

# ENERGIEROHSTOFFE

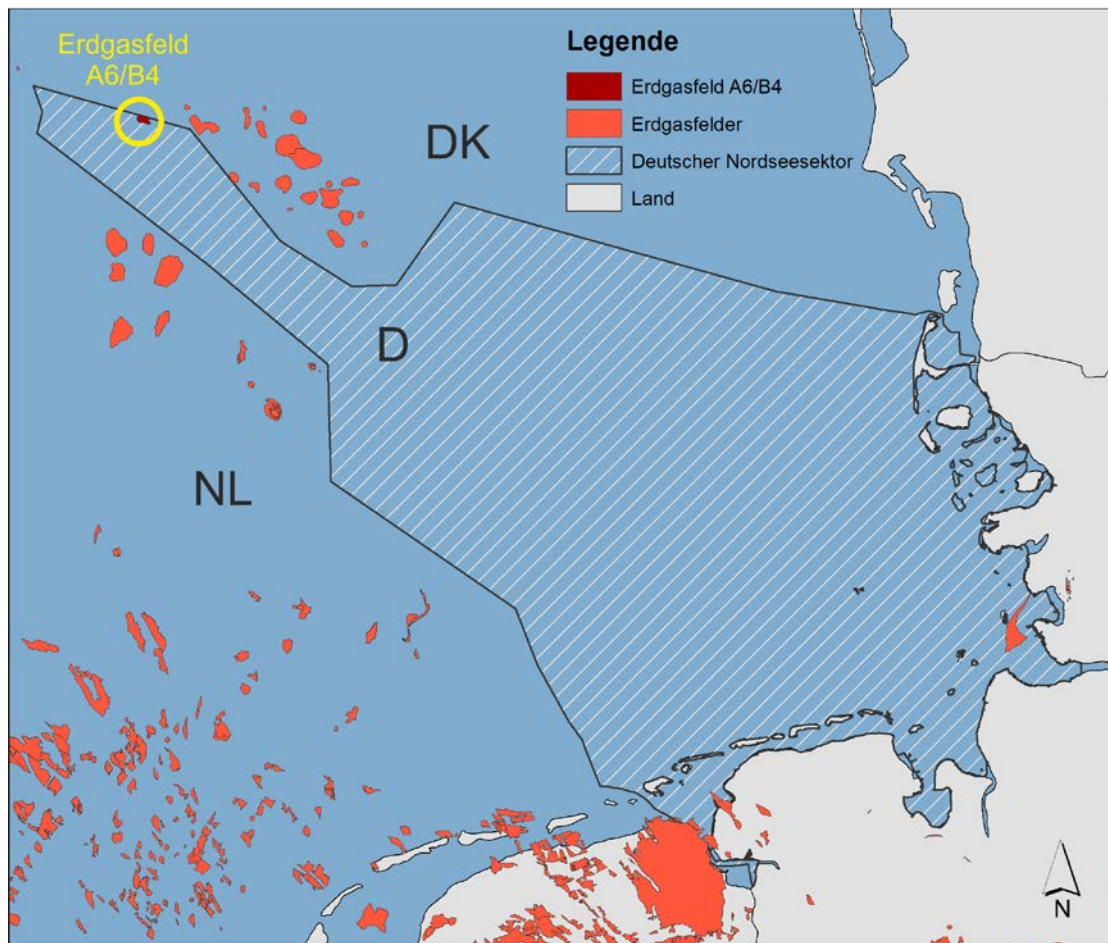
Die vielfältige Verwendung der Rohstoffe Erdöl und Erdgas (Kohlenwasserstoffe) ist uns in unserem Alltag oft nicht bewusst.

Diese machen als Energierohstoffe nicht nur die enormen weltweiten Transportkapazitäten möglich, sondern bilden auch die Grundlage einer Fülle chemischer und pharmazeutischer Produkte und haben ihren Anteil an der derzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom.

Erstmals wurde im GPDN-Projekt für den gesamten deutschen Nordsee-Sektor das Potenzial flacher Erdgasvorkommen untersucht. Außerdem wurde für zwei Teilbereiche in dynamischen 3D-Modellen die thermische Kohlenwasserstoffgenese aus tief versenktem organischen Material des Paläozoikums simuliert.

Die Untersuchungsergebnisse werden über folgende Produkte zur Verfügung gestellt:

- Identifizierung potenzieller flacher Erdgasvorkommen mittels Kartierung von Amplitudenanomalien.
- Dynamische KW-Modelle für die zentrale deutsche Nordsee und das südliche Schillgrundhoch als Grundlagen zur Abschätzung des Kohlenwasserstoffpotenzials aus dem tiefen Untergrund.



Erdgas in der südlichen Nordsee

(Quelle Erdgasfelder: Doornenbal, J.C., Stevenson, A.G. (Eds.), Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area, EAGE Publications b.v., Houston (2010))





Erdgasförderung aus dem Feld A6/B4  
(© WEG Wirtschaftsverband- und Erdgasgewinnung e.V.)



# FLACHES ERDGAS

## Was ist flaches Erdgas?

Als „flaches Erdgas“ werden Erdgasvorkommen bis zu einer Tiefe von 1.000 Meter bezeichnet. Die Herkunft dieses Erdgases kann thermogen oder mikrobiell sein.

### Motivation

Im niederländischen Nordsee-Sektor nahe der deutsch-niederländischen Grenze, belegen drei oberflächennahe Erdgasvorkommen, die sich bereits in Produktion befinden, dass aus solchen Erdgasvorkommen wirtschaftlich Gas produziert werden kann.

Kleinere oberflächennahe Erdgasvorkommen, in der Nähe von (geplanten) Offshore-Windparks, könnten direkt vor Ort gefördert werden und während Windflautezeiten für den Antrieb von Gasturbinen zur Stromerzeugung genutzt werden. Diese Kombination könnte Flautephasen überbrücken und so zu einer kontinuierlichen Stromversorgung beitragen.

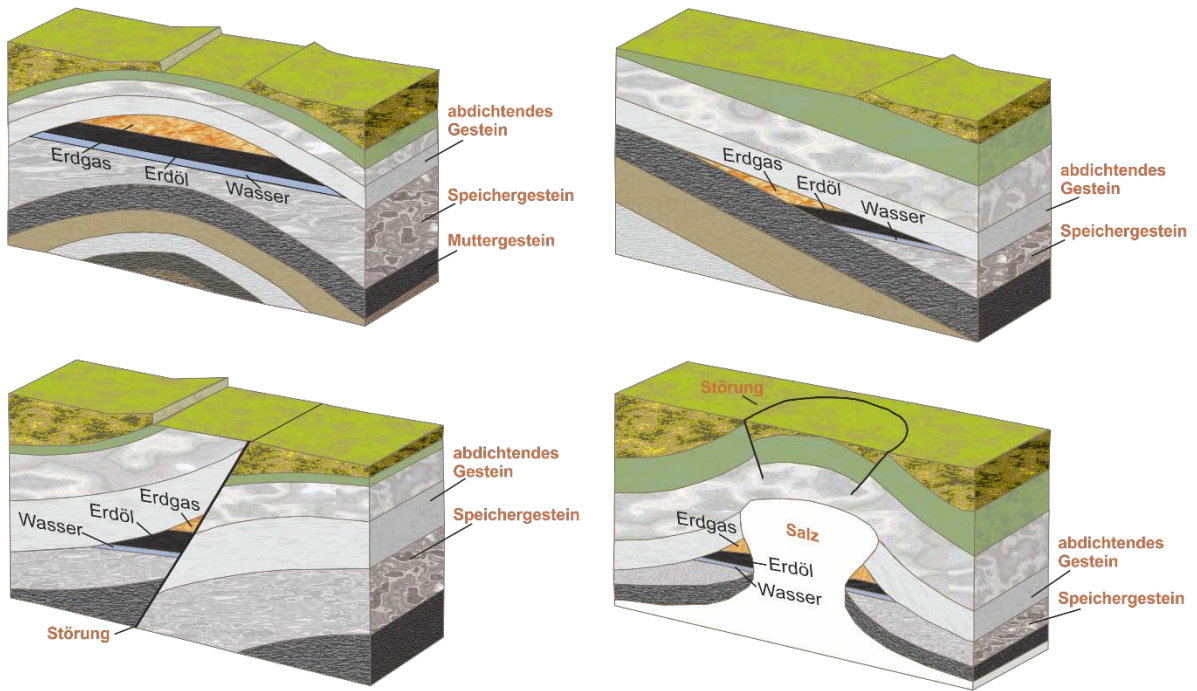
Da Erdgas im Sediment die Baugrundeigenschaften negativ beeinflussen kann, ist die Kenntnis über das Auftreten von Erdgasvorkommen für die sichere Gründung von Windenergieanlagen unerlässlich.

### Untersuchungsmethoden

Erdgas im Sediment kann Amplitudenanomalien in seismischen Daten hervorrufen. Die systematische Kartierung charakteristischer Amplitudenanomalien liefert erste Hinweise auf das Auftreten von flachen Erdgasvorkommen und bildet die Grundlage für weitere Untersuchungen.

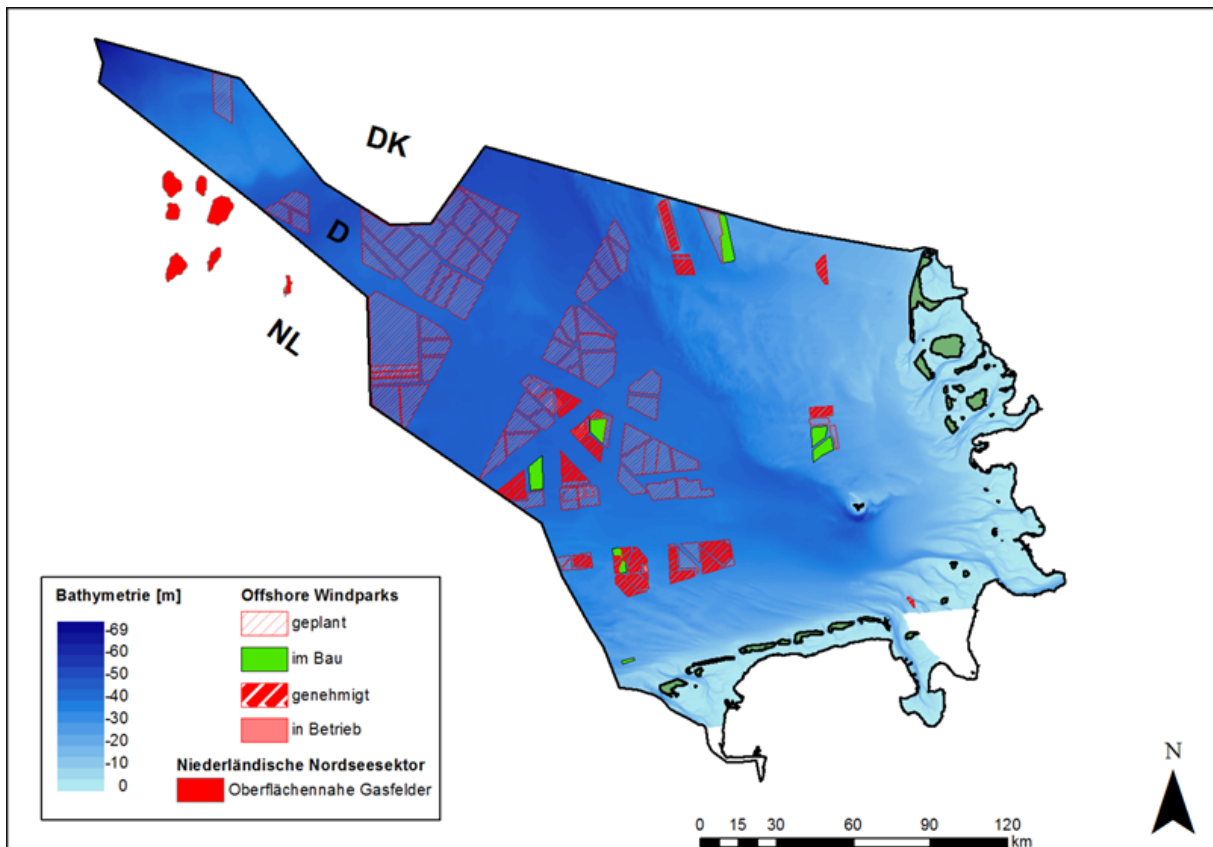
Amplitudenanomalien in seismischen Daten können auch andere Ursachen haben, wie beispielsweise Lithologiewechsel innerhalb eines Gesteinspakets. Eine Methode um zu verifizieren, dass eine Amplitudenanomalie tatsächlich durch Erdgas hervorgerufen wurde, ist die **Amplitude variation with offset (AVO)**-Analyse.

Auf der Basis der kartierten Amplitudenanomalien und Ergebnissen von AVO-Analysen ist eine Abschätzung der Fläche der potenziellen Gasvorkommen möglich.



### Fallenstrukturen

(verändert nach: [www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/08.html](http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol342/lectures/08.html))



Nordsee: Windparks und flaches Gas  
(SPBA 2013; BSH/LBEG; BSH CONTIS)

# DYNAMISCHES KW-MODELL DEUTSCHE NORDSEE

Für den Bereich der zentralen deutschen Nordsee liegt nun erstmals ein dreidimensionales, dynamisches KW-Modell vor, das den synchronen Verlauf sedimentärer und geotektonischer Prozesse vom Karbon bis heute zeigt. Hierbei wurde speziell die Bewegung der Zechsteinsalze berücksichtigt. Das Modell schließt eine Neuinterpretation der Temperatur- und Reifeentwicklung mit ein, die als Grundlage zur Abschätzung des KW-Potenzials genutzt werden kann.

## Tiefenkarten des Perm und Prä-Perm

Im Bereich der zentralen deutschen Nordsee durchteufen nur wenige Bohrungen das Rotliegend. Daher existieren für die Schichten des Karbon nur wenige direkte Informationen, sie sind jedoch die wichtigsten Muttergesteine für die KW-Genese in diesem Bereich.

Durch Kompilation und Auswertung publizierter Daten sind nun erstmalig Basishorizonte für die Karbon-Stufen Stefan, Westfal C und Namur in Form von Tiefen- und Mächtigkeitskarten in hoher Auflösung erstellt worden. Diese wurden mit den hangenden Horizonten aus dem generalisierten Strukturmodell der zentralen deutschen Nordsee (**GSN**) in ein dynamisches **3D-Modell** überführt.

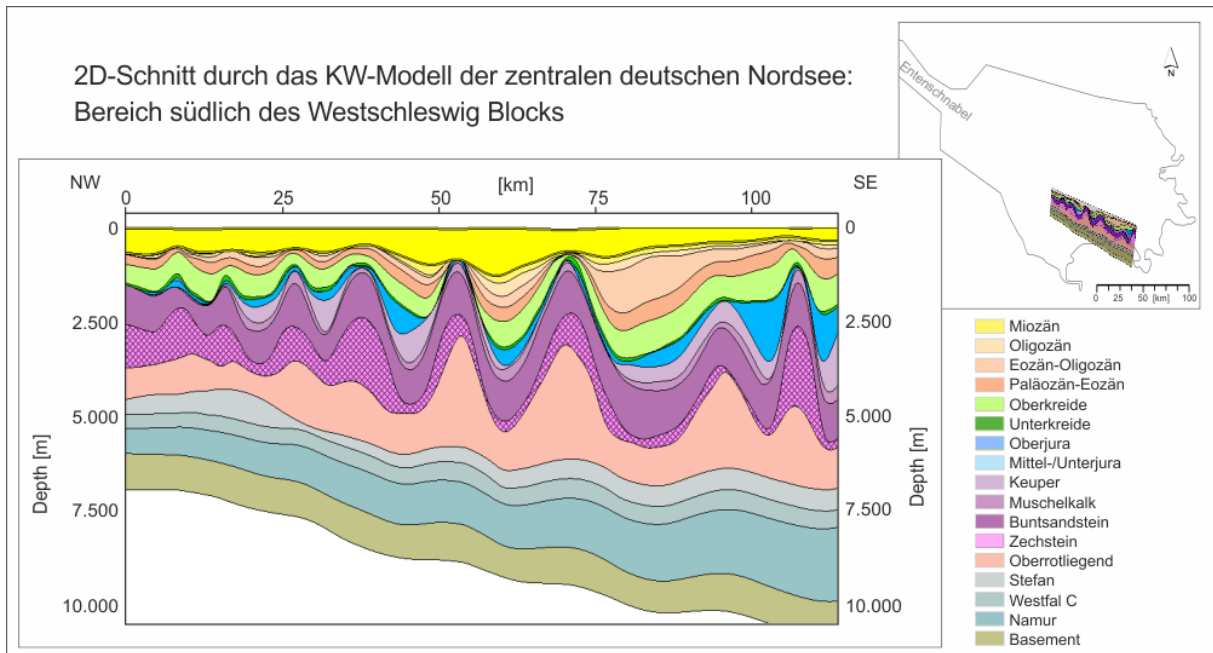
## Versenkung und Erosion

Die Versenkungsgeschichte wird durch die zeitlichen Veränderungen der Sedimentmächtigkeiten beschrieben. Das KW-Modell beinhaltet neben den wichtigsten tektonischen Bewegungsphasen auch eine zeitlich und räumlich differenzierte Salztektonik, die im Modell-Konzept eine bevorzugte Stellung einnimmt. In der Modellierung verlaufen die Erosionsereignisse parallel zum **Salzaufstieg**. Die zeitlichen und räumlichen Unterschiede dieser geotektonischen Prozesse werden in 2D-Profilen für den **Horngraben** und den Bereich südlich des **Westschleswig-Blocks** illustriert.

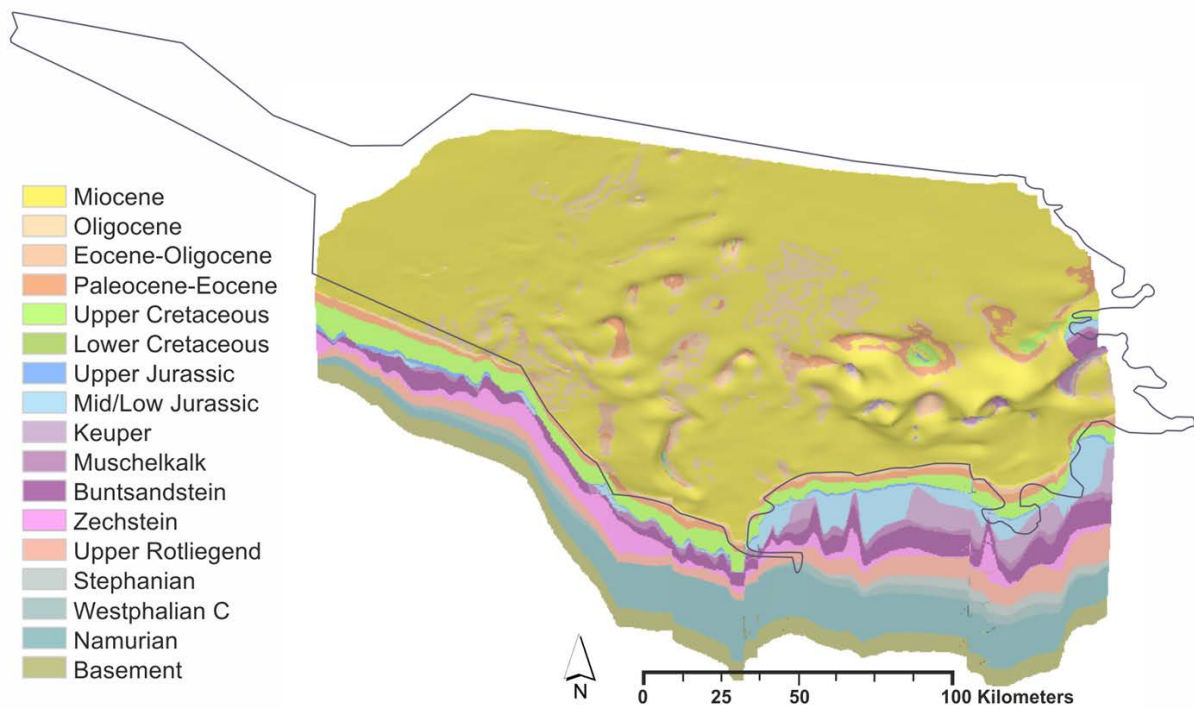
## Temperatur- und Reifeentwicklung

Die **Temperatur-** und **Reifeentwicklung** basiert auf den zur Verfügung stehenden physiko-chemischen und petrographischen Eingabedaten. Die Randbedingungen für die Modellierung sind neben der Paläo-Wassertiefe auch der Paläo-Wärmefluss.

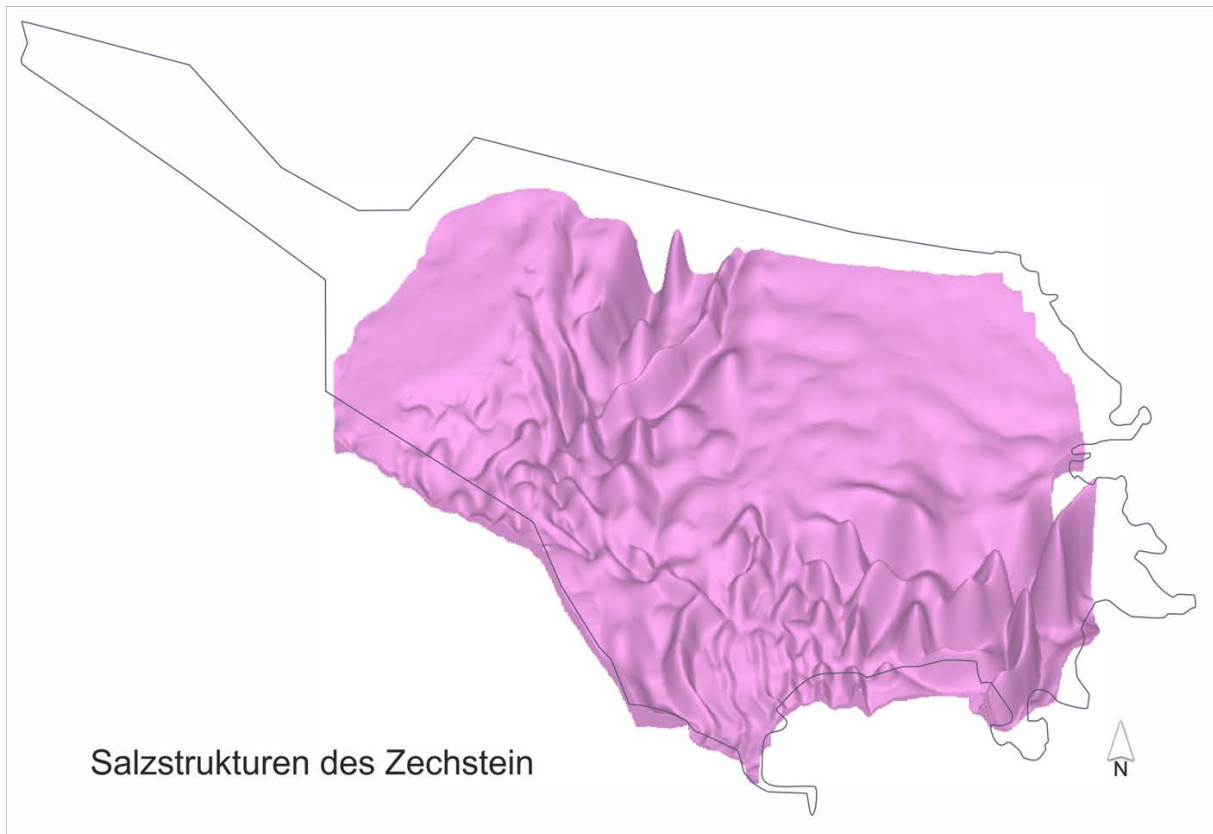
Insgesamt können in der vorliegenden dynamischen KW-Modellierung neben der zeitlichen und räumlichen Entwicklung dieses Sedimentbeckens auch Erkenntnisse über die Kompaktion, die Diagenese der Gesteine sowie die Fluid-Migration gewonnen werden.



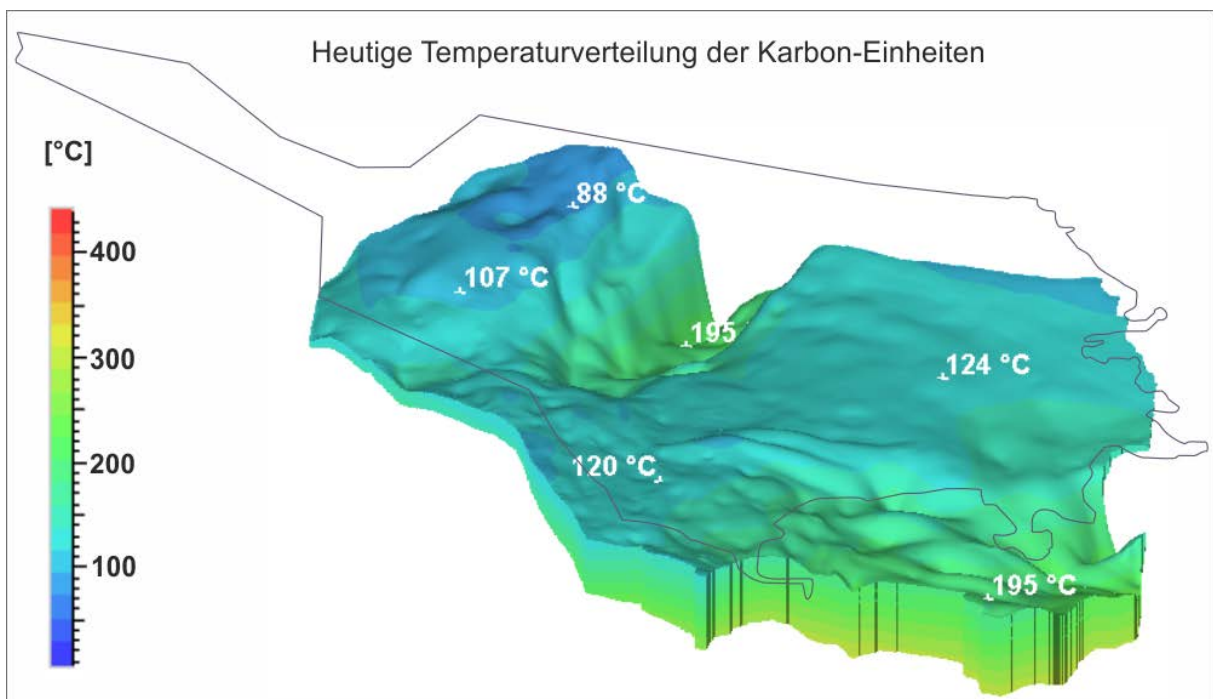
2D-Profilinie Bereich südlich des Westschleswigblocks; © BGR



KW-Modell der zentralen deutschen Nordsee; © BGR

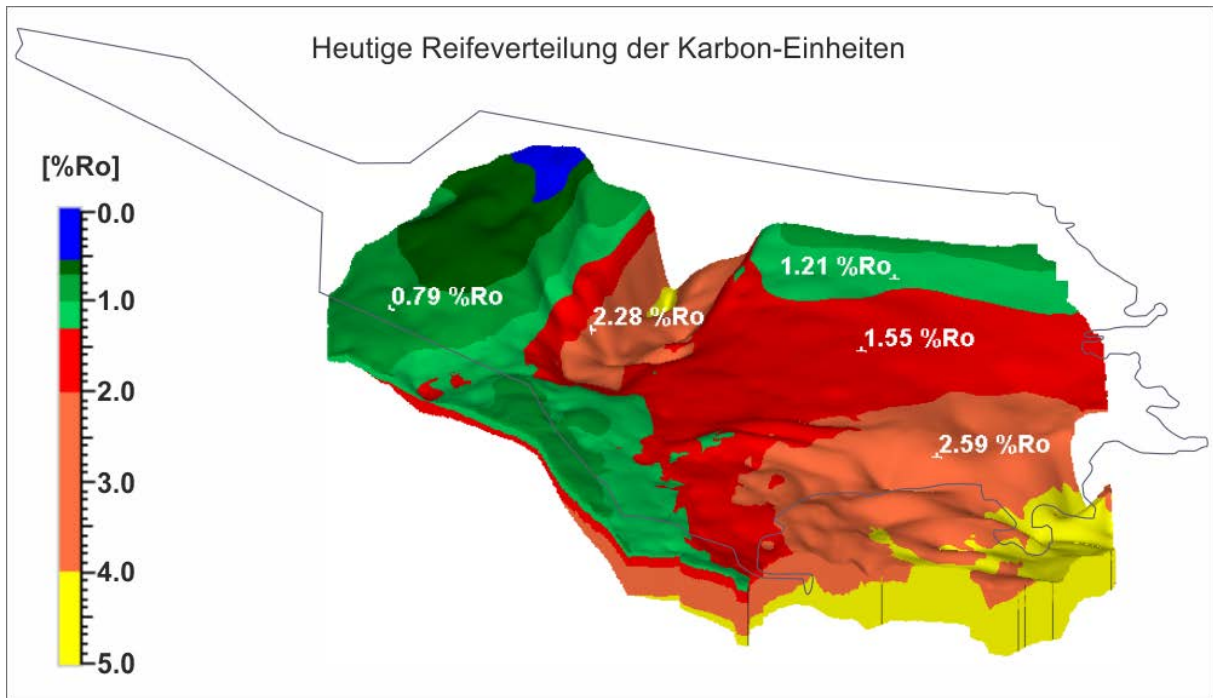


KW-Modell zentrale deutsche Nordsee: Zechstein; © BGR

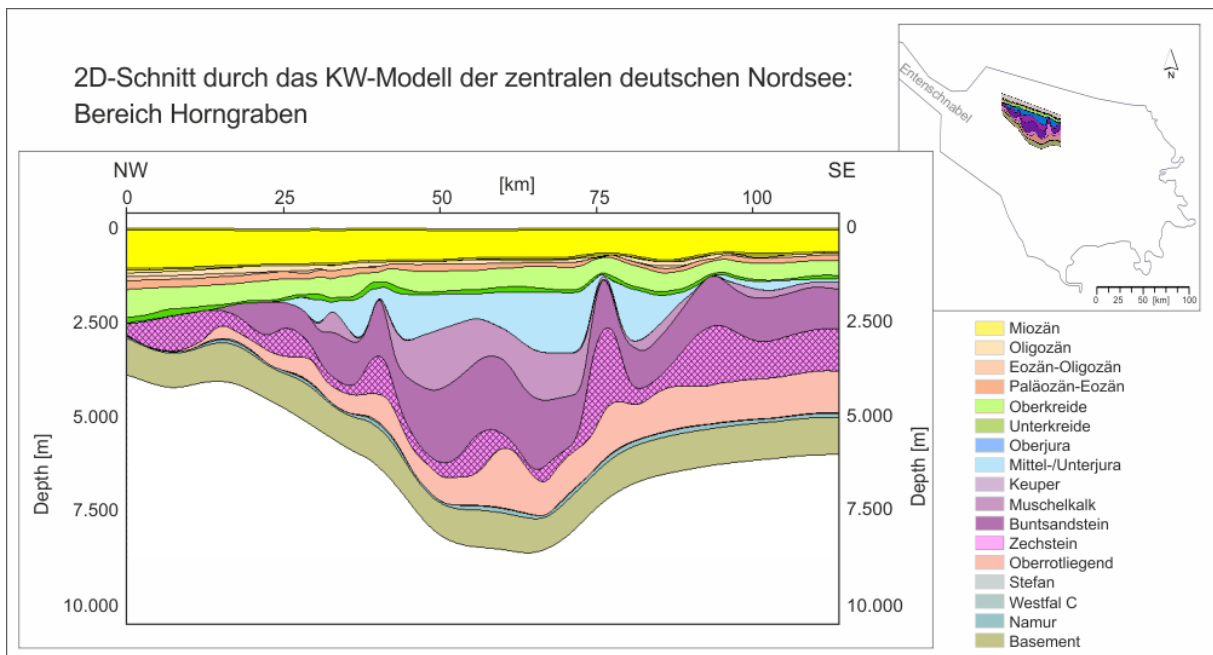


Oberkarbon (Stefan, Westfal C und Namur), KW-Modell zentrale deutsche Nordsee; © BGR





Oberkarbon (Stefan, Westfal C und Namur), KW-Modell zentrale deutsche Nordsee; © BGR



2D-Profillinie durch den Horngraben; © BGR



## VERSENKUNG UND EROSION

Die Versenkungsgeschichte für die zentrale deutsche Nordsee zeigt signifikante Unterschiede. Diese ergeben sich durch abweichende Erosionsmächtigkeiten und dem zeitlich versetzten Einsetzen der Salzbewegung. Die geologische Entwicklung wurde durch drei Erosionsphasen bestimmt, die der Saalischen und den Kimmerischen Bewegungsphasen zuzuordnen sind.

Die unterschiedlichen Veränderungen in der geologischen Entwicklung zeigen sich beispielhaft in 2D-Profillinien des Horngrabens und südlich des Westschleswig-Blocks:

Das Gebiet des Horngrabens hat seit dem Perm eine starke extensive tektonische Beanspruchung erfahren. Der Aufstieg des Salzes erfolgte bereits seit der mittleren Trias. Im Bereich südlich des Westschleswig-Blocks setzt die Salzbewegung erst im Keuper ein und dauert zum Teil bis heute an.

### Modell-Konzept zu Erosion und Salzaufstieg

Im dynamischen KW-Modell erfolgen Erosionsereignisse grundsätzlich unmittelbar im Anschluss an die Ablagerung. Dieses Konzept wurde gewählt, um Kartenüberschneidungen durch den Aufstieg der Zechsteinsalze zu verhindern. Diese Vorgehensweise ermöglicht den sequenziellen Aufstieg der (vereinfachten) Salzdiapire parallel zu den Erosionsereignissen seit der mittleren Trias.

# DYNAMISCHES KW-MODELL SCHILLGRUNDHOCH

Das südliche Schillgrundhoch ist eine strukturelle Hochlage, die sich im Offshore-Bereich zwischen den Niederlanden und Deutschland befindet.

Erstmals wurde ein dreidimensionales, dynamisches **KW-Modell** in hoher Auflösung rekonstruiert, das das KW-Potenzial der karbonischen Muttergesteine betrachtet. Auch die laterale Migration der freigesetzten Kohlenwasserstoffe über die Landesgrenzen hinweg ist dabei von besonderem Interesse. Das **stratigraphische Profil** beinhaltet die Basishorizonte von der Meeresbodenoberfläche bis in das Unterkarbon (Dinant).

Das Modell simuliert die geologische Entwicklung des Ablagerungsraumes mit synchron verlaufenden sedimentären und geotektonischen Prozessen. Regionale Unterschiede in der Entwicklung des Sedimentationsraumes während der verschiedenen tektonischen Bewegungsphasen werden in der **Versenkungsgeschichte** deutlich. Zur Abschätzung des KW-Potenzials der karbonischen Muttergesteine liefert die **Temperatur- und Reifeentwicklung** wichtige Hinweise.

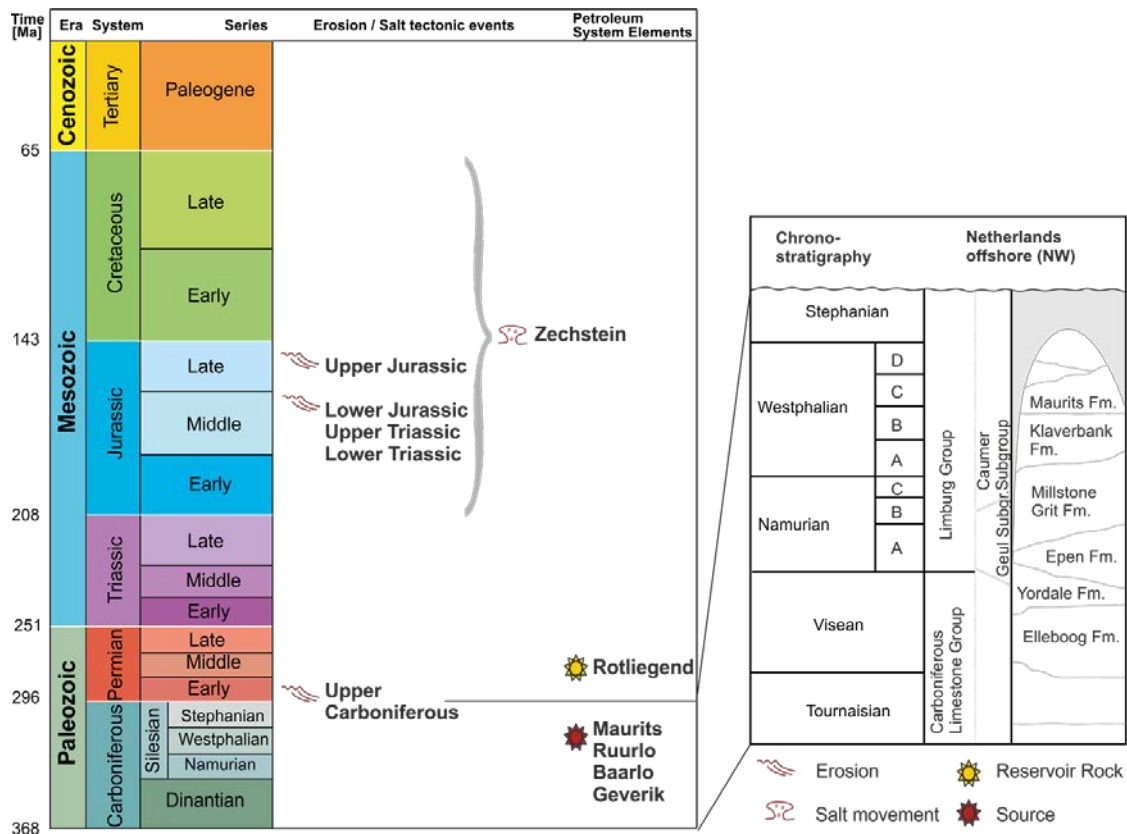
Die Ergebnisse der Modellierung sind in einer Veröffentlichung zusammengefasst (**Heim et al., 2013**, siehe Downloads).

## Datengrundlage

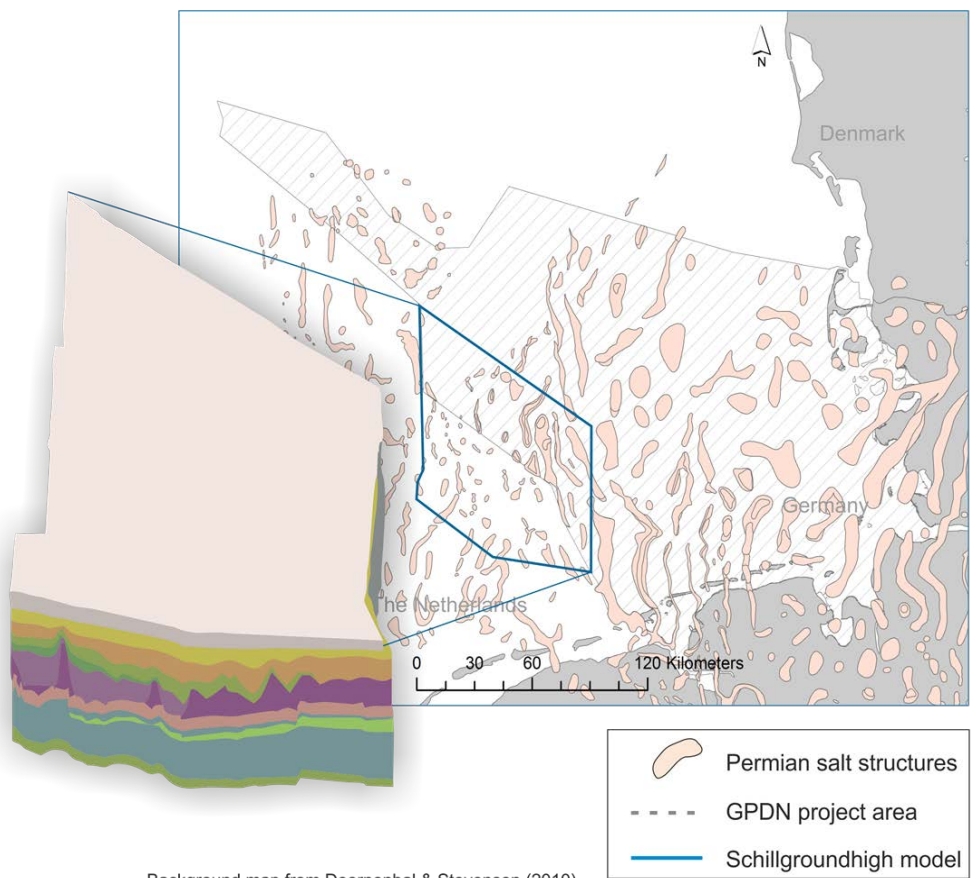
Der Aufbau des numerischen Modells erfolgt aus einer Zusammenstellung von Tiefen- und Mächtigkeitskarten aus den Niederlanden (Bereiche NCP-2C der TNO-Karteneinteilung) und aus Deutschland (**GSN**); sie werden durch Literaturdaten ergänzt.

Die Tiefenlagekarten für die Karbon-Stufen im deutschen Modellbereich wurden weitgehend aus der Literatur entnommen, da nur wenige Bohrungsinformationen zur Verfügung stehen. Die Benennung der Sequenzen folgt der niederländischen chronostratigraphischen Nomenklatur.

Der Eingabedatensatz für das dynamische KW-Modell des südlichen Schillgrundhochs steht zur freien Verwendung zur Verfügung (siehe Downloads).



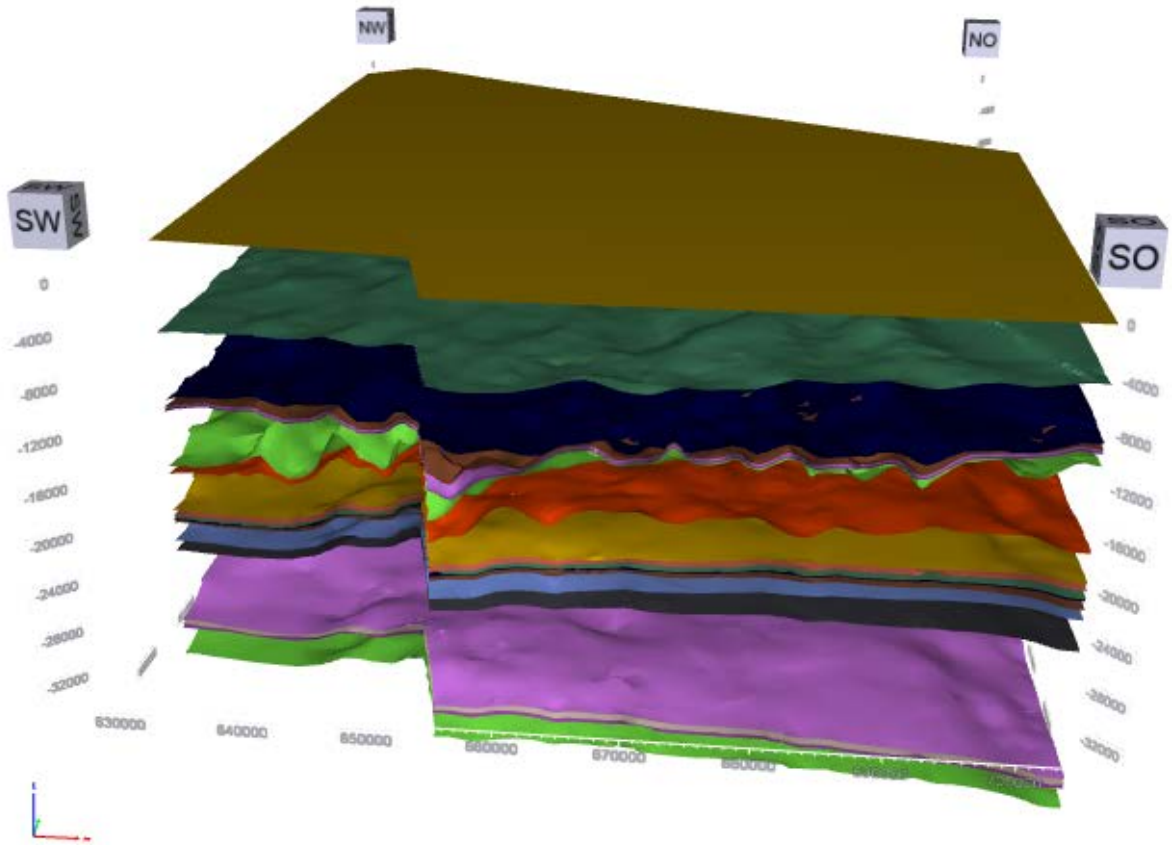
Stratigraphische Tabelle, KW-Modell südliches Schillgrundhoch; © BGR



Background map from Doornbal & Stevenson (2010)

Quelle Salzvorkommen: SPBA (2010)



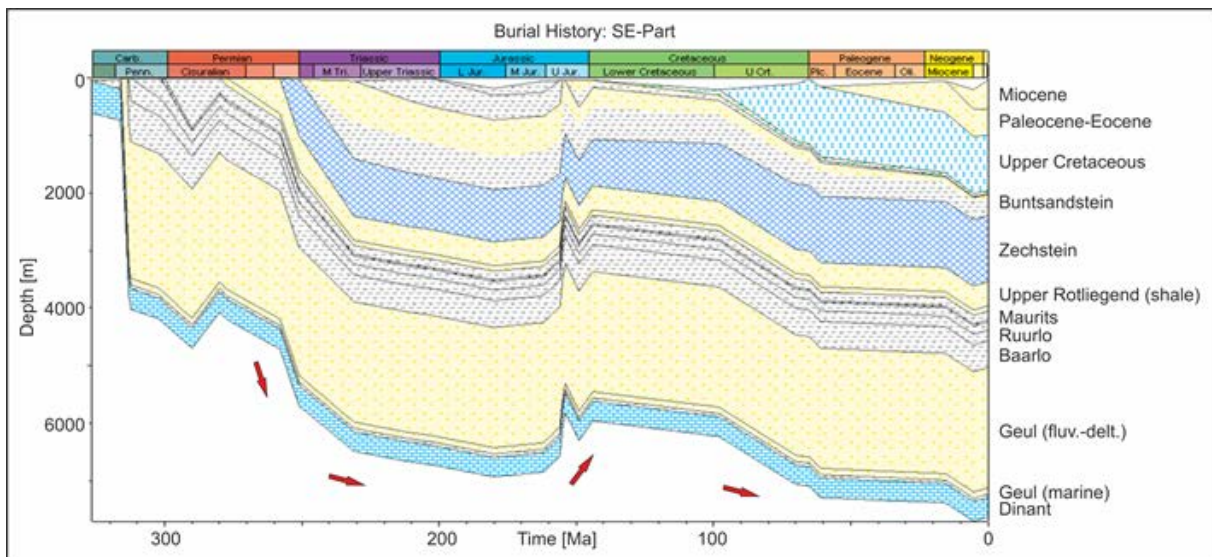
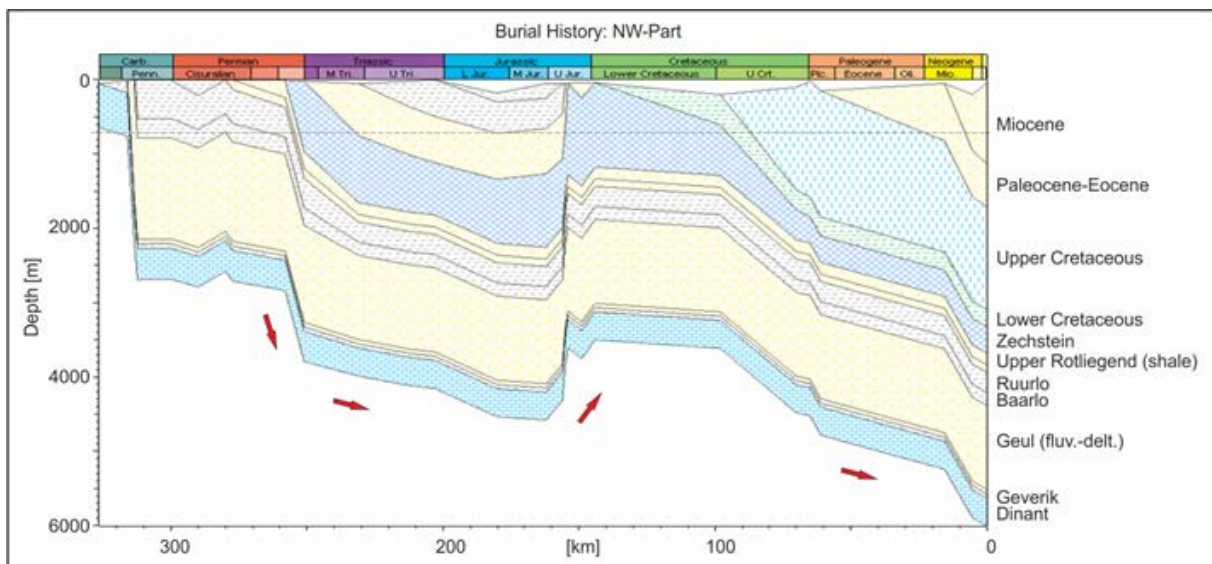


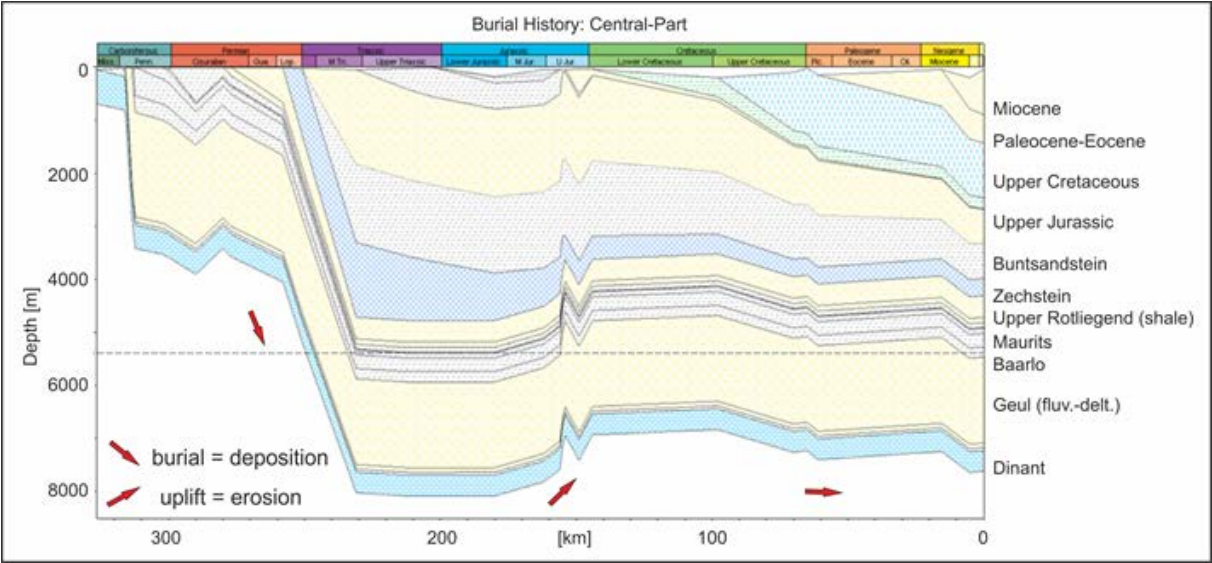
KW-Modell südliches Schillgrundhoch; © BGR

# VERSENKUNGSGESCHICHTE

Im 3D-Modell des südlichen Schillgrundhochs wird die geologische Entwicklung durch drei Erosionsphasen bestimmt, die die geotektonischen Ereignisse der variszischen (Oberkarbon und frühes Perm) und der kimmerischen Phasen reflektieren. Zur Modellierung dieser Ereignisse wurden zunächst Karten der initialen Mächtigkeiten erstellt, aus denen die Erosionskarten bzw. Karten der erodierten Mächtigkeiten berechnet wurden. Dies erfolgte für die Erosion des Westfal C aus Angaben von Krull (2005) bzw. für die triassischen und jurassischen Sequenzen durch eigene Abschätzungen.

Im Modell des südlichen Schillgrundhochs können drei verschiedene Typen einer Versenkungsgeschichte unterschieden werden, deren Verlauf von der Versenkung bzw. Hebung bestimmt wird. In der Abbildung sind deutlich die Ablagerungs- und Erosionsereignisse im Tiefenverlauf der Sedimentlagen erkennbar (rote Pfeile). Der Zeitpunkt der maximalen Versenkung liegt im Zentrum des Modellbereichs in der Trias. Für die nördlich und südlich davon befindlichen Modellbereiche liegt die tiefste Versenkung zum heutigen Zeitpunkt vor.





1D-Extraktion aus dem KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR

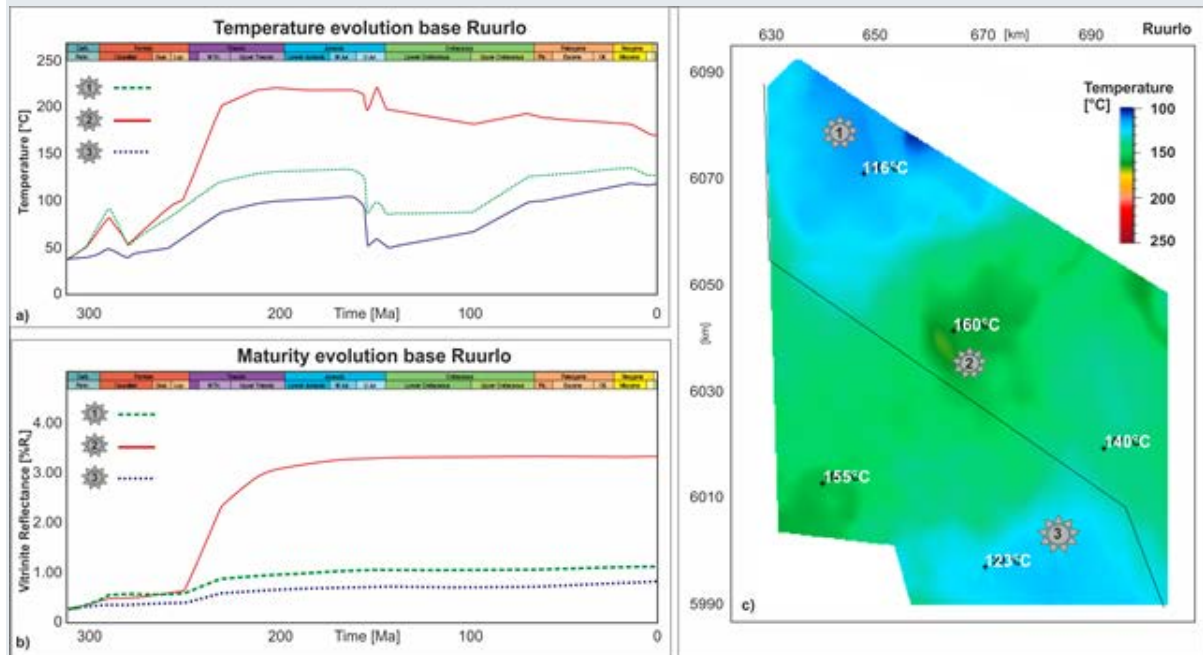


# TEMPERATUR- UND REIFEENTWICKLUNG

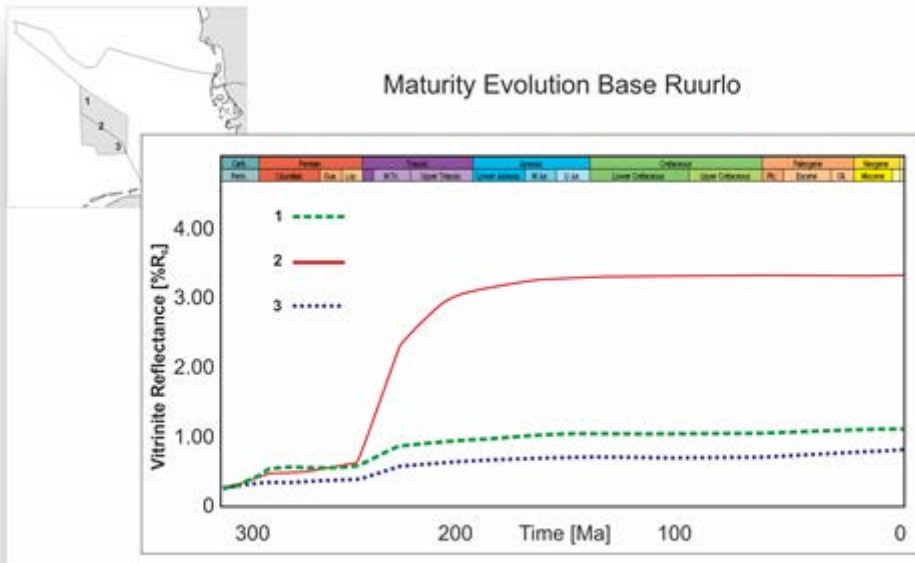
In Abhängigkeit von den Erosionsereignissen und den Erosionsbeträgen zeigen sich auch für die Temperatur- und Reifeentwicklung regionale Unterschiede. Im zentralen Bereich des Modells erfolgte die maximale Versenkung unter dem Einfluss der kimmerischen Bewegungsphase in der Trias. Dadurch ergeben sich maximale Temperaturen von 150°C für die Gesteine des Karbon. Im nördlichen und südlichen Bereich hingegen werden diese Temperaturen bis heute nicht erreicht.

Analog der Temperaturentwicklung ergeben sich im zentralen Bereich des Modells hohe Vitrinitreifen des organischen Materials nur für das Unterkarbon (Geul- und Geverik-Schichten). Generell liegen die Werte im Nordwesten und Südosten deutlich unter den Werten des mittleren Modellbereiches. Die Reifekarten zeigen, dass diese organikreichen Sedimente bereits im Oberkarbon Reifewerte im Bereich des Ölfensters ( $> 0,6\% \text{VRo}$ ) erreichen, die bis in das Miozän auf Werte um ca.  $3,0\% \text{VRo}$  ansteigen.

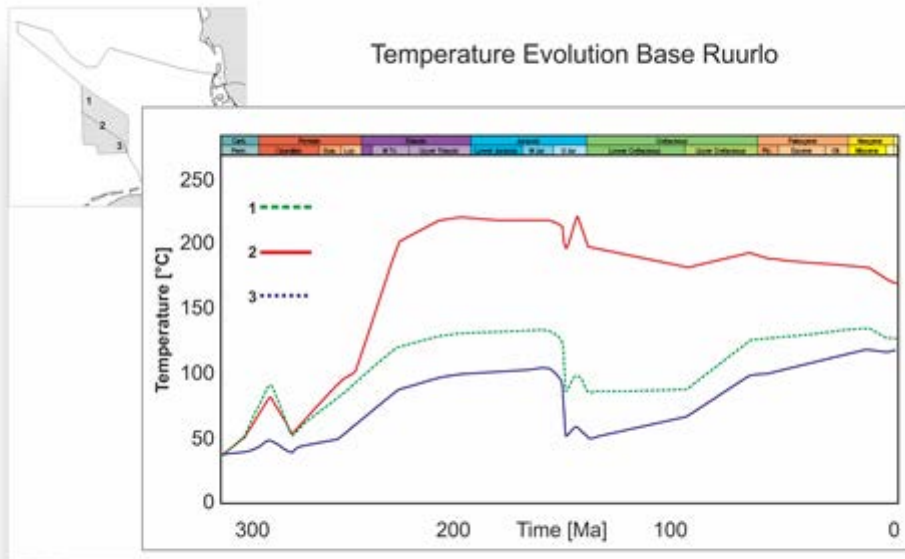
## Temperatur- und Reifeentwicklung im Überblick



KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR

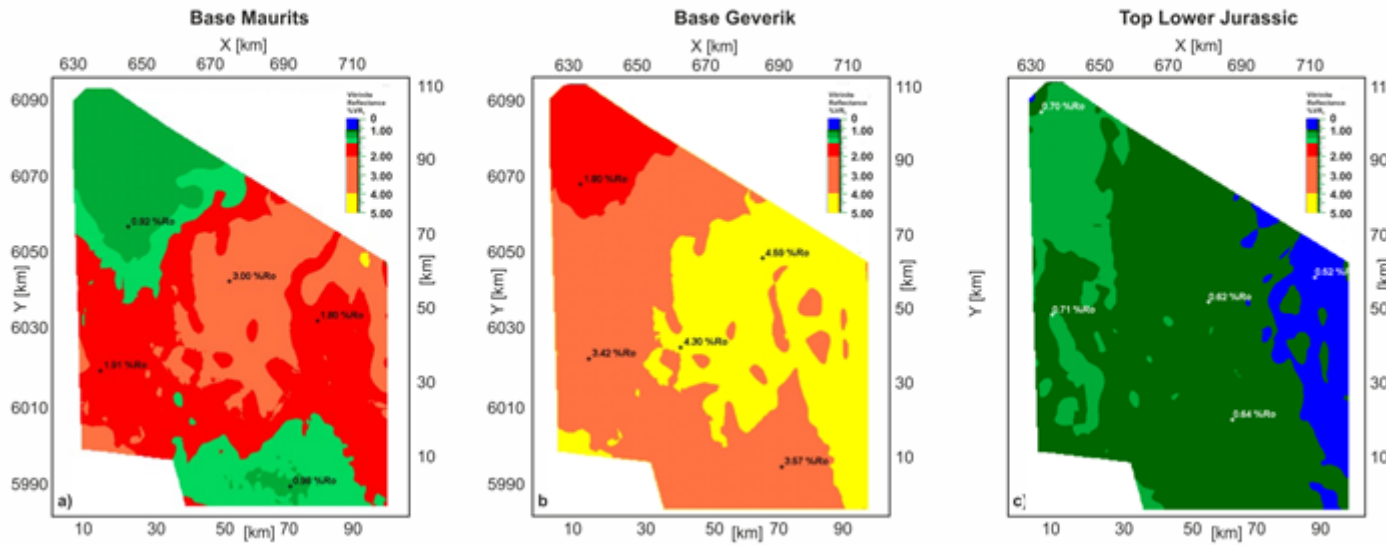


KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR



Temperatrentwicklung für den Layer Ruurlo, KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR

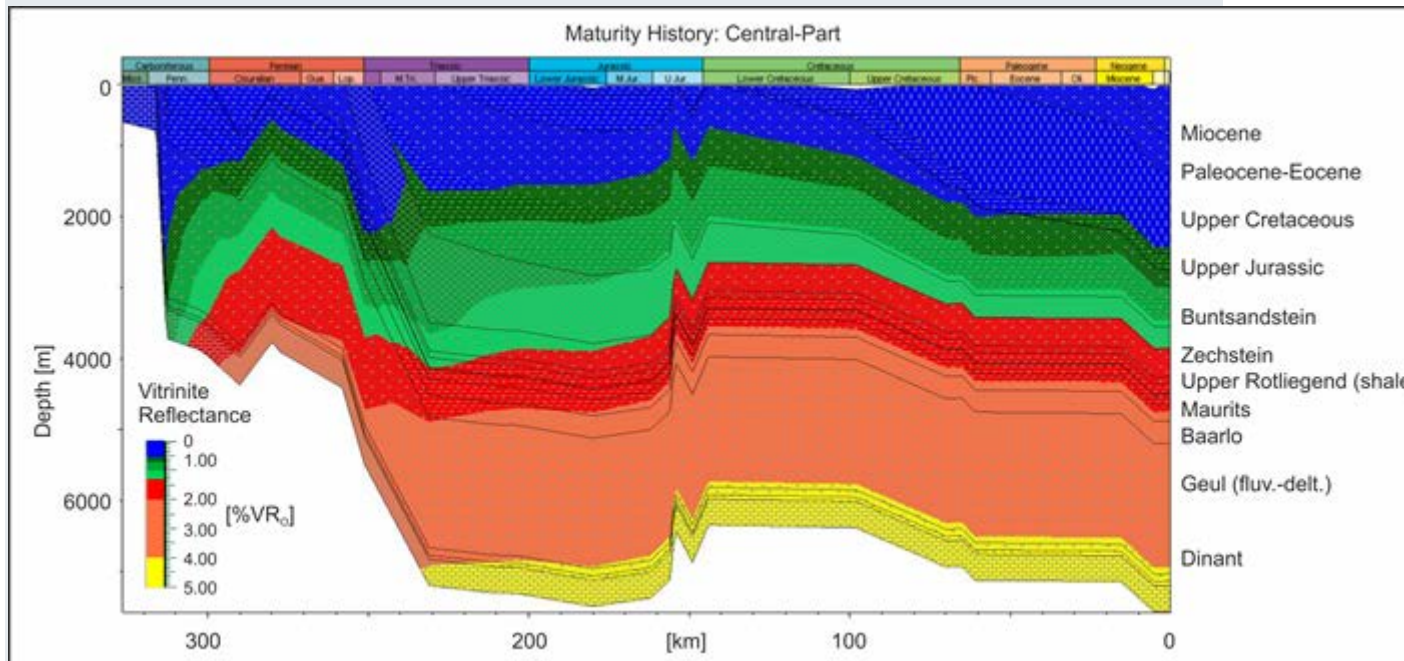
## Present-day maturation distribution



Potenzielle Muttergesteine, KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR

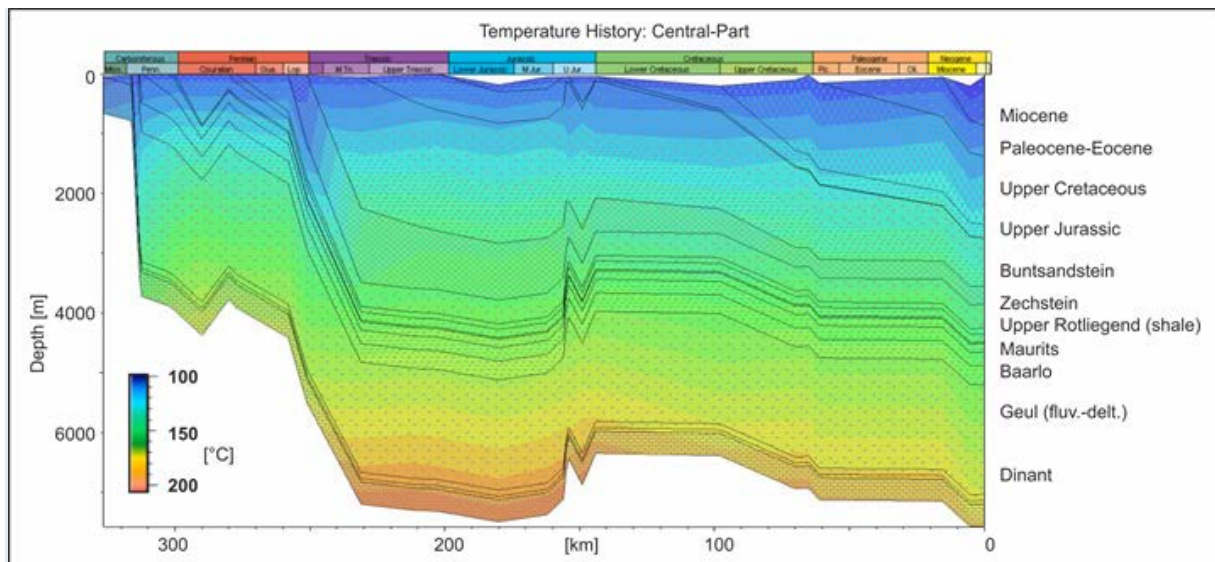
## 1D-Modellausschnitt

Die Bildergalerie zeigt die Temperatur- und Reifegeschichte exemplarisch für einen Modellausschnitt (1D-Modell) im zentralen Bereich.



KW-Modell Schillgrundhoch; Quelle: BGR





1D-Extraktion aus dem KW-Modell Schillgrundhoch; © BGR

## Literatur

Sweeney J.J. & Burnham A.K. (1990) Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin; 74:1559-1570.