

Jörn Wichert

Schiefer als Werkstein

Entstehung, Eigenschaften,
Vorkommen, Abbau

SACHBUCH

 Springer

Schiefer als Werkstein

Jörn Wichert

Schiefer als Werkstein

Entstehung, Eigenschaften, Vorkommen,
Abbau

Jörn Wichert
Institut für Geotechnik
TU Bergakademie Freiberg
Freiberg, Deutschland

ISBN 978-3-662-66044-7 ISBN 978-3-662-66045-4 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66045-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

Deutsche überarbeitete Übersetzung der 1. englischen Originalauflage „Slate as Dimension Stone“, erschienen bei Springer Nature Switzerland AG, 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Covermotiv: © Jörn Wichert
Covergestaltung: deblik, Berlin

Planung/Lektorat: Simon Shah-Rohlf's
Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Vorwort

Die Idee zu diesem Buch entstand etwa im Jahr 2005. Nachdem ich einige Jahre als Geologe in der Schieferindustrie gearbeitet hatte, stellte ich fest, dass im Gegensatz zu vielen anderen Werksteinen kein umfassendes Buch über Schiefer als Werkstein existierte. Ein Grund dafür mag sein, dass Schiefer in den meisten Regionen vor allem als Dachschiefer verwendet wird und daher in der Fachwelt keine besondere Beachtung findet. Dies führt aus meiner Sicht zu einer Unterschätzung seiner Bedeutung als Werkstein.

Unternimmt man aber eine Reise durch die verschiedenen europäischen Schieferprovinzen wie Thüringen und das Rheinische Schiefergebirge in Deutschland, die Ardennen und die Bretagne in Frankreich, Galizien im Nordwesten Spaniens oder auch durch Vermont und Pennsylvania in den USA, offenbart sich einem die Bedeutung des Schiefers. In fast allen diesen Gebieten ist Schiefer architektonisch dominierend, wohingegen andere Werksteine weniger präsent sind. Darüber hinaus wird Schiefer auch als Werkstein für verschiedene bildhauerische und künstlerische Anwendungen eingesetzt, also nicht nur für Dächer oder Fassaden.

Schiefer hebt sich von anderen Gesteinen durch seine ausgeprägte Anisotropie ab. Anisotropie bedeutet richtungsabhängige Eigenschaften, die durch Schieferung verursacht werden. Sie ist prägend für fast alle Eigenschaften des Schiefers, was ihn einzigartig macht.

Das Buch erschien zuerst in englischer Sprache. Auf Vorschlag des Springer-Verlages habe ich es ins Deutsche übertragen und in diesem Zuge auch Korrekturen vorgenommen. So wurden die meisten Karten überarbeitet und das Buch um einige Vorkommen und Daten erweitert. Eine wesentliche Änderung dabei war, dass ich die geologischen Einheiten und Lagerungsverhältnisse der Schieferprovinzen weggelassen habe, da sie für Nicht-Geologen eher verwirrend sind.

Für dieses Buch wurden eigene Untersuchungen zu den petrographischen, physikalischen und gesteinsmechanischen Eigenschaften verschiedener Schiefer durchgeführt und durch publizierte Daten ergänzt. Zudem habe ich etablierte Untersuchungsmethoden und Normen durch eine alternative Methode zur Bestimmung der Biegefestigkeit ergänzt.

Ein großer Teil des Buches beschreibt die weltweiten Schieferlagerstätten, von denen ich die meisten wichtigen besucht habe. Es werden aber auch kleinere Lagerstätten behandelt, wie jene in Russland, oder eher unbekannte, aber auch vielversprechende Lagerstätten, wie im Kaukasus, namentlich in Swanetien (Georgien). Letztere besuche ich seit Jahren regelmäßig, um mir ein Bild von den Rahmenbedingungen und Voraussetzungen für einen möglichen Abbau zu machen. Ich betrachte die Region Swanetien als eine Schieferprovinz mit großem Potenzial, bei dem der endgültige Erfolg weniger vom Schiefer selbst als vielmehr von den politischen Umständen und der Beherrschung des Abbaus unter Hochgebirgsbedingungen abhängt.

Die Schiefervorkommen Chinas habe ich nur kurz angerissen, da es unmöglich war, umfassende Informationen und zuverlässige Daten zu erhalten. Eine seriöse Beschreibung, die über einen allgemeinen Charakter hinausgeht, hat dieser Umstand einfach nicht zugelassen. Ähnlich verhält es sich auch mit den Schiefervorkommen Indiens.

Die in diesem Buch behandelten Themen sollen das gesamte Spektrum des Schiefers als Werkstein abdecken und dem Leser einen aktuellen Wissensstand vermitteln. Ziel war es, ein umfassendes Schiefer-Kompodium als Arbeitsgrundlage für Fachleute aus den Bereichen

Geologie, Geotechnik, Bergbau, Architektur sowie für Schieferproduzenten und -händler zu verfassen. Es ist der interdisziplinäre Charakter des Buches, der eine Vielzahl von Lesern mit unterschiedlichen Hintergründen anspricht und es ihnen leicht machen soll, sich in Themen außerhalb des eigenen Fachgebietes einzuarbeiten.

Juli 2022

Jörn Wichert

Danksagung

Zunächst möchte ich dem Springer-Verlag danken. Er war es, der mich nach einigem Zögern so motivierte, dass ich tatsächlich die Überarbeitung und Übersetzung meines englischen Buches in Angriff genommen habe und dass nun auch die deutsche Version vorliegt.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Heiner Siedel, der mit mir die verschiedenen Aspekte dieser fachlich breit angelegten Arbeit diskutiert hat. Prof. Heinz Konietzky bin ich für die Diskussionen über geotechnische Aspekte beim Abbau zu Dank verpflichtet.

Die vielen Gespräche mit meinem ehemaligen Kollegen Dr. Thomas Frühwirt brachten mir das Gebiet der Gebirgsmechanik näher, mit dem Geologen meist nicht allzu vertraut sind. Er hat felsmechanische Versuche durchgeführt, deren Ergebnisse hier ihren Eingang fanden. Dafür möchte ich ihm meinen besonderen Dank aussprechen.

Des Weiteren danke ich Dr. Sebastian Kolitsch für all seine Kommentare und tiefgehenden Debatten, die mich zu weiteren Verbesserungen inspiriert haben.

Ich danke Erika Nitschke für ihre Hilfe und das Dolmetschen während der Besichtigung der verschiedenen Schieferbrüche in Frankreich sowie Jana Schulze-Rehagel für ihre Unterstützung während dieser schönen Reise.

Das Schreiben eines solchen Buches ist begleitet von Phasen des Zweifels, die Themen in angemessener Qualität zu behandeln. Mein besonderer Dank gilt all meinen Freunden, die mir Selbstvertrauen gegeben und mich ermutigt haben, an diesem Buch zu arbeiten. Ich möchte mich bei Jeri Johns bedanken, der mich bei meinem Besuch in der Peach Bottom Region (USA) begleitet hat.

Einen großen Anteil am Entstehen dieses Buches hat Prof. Joachim Hofmann (†) durch die zahlreichen Gespräche sowie die veröffentlichte Literatur und Daten, die er mir zur Verfügung stellte. Er war derjenige, der mich auf den Schieferpfad brachte und ist letztendlich dafür „verantwortlich“, dass dieses Buch entstanden ist.

Als bescheidener Arbeiter im Schieferberg Gottes bemühe ich mich auch um eine korrekte und verständliche Sprache. Silke Richter hat sich des Textes und der Karten mehrmals akribisch angenommen und für den sprachlichen Feinschliff gesorgt. Dafür gilt ihr mein herzlichster Dank.

Inhaltsverzeichnis

1	Schiefer in der Architektur	1
	Literatur.....	13
Teil I Entstehung, Untersuchungsmethoden und Normen, Eigenschaften sowie Abbau und Produktion		
2	Die Entstehung von Schiefer	17
2.1	Sedimentation	17
2.2	Metamorphose.....	20
2.3	Tektonik und Deformation	21
	Literatur.....	26
3	Untersuchungsmethoden und Normen	27
3.1	Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung und des Gefüges	27
3.2	Mikroporosität und thermische Dehnung	27
3.3	Bestimmung der hydrischen Dehnung	29
3.4	Bestimmung der Festigkeitsparameter	29
3.5	Bestimmung der Schneelast	32
3.6	Normen für Dach- und Wandschiefer.....	33
3.6.1	Abmessungen	34
3.6.2	Bestimmung der Biegefestigkeit.....	35
3.6.3	Bestimmung der Wasseraufnahme	35
3.6.4	Prüfung der Frost-Tau-Wechsel-Beständigkeit.....	36
3.6.5	Prüfung der Temperatur-Wechsel-Beständigkeit	37
3.6.6	Prüfung der Beständigkeit gegen Schwefeldioxid	37
3.6.7	Petrographische Untersuchungen	38
3.6.8	Bestimmung des Karbonatgehaltes und des nicht-karbonatgebundenem Kohlenstoffs	40
4	Eigenschaften von Schiefer	41
4.1	Definition und Klassifikation	41
4.2	Petrographie und Mineralogie.....	41
4.3	Gefüge.....	47
4.4	Optische Eigenschaften.....	50
4.5	Festigkeiten.....	55
4.5.1	Festigkeitsanisotropie von Schiefer	55
4.5.2	Biegefestigkeit	56
4.5.3	Ringbiegefestigkeit	60
4.5.4	Elastizitätsmodul, Verformungsmodul und Poissonzahl.....	61
4.5.5	Druckfestigkeit	63
4.5.6	Zugfestigkeit.....	64
4.5.7	Ausbruchslast am Ankerdorn	65

4.5.8	Härte und Abrieb	65
4.5.9	Spaltbarkeit	67
4.6	Dichte und Porosität	69
4.7	Thermische Eigenschaften	71
4.8	Hygrische und hydrische Eigenschaften	77
4.8.1	Feuchtetransport in Gesteinen	77
4.8.2	Wasseraufnahme	79
4.8.3	Hydrische Dehnung	80
	Literatur	83
5	Verwitterung von Schiefer	85
5.1	Einführung und Umweltbedingungen	85
5.2	Klassifikation von Verwitterungsformen	88
5.3	Schäden durch mechanische Verwitterungsprozesse	91
5.4	Chemische Verwitterung	93
5.5	Oxidation	96
5.6	Biologische Besiedlung	98
	Literatur	98
6	Abbau und Produktion	99
6.1	Überblick	99
6.2	Produktion	102
6.2.1	Produktion von Dachschiefer	102
6.2.2	Andere Schieferprodukte	104
	Literatur	107
 Teil II Schiefervorkommen		
7	Die Schiefer Europas	111
7.1	Schiefer in Großbritannien	111
7.1.1	Schottland	111
7.1.2	Südwestengland	119
7.1.3	Wales	121
7.1.4	Cumbria	127
7.2	Schiefer in Irland	128
7.2.1	Schiefer von Valentia Island	130
7.2.2	Schiefer in Tipperary County	130
7.3	Schiefer in Spanien	130
7.3.1	El Courel, Valdeorras, La Cabrera und Alto Bierzo	135
7.3.2	Monte Rande	141
7.3.3	Riofrio de Aliste	142
7.3.4	Bernardos	144
7.3.5	Villar del Rey	146
7.4	Schiefer in Frankreich	147
7.4.1	Die Schiefer des Armorikanischen Massivs	148
7.4.2	Corrèze – Donzenac	158
7.4.3	Lorèze and Aveyron	159
7.4.4	Dourgne	161
7.4.5	Schiefer in den Pyrenäen	162
7.5	Schiefer der Ardennen	167
7.6	Schiefer in Deutschland	177
7.6.1	Das Rheinische Schiefergebirge	178
7.6.2	Harz	188
7.6.3	Thüringen und Oberfranken	193
7.6.4	Sachsen	203

7.7	Schiefer in der Tschechischen Republik	209
7.7.1	Železný Brod	210
7.7.2	Rabštejn nad Střelou	212
7.7.3	Mähren und Schlesien	216
7.8	Schiefer in Polen	220
7.9	Schiefer in der Slowakei	221
7.10	Schiefer in Ungarn	223
7.11	Schiefer in der Schweiz	223
7.11.1	Frutigen	227
7.11.2	Sernftal (Engi und Elm)	228
7.12	Schiefer in Italien	234
7.13	Schiefer in Russland	239
7.13.1	Südüral	239
7.13.2	Schiefer des Kaukasus	244
7.13.3	Sotschi-Adler	244
7.13.4	Nordossetien-Alanien	246
7.14	Schiefer in der Ukraine	247
7.15	Schiefer in Georgien	248
	Literatur	253
8	Die Schiefer Nordamerikas	255
8.1	Überblick	255
8.2	Schiefer in Kanada	255
8.2.1	Neufundland	258
8.2.2	Nova Scotia	261
8.2.3	Die Schiefer von Bas-Saint-Laurent	261
8.3	Schiefer in den Vereinigten Staaten	265
8.3.1	Vermont und New York	265
8.3.2	Maine	270
8.3.3	Pennsylvania und Maryland	274
8.3.4	Virginia	282
8.3.5	Arkansas	282
8.3.6	Kalifornien	288
8.3.7	Georgia	289
	Literatur	291
9	Die Schiefer Südamerikas	293
9.1	Schiefer in Argentinien	293
9.2	Schiefer in Uruguay	293
9.3	Schiefer in Peru	294
	Literatur	301
10	Schiefer Asiens und Australiens	303
10.1	Schiefer in China	303
10.2	Schiefer in Vietnam	303
10.3	Schiefer in Laos	303
10.4	Schiefer in Japan	305
10.5	Schiefer in Nordkorea	306
10.6	Schiefer in Nepal	306
10.7	Schiefer in Indien	307
10.7.1	Schiefer in Himachal Pradesh	309
10.7.2	Schiefer in Jammu and Kashmir	314
10.7.3	Schiefer in Haryana	314
10.7.4	Schiefer in Andrah Pradesh	314

10.8 Schiefer in Australien	316
10.8.1 Die Schiefer von Willunga und Mintaro	316
10.8.2 Die Schiefer von Tasmanien	318
Literatur	320

Das Kapitel beschreibt die wirtschaftliche Bedeutung von Schiefer als Werkstein. Die Spaltbarkeit von Schiefer ermöglicht die Herstellung von 2–3 mm dünnen Decksteinen. Hauptsächlich wird Schiefer für Dächer und Fassaden im klassischen Überdeckungsstil verwendet. Seit prähistorischen Zeiten hat Schiefer aber auch eine starke Tradition als Werkstein für andere architektonische Zwecke, wenn auch weniger dominant.

Eine umfassende und detaillierte Erläuterung vor allem für die US-amerikanischen und internationalen Deckstile findet sich in der „*Slate Roof Bible*“ von Jenkins (2016). Abbildungen zu den regionalen Stilen und jeweiligen Erscheinungsbildern der Schiefer finden Sie in den entsprechenden Kapiteln zu den Schiefervorkommen.

In fast allen Ländern der westlichen Welt werden rechteckige Decksteine mit gewissen Modifikationen für Schieferbedachungen und -verkleidungen verwendet (Abb. 1.1 und 1.2). Die Decksteine befestigt man üblicherweise mit Schieferhaken oder -nägeln. In Spanien und Swanetien (Georgien) kommen traditionell unregelmäßige Decksteine zum Einsatz, wobei man in Spanien in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts dazu überging, rechteckige Decksteine zu benutzen, so wie es in Frankreich und Belgien traditionell üblich ist. Die Deckung mit unregelmäßigen Decksteinen, auch als Wilde Deckung bekannt, wird immer noch ausgeführt und ergibt eine Art Schieferkunstwerk, das für jedes Dach einzigartig ist. Dies ist auch eine Herausforderung für den Dachdecker, denn jeder Deckstein muss auf dem Dach zugerichtet werden (Abb. 1.1f), damit die endgültige Gestaltung schließlich den technischen Anforderungen entspricht.

In Deutschland kann man grundsätzlich drei Deckarten unterscheiden: deutsche Deckung oder Bogenschnittdeckung (Abb. 1.1a), Altdeutsche Deckung (Abb. 1.1b), und Schuppendeckung. Besonders die Altdeutsche Deckung ist einzigartig und typisch für Deutschland, obwohl sie heute zunehmend durch die deutsche Deckung ersetzt wird. Bei der altdeutschen Deckung ist die Breite der Decksteine

unregelmäßig und die Höhe nimmt von der Traufe zum First hin ab. Die Decksteine müssen traditionell vom Dachdecker kartiert und auf die endgültige Form zugerichtet werden. Kartieren bedeutet, dass der Dachdecker die angelieferten unregelmäßigen Schieferstücke entsprechend ihrer Größe sortiert, damit die erwähnte Abnahme von der Traufe zum First ein ästhetisches Gesamtbild ergibt.

Heutzutage sind die Decksteine aus wirtschaftlichen Gründen oft schon vorsortiert. Die Form der Decksteine ist regional unterschiedlich und man benötigt linke Decksteine, wenn die Schieferdeckung von links unten beginnt (Rechtsdeckung) oder rechte Decksteine, wenn die Schieferdeckung von rechts unten beginnt (Linksdeckung). Die Orte auf dem Dach können unterschiedliche Gestaltungen zeigen, weil Dachdecker Ortssteine manchmal in einer bestimmten Form zurichten und dem Dach so eine Art persönliche Handschrift verleihen.

Die klassische Schieferdeckung ist mit einer eher traditionellen Architektur verbunden, da sie gemäß der Fachregeln für Dachdeckungen mit Schiefer ein Dach mit einer Mindestneigung von 22°, z. B. für Rechteckdeckung und von 30° für Spitzwinkeldeckung, benötigt. Eine Unterschreitung der Regeldachdeckung von mehr als 10° ist nicht zulässig. Jeder Deckstein wird mit Nägeln oder Haken befestigt (Abb. 1.3). Der Vorteil von Nägeln mit entsprechender Überlappung ist, dass sie nicht zu sehen sind.

In Großbritannien wird der Schiefer im Allgemeinen nach Spaltstärken sortiert und mit Nägeln befestigt. Die dickeren und schwereren Decksteine werden an der Traufe angebracht und die Spaltstärke nimmt zum First hin ab (Jenkins, 2016).

In den USA umfassen die Schieferstile „standard“, „random width“, „textural“, „graduated“ und „staggered“ (Abb. 1.1g, h). Bei „standard“ haben alle Schiefer die gleichen Abmessungen, d. h. einheitliche Längen und Breiten, können jedoch unterschiedliche Farben umfassen (Abb. 1.2). Wenn die Decksteine gleiche Längen, aber unterschiedliche Breiten haben, spricht man von „random width“.



Abb. 1.1 **a** Deutsche Deckung / Bogenschnitt (Erzgebirge); **b** Altdeutsche Deckung (Erzgebirge); **c** Rechteckdeckung mit Ronde und Carrée (La Rochelle, Frankreich); **d** Spitzwinkel (Ligurien, Italien); **e** gezogene Rechteckdeckung; **f** Wilde Deckung; **g** „staggered butt“ mit Höhen und Breiten (Berlinsville, PA, USA); **h** „standard American“ (Katholische Kirche „Christ the King Parish“ in Rutland, VT, USA)

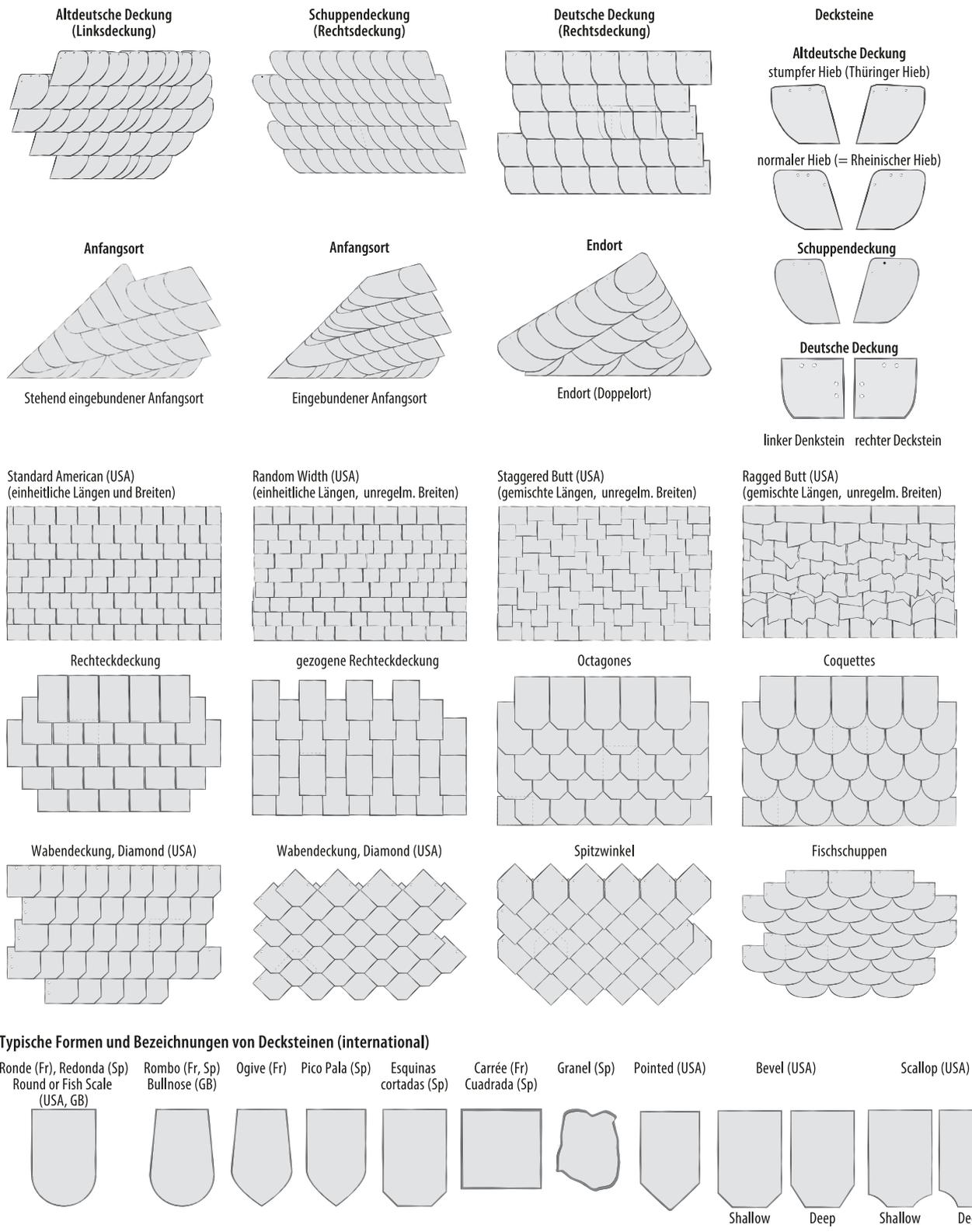


Abb. 1.2 Übersicht über Deckstile für Dächer und Fassaden sowie Formen von Decksteinen

Bei „textural“ können die Spaltstärken, Farben, Abmessungen, Texturen und Schiefersorten gemischt werden. Beim „graduated“ beginnt die Schieferdeckung an der

Traufe mit dickeren und längeren Decksteinen und nimmt zum First hin allmählich ab. Bei „staggered“ werden Schiefer mit unterschiedlichen Längen und gemischten Höhen



Abb. 1.3 a Deutsche Deckung (Bogenschnitt), wie üblich in Deutschland mit Nägeln befestigt; b mit Klammern befestigte Decksteine in Brive-la-Gaillarde (Frankreich); c–e große Decksteine (e) werden auf dem Dach (c) mit Dübeln aus Kastanienholz (d) befestigt (Zentralmassiv, Hautefage, Frankreich); f mit Klammern befestigte Decksteine in Martelange (Belgien)

verwendet, sodass das Dach ein gestaffeltes Aussehen erhält (Jenkins, 2016).

Bei der Befestigung mit Haken sind diese sichtbar, was sich zumindest für den Autor als störend auf die Ästhetik eines Schieferdaches oder einer Fassade auswirkt (Abb. 1.3b, f). Eine interessante Art der Befestigung ist im Zentralmassiv in Frankreich zu sehen, wo jeder Deckstein mit einem Holzdübel befestigt wird (Abb. 1.3c, d). Dem Autor wurde berichtet, dass nur Holz von Kastanienbäumen verwendet wird, weil es das am besten geeignete Material sei.

Manchmal werden Zierbänder, Ornamente oder Motive (Abb. 1.4) in Dächer und Fassaden eingearbeitet. Schiefer ist sehr geeignet für diese Arbeiten, weil er vergleichsweise leicht in jede gewünschte Form gebracht werden kann, was natürlich auch handwerkliches Geschick erfordert.

Darüber hinaus zeigen Dächer manchmal Dekorationen in Form von Mustern, Inschriften, Installationsdaten, Initialen oder Namen. Abgesehen von den Mustern sind dekorative Dächer in Europa nur selten zu sehen, in den USA jedoch weit verbreitet. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Schiefer dort eine breite Farbpalette vorweisen und somit solche Arbeiten begünstigen.

Eine besondere Form von Ornamenten auf Schiefer ist die Verwendung von Stanniol, die man in Franken besichtigen (Abb. 7.102) kann und deren Fertigung in Abb. 1.5 dargestellt ist.

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, wird Schiefer als Werkstein auch für andere architektonische Zwecke verwendet, z. B. für Pflaster, für Mauerwerk und Wände sowie für Sockelverkleidungen. Vor allem für Mauerwerke oder Wände ist Schiefer sehr gut geeignet, da man die Dicke des einzelnen Steins durch Spaltung relativ einfach anpassen kann.

Schiefer wird auch im Innenbereich für Küchenplatten, Tische, Fußböden, Bäder usw. verwendet, wobei die Oberfläche oft geschliffen, gebürstet oder poliert wird. Aufgrund seiner Spaltbarkeit ist es möglich, große Platten mit Kantenlängen von mehr als 2 m nur durch Spalten zu gewinnen, während andere Steine geschnitten werden müssen.

Die Basilika S. Salvatore dei Fieschi in Cogorno (Italien) wurde 1244 errichtet und gilt als das bedeutendste romanisch-gotische Bauwerk in Ligurien (Abb. 1.6). Die Fassade ist im unteren Teil aus ligurischem Schiefer gefertigt



Abb. 1.4 a Muster im Schieferdach des Museums für dekorative Kunst in Prag; b ein für die Lausitz typisches Muster in einer Schieferfassade (Swinjarnja/Schweinerden); c Vögel (Bundenbach); d Inschrift mit New-York-Red-Schiefer nördlich von Middle Granville (NY State, USA)

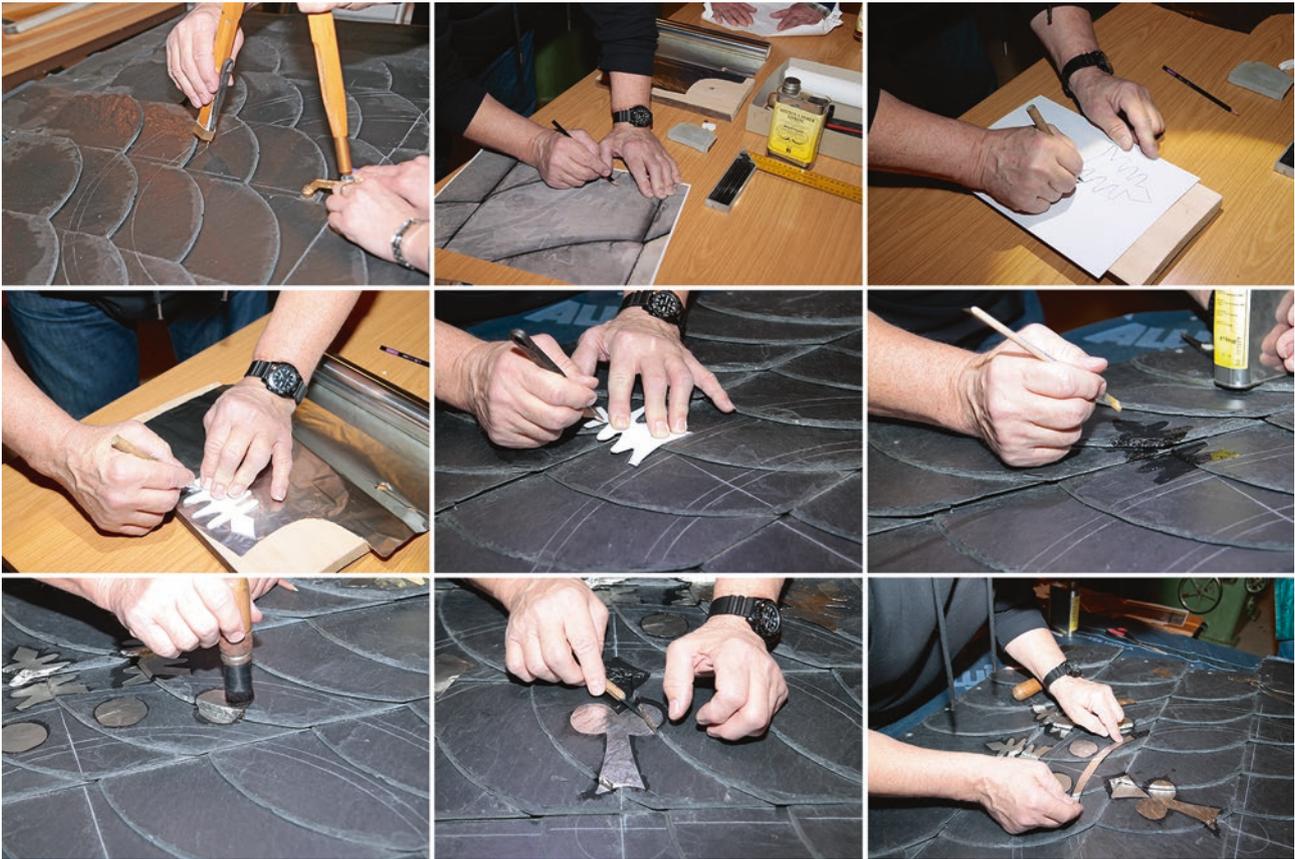


Abb. 1.5 Fertigung von Mustern mittels Stanniol auf Schiefer, wie man sie in Oberfranken an einzelnen Häusern antrifft. (Fotos: frdl. Genehmigung Herr Scheidig, 2022)

und zeigt im oberen Teil abwechselnd Bänder aus weißem Marmor und grauem Schiefer. Das zentrale Maßwerk in Form einer gotischen Fensterrose besteht aus weißem Marmor, die begleitenden Pilaster auf beiden Seiten zeigen Reliefs des Löwen, des Kalbes, des Menschen und des Adlers. Es handelt sich um Symbole der Evangelisten, und auch sie sind aus Marmor gefertigt. Andere Reliefs an der Fassade bestehen aus Schiefer, befinden sich aber in einem weniger guten Zustand als die aus Marmor. Die Bänder aus Marmor und Schiefer sind typisch für zahlreiche Gebäude in Ligurien, wie die Kirche von San Matteo oder die beeindruckende Kathedrale von San Lorenzo in Genua (Abb. 7.136). Diese Gebäude zeigen, dass Schiefer auch für Gewölbe, Portale und für Säulen verwendet werden kann. Als Beispiel sei hier die Kirche Santuario di Nostra Signora del Ponte in Lavagna genannt (Abb. 7.135c).

Ein interessantes, modernes Gebäude mit einem Schieferdach ist die Kirche Église Sainte-Jeanne-d'Arc in Rouen (Frankreich), die 1979 eingeweiht wurde (Abb. 1.7).

Die Form der Kirche soll einerseits die Flammen des Scheiterhaufens der Jeanne d'Arc symbolisieren, der am 30. Mai 1431 an dieser Stelle errichtet wurde, und andererseits die maritime Welt von Rouen. Eine weitere moderne architektonische Anwendung von Schiefer ist in Abb. 1.8 zu sehen.

Schiefer ist ein sehr feinkörniges und vergleichsweise weiches Gestein, das sich insbesondere auch für bildhauerische Arbeiten eignet, da sich sehr feine und detaillierte Ornamente und Muster herausarbeiten lassen. Skulpturale Arbeiten aus Schiefer für Grabsteine und Epitaphe sind in den Ardennen zu sehen, wie zum Beispiel in Martelange (Belgien, Abb. 1.9), aber auch in Peach Bottom (USA, PA, Abb. 8.26) oder in Cornwall (GB, Abb. 7.13).

Eine eher exotische Verwendung ist in Abb. 1.9 mit dem Ölgemälde auf Schiefer des niederländischen Malers Leonaert Bramer (1596–1674) zu sehen. Ein weiteres Ölgemälde auf Schiefer ist die Madonna della Vallicella des flämischen Künstlers Peter Paul Rubens (1577–1640)



Abb. 1.6 Basilika S. Salvatore dei Fieschi in Cogorno (Ligurien, Italien) mit abwechselnden Bändern aus weißem Marmor und grauem Schiefer im oberen Bereich



Abb. 1.7 Kirche Sainte-Jeanne-d' Arc auf der Place du Vieux-Marché in Rouen (Frankreich)



Abb. 1.8 Schieferskulptur an der Busstation in Blaenau Ffestiniog, Wales (frdl. Genehmigung Aled Owen 2020)

für den Altar der Kirche Santa Maria in Vallicella in Rom (Italien).

Das reich verzierte Schiefermöbel in Abb. 1.10 verdeutlicht erneut das hohe Potenzial von Schiefer für bildhauerische Arbeiten. In Ligurien sind sehr häufig Tür- und Portalstürze aus Schiefer gefertigt, die entweder Ornamente oder (religiöse) Szenen zeigen (Abb. 7.135a, c).

In Abb. 1.10d, e sind marmorierte Schiefermöbel im Slate Valley Museum und der Pember Library in Granville (NY, USA) zu sehen, die in der „Schieferwelt“ einzigartig zu sein scheinen. Mitte des 19. Jahrhunderts begann man mit der Herstellung von Dekorationsartikeln, wie Tischplatten, Regalen, Konsolen oder Türschildern. Marmorierter Schiefer war billiger als Marmor aus Vermont oder Europa und ermöglichte es Familien der Mittelschicht, „den Anschein von Reichtum in ihren Häusern zu vermitteln“ (Slate Valley Museum, Granville 2018). Die vorgeschneittenen Schieferstücke wurden in eine Öl- und Farbmischung getaucht und in Öfen gebrannt. Danach polierte und lackierte man die Stücke und brannte sie erneut (Abb. 1.10d, e). Schiefer wird auch als Material für künstlerische Arbeiten verwendet (Abb. 1.11).

Eine dem Autor nur aus Oberfranken bekannte Verzierung von Schieferfassaden ist die sogenannte Stanniolmalerei, die das Dunkle der Schiefer etwas aufhellte (Abb. 7.102 und 7.103). Die Beschreibung der Technik ist Seuling und Scheidig (1999) entnommen.

Grundsätzlich wurden die Ornamente und Figuren aus Stanniol geschnitten und mit Leinöl auf die Schiefer geklebt. Dabei war das Schneiden eine sonntägliche oder abendliche Arbeit und auch das Aufkleben durfte nicht zu teuer sein.

Zuerst wurden Pappschablonen von den entsprechenden Figuren und Ornamenten gefertigt. Anschließend wurden



Abb. 1.9 Ölgemälde auf Schiefer des niederländischen Malers Leonaert Bramer (1596–1674): **a** Bauern am Feuer und **b** Mors Triumphans (Quellen: Wikicommons); **c** Grabstein in Martelange (Belgien)

die Schablonen auf Zinnfolie gedrückt und dann die Formen aus der Folie geschnitten. Nun wurde die Pappschablone auf die Schiefer gelegt und der Umriss mit einer Reißnadel umrissen. Somit wusste der Dachdecker, welches ausgeschnittene Stück wo platziert werden muss. Die umrissenen Flächen wurden nun mit Leinölfirnis als Klebstoff bestrichen und anschließend wurden die ausgeschnittenen Stanniolfolien aufgelegt. Die Haltbarkeit lag bei 20 Jahren und zur Konservierung wurden die Schiefer mit heißem Leinöl eingelassen.

Insgesamt ist (Dach-)Schiefer nach wie vor ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Der weltweit größte Produzent ist Spanien, gefolgt in Europa von Deutschland und Italien in Bezug auf die Exportrate (Abb. 1.12). China ist derzeit der zweitwichtigste Schieferproduzent der Welt.

Das untere Diagramm in Abb. 1.12 verdeutlicht einen weiteren wirtschaftlichen Fakt, nämlich den stetigen Rückgang der italienischen Schieferproduktion. Anfang der 1990er-

Jahre entstand als Folge der Wiedervereinigung Deutschlands ein völlig neuer Schiefermarkt speziell für spanischen Schiefer. Aber auch der fast vollständige Wegfall der französischen Schieferproduktion wurde durch Spanien „kompensiert“. Diese zunehmende Globalisierung des Schieferhandels führt zu einem allmählichen Verlust des typischen Erscheinungsbildes spezifischer regionaler Schieferdächer und damit zu einem schrittweisen Verlust des kulturellen Erbes.

Die Diagramme in Abb. 1.13 zeigen die Exporte und Importe von Schiefer und anderen Werksteinen, nicht jedoch den Umsatz in den jeweiligen Ländern, der das Verhältnis noch einmal verändern würde. Dennoch kann man dem Diagramm für Spanien entnehmen, dass der Export von Schiefer deutlich höher ist als der aller anderen Werksteine zusammen, während das Diagramm für Frankreich das gleiche Phänomen für die Importrate von Schiefer ausweist.

Während in der Vergangenheit Schieferdächer in ihrer jeweiligen Eigenart den verschiedenen Schieferprovinzen



Abb. 1.10 a–c Kamin und Spiegel mit einem reich verzierten Rahmen aus Schiefer im Schiefermuseum in Angers (Frankreich); d, e marmorierter Kamin mit Spiegel in der Pember Library (d) und im Schiefermuseum (e) in Granville (NY, USA)



Abb. 1.11 Resonance (Künstlerin: Sue Jones, Fotograf: Lorentz Gulachsen, UK)

einen unverwechselbaren Charakter verliehen, muss man heute eine gewisse Homogenisierung hin zu grau-schwarzen Schieferdächern feststellen, da die meisten Schiefer aus Spanien kommen. Dieser Trend ist bei vielen Werksteinen zu beobachten. In Frankreich kann man jedoch sehen, dass aus kristallinen Schiefen im Zentralmassiv immer noch Dachschiefer produziert wird. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich diese Schieferdächer so sehr von allgemeinen (Ton-) Schieferdächern unterscheiden, dass sie nicht einfach ohne offensichtliche Veränderung der Kulturlandschaft ersetzt werden können.

Ein wichtiger Aspekt des globalisierten Werksteinmarktes sind die Handelsnamen für die verschiedenen Schiefer. Für den Werksteinmarkt ist bekannt, dass ein Gestein von einem Standort unter zahlreichen Namen gehandelt werden kann. Die europäische Norm EN-12326-1 schreibt vor, dass „jede Schieferplatte in einer Liefermenge [...] aus dem angegebenen Steinbruch, Bergwerk oder Schieferlager stammen“ muss.

Die meisten Händler verwenden oft Handelsnamen anstelle des Namens des Steinbruchs, aus dem der Schiefer

stammt. Wie bei Werksteinen kann derselbe Schiefer unter verschiedenen Handelsnamen vertrieben werden.

Eine weitere verwirrende und ärgerliche Tatsache ist die oft irreführende petrographische Bezeichnung für Gesteinsarten, die zu falschen Erwartungen bei den Kunden führen können. Prominentes Beispiel hierfür ist der Begriff „Marmor“, der für so gut wie jeden polierbaren Kalkstein verwendet wird. Der petrographische Begriff „Marmor“ ist jedoch für ein karbonatisches metamorphes Gestein definiert. Dies ist nicht nur von akademischer Bedeutung, denn ein Kalkstein hat andere Eigenschaften als ein Marmor. Vor vielen Jahren wurde der Autor auf einer internationalen Messe mit einem Quarzit konfrontiert, der als Granit verkauft wurde, und es schien, dass es sich nicht um einen vorsätzlichen Betrug handelte, sondern eher um fehlendes Wissen, Ignoranz oder einfach um wirtschaftliches Interesse. Das ist, als würde man auf einem Metallmarkt Aluminium als Kupfer verkaufen.

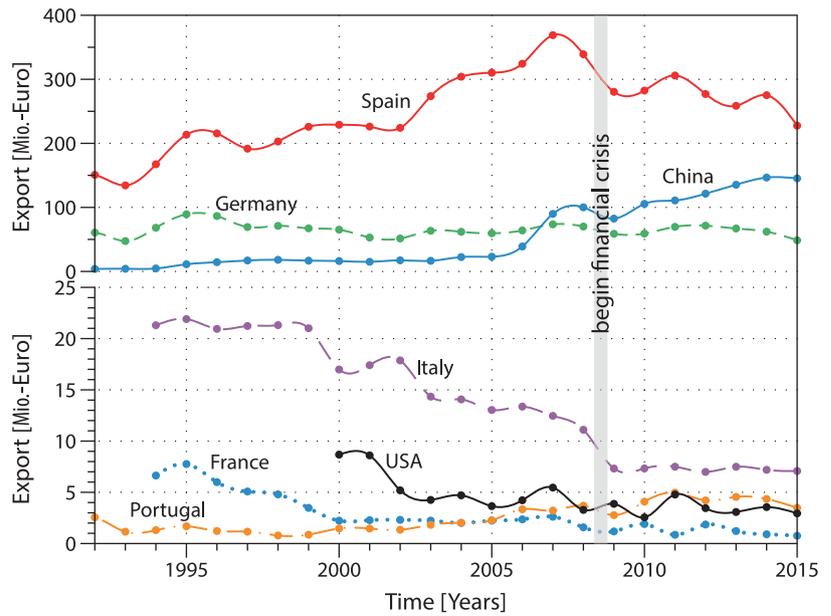
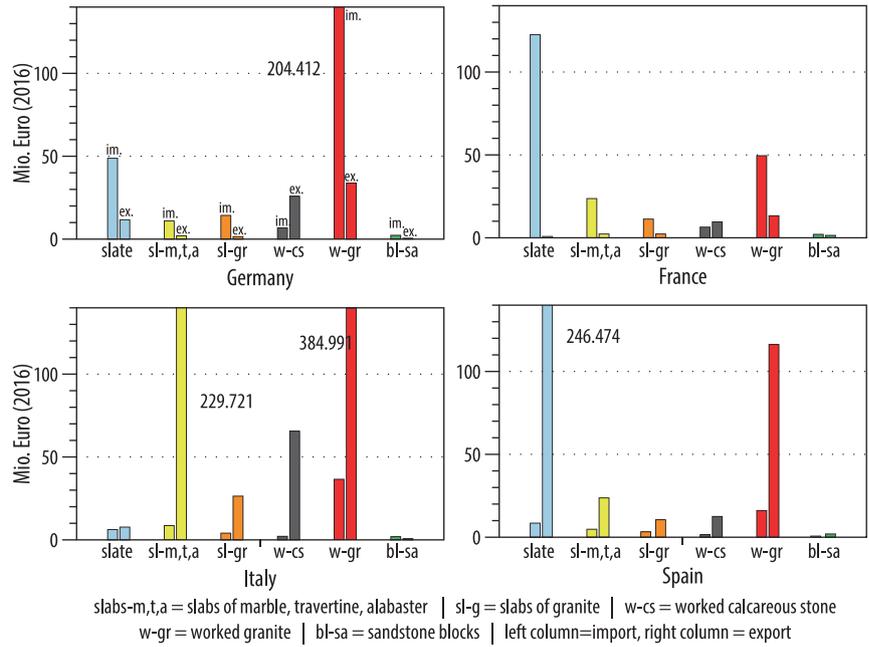
In der EN-12326-1 heißt es für die Definition von Dachschiefer: „Schiefer, der für Dachdeckungen und Außenwandbekleidungen verwendet wird, und der leicht entlang einer Schieferung in dünne Platten gespalten werden kann.“

Weiter heißt es, dass Schiefer ein Gestein ist, welches „an der Grenze zwischen sedimentären und metamorphen Formationen beginnt und bei epizonal-metamorphen Phyllitformationen endet.“

Aus Sicht des Autors ist es wichtig, dass eine Schieferung vorliegt und diese die Spaltfläche darstellt. Gesteine, die durch reinen lithostatischen Überlagerungsdruck entstehen – so wie der als Schiefer gehandelte Tonstein aus Minas Gerais – haben keine Schieferung, sondern spalten nach der sehr gut ausgebildeten Schichtung.

Spielt das eine Rolle? Ja. Es mag für die Gestaltung eines Innenraums unwichtig sein, aber die Schieferung bei Tonschiefern führt zu einer höheren Elastizität, als dies bei Tonsteinen der Fall ist. Diese Tatsache ermöglicht das Zurichten von Dachschiefer, ohne dass er bricht. In einem Fall hatte ein Haus ein Schieferdach mit einem sehr rustikalen Aussehen und der Schiefer wies Spaltstärken von 8–10 mm auf. Der Schiefer wurde durch einen Tonstein ersetzt, um das ursprüngliche Aussehen zu erhalten, aber beim Zurichten der Decksteine lag die Bruchrate bei ca. 50 %. Dies verdeutlicht noch einmal sehr genau, dass die Verwendung korrekter Begriffe falsche Erwartungen und wirtschaftliche Verluste verhindern kann.

Abb. 1.12 Exportvolumen verschiedener Schiefer produzierender Länder, unabhängig von den Endprodukten. Es muss berücksichtigt werden, dass es sich teilweise um Reexporte handeln kann. (Quelle: Welt Bank Februar 2022)



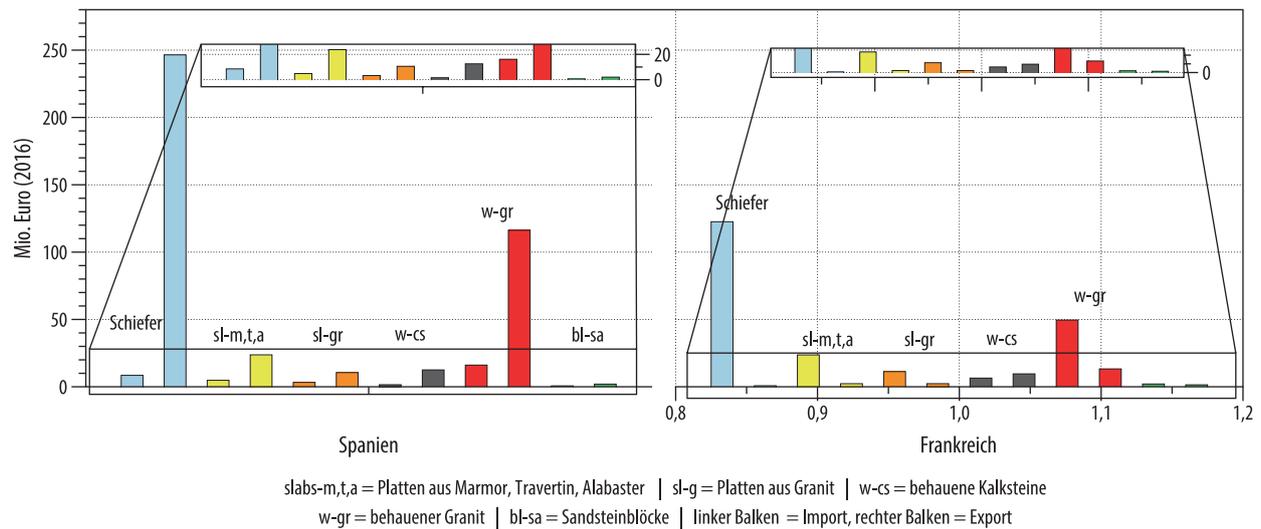


Abb. 1.13 Import- und Exportvolumen von Schiefer im Vergleich mit anderen Werksteinen im Jahre 2016 beispielhaft für Frankreich und Spanien. (Quelle: Webseite UN Comtrade 2017, 2018)

Literatur

Jenkins, J. C. (2016). *The slate roof Bible* (3. Aufl.). Joseph Jenkins Inc.

Seuling, M., & Scheidig, S. (1999). *Gebäude im Schieferkleid – Zeugnisse der Handwerkskunst in Landkreis Kronach (22/1999)*. Landkreis Kronach.

Teil I

Entstehung, Untersuchungsmethoden und Normen, Eigenschaften sowie Abbau und Produktion

2.1 Sedimentation

Die tektonischen Verhältnisse, das Gebiet, aus dem das Material stammt, sowie die physikalischen und chemischen Bedingungen während der Sedimentation sind wichtig für das Sedimentationsmuster und schließlich für die Eigenschaften der Schiefer.

Das Hauptgebiet der Sedimentation liegt in den hemipelagischen bis pelagischen Bereichen des passiven Kontinentalrandes, in denen z. B. die Schiefer von Galizien, Spanien (Abschn. 7.3.1), Thüringen (Abschn. 7.6.3) und Vermont, USA (Abschn. 8.3.1) abgelagert wurden (Abb. 2.1).

Hemipelagische Sedimente werden in Meerestiefen zwischen 2000 und 2800 m abgelagert, während die pelagischen Sedimente dem Meeresboden der Tiefsee angehören.

Ein weiteres Gebiet ist der flache, offene Schelf, auf dem die linksrheinischen Schiefer und die Schiefer von Angers, Cornwall und Swanetien (Georgien) abgelagert wurden.

Ein dritter Bereich ist die Backarc-Region, die das sedimentäre Umfeld der Schiefer von Wales bilden (Abb. 2.1). Aktive Kontinentalränder, die oft ein Backarc umfassen, sind durch vulkanische Gebirgsketten und einen kurzen Transport gekennzeichnet. Das ist der Grund, warum das abgelagerte Material hier im Vergleich zu dem von passiven Rändern gröber ist. Die sedimentär-tektonischen Verhältnisse haben daher einen großen Einfluss auf die petrographische Zusammensetzung des Schiefers.

Die Sedimente der hemipelagischen bis pelagischen Bereiche bestehen aus biogenem Material und sehr feinkörnigem, siliklastischem Material und sind Ergebnis langzeitlicher Verwitterungsprozesse. Nach dem Transport, vor allem durch große Flusssysteme, werden sie am Rande der Ozeane abgelagert. Der größte Teil des Materials wird innerhalb des Kontinentalrandes – das sind die Küste, der Kontinentalschelf und der Kontinentalhang – abgelagert, wobei der feinkörnige Anteil weiter transportiert und in den tieferen Teilen des Ozeans abgelagert wird.

Das bedeutet, dass die Sedimente am Kontinentalhang im Allgemeinen feiner sind als die Sedimente auf dem Kontinentalschelf. Abb. 2.2a zeigt die verschiedenen Sedimentationsprozesse, wobei im Fall von Schiefer Turbidite (Trübestrome) und Suspension die dominierenden Mechanismen sind. Suspension führt zu einer gradierten Schichtung, was eine Trennung der Körner entsprechend ihrem Gewicht und ihrer Dichte während der Ablagerung bedeutet. Klassische Schiefer umfassen ein Korngrößenspektrum von pelitisch (unter 0,2 mm) bis psammitisch (0,02 bis 2 mm).

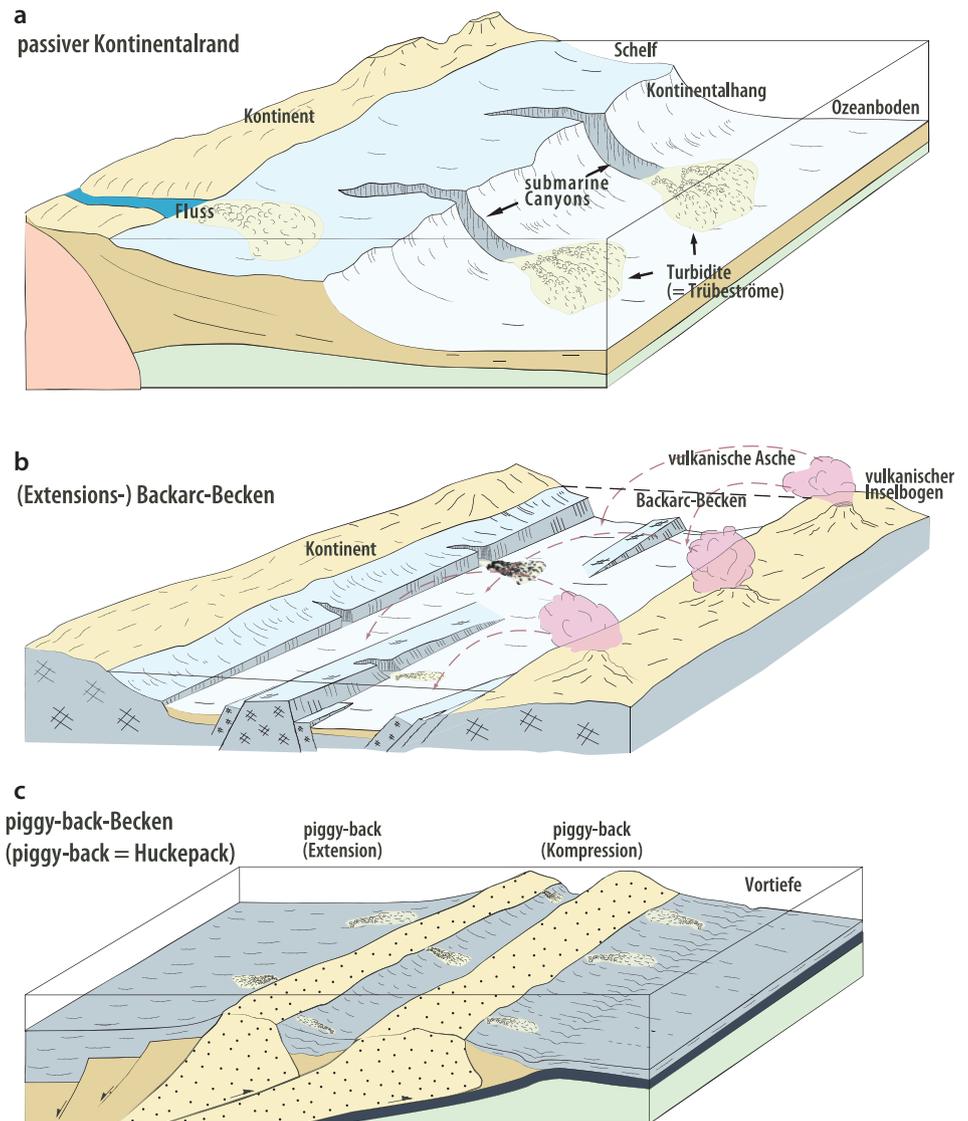
Die gradierte Sedimentation ist ein sich wiederholender Prozess, bei der die Sedimente einen leichten Übergang von hellen psammitischen zu dunklen pelitischen Bereichen zeigen (Abb. 4.2a).

Der Kontinentalhang wird oft von submarinen Canyons durchschnitten, durch die sich Trübestrome (Turbidite) bewegen. Trübestrome stammen vom Rand des Schelfs und sind mit Schlamm oder sehr kleinen Körnern beladen. Sie haben daher eine höhere Dichte als klares Wasser und sinken nach unten. Diese Strömungen können eine hohe Geschwindigkeit erreichen, wobei sich am Ende dieser Canyons das Material in Form von riesigen Fächern auf dem Meeresboden abgelagert. Dieser Prozess kann auch mehrfach ablaufen und führt zu einem typischen Muster: abgestufte Schichten mit häufig dünnen psammitischen Einschaltungen, die weite Gebiete bedecken können.

Im Gegensatz dazu zeigt das Sedimentationsmuster der Thüringer Schiefer eine kontinuierliche pelitische Sedimentation in einem wahrscheinlich pelagischen Milieu (Schubert & Steiner, 1972). Einem anderen Muster begegnen wir in den Schiefen von Mähren und Schlesien (Abschn. 7.7.3), die eine rhythmische Grauwacke-Sandstein-Schiefer-Folge aufweisen (Kumpera & Martinec, 1995), die zu rustikaleren Schiefen führt.

In Angers (Frankreich) kam es zu einer flachmarinen Sedimentation, während in den linksrheinischen Schiefergebieten das flachmarine Sedimentationsmilieu zusätzlich durch deltaische Sedimentation gekennzeichnet ist.

Abb. 2.1 a Sedimentation am passiven Kontinentalrand; b Backarc-Becken innerhalb eines Extensionsregimes; c Piggy-back-Sedimentation ist eine exotische Ablagerungsform für Schiefer (piggy-back = Huckepack)



In der flachmarinen Umgebung sind feinkörnige Sedimente typisch. Sturmereignisse können hier zu gestuften oder laminierten Schichtungen führen. Ein deltaisches Sedimentationsmilieu kann als Übergangszone zwischen fluviatilen und marinen Prozessen betrachtet werden. Deltas umfassen Sedimente mit Korngrößen, die von Schotter bis Ton reichen und die Sedimentation erfolgt, vereinfacht gesagt, in Küstennähe in Form von Deltafächern. Die Ablagerungen können sehr komplex sein, wobei sich feine und grobkörnige Anteile schnell abwechseln. Dies führt zu sehr unterschiedlichen Schiefertypen, wie man sie im linksrheinischen Gebiet findet.

Ein sehr spezifisches sedimentäres Milieu sind die sogenannten Huckepack-Becken („piggy-back basins“). Diese Art von Becken verdankt ihren Namen der Tatsache, dass sie mit Sedimenten gefüllt werden, während sie sozusagen von den sich bewegenden Platten „getragen“ werden (Ori & Friend, 1984).

Sie stehen in Zusammenhang mit Vorlandregionen aktiver Plattenkonvergenzen und zeichnen sich durch die Verbreitung turbiditischer und fluviodeltischer Sedimentabfolgen aus. Die Schiefer von Bas-Saint-Laurent (Kanada) sind in einem solchen sedimentären und tektonischen Umfeld entstanden. Die Sedimentation von Material aus dem angrenzenden Vulkanbogen, dem Akkretionsprisma sowie dem Kontinentalrand wird durch Hebung oder Senkung

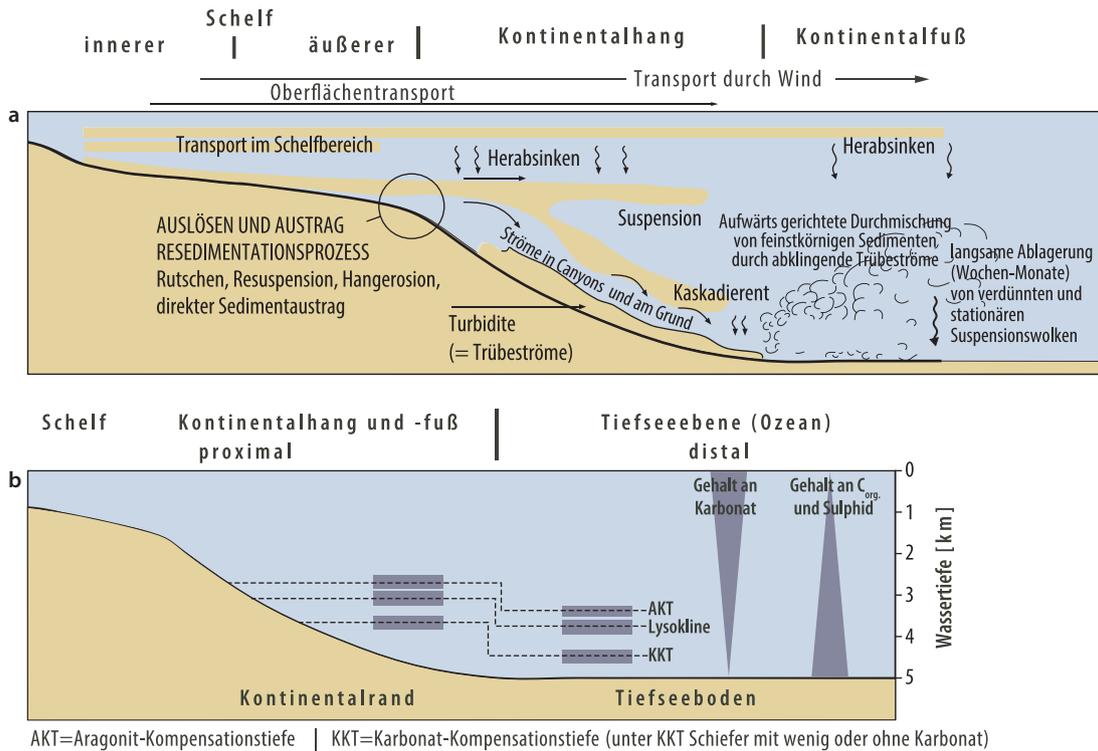


Abb. 2.2 a Typische Sedimentationsprozesse innerhalb der hemi- bis pelagischen Gebiete am passiven Kontinentalrand (umgezeichnet nach Reading, 1996). b Geochemische Bedingungen im Ozean in Bezug auf den Gehalt an Karbonat vs. C_{org} sowie entsprechende grundsätzliche Schiefertypen in Abhängigkeit der Wassertiefe (umgezeichnet nach Jenkyns, in: Reading 1978)

und durch Variationen in der Sedimentationsrate gesteuert (Schroetter et al., 2006).

Innerhalb der Backarc-Becken kann man zwischen extensionalen, neutralen und kompressiven Regimen unterscheiden. Ein extensionales Regime herrschte während der Sedimentation der kambrischen Schiefer von Wales und führte zu einer Horst-und-Graben-Struktur. Durch die von Störungen beeinflusste Sedimentation kommt es zu sehr schnellen Änderungen der Sedimentationsbedingungen, was zu großen Mächtigkeitsunterschieden innerhalb kurzer Distanzen führt.

Die Entwicklung von Backarc-Becken ist mit vulkanischer Aktivität verbunden, die feinkörnige Asche produziert. Die vulkanische Asche wird während des atmosphärischen Transports sortiert und anschließend in Ozeanbecken als pyroklastisches Gestein abgelagert. Vulkanische Asche kann zu rötlich oder grünlich gefärbten Schiefen führen, wie die Schiefer der Borrowdale-Gruppe im Lake District. Neben diesen physikalischen Prozessen steuern drei Prozesse die chemischen Bedingungen in der ozeanischen Wassersäule: Lösung, Produktion und Maskierung (Reading, 1996).

In den Ozeanen sinkt totes Plankton herab, das eine Quelle für Karbonat (Schalen) sowie organische Materie (C_{org}) ist. Die Löslichkeit von Karbonat wird durch Temperatur und Druck sowie die Menge an gelöstem CO₂ im Wasser bestimmt. Sie steigt mit abnehmender Temperatur sowie mit zunehmendem Druck und der Konzentration von gelöstem CO₂. Dieser Zusammenhang herrscht in den Ozeanen vor.

In einigen Kilometern Wassertiefe findet die Hauptauflösung von Aragonit statt (AKT=Aragonit-Kompensationstiefe), gefolgt von der Lysokline, unter der sich kein Kalziumkarbonat mehr anreichert (Abb. 2.2b). Einige 100 m tiefer folgt die Karbonat-Kompensationstiefe (KKT). Unterhalb der KKT wird kein oder fast kein Karbonat mehr abgelagert. In heutigen Ozeanen liegt die KKT in einer Tiefe von 4–5 km.

Unter normalen Bedingungen wird planktonisches organisches Material während seines Transports nach unten durch Oxidation zerstört. Dieser Prozess findet hauptsächlich in Tiefen zwischen 300 und 1200 m statt. Hier herrschen in einer Schicht Bedingungen, die von einem Mini-

mum an Sauerstoff und einem Maximum an CO_2 gekennzeichnet sind.

Organisches Material bleibt nur dann erhalten, wenn die Sauerstoffmenge gering und die Produktion und Zufuhr von organischem Material hoch ist. Wenn eine dieser Komponenten – organische Substanz versus Sauerstoff – einen sehr hohen Anteil aufweist, kann sie die andere dominieren. Dieses Verhältnis wird von Reading (1996) als Maskierung beschrieben.

Mit anderen Worten: Je tiefer das Sediment abgelagert wird, desto weniger Karbonat enthält es; umgekehrt steigt der Anteil an organischer Substanz und Schwefel. Unter diesen reduzierenden Bedingungen kann Schwefel mit Eisenionen (Fe^{2+}) zu Eisensulfidmineralen, und hier am häufigsten zu Pyrit (FeS_2), reagieren.

Dieser Zusammenhang ist wichtig für das Verständnis der Beschaffenheit eines Schiefers in Bezug auf seinen Schwefel-, Kohlenstoff- und Karbonatgehalt. Die Kenntnis der Bedingungen während der Sedimentation sowie die regionale geologische Situation können für eine erste Einschätzung des allgemeinen Charakters eines Schiefers hilfreich sein.

2.2 Metamorphose

Nach der Ablagerung der Sedimente findet zunächst eine Kompaktion dieses wasserreichen Schlammes statt. Der Prozess wird als Diagenese bezeichnet und verwandelt den Schlamm in einen festen Tonstein: die Porosität nimmt ab und das Wasser wird herausgedrückt.

Die Anchizone bildet den Übergang von der Diagenese zur niedriggradigen Metamorphose der Grünschiefer-Fazies (Abb. 2.3).

Diagenese und Anchizone können weiter in flache und tiefe Diagenese sowie in niedrige und hohe Anchizone unterteilt werden. Der Grad der Metamorphose ist mit einer Änderung der Lithologie verbunden. Die oft fälschlicherweise als „Schiefer“ gehandelten Schiefertone/Tonsteine von Minas Gerais in Brasilien entstehen z. B. innerhalb der diagenetischen Zone. Sie zeigen also keine durch Deformation und Metamorphose entstandene Schieferung, sondern spalten entlang der Schichtungsebene. Diese „Schiefer“ haben eine geringere Biegefestigkeit (10–30 MPa, Quelle: López-Mesones et al. 2007) und Elastizität als Schiefer im eigentlichen Sinne, wodurch eine feine Spaltung von 4–6 mm dünnen Decksteinen kaum oder gar nicht möglich ist.

Dachschiefer (Tonschiefer) im engeren Sinne sind ein Ergebnis der regionalen Metamorphose und entstehen bei Temperaturen von 200–300 °C und Druckverhältnissen von etwa 2–5 kbar (Abb. 2.3). Sie können der niedriggradigen

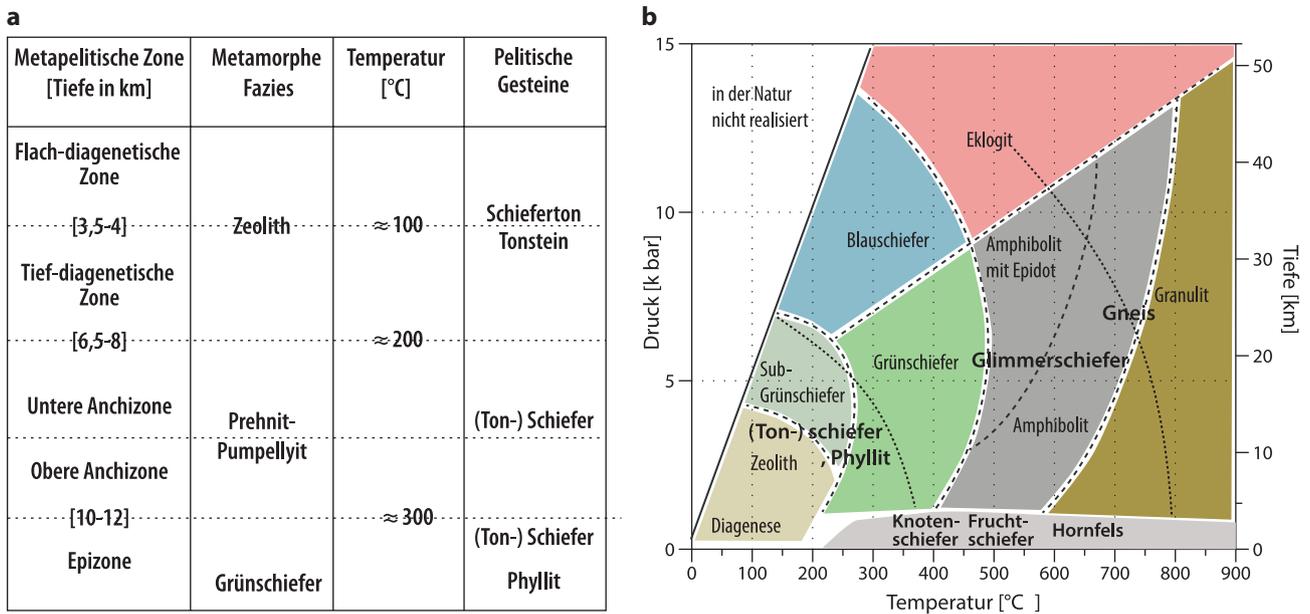


Abb. 2.3 a Übergang von Diagenese zur Metamorphose (umgezeichnet nach Frey & Robinson 1999); b Eskola-Diagramm der metamorphen Fazies entsprechend der Beziehung Druck – Temperatur – Tiefe mit entsprechenden (Dach-) Schiefnern

Prehnit-Pumpellyit- und der Grünschiefer-Metamorphosefazies zugeordnet werden. Phyllite entwickeln sich in der Epizone/Grünschiefer-Fazies. Im Gelände sind Schiefer und Phyllite oft kaum zu unterscheiden, aber Phyllite haben im Allgemeinen eine leicht seifige Oberfläche.

Der gesamte metamorphe Prozess von der Diagenese bis zur Epizone wird von der Veränderung des Gefüges und der mineralogischen Zusammensetzung begleitet. Tone sind z. B. bei Vorhandensein von Wasser leicht quellbar und haben damit einen Einfluss auf das Verwitterungsverhalten des Gesteins (Kap. 5).

Insbesondere bei der Wasseraufnahme bzw. den hygri-schen und hydrischen Eigenschaften (Abschn. 4.8) sind die Art wie auch die Anteile von Ton und Schichtsilikaten entscheidend. So implizieren die verschiedenen „Schiefer“-Typen bestimmte (technologische) Eigenschaften, weswegen die Begriffe korrekt verwendet werden sollten.

Kristalline Schiefer entwickeln sich in der Grünschiefer-, Blauschiefer- und Amphibolit-Fazies, während Gneis unter den Bedingungen der Amphibolit-, Granulit- und Eklogit-Fazies entsteht. Kristalline Schiefer und Gneise werden lokal auch zur Dacheindeckung verwendet. Abb. 2.4 zeigt den Zusammenhang zwischen einer Intrusion und der Umwandlung eines Schiefers zu anderen Gesteinsarten innerhalb einer Kontaktmetamorphose. In Richtung der Intrusion erfährt der Schiefer eine Härtung, was die Spaltbarkeit sehr erschwert bzw. ganz verschwinden lässt. Ein hornfelsartiger Schiefer, wie er in Kapstadt in Südafrika vorkommt, kann als das letzte spaltbare Gestein angesehen werden, während echter Hornfels ein hartes und nicht spaltbares Gestein ist.

Die Schiefer von Villar del Rey in Spanien (Abschn. 7.3.5) und Macduff in Schottland (Abschn. 7.1.1) wurden durch eine solche Kontaktmetamorphose umgewandelt. In Villar del Rey war die Intrusion von Gängen mit einer Sprossung (Blastese) von kleinen Chlorit- und Biotitkristallen sowie Xenoblasten von unregelmäßig geformtem Andalusit verbunden (García et al., 1991). Der Macduff-Schiefer erfuhr durch die Platznahme der Insch- und Boganclough-Intrusionen eine allgemeine Härtung. Fruchtschiefer werden in Deutschland in Theuma im Vogtland abgebaut (Abb. 4.1d).

2.3 Tektonik und Deformation

Der Umorientierung der Minerale während der Diagenese folgt eine erneute Einregelung durch die Faltung während der Gebirgsbildungsprozesse. Gebirgsbildungen sind oft mit mehreren Deformationsphasen von allgemein abnehmender Intensität verbunden. Man kann zwischen einer duktilen Deformation und einer nachfolgenden spröden Deformation unterscheiden.

Die duktile Deformation führt zu Falten und einer Schieferung. Die spröde Verformung bildet Klüfte und Störungen, wobei diese eine Verschiebung von Schieferlagern zur Folge haben können und somit auch den Abbau von Schiefer bedingen.

Das untere Querprofil in Abb. 2.5 ist eine verallgemeinerte Darstellung der verschiedenen tektonischen Zonen und entsprechenden Strukturen eines zusammen-

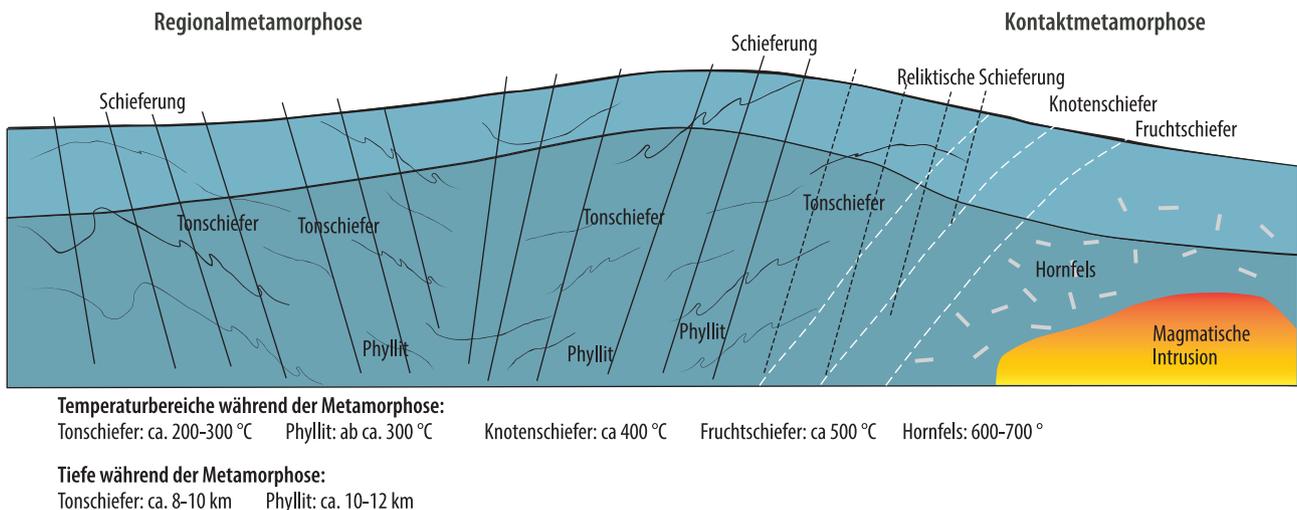


Abb. 2.4 Vereinfachtes Prinzip der Regional- und Kontaktmetamorphose mit entsprechenden Schieferarten