese Entwicklung verläuft zyklisch:

Unterer Buntsandstein	→	Oberer Muschelkalk,
Unterer Keuper	→	Carix,
Domer	→	Toarce.

Jeder Zyklus beginnt generell mit einem Mächtigtkeitsmaximum und endet mit einem Mächtigtkeitsminimum, wobei die Maxima verstärkter Absenkung den Minima verstärkter Hebung entsprechen dürften.

Eine analoge Gliederung in drei Abschnitte zeigt die Darstellung der m i t t l e -
r e n r e l a t i v e n M ä c h t i g k e i t e n (Abb. 38) von Grimmen und Rein-
kenhagen. Der Kurve ist ferner zu entnehmen, daß die mittleren relativen Mächtigtkei-
ten von Reinkenlagen zwischen Unterem Buntsandstein und Obersinemur unter (Ausnahme
Unterer Keuper), die von Grimmen jedoch über den durchschnittlichen mittleren absolu-
ten Mächtigtkeiten liegen. Ab Carix kehrt sich das Verhältnis um. Danach ist Reinkenla-
gen bis zum Obersinemur stets stärker herausgehoben worden als Grimmen; eine intensive-
re Heraushebung von Grimmen erfolgte erst ab Carix. Die Aussagen der genannten Dia-
gramme werden durch die Abb. 39 - 42 ergänzt.

Abb. 41 veranschaulicht die zwischen Unterem Buntsandstein und Toarce kontinuier-
lich zunehmende t e k t o n i s c h e A k t i v i t ä t im Strukturgebiet, die
in Reinkenlagen immer höher als in Grimmen ist (zunehmender Unterschied zwischen
maximalen und minimalen relativen Mächtigtkeiten). Der generelle Kurvenverlauf wird
von einem Aktivitätsmaximum im Mittleren Keuper unterbrochen, das durch die extrem
hohen Mächtigtkeitsdifferenzen des Mittleren Keupers verursacht wird. Weitere Aktivi-
tätsmaxima liegen im höheren Lias (Carix und Toarce).

Nach NEJMAN (1959) kennzeichnet die tektonische Aktivität die Höhepunkte tekto-
nischer Bewegungen im Bereich von Lokalstrukturen, zunächst unabhängig von der Ur-
sache dieser Bewegungen. Die vom Buntsandstein bis zum Lias stetig zunehmende tekto-
nische Aktivität, die in Reinkenlagen größer als in Grimmen ist, läßt sich durch die
zunehmende, halokinetisch bedingte strukturelle Gliederung in sich vertiefende

und erweiternde Randsenken westlich und östlich Reinkenhagen mit höheren Mächtigkeiten und in sich heraushebende Tops der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen mit Mächtigkeitsreduktionen erklären. Das gegenüber dem Aktivitätsmaximum im höheren Lias weitaus kräftigere Maximum des Mittleren Keupers ist nicht allein Ausdruck halokinetischer Randsenken-Entwicklung wie im höheren Lias, sondern muß mit der gleichzeitigen Entwicklung der Störungszonen westlich und östlich Reinkenhagen im Bereich der Randsenken in Zusammenhang gebracht werden.

Gegenüber der Darstellung der tektonischen Aktivität (Abb. 41) ergeben die mittleren Abweichungen von mittleren relativen Mächtigkeiten (Abb. 40) keine zusätzlichen Aussagen, jedoch kommen die Anomalien deutlicher heraus.

Der tektonische Differenzierungsgrad (Abb. 42) veranschaulicht - analog zu Abb. 38 - die unterschiedliche Entwicklung der Strukturen Reinkenhagen und Grimmen, die in den voneinander abweichenden Anomalien zum Ausdruck kommt. Beide Maxima der Strukturentwicklung von Reinkenhagen im Mittleren Keuper und Domer zeigen die infolge der Strukturheraushebung reduzierten Mächtigkeiten im Topbereich an (vgl. Abb. 39: Kurve der minimalen relativen Mächtigkeiten). Der Top der Struktur Grimmen hebt sich dagegen intensiv erst im Toarce heraus. Generell zeigt der Kurvenverlauf in Abb. 39 und 42 die kontinuierliche Abnahme der minimalen relativen Mächtigkeiten bzw. die kontinuierliche Zunahme des Differenzierungsgrades für Grimmen zwischen Unterem Buntsandstein und Toarce. Diese Entwicklung steht im Gegensatz zu der zweiphasigen Entwicklung der Struktur Reinkenhagen.

6.5. Teilzusammenfassung

Aus den Untersuchungen zur Struktur-, Mächtigkeits- und Paläostrukturanalyse sowie zur erweiterten Mächtigkeitsanalyse des Postsalinars lassen sich folgende Feststellungen treffen:

1. Die tektonische Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen verlief zwischen Unterem Buntsandstein und Toarce nicht kontinuierlich, sondern besteht aus vier Etappen mit Entwicklungsmaxima im Mittleren Keuper sowie im Carix und Toarce: 1. Unterer Buntsandstein, 2. Mittlerer Buntsandstein bis Unterer Keuper, 3. Mittlerer Keuper, 4. Oberer Keuper bis Toarce. Für die genetische Analyse des halokinetisch und endogen-tektonisch geprägten Werdeganges der Strukturen ist die enge Wechselwirkung (bzw. deren Erkennung) zwischen den sich heraushebenden Strukturen Grimmen und Reinkenhagen einerseits und den sich vertiefenden bzw. ausdehnenden Randsenken und Störungen andererseits von besonderer Bedeutung (s. unten).
2. Im Zeitabschnitt Unterer Buntsandstein verstärkt sich die sich postum aus dem subsalinaren Untergrund abbildende Gliederung in einen Schwellen- (Reinkenhagen) und einen Senkenbereich (Grimmen). Die Bewegungen sind epirogenetisch-synsedimentärer Art, vermutlich als Ausdruck des sich vom Liegenden fortsetzenden Bean-

spruchungsplanes des Unterbaues. Hinweise für die Schwellen- und Senkengliederung des Untersuchungsgebietes liefert die Mächtigkeitsverteilung des Salinars und des Unteren Buntsandsteins. Die spätere Entwicklung der Struktur Reinkenhagen ist an eine Schwelle gebunden.

3. Im Zeitabschnitt Mittlerer Buntsandstein bis Unterer Keuper wirken - bei etwa gleichbleibender Grundkonfiguration des Kräfteplanes - erste schwache halokinetische Vorgänge mit weiterer Ausgestaltung der alten Schwellen- und Senkengliederung unter Entstehung embryonaler primärer Randsenken (Gebiet östlich und westlich Reinkenhagen). Die halokinetischen Bewegungen, die zu Massenverlagerungen im Zechstein-Salinar führten, setzten wahrscheinlich schon im Mittleren Buntsandstein ein, weil mit 800 m Sedimentauflast über dem Salinar und einem Gefälle des Subsalinarreliefs von mehr als 1 % die Voraussetzungen für erste halokinetische Salzwanderungen durchaus gegeben waren. Während der nachfolgenden Entwicklung blieben die Achsen der Mächtigkeitsmaxima (embryonale primäre Randsenken) und -minima (Salzakkumulationsgebiete) zeitlich nicht konstant, sondern verlagerten sich, wobei bestimmte Richtungen bevorzugt wurden:

Grimmen	T 1.2 - T 2.3	zwischen N und W,
	T 3.1 - J 1 tt	vorwiegend nach E;
Zwischensenke	T 3.3 - J 1 tt	vorwiegend nach E;
Reinkenhagen und Senke östlich Reinkenhagen	T 1.2 - J 1 tt	vorwiegend nach E.

4. Im Zeitabschnitt Mittlerer Keuper kommt es zu verstärkten endogen-tektonischen Bewegungen, die an die altkimmerischen Phasen gebunden sind. Gleichzeitig erfolgt dadurch eine Aktivierung und Intensivierung der Halokinese, d.h. die Ausgestaltung der Salzantiklinalen und primären Randsenken im Sinne TRUSHÉILMS sowie die Anlage von Störungen. Aus den Mächtigkeitsrelationen im Bereich der Reinkenhagener Störung kann abgeleitet werden, daß 50 % der Sprunghöhe während des Mittelkeupers entstanden sind, die restlichen 50 % danach. - Für die Entwicklung der Struktur Reinkenhagen haben die Bewegungen an beiden Störungszonen eine wichtige Rolle gespielt. Diese Struktur wurde an der Reinkenhagener Störung herausgehoben und die Strukturachse von NW—SE nach NNW—SSE eingedreht. Im Bereich der beiden Störungszonen westlich und östlich Reinkenhagen vertieften sich die Randsenken, die bereits im Unteren Keuper angelegt wurden. Die westliche Randsenke entspricht gleichzeitig der Zwischensenke zum Strukturbereich Grimmen, der während der altkimmerischen Bewegungen nur relativ wenig herausgehoben wurde.
5. Im Zeitabschnitt Oberer Keuper bis Toarce erfolgte die weitere halokinetische Ausformung der Salzantiklinalen, primären Randsenken und Störungen. Ein weiterer Höhepunkt der tektonischen Entwicklung der Struktur Reinkenhagen, die dort immer intensiver als in Grimmen war, lag im höheren Lias (Domer). Im höheren Lias (Carix und Toarce) zeichnen sich gleichzeitig weitere Höhepunkte der Randsenkenentwicklung ab. Anhaltspunkte für die halokinetische Massenverlagerung im Bereich Reinkenhagen geben die Mächtigkeitsunterschiede des Staßfurt-Steinsalzes Na 2, das heute im Strukturtop um 600 m mächtiger als in den angrenzenden Randsenken ist. Diese zusätzliche Salzmächtigkeit entspricht fast genau der Strukturamplitude des

Postsalinars, die bis Ende Lias erreicht war. Demnach scheint für Reinkenhagen nur ein schwaches postliassisches Strukturwachstum wahrscheinlich zu sein. Ein großer Teil des nach Reinkenhagen zugewanderten Salzes könnte aus der westlichen Randsenke stammen, da dort heute nur 200 - 300 m Staßfurt-Steinsalz Na 2 vorhanden sind; der andere Teil wurde aus der östlichen Randsenke zugeführt. - Höhepunkte der tektonischen Entwicklung (Hebungen) der Struktur Grimmen liegen im höheren Lias (Carix und Toarce) mit einer stärkeren Differenzierung in Topbereich und Randsenke. Für den Raum Grimmen können aus den Mächtigkeitskarten folgende Amplituden für die einzelnen Zeiten entnommen werden:

T 1	-60 m (d.h. Senkungsgebiet)
T 2	+5 bis +10 m
T 3	+70 m
J 1	+100 m
Σ	+115 bis +120 m
=====	

Die gegenwärtige Amplitude der Struktur Grimmen beträgt - nach der Karte der Basisfläche Unterer Buntsandstein (Abb. 4) - rund 150 m. Daraus kann geschlossen werden, daß die heutige Amplitude im wesentlichen bereits Ende Lias erreicht war. Später können nur solche Bewegungen stattgefunden haben, die sich in der Summe wieder ausgeglichen haben.

6. Die Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen verlief insgesamt unterschiedlich. Für Reinkenhagen war sie zweiphasig mit Höhepunkten im Mittleren Keuper und Domer und als Folge einer stärkeren endogen-tektonischen Komponente. Die Intensität der Tektonik war in Reinkenhagen in der Regel stets höher als in Grimmen. In Reinkenhagen erfolgte die Differenzierung in Top- und Randsenkenbereiche bereits ab Unterem Keuper und verstärkte sich im Mittleren Keuper. - Die strukturelle Entwicklung von Grimmen verlief im Vergleich hierzu relativ kontinuierlich bis zum höheren Lias. Eine verstärkte Hebung von Grimmen erfolgte erst ab Carix und eine starke Differenzierung in Topbereich und Randsenke ab Toarce.

7. Ergebnisse

7.1. Methodik

Zur Lösung der Aufgabenstellung - Ableitung von Aussagen über die zeitlich-räumliche Entwicklung der Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhagen unter besonderer Berücksichtigung des Salinars und der Stockwerkbeziehungen zwischen Salinarkörper und Postsalinar - erfolgte die Untersuchung des Postsalinars und Salinars zunächst mit Hilfe der konventionellen Mächtigkeits- und Strukturanalyse in mehreren Arbeitsstufen. Sie beinhalteten die Anfertigung von Mächtigkeitskarten, Tiefenlinienplänen, geologischen Schnitten und Paläostrukturlisten. Dabei erwiesen sich Mächtigkeitskarten im Maßstab 1 : 25 000 und 1 : 100 000 von mindestens 50 - 100 m mächtigen Folgen als am aussagekräftigsten, während bei geringeren Mächtigkeiten die Aussagefähigkeit der Karten durch methodische Fehler, d.h. durch fehlerhafte bzw. ungenaue Korrelationen oder Grenzziehungen, beeinträchtigt wird.

Für das Salinar reichte die konventionelle Mächtigkeitsanalyse wegen der sekundären Mächtigkeitsänderungen des Salinars, die auf Fließvorgänge zurückgehen, nicht aus. Die erbohrten Mächtigkeitswerte der Salinarglieder repräsentieren nur deren unmittelbare Umgebung, so daß eine sichere Interpolation zwischen den Mächtigkeitswerten benachbarter Bohrungen nicht möglich ist.

Die konventionelle Mächtigkeitsanalyse wurde deshalb durch die Anwendung einfacher mathematisch-statistischer Verfahren - Berechnung der Streuung und des Rangkorrelationskoeffizienten - speziell auf das Salinar erweitert (erweiterte Mächtigkeitsanalyse). Eine wichtige Voraussetzung, um mathematisch-statistische Verfahren anwenden zu können, war die Vergleichbarmachung der stark schwankenden absoluten Mächtigkeiten der Salinarglieder durch Normierung (relative und normierte relative Mächtigkeiten). Beide Verfahren wurden unter dem Gesichtspunkt gewählt, bei möglichst geringem manuellem Rechenaufwand Vorstellungen über die primäre Mächtigkeitsverteilung der Salinarglieder zu erhalten. Die Anwendung der Verfahren resultierte auch aus der Begrenztheit des Untersuchungsgebietes, das andere Verfahren zur Bestimmung der primären Mächtigkeiten, wie z.B. die Volumenberechnung (WEGERT 1970), nicht zuläßt.

Nach Ansicht des Verfassers ist der methodische Fortschritt der vorgelegten Untersuchungen, speziell im Salinar, in der Anwendung einfacher mathematisch-statistischer Verfahren und in der Erarbeitung synoptischer Darstellungsformen zu sehen. Dadurch wurden Aussagen über die primäre Mächtigkeitsverteilung und damit über den Stockwerkbau und die Genese der Strukturen möglich.

7.2. Ergebnisse zum strukturgeologischen Bau und zur Entwicklung der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen

Die Mächtigkeitsuntersuchungen im Salinar und Postsalinar der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen erlauben vor allem Aussagen zum geomechanischen Verhalten des Salinars und Postsalinars, d.h. zum disharmonischen Stockwerkbau des postvariszischen

Deckgebirges. Danach läßt das Deckgebirge - wie erwartet - eine Gliederung in die Teilstockwerke Postsalinar (Buntsandstein bis Quartär), Salinar (Staßfurt-Steinsalz Na 2 bis Grenzanhydrit A 5 r) und Subsalinar (Anteil Staßfurt-Karbonat Ca 2 und Basalanhydrit A 2) erkennen, auf die im folgenden eingegangen wird.

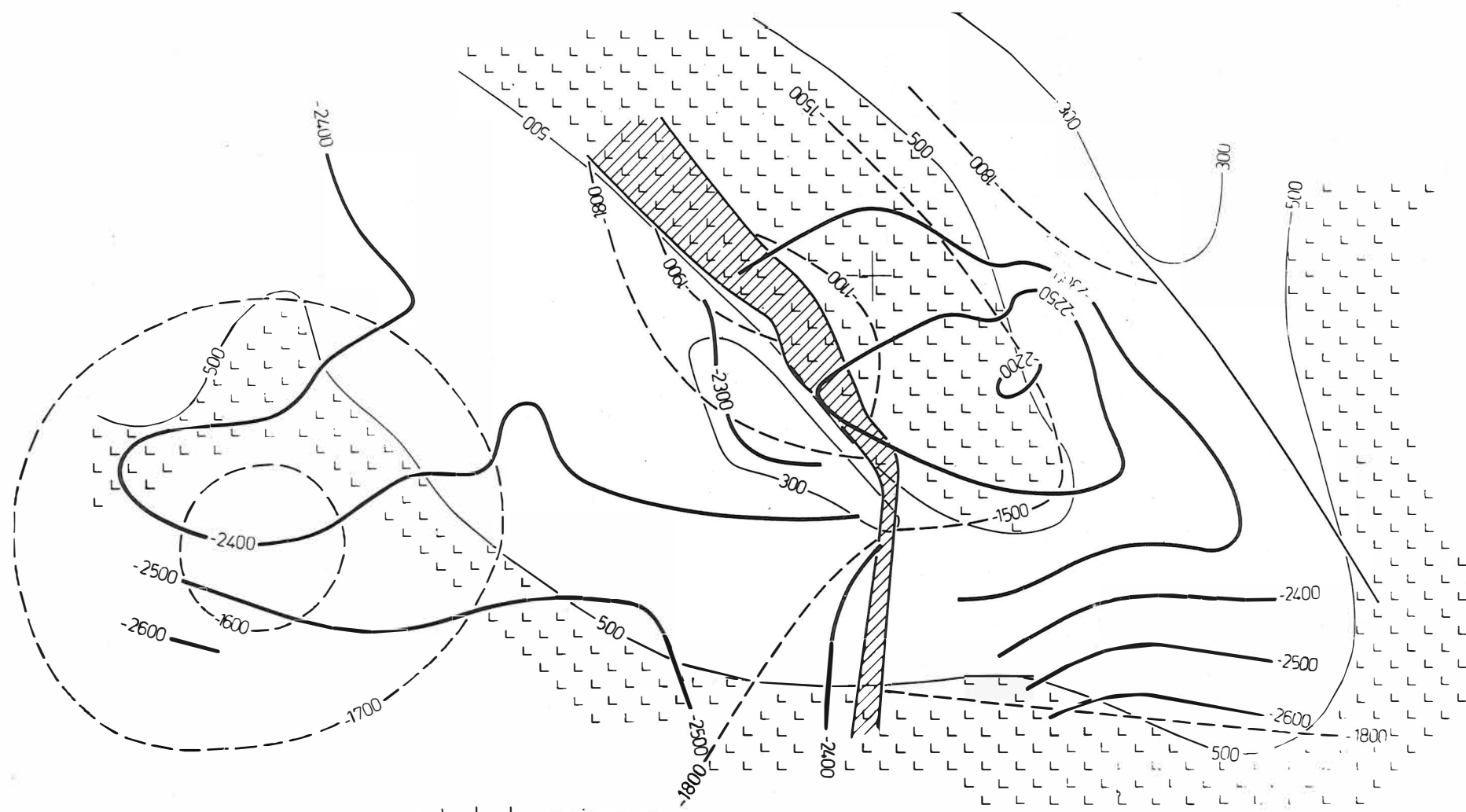
7.2.1. Salinar

7.2.1.1. Zu den Vertikalbeziehungen innerhalb des Salinar-Teilstockwerkes

Die Mächtigkeitsverteilung des Salinars insgesamt und des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 erlaubt, das Untersuchungsgebiet in die Akkumulationsgebiete Reinkenhagen und Grimmen und in die Abwanderungsgebiete (Randsenken) zwischen Grimmen und Reinkenhagen sowie östlich Reinkenhagen zu gliedern. Aus der Mächtigkeitsverteilung als Folge der Fließvorgänge ist grundsätzlich eine Vertikalgliederung des Salinar-Teilstockwerkes in einen hangenden Abschnitt Kalilager Staßfurt K 2 bis Grenzanhydrit A 5 r und einen liegenden Abschnitt Staßfurt-Steinsalz Na 2 abzuleiten. Zwischen beiden Subteilstockwerken hat sich als Folge der salinaren Fließbewegungen, die vor allem das Staßfurt-Steinsalz Na 2 betrafen, ein disharmonischer Stockwerkbau herausgebildet (vgl. Abb. 5, 43, 44). Der Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation über der Subsalinar-Hochlage Reinkenhagen entspricht ein Mächtigkeitsminimum des Salinaranteiles oberhalb des Staßfurt-Steinsalzes Na 2, der schwachen positiven Mächtigkeitsanomalie über der Subsalinar-Hochlage Grimmen jedoch ein Mächtigkeitsmaximum des Salinaranteiles oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2. Im Bereich der Zwischensenke mit reduziertem Staßfurt-Steinsalz Na 2 ist der Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 ebenfalls reduziert (Abb. 43, 44).

Generell läßt sich feststellen: Die Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 sind um so geringmächtiger, je mächtiger das Staßfurt-Steinsalz Na 2 ist. Vor allem bei der Halokinese wurde das Staßfurt-Steinsalz Na 2 akkumuliert, während der Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 ausgedünnt wurde (z.B. Kalilager Staßfurt K 2). Jedoch werden anscheinend die Mächtigkeiten vom Liegenden (Hauptanhydrit A 3) zum Hangenden (Grenzanhydrit A 5 r) vom Staßfurt-Steinsalz Na 2 zunehmend weniger beeinflusst.

Ferner bestehen in beiden Strukturen Beziehungen zwischen den Mächtigkeiten der Salinarglieder bzw. -gruppen und ihrer heutigen Tiefenlage. Diese Beziehungen sind in der Struktur Reinkenhagen - auf Grund der sehr intensiven Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation - deutlicher ausgeprägt als in der Struktur Grimmen. In der Struktur Reinkenhagen ist das Staßfurt-Steinsalz Na 2 um so mächtiger, bzw. es sind umgekehrt alle Salinarglieder oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 um so geringmächtiger, je höher die Oberkante Salinar liegt. Auch in der Struktur Grimmen gelten die gleichen Beziehungen wie für das Staßfurt-Steinsalz Na 2. Für die Salinarglieder Pegmatitanhydrit A 4, Ohre-Anhydrit A 5, Ohre-Steinsalz Na 5 und Grenzanhydrit A 5 r sind jedoch derartige Beziehungen zwischen Mächtigkeit und Tiefenlage der Horizonte nicht nachweisbar, für die übrigen Salinarglieder, d.h. Kalilager Staßfurt K 2, Hauptanhydrit A 3, Anhydritmittel A 3 m, Leine-Steinsalz Na 3 und Aller-Steinsalz Na 4, deuten sie sich an.



- 500 Na₂-Mächtigkeit
- 1700 Tiefenlage Oberfläche Salinar (=Unterfläche Postsalinar)
- 2400 Tiefenlage Oberfläche Subsalinar
- Störung nach Unterkante T1

Abb. 43
Vergleich absolute Mächtigkeiten Staßfurt-Steinsalz mit Tiefenlage Oberfläche Subsalinar und Oberfläche Salinar (=Unterfläche Postsalinar)
 Strukturbereich Grimmen-Reinken

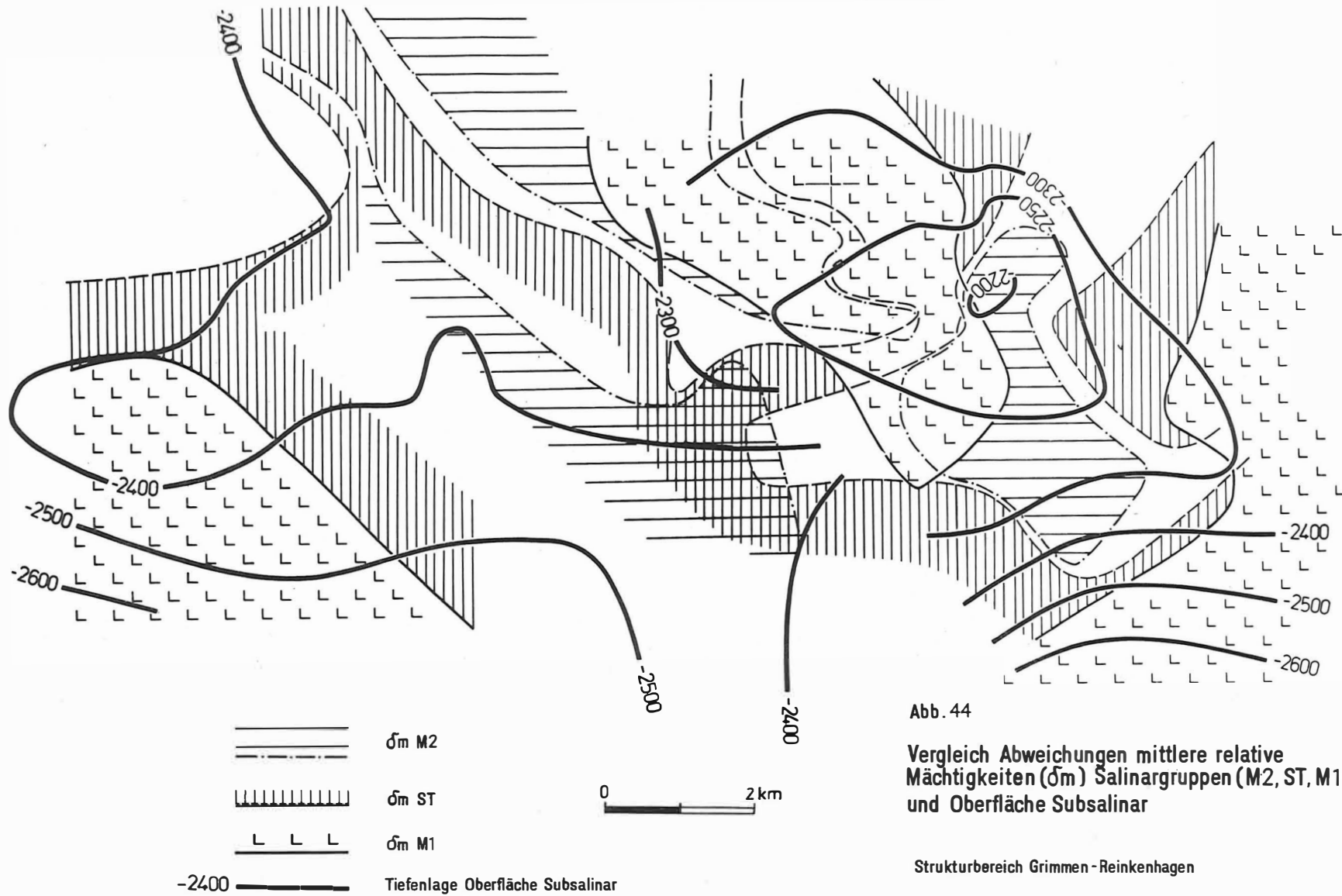


Abb. 44

Vergleich Abweichungen mittlere relative Mächtigkeiten (δ_m) Salinargruppen (M2, ST, M1) und Oberfläche Subsalinar

Strukturbereich Grimmen-Reinkenhagen

Die beschriebenen Vertikalbeziehungen im Salinar-Teilstock der Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhausen werden als Ausdruck unterschiedlicher Teilbeweglichkeiten des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 und des Salinaranteils oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 interpretiert. Diese schon lange aus Salzdiapiren bekannten Teilbeweglichkeitsunterschiede konnten nunmehr auch am Beispiel von relativ schwach verformten Salzkissenstrukturen nachgewiesen werden. Neben der übergeordneten vertikalen Differenzierung des Salinar-Teilstockwerkes in zwei Subteilstockwerke besteht im Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 eine weitere untergeordnete, teilbeweglichkeitsabhängige Mächtigkeitsdifferenzierung, die aus der erweiterten Mächtigkeitsanalyse (Streuung, Rangkorrelation) abgeleitet wurde:

oberes Subteilstockwerk: Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2	geringe bis mittelgroße Teilbeweglichkeit bei großen bis kleinen Mächtigkeiten
Hauptanhydrit A 3	- geringe Teilbeweglichkeit bei großer Mächtigkeit
Kalilager Staßfurt K 2, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o, Aller-Steinsalz	- mittelgroße Teilbeweglichkeit bei mittelgroßer Mächtigkeit
Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4, Ohre-Anhydrit A 5, Ohre- Steinsalz Na 5, Grenzanhydrit A 5 r	- mittelgroße Teilbeweglichkeit bei kleiner Mächtigkeit
unteres Subteilstockwerk: Staßfurt-Steinsalz Na 2	hohe Teilbeweglichkeit bei sehr großer Mächtigkeit

Aus der unterschiedlichen Teilbeweglichkeit der Subteilstockwerke des Salinars ergibt sich folgendes wahrscheinliches Verhalten bei der Halokinese (Abb. 20 und 27):

Staßfurt-Steinsalz Na 2	große Fließfähigkeit im Sinne der salinaren Fließmechanik und damit große Mächtigkeitsänderungen während der Halokinese
Hauptanhydrit A 3	geringe Fließfähigkeit und damit geringe Mächtigkeitsänderungen während der Halokinese. Erbohrte Mächtigkeiten sind im wesentlichen als primäre Mächtigkeiten anzusehen.
Kalilager Staßfurt K 2, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o, Aller-Steinsalz Na 4	mittelgroße Fließfähigkeit und damit mittelgroße Mächtigkeitsänderungen während der Halokinese
Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4, Ohre-Anhydrit A 5, Ohre-Steinsalz Na 5, Grenzanhydrit A 5 r	mittelgroße Fließfähigkeit bei der Halokinese. Die großen Mächtigkeitsänderungen sind weitgehend von einem durch die geringen Mächtigkeiten bedingten systematischen Fehler beeinflusst.

7.2.1.2. Zur primären Mächtigkeitsverteilung

Aus der Interpretation der Teilbeweglichkeit und der Deutung der Rangkorrelation sind Aussagen über die primäre Mächtigkeitsverteilung der Salinarglieder bzw. -abfolgen möglich, die auf die Halokinese zurückgehen bzw. die primäre Mächtigkeitsverteilung widerspiegeln. Primär hat das Staßfurt-Steinsalz Na 2 - auch entsprechend dem regionalen Mächtigkeitsgradienten - über der Subsalinar-Hochlage Reinkenhausen wahrscheinlich in reduzierter Mächtigkeit vorgelegen.

Während das hoch teilbewegliche Staßfurt-Steinsalz Na 2 aus den umgebenden Zwischensenken (primären Randsenken) in die Strukturkerne und -tops, vor allem von Reinkenhagen und nur untergeordnet von Grimmen, eingewandert ist, wurden die Mächtigkeiten des Kalilagers Staßfurt K 2 nur wenig beeinflusst. Es ist nur in geringem Umfange aus den Randsenken abgewandert und an der Flanke der Struktur Reinkenhagen angestaut.

Die Mächtigkeitsunterschiede des Hauptanhydrits A 3 an den Flanken und in den Topbereichen der Strukturen werden auf Grund seiner geringen Teilbeweglichkeit als primär angesehen und die erhöhten Mächtigkeiten in den Strukturtops als Teil des Hauptanhydrit-A-3-Walles gedeutet, der aus der regionalen Mächtigkeitsverteilung bekannt ist. Ausdünnung des Hauptanhydrits A 3 wie in den Strukturtops vom Typ des Subherzyns sind hier nicht bekannt geworden.

Oberes Leine-Steinsalz Na 3 o und Aller-Steinsalz Na 4 sind bei mittelgroßer Teilbeweglichkeit im Top der Struktur Reinkenhagen bei der intensiven Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Akkumulation ausgedünnt worden, während in der Struktur Grimmen bei wesentlich geringerem Staßfurt-Steinsalz-Na-2-Anstau eine gewisse Akkumulation möglich erscheint.

Die erhöhten Mächtigkeiten der Anhydrite Anhydritmittel A 3 m, Pegmatitanhydrit A 4 und Ohre-Anhydrit A 5 in den Strukturtops können als primär und damit als Hinweis auf eine Wallbildung angesehen werden. Doch ist bei den geringen Mächtigkeiten der bereits genannte systematische Fehler wahrscheinlich von großem Einfluß. Ohre-Steinsalz Na 5 und Grenzanhydrit A 5 r sind im Top von Reinkenhagen - etwa analog oberem Leine-Steinsalz Na 3 o und Aller-Steinsalz Na 4 - ausgedünnt und in der Struktur Grimmen angestaut.

7.2.1.3. Zu den Beziehungen der Teilstockwerke Subsalinar - Salinar

Aus der Strukturanalyse (Tiefenlinienpläne) läßt sich erkennen, daß das Subsalinar im Bereich Grimmen-Reinkenhagen einen zusammenhängenden, E-W streichenden Rücken bildet, dessen Teilhochlagen Reinkenhagen und Grimmen durch eine asymmetrische Depression getrennt werden. Die Mächtigkeitsverteilungen des Staßfurtkarbonats Ca 2 und des Basalanhydrits A 2 stimmen damit gut überein (Abb. 4 und 7). Sie zeigen ebenfalls eine E-W streichende Zone mit erhöhten Mächtigkeiten, die generell den Subsalinar-Hochlagen in den Tiefenlinienplänen entspricht. Die erhöhten Staßfurt-Karbonat-Ca-2- und Basalanhydrit-A-2-Mächtigkeiten werden als Wallbildung wahrscheinlich über einem Schwelengebiet des tieferen Subsalinars gedeutet.

Die Schwelle von Reinkenhagen hat nach der Analyse der Salinarmächtigkeiten vermutlich im höheren Zechstein weiter gewirkt, worauf generell erhöhte Anhydritmächtigkeiten und reduzierte primäre Halitmächtigkeiten hinweisen. Die halokinetisch bedingte Akkumulation des Staßfurt-Steinsalzes Na 2 erfolgte bevorzugt an den Flanken dieser Subsalinar-Hochlage, demgegenüber zeigt der Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 ein Mächtigkeitsminimum (Abb. 28, 43 und 44). - Im Bereich Grimmen erscheint nach anfänglich reduzierter Sedimentation sowohl von Haliten als auch von Anhydriten (Staßfurt-Steinsalz Na 2, A 3, unteres Leine-Steinsalz Na 3 u), die ebenfalls für die

Existenz einer Schwelle spricht, im höheren Zechstein eine Bewegungsumkehr möglich, weil die Halite und Anhydrite der Aller- und Ohre-Serie offenbar in primär größerer Mächtigkeit als in Reinkenhagen abgelagert worden sind.

7.2.2. Postsalinar

7.2.2.1. Zu den Vertikalbeziehungen innerhalb des Postsalinar-Teilstockwerkes

Die regionale Vertikalgliederung des präalpinen Postsalinar-Teilstockwerkes in zwei Subteilstockwerke - als Ausdruck von paläotektonischen Entwicklungsetappen - kennzeichnet auch die Deckgebirgstektonik im Strukturgebiet Grimmen-Reinkenhagen. Das untere Subteilstockwerk umfaßt stratigraphisch den Unteren Buntsandstein bis Mittleren Keuper, das obere Subteilstockwerk die heute Mittleren Keuper bis Lias umfassende Schichtenfolge. Wahrscheinlich als Folge der salinaren Fließvorgänge lassen sich in den Subteilstockwerken weitere Entwicklungsetappen aushalten (vgl. Abb. 37 - 42):

	Reinkenhagen	Grimmen
Oberes Subteilstockwerk:	Domer	J 1 tt
Mittlerer Keuper (T 3.2) - Lias (J 1)	T 3.2 - J 1 c	T 3.2 - J 1 d
Altkimmerische Bewegungen: Neben Bruchtektonik Verstärkung der halokinetischen Prozesse		

Unteres Subteilstockwerk:	T 1.1 - T 3.2	T 2.3 - T 3.2
Unterer Buntsandstein (T 1.1) - Mittlerer Keuper (T 3.2)	T 1.1	T 1.1 - T 2.2

7.2.2.2. Zur Mächtigkeitsverteilung und -entwicklung des Postsalinars

Nach der Mächtigkeitsverteilung des Unteren Buntsandsteins gliedert sich das Strukturgebiet Grimmen-Reinkenhagen in Schwellen (Reinkenhagen) und Senken (Grimmen). Im Bereich der heutigen Struktur Reinkenhagen deckt sich die Zone reduzierter Mächtigkeit des Unteren Buntsandsteins mit der Subsalinar-Hochlage, während der Zone erhöhter Mächtigkeit des Unteren Buntsandsteins im Bereich der heutigen Struktur Grimmen eine schwache Hochlage des Subsalinars (Abb. 43 und 44) gegenübersteht. Da aus der Ca-2-Mächtigkeitskarte noch keine größeren primären Mächtigkeitsunterschiede zwischen Grimmen und Reinkenhagen gefolgert werden können, ist anzunehmen, daß es sich in der aus der Mächtigkeit des Unteren Buntsandsteins ableitbaren Schwellenposition von Reinkenhagen um eine Hochlage handelt, die durch erhöhte Mächtigkeiten des Salinars insgesamt verursacht wird.

In der Folgezeit zeichnet sich der Bereich von Reinkenhagen bis zum Toarce als Gebiet geringerer Mächtigkeiten (Mächtigkeitsminima) ab. Demgegenüber ist der Bereich von Grimmen vom Unteren Buntsandstein bis Mittleren Muschelkalk durch höhere Mächtigkeiten (Mächtigkeitsmaxima) ausgewiesen; erst ab Oberem Muschelkalk finden sich auch

dort geringere Mächtigkeiten. Ein wichtiges Merkmal der Mächtigkeitsentwicklung im Bereich beider Strukturen ist, daß die Achsen und die Größe der Mächtigkeitsmaxima und -minima zeitlich nicht konstant bleiben, sondern sich mit zunehmender Salinarakkumulation verlagern. Generell wandern die Randsenken westlich und östlich Reinkenhagen nach Osten, in Richtung auf die Struktur Reinkenhagen (vgl. SARNEEMANN 1968).

7.2.2.3. Zur Genese der Salinarstrukturen

Die aus der Mächtigkeitsentwicklung bzw. -verteilung des Postsalinars ableitbare Genese der Salinarstrukturen Grimmen und Reinkenhagen erfolgte in vier Entwicklungsstapen, wie von WENDLAND (1973) beschrieben:

1. Im Unteren Buntsandstein verstärkt sich eine sich postum aus dem Untergrund abbildende Schwellen- (Reinkenhagen) und Senken- (Grimmen)Gliederung.
2. Ab Mittlerem Buntsandstein machen sich erste, verstärkte Mächtigkeitsänderungen bemerkbar; sie werden vom Verfasser vorwiegend auf halokinetische Vorgänge (Reinkenhagen) zurückgeführt. Die Schwellen- und Senkengliederung des Unteren Buntsandsteins beginnt sich unter Entstehung embryonaler primärer Randsenken halokinetisch auszugestalten. Mit dem Unteren Keuper beginnt die eigentliche Entwicklung der Struktur Reinkenhagen.
3. Im Mittleren Keuper verstärken sich die endogen-tektonischen Bewegungen (altkimmerische Phasen). Die tektonischen Bewegungen konzentrieren sich u.a. auf die Reinkenhagener Störungzone: Durch die sich aktivierende und intensivierende Halokinese wird auch der Versatz an der Störung größer. Mit den verstärkten Bewegungen an der Störung paßt sich die Strukturachse von Reinkenhagen an die Störung an, was in einer Drehung der Strukturachse von NW—SE nach NNW—SSE zum Ausdruck kommt. Als Folge der Halokinese entwickeln sich die Struktur Reinkenhagen und die umgebenden Randsenken im Bereich der Störungszonen verstärkt weiter. Im Top von Reinkenhagen liegt heute um 600 m mehr Staßfurt-Steinsalz als in der angrenzenden westlichen Randsenke. Das Einzugsgebiet der anfangs langsamen Salzabwanderung dürfte zunächst auch den Bereich von Grimmen erfaßt haben. - Ab Mittlerem Keuper macht sich auch Grimmen eindeutig als Strukturhochlage bemerkbar. Die Salzakkumulation konnte hier aber offenbar nicht das Ausmaß von Reinkenhagen erreichen, weil im Einzugsbereich der Struktur das Salz bis zum Mittleren Keuper bereits in die Struktur Reinkenhagen abgewandert war. Bei der Salzakkumulation im Gebiet von Grimmen hat die zugewanderte Salzmenge die vorher abgewanderte nicht wesentlich übertroffen, so daß im Bereich von Grimmen heute nur eine schwache positive Mächtigkeitsanomalie des Salinars vorliegt.
4. Ab Oberem Keuper bis Toarce erfolgt die weitere halokinetische Ausformung der Salzantiklinalen und primären Randsenken (Carix und Toarce). Die Entwicklung der Struktur Reinkenhagen kulminierte im Domer, dagegen konnten für die Entwicklung der Struktur Grimmen Höhepunkte im Carix und Toarce nachgewiesen werden. Während die insgesamt viel schwächere Entwicklung der Struktur Grimmen im wesentlichen Ende Lias abgeschlossen war, ging sie in der Struktur Reinkenhagen postliassisch wahrscheinlich noch weiter, wie aus der Zunahme der Amplituden in den Tiefenlinienplänen geschlossen werden kann. Die weitere, postliassische Entwicklung ist aus dem engeren Untersuchungsgebiet Grimmen-Reinkenhagen infolge der fehlenden Sedimente von Dogger bis Tertiär nicht ableitbar, sondern nur aus der Entwicklung der übrigen Bereiche der Barth-Grimmener Strukturzone.

8. Schlußfolgerungen und Zusammenfassung

1. Die Untersuchung der "Strukturentwicklung schwach dislozierter Salinarstrukturen in Nordost-Mecklenburg (Strukturen Grimmen und Reinkenhagen)" stellt einen bevorzugt methodisch ausgerichteten Beitrag zum disharmonischen und historischen Stockwerkbau des postvariszischen Deckgebirges am Nordrand der Nordostdeutschen Senke, speziell zur Untersuchung der Auswirkungen halokinetischer Vorgänge im Salinarkörper und auf die strukturelle Entwicklung des Postsalinars, dar.
2. Bei den Untersuchungen zur salinaren Fließmechanik wurden das Salinar und das Postsalar der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen als genetisch zusammenhängende Teilstockwerke betrachtet und mit analogen Methoden der Mächtigkeitsanalyse untersucht. Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde die konventionelle Mächtigkeitsanalyse von Salinar und Postsalar durch eine erweiterte Mächtigkeitsanalyse mit Hilfe einfacher mathematisch-statistischer Verfahren (Berechnungen von Mittelwerten, Streuungen, Rangkorrelation) ergänzt. Im einzelnen wurden die horizontalen Mächtigkeitsbeziehungen der Salinarglieder untereinander und ihre räumliche Verteilung sowie die Vertikalbeziehungen zwischen heutigen Tiefenlagen und Mächtigkeiten der Salinargesteine untersucht.
3. Mit Hilfe dieser Verfahren ist es möglich, qualitative Aussagen über die primären Mächtigkeitsverhältnisse in einfachen Salinarstrukturen (Salzkissen) zu machen, insbesondere dann, wenn man das unterschiedliche fließmechanische Verhalten kompetenter und inkompetenter Salinarglieder berücksichtigt. Dabei hängt die Anwendungsmöglichkeit der beschriebenen Verfahren vom Aufschlußstand des Untersuchungsgebietes, im Salinar speziell vom Deformationsgrad der Salinarserien, ab, so daß die angewandte Methodik zunächst nur auf analoge Strukturen übertragbar ist. Mit Hilfe der Mächtigkeitsanalyse können zwar die während der Strukturbildung ablaufenden Prozesse (Kinematik) erfaßt werden, über deren Ursachen sind aber nur allgemeine Schlüsse möglich. Daher sollte die Mächtigkeitsanalyse durch Untersuchungen sowohl des Stoff- als auch des Gefügebestandes ergänzt werden.
4. Das Deckgebirge der Strukturen Grimmen und Reinkenhagen läßt eine disharmonische Gliederung in geomechanisch sich unterschiedlich verhaltende Teilstockwerke, d.h. in Postsalar, Salinar und Subsalinar, erkennen. Da jedoch die Strukturpläne von Post- und Subsalinar generell übereinstimmen (Strukturplan-Postunität), kann gefolgert werden, daß die Grenzen zwischen den oben genannten Teilstockwerken keine historischen Stockwerksgrenzen darstellen. Damit sind aus Bau und Entwicklung des Postsalinars und Salinars Rückschlüsse auf den subsalinaren Unterbau und damit auf die Beckengenese möglich.
5. Das in vielen strukturgeologischen Untersuchungen en bloc betrachtete Salinar ist nicht als geomechanisch einheitlicher Körper aufzufassen. Im Zuge der Halokinese kommt es auf Grund der unterschiedlichen Teilbeweglichkeit der Salinarglieder, hier speziell der Halite und Anhydrite, zu einer geomechanischen Sonderung des Salinar-Teilstockwerkes in zwei Subteilstockwerke mit deutlicher Disharmonie der Strukturpläne: fließfähiges Staßfurt-Steinsalz Na 2 und die relativ passiv ver-

harrende Schichtenfolge vom Kalilager Staßfurt K 2 bis zum Grenzanhydrit A 5 r. Die erweiterte Mächtigkeitanalyse erlaubt, die Differenzierung der Salinarfolge nach weiteren Teilbeweglichkeitsunterschieden im einzelnen zu verfolgen. Demzufolge wird das Salinar in vier Gruppen unterschiedlicher Teilbeweglichkeit untergliedert. Im Verlauf der Halokinese wandert das schon primär mächtige Staßfurt-Steinsalz Na 2 (unteres Subteilstockwerk) aus der Umgebung von Subsalinar-Hochlagen ab und akkumuliert sich über ihnen. Entsprechend seiner wesentlich geringeren, in sich aber differierenden Teilbeweglichkeit wird der Salinaranteil oberhalb Staßfurt-Steinsalz Na 2 (oberes Subteilstockwerk) während der Halokinese insgesamt nur relativ wenig beansprucht; seine Glieder zeigen aber ein unterschiedliches Verhalten. Während der starre Block von Hauptanhydrit A 3 und Anhydritmittel A 3 m seine primäre Mächtigkeitsverteilung im wesentlichen beibehalten haben dürfte, sind die anderen Halite und Anhydrite, speziell Kalilager Staßfurt K 2, oberes Leine-Steinsalz Na 3 o und Aller-Steinsalz Na 4, in den Topbereichen der Strukturen z.T. ausgedünnt und an den Flanken angestaut worden.

6. Die postsalinare Genese der beiden Salzkissen-Strukturen, die zunächst von der zu Beginn des Buntsandsteins vorliegenden älteren Schwellen- und Senkengliederung ausgeht, beginnt bereits im Mittleren Buntsandstein. Als Ursache des frühen Einsetzens halokinetischer Prozesse wird die relativ hohe Mobilität des Beckenrandes angenommen. Die halokinetischen (Fließ-)Vorgänge finden zunächst ihren Ausdruck in Verlagerungen und Richtungswechseln der Mächtigkeitsmaxima (Salzabwanderungsgebiete) und -minima (Salzakkumulationsgebiete); erstere werden später zu primären Randsenken ausgestaltet. Die weitere postsalinare Entwicklung der in ihrem Zusammenhang betrachteten Strukturen (einschließlich Störungen) bis zum Lias wird vor allem auf halokinetische Vorgänge sowie auf endogen-tektonische Vorgänge (altkimmerische Bewegungen) zurückgeführt, ohne beide Prozesse bisher quantitativ trennen zu können. Die große Bedeutung der Halokinese zeigt sich u.a. an der zeitlich abweichenden Entwicklung beider Strukturen.
7. Die detaillierte Mächtigkeituntersuchung des Salinars und Postsalinars erlaubt nicht nur Folgerungen über die Genese der Strukturen, sondern gibt auch Hinweise auf primäre (relative) Mächtigkeitsverteilungen der Salinarglieder, d.h. auf die salinare Schwellen- und Senkengliederung, und damit auch Aussagen über die Beziehungen von Salinar und Subsalinar. Die Anlage der untersuchten Salinargebiete ist an Untergrundstrukturen gebunden und dokumentiert die kontinuierliche tektonische Entwicklung von Sub- und Postsalinar im Sinne einer historischen Stockwerkentwicklung.

Insgesamt stellen die erzielten Ergebnisse einen Beitrag zur Charakterisierung der saxonischen Tektonik STILLES bzw. zur Tektonik junger Tafeln im nördlichen Randbereich der Norddeutsch-Polnischen Senke dar. Auf der Grundlage der bevorzugt paläotektonisch orientierten Untersuchungen ließen sich neue Ansatzpunkte zur geomechanischen Analyse der Salinarstrukturen und damit zur Fließmechanik von Salzkörpern erkennen, deren weitere Bearbeitung für Theorie und Praxis in mehrfacher Hinsicht lohnend erscheint.

Literatur

- AHLBORN, O.: Die Ausbildungsformen des Staßfurt-Lagers am Roßlebener und Bernburger Sattel in ihrer Beziehung zur Tektonik.
Z. dt. geol. Gesellsch., Berlin 86 (1934), S. 663-699
- ARUTJUNOV, S.A.; DROBOT, D.I. u.a.: Tektonika i neftegazonosnost' galogennoj formaciji nižnego kembrija Sibirskoj platformy. In: Galogenn. formaciji Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 99-101.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- BAUERSCHÄFER, R.; GOLDBECKER, K.: Zur Geologie der Erdöllagerstätte Reinkenhausen.
Z. angew. Geol., Berlin 8 (1962) 10, S. 507-512
- BENAVIDES, V.: Saline deposits of South America.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 249-290
- BERNER, H.; RAMBERG, H.; STEPHANSSON, O.: Diapirism in theory and experiment.
Tectonophysics, Amsterdam 15 (1972) 3, S. 197-218
- BERNŠTEJN, G.L.; KARAPETOV, K.K. u.a.: Nekotorye osobennosti geologičeskogo stroenija Litvincevskogo vala po glubokim gorizontam nižnego kembrija.
Geol. i Geofiz., Novosibirsk (1971) 2, S. 128-134
- BEUTLER, G.: Beziehungen zwischen dem altkimmerischen Strukturplan und dem tieferen Untergrunde.
Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam (1973) 14, T. 1, S. 113-118
- BOER, H.U. de: Gefügeregelung in Salzstöcken und in deren Hüllgesteinen.
Kali u. Steinsalz, Essen 2 (1971) 12, S. 403-425
- BRUCKNER, W.; PETZKA, M.: Paläogeographie und Lagerungsverhältnisse von Alb und Oberkreide in Nordostmecklenburg.
Ber. dt. Gesellsch. geol. Wiss., A Geol. Paläont., Berlin 12 (1967) 5, S. 521 bis 533
- BUŠ, V.A.; GOLOV, A. u.a.: Soljanokupol'nye struktury vostočnoj časti Severo-Germanskoj vpadiny i osobennosti ich razmeščenija.
Izvest. VUZ Geol. i Razv., Moskva (1970) 3, S. 27-34
- CHAJRETDINOV, I.A.; AVZJANOV, V.S. u.a.: Opyt primenenija reologii i pravila razloženija vektorov mehaničeskogo nagruženija k ob'jasneniju diapirovych javlenij. In: Galogenn. formaciji Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 224-226.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- CHMEL', F.F.; FESCENKO, N.M. u.a.: Nekotorye osobennosti stroenija devona severo-zapada Dneprovsko-Donckoj vpadiny i ocenka ego neftegazonosnosti.
Geol. Ž., Kiev 33 (1973) 2, S. 142-147
- ČIRVINSKAJA, M.V.; ZABELLO, G.D. u.a.: Vzaimosvjaz' soljanoj tektoniki Dneprovsko-Donckoj vpadiny s rel'efom fundamenta.
Tr. mosk. Inst. neftechim. i gaz. prom-sti, Moskva 90 (1970), S. 236-241
- EARGLE, D.H.: Stratigraphy and structure of the Tatum salt dome area, southeastern Mississippi and northeastern Washington Parish, Louisiana.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 381-405
- ELBERSKIRCH, W.: Geologische Strukturpläne der Umgebung des Salzstockes Mölme bei Hildesheim.
Geol. Jb., Hannover 89 (1971), S. 553-573
- EROŠINA, D.M.; KISLIK, V.Z.: Osobennosti stroenija solenosnych otloženij v svjazi s soljanokupol'noj tektonikoju v predelach Rečicko-Višanskogo vala.
Dokl. AN Beloruss. SSR, Minsk 16 (1972) 3, S. 248-251
- ESCHER, B.G.; KUENEN, Ph.H.: Experiments in connection with salt domes.
Leidse geol. Meded., Leiden (1929) 3,3, S. 151-182

- FLEISCHER, S.: Die stratigraphische, fazielle und tektonische Ausbildung des Hauptanhydrits auf dem Berlepsch-Maybach-Schacht in Staßfurt.
Freiberger Forsch.-H. R. C, Berlin (1960) 90, S. 52-87
- FULDA, E.: Salztektonik.
Z. dt. geol. Gesellsch., Berlin (1928) 79 (1927), S. 178-196
- GOLUBEV, B.M.: Morfologičeskie osobennosti skladok vnutri kalijnoj tolšči Verchnekamskogo mestoroždenija i uslovija ich formirovanija.
Dokl. AN SSSR, Moskva 204 (1972) 3, S. 671-673
- GRIGOR'EV, S.N.: Karty odnositel'noj moščnosti.
Geol. i Geofiz., Novosibirsk (1968) 7, S. 146-150
- GUNZERT, G.: Salzfolge und Bau der Kalisalz-Lagerstätte von Stebnik im ukrainischen Subkarpatikum.
Geotekton. Forsch., Stuttgart 26 (1967), S. 1-59
- HITE, R.J.: Salt deposits of the Paradox Basin, Southeast Utah and Southwest Colorado.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 319-330
- IVANOV, Ju.A.; SMETANINA, V.P. u.a.: O svjazi struktur podsolvogo kompleksa s prostranstvennym raspoloženiem soljanokupol'nych struktur v vostočnoj časti Prikaspijskoj vpadiny.
Tr. vses. naučno-issl. geol.-razv. neft. Inst., Moskva 84 (1971), S. 131-137 (n. Ref. Ž. Geol., Moskva (1972) 1. A 309)
- JARMOLA, V.D.: Primenenie količestvennoj metodiki na Majsom mestoroždenii gaza v Turkmenii.
Izvest. AN turkm. SSR, Ser. fiz.-techn., chim. i geol. n., Ašchabad (1971) 3, S. 119-123
- JUBITZ, K.-B.: Beziehungen zwischen Deckgebirgstektonik (Postsalinär und Salinar) und Subsalinarverformung im nordwestlichen Thüringer Becken im Hinblick auf Erdöl- und Erdgasakkumulation. Stockwerkgliederung des postvariszischen Deckgebirges in SW-Brandenburg und Subherzyn auf historisch-tektonischer Basis [Huywald-Bericht].
Unveröff. wiss. Bericht Geotekt. Inst. DAW, Berlin 1963, 108 S. (masch.)
- JUBITZ, K.-B.: Beziehungen zwischen Stoffbestand und Bauformen im Tafeldeckgebirge. Methodische Gesichtspunkte und Probleme moderner tektonischer Grundlagenforschung im germanotypen Deckgebirge junger Tafeln - 20 Jahre Deckgebirgsforschung im Gebiet der DDR.
Geologie, Berlin 18 (1969) 8, S. 911-945
- KARASEVA, V.I.: Sravnitel'naja charakteristika soljanogo tektogeneza i neftegazonosnosti Pripjatskoj vpadiny i Irkutskogo amfiteatra.
Tr. mosk. Inst. neftechim. i gaz. prom-sti, Moskva 90 (1970), S. 197-203
- KARASEVA, V.I.: O vozmožnosti pojavlenija soljanogo tektogeneza v period obrazovanija galogennyh otloženij (na primere Pripjatskoj vpadiny). In: Galogenn. formacii Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 84-85.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- KIESEL, A.: Beziehungen zwischen der Auswirkung tektonischer Druckkräfte in der Übergangszone von Hartsalz und Carnallit.
Kali, Halle 18 (1924) 6, S. 73-77
- KITYK, V.I.: Uslovija obrazovanija soljanych struktur.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1963. 204 S.
- KITYK, V.I.: Soljanaja tektonika Dneprovsko-Donckoj vpadiny.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1970. 203 S.
- KNAK, I.: Feinstratigraphische Aufnahme des Kalilagers Staßfurt auf den Schachtanlagen Neustaßfurt VI/VII, Berlepsch-Maybach und Ludwig II.
Freiberger Forsch.-H. R. C, Berlin (1960) 90, S. 7-51

- KNAPPE, H.: Tektonischer Bau und Strukturgenese im nordwestlichen Vorland des Flechtinger Höhenzuges. Teil I: Stratigraphischer Überblick und Lagerungsverhältnisse.
Geologie, Berlin 12 (1963) 5, S. 509-536
- KNAPPE, H.: Tektonischer Bau und Strukturgenese im nordwestlichen Vorland des Flechtinger Höhenzuges. Teil II: Regionale Entwicklung und struktureller Bau.
Geologie, Berlin 12 (1963) 6, S. 637-673
- KONIŠČEV, V.S.; LUPINOVIČ, Ju.I. u.a.: Ob uslovijach formirovanija solenosnyh formacij.
Dokl. AN Beloruss. SSR, Minsk 17 (1973) 6, S. 549-552
- KONIŠČEV, V.S.; MAKAREVIČ, V.N.: Konsedimentacionnye soljanye struktury i fazy kupoloobrazovanija.
Dokl. AN Beloruss. SSR, Minsk 16 (1972) 6, S. 549-552
- KOSMAHL, W.: Zur Stratigraphie, Petrographie, Paläographie, Genese und Sedimentation des Gebänderten Anhydrits (Zechstein 2), Grauen Salztone und Hauptanhydrites (Zechstein 3) in Nordwestdeutschland.
Beih. geol. Jb., Hannover (1969) 71, 129 S.
- KUDRJAVCEV, Ju.E.: Nekotorye dannye o geologičeskom stroenii Stebnikskogo mestoroždenija kalijných solej. In: Materialy po gidrogeol. i geol. roli podzemn. vod, S. 71-79.
Leningrad: Leningr. un-t 1971
- LIECHTI, P.: Salt features of France.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 83-106
- LOEFFLER, J.: Die Kali- und Steinsalzlagerstätten des Zechsteins in der Deutschen Demokratischen Republik. Teil III: Sachsen-Anhalt.
Freiberger Forsch.-H. R. C, Berlin (1962) 97/III, S. 1-347
- LOTZE, F.: Salzdiapirismus im nördlichen Spanien.
Z. dt. geol. Gesellsch., Hannover (1955) 105 (1953), S. 814-822
- LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalze, I. Teil: Allgemein-geologischer Teil, 2. Aufl.
Berlin: Verlag Bornträger 1957. 465 S.
- LOTZE, F.: Tectonic development of the salt domes in northern Spain. In: Geology of saline deposits. Proc. Hannover Symp., 1968 (Earth Sciences 7), S. 207.
Paris: UNESCO 1972
- McNAUGHTON, D.A.; QUINLAN, T. u.a.: Evolution of salt anticlines and salt domes in the Amadeus Basin, Central Australia.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 229-247
- MEIER, R.; WENDLAND, F.: Zu einigen allgemeinen Aspekten der Tektonik von salinaren Strukturen. In: 25 Jahre Geotektonik an der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Festkolloquium, Potsdam, 21. und 22. Oktober 1971, Kurzfassung der Vorträge, S. 11-12.
Potsdam: Zentralinstitut Physik d. Erde 1971
- MEINHOLD, R.: Bemerkungen zur Frage des Salzaufstieges.
Freiberger Forsch.-H. R. C, Berlin (1956) 22, S. 65-77
- MEINHOLD, R.; REINHARDT, H.-G.: Halokinese im Nordostdeutschen Tiefland.
Ber. dt. Gesellsch. geol. Wiss., A Geol. Paläont., Berlin 12 (1967) 3/4, S. 329-353
- MUEHLBERGER, W.R.: Internal structures and mode of uplift of Texas and Louisiana salt domes.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 359-364
- MÜNZBERGER, E.; ROST, U.; WIRTH, J.: Vergleichende Darstellung der Sedimentationsverhältnisse des Zechsteins von Thüringen mit denen des Nordostdeutschen Flachlandes.
Ber. dt. Gesellsch. geol. Wiss., A Geol. Paläont., Berlin 11 (1966) 1/2, S. 161-174

- NEJMAN, V.B.: Neue Methoden der paläotektonischen Analyse in Tafelgebieten.
Z. angew. Geol., Berlin 2 (1959) 6, S. 255-259
- NETTLETON, L.L.: Fluid mechanics of salt domes.
Amer. Assoc. Petr. Geol. Bull., Tulsa 18 (1934), S. 1175-1204
- O'BRIEN, G.D.: Survey of diapirs and diapirism.
Amer. Assoc. Petr. Geol. Mem., Tulsa (1968) 8, S.1-9
- ODE, H.: Physical properties work sessions.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 683-701
- OŠAKPAEV, T.A.: Linejnost' vnutrennich struktur soljanych kupolov.
Tr. Inst. geol. Nauk AN Kaz. SSR, Alma-Ata 22 (1971), S. 186-193
- PADER, D.: Zechstein. In: Exkursionsführer Exkursionstagung Fachverband Geologie DGGW vom 22. bis 24. September 1966 in Schwerin und Grimmen "Zechstein und Mesozoikum in der Nordostdeutschen Senke", S. 8-15.
Berlin: Dt. Gesellsch. geol. Wiss. 1966
- PILIC, Ja.A.; SOKOLOV, V.Ja.: O pričinach projavlenija soljanaj tektoniki v plat-formennoj časti Vostočnoj Turkmenii. In: Galogenn. formacii Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 128-129.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- PRUCHA, J.J.: Salt deformation and decollement in the Firtree Point anticline of central New York.
Tectonophysics, Amsterdam 6 (1968) 4, S. 273-299
- PUTZIGER, K.; REINHARDT, H.-G.; WEGERT, F.: Geophysikalische Beiträge zur Erkundung des regionalen geologischen Baues in Norddeutschland.
Geophys. u. Geol., Leipzig 8 (1966), S. 3-20
- RAMBERG, H.: Experimental study of gravity tectonics by means of centrifuged models.
Bull. geol. Inst. Univ. Uppsala, Uppsala 42 (1963), S. 1-97
- RAMBERG, H.: Gravity, deformation and the Earth's crust.
London: Academic Press 1967. 214 S.
- RAMBERG, H.: Experimental and theoretical study of salt-dome evolution. In: Geology of saline deposits. Proc. Hannover Symp., 1968 (Earth Sciences 7), S. 247-251.
Paris: UNESCO 1972
- RINNE, F.: Bemerkungen zur Erdtektonik unter Verwertung von Erfahrungen an deutschen Salzlagerstätten.
Kali, Halle 18 (1924) 15, S. 217-222; 16, S. 233-235
- RIOS, J.M.: Saline deposits of Spain.
Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 59-74
- ROLL, A.: Der Salzstock von Mülme und seine Umgebung.
Beih. geol. Jb., Hannover (1971) 117, S. 1-109
- ROMAŠOV, A.A.: Osobennosti tektoniki i lokal'nye struktury jugo-vostočnoj časti Prikaspijskoj vpadiny.
Izvest. VUZ Geol. i Razv., Moskva (1972) 4, S. 25-34
- SANNEMANN, D.: Salt-stock families in northwestern Germany.
Amer. Assoc. Petr. Geol. Mem., Tulsa (1968) 8, S. 261-270
- SAVČENKO, V.I.: Osobennosti stroenija devonskich soljanokupol'nych struktur Dneprovsko-Donckoj vpadiny. In: Galogenn. formacii Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 17-18.
Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- SCHWAB, G.; TESCHKE, H.-J.; WENDLAND, F.; JUBITZ, K.-B.: Methodische Beiträge zur paläotektonischen Analyse im Tafeldeckgebirge der Norddeutsch-Polnischen Senke.
Z. geol. Wiss., Berlin 2 (1974) 10, S. 1125-1141

- SKUTINA, A.P.; TRAJNIN, L.P. u.a.: Morfologija soljanych kupolov vostočnoj pribortovoj zony Prikaspijskoj vpadiny i sootnošenija ich s podsolevym paleozoem. Tr. mosk. Inst. neftechim. i gaz. prom-sti, Moskva 90 (1970), S. 210-216
- STEPHANSSON, O.: Theoretical and experimental studies of diapiric structures on Öland. Bull. geol. Inst. Univ. Uppsala, N.S., Uppsala 3 (1972) 6, S. 163-200
- STÖCKE, K.; BORCHERT, H.: Fließgrenzen von Salzgesteinen und Salztektunik. Kali, Halle 30 (1936) 20-22, S. 1-11
- STOLLE, E.: Disharmonische Tektonik im Zechstein des Südhazgebietes. Ber. geol. Gesellsch. DDR, Berlin 4 (1959) 4, S. 299-312
- TAYLOR, R.E.: Structure work sessions. Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 663-670
- TESCHKE, H.-J.: Gesetzmäßigkeiten der Entwicklung und des tektonischen Baues des südwestlichen Randbereiches der Osteuropäischen Tafel. Diss. E.-M.-Arndt-Univ. Greifswald 1972, 197 S. (masch.)
- TORTOCHAUX, F.: Occurrence and structure of evaporites in North Africa. Geol. Soc. Amer. spec. Pap., New York (1968) 88, S. 108-138
- TRUSHEIM, F.: Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. Z. dt. geol. Gesellsch., Hannover (1957/58) 109 (1957) 1, S. 111-151
- WEGERT, F.: Analyse salztektonischer Strukturen im Nordteil der DDR auf der Grundlage geophysikalischer Erkundungsergebnisse und Schlußfolgerungen über allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Salztektunik. Diss. Karl-Marx-Univ. Leipzig 1970, 93 S. (masch.)
- WENDLAND, F.: Zur Strukturentwicklung schwach dislozierter Salinarstrukturen in Nordost-Mecklenburg (Strukturen Grimmen-Reinkenhausen). Zusammenfassung der Ergebnisse. Unveröff. wiss. Bericht Bereich III (Geotektonik) ZIPE AdW DDR, Berlin 1972, S. 1-12
- WENDLAND, F.: Zu einigen Aspekten der Tektonik von salinaren Strukturen. Veröff. Zentralinst. Physik d. Erde, Potsdam (1973) 14, 1, S. 119-131
- WIENHOLZ, R.: Über den geologischen Bau des Untergrundes im Nordostdeutschen Flachland. Jb. Geol., Berlin (1967) 1 (1965), S. 1-87
- WOHNLICH, H.-M.: Kleintektonische Bruch- und Fließdeformationen im Faltenjura. Diss. Univ. Basel (Kurzfassung) 1969, 33 S.
- ZAMARAIEV, S.M.: Kraevye struktury južnoj časti Sibirskoj platformy. Moskau 1967. 248 S.
- ZÄNKER, G.: Beitrag zur tektonischen Analyse des Salinargebirges im Südhaz-Kalirevier. Unveröff. Thesen Diss. Math.-Nat. Fak. BA Freiberg 1972, 19 S. (masch.)
- ZÄNKER, G.: Beziehungen zwischen stofflicher und struktureller Entwicklung im Salinargebirge des Südhaz-Kalireviers. Z. geol. Wiss., Berlin 2 (1974) 10, S. 1157-1175
- ZUBOV, I.P.; KUNIN, N.Ja. u.a.: Novye dannye o stroenii Prikaspijskoj vpadiny v svjazi s ocenokj perspektiv ee neftegazonosnosti. Sov. Geol., Moskva (1972) 11, S. 25-37
- ŽURAVLENKO, V.Ja.; GORBENKO, V.S. u.a.: K voprosu opredelenija verchnego predela glubiny perechoda galogennyh porod v plastičeskoe sostojanie. In: Galogenn. formacii Ukrainy i svjaz. polezn. iskop. Tezisy Dokl. Simp., S. 223-224. Kiev: Izd. "Naukova dumka" 1971
- ŽURAVLEV, V.S.: Ähnlichkeiten der Salztektunik in der exogonalen Kasp- und der Norddeutsch-Polnischen Senke. Ber. dt. Gesellsch. geol. Wiss., A Geol. Paläont., Berlin 12 (1967) 3/4, S.421 bis 436
- ŽURAVLEV, V.S.; SAMODUROV, V.I.: Projavlenija vtoričnoj soljanokj tektoniki na otkrytyh kupolach vostočnoj časti Prikaspijskoj sineklizy. Dokl. AN SSSR, Moskva 132 (1960) 4, S. 891-894

