

# DREI SCHÄTZE

IM PASSAUER  
LAND



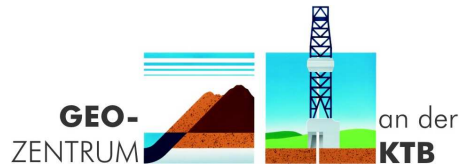
**Gehe auf  
Entdeckungsreise!**

Besuchen - Spaß haben - Schätze sammeln

[www.schaetze-in.bayern](http://www.schaetze-in.bayern)

eine Handreichung für Lehrkräfte und sonstige  
Multiplikatorinnen und Multiplikatoren aus der Umweltbildung/BNE

Anette Regelous & Frank Holzförster



gefördert durch  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz





Die Autoren:

*Dr. Anette Regelous* ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geozentrum Nordbayern der Universität Erlangen-Nürnberg. Sie ist ausgebildete Geologin und Didaktikerin. Einen großen Teil ihrer Lehr- und Forschungstätigkeit widmet sie der Ausbildung angehender Geographielehrkräfte.

*Dr. habil. Frank Holzförster* ist wissenschaftlicher Leiter der Umweltstation GEO-Zentrum an der Kontinentalen Tiefbohrung KTB in Windischeschenbach. Er ist ausgebildeter Geologe, führte zahlreiche internationale Forschungsprojekte durch und leitet heute das größte geowissenschaftliche Schülerlabor in Bayern.

Empfohlene Zitierweise:

REGELOUS, A. & HOLZFÖRSTER, F. 2018. Die drei Schätze im Passauer Land, eine Handreichung für Lehrkräfte und sonstige Multiplikatorinnen und Multiplikatoren aus der Umweltbildung/BNE. 46 S., 9 Erkundungsrallyes. GEO-Zentrum an der KTB, Windischeschenbach.

## Inhalt

1. Einleitung und Lehrplanbezüge .....	5
2. Einführung in das Thema Rohstoffe .....	8
2.1. Entwicklung der Rohstoffe .....	8
2.2. Abbau und Nutzung des Rohstoffs .....	8
2.3. Nachhaltigkeit der Gewinnung des Rohstoffs .....	8
3. Geologischer Überblick für das Passauer Land .....	10
3.1 Erdgeschichte des Bayerischen Waldes.....	11
4. Rohstoff Granit im Passauer Land.....	19
4.1. Das Museum Granitzentrum Bayerischer Wald .....	19
4.2. Eigenschaften, Bildung und Verwendung von Granit .....	19
4.2.1 Eigenschaften.....	19
4.2.2 Bildung .....	19
4.2.3 Verwendung des Granits .....	21
4.3 Entstehung des Hauzenberger Granits.....	22
4.4 Abbau des Granits in Hauzenberg.....	23
4.5 Verwendung des Hauzenberger Granits.....	23
4.6 Erkundungsrallyes durch das Granitzentrum Bayerischer Wald.....	24
4.6.1 Rallye für die 3. und 4. Jahrgangsstufe.....	24
4.6.2 Rallye für die 5. und 6. Jahrgangsstufe.....	24
4.6.3 Rallye für die 9. Jahrgangsstufe .....	25
5. Ressource Wasser – und die Nachhaltigkeit .....	26
5.1. Das Haus am Strom und das Kraftwerk Jochenstein .....	26
5.2 Eigenschaften, Bildung und Nutzung des Donautals .....	26
5.2.1 Eigenschaften des Wassers .....	26
5.2.2 Bildung von Wasser.....	27
5.2.3 Nutzung des Wassers und des Donautals .....	27
5.3 Entstehung des Donautals.....	27
5.4 Nutzung des Wassers im Donautal.....	29
5.5 Erkundungsrallyes durch die Umweltstation Haus am Strom.....	32
5.5.1 Rallye für die 3. und 4. Jahrgangsstufe (Haus am Strom).....	32
5.5.2 Rallye für die 5. bis 7. Jahrgangsstufe (Haus am Strom) .....	32
5.5.3 Rallye für die 9. und 10. Jahrgangsstufe (Kraftwerk Jochenstein).....	32
6. Rohstoff Graphit .....	34
6.1 Das Besucherbergwerk und Museum Graphit Kropfmühl .....	34
6.2 Eigenschaften, Bildung und Verwendung von Graphit .....	34
6.2.1 Eigenschaften von Graphit .....	34
6.2.2 Bildung von Graphit.....	36
6.2.3 Verwendung des Graphits .....	37
6.3 Entstehung des Graphit in Kropfmühl.....	37
6.4 Abbau von Graphit in Kropfmühl.....	38
6.5 Verwendung des Graphits von Kropfmühl .....	39
6.6 Erkundungsrallyes durch das Besucherbergwerk Graphit Kropfmühl .....	39
6.6.1 Rallye für die 3. und 4. Jahrgangsstufe.....	40
6.6.2 Rallye für die 5. und 6. Jahrgangsstufe.....	40
6.6.3 Rallye für die 9. und 10. Jahrgangsstufe.....	40
Glossar.....	41
Literatur.....	46

## 1. Einleitung und Lehrplanbezüge

Diese Publikation richtet sich primär an MultiplikatorInnen wie zum Beispiel schulische Lehrkräfte, UmweltbildnerInnen, AusstellungsführerInnen und Lehramtsstudierende der Geographie. Mit dieser Publikation erhalten sie die Möglichkeit, sich auf einen Besuch der Einrichtungen vorzubereiten und selbständig mit Schülern oder anderen Gruppen die „drei Schätze im Passauer Land“ zu erkunden.

Der erste Teil dieser Publikation besteht aus einer allgemeinen Einführung in das Thema Rohstoffe im Passauer Land. Daran schließt eine Einführung in die Geologie des Passauer Landes, welche die erdgeschichtliche Entstehung der Rohstoffe erklärt, an. Die Entwicklung, Abbau und Nutzen sowie Nachhaltigkeit der Gewinnung der Rohstoffe Granit, Graphit und Wasser im Passauer Land werden anhand der drei Museen und außerschulischen Lernorte Besucherbergwerk Graphit Kropfmühl, Granitzentrum Bayerischer Wald und Haus am Strom im Landkreis Passau begreifbar. Anschließend werden zu jedem der drei außerschulischen Lernorte Erkundungsrallyes für Schulklassen auf mehreren Niveaustufen angeboten (Grundschule, 5. & 6. Klasse und 9. & 10. Klasse).

### Für LehrerInnen: Lehrplanbezüge

Das Thema „Rohstoffe“ ist für den Einsatz in Grund-, Mittel-, Realschulen und Gymnasien sowie in der außerschulischen Bildung geeignet. In allen diesen Bereichen bestehen sehr unterschiedliche Möglichkeiten zur Einbindung in den Unterricht. Die hier genannten Bezüge zu den Lehrplänen sind Beispiele und Anregungen für den Einsatz dieser Publikation in der Schule.

Grundschule: „Rohstoffe“ sind für die Grundschulen zwar kein eigens ausgewiesenes Thema, dennoch bietet sich der Heimat- und Sachunterricht an, die Rohstoffe im eigenen Heimatraum zu betrachten. Im Lernbereich *Natur und Umwelt* (HSU 1/2 3, HSU 3/4 3) existieren Bezüge zu allen drei Teilen der Publikation. Die Lernbereiche *Zeit und Wandel* (HSU 3/4 4) und *Technik und Kultur* (HSU 3/4 6) bieten speziell Anknüpfungspunkte zu den Rohstoffen Granit und Graphit über die Berufe des Steinhauers und des Bergmanns.

Mittelschule: Für den Einsatz in der Mittelschule eignet sich das Rohstoffthema im Fach Natur und Technik in den Lernbereichen *Naturwissenschaftliches Arbeiten* (NT 5.1, NT 6.1), *Lebensgrundlagen Wasser und Boden* (NT 6.2), *Lebensgrundlage Energie* (NT 8.2), *Lebensgrundlage Kohlenstoff* (NT 9.2), *Materie, Stoffe und Technik* (NT 9.4). Das Fach Geschichte/Politik/Geographie greift speziell mit dem Lernbereich *Lebensraum Erde* (GPG 5.1, GPG 6.1, GPG 7.1, GPG 8.1, GPG 9.1) verschiedene Aspekte dieser Publikation auf.

Realschule: Im Lernbereich *Veränderung der Erdoberfläche* des Fachs Geographie (GEO 5) bietet die Entstehung von Granit und Graphit die Verknüpfung mit den Wirkungen der endogenen Kräfte, während die Donau jene mit den Wirkungen der

exogenen Kräften ermöglicht. Zudem wird in GEO 5 explizit die Energiegewinnung durch Wasser thematisiert und in GEO 6 nochmals aufgegriffen. In GEO 9 kann einerseits die Entstehung des Bayerischen Waldes und der Donauleiten als Zusammenspiel endogener und exogener Kräfte und andererseits der menschliche Eingriff zur Nutzung der Wasserenergie im Heimatraum thematisiert werden. Im Fach Chemie ist im Lernbereich *Aufbau der Materie* (C 8) sowie im Lernbereich *Stoffe und ihre Eigenschaften* (C 9 I) eine Anknüpfung an den Graphit gegeben.

Gymnasium: Im Gymnasium bestehen vielfältige Anknüpfungsmöglichkeiten für diese Publikation, unter anderem im Fach Geographie über die Lernbereiche *Naturräume in Bayern und Deutschland* (Geo 5.3), *Ländliche Räume in Bayern und Deutschland* (Geo 5.4), *Naturgeographie Europas im Überblick* (Geo 7.3), *Globalisierung – Ursachen – Dimensionen – Auswirkungen* (Geo 10.2), *Mensch-Umwelt-Beziehungen in den mittleren Breiten und Subtropen in Europa* (Geo 11.5), *Wirtschaftliche Entwicklung in einer globalisierten Welt* (Geo 12.2), *Ressourcen und nachhaltige Entwicklung* (Geo 12.3) sowie *Lehrplanalternative Geologie* (GeoGeol). Ebenso existieren im Fach Natur und Technik Verbindungen in den Bereichen *Themenbereiche und Konzepte* (NT 5.1.2) und *Ökosystem Gewässer* (NT 6.1.5). Differenzierte Bezüge zur Ressource Wasser bietet einerseits das Fach Biologie über den Lernbereich *Ökosysteme unter dem Einfluss des Menschen* (B 8.6) und andererseits das Fach Physik in den Lernbereichen *Energie als Erhaltungsgröße* (Ph 8.2), *Wärmelehre und Energieversorgung* (Ph. 9.4). Spezielle Bezüge zum Rohstoff Graphit ergeben sich zudem im Fach Chemie mit den Lernbereichen *Chemische Reaktionen – vom Teilchenmodell zum Daltonschen Atommodell* (C 8.3), *Chemische Verbindungen und ihre Eigenschaften – Vom Daltonschen Atommodell zum Kern-Hülle-Modell* (C 8.4), *Donator-Akzeptor-Konzept – Elektronenübergänge (Bilden und Entladen von Ionen)* (C 9.3) und *Synthetische Makromoleküle – Werkstoffe nach Maß* (C 12.3.2).

Bezogen auf die drei Lernorte sind die Lehrplanbezüge in einfacher Form als Überblick charakterisiert:

### ***Graphit – Besucherbergwerk Graphit Kropfmühl***

Geographie, Wirtschaft: Minerale und Gesteine, Rohstoffe, Rohstoffgewinnung, Entstehung des Graphits, Graphitvorkommen regional und international, Graphitbergbau (Graphit Kropfmühl GmbH)

Chemie: Materialien/Materialeigenschaften, Aufbau Graphit, Graphen, Materialeigenschaften Oxidations- und Temperaturwechselbeständigkeit, Interkalationsfähigkeit des Graphits, Schmiereigenschaft des Graphits

### ***Granit – Granitzentrum Bayerischer Wald Hauzenberg***

Geographie, Wirtschaft: Minerale und Gesteine, Rohstoffe, Rohstoffgewinnung, Entwicklung des Heimatraums

Chemie: Materialwissenschaft

***Wasser – Haus am Strom und Wasserkraftwerk Jochenstein***

Biologie: Lebensräume, Nachhaltigkeit

Physik: Energie

Geographie: Entwicklung des Heimatraums

## 2. Einführung in das Thema Rohstoffe

### 2.1. Entwicklung der Rohstoffe

Die Entstehung von Lagerstätten erfolgt in unterschiedlichen Zeiträumen und unter verschiedenen geologischen Bedingungen und Voraussetzungen. Niederschlagswasser strömt im Zeitraum von wenigen Tagen bis Wochen aus einem definierten, räumlich abzugrenzenden Einzugsgebiet mit definierten Eigenschaften als Fließgewässer in einen Ozean. Dagegen benötigt der Rohstoff Granit Millionen von Jahren für den Aufstieg des Magmas aus einem höchst variablen Aufschmelzungsbereich im Erdinneren bis hin zur langsamen Erstarrung und letztlich der natürlichen Freilegung durch die Kräfte der Erosion, wobei sich die physikalischen Bedingungen für das Material beständig verändern und dadurch auch die Oberflächenressource Boden auf dem Granit beständig stofflicher Veränderung unterliegt. Graphit schließlich entsteht ebenfalls im Laufe von Millionen von Jahren durch die Veränderung von biologisch gebildeter und zunächst an der Erdoberfläche abgelagerter Substanz aufgrund extremer Drucke und Temperaturen bei der Kollision von Erdkrustenplatten. Zeit ist für die Bildung aller drei Rohstoffe ein höchst bedeutsamer Faktor.

### 2.2. Abbau und Nutzung des Rohstoffs

Historisch erfolgte der Abbau des Graphits und auch des Granits zunächst in der bäuerlichen Struktur der Region als Zusatzerwerb im Winter. Daraus entwickelte sich im Laufe von Jahrhunderten ein bis heute andauernder industrieller Rohstoffabbau, der zunächst dem steigenden Rohstoffbedarf der Städte und dann dem Rohstoffhunger der Industrialisierung folgte. Heute behauptet sich der heimische Rohstoff durch immer effizienteren und damit letztlich sogar nachhaltigeren und sozial verträglicheren Abbau als in der Vergangenheit, als seine Gewinnung nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgte und oftmals massivste Eingriffe in die Natur mit sich brachte. Das natürliche Fließen des Wassers der Donau wird an einer geologisch besonders geeigneten Position durch einen letztlich auch massiven Eingriff in den Lebensraum Fluss nutzbar gemacht, um die Energie des fließenden Wassers für den überregionalen Bedarf als elektrische Energie zu gewinnen.

### 2.3. Nachhaltigkeit der Gewinnung des Rohstoffs

Nachdem die Vorkommen des Nichtmetalls/Halbmetalls **Graphit** im südlichen Bayerischen Wald erkannt worden waren, erfolgte der frühe Abbau des Graphits ausschließlich im Kleinbergbau vor Ort, bevor es zur ökonomischen Konzentration der Abbaubetriebe und endlich zur Gründung des Graphit-Bergwerks Kropfmühl kam. Steigender Bedarf und steigende Ansprüche an die Qualität des Rohstoffs im Zuge der industriellen Entwicklung führten zur räumlichen Expansion, zur effizienteren Produktion und zur Internationalisierung mit dem Zukauf von Bergwerksbeteiligungen im fernen Ausland. Daraus resultierten veränderte Sozialstrukturen. Die Arbeitsbedingungen vor Ort wurden angepasst und geringer qualifizierte Arbeitsplätze wurden



ins Ausland verlagert. Höher qualifizierte Arbeitsplätze in der Aufbereitung und Veredlung des Rohstoffs entstanden am ursprünglichen Standort Kropfmühl. Auch heute wird in Kropfmühl noch aktiv Graphit abgebaut.

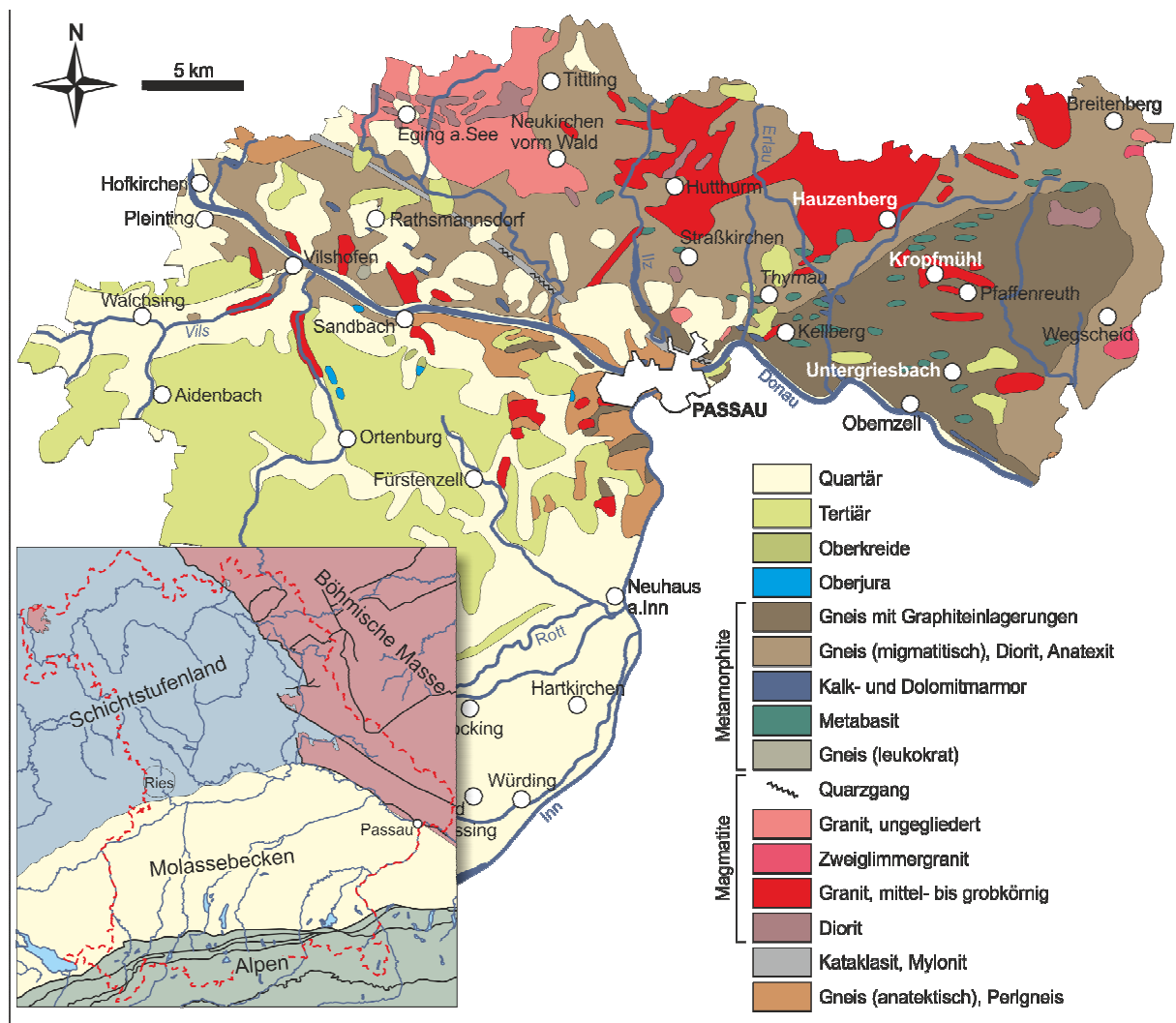
Der **Granit**abbau startete durch das Entsteinen von landwirtschaftlichen Flächen durch die Bauern. Die ökonomische Entwicklung der Städte im Nahbereich erhöhte den Bedarf an Bausteinen, vor allem solchen mit hoher Abriebfestigkeit und großer Stabilität. Granit wurde schnell ein gefragter Rohstoff. Durch die Nähe zur Donau als Transportachse entstanden aus den bäuerlichen erste industrielle Abbaustätten des Granits. Mit der infrastrukturellen Entwicklung Bayerns, insbesondere dem Ausbau des Eisenbahnnetzes, stieg der Bedarf an Hartsteinen bald immens an. Zudem eröffneten die neuen Eisenbahnlinien eine immer weiträumigere Deckung des wachsenden Bedarfs an „exotischen“ Werksteinen bis nach Norddeutschland und sogar nach Übersee. Für die arme Bevölkerung des Bayerischen Waldes wurde die Granitsteinindustrie zunächst zu einem, die gesellschaftliche Struktur verändernden Jobmotor. Allerdings forderte er vielfach gesundheitliche Opfer. Durch vermeintlich billigere Importe aus der Ferne kam er letztlich fast vollständig zum Stillstand, so dass die Arbeitskräfte zwecks Broterwerbs zur Abwanderung in die Städte gezwungen waren.

Die Donau mit ihrem **Wasser** ist nicht nur seit alters her ein wichtiger Transport- und Handelsweg für Rohstoffe, sondern selbst eine bedeutsame Ressource. Sie bringt kontinuierlich frisches potenzielles Trinkwasser in die Region und transportiert es weiter. Der reine Fließprozess des Wassers wird zum Aspekt nachhaltiger Energiegewinnung. Der kostenfreien und ständig vorhandenen Ressource Wasser wird durch einen massiven Eingriff in den Naturraum Donautal mit seinen ganz besonderen biologischen Gegebenheiten ein Teil seiner Fließenergie entzogen und für die überregionale Energieversorgung genutzt. Der Querriegel der Staumauer des Kraftwerks Jochenstein ist der eindrucksvolle menschliche „Sieg über das ungezähmte natürliche System Fluss“. Dennoch, der Fluss, der ausschließlich physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgt, arbeitet permanent gegen die Stauung und erzwingt andauernde finanzielle Anstrengungen zur kontinuierlichen Pflege des Stauwerks. Hoch qualifizierte Arbeitsplätze entstanden durch den Kraftwerksbau für den Menschen. Die ökologischen Nischen der biologischen Arten im Lebensraum Donautal wurden durch diesen Eingriff jedoch auch vehement beeinträchtigt.

Rohstoffbildung, Rohstoffgewinnung und Rohstoffnutzung bilden zusammen ein Spannungsfeld, in dem die Dimensionen der Nachhaltigkeit von den Beteiligten oft sehr variabel gewichtet werden. Am augenfälligsten sind wahrscheinlich die erheblichen Differenzen, die sich bei der Betrachtung der Bildungsdauer und der vollständigen Ausbeutung des Rohstoffs zeigen. Während das Donauwasser kontinuierlich nachgeführt wird, benötigen Granit und Graphit Jahrtausende für ihre Entstehung. Jedoch, in nur wenigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten sind insbesondere die Graphitlagerstätten so ausgebeutet, dass der Mensch die eventuell noch verbliebenen Reste nicht mehr wirtschaftlich gewinnen kann. Technische Weiterentwicklung kann dann helfen, aber die Neubildung des Rohstoffs ist dadurch nicht zu beeinflussen, da diese ausschließlich den Gesetzen der Natur folgt.

### 3. Geologischer Überblick für das Passauer Land

Um zu verstehen, wie sich die Rohstoffe im Passauer Land gebildet haben, ist es notwendig sich mit der Entwicklung der Region, dass heißt in diesem Falle mit seiner Geologie zu beschäftigen. Wer Bayern geologisch betrachtet, stellt eine enorme Vielfalt und Komplexität geologischer Phänomene fest. Für eine klare Struktur macht es Sinn, Bayern in vier geologische Regionen zu unterteilen, die sich deutlich voneinander unterscheiden (Abb. 3-1). Am auffälligsten ist am Südrand das morphologisch hervorstechende Alpengebirge mit seinen gefalteten und übereinander gestapelten Decken von Sedimentgesteinen. Nach Norden hin, bis an die Donau, schließt sich das Molassebecken an. Dieses flach-hügelige Gebiet ist geprägt durch relativ junge Sedimentgesteine, die aus dem Abtragungsschutt der Alpen entstanden sind. Zudem überformten während der Eiszeiten die weiten Gletschervorstöße aus den Alpen und vor allem die Prozesse im Zusammenhang mit dem nachfolgenden Abschmelzen des Eises diese Region. Nördlich der Donau schließt sich nach Nordwesten das



**Abb. 3-1:** Geologische Karte des Landkreises Passau. Sein Nordteil gehört geologisch gesehen zur Böhmischen Masse, die von Magmatiten und Metamorphiten aufgebaut wird. Demgegenüber ist der von Sedimenten aus den Erdzeitaltern Tertiär und Quartär bedeckte Süden zum Molassebecken zu zählen. Die eingefügte Karte verschafft einen Überblick über die geologischen Räume Bayerns (nach KEIM et al. 2004).

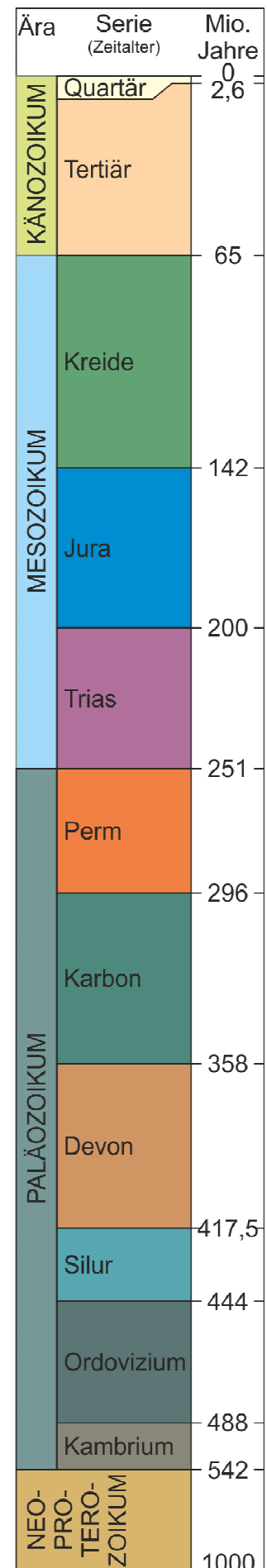
Schichtstufenland an, welches von flach nach Osten geneigten Sedimentgesteinen des Mesozoikums geprägt ist. Sie setzen sich im Untergrund des Molassebeckens fort und treten in den Alpen wieder zutage. Schließlich kommen im Nordosten sowie ganz im äußersten Westen Bayerns deutlich ältere, metamorphe und magmatische Gesteine vor. Sie haben eine deutlich längere und komplexere Entstehungsgeschichte hinter sich als die jüngeren Sedimentgesteine der anderen Regionen, in deren Untergrund sie aber ebenfalls vorkommen. Geologen sprechen daher vom „Grundgebirge“, welches in Mitteleuropa zumeist vom jüngeren, aus Sedimentgesteinen aufgebauten „Deckgebirge“ überdeckt ist.

Während die einzelnen Sedimentgesteinsstapel des Deckgebirges eine mehr oder weniger kontinuierliche zeitliche Abfolge darstellen, sind sie gegen das Grundgebirge scharf begrenzt. Entweder besteht eine Zeitlücke zwischen dem Grundgebirge und seiner Überdeckung, oder aber das Grundgebirge wurde durch tektonische Brüche (Verwerfungen) auf das gleiche Niveau wie das Deckgebirge angehoben.

Die Grundgebirgsregion in Bayern reicht vom Frankenwald im Norden über das Fichtelgebirge und den Oberpfälzer Wald bis in den südlichen Bayerischen Wald. Während sie sich weit in die Nachbarländer Tschechien und Österreich fortsetzt, bricht sie fast durchgängig an markanten Geländestufen nach Südwesten hin ab. Geologisch bezeichnet man diese Verwerfungen im Norden als Fränkische Linie, in der Mitte als Bayerischer Pfahl und im Süden als Donau-Störung (Abb. 3-1). Jeweils reichen diese Bruchsysteme tief in die Erdkruste hinein und ermöglichten die Hebung des Grundgebirges um mehrere Tausend Meter.

### 3.1 Erdgeschichte des Bayerischen Waldes

Die Gesteine des Bayerischen Waldes sind Teil des so genannten Variszischen Gebirges. Es entstand im Gebiet des heutigen Europa gegen Ende des Paläozoikums während einer weltweiten Phase der Bildung von großen Faltengebirgen. Unter hohen Drücken und Temperaturen wurden dabei Gesteine tief in der Erdkruste verändert, wodurch metamorphe Gesteine wie zum Beispiel Gneise entstanden;

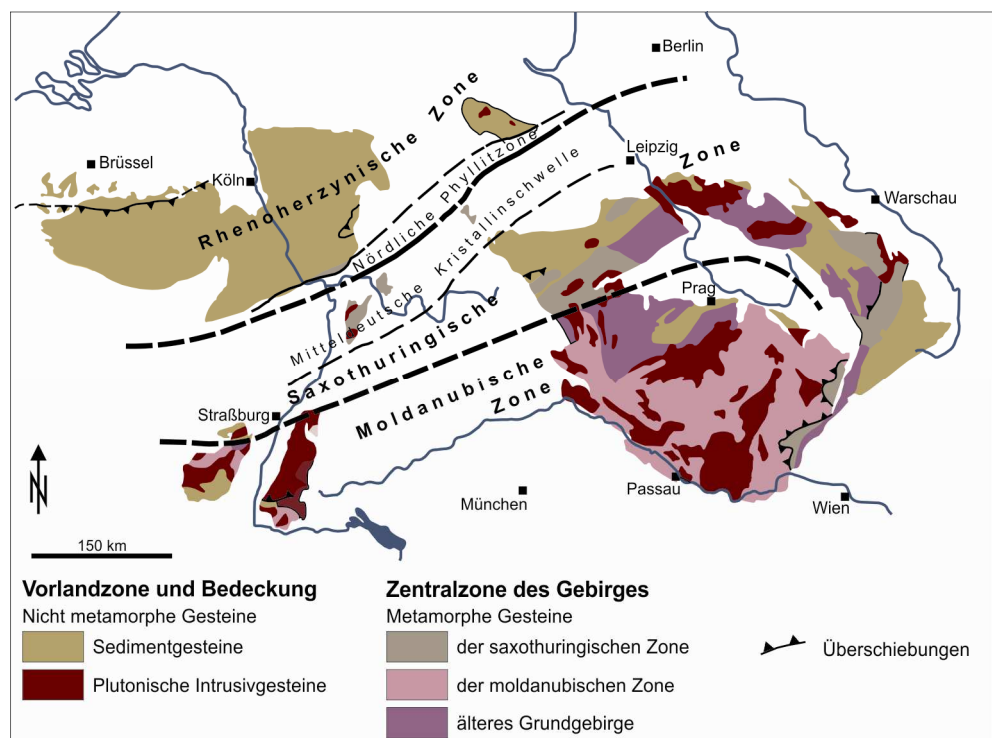


Vereinfachte Stratigraphische Tabelle (nach DSK 2012).

oder die Gesteine schmolzen und erstarrten schließlich wieder als Intrusivgesteine wie zum Beispiel Granit. Das damals hoch aufragende Variszische Gebirge ist längst wieder abgetragen. Die typischen Gesteine jenes Gebirges bilden aber in weiten Teilen Europas den tieferen Untergrund, das „Grundgebirge“. Sie finden sich neben dem Bayerischen Wald beispielsweise auch im Schwarzwald, in den Vogesen, im Nordwesten und Süden Frankreichs und im Nordwesten Spaniens an der Erdoberfläche (Abb. 3-2). Aus geologischer Sicht ist der Bayerische Wald der Südwestteil der Böhmisches Masse, welche Teile Tschechiens mit den angrenzenden Gebieten im Mühl- und Waldviertel Österreichs, im Süden Sachsens und im Osten Bayerns umfasst. In der geologischen Fachsprache wird der größte Teil des Bayerischen Waldes als „Moldanubikum“ bezeichnet.

Der Geologe Eduard Suess erkannte den ausgesprochen komplexen geologischen Aufbau des Gebiets, das vom Verlauf der Donau im Südwesten und Süden begrenzt wird und ansonsten ganz grob das Gebiet des Moldau-Flusssystem in Tschechien umfasst. Nach den beiden Flüssen benannte er dieses komplexe geologische Gebiet im Jahr 1903 als die moldanubische Region. Als geologische Baueinheit ging diese Region unter dem Namen ‚Moldanubikum‘ in die geologische Forschung Europas ein. Ihr größtes Aufschlussgebiet in Mitteleuropa ist die Böhmisches Masse, zu der auch der Bayerische Wald und der Böhmerwald gehören. Die moldanubische Region umfasst große Areale mit hauptsächlich Paragneisen. Dazwischen existieren immer wieder Gebiete, in denen Metabasite, leukokrate Orthogneise und Metakarbonate auftreten. Während der variszischen Gebirgsbildung sind vielfach Schmelzen mit zumeist granitischer Zusammensetzung in die metamorphen Gesteine eingedrungen.

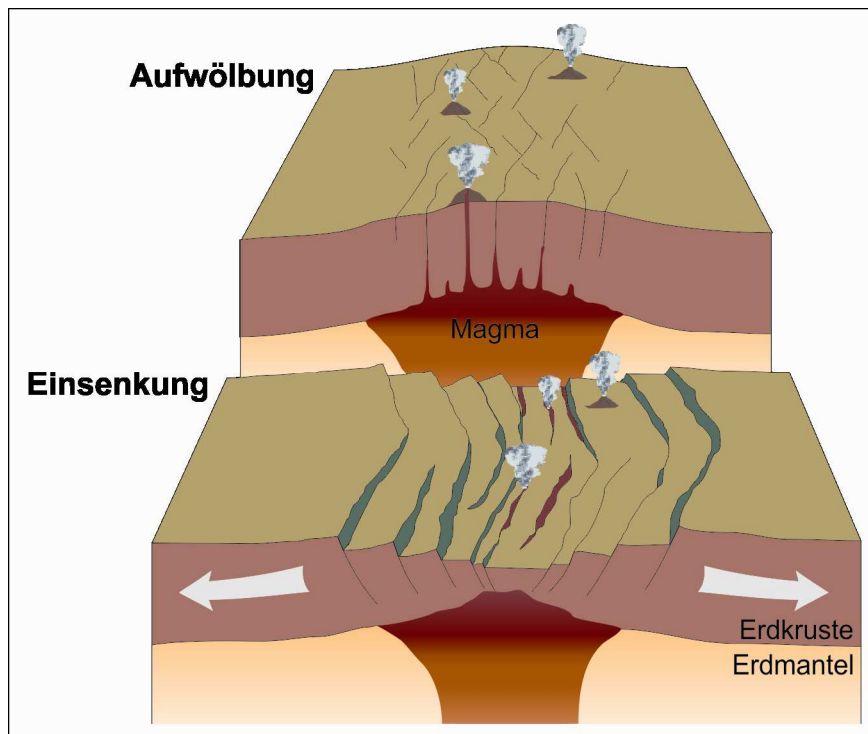
Bis heute existieren noch immer unterschiedliche Vorstellungen zur Untergliederung und zeitlichen Abfolge der prägenden Vorgänge, die zur Ausformung dieser meta-



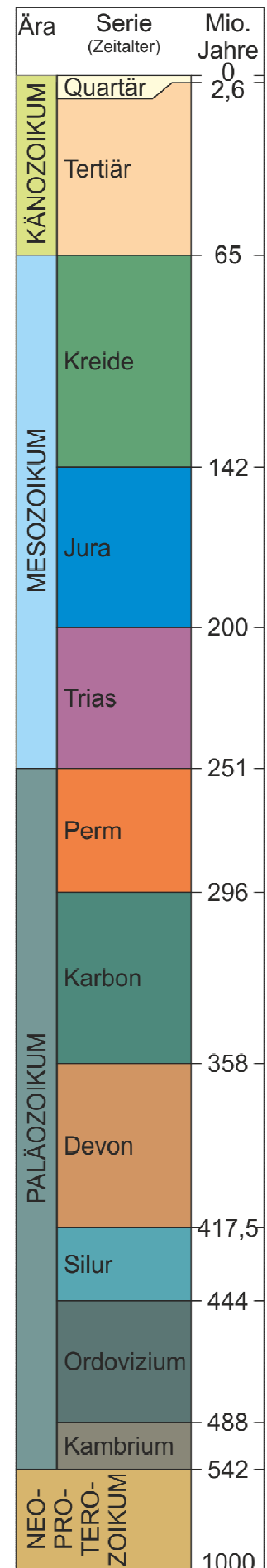
**Abb. 3-2:** Übersicht der Gliederung des variszischen Gebirges in Mitteleuropa (nach KOSSMAT 1927).

morphen Gesteine führten. Inzwischen wird weitgehend eine Untergliederung der Moldanubischen Region in Bohemikum und Moldanubikum *s.str.* (*sensu stricto*) anerkannt. Für eine solche Aufteilung ausschlaggebend sind ein voneinander abweichender lithologischer und stratigraphischer Aufbau sowie eine unterschiedliche strukturelle und metamorphe Entwicklung (Abb. 3-2). Versuchen wir, ein wenig Licht in diese Begrifflichkeiten zu bringen:

Das **Bohemikum** ist ein ursprünglich eigenständiges plattentektonisches Krustenfragment, das eine weitgehend ozeanische Entwicklung durchmachte. Im Oberproterozoikum beginnende plattentektonische Dehnung der Kruste des Kontinents Gondwana, der damals im Bereich des Südpols lag, verursachte bis ins Altpaläozoikum hinein die Ausdünnung und großräumige Aufwölbung der Kruste. Schließlich senkte sich im Scheitel der Hebungszone ein Riftbecken ein, welches von seinen Rändern her große Mengen von Erosionsschutt aufnahm, die letztlich zu Sedimentgesteinen verfestigt wurde (Abb. 3-3).



**Abb. 3-3:** Entstehung eines Riftbeckens durch zunächst Aufwölbung und Dehnung der Erdkruste, mit nachfolgender Bildung basaltischer Magmen und Einsenkung des lang gestreckten Riftbeckens. Vulkanismus ist typisch für solche Riftbecken (HOLZFÖRSTER & PETEREK 2012).



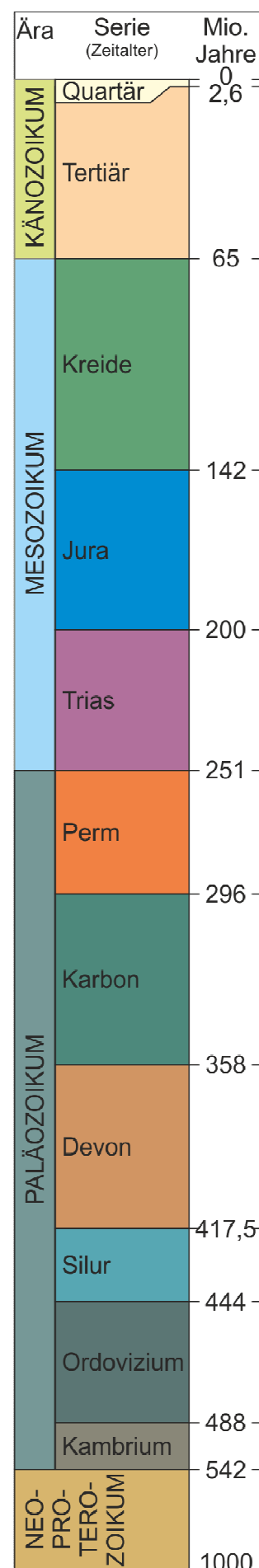
Vereinfachte Stratigraphische Tabelle (nach DSK 2012).

Da durch die Dehnung der Druck der nun ausgedünnten Kruste auf den darunter liegenden Erdmantel allmählich reduziert wurde, begann der obere Erdmantel zu minimalen Anteilen (ca. 3%) zu schmelzen. Die entstehenden Magmen hatten deshalb basaltische Zusammensetzung. In den Schwächezonen der plattentektonischen Dehnungsbrüche konnten sie leicht in höhere Krustenstockwerke aufdringen, wo sie sich seitlich ausbreiteten und Lagergänge bildeten, oder sie erreichten die Erdoberfläche und bildeten dort ausgedehnte Lavaströme und Lavadecken. Zunächst geschah dies unter festländischen Bedingungen und später, mit fortschreitender Absenkung des Gebiets, unterhalb des Meeresspiegels. Im Oberdevon endete diese letztlich ozeanische Sedimentbecken-Entwicklung.

Bereits einige Millionen Jahre früher deutete sich eine Änderung der Verhältnisse an: Im Unter- bis Mitteldevon gelangte das Sedimentbecken offenbar schon wieder unter plattentektonische Kompression, das heißt die bisherige Dehnung kam zum Erliegen und das Gebiet wurde allmählich eingeeengt. Dies belegen unter- bis mitteldevonische Metamorphosealter und schon im Oberkambrium bis mittleren Ordovizium einsetzende Intrusionen granitischer Schmelzen.

In Bayern kommt das Bohemikum in kleineren Gebieten des Oberpfälzer Waldes sowie am Hohen Bogen im Bayerischen Wald vor.

Den weitaus größeren Anteil der moldanubischen Region in Ostbayern macht das **Moldanubikum s.str.** (*sensu stricto*) aus. Auch diese Gesteinseinheiten versteht die neuere Forschung als einen ursprünglich eigenständigen plattentektonischen Krustenabschnitt, der sich ebenfalls vom Nordrand des Kontinents Gondwana gelöst hatte. Obwohl die vorkommenden Gesteine durchweg metamorph verändert sind, können ihre Ausgangsgesteine rekonstruiert werden. Dadurch sind Rückschlüsse auf ihren Bildungsbereich möglich. Ursprünglich war der bayerische Anteil des Moldanubikums s.str. ein passiver Kontinentalrand. Über einen langen Zeitraum von etwa 200 Millionen Jahren wurden dort kontinuierlich feinkörnige Sedimente und gelegentlich vulkanische Aschen verschiedener Zusammensetzung in einem tieferen Meeresbecken abgesetzt. Daneben gab es Gebiete, in denen ursprünglich Sande, aber auch kalkiges Material und



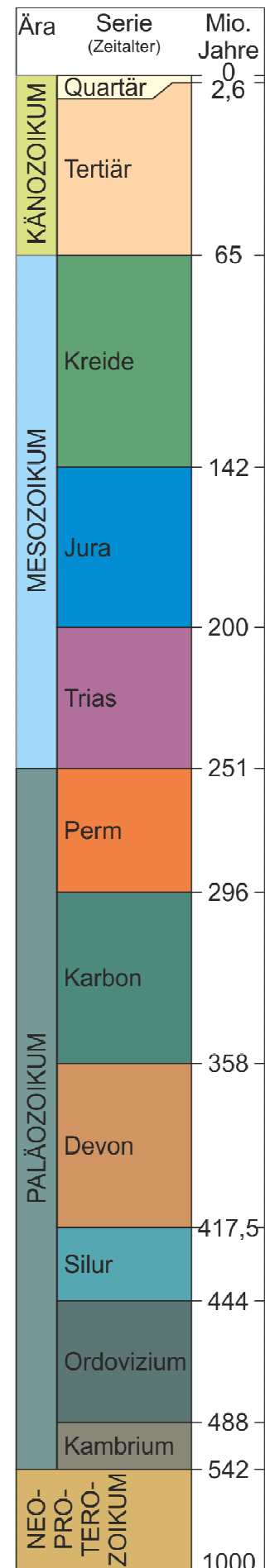
Vereinfachte Stratigraphische Tabelle (nach DSK 2012).

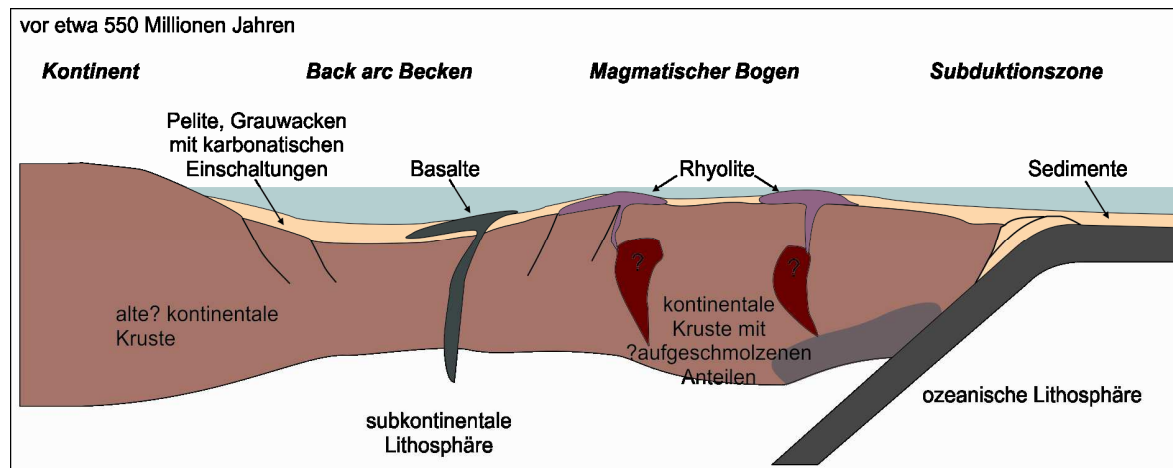
Faulschlämme abgelagert wurden und in denen zusätzlich Vulkanismus herrschte, der vulkanische Aschen und Laven mit basaltischer und auch mit eher granitischer Zusammensetzung produzierte. Diese Ablagerungen entsprechen einem stark gegliederten küstennahen bis festländischen Anteil des passiven Kontinentalrandes. Sein Alter kann nur geschätzt werden. Am wahrscheinlichsten ist die Ablagerung dieser Gesteine im Neoproterozoikum bis Altpaläozoikum und damit quasi zeitgleich zum Bohemikum – aber in einer etwas anderen räumlichen Position irgendwo um den damaligen Südpol (Abb. 3-4). Das damalige Grundgebirge dieses gesamten Ablagerungsgebiets ist so gut wie gar nicht mehr erkennbar.

Offenbar war der Rand Gondwanas ab dem Neoproterozoikum sehr vielgestaltig mit sich abwechselnden Becken und Inselbögen. Ab dem mittleren Ordovizium kam dann richtig Bewegung in den Rand von Gondwana. Landmassen begannen, als Kleinkontinente nach Norden davon zu driften. Dazwischen bildeten sich Meeresbecken mit Schelfgebieten und Tiefseebereichen. Ab dem Devon begann diese Collage aus Kleinkontinenten mit den Kontinentmassen von Laurentia („Ur-Nordamerika“) und Baltica („Ur-Europa“) zu kollidieren – die variszische Gebirgsbildung nahm ihren Anfang.

Dadurch wurden die Gesteine versenkt, und sie erfuhren eine metamorphe Überprägung. Die Sedimentgesteine der tieferen Meeresbecken wurden zu Paragneisen mit Kalksilikateinlagerungen umgewandelt und sind von ihrer heutigen Erscheinung her wenig abwechslungsreich. Daher werden diese von den Fachleuten gut nachvollziehbar als „Monotone Gruppe“ bezeichnet. Demgegenüber wurden die küstennah in den Schelfgebieten abgelagerten Sedimentgesteine zu Paragneisen mit Amphiboliten, Marmoren, leukokraten Gneisen und Graphiteinlagerungen. Wegen der offenbaren Vielfalt an Unterschieden werden sie als „Bunte Gruppe“ bezeichnet. Obwohl in manchen Arealen des Moldanubikum s.str. in Ostbayern die „Bunte Gruppe“ deutlich überwiegt, sind diese Gebiete nicht scharf von den umgebenden Arealen der „Monotonen Gruppe“ abgegrenzt. Insbesondere im Passauer Wald und an der Donauleite sind in den Paragneisen auch Amphibolite, leptynitische Gneise, Kalksilikatfelse und Marmore sowie Graphit-führende Gneise mit Graphitlagen in Biotit-Plagioklas-Gneisen und migmatischen Gneisen weit verbreitet.

Vereinfachte Stratigraphische Tabelle (nach DSK 2012).





**Abb. 3-4:** Modell für den neoproterozoischen Ablagerungsraum am Rande Gondwanas (TEIPEL 2003).

Diese durch Metamorphose umgewandelten Gesteine legen nahe, dass auch die tieferen Meeresbecken in wesentlich tiefere und eher flachere Gebiete mit Verbindungen zum Schelf gegliedert waren.

Im Detail erzeugte die Kollision der Platten Metamorphoseerscheinungen, die von den Geowissenschaftlern zur Rekonstruktion der erdgeschichtlichen Abläufe herangezogen werden. Es dominieren im Moldanubikum s.str. Metamorphoseerscheinungen, die einerseits hohe Temperaturen und andererseits eher niedrige Drücke voraussetzen.

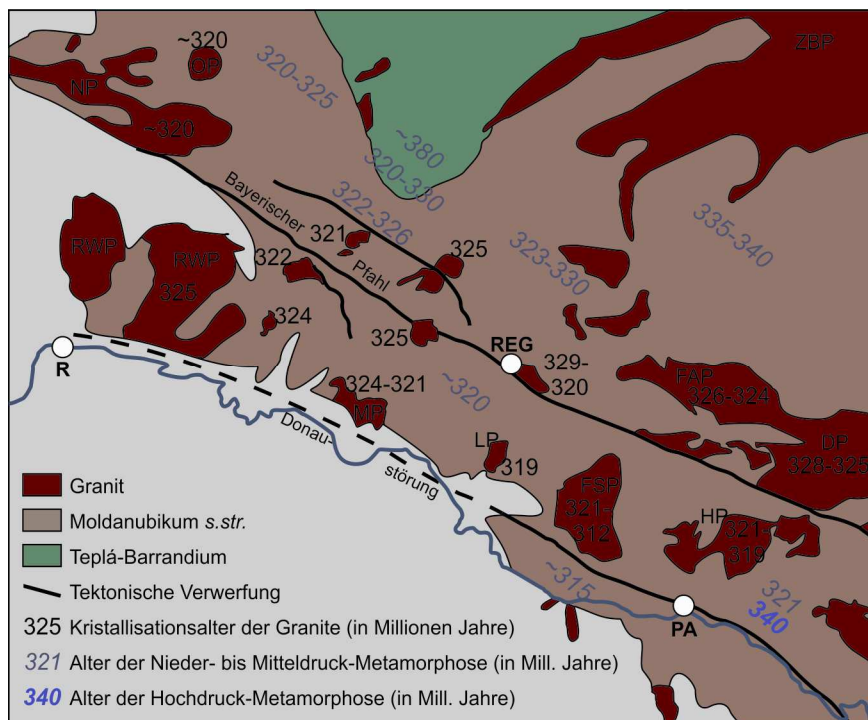
Sehr spezielle Minerale in den Paragneisen sind hierfür die Indikatoren. So treten die Minerale Cordierit und Kalifeldspat bzw. die Minerale Granat, Cordierit und Kalifeldspat nebeneinander in den Paragneisen auf. Damit das möglich ist, müssen bei der Metamorphose Drücke von 3-4 kbar und Temperaturen von 670-750°C geherrscht haben. Bei diesen Temperaturen schmelzen bereits manche Minerale der Gneise, andere bleiben noch stabil – die so genannte Anatexis setzt ein. So kommt es zur Bildung der migmatitischen Gneise. Südlich des Bayerischen Pfahls sind Erscheinungen dieser Art häufiger und diverse Gesteinsarten, die unterschiedlich starke Schmelzbildung dokumentieren, wurden erkannt (Perlgneise, Blastomylonite, diatektische Gneise, Diatexite). Die Geländeuntersuchungen der Geowissenschaftler wurden in einer geologischen Karte zusammengefasst und daraus geht hervor, dass die Anatexis von Nordosten her zur Pfahlzone hin allmählich zunimmt und dann hauptsächlich im Gebiet südwestlich des Bayerischen Pfahls auftritt.

In diese hochgradig aufgeheizte Erdkruste drangen Gesteinsschmelzen ein. Ihr Entstehungsort lag tief in der durch die Plattenkollision gestapelten Erdkruste. Immer noch in Tiefen zwischen etwa 10 und 5 km Tiefe, wo die Temperaturen allerdings schon wieder ausreichend niedrig waren, begannen diese Schmelzen zu kristallisieren und erstarrten in Form von großen „Plutonen“ oder als schmale Gänge. Die Granite, die im heutigen Niveau der Erdoberfläche im Bayerischen Wald weite Gebiete einnehmen, sind aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung meist auf die Anatexis ehemaliger Sedimentgesteine zurückzuführen, die in die mittlere und

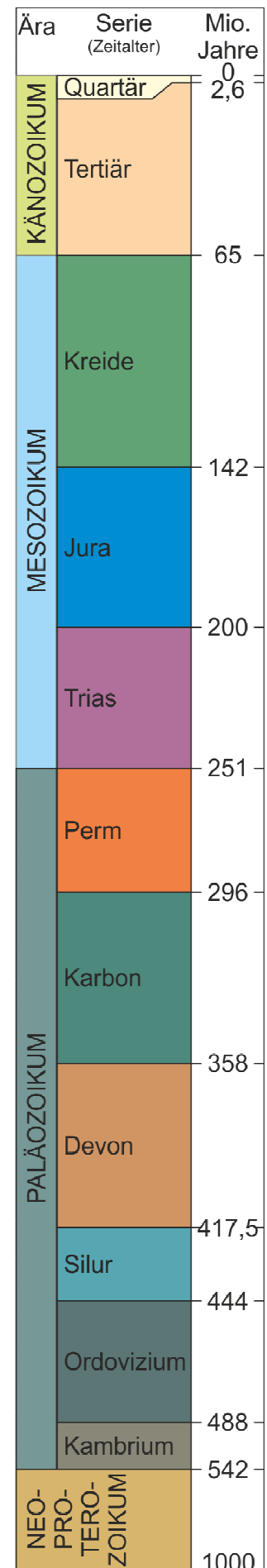


tiefere Erdkruste versenkt worden waren. Dagegen stammen ebenfalls auftretende Diorite (vgl. Abb. 3-1) mindestens teilweise von Schmelzen aus dem oberen Erdmantel ab, die sich während ihres Aufstiegs mit Schmelzen aus der Erdkruste vermischt hatten. Nach den vorliegenden Altersdatierungen erfolgten die regionale Metamorphose und die Intrusion der Granite und Diorite etwa zeitgleich im Rahmen der variszischen Gebirgsbildung. Die Diorite und so genannte Quarz-Glimmer-Diorite haben Intrusionsalter um etwa 330 Millionen Jahre. Daneben gibt es auch etwas jüngere Diorite mit Altern von 316 Millionen Jahren. Die Hauptintrusion der Granite begann im Bayerischen Wald mit dem Dreisessel-Pluton (der den gleichnamigen Gipfel bildet) um 328 Millionen Jahre und dauerte bis ca. 310 Millionen Jahre an (Abb. 3-5). Aus dem Passauer Wald gibt es sogar Hinweise auf noch ältere Granite mit Alterswerten um 340 Millionen Jahre.

Die besonders im Raum Lam, Bodenmais und Zwiesel vorkommenden Pegmatite sind als wässrige Restschmelzen im



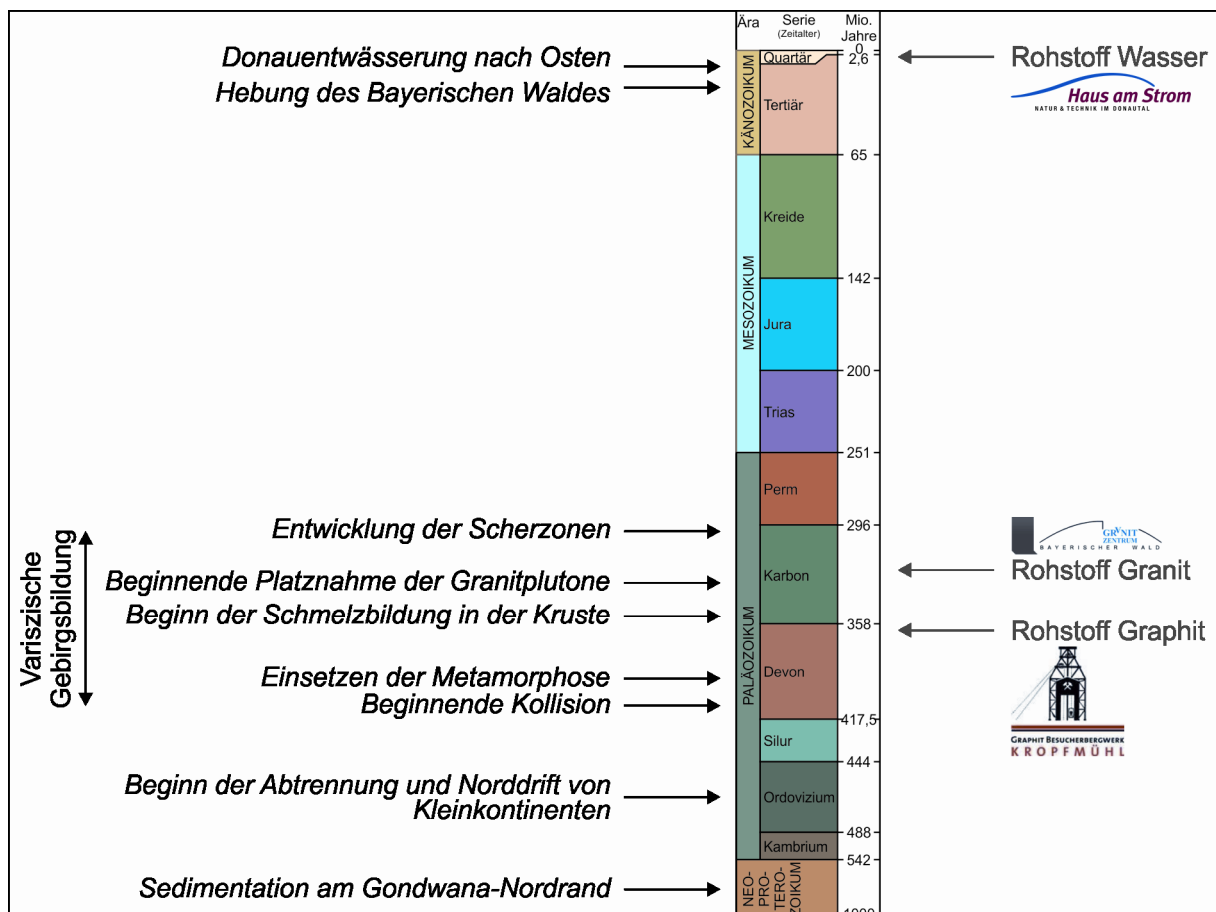
**Abb. 3-5:** Granit- und Metamorphosealter im Bayerischen Wald. DP - Dreisessel Pluton, FAP - Finsterauer Pluton, FSP – Fürstensteiner Pluton, HP - Hauzenberger Pluton, LP - Lallinger Pluton, MP - Meppener Pluton, NP - Neunburger Pluton, OP – Oberviechtacher Pluton, RWP - Regensburger Wald Pluton, ZBP – Zentralböhmischer Pluton (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008).



Vereinfachte Stratigraphische Tabelle (nach DSK 2012).

Zusammenhang mit den variszischen Granitintrusionen aufzufassen.

Mit dem Ende der variszischen Gebirgsbildung zerbrachen die Gesteine entlang von Scherzonen wie dem Bayerischen Pfahl. Eine solche Scherzone, der so genannte Aicha-Halser-Nebenpfahl zieht parallel zum Bayerischen Pfahl zwischen Aicha und Passau quer durch das kristalline Grundgebirge und setzt sich als Donauleiten-Störung nach Südosten fort. Mylonite markieren seinen Verlauf. Während bei niedrigen Temperaturen von weniger als etwa 300 °C Gesteine aller Art durch Scherbewegungen der Erdkruste zerbrechen, werden die wirkenden Scherkräfte bei höheren Temperaturen durch duktile Verformung, das heißt durch eine Art Gleitung auf Mineralkornebene abgeleitet. Dabei bilden sich typische Verformungserscheinungen, denen die Geowissenschaftler entnehmen, dass die Bewegung in Tiefen von mehr als 10 km statt fanden. Entlang solcher tief greifender Störungszonen kam es seit dem Ende der variszischen Gebirgsbildung vor etwa 300 Millionen Jahren zu erheblichen Bewegungen, die letztlich den Bayerischen Wald gegenüber seinem Vorland südlich der Donau weit herausgehoben haben. Immerhin liegen im Bayerischen Wald heute Gesteine an der Erdoberfläche, welche über Millionen von Jahren tief in der Erdkruste eingeschlossen und immer wieder verändert worden waren.



**Abb. 3-6:** Zusammenfassung der Entwicklungsgeschichte des Bayerischen Waldes und zeitliche Einordnung der Rohstoffe Granit, Graphit und Wasser im Passauer Land.