

7. Paläogeographische Interpretation der Kammquarzit-Formation

Ein wichtiges Ziel der sedimentologischen und biostratigraphischen Untersuchungen der Kammquarzit-Formation sind die paläogeographische Interpretation und Deutung dieser Formation im Rahmen des mitteleuropäischen Unterkarbons, speziell des Kulm-Beckens.

Seit dem Devon entwickelte sich das Kulm-Becken auf dem abgesenkten südöstlichen passiven Kontinentalrand Laurussias. Es war ein typisches Vorlandbecken zwischen dem laurussischen Kontinent im Norden und dem späteren variszischen Orogen im Süden. Aufgrund der eindeutig tiefmarinen Genese der Quarzitabfolge und des Fehlens von Belegen eines Deckenferntransports wird die Hörre-Gommern-Quarzitzone als ein engbegrenztes, stark längliches Teilbecken des Kulm-Beckens angesehen.

Das Kulm-Becken war ein Nebenmeer der Paläo-Tethys, das im Süden von einem intraozeanischen magmatischen Bogen begrenzt war, dessen stark gehobene und erodierte Reste heute in Form der Mitteldeutschen Kristallinzone erhalten sind. Im Norden und Nordosten ging dieses tiefmarine Becken in die teilweise mehrere 100 Kilometer breite Kohlenkalk-Schelfplattform über, die sich von Nordpolen über Norddeutschland, das Rheinland, Belgien und Mittelengland bis nach Irland erstreckte. Entlang der vielfältig gegliederten Küstenlinie Laurussias erstreckte sich vom nördlichen Irland über Schottland, Mitteldänemark bis nach Nordpolen ein unterschiedlich breiter Gürtel sandiger Küsten und Schelfsedimente (Abb. 7.1).

7.1 Die klastische Küstenfazies Laurussias

Die terrestrischen bis küstennahen flachmarinen, quarzklastischen Sedimente sind entlang des gesamten Küstensaums von Nordpolen bis nach NW-Irland überliefert (Abb. 7.1):

In Nordpolen am Rand der osteuropäischen Tafel wurde in mehreren Bohrungen eine Quarzsandsteinfolge (Drzewiany-Formation) erbohrt, die das oberste Tournai bis Visé umfaßt. Die lagunäre Fazies mit *Stigmaria*-Schichten nahe der osteuropäischen Plattform im NE geht nach SW über in mächtige, sandsteindominierte Delta-Ablagerungen, an die sich eine küstenfernere Schelfabfolge aus Sand- und Tonsteinen anschließt. Im Anschluß daran folgt die Kohlenkalk-Schelfplattform (ZELICHOWSKI 1995).

Im Bereich von Rügen bis zur Nordsee sind Position und Natur des klastischen Küstensaums nicht gut bekannt, da er nur in wenigen Bohrungen erfaßt wurde. In der Umgebung von Rügen ist in drei Bohrungen (Rügen 2, Loissin, Pudagla) eine zum Teil mehrere 100 Meter mächtige klastische Serie des mittleren bis obersten Visé erbohrt worden (HOTH et al. 1993). Dabei handelt es sich um typische Schelfsedimente aus sehr reinem Quarzsand mit Kalkooiden und karbonatischem Zement (DIRKS 1997). Die Einschaltung der klastischen Folge in die karbonatische Folge von Rügen zeigt, daß der quarzklastische Küstensaum nördlich von Rügen lag und sich nur vereinzelt bis nach Rügen hin ausbreitete. Das gleiche gilt für Dänemark, wo auf der Insel Falster in Bohrung Ørslev 1 mehrere Sandsteineinschaltungen innerhalb der Karbonatfolge des Unter- bis Mittelvisé erbohrt wurden (BERTELSEN 1972). Diese Einschaltungen repräsentieren kurzfristige Verlagerungen des nördlich von Falster gelegenen klastischen Küstensaums nach Süden. Auch in der Nordsee ist der klastische Küstensaum erbohrt worden. Im

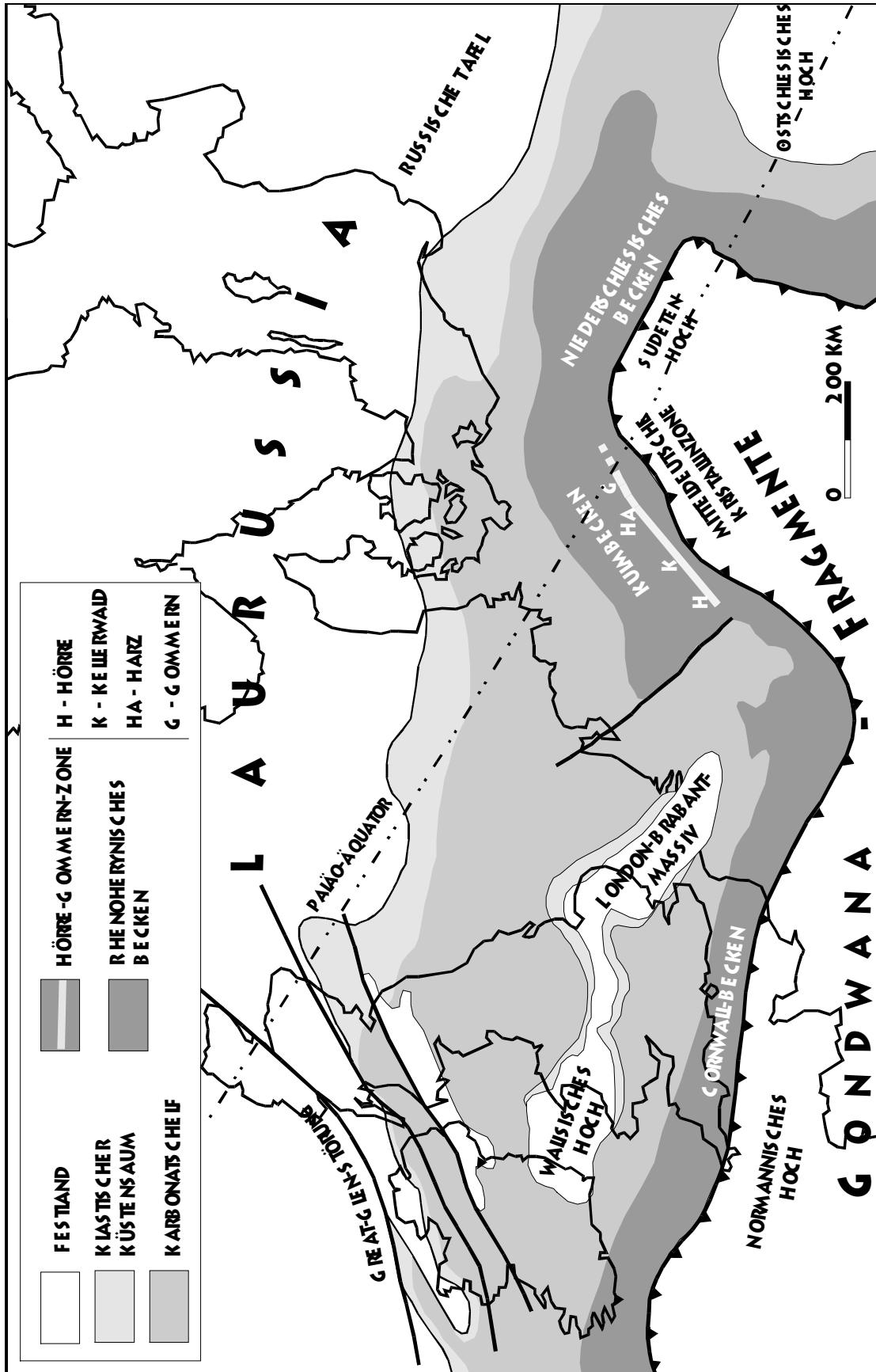


Abb. 7.1 Paläogeographische Übersicht über das europäische Unterkarbon, Visé (vereinfacht nach ZIEGLER 1990, Paläo-Äquator aus MCKERROW & SCOTese 1990)

Bereich des Doggerbank-Hochs beginnt das Unterkarbon mit einer Wechselfolge aus Dolomiten, Ton- und Sandsteinen, die im oberen Teil in eine Folge schlecht sortierter Sandsteine und schwarzer Tonschiefer mit einigen Kohleflözchen übergeht (D. FRANKE 1990).

In England und Irland ist der Übergang vom laurussischen Festland zum Schelf gut bekannt, da er in zahlreichen Oberflächenaufschlüssen und Bohrungen belegt ist. Der Küstensaum verlief durch die schottischen Midlands im Norden der britischen Insel. Die auftretenden mächtigen Sandsteinfolgen stellen die klastische Delta-Sedimentation dar, gespeist durch ein großes fluviatiles Hinterland-Entwässerungssystem der schottischen und skandinavischen Kaledoniden (LEEDER 1976, 1988). Auf die Delta-Sandsteinfolgen folgt im Northumberland Trog bereits ab dem mittleren Visé die Scremerston Coal Group, eine paralische Sedimentfolge mit ersten dünnen Kohleflözen (GEORGE et al. 1976). Auch in SW-England am Südrand des Wales-London-Brabant-Massivs ist eine Abfolge von reinen Quarzsandsteinen überliefert (SELWOOD & THOMAS 1986). In Irland erstreckte sich der unterkarbonische Küstensaum von der Donegal-Bucht im Nordwesten bis nach Nordirland. Die terrestrische bis Deltarand-Fazies sind in den Bruckless Gritts erhalten. Überwiegend grobklastische, subaerische Fanglomerate mit hohem Feldspatanteil gehen über in alluviale Sand- und Siltsteine mit in-situ-Pflanzenresten und Wurzelhorizonten. Diese Sandsteinfolgen gehen teilweise über in sandige Ablagerungen der Delta-Ebene mit einer Fülle von Kanälen und verfrachteten Pflanzenresten, den Calp-Sandstein. Auch dieser Sandstein zeigt einen deutlichen Feldspatanteil (SEVASTOPULO 1981).

Mehrfach treten im klastischen Küstensaum Laurussias also sehr reine Quarzsandsteinfolgen auf wie z. B. die Drzewiany-Formation (Nordpolen), der nicht-karbonatische Anteil der klastischen Folge von Rügen oder die Küstenfazies von SW-England. Das Auftreten reiner Quarzsande im küstennahen Schelfbereich dürfte neben der Aufbereitung in einem hochenergetischen Küstenbereich überwiegend an das fluviatile Entwässerungsnetz des laurussischen Kontinents gebunden sein. Wie bereits in Kap. 5.1 beschrieben, kann es bei fluviatilem Sedimenttransport über eine lange Distanz bei geringem Relief in feucht-warmem, tropischem Klima durch chemische Verwitterung zur Bildung sehr reiner Quarzsande kommen (POTTER 1978). Genau diese Situation bestand im höheren Unterkarbon (Visé): Laurussia lag zum größten Teil in der feucht-warmen tropischen Klimazone nördlich des Äquators (MCKERROW & SCOTese 1990), und das starke Relief in der Folge der kaledonischen Orogenese war durch die seit dem Unterdevon anhaltende Abtragung bereits deutlich ausgeglichen. Die großräumigen fluviatilen Hauptentwässerungssysteme Laurussias, die das Sediment über eine weite Distanz und einen langen Zeitraum transportierten, waren die optimale Voraussetzung für eine bereits fluviatile Reifung des Sediments. Der Vorrang fluviatiler gegenüber flachmariner, hochenergetischer Aufbereitung wird durch die überwiegend mäßige Rundung des Sediments in den Quarziten unterstrichen. Bei einer vorrangig im hochenergetischen, flachmarinen Milieu abgelaufenen Aufbereitung wäre ein wesentlich besser gerundetes Sediment zu erwarten. Die unreiferen Sandsteinfolgen des unterkarbonischen Küstensaums, z.B. im nördlichen Irland, deuten einen relativ kurzen alluvialen Transportweg vom küstennahen Hinterland zur Küste an.

Siallitische Verwitterung, d. h. chemische Verwitterung in einem feucht-warmen Klima, hat schon BURCHARDT (1977) für die Genese der reinen Quarzsande der Ilsenburg- und

Gommern-Quarzite verantwortlich gemacht. Hydrolytische Zersetzung führte in den quarzreichen Ausgangsgesteinen (Granitoide und Gneise) zur Zersetzung der Feldspäte zu Tonmineralen und löslichen Stoffen, zur Bleichung der Biotite und zum teilweisen Zerfall der Quarze. Der Nachweis von Kaolinit in den pelitischen Zwischenlagen, der einen relativ niedrigen pH-Wert anzeigt, deutet auf eine überwiegend im terrestrischen Milieu (fluviatil?!) abgelaufene Verwitterung hin (BURCHARDT 1977). In dieses Szenario passen auch die in den konglomeratischen Lagen des Kellerwalds und des Hörre-Nordrands häufigen rötlichen Klasten (Lateritkrusten, Kap. 5.1). Sie sind Reste der Erosion von Lateritkrusten im Untergrund der unter tropischen Verhältnissen verwitterten Böden Laurussias. Als Ausgangsgesteine für das Sediment der Kammquarzit-Formation können also die altpaläozoischen bis präkambrischen Granitoide und Gneise und daraus entstandene altpaläozoische Sandsteine des Baltikums, Skandinaviens und eventuell Schottlands angesehen werden, die durch die anhaltende Erosion seit dem Abschluß der kaledonischen Orogenese im Unterdevon gehoben und freigelegt waren.

Das wird auch durch U/Pb-Untersuchungen an Zirkonen verschiedener mitteleuropäischer Sandsteinfolgen belegt (HAVERKAMP et al. 1992). Das U/Pb-Verhältnis in den Zirkonen der Kammquarzit-Formation entspricht typischen aus Laurussia abgeleiteten Sandsteinen und zeigt einen deutlichen Unterschied zu den Zirkonen der Kulmgrauwacken, deren U/Pb-Verhältnis typischen kambrischen Gondwana-Typen entspricht. Das widerlegt einerseits eindeutig die Annahme, daß die Quarzsande der Kammquarzit-Formation durch Aufbereitung von Kulmgrauwacken entstanden wären oder ähnliche Liefergebiete wie diese gehabt hätten, wie PUTTRICH & SCHWAN (1974) annahmen und gibt zusätzlich noch eine paläogeographische Aussage: Die Sedimente der Kammquarzit-Formation stammen vom nördlich gelegenen Festland Laurussia, während die Grauwacken ihr Liefergebiet im Süden am aktiven Kontinentalrand Gondwanas oder eines Gondwana-Fragments haben. Auch morphologische Untersuchungen an Zirkonen (TRAUTNITZ 1980) und das sehr eingengegte Schwermineralspektrum der Kammquarzit-Formation, das sich deutlich von dem der Kulmgrauwacken unterscheidet (BURCHARDT 1994), belegen die eindeutige Trennung zwischen Grauwacken- und Quarzitabfolge bezüglich ihrer Materialherkunft.

Eine paläogeographische Aussage zu den unterschiedlichen Liefergebieten von Kammquarzit-Formation und Kulmgrauwacken ergab auch die Datierung von detritischen Muskoviten (HUCKRIEDE et al. 1998): Die Altersdatierungen in der Kammquarzit-Formation liegen zwischen 425 und 435 Mio. Jahren. Die Sedimente stellen also Abtragungsschutt des kaledonischen Orogens dar und sind damit von Norden aus Laurussia abzuleiten. Das gleiche gilt für die oberdevonischen Sandsteine der Hörre-Gommern-Quarzitzone und des nördlichen Rhenohertzynikums, deren Muskovit-Alter zwischen 409 und 417 Mio. Jahren liegen. Die Alter der Muskovite in den Kulm-Grauwacken liegen zwischen 371 und 391 Mio. Jahren. Das bedeutet, daß sie aus der Abtragung des frühen variszischen Orogens und damit eindeutig von Süden stammen. Zu beachten ist, daß die bei HUCKRIEDE et al. (1998) dargestellten Grauwacken der südlichen Hörre-Gommern-Zone, d. h. der Hörre i. e. S. entstammen und daher in keinem Zusammenhang mit der Kammquarzit-Formation am Hörre-Nordrand stehen (Kap. 4.1).

Das aus der Abtragung des kaledonischen Orogens stammende Sediment der Kammquarzit-Formation wurde während des fluviatilen Transports bereits deutlich aufgearbeitet und zum klastischen Küstensaum entlang der laurussischen Küste geliefert, wo es

flachmarin weiter aufbereitet wurde. Anschließend wurde es in mehreren Phasen vom Schelf in das Becken umgelagert. Die umfangreiche Mikroflora entstammt der differenzierten Land- und Küstenvegetation, die in den paralischen Sedimenten überliefert ist.

7.2 Großtektonische Entwicklung im Rhenoherynikum

Nachdem im Unter- und Mitteldevon im Rhenoherynikum eine Phase starker Krustendehnung mit Bildung ozeanischer Kruste verlief, begann ab dem Oberdevon die Subduktion der ozeanischen Kruste nach Süden unter die Mitteldeutsche Kristallinzone (W. FRANKE 1995). Im mittleren Unterkarbon (Visé) war die ozeanische Kruste subduziert (ONCKEN 1998), und auf der ausgedünnten kontinentalen Kruste des südlichen passiven Kontinentalrands von Laurussia entwickelte sich das Kulm-Becken, ein typisches Vorlandbecken. Durch die fortschreitende südwärts gerichtete Subduktion im Laufe des Unterkarbons wurde die kontinentale Kruste weiter subduziert, was zu einer immer stärkeren Einengung des Beckens führte. Trotz dieser Einengung herrschte im unteren Unterkarbon ein Extensions-Regime im Bereich des Kulm-Beckens vor, wie z.B. die tiefgreifenden Störungen, an denen die unterkarbonischen Deckdiabase aufgestiegen sind, belegen.

Infolge der Krustendehnung bildete sich bereits im Oberdevon (doII-III) im Bereich der heutigen Hörre-Gommern-Quarzitzone ein schmales, langgestrecktes Teilbecken parallel zur orogenen Front aus, in dem erste klastische Schüttungen vom laurussischen Schelf zur Ablagerung kamen (Ortberg-Sandstein). Auch an der Devon/Karbon-Grenze während der Ablagerung der Glimmerquarzite agierte diese Zone als aktiver Sedimentfänger, bevor ab der Basis des Visé die Quarzsandschüttungen der Kammquarzit-Formation in diesem Teilbecken zur Ablagerung kamen. Dieses rinnenförmige Becken war bis zum Abschluß der Quarzsandsedimentation aktiv, wodurch die weitere Ausbreitung der Kammquarzit-Formation in das Kulm-Becken verhindert wurde.

Eine Möglichkeit zur Bildung eines solchen schmalen, langgezogenen Extensionsbeckens in Verbindung mit einer Subduktion und einem insgesamt kompressiven Großregime sind großräumige Blattverschiebungen. Solche Lateralbewegungen sind z.B. von KROHE & WILLNER (1995) aus der Mitteldeutschen Kristallinzone für das Tournai bis mittlere Visé (360-330 Mio. Jahre) beschrieben worden. Auch ONCKEN (1998) beschreibt großräumige Lateralverschiebungen aufgrund schräger Kollision, allerdings erst für das Abschlußstadium der variszischen Orogenese im Namur (315 Mio. Jahre). Die Geometrie des Quarzit-Teilbeckens ist einem strike-slip-Becken vergleichbar. Die geringe Sedimentationsrate und der ausschließlich rinnenparallele Sedimenttransport mit der distalen Fazies in beiden Randbereichen des Quarzit-Teilbeckens sind aber sehr untypisch für strike-slip-Becken, die sich durch hohe Sedimentationsraten und überwiegend von den Beckenrändern in das Becken gerichteter Sedimentation quer zur Rinnenachse mit proximaler Fazies im Randbereich auszeichnen.

Aber auch in anderen geologischen Situationen sind schmale, langgestreckte Extensions-Teilbecken verbunden mit einer Subduktionszone bekannt, die dem Quarzit-Teilbecken vergleichbar sind. Aus dem taconischen Vorlandbecken (Staat New York) zwischen dem nordamerikanischen Kraton und den Appalachen sind schmale (wenige km bis wenige 10er

km Breite), langgezogene (bis zu 150 km Länge) Teilbecken bekannt, die parallel zur orogenen Front streichen. Die Bildung der Teilbecken innerhalb des taconischen Vorlandbeckens läßt sich durch die Extension der oberen Kruste bei der Biegung der Kruste unter die subduzierende Platte erklären (BRADLEY & KIDD 1991). In ähnlicher Weise könnte auch die Entstehung des Hörre-Gommern-Quarzit-Teilbeckens interpretiert werden.

Ab dem höheren Visé, V3a (330 Mio. Jahre), setzte in Verbindung mit der Kontinent/Kontinent-Kollision von Laurussia und dem nördlichsten Gondwana-Fragment die regional kompressive Phase ein (ONCKEN 1998). Die fortschreitende Einengung führte zur Unterteilung des Vorlandbeckens in schmale langgezogene, parallel zur orogenen Front streichende Teilbecken (SCHRADER & RICKEN 1998). Die Verwerfungen, die für die Bildung der Randschwellen der einzelnen Teilbecken verantwortlich waren, wurden durch die anhaltende Überschiebung des orogenen Keils auf das Vorland nacheinander aktiviert (schriftl. Mitt. S. SCHRADER, Köln). Die Teilbecken, in denen die Kulm-Grauwacken zur Ablagerung kamen, wurden schrittweise nach NW in Richtung des laurussischen Kontinents verlagert. Dabei wurden ältere, bereits verfüllte Grauwacken-Teilbecken an der orogenen Front angedockt und es entstand ein der orogenen Front vorgelagerter Nordwest-vergenter Schuppenkomplex aus älteren Grauwacken-Einheiten, in den beim Vorrücken nach Nordwesten immer jüngere Grauwacken-Teilbecken in Form neuer Schuppen integriert wurden. Ein typischer Akkretionskeil entstand.

Im tiefsten V3c (cuIII β) erreichte der Akkretionskeil das Quarzit-Teilbecken und integrierte auch dieses in den akkretionären Schuppenkomplex. Damit begann die Grauwacken-Sedimentation nordwestlich der Hörre-Gommern-Quarzitzone im Dill-Innerste-Faziesraum (JORDAN 1976, KULICK 1973 und NIKOLAUS 1963). Das Vorrücken des Akkretionskeils kam kurz nach dem Einbau des Quarzit-Teilbeckens zum Stillstand, so daß die Hörre-Gommern-Quarzitzone als vorderste Front des Akkretionskeils erhalten blieb. Dadurch läßt sich auch der deutlich unterschiedliche tektonische Baustil der Einheiten nordwestlich und südöstlich der Hörre-Gommern-Quarzitzone erklären. Südwestlich der Hörre-Gommern-Quarzitzone schließen sich die stark verschuppten Einheiten des Akkretionskeils an. Im Harz ist dieser akkretionäre Schuppenkomplex weitestgehend in dem Schuppenbau des Mittel- und Unterharzes erhalten geblieben. Im Kellerwald und der Hörre sind dagegen nur noch Reste des Akkretionskeils erhalten. In der Hörre stellen meines Erachtens Bickener- und Wildestein-Schuppe und die Grauwacken-Einheiten der Hörre den heute erhaltenen Rest des Akkretionskeils dar. Nordwestlich der Hörre-Gommern-Quarzitzone folgen die autochthonen Einheiten, auf die der akkretionäre Keil aufgeschoben wurde: Der Dill-Innerste-Faziesraum. Die Einengung und tektonische Überprägung der Einheiten in diesem Faziesraum sind deutlich geringer als in dem Schuppenkomplex des akkretionären Keils.

7.3 Sedimentationsgeschichte

Mit der ab dem Oberdevon südwärts gerichteten Subduktion unter den magmatischen Bogen, der heutigen Mitteldeutschen Kristallinzone, entwickelte sich das Kulm-Becken von einem Riftbecken zum Vorlandbecken zwischen dem laurussischen Kontinent im Norden und der Mitteldeutschen Kristallinzone, der vordersten aktiven orogenen Front Gondwanas oder eines Gondwana-Fragments, im Süden. Diese Konstellation führte neben

der pelagischen Beckensedimentation, die vom Oberdevon bis in das mittlere Unterkarbon fast im gesamten Kulm-Becken vorherrschte, zu einer deutlich zweigeteilten klastischen, turbiditischen Beckensedimentation. Der überwiegende Sedimenteintrag erfolgte vor dem aktiven Kontinentalrand des sich bildenden variszischen Orogens, der heutigen Mitteldeutschen Kristallinzone. Von dort aus wurden ab dem Oberdevon mächtige Grauwackenfolgen in das Becken geschüttet (z.B. Grauwacken der Wippraer Zone (doIV), WACHENDORF 1986). Während der Extensions-Phase (bis ins mittlere Visé) wurden die Grauwacken in der dem magmatischen Bogen vorgelagerten Tiefseerinne abgelagert (ENGEL et al. 1983b). Aufgrund der anhaltenden Subduktion verlagerte sich die Tiefseerinne schrittweise auf den laurussischen Kontinent im Nordwesten zu. Diese Entwicklung kann anhand des zeitlich versetzten Einsetzens der Grauwacken nach Nordwesten hin belegt werden, wie z. B. im Harz zu beobachten (WACHENDORF 1986). Die Grauwacken-Sedimentation war also auf den jeweiligen südlichen Randbereich des Beckens beschränkt und damit von den Quarzsandschüttungen vom nördlichen Schelf getrennt.

Aber auch vom passiven Kontinentalrand im Norden, dem laurussischen Schelf, gelangten mehrfach quarzreiche bis reine quarzitische Sandschüttungen in das Kulm-Becken. Die Quarzsandschüttungen vom nördlichen Schelf beschränkten sich aber auf drei Phasen im Gegensatz zur kontinuierlich vom Oberdevon bis ins basale Oberkarbon anhaltenden Grauwacken-Sedimentation.

Bereits im Oberdevon (Nehden bis Hemberg) kam es zur Schüttung quarzreicher Sande vom laurussischen Schelf, die auch im Bereich der Hörre-Gommern-Quarzitzone abgelagert wurden. Vom Grenzbereich doII/III bis in das doIV treten im Harz und im Kellerwald im Bereich der Hörre-Gommern-Quarzitzone der Ortbergsandstein, ein unreifer z. T. karbonatischer Sandstein (EDER et al. 1969), und am Nordwestrand der Hörre im doII-III Glimmersandsteine auf (SCHWAN 1991). Diese klastischen Einschaltungen in die pelagische Beckensedimentation zeigen, daß sich schon im doII/III infolge der intensiven Krustendehnung ein Teilbecken im Bereich der Hörre-Gommern-Quarzitzone entwickelt hatte, in dem ein Teil der vom Schelf in das Becken umgelagerten Sedimente zur Ablagerung kam. Turbiditische Sandsteinschüttungen vom nördlichen Schelf waren zu dieser Zeit weit über die Hörre-Gommern-Quarzitzone hinaus verbreitet, wie die Verbreitung der Nehden-Sandsteine im Rheinischen Schiefergebirge und dem Oberharz zeigen (z.B. EINSELE 1963). Bereits beim zweiten klastischen Einschub an der Devon/Karbon-Grenze (doVI - cul) beschränkten sich die Sandschüttungen vom laurussischen Schelf auf die Hörre-Gommern-Quarzitzone. Vom Hörre-Nordrand bis in den Harz ist eine Abfolge dünnbankiger, glimmerreicher Quarzite, die Glimmerquarzit-Folge, überliefert, die gegenüber dem Ortbergsandstein eine deutlich höhere texturale Reife zeigt.

Nach einer längeren Unterbrechung der Sandschüttungen vom laurussischen Schelf in das Becken begann an der Visé-Basis die Sedimentation der Kammquarzit-Formation, die ausschließlich auf das Hörre-Gommern-Teilbecken beschränkt ist. Die maximal 200 Meter mächtige Quarzitabfolge ist der mächtigste und petrographisch reifste Teil der klastischen Abfolgen der Hörre-Gommern-Quarzitzone. Die texturale Reife der Sandsteine nimmt also vom Ortbergsandstein des Oberdevons zur Kammquarzit-Formation des Visé deutlich zu. Die Produktion immer reinerer Quarzsande im klastischen Küstensaum Laurussias

kann als Folge der stärker werdenden chemischen Verwitterung im Zuge der Nordwanderung Laurussias vom trocken-warmen Klima südlich der Tropen im Oberdevon in das feucht-warme Klima der Tropen im Unterkarbon gedeutet werden (WITZKE & HECKEL 1988).

Die einzelnen klastischen Einschaltungen der Hörre-Gommern-Quarzitzone stimmen zeitlich gut mit bedeutenden Reggressionen bzw. dem erneuten Meeresspiegelanstieg im Anschluß an diese Regressionsphasen überein (Abb. 7.2). In regressiven Phasen wurden die terrigenen Klastika des Küstensaums von Laurussia weit auf den Schelf hinaus transportiert. Die Verlagerung des klastischen Küstensaums auf den äußeren Karbonatschelf wird z. B. durch die klastische Folge in Bohrung Rügen 2 angezeigt, die einen klastischen Einschub in der regressiven Phase des cuII δ -III α in die ansonsten durchgehende Karbonatplattform-Sedimentation darstellt. Infolge der Akkumulation der terrigenen quarzklastischen Sedimente auf dem äußeren Schelf kam es zur Umlagerung des Sediments in das Becken während starker Reggressionen wie in der TS-Sporenzone (unteres cuII δ), in der der mächtigste Teil der Kammquarzit-Formation sedimentiert wurde (Abb. 7.2).

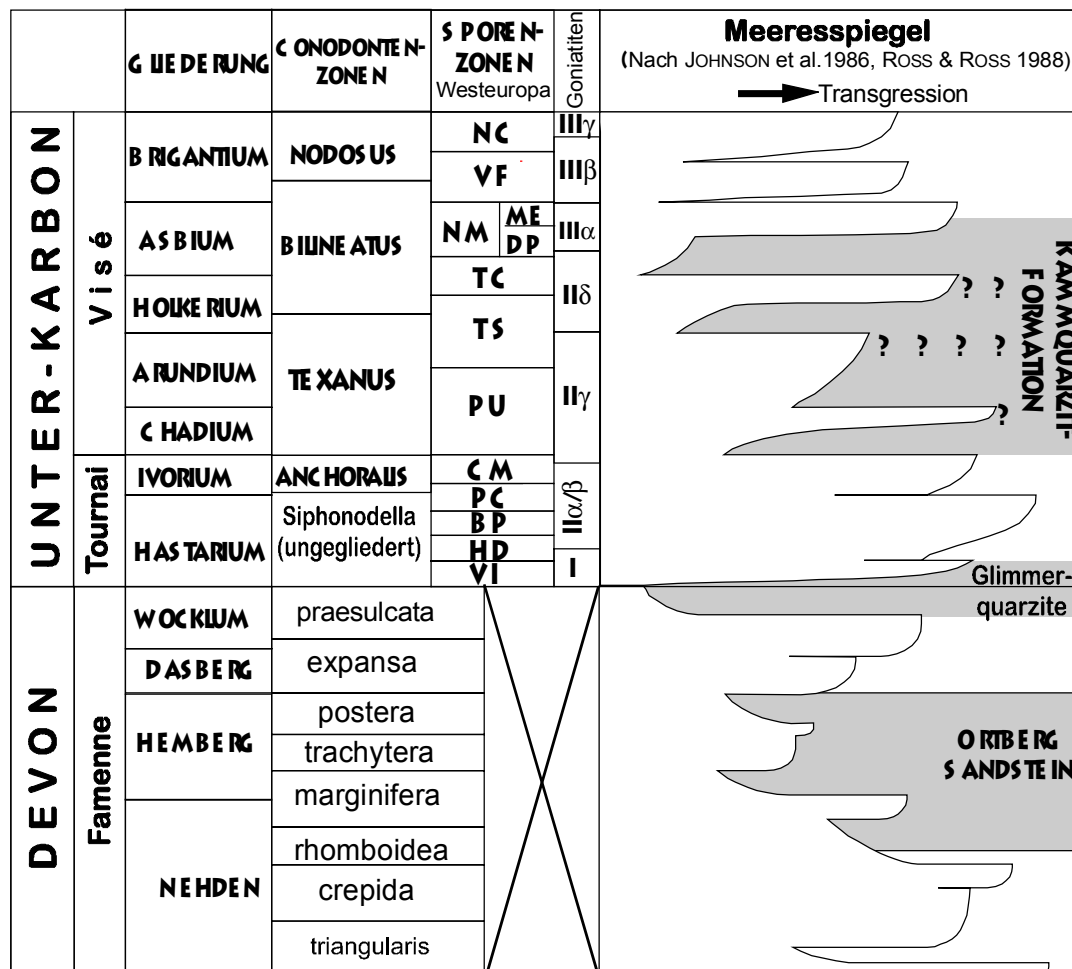


Abb. 7.2 Die klastischen Schüttungen der Hörre-Gommern-Quarzitzone und ihre Beziehung zu starken Regressionsphasen im Oberdevon und Unterkarbon. Eventuelle Sedimentationspausen der Kammquarzit-Formation sind mit Fragezeichen gekennzeichnet. Meeresspiegelveränderung wird aus der Coastal-onlap-Kurve abgeleitet.

Es kann davon ausgegangen werden, daß die Sedimentation der Quarzitabfolge unterschiedlich intensiv und mit Unterbrechungen von der Visé-Basis bis in das höhere Visé (Grenze $cuIII\alpha/\beta$) ablief. Die einzelnen Sedimentationsereignisse sind wahrscheinlich an die regressiven Phasen innerhalb dieses Zeitraums gebunden.

Aber auch bei Berücksichtigung mehrfacher Unterbrechungen bei der Sedimentation der Quarzitfolge ist die Sedimentationsrate der Kammquarzit-Formation von 15 m/Mio. Jahre (Ma) recht gering. Sie ist zwar deutlich erhöht gegenüber der Sedimentationsrate der pelagischen Sedimente (2 m/Ma Kieselschiefer bis 8 m/Ma Kieselige Übergangsschichten, JACKSON 1985), verglichen mit der Sedimentationsrate der Kulmgrauwacken von 200 - 700 m/Ma (z. B. 370 m/Ma im $cuIII\beta$; mdl. Mitt. S. SCHRADER, Köln) ist sie aber sehr gering.

Die Sedimentationsgeschichte des Kulm-Beckens war daher volumenmäßig dominiert von den aus Süden vom aktiven Plattenrand geschütteten Grauwackenfolgen. Die gelegentlichen geringmächtigen Sandschüttungen vom nördlichen Schelf sind typisch für turbiditische Sedimentfolgen vor passiven Kontinentalrändern. Aufgrund des relativ geringen Reliefs des laurussischen Hinterlands wurden relativ geringe Sedimentmengen auf den Schelf transportiert und dort aufgrund der geringen tektonischen Aktivität über einen längeren Zeitraum akkumuliert. Außergewöhnliche Ereignisse (sehr starke Stürme, stark ansteigender fluviatiler Eintrag, Meeresspiegelschwankungen, tektonische Unruhe etc.) führten dann zur Umlagerung des Schelfsediments in das Becken.

Daß die einzelnen geringmächtigen Schelfsandschüttungen als eigenständige Quarzitabfolge erhalten wurden und nicht den mächtigen Grauwackenfolgen untergemischt wurden, ist durch die Ansammlung in dem relativ weit nördlich gelegenen Hörre-Gommern-Teilbecken zu erklären. Dadurch wurde die Kammquarzit-Formation von den Grauwackenfolgen getrennt, die in schmalen Teil-„Senken“ im südlichen Becken abgelagert wurden. Die anhaltende Subduktion nach Süden im Unterkarbon verringerte zunehmend die räumliche Trennung zwischen Quarzit- und Grauwacken-Ablagerungsraum. Im $cuIII\alpha$ hatte die Grauwacken-Sedimentation den Bereich direkt südlich des Hörre-Gommern-Teilbeckens erreicht, die heutige Siebermulde (JORDAN 1976). Zeitgleich wurde im Quarzit-Teilbecken der oberste Teil der Kammquarzit-Formation sedimentiert. Die ältesten Grauwacken nordwestlich der Quarzitzone sind im Harz aus dem unteren bis mittleren $cuIII\beta$ (JORDAN 1976, BRINKMANN et al. 1986) und im Kellerwald und der Dillmulde aus dem Grenzbereich $cuIII\alpha/\beta$ (KULICK 1973, NICOLAUS 1963) bekannt.

Diese Einstufungen beruhen allerdings auf der alten Goniatitengliederung von SCHMIDT (1925). Aufgrund der relativen Ungenauigkeit dieser Zonierung sind Parallelisierungen mit den palynostratigraphischen Einstufungen aus der Kammquarzit-Formation nur begrenzt möglich. Das stratigraphisch höchste Niveau der erschlossenen Kammquarzit-Formation, das in der westeuropäischen ME-Sporenzone liegt, läßt sich allerdings recht gut mit der Goniatitengliederung parallelisieren. Die Obergrenze der ME-Sporenzone entspricht der Obergrenze des V3b und damit der Obergrenze des $cuIII\alpha$. Daraus folgt, daß aus der Zeit, in der die Grauwacken-Sedimentation die Quarzitzone überschritt ($cuIII\beta$), keine quarzitischen Sedimente mehr überliefert sind. Die Quarzsandsedimentation vom laurussischen Schelf war zu diesem Zeitpunkt entweder bereits beendet oder tektonisch unterdrückt worden. Da aus dem obersten Visé (V3c) im gesamten Rhenoherynikum keine Quarzit-abfolge oder Quarzit-Grauwacken-Wechselfolge bekannt ist, kann

angenommen werden, daß die Sedimentation quarzreicher Schelfsedimente aus Norden im obersten Visé abgeschlossen war. Dafür spricht auch die über der Kammquarzit-Formation folgende Grauwackenfolge in Bohrung Brandenburg.

7.4 Paläogeographisches Modell

Anhand der vorgestellten Ergebnisse zur Zusammensetzung, Sedimentologie und Palynostratigraphie der Kammquarzit-Formation und der dargestellten generellen Situation im Unterkarbon Mitteleuropas wird ein paläogeographisches Modell zur Position und Entwicklung der Kammquarzit-Formation im Kulm-Becken entwickelt (Abb. 7.3).

Aus der Abtragung altpaläozoischer Granitoide und Gneise des kaledonischen Orogens im Hinterland Laurussias wurden primär quarzreiche Sedimente in das fluviatile Entwässerungssystem Süd- bzw. Südost-Laurussias eingebracht. Das südliche Laurussia lag zu dieser Zeit (Visé) größtenteils innerhalb des Tropengürtels wie die ersten Kohlenbildungen in Nordengland (GEORGE et al. 1976), im Nordseebereich (D. FRANKE 1990) und in Dänemark (MICHELSEN 1971) und die reichhaltige Landvegetation, die sich in der Mikroflora widerspiegelt, belegen. In diesem feucht-warmen Klima kam es bereits während des fluviatilen Sedimenttransports zur Reifung des Sediments durch siallitische Verwitterung. Das führte bei dem anzunehmenden geringen Relief des laurussischen Hinterlands und bei entsprechend langen Transportdistanzen zum fluviatilen Eintrag nahezu reiner Quarzsande in den klastischen Küstensaum Laurussias, wo die Aufbereitung des Sediments fortgesetzt wurde. Aufgrund des hohen Eintrags von Sedimenten hoher textueller Reife im Einmündungsbereich der großen Flußsysteme Laurussias können die lokal auftretenden reinen Quarzsande in Nordpolen, Rügen und Dänemark oder in England als solche Mündungsbereiche angesehen werden. Diese reifen Sedimente stellen das Ausgangsmaterial der Kammquarzit-Formation dar.

Während der mehrfachen Regressionen im Visé kam es ab der Visé-Basis zur Verlagerung der quarzreichen Sedimente auf den äußeren Bereich des Karbonatschelfs und von dort zur Umlagerung in das rhenoheryznische Becken. Unterschiedlich konzentrierte Trübestrome transportierten die Sedimente in engbegrenzten Sedimentzufuhrkanälen (*feeder channels*) vom Schelf durch den nördlichen Teil des Beckens in das bereits ab dem Oberdevon aktive rinnenförmige Hörre-Gommern-Teilbecken. Es sind mindestens zwei *feeder channels* (siehe Kap. 5) mit geringfügig unterschiedlichen Sedimentquellen auf dem Schelf anzunehmen, die das Sediment im Bereich des Wollenbergs und im Bereich zwischen Harz und Gommern in das Teilbecken eingebracht haben. Ausgehend von den Sedimenteintragsbereichen wurde das Sediment innerhalb des schmalen langgestreckten Quarzit-Teilbeckens in einem verflochtenen Sedimentstrom-System verteilt und sedimentiert. Das führte zur heutigen Verteilung der Lithofazies-Typen innerhalb der Quarzitzone mit nahezu unveränderten Faziesverhältnissen parallel der Längsachse des Beckens und einem starken Fazieswechsel senkrecht zur Längsachse. Die sehr proximale Fazies im Beckenzentrum verändert sich innerhalb weniger Kilometer in eine stark distale Fazies an beiden Rändern.

Die Sedimentation der Kammquarzit-Formation dauerte in dieser für turbiditische Sedimentation vor passiven Kontinentalrändern typischen Form von der Basis des Visé (PU-Sporenzone) bis in das höhere Visé, Grenze cuIII α / β (ME-Sporenzone), an. Zeitgleich dazu wurden im südlichen Becken vor dem aktiven Plattenrand die mächtigen Abfolgen der Kulmgrauwacken sedimentiert, typische turbiditische Abfolgen synorogener Erosionsprozesse. Die fortschreitende Subduktion im Unterkarbon führte zur schrittweisen Verlagerung der Grauwacken-Teilbecken nach Nordwesten und damit zu einer kontinuierlichen Annäherung der Grauwacken-Teilbecken an das Quarzit-Teilbecken. Im

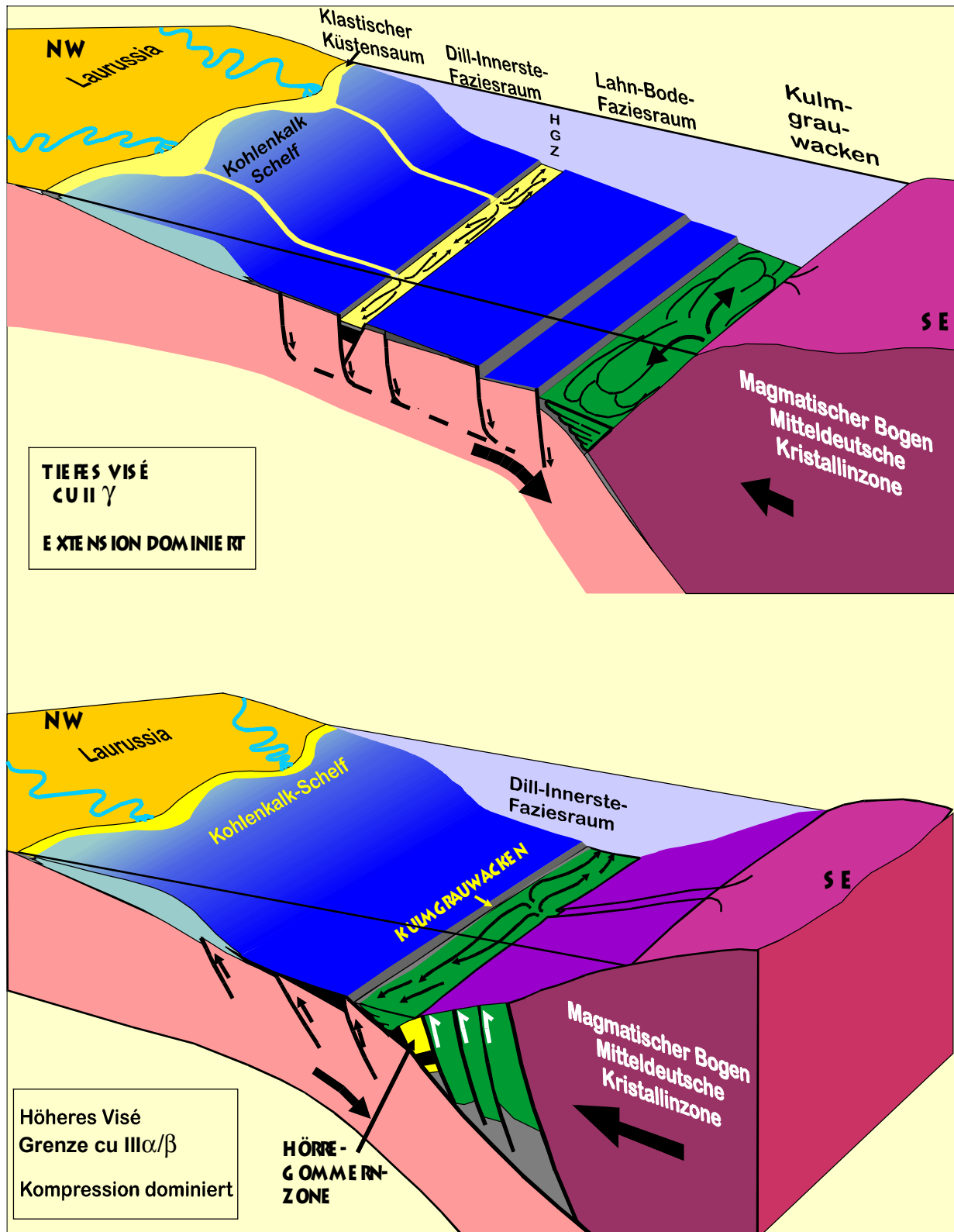


Abb. 7.3 Paläogeographisches Modell zur Position der Hörre-Gommern-Quarzitzone (HGZ) innerhalb des renoherzynischen Beckens im tiefen und höheren Visé.

höheren Visé, im cuIII α / β -Grenzbereich, überquerte die Grauwacken-Sedimentation den Bereich des Quarzit-Teilbeckens, und die Sedimentation der Grauwacken nördlich der Hörre-Gommern-Quarzitzone im Dill-Innerste-Faziesraum begann. Quarzklastische Schüttungen vom nördlichen Schelf fanden zu diesem Zeitpunkt nicht mehr statt. Da aus dem obersten Visé (cuIII β - γ) im gesamten Rhenoharzynikum keine Quarzitabfolge oder Quarzit-Grauwacken-Wechselfolge bekannt ist, kann angenommen werden, daß die Schüttung quarzreicher Sedimente vom laurussischen Schelf im obersten Visé abgeschlossen war.

Die räumliche Trennung zwischen dem Quarzit-Teilbecken und den vorrückenden Grauwacken-Teil-“Senken“ im Kulm-Becken hat es ermöglicht, daß neben dem dominierenden großvolumigen Sedimentationssystem vom aktiven Kontinentalrand im Süden (Grauwacken) auch das wesentlich kleiner dimensionierte Sedimentationssystem des passiven Kontinentalrands im Norden (Kammquarzit-Formation) überliefert werden konnte. Die weitergehende Einengung im Zuge der variszischen Orogenese führte zur Bildung eines akkretionären Keils, in dem diese beiden Sedimentfolgen unterschiedlicher Genese miteinander verknüpft wurden. Daraus ergibt sich die heutige Position der Hörre-Gommern-Quarzitzone inmitten des von Grauwacken dominierten Kulm-Beckens.