

Die Intrusion von Bramsche – ein Irrtum im invertierten Niedersächsischen Becken?

Heinz-Jürgen Brink*

Brink, H.-J. (2013): Die Intrusion von Bramsche – ein Irrtum im invertierten Niedersächsischen Becken? [The intrusion of Bramsche – a misinterpretation in the inverted Lower Saxony Basin?] – Z. Dt. Ges. Geowiss., 164: 33–48, Stuttgart.

Kurzfassung: Ein noch oder wieder offenes Problem von regionaler geowissenschaftlicher Bedeutung ist die Existenz oder Nichtexistenz des sogenannten Bramscher Massivs. Die hohe Maturität im Südbereich des Niedersächsischen Beckens, das CO₂-Risiko und fehlende Reservoir-Eigenschaften werden z. B. in der Kohlenwasserstoffexploration diesem Massiv angelastet, das in der Oberkreide als mafischer Pluton bis in Tiefen von 6 km aufgestiegen sein soll. Die Existenz eines Massivs ähnlicher Natur, das durch Anomalien in Gravimetrie und Magnetik ebenfalls sehr auffällige von Schleswig-Holstein bis Brandenburg reichende sogenannte Ostelbische Massiv, wird inzwischen glaubwürdig bestritten. Die Anomalien liegen im Bereich des östlichen Zentrums des Permbeckens und sind in Nordwestbrandenburg durch die lokalen Maxima von Pritzwalk besonders ausgeprägt. Die Ursachen für die beobachteten Anomalien werden im Raum Pritzwalk nicht mehr in Tiefen von 6–10 km vermutet, sondern nach neueren geophysikalischen Untersuchungen mit großer Wahrscheinlichkeit in der Unterkruste zwischen 15 und 30 km Tiefe. Weiter hat die Analyse der thermischen Entwicklung des Niedersächsischen Beckens die Erkenntnis geliefert, dass der Maturitätsverlauf in bearbeiteten Bohrungen eher durch eine erhöhte Absenkung und darauf folgender Inversion und ohne Intrusionseffekt zu erklären ist. Eine alternative und vergleichende Interpretation weiterer koexistierender geophysikalischer und geologischer Anomalien weist ebenfalls auf die berechtigte Infragestellung der gegenwärtig dominierenden Deutung hin und führt alternativ zu einem Störkörper eventuell eklogitischer Natur unterhalb der magnetotellurisch vermessenen Tiefe von ca. 15 km und oberhalb der Tiefenlage der magnetisch bedeutsamen Curietemperatur (ca. 25 km). Sollte es diese Intrusion in der vermuteten Form also gar nicht gegeben haben, wäre die strukturelle und thermische Entwicklung am Südrand des Niedersächsischen Beckens anders zu beurteilen und die Existenz vorhandener und möglicher mesozoischer und paläozoischer Gaslagerstätten im benachbarten Raum neu einzuschätzen, ebenso wie die Verteilung von Mineralisationen und Vererzungen im Osnabrücker Bergland.

Abstract: One still or again open problem of regional geoscientific importance is the existence or nonexistence of the so-called Bramscher Massif. This massif became a problem for hydrocarbon exploration in the past due to high maturities in the southern area of the Lower Saxony Basin, CO₂-risks and lacking reservoir qualities related to it. The massif should have ascended as mafic intrusion during the Upper Cretaceous up to depths of 6 km (today). The existence of a massif of similar nature, the so-called Eastelbian Massif, reaching from Schleswig-Holstein to Brandenburg, which had also been identified by its gravimetric and magnetic anomalies, is disputed credibly meanwhile. The anomalies are located in the area of the eastern centre of the Southern Permian Basin (North German Basin) and are especially distinctive in Northwest Brandenburg through the local maxima of Pritzwalk. The origin of the observed anomalies in the area of Pritzwalk is suspected no more in depths of 6–10 km but after newer geophysical investigations probably in the deeper crust between 15 and 30 km of depth. Further, the analysis of the thermal development of the Lower Saxony Basin led to the assumption that the maturities within analysed wells can be much better explained by deep subsidence than by the effect of an intrusion. An alternative and comparative interpretation of further coexisting geophysical and geological anomalies also points to a justified questioning of the presently dominating interpretation and leads alternatively to an anomaly mass of eclogitic facies below the magnetotellurically imaged depth of about 15 km and above the depth of the magnetically significant Curie temperature (~25 km). If it is supposed that the intrusion does not exist at all with the suspected form, the structural and thermal development at the southern fringe of the Lower Saxony Basin has to be judged differently and the existence of present and possible Mesozoic and Palaeozoic gas fields in the area has to be assessed again, as well as the distribution of minerals and ores in the Osnabrücker Bergland.

Schlüsselwörter: Massiv von Bramsche, Intrusion, Niedersächsisches Becken, Ostelbisches Massiv, Anomalie von Pritzwalk, Inversion, Metamorphose, Magnetotellurik, Gravimetrie, Magnetik, reduzierte Schwere, Subsidenz, Osnabrücker Bergland

Keywords: Massif of Bramsche, intrusion, Lower Saxony Basin, Eastelbian Massif, anomaly of Pritzwalk, inversion, metamorphism, magnetotellurics, gravity, magnetics, reduced gravity field, subsidence, Osnabrücker Bergland

*Anschrift des Autors:

Dr. Heinz-Jürgen Brink, Universität Hamburg, Kontaktadresse: Hindenburgstraße 39, 30175 Hannover, Deutschland
(0511) 814674-0001@t-online.de).

1. Einleitung

Vor über 10 Jahren wurden nach einer Zeit relativer wissenschaftlicher Ruhe wieder erhebliche Zweifel an der Existenz der Intrusion von Bramsche geäußert (Petmecky et al. 1999, Brink 2002) und daraufhin im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms (Senglaub et al. 2005a, b, c, Adriasola Muñoz 2006) untermauert. Gleichzeitig wurden aber auch Arbeiten veröffentlicht, die weiter von mehreren Intrusionen, inklusive der von Bramsche, im invertierten Niedersächsischen Becken ausgehen (Kus et al. 2005, Müller 2009). Dieser wissenschaftliche Streit hätte eigentlich dazu führen sollen, dass nach einem vierzigjährigen paradigmatischen Zustand die geologische Situation im westlichen Niedersächsischen Becken mit modernsten Mitteln verantwortungsgerecht neu überarbeitet wird, zumal neben den wissenschaftlichen auch rohstoffwirtschaftliche, balneologische und touristische Fragestellungen von Bedeutung sind. Dies ist – von wenigen in Teilaspekten erfolgreich abgeschlossenen Ausnahmen abgesehen – im erforderlichen Umfang bisher aber nicht geschehen. So soll die vorliegende Arbeit eine weitere Anregung dafür sein, diesem geowissenschaftlichen Projekt, auch wenn es die nationalen Grenzen auf erstem Blick nicht überschreitet, größere Aufmerksamkeit zu widmen und Wege zu seiner Bearbeitung zu suchen. Leider sind während der DEKORP-Phase keine tiefenseismischen Linien in diesem Gebiet akquiriert worden (Meissner & Bortfeld 1990), möglicherweise, weil aufgrund vieler Vorarbeiten alles so vollkommen klar zu sein schien.

Messungen der Horizontalkomponente des erdmagnetischen Feldes (Schmidt 1914, zitiert in Breyer 1971) sowie Schweremessungen (von Flotow et al. 1931) hatten vor rund einhundert Jahren erste Anzeichen von außergewöhnlichen geophysikalischen Anomalien im westlichen Teil des Niedersächsischen Beckens nördlich von Osnabrück geliefert, die von Reich (1933) einem Störkörper in größerer Tiefe zugewiesen wurden, den er „Massiv von Bramsche“ taufte.

Dieser Störkörper wurde 1967 von Brockamp refraktionsseismisch vermessen und die Hochlage einer Schicht mit erhöhter seismischer Geschwindigkeit im Bereich der magnetischen und gravimetrischen Anomalie nachgewiesen. Die Daten wurden von Thyssen et al. (1971) in der Fläche weiterverarbeitet, von Hahn & Kind (1971) mit der Interpretation der magnetischen Anomalie abgeglichen und u. a. gemeinsam mit Stadler (1971), Bartenstein et al. (1971) und Stahl (1971) einer basischen Intrusion zugeordnet. Da auf einem Refraktionsprofil östlich der Anomalie von Bramsche ebenfalls eine seismische Hochlage interpretiert wurde, allerdings ohne begleitende ungewöhnliche Potenzialfeldanomalien, vermutete Nodop (1971) an dieser Stelle eher einen sauren Lakkolithen mit geringerer gravimetrischer und magnetischer Wirkung als Teil eines ausgedehnten Intrusivgürts, der das Niedersächsische Tektogen durchzieht. Hydrothermale Lagerstätten im Bereich des Bramscher Massivs stehen nach Stadler (1971) im engen genetischen Zusammenhang mit basischen Tiefenintrusionen, auch wenn Stahl (1971) an Kluftkarbonaten aus dem Dach des Bramscher Massivs als Quelle des Kohlendioxids eine thermische Zer-

setzung oder metamorphe Umwandlung mariner Karbonate (Unterkarbon? und Devon?) ohne erhebliche Beteiligung einer Intrusion vermutet.

Inkohlungsdaten mit hohen Vitritinitwerten im Bereich der Anomalie von Bramsche vervollständigen das Bild einer Intrusion als Wärmequelle, die nach der Unterkreide und vor dem oberkretazischen Campan aufgestiegen sein soll (Bartenstein et al. 1971, Teichmüller et al. 1979, 1984). Stadler & Teichmüller (1971) haben alle Beobachtungen zusammengefasst und in einen geotektonischen Schnitt (Abb. 1) und eine geologische Prozessabfolge (Abb. 2) integriert. Leichte Zweifel an dieser Interpretation finden sich schon bei Breyer (1971) und indirekt auch bei Stahl (1971), und was die Mineralisation betrifft, später auch bei Rose & Gödecke (1984).

So wie beim „Massiv von Bramsche“ wurden vergleichbare geophysikalische Anomalien einem Massiv bei Pritzwalk im Zentrum des sogenannten Ostelbischen Massivs zugeordnet. In der Gesamtschau aller geologischen und geophysikalischen Anomalien von Bramsche und ohne weitere vorliegende Erkenntnisse ist trotz leichter Zweifel die Erklärung, dass eine mafische Intrusion in der Oberkreide diese Anomalienvielfalt erzeugt hat, über Jahrzehnte sehr überzeugend gewesen. Dies hat sich auch in vielen Arbeiten ausgedrückt, wo petrografische und geochemische Parameter dieser paradigmatisch vertretenen Annahme zugeordnet wurden (Zitate übernommen von Adriasola Muñoz 2006). Dies betrifft u. a. Beobachtungen über Illitkristallinitäten (Brauckmann 1984), Conodonten-Alterationsindizes (Noeth 1991), Paläotemperaturen von Fluidinklusionen (Jochum et al. 1995a), Verteilungen von Spurenelementen in Schwarzspliten (Jochum et al. 1995b) sowie über die Kohlenwasserstoffgeneration unter dem Einfluss einer schnellen Aufheizung infolge einer magmatischen Intrusion (Leythaeuser et al. 1980, 1988, Littke et al. 1988, Rulkötter et al. 1988).

Statt in Englisch ist diese Arbeit in Deutsch verfasst, da mit ihr nicht nur akademisch vorgebildete Geowissenschaftler, sondern auch die lokale Bevölkerung sowie ortsansässige Behörden und Unternehmen angesprochen werden sollen.

2. „Bramischer Massiv“ und Niedersächsisches Becken

Wie schon oben erwähnt, ist die Anomalie von Bramsche ein auffälliges gravimetrisches (Abb. 3) und magnetisches Hoch (Abb. 4) im südwestlichen Bereich des im Osten bis zum Harz reichenden invertierten Niedersächsischen Beckens, das von hohen sogenannten Vitrititreflexionswerten (im Farbspektrum sedimentierter organischer Materie gespeicherte Paläotemperaturen) in Oberflächengesteinen und Tiefbohrungen als Indikatoren einer thermischen Beanspruchung begleitet wird (Abb. 5; Teichmüller et al. 1979, 1984) und das im Untergrund eine refraktionsseismisch nachgewiesene Hochlage in etwa 6 km Tiefe aufweist (s. o., Brockamp 1967, Stadler & Teichmüller 1971).

Inzwischen liegen aber neben anderen Auswertungen (John 1975, Baldschuhn & Kockel 1999, Brink 2002, Sen-

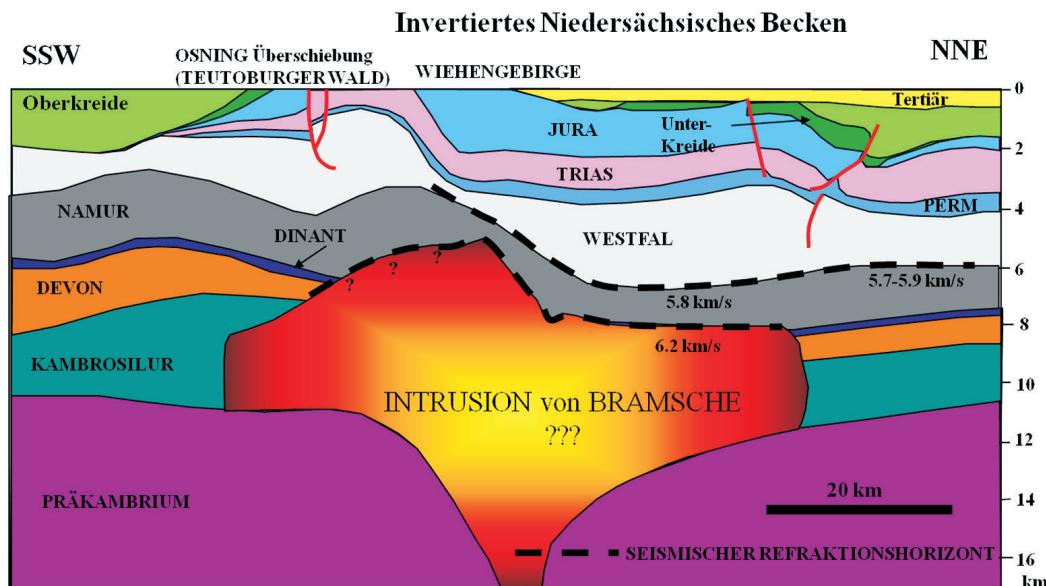


Abb. 1: Geotektonischer N–S-Schnitt durch das invertierte Niedersächsische Becken im Bereich der postulierten Intrusion von Bramsche; nach Stadler & Teichmüller (1971), Interpretation der refraktionsseismischen Daten nach Brockamp (1967).

Fig. 1: Geotectonic N–S section through the inverted Lower Saxony Basin in the area of the postulated intrusion of Bramsche; after Stadler & Teichmüller (1971), interpretation of the refraction-seismic data after Brockamp (1967).

Ära (Zeitalter)	Periode	Epoche	Beginn ~ Ma	Subsidenz	Inversion	Intrusion	Mineralisation
Kanozoikum	Quartär	Holozän	0,01				
		Pleistozän	2				
	Tertiär	Pliozän	5				
		Miozän	23				
		Oligozän	35				
		Eozän	54				
		Paläozän	65				
Mesozoikum	Kreide	Maastricht	71				
		Campan	84				
		Santon	86				
		Coniac	89				
		Turon	94				
		Cenoman	100				
		Alb (Unterkreide)	112				
	Jura	Unterkreide	145				
		Malm	156				
		Dogger	178				
	Trias	Lias	200				
		Keuper	231				
		Muschelkalk	244				
Paläozoikum	Perm	Buntsandstein	250				
		Zechstein	258				
	Karbon	Rotliegend	300				
		Stefan	305				
		Westfäl	317				
		Namur	327				
	Devon	Dinant	360				
			400				
			440				
			500				
	Silur		570				
	Ordovizium						
	Kambrium						

Abb. 2: Schema der Prozesse von tektonischer Subsidenz, Magmenaufstieg, Inkohlung, Vererzung und tektonischer Inversion im Niedersächsischen Becken; nach Stadler & Teichmüller (1971), erweitert.

Fig. 2: Scheme of the processes of tectonic subsidence, ascent of magma, coalification, mineralisation and tectonic inversion in the Lower Saxony Basin; after Stadler & Teichmüller (1971), adjusted.

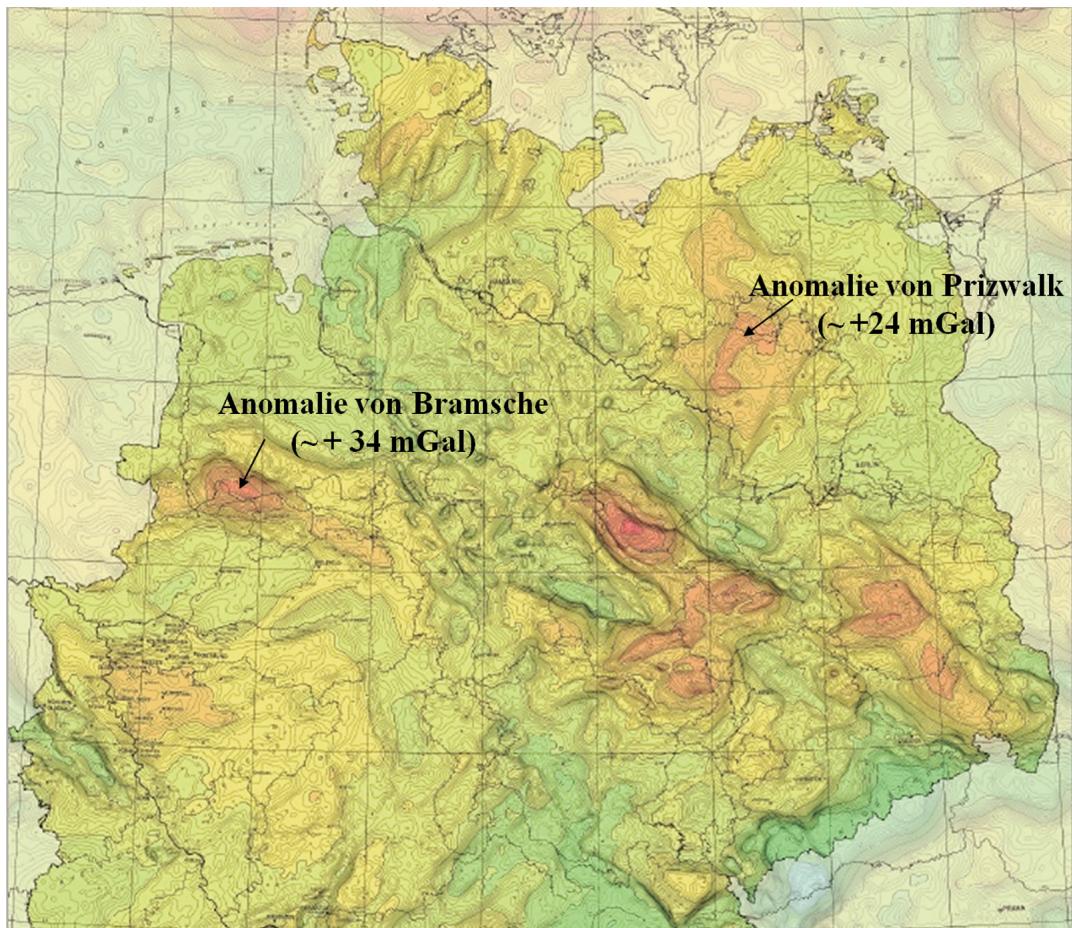


Abb. 3: Schwerkarte von Norddeutschland mit Angabe der Anomalien von Bramsche und Pritzwalk (LIAG 2010).

Fig. 3: Gravity map of Northern Germany showing the anomalies of Bramsche and Pritzwalk (LIAG 2010).

glaub et al. 2005a, b, c, Bruns et al. 2012) auch moderne magnetotellurische Messungen und ihre Interpretation vor (Hoffmann et al. 2008, Brink 2010, 2012), die darauf hinweisen, dass die bestehende Annahme überarbeitet werden sollte (Abb. 6). Zeigen die Messungen doch deutlich, dass ein Intrusivkörper, der geringe elektrische Leitfähigkeiten oder reziprok hohe elektrische Widerstände aufweisen sollte (mehrere $100 \Omega\text{m}$), oberhalb von 15 km Tiefe gar nicht existiert. Auffälligerweise ist im nördlichen Bereich in der Tieflage der hochinkohlten westfälischen Kohlen und namurischen Schwarzelite ein guter elektrischer Leiter ausgeprägt, der in einem dichten Abstand oberhalb und parallel zum seismischen Refraktor verläuft, der bisher als Oberkante der Intrusion interpretiert wurde. Dieser Refraktor könnte ebenso auf die Existenz unterkarbonischer und ober- bis mitteldevonischer Karbonate hinweisen (Hoffmann et al. 2008). Auf diesen Schelfsedimenten wurden dann zu Beginn des Oberkarbons Ablagerungen mit einem hohen Anteil organischer Bestandteile deponiert, die durch eine nachfolgende unzweifelhaft hohe Inkohlung (Grafitisierung?) elek-

trisch leitfähiger wurden. Sollte die Intrusion, deren 3D-gravimetrische Modellierung in einem ersten neuen Versuch schon modifiziert werden konnte (Bilgili et al. 2007), in der postulierten Form nicht vorliegen, hätte das bedeutende Konsequenzen für die Einschätzung des Gasgenesepotenzials der Region. Weitere geowissenschaftliche Studien und die Akquisition tiefenseismischer Profile wären dann erforderlich.

Ein Vergleich soll nun dazu dienen, etwas mehr Klarheit zu schaffen. Vergleiche können zwar hinken und es ist schon genau zu erwägen, unter welchen Bedingungen sie angebracht erscheinen. Die auffällige Geo-Anomalie von Bramsche bei Osnabrück mit der von Pritzwalk in Nordwestbrandenburg zu vergleichen, was erst durch die Kompilation ost- und westdeutscher geowissenschaftlicher Daten im Zuge der deutschen Einheit ermöglicht wurde, scheint aber wegen der historisch postulierten Artverwandtschaft gerechtfertigt, da beide Anomaliegebiete im tieferen Untergrund vermuteten Massiven, dem Bramschen bzw. dem Ostelbischen Massiv, zugewiesen wurden bzw. werden.

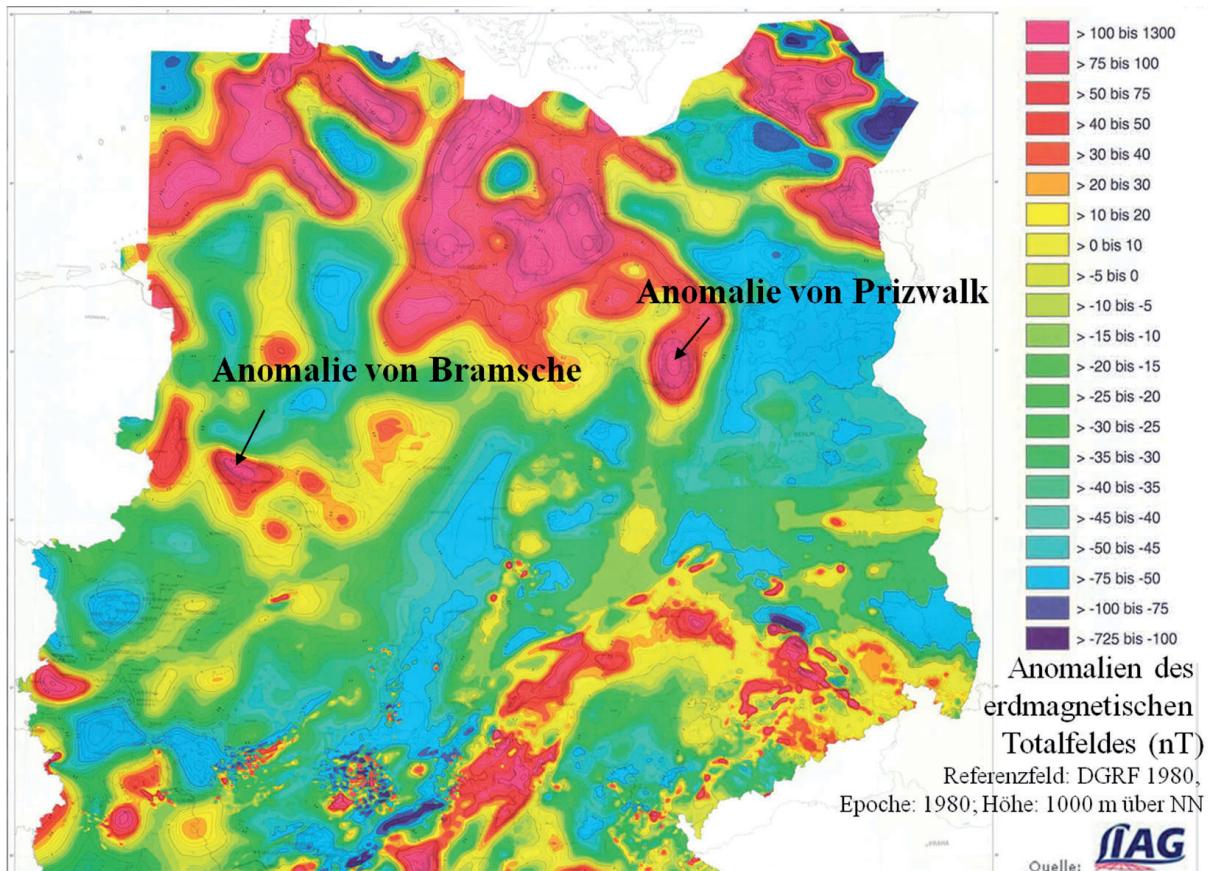


Abb. 4: Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes von Norddeutschland mit Angabe der Anomalien von Bramsche und Pritzwalk (LIAG 2011, Gabriel et al. 2011).

Fig. 4: Anomalies of the total magnetic field of the earth from Northern Germany showing the anomalies of Bramsche and Pritzwalk (LIAG 2011, Gabriel et al. 2011).

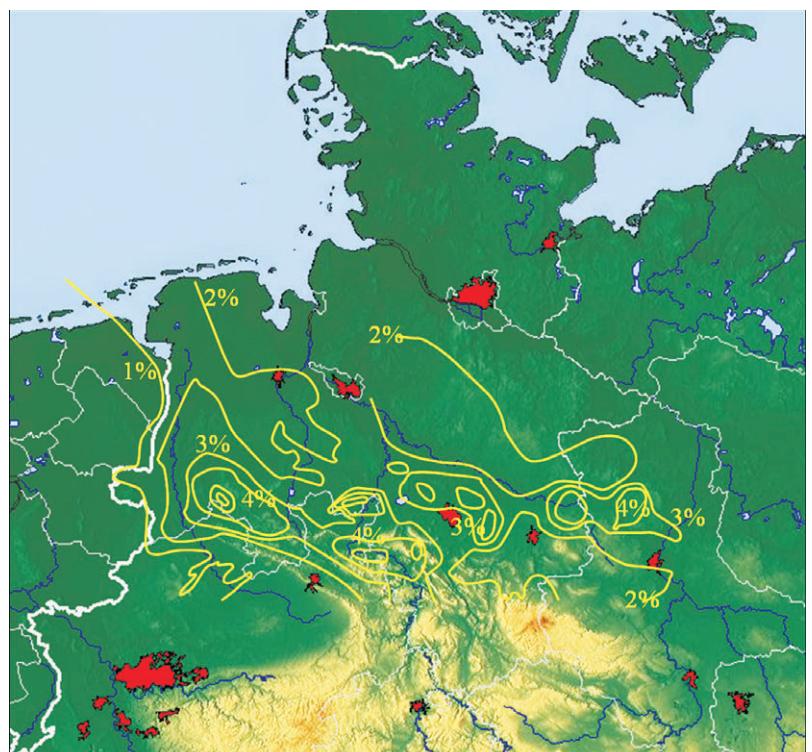


Abb. 5: Verlauf heutiger Maturitäten (Vitrinitreflexionen) der Oberkante des Karbons Norddeutschlands (modifiziert nach Littke et al. 2008 und Teichmüller et al. 1984). Topografie nach www.maps-for-free.com von Daten der NASA.

Fig. 5: Map of present-day maturities (vitrinite reflections) at the top of the Carboniferous in Northern Germany (modified after Littke et al. 2008 and Teichmüller et al. 1984). Background: topography after www.maps-for-free.com based on NASA data.

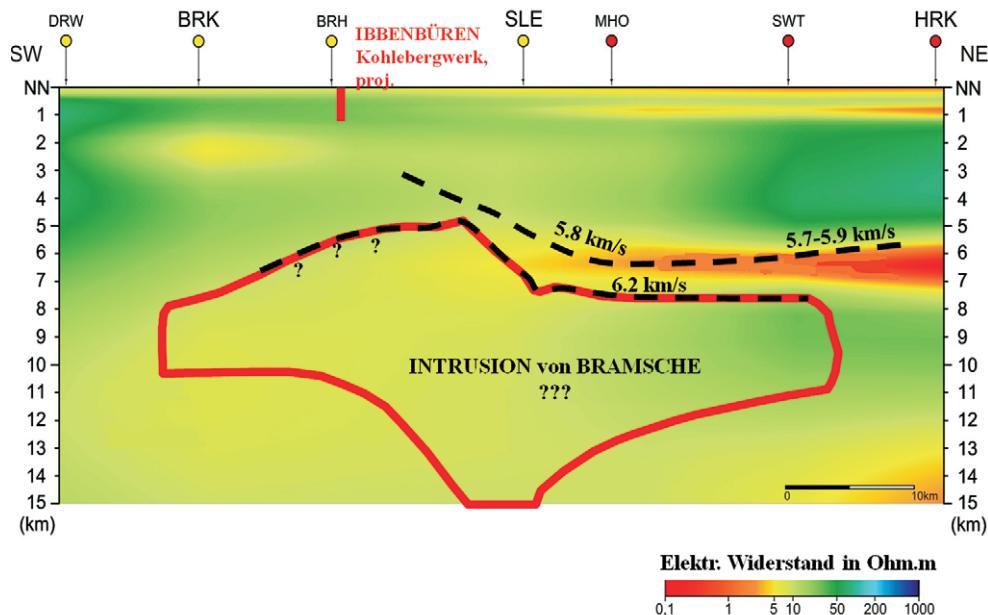


Abb. 6: Interpretation einer refraktionsseismischen Linie (s. a. Abb. 1, Brockamp 1967), übertragen auf die Ergebnisse magnetotellurischer Messungen (Hoffmann et al. 2008, Brink 2010, 2012).

Fig. 6: Interpretation of a seismic refraction line (see also Fig. 1, Brockamp 1967), combined with the result of magnetotelluric measurements (Hoffmann et al. 2008, Brink 2010, 2012).

3. Die Anomalie von Pritzwalk

Die Anomalie von Pritzwalk zeichnet sich durch hohe Bouguer-Schwerewerte (Abb. 3) aus, die in der auf die Zechsteinbasis reduzierten Schwere (Abb. 7) noch deutlicher sichtbar werden (Brink et al. 1994). Auch das Magnetfeld (Wonik & Hahn 1990, LIAG 2011, Gabriel et al. 2011) weist ein deutliches Maximum auf (Abb. 4). Diese beiden Potenzialfeldanomalien lieferten in der Vergangenheit den Grund zur Akzeptanz des Ostelbischen Massivs. Tiefbohrungen und auch reflexionsseismische Linien, die die Anomalie im Raum Pritzwalk queren, enthalten aber keinen Hinweis auf ein „Massiv“ in wenigen Kilometern Tiefe (6–10 km). Es fällt auch auf, dass im Bereich der Anomalie die Mohoreflektionen aus ca. 30 km Tiefe, die von der Grenze zwischen Erdkruste und Erdmantel stammen, sehr schwach oder gar nicht vorhanden sind und dass in der Unterkruste in 15–30 km Tiefe im Vergleich zu den benachbarten Regionen eine höhere Reflektivität zu beobachten ist. Nach Hoffmann & Stiewe (1994) weisen neben den gravimetrischen, magnetischen und reflexionsseismischen Beobachtungen auch magnetotellurische Ergebnisse aus über 13–17 km Tiefe eine bemerkenswerte räumliche Übereinstimmung auf. Eine Modellierung lässt Intrusionen ultrabasischer Magmen als gemeinsame Ursache vermuten, die bis in eine Tiefe von fast 15 km aufgedrungen sein sollen. Ein unmittelbarer zeitlicher und räumlicher Zusammenhang zwischen den Intrusionen von Basiten und Effusionen von basischen, intermediären und sauren Vulkaniten im Zeitintervall höheres Stefan-Unterrotliegend erscheint

offensichtlich (Hoffmann & Stiewe 1994, Bachmann & Hoffmann 1995).

4. Die Anomalie von Bramsche

Wie die Anomalie von Pritzwalk zeigt auch die Anomalie von Bramsche eine ausgeprägte Signatur des Bouguer-Schwerefeldes, der reduzierten Schwere und des Magnetfeldes (Abb. 3, 4 und 7). Ergänzend kommen bei ihr aber weitere Beobachtungen hinzu. Refraktionsseismische Messungen belegen einen Refraktor hoher Geschwindigkeit in einer Tiefe von ca. 6 km (Abb. 1), der als Oberkante des die Anomalien verursachenden Körpers interpretiert wurde (Brockamp 1967). Dieser Refraktor diente auch als Randbedingung für die dreidimensionale Modellierung der Potenzialfelder (Giebel-Degro 1986, Dohr 1989, Dohr et al. 1989), um die Vieldeutigkeit in der Interpretation gravimetrischer und magnetischer Daten einzudämmen. Modelliert wurde eine ultramafische Intrusion von ca. 6 km Mächtigkeit mit einer entsprechenden Dichtedifferenz zum umgebenden Gestein sowie einer erhöhten magnetischen Suszeptibilität. Als ein Ergebnis der Neubearbeitung und Reinterpretation alter refraktionsseismischer Linien (Tiefenaufschluss 1966) ist festzustellen, dass eine vorliegende Interpretation von Daten im Umfeld des „Bramscher Massivs“ wegen extrem schlechter Datenqualität nicht nachvollziehbar zu sein scheint und eine Neubearbeitung deswegen vorläufig unterlassen wurde (Brauner 1996). Da sich in der reduzierten Schwere die Anomalie von Bramsche als Doppelstruktur entpuppt hatte

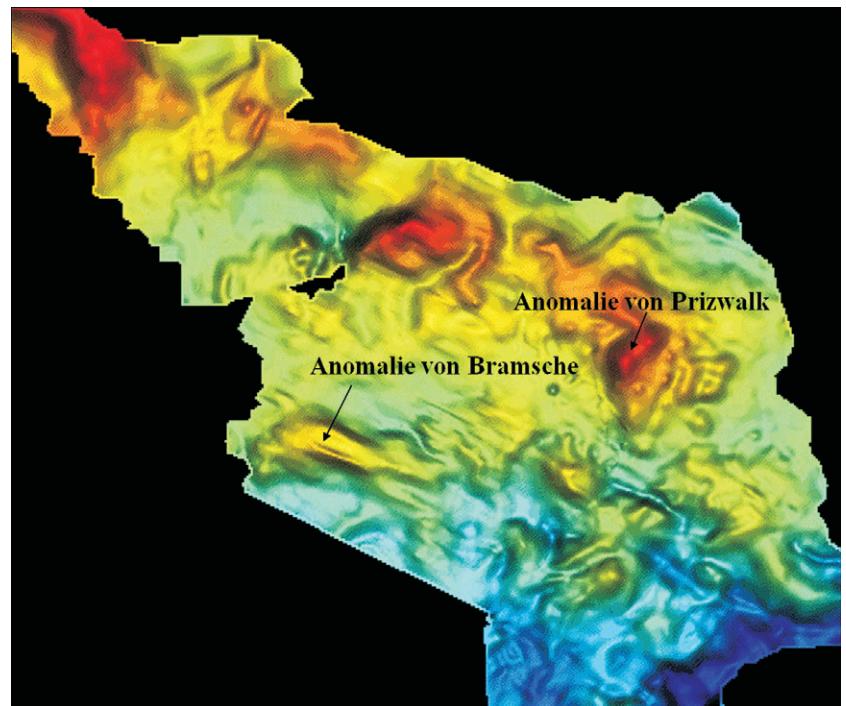


Abb. 7: Karte der auf die Basis Zechstein reduzierten Bouguerschwere von Norddeutschland mit Angabe der Anomalien von Bramsche und Pritzwalk; nach Brink et al. (1994).

Fig. 7: Map of the Bouguer gravity in Northern Germany, reduced to base Zechstein, showing the anomalies of Bramsche and Pritzwalk; after Brink et al. (1994).

(Abb. 7) und numerische Modellrechnungen den Aufstieg heißen Magmas als Doppelstruktur theoretisch erklären konnten (Neugebauer & Reuther 1987, Dohr 1989), schienen sich beide voneinander unabhängigen Modellierungen gegenseitig zu bestätigen. Frühe magnetotellurische Messungen belegten zwar nicht die Existenz eines mehrere Kilometer mächtigen gabbroiden Körpers mit einem geforderten hohen elektrischen Widerstand, doch wurde ihm die generell erhöhte Leitfähigkeit der Gesteine auf seinem Dach zugeschrieben, die durch die von seiner Wärmewirkung ausgehende Grafitisierung der Kohlen des Karbons erfolgt sein soll (Wagenitz 1982, Jödicke 1991). Ein ausschlaggebendes Argument für die Existenz einer Intrusion, deren Aufstieg in der Oberkreide zeitlich festgelegt und die eng mit der Inversion des Niedersachsen-Beckens verknüpft wurde, war die in den Gesteinen des Karbons bis Unterkreide gespeicherte Information über einen größeren Wärmeeinfluss (Abb. 5), der für den hohen Reifegrad westfälischer Kohlen sowie organischer Sedimente des Mesozoikums im Zentrum der Anomalie verantwortlich gemacht wurde (Teichmüller et al. 1984). Da alle Beobachtungen auch räumlich sehr gut übereinstimmten, gab es kaum Zweifel an der Interpretation der Existenz des Bramscher Massivs als Intrusion. Ihm wurde auch die Bildung von Erzlagerstätten zugeschrieben, obwohl genetische Zusammenhänge nicht eindeutig zu erkennen waren (Rose & Gödecke 1984) und im Kerngebiet des Bramscher Massivs bisher keine Intrusivgesteine nachgewiesen wurden. Erbohrte Intrusivgesteine im deutsch-holländischen Grenzgebiet am Westrand des Niedersächsischen Tektogens scheinen eher ein Perm-Alter bzw. ein undatiertes Alter (van Bergen & Sissingh 2007) oder ein Wealden-Alter (Stadler 1971) aufzuweisen und mit den Subsidenzphasen verknüpft

zu sein. Eine umfassende Zusammenstellung von Arbeiten über die Anomalie von Bramsche wurde von Karrenberg (1971) herausgegeben.

5. Inversion statt Intrusion?

Da der Vergleich von Potenzialfeldern an sich keinen großen Sinn macht, können doch unterschiedlichste Körper zu gleichen Anomalien führen, müssen schon zusätzliche Beobachtungen vorliegen, die weitere Verwandtschaften zwischen diesen Körpern vermuten lassen. Solche Beobachtungen liegen u. a. in Form der tektonischen Geschichte der beiden Anomalieregionen vor. Beide Gebiete waren im Jura Senkungszentren (Abb. 8) innerhalb des Norddeutschen Beckens (Ziegler 1990), genauso wie die Doggertröge in Schleswig-Holstein, die über gravimetrischen Hochs im Bereich großer Salinarstrukturen liegen (Brink 1984). Die fast kreisförmige Verbreitung des mitteljurassischen Aalen-Sandsteins um das Zentrum der Anomalie von Pritzwalk herum ist ebenfalls ein auffälliger Beleg dieser Trogbildung (Rockel et al. 1997). Auch erlitten beide Regionen in Oberkreide und Tertiär eine Inversion (Abb. 9), die im Bereich von Bramsche allerdings wesentlich dramatischer ausfiel (Ziegler 1990). In beiden Abbildungen sind die Grenzen des (invertierten) Niedersächsischen Beckens unter Verwendung der Arbeiten von Kus et al. (2005) und van Bergen & Sissingh (2007) vereinfacht dargestellt.

Diese tektonische Sonderstellung scheint bis heute anzuhalten, wurde doch im Norddeutschen Becken an diesen beiden Stellen in den letzten 1000 Jahren seismische Aktivität mit einer Intensität $Io \geq 6.5$ beobachtet (Leydecker 1986). Bliebe noch die Wärmegeschichte zu untersuchen, die ja mit



Abb. 8: Subsidenzgebiete Norddeutschlands im Oberjura (türkis) und deren Lage in Bezug zu den Anomalien von Bramsche und Pritzwalk (Ziegler 1990, Doornenbal & Stevenson 2010) sowie die vereinfachten Grenzen des Niedersächsischen Beckens. Hintergrund: Topografie nach www.maps-for-free.com von Daten der NASA.

Fig. 8: Areas with Upper Jurassic subsidence in Northern Germany (turquoise) and their location related to the anomalies of Bramsche and Pritzwalk (Ziegler 1990, Doornenbal & Stevenson 2010), and the simplified boundary of the Lower Saxony Basin. Background: topography after www.maps-for-free.com based on NASA data.

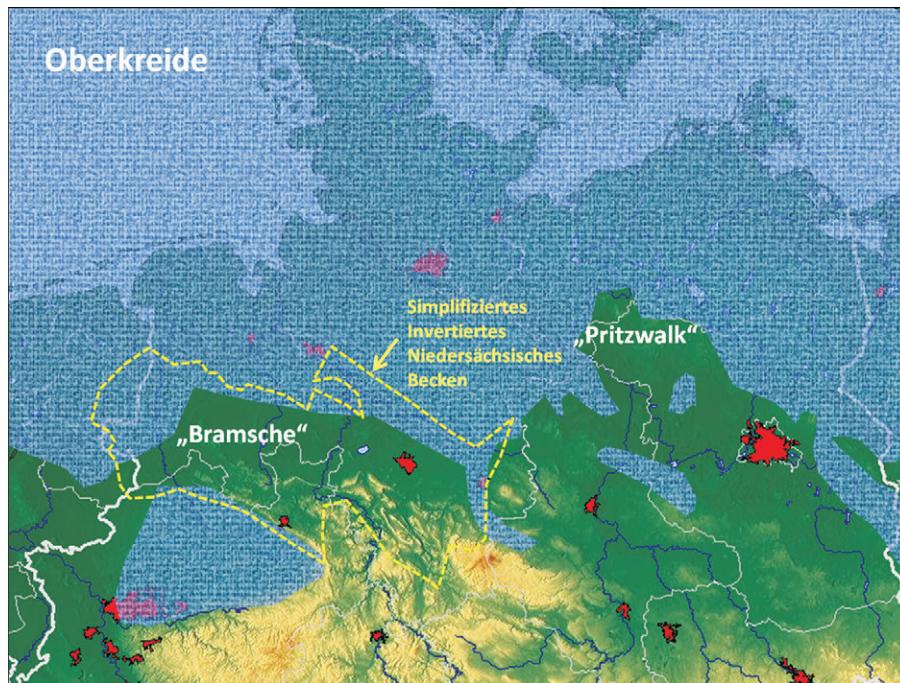


Abb. 9: Hebungsgebiete Norddeutschlands in der Oberkreide (ohne blaue Schattierung) und deren Lage in Bezug zu den Anomalien von Bramsche und Pritzwalk (Ziegler 1990, Doornenbal & Stevenson 2010) sowie die vereinfachten Grenzen des invertierten Niedersächsischen Beckens. Hintergrund: Topografie nach www.maps-for-free.com von Daten der NASA.

Fig. 9: Inverted areas in Northern Germany in Upper Cretaceous (without blue shade) and their location related to the anomalies of Bramsche and Pritzwalk (Ziegler 1990, Doornenbal & Stevenson 2010) and the simplified boundary of the inverted Lower Saxony Basin. Background: topography after www.maps-for-free.com based on NASA data.

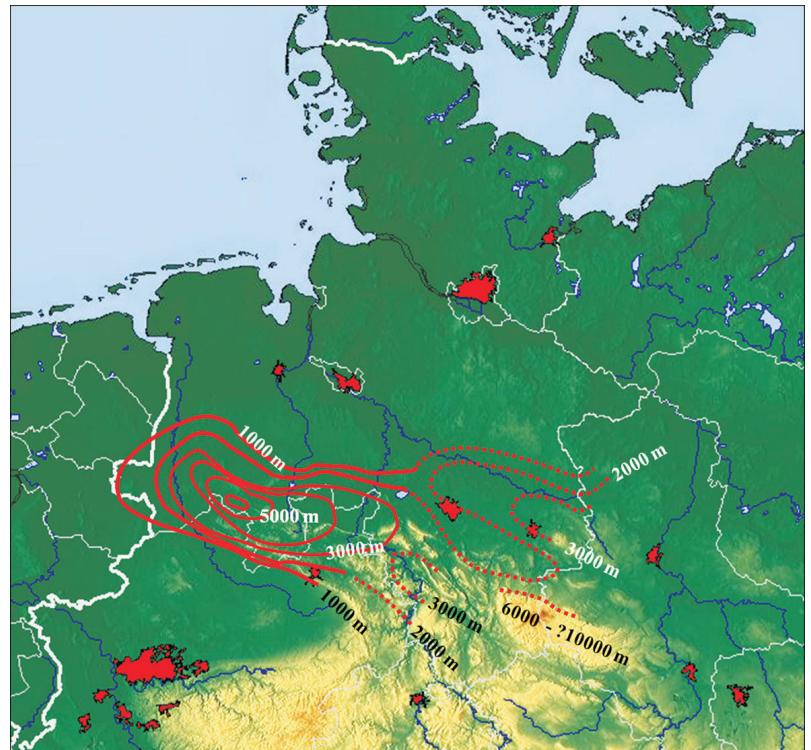


Abb. 10: Karte der abgeschätzten Hebungsbeträge (Inversion) des Niedersächsischen Beckens nach Senglaub et al. (2005a, b, c), Brink (2002), John (1975), Kley et al. (2008) und Flick (1986). Hintergrund: Topografie nach www.maps-for-free.com von Daten der NASA.

Fig. 10: Map of the appraised amount of inversion of the Lower Saxony Basin after Senglaub et al. (2005a, b, c), Brink (2002), John (1975), Kley et al. (2008) and Flick (1986). Background: topography after www.maps-for-free.com based on NASA data.

ihrer Aussage über die Wirkung einer Intrusion einen entscheidenden Beitrag geliefert hatte. 2D-Modellierungen der Wärmegeschichte an Bohrlokalisationen, die im Einflussbereich des postulierten „Bramscher Massivs“ liegen, führten zu dem überraschenden Ergebnis, dass gemessene Vitrititwerte wesentlich besser durch eine tiefere Versenkung und nachfolgende Hebung zu erklären sind als durch die Wärmewirkung einer Intrusion (Schmitz & Wenzlow 1990, Leischner et al. 1993, Petmecky et al. 1999), was später von Senglaub et al. (2005a, b, c) unter der Angabe einer maximalen Erosionsrate für das Zentrum des Beckens von ca. 6000 m bestätigt wurde. In einer hochauflösenden 3D-Beckenmodellierung auch ohne die Annahme einer die Beckenfüllung aufheizenden Intrusion kommen Bruns et al. (2012) auf einen vergleichbaren maximalen Erosionsbetrag von ca. 6700 m. Eine Analyse der seismischen Geschwindigkeiten des in Bohrungen angetroffenen Karbons erbrachte ein ähnliches Ergebnis. Gemessen an der Geschwindigkeitstiefenfunktion (Sollkurve) karbonischer Schichten aus dem Teil des Norddeutschen Beckens, der außerhalb des Anomaliebereiches von Bramsche und des invertierten Niedersächsischen Beckens liegt, können Hebungsbeträge im Zentrum des Beckens 6000 m betragen haben (Brink 2002). Die Auswertung seismischer Geschwindigkeiten des Unteren Buntsandsteins, der im Vergleich zum Karbon sogar lithologisch homogener ist und überwiegend aus Tonstein besteht, führt zu fast identischen Hebungsbeträgen (John 1975) im überlappenden Gebiet. Zu einer ähnlichen Größenordnung kommen auch Baldschuhn & Kockel (1999), die über Extrapolationen von Schichtmächtigkeiten auf eine Hebungsraten von ca. 8000 m im Bereich von Ibbenbüren in unmittelbarer Nähe zum Zen-

trum der Anomalie schließen. Füchtbauer & Müller (1970; Zitat von Adriásola Muñoz 2006) nennen ebenfalls eine maximale Versenkungstiefe von 8000 m, abgeleitet aus der thermometamorphen Alteration karbonischer Sandsteine in der Nähe der Anomalie von Bramsche. Die Arbeiten von Senglaub et al. (2005a, b, c), Brink (2002) und John (1975) kompiliert, einander angepasst und um Daten ergänzt, die u. a. aus der Analyse der Harznordrandverwerfung (Flick 1986, Kley et al. 2008) gewonnen wurden, liefert eine Karte der Hebungsbeträge des Niedersächsischen Beckens wie in Abb. 10 dargestellt.

Kehrt man zurück zur Refraktionsseismik und der Definition eines Hochgeschwindigkeitshorizontes, so gibt Brockamp (1967) zusätzlich zu einer Kompressionswellengeschwindigkeit von $v_p = 6,2$ km/s eine Scherwellengeschwindigkeit von $v_s = 3,6$ km/s an. Das daraus ableitbare v_p/v_s -Verhältnis liefert einen Wert von 1,72, der nach Literaturdaten (Landolt-Börnstein 1982 u. a.) alternativ eher zu einem Dolomit ($v_p/v_s = 1,6-1,75$) als zu einem Gabbro ($v_p/v_s = 1,85-1,95$) passt. Regionalgeologisch könnte dieser Dolomit einer Karbonatplattform des Devons/Unterkarbons zugeordnet werden (Ziegler 1990, Franke 1990, Hoffmann et al. 2008, Doornenbal & Stevenson 2010). Diese Karbonatplattform wird mit großer Wahrscheinlichkeit nicht die gravimetrisch und magnetisch modellierte Störkörpermächtigkeit von 6 km aufweisen. Darunter bliebe dann in größerer Tiefe ein kleinräumiger Störkörper mit größerer Dichte und höherer magnetischer Suszeptibilität, der die gravimetrische und magnetische Anomalie erzeugt, verborgen. Er könnte als Teil der unteren Kruste mit der Inversion hochgehoben worden sein, was auf eine Tektonik hindeuten würde, bei der das

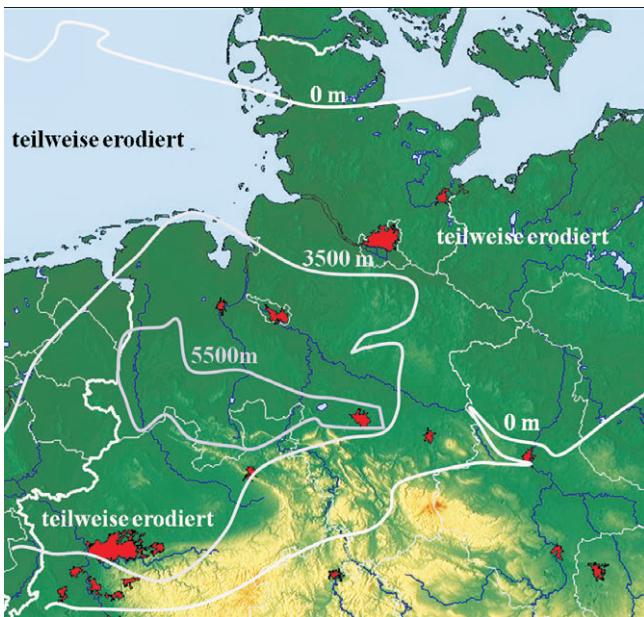


Abb. 11: Karte der Oberkarbonmächtigkeit Norddeutschlands (Brink 2010). Hintergrund: Topografie nach www.maps-for-free.com von Daten der NASA.

Fig. 11: Isopach map of the Upper Carboniferous of Northern Germany (Brink 2010). Background: topography after www.maps-for-free.com based on NASA data.

kristalline Grundgebirge mit eingebunden wäre. Warum soll er aber nicht auch, ähnlich wie es die Anomalie von Pritzwalk vermuten lässt, nur in die Unterkruste eingedrungen sein? Dann wäre die Inversion an ein „Detachment“ oberhalb des Grundgebirges gekoppelt, das Alter der Anomalie bliebe offen und eine Intrusion während der Oberkreide muss nicht mehr unbedingt gefordert werden. Die Anomalie von Pritzwalk liegt im Bereich des Zentrums des Nordost-

deutschen Permbeckens (Hoffmann & Stiewe 1994, Bachmann & Hoffmann 1995, Plein & Gebhardt 1995) und könnte genetisch mit dieser Beckenbildung zusammenhängen. Eine vergleichbare Beobachtung liegt auch für die Region um Bramsche vor. Hier befindet sich das Zentrum des norddeutschen Oberkarbonbeckens (Abb. 11) und es ist der Verdacht durchaus gestattet, dass die Entwicklung dieses Beckens mit einer Veränderung in der Unterkruste einhergegangen ist, die die gravimetrische und magnetische Anomalie mit verursacht.

Beide Anomalien befinden sich auch in der unmittelbaren Nachbarschaft von Zentren des Rotliegend-Vulkanismus, unterscheiden sich aber in ihrer Lage zum Sedimentationsraum des darauf folgenden jüngeren Rotliegend (Ziegler 1990, Bachmann & Hoffmann 1995, Doornenbal & Stevenson 2010). Sowohl in der Oberkreide als auch während des Permokarbons lag die globale magmatische Aktivität auf einem hohen Niveau, sodass auch unter diesem Gesichtspunkt beide genannten Zeitvorstellungen durchaus infrage kommen können. Mit einer überschlagsmäßigen groben 2D-Modellierung lässt sich der wesentliche Teil der Schwerkreis-anomalie von Bramsche auch durch einen kleinräumigeren Störkörper höherer Dichte im Tiefenintervall von 15–25 km erklären. Zur Übersicht sind in der Tab. 1 noch einmal alle Beobachtungen zusammengefasst und gegenübergestellt.

Sollte es also eine Oberkreide-Intrusion von Bramsche in der vermuteten Form nicht gegeben haben, werden dazu gültige Grundannahmen der heutigen deutschen Geowissenschaften hinfällig, inklusive der vorliegenden, scheinbar glaubwürdigen Modellierungen der magnetischen und gravimetrischen Anomalien, und es eröffnen sich ganz neue Erkenntnismöglichkeiten. Die Abschätzung der regionalen Gasgenese (Gerling et al. 1999, Stahl 1971) wäre neu zu bewerten, die strukturelle und thermische Entwicklung des Niedersächsischen Beckens anders zu beurteilen und die Existenz vorhandener und möglicher mesozoischer und paläozoischer Gaslagerstätten im benachbarten Raum neu ein-

Tab. 1: Vergleich der geophysikalischen und geologischen Beobachtungen zu den Anomalien von Bramsche und Pritzwalk.

Table 1: Comparison of the geophysical and geological observations of the anomalies of Bramsche and Pritzwalk.

Beobachtung	Anomalie von Pritzwalk	Anomalie von Bramsche
Schwereanomalie	+ markant positiv	+ markant positiv
Anomalie der reduzierten Schwere	+ markant positiv	+ markant positiv
Anomalie des Magnetfeldes	+ markant positiv	+ markant positiv
magnetotellurische Anomalie	+ gut leitender Körper ~17 km tief	+ komplexe Struktur
reflexionsseismische Anomalie	+ Unterkruste und Moho	keine Daten
Senkungsgebiet im Jura	+ schwach	+ stark
Inversion in Oberkreide/Tertiär	+ schwach	+ stark
Hebungsbeträge	+ wenige 100 m (?)	+ max. 6000–8000 m
rezente Seismizität	+ $Io \geq 6,5$	+ $Io \geq 6,5$
Refraktionshochlage	nicht identifiziert (?)	± 6 km
Beckenzentrum	+ Rotliegend (Parchim-Formation)	+ Karbon (Westfal D)
Rotliegend-Vulkanismus	+ lokales Zentrum	+ im Randbereich

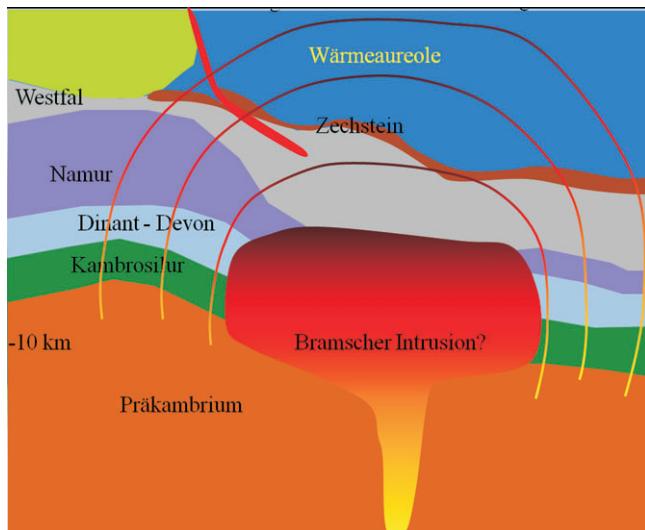


Abb. 12: Intrusionsmodell von Bramsche. Die Wärmeaureole der Intrusion hat die Dach- und Flankengesteine hoch erhitzt und damit für die Kohlenwasserstoffexploration entwertet (Brink 2002).

Fig. 12: Intrusion model of Bramsche. The thermal aureole of the intrusion heated roof and flank-rocks significantly and devaluated any hydrocarbon exploration in that area (Brink 2002).

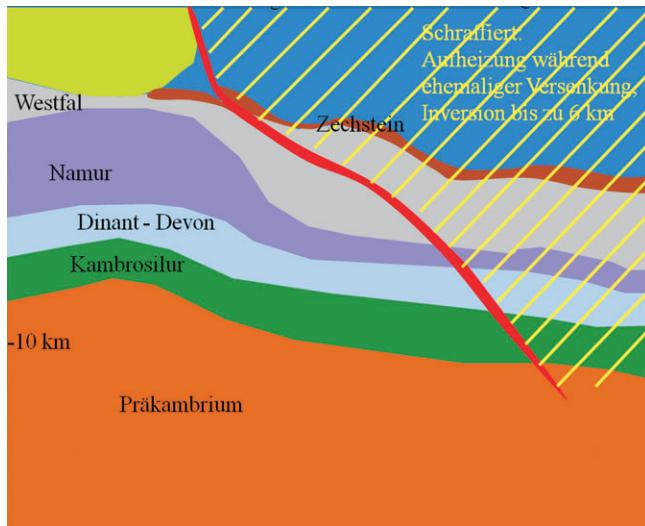


Abb. 13: Inversionsmodell von Bramsche. Die Aufheizung der Beckenfüllung vor der Inversion hat die Dachgesteine hoch erhitzt und nur sie für die Kohlenwasserstoffexploration alteriert oder entwertet. Der Bereich unterhalb der Überschiebung (rot) wäre nicht alteriert worden (Brink 2002).

Fig. 13: Inversion model of Bramsche. The heating of the basin fill before the inversion affected the roof-rocks highly and altered or devaluated only them for hydrocarbon exploration. The area below the fault plane (red) would not have become altered (Brink 2002).

zuschätzen. Damit könnte auch das Gebiet um den Teutoburger Wald, dem Südrand des Niedersächsischen Beckens, und seine tektonische Rekonstruktion wieder intensiver in das geowissenschaftliche Blickfeld rücken (Abb. 12 und 13),

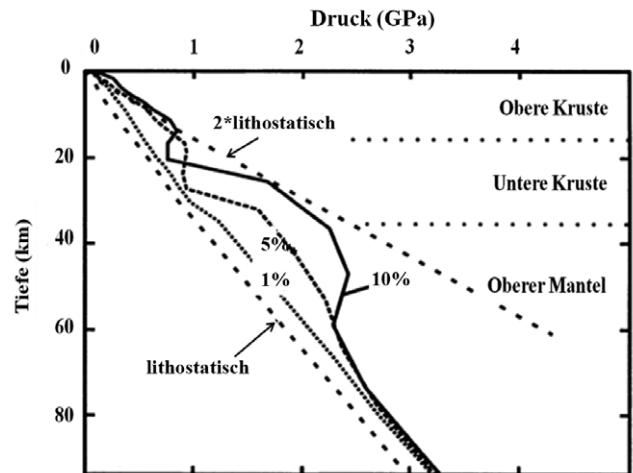


Abb. 14: Druckverteilung nach Tiefe für verschiedene prozentuale Verkürzungen für eine gegebene Lithosphäre (Petrini & Podladchikov 2000).

Fig. 14: Pressure distribution as function of depth for different percentage shortenings of a given lithosphere (Petrini & Podladchikov 2000).

gäbe es dann doch u. a. überschobene Bereiche, die nicht durch eine große mesozoische Versenkung thermisch alteriert wären. Auch fordert der Vergleich mit den Potenzialfeldanomalien in Schleswig-Holstein und deren Lage zum Glückstädter Triastrog und zu der zentralen Position im Rotliegend-Becken (Brink 1984, Brink et al. 1994) Fragen nach einem genetischen Zusammenhang von Inhomogenitäten oder Hochlagen des kristallinen Grundgebirges mit der Entwicklung dieses Zentraleuropäischen Beckens regelrecht heraus.

In diesem Sinne wird auch die Arbeit von Scheibe et al. (2005) wichtig, die eine Gesteinsdichte von ca. $3,3 \text{ g/cm}^3$ für einen Körper modelliert haben, der im Bereich der Anomalie von Bramsche tiefer als 12 km liegen und die Intrusion in geringerer Tiefe ersetzen könnte. Das würde allerdings bedeuten, dass wegen der hohen Dichte signifikante Anteile an hochmetamorphen Granuliten oder Eklogiten in der unteren und mittleren Kruste angenommen werden müssten. Für so eine Interpretation liegt aber gegenwärtig kein publiziertes tektonisches Modell vor. Metamorphose zu Eklogiten ist nur unter extrem großem Druck möglich, der etwa doppelt so hoch wie unter gegenwärtigen krustalen Bedingungen sein müsste. Kräfte, die zur Inversion des Niedersächsischen Beckens geführt haben, bieten aber möglicherweise solche Drücke an. Nach Petrini & Podladchikov (2000) können Druckgradienten, die den zweifachen lithostatischen Bedingungen entsprechen, in Regionen auftreten, die einer signifikanten horizontalen Stauchung unterliegen (Abb. 14). Während der intensiven Inversion des Niedersächsischen Beckens mit einer beachtlichen Stauchung, die sich auch in der Entwicklung des Teutoburger Waldes entlang des Osning-Lineaments zeigt, mögen solche Drücke zur Eklogitisierung von unterer und mittlerer Kruste beigetragen haben (Abb. 15), was aber refraktionsseismisch wegen der zu for-

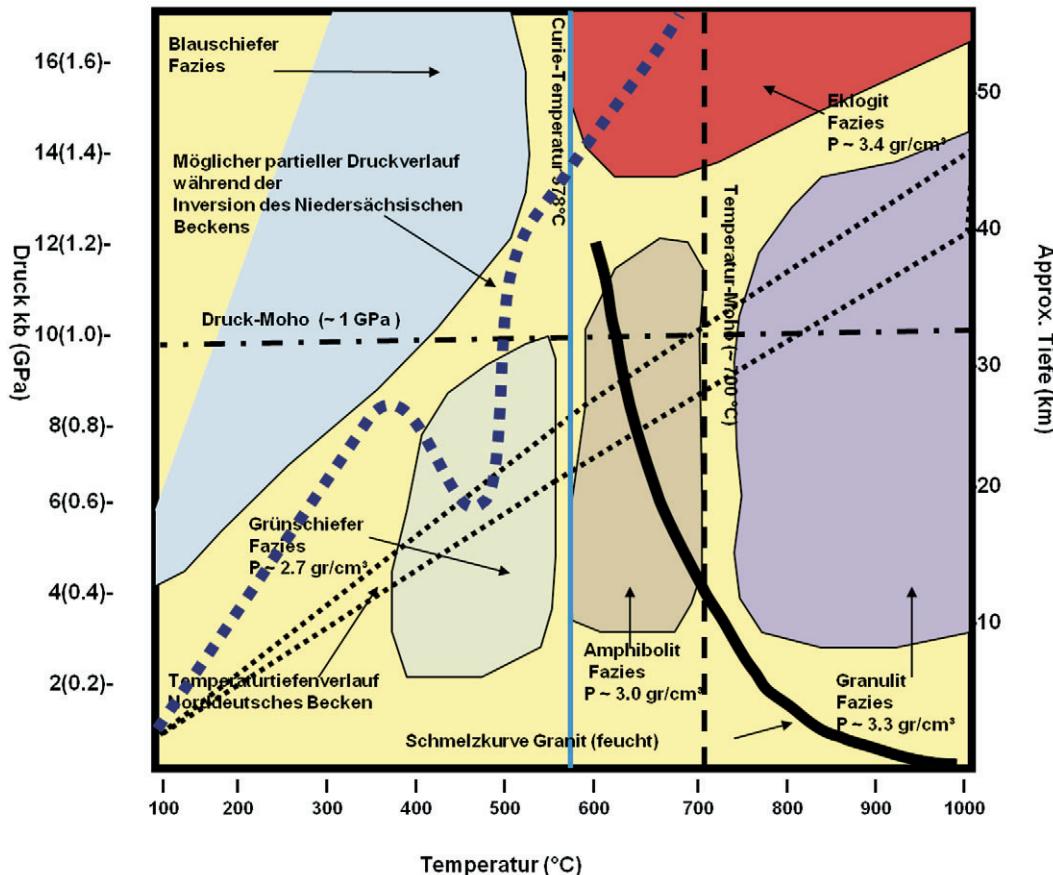


Abb. 15: Generalisierte Grenzen metamorpher Fazies (nach Yardley 1989) mit Temperatur-Tiefen-Verlauf des Norddeutschen Beckens, möglichem partiellen Druckverlauf während der Inversion des Niedersächsischen Beckens, Curietemperatur und Druck- und Temperatur-Moho-Projektionen. Auffällig sind die hohe Temperatur- und geringe Druckabhängigkeit der Metamorphose für die Kruste des Norddeutschen Beckens und die potenzielle Druckabhängigkeit der Metamorphose im Niedersächsischen Becken (Brink 2005 erweitert).

Fig. 15: Generalised borders of metamorphic facies (after Yardley 1989) with temperature-depth relationship of the North German Basin, possible partial pressure trend during the inversion of the Lower Saxony Basin, Curie temperature and pressure- and temperature Moho projections. High temperature and low pressure dependences for the metamorphism of the crust of the North German Basin and a significant pressure dependence for the metamorphism of the crust of the Lower Saxony Basin are striking (Brink 2005 adjusted).

dernden Kleinräumigkeit des Störkörpers kaum abbildungbar zu sein scheint, sollte dieser überhaupt je nach tektonischem Modell angehoben worden sein oder nicht. Die damit verbundene Dichtezunahme und Volumenabnahme wird mit dem Verlust von Fluiden aus dem Gesteinsverbund einhergehen. Diese Fluide könnten dann Ionen in geringere Tiefen transportiert haben, die auch als Quelle der Mineralisationen und Vererzung in den überlagernden Schichten des Osnabrücker Berglandes dienten. Mineralisationen wurden ausführlich von Rose & Gödecke (1984) beschrieben. Überlithostatische Drücke können natürlich die seismischen Geschwindigkeiten beeinflusst haben und – darüber abgeleitet – eine größere Versenkungstiefe als in Wirklichkeit erreicht vortäuschen. Ob sich während der Inversion die zusammengestauchte paläozoische und mesozoische Füllung des Niedersächsischen Beckens durch den erhöhten Druck auch noch zusätzlich erwärmt hat, kann hier nicht beantwortet werden. Gemessen an Vergleichen mit entsprechenden Beobachtungen in gegenwärtigen Orogenen erscheint das aber weniger wahrscheinlich.

Die Kompilation des oben Gesagten führt unter Bevorzugung einer tektonischen Aufschiebung im Grundgebirge zu einer alternativen Interpretation der Anomalien von Bramsche mit dem Schwerpunkt auf Inversion statt kretazischer Intrusion. Letztere könnte sich damit als Irrtum erweisen. Dieses Modell bedarf aber noch, genauso wie die paradigmatische Annahme einer mesozoischen Intrusion, einer Verifizierung beziehungsweise Falsifizierung. In der Abb. 16 ist ein generalisiertes alternatives Störkörpermodell für die Anomalie von Bramsche gezeigt, unter Einbeziehung der neuen magnetotellurischen Messungen (Hoffmann et al. 2008), der Refraktionsauswertung von Brockamp (1967), der theoretischen Modellierung von Petrini & Podladchikov (2000), mit der Anwendung der Grenzen metamorpher Fazies nach Yardley (1989), der Ableitung der Curietiefe nach Brink (2005) sowie des vermuteten Inversions- und Erosionsbetrages nach Baldschuhn & Kockel (1999), Brink (2002), Senglaub et al. (2005a, b, c) und Bruns et al. (2012).

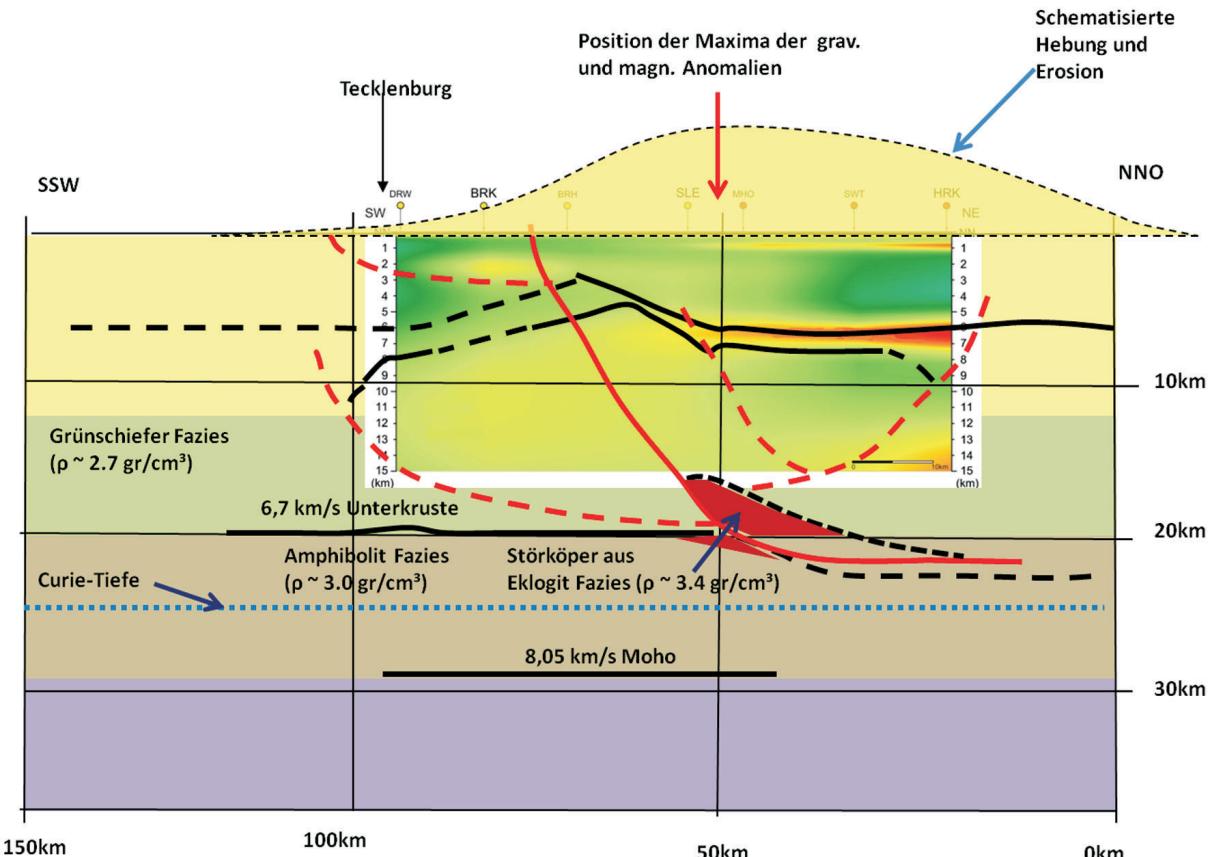


Abb. 16: Generalisiertes alternatives Störkörpermodell für die Anomalie von Bramsche unter Einbeziehung der neuen magnetotellurischen Messungen (Hoffmann et al. 2008), der Refraktionsauswertung von Brockamp (1967), der theoretischen Modellierung von Petrini & Podladchikov (2000), mit der Anwendung der Grenzen metamorpher Fazies nach Yardley (1989), der Ableitung der Curietiefe nach Brink (2005) sowie des vermuteten Inversions- und Erosionsbetrages nach Baldschuhn & Kockel (1999), Brink (2002), Senglaub et al. (2005a, b, c) und Bruns et al. (2012).

Fig. 16: Generalised alternative model of an anomaly mass for the Massif of Bramsche under inclusion of the new magnetotelluric measurements (Hoffmann et al. 2008), the refraction evaluation after Brockamp (1967), the theoretical modelling after Petrini & Podladchikov (2000), by applying the borders of metamorphic facies distribution after Yardley (1989), the estimated Curie depth after Brink (2005), as well as the suspected inversion and erosion amount after Baldschuhn & Kockel (1999), Brink (2002), Senglaub et al. (2005a, b, c) and Bruns et al. (2012).

Mit der vorläufigen Favorisierung dieses tektonisch-metamorphen Modells wird allerdings der Vergleich der Anomalien von Bramsche und Pritzwalk stark relativiert, da für Pritzwalk bisher nur eine (paläozoische) permokarbone „Intrusion“ diskutiert wird (Hoffmann & Stiewe 1994, Bachmann & Hoffmann 1995). Sollten beide Anomalien aber auf jeweils die gleiche Ursache im tieferen Krustenbereich zurückzuführen sein, bleiben zwei Alternativen: Entweder liegt für beide Bereiche eine permokarbone Intrusion vor bzw. wegen der geforderten sehr hohen Störkörperflechte doch eher eine lokale magmatisch gesteuerte permokarbone „Granulitisierung“ infolge thermischer Metamorphose der unteren Kruste (siehe Temperatur-Tiefen-Verlauf Norddeutsches Becken und metamorphe Fazies in Abb. 15; Brink 2005), oder aber eine nicht unbedingt zeitgleiche inversionsbedingte druckabhängige Metamorphose wie schon für Bramsche favorisiert. Dies würde für die in etwa rheinisch streichende Anomalie von Pritzwalk bedeuten, dass dort lokal ein

ähnlicher Prozess stattgefunden haben könnte wie er auch für die rheinisch streichenden Schweranomalien in Schleswig-Holstein mit kimmerischer und tertiärer Inversion denkbar erscheint (Brink et al. 2012).

Schlussendlich bliebe aber auch noch als spekulative Variante eine prädevonische (kaledonische?) Vorprägung der Kruste, mit dem Potenzial geologisch nachhaltig zu wirken, an beiden Lokationen übrig. Von Bedeutung dürfte auch sein, dass Bramsche herzynisch und Pritzwalk rheinisch streicht, was wiederum auf eine gewisse zeitliche Entkopplung hinweisen könnte.

6. Ausblick

Wie hier erörtert, stehen für eine künftige Klärung der Anomalie von Bramsche statt einer mindestens fünf Ursachen zur Auswahl. Diese sind:

(1) die paradigmatische oberkretazische Intrusion in die obere Kruste,

(2) eine permokarbone Intrusion in die untere/mittlere Kruste, verbunden mit einer vergleichsweise geringfügigen vulkanischen (von Gaertner 1952, Breitkreutz et al. 2008) und magmatischen (van Bergen & Sissingh 2007) Aktivität in diesem Raum,

(3) die hier bevorzugte Ursache einer im Rahmen der Inversion des Niedersächsischen Beckens unter Hochdruck „eklogitisierten“ und aufgeschobenen dichteren unteren/mittleren Kruste,

(4) eine im Rahmen der Wärmeereignisse in Zusammenhang mit der permokarbonen oder mesozoischen Subsidenz thermisch „granulitisierte“ dichtere untere/mittlere Kruste und

(5) eine prädevonisch vorgeprägte und durch die jüngeren geologischen Prozesse lokal alterierte Kruste.

Alle Verifizierungs- bzw. Falsifizierungsversuche werden auf unterschiedlichste geowissenschaftliche Methoden zurückgreifen müssen. Um die vielfältigen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Fragen zum Komplex „Bramische“, Osnabrücker Bergland und Niedersächsisches Becken beantworten zu können, wäre die Akquisition tiefenseismischer Reflexionsprofile mit anschließendem CRS-Prozessing sowie die refraktionsseismischer Linien, die flächenhafte Vermessung hochwertiger magnetotellurischer Daten, die Analyse mikroseismischer Ereignisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft über die rezente Tektonik, gravimetrische und magnetische Neubearbeitungen mit einer gründlichen Inventur der vorliegenden Modellierungsannahmen sowie strukturgeologische und petrografische Untersuchungen erforderlich.

7. Danksagung

Der Autor dankt Norbert Hoffmann (Stahnsdorf) sowie einem weiteren unbekannten Gutachter für ihre positiven Kommentare – trotz der vorliegenden (erforderlichen) Abweichung von einer typischen Gliederung wissenschaftlicher Publikationen und trotz des hohen Alters vieler in die Bearbeitung eingeflossener Daten. Der Dank gilt auch den detaillierten Verbesserungsvorschlägen und der Unterstützung der Empfehlung, dass eine Akquisition neuer Daten im Gebiet von Bramsche unbedingt notwendig sei. Neben den Gutachtern gehört natürlich auch all den Kollegen Dank, die den Autor in der hier präsentierten Argumentationskette unterstützt oder ihm widersprochen haben. Beide Reaktionen waren sehr hilfreich.

8. Schriftenverzeichnis

Adriasola Muñoz, Y. (2006): The thermal history of the western Lower Saxony Basin, Germany. – Diss., RWTH Aachen, Aachen (Verlagshaus Mainz).

Bachmann, G.H. & Hoffmann, N. (1995): Bildung und Entwicklung des Norddeutschen Rotliegend-Beckens. – In: Plein, E.

(Hg.): Stratigraphie von Deutschland I – Norddeutsches Rotliegend-Becken. – Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 183: 156–169.

Baldschuhn, R. & Kockel, F. (1999): Das Osning-Lineament am Südrand des Niedersachsen-Beckens. – Z. Dt. Geol. Ges., 150 (4): 673–695.

Bartenstein, H., Teichmüller, M. & Teichmüller, R. (1971): Die Umwandlung der organischen Substanz im Dach des Bramscher Massivs. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 501–538.

Bilgili, F., Götze, H.-J., Pasteka, R. & Schmidt, S. (2007): Intrusion versus inversion – a 3D density model of the southern rim of the Northwest German Basin. – Int. J. Earth Sci., DOI: 10.1007/s00531-007-0267-y.

Brauckmann, F.J. (1984): Hochdiagenese im Muschelkalk der Massive von Bramsche und Vlotho. – Bochumer Geol. Geotechn. Arb., 14: 1–195.

Brauner, H.-J. (1996): Neubearbeitung und Reinterpretation seismischer Weitwinkeldaten. – Diss., Univ. Kiel: 176 S., Kiel.

Breitkreuz, C., Geißler, M., Schneider, J. & Kiersnowski, H. (2008): Basin initiation: volcanism and sedimentation. – In: Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D. & Nelskamp, S. (Hg.): Dynamics of complex sedimentary basins – the example of the Central European Basin System: 173–180, Berlin (Springer).

Breyer, F. (1971): Geophysikalische und geologische Beiträge zur oberflächennahen Tektonik im Dach des Bramscher Massivs. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 353–386.

Brink, H.-J. (1984): Die Salzstockverteilung in Nordwestdeutschland. – Geowiss. in unserer Zeit, 2: 160–166.

Brink, H.-J. (2002): Die Anomalien von Bramsche, wieder eine offene Frage? – Erdöl Erdgas Kohle, 118 (1): 18–22.

Brink, H.-J. (2005): The evolution of the North German Basin and the metamorphism of the lower crust. – Int. J. Earth Sci., 94: 1103–1116.

Brink, H.-J. (2010): Classification of the Central European Basin System (CEBS). – DGMK Research Rep., 577-2/4: 63 S.

Brink, H.-J. (2012): Kosmische Würfelspiele und die Entwicklung der Erde: 120 S., Dinslaken (Athene Media).

Brink, H.-J., Bachem, H.-C., Lühring, H.-J. & Held, B. (1994): Erweiterte Prä-Zechstein-Bougueranomalie Norddeutschlands. – Geowiss., 12 (3): 74–79.

Brink, H.-J., Gajewski, D., Baykulov, M. & Yoon, M.-K. (2012): Moho, basin dynamics, salt stock family development, and hydrocarbon system examples of the North German Basin revisited by applying seismic common reflection surface processing. – In: Peters, K.E., Curry, D.J. & Kacewicz, M. (Hg.): Basin modeling: new horizons in research and applications: American Assoc. Petroleum Geol., Hedberg Ser., 4: 71–86.

Brockamp, B. (1967): Kurzbericht über die im Gebiet um Osnabrück durchgeführten seismischen Arbeiten des Instituts für Reine und Angewandte Geophysik der Universität Münster. – Veröff. Dt. Geodät. Komm., B 153: 1–12.

Brunn, B., di Primio, R., Berner, U. & Littke, R. (2012): New insights on the maturity distribution and shale gas potential of the Lower Saxony Basin, NW-Germany. –, Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 80: 141 (GeoHannover 2012; abstract).

Dohr, G. (1989): Ergebnisse geophysikalischer Arbeiten zur Untersuchung des tieferen Untergrundes in Norddeutschland. – Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff., 2: 4–47.

Dohr, G., Dürschnner, H. & Edelmann, H.A.K. (1989): Exploration geophysics in Germany. – First Break, 7 (5): 153–172.

- Doornenbal, J.C. & Stevenson, A.G. (Hg.) (2010): Petroleum geological atlas of the Southern Permian Basin Area. – Houten (EAGE Publ.).
- Flick, H. (1986): The Hercynian Mountains – a postorogenic over-thrust massif? – *Naturwiss.*, 73 (11): 670–671.
- Franke, D. (1990): Der präpermische Untergrund der Mitteleuropäischen Senke – Fakten und Hypothesen. – *Niedersächs. Akad. Geowiss. Veröff.*, 4: 19–75.
- Füchtbauer, H. & Müller, G. (1970): *Sediment-Petrologie*, Bd. 2: Sedimente und Sedimentgesteine: 726 S., Stuttgart (Schweizerbart).
- Gabriel, G., Vogel, D., Scheibe, R., Lindner, H., Pucher, R., Wonik, T. & Krawczyk, C. (2011): Anomalies of the Earth's total magnetic field in Germany – the first complete homogenous dataset reveals new opportunities for multiscale geoscientific studies. – *Geophys. J. Int.*, 184: 1113–1118.
- Gerling, P., Kockel, F. & Krull, P. (1999): Das Kohlenwasserstoff-Potential des Präwestfals im Norddeutschen Becken – eine Synthese. – *DGMK-Forschungsbericht*, 433: 107 S.
- Giebelner-Degro, M. (1986): Zur Tiefenerkundung des Niedersächsischen Tektogens durch dreidimensionale Simulationsrechnungen. – *Diss.*, TU Clausthal: 203 S., Clausthal-Zellerfeld.
- Hahn, A. & Kind, E.G. (1971): Eine Interpretation der magnetischen Anomalie von Bramsche. – *Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen*, 18: 387–394.
- Hoffmann, N. & Stiewe, H. (1994): Neuerkenntnisse zur geologisch-geophysikalischen Modellierung der Pritzwalker Anomalie im Bereich des Ostelbischen Massivs. – *Z. geol. Wiss.*, 22: 161–171.
- Hoffmann, N., Hengesbach, L., Friedrichs, B. & Brink, H.-J. (2008): The contribution of magnetotellurics to an improved understanding of the geological evolution of the North German Basin – review and new results. – *Z. Dt. Ges. Geowiss.*, 159 (4): 591–606.
- Jochum, J., Friedrich, G., Leythaeuser, D. & Littke, R. (1995a): Intraformational redistribution of selected trace elements in the Posidonia Shale (Hils Syncline, NW Germany) caused by the thermal influence of the Vlotho Massif. – *Ore Geol. Rev.*, 9 (5): 353–362.
- Jochum, J., Friedrich, G., Leythaeuser, D., Littke, R. & Ropertz, B. (1995b): Hydrocarbon-bearing fluid inclusions in calcite-filled horizontal fractures from mature Posidonia Shale (Hils Syncline, NW Germany). – *Ore Geol. Rev.*, 9 (5): 363–370.
- Jödicke, H. (1991): Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenoherzynikum und seinem nördliche Vorland. – *Hochschulschriften*, 24: 403 S., Berlin (Lit.).
- John, H. (1975): Hebungs- und Senkungsvorgänge in Nordwestdeutschland. – *Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie*, 28 (6): 273–277.
- Karrenberg, H. (Hg.) (1971): Das höhere Oberkarbon von Westfalen und das Bramscher Massiv. – *Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen*, 18: 1–596.
- Kley, J., Franzke, H.-J., Jähne, F., Krawczyk, C., Lohr, T., Reichert, K., Scheck-Wenderoth, M., Sippel, J., Tanner, D., van Gent, H. & SPP Structural Geology Group (2008): Strain and stress. – In: Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D. & Nelskamp, S. (Hg.): *Dynamics of complex sedimentary basins – the example of the Central European Basin System*: 97–124, Berlin (Springer).
- Kus, J., Cramer, B. & Kockel, F. (2005): Effects of a Cretaceous structural inversion and a postulated high heat flow event on petroleum system of the western Lower Saxony Basin and the charge history of the Apeldorn gas field. – *Netherlands J. Geosci.*, 84 (1): 3–24.
- Landolt-Börnstein, G. (1982): *Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Gruppe 5: Geophysik und Weltraumforschung*, Bd. 1. – In: Angenheister, G. (Hg.): *Physikalische Eigenschaften der Gesteine*, Berlin (Springer).
- Leischner, K., Welte, D.H. & Littke, R. (1993): Fluid inclusions and organic maturity parameters as calibration tools in basin modelling. – In: Doré, A.G., Augustson, J.H., Hermanrud, C., Stewart, D.J. & Sylta, O. (Hg.): *Basin modelling: advances and applications*. – Norwegian Petroleum Soc., Spec. Publ., 3: 161–172.
- LIAG (Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik) (2010): *Schwerekarte der Bundesrepublik Deutschland 1: 1 000 000, Bouguer-Anomalien*, Hannover.
- LIAG (Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik) (2011): *Anomalien des erdmagnetischen Totalfeldes der Bundesrepublik Deutschland, 1 : 1 000 000*, Hannover.
- Leydecker, G. (1986): *Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 1000–1981*. – *Geol. Jb.*, E 36: 3–83.
- Leythaeuser, D., Hagemann, H.W., Hollerbach, A. & Schäfer, R.G. (1980): Hydrocarbon generation in source beds as a function of type and maturation of their organic matter: a mass balance approach. – *Proc. World Petroleum Congr.*, 2: 31–41.
- Leythaeuser, D., Littke, R., Radke, M. & Schäfer, R.G. (1988): Geochemical effects of petroleum migration and expulsion from Toarcian source rocks in the Hills Syncline area, NW-Germany. – In: Mattavelli, L. & Novelli, L. (Hg.): *Proc. 13th int. meeting on organic geochemistry, Venice 1987*. – *Organic Geochem.*, 13 (1–3): 489–502.
- Littke, R., Baker, D.R. & Leythaeuser, D. (1988): Microscopic and sedimentologic evidence for the generation and migration of hydrocarbons in Toarcian source rocks of different maturities. – In: Mattavelli, L. & Novelli, L. (Hg.): *Proc. 13th int. meeting on organic geochemistry, Venice 1987*. – *Organic Geochem.*, 13 (1–3): 549–559.
- Littke, R., Bayer, U., Gajewski, D. & Nelskamp, S. (Hg.) (2008): *Dynamics of complex intracontinental basins – the Central European Basin System*: 520 S., Berlin (Springer).
- Meissner, R. & Bortfeld, R.K. (Hg.) (1990): *DEKORP-Atlas – Results of Deutsches Kontinentales Reflexionsseismisches Programm*: 99 S., Berlin (Springer).
- Müller, M. (2009): Magnetic anomaly interpretation of the North German Basin: results from depth estimation and 2D-modeling. – Bachelorarb., Jacobs Univ., Bremen & RWE Dea AG, Hamburg, http://www.faculty.jacobs-university.de/vunnithan/sandvox/research_group/bsc-thesis-moritz-mueller.pdf.
- Neugebauer, H.J. & Reuther, C. (1987): Intrusion of igneous rocks – physical aspects. – *Geol. Rundsch.*, 76: 89–99.
- Nodop, I. (1971): Tiefenrefraktionsseismischer Befund im Profil Versmold–Lübbecke–Nienburg. – *Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen*, 18: 411–422.
- Noeth, S. (1991): Die Conodontendiagenese als Inkohlungsparameter und ein Vergleich unterschiedlich sensibler Diagenese-indikatoren am Beispiel von Triassedimenten Nord- und Mitteldeutschlands. – *Bochumer Geol. Geotechn. Arb.*, 37: 1–169.
- Petmecky, S., Meier, L., Reiser, H. & Littke, R. (1999): High thermal maturity in the Lower Saxony Basin: intrusion or deep burial? – *Tectonophysics*, 304: 317–344.
- Petrini, K. & Podladchikov, Y. (2000): Lithospheric pressure-depth relationship in compressive regions of thickened crust. – *J. Metamorph. Geol.*, 18: 67–77.

- Plein, E. & Gebhardt, U. (1995): Paläogeographie der Havel-Subgruppe. – In: Plein, E. (Hg.): Stratigraphie von Deutschland I – Norddeutsches Rotliegend-Becken. – Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, 183: 117–121.
- Reich, H. (1933): Erdmagnetismus und saxonische Tektonik. – Z. Dt. Geol. Ges., 85: 635–646.
- Rockel, W., Hoth, P. & Seibt, P. (1997): Charakteristik und Aufschluss hydrogeothermaler Speicher. – Geowiss., 15 (8): 244–252.
- Rose, K.H. & Gödecke, C.P. (1984): Mineral-Neubildungen des Osnabrücker Berglandes im Vergleich mit dem übrigen Nordwestdeutschland. – In: Klassen, H. (Hg.): Geologie des Osnabrücker Berglandes: 567–643, Osnabrück (Naturwiss. Mus. Osnabrück).
- Rullkötter, J., Leythäuser, D., Littke, R., Mann, U., Müller, P.J., Radke, M., Schäfer, R.G., Schenk, H.J., Schwochau, K., Witte, E.G. & Welte, D.H. (1988): Organic matter maturation under the influence of a deep intrusive heat source: a natural experiment for quantification of hydrocarbon generation and expulsion from a petroleum source rock (Toarcian shale, northern Germany). – In: Mattavelli, L. & Novelli, L. (Hg.): Proc. 13th int. meeting on organic geochemistry, Venice 1987. – Organic Geochem., 13 (4–6): 847–856.
- Scheibe, R., Seidel, K., Vormbaum, M. & Hoffmann, N. (2005): Magnetic and gravity modelling of the crystalline basement in the North German Basin. – Z. Dt. Ges. Geowiss., 156 (2): 291–298.
- Schmidt, A. (1914): Die magnetische Vermessung I. Ordnung des Königreichs Preußen 1898–1903 nach den Beobachtungen von M. Eschenhagen und J. Edler. – Veröff. Kgl.-Preuss. Meteorol. Inst., 276: 43 S., Berlin (Behrend).
- Schmitz, U. & Wenzlow, B. (1990): Maturity anomalies of the western Lower Saxony Basin in their regional context. – Zbl. Geol. Paläont., Teil 1, 8: 1091–1103.
- Senglaub, Y., Little, R. & Brix, M.R. (2005a): Numerical modelling of burial and temperature history as an approach for an alternative interpretation of the Bramsche anomaly, Lower Saxony Basin. – Int. J. Earth Sci., 95 (2): 204–224.
- Senglaub, Y., Brix, M.R., Adriasola, A. & Littke, R. (2005b): New information on the thermal history of the southwestern Lower Saxony Basin, northern Germany, based on fission track analysis. – Int. J. Earth Sci., 95 (5–6): 876–896.
- Senglaub, Y., Brix, M.R., Adriasola, A. & Littke, R. (2005c): Neue Einblicke in die thermische Geschichte des südwestlichen Niedersächsischen Beckens. – Erdöl Erdgas Kohle, 121 (7–8): 296–299.
- Stadler, G. (1971): Die Vererzung im Bereich des Bramscher Massivs und seiner Umgebung. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 439–500.
- Stadler, G. & Teichmüller, R. (1971): Zusammenfassender Überblick über die Entwicklung des Bramscher Massivs und des Niedersächsischen Tektogens. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 547–564.
- Stahl, W. (1971): Isotopen-Analysen an Carbonaten und Kohlendioxid-Proben aus dem Einflußbereich und der weiteren Umgebung des Bramscher Intrusivs und an hydrothermalen Carbonaten aus dem Siegerland. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 429–438.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R. & Bartenstein, H. (1979): Inkohlung und Erdgas in Nordwestdeutschland. Eine Inkohlungskarte der Oberfläche des Oberkarbons. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 27: 137–170.
- Teichmüller, M., Teichmüller, R. & Bartenstein, H. (1984): Inkohlung und Erdgas – eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 32 (1): 4–34.
- Thyssen, F., Allnoch, H.G. & Lütkebohmert, G. (1971): Einige Ergebnisse geophysikalischer Arbeiten im Bereich der Bramscher Anomalie. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, 18: 395–410.
- van Bergen, M.J. & Sissingh, W. (2007): Magmatism in the Netherlands: expression of the north-west European rifting history. – In: Wong, T.E., Batjes, D.A.J. & de Jager, J. (Hg.): Geology of the Netherlands: 197–221, Amsterdam (Royal Netherlands Acad. Arts and Sci.).
- von Flotow, H., Berroth, A. & Schmehl, H. (1931): Relative Bestimmungen der Schwerkraft auf 115 Stationen in Norddeutschland. – Veröff. Preuss. Geodät. Inst., N.F., 106: 1–88.
- von Gaertner, H.R. (1952): Petrographische Beschreibung des Rotliegenden aus der Untersuchungsbohrung Limbergen 1. – Z. Dt. Geol. Ges., 104: 512–522.
- Wagenitz, V. (1982): Tellurisch-magnetotellurische Untersuchungen zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit in der oberen Kruste im Bereich der Anomalie von Bramsche und des Niedersächsischen Tektogens. – Diss., Univ. Münster: 138 S., Münster.
- Wonik, T. & Hahn, A. (1990): Preliminary map of aeromagnetic anomalies for the EGT central segment. – The European geotraverse: integrative studies, results from the 5th Earth Science Study Centre. European Science Foundation: 147–156, Strasbourg.
- Yardley, B.W.D. (1989): An introduction to metamorphic petrology: 248 S., Essex (Longman).
- Ziegler, P.A. (1990): Geological atlas of Western and Central Europe: 239 S., Shell Int. Petroleum Maatsch. B.V., Bath (Geol. Soc. Publ. House).

Manuskript eingegangen: 08.10.2012

Annahme zur Veröffentlichung: 18.01.2013