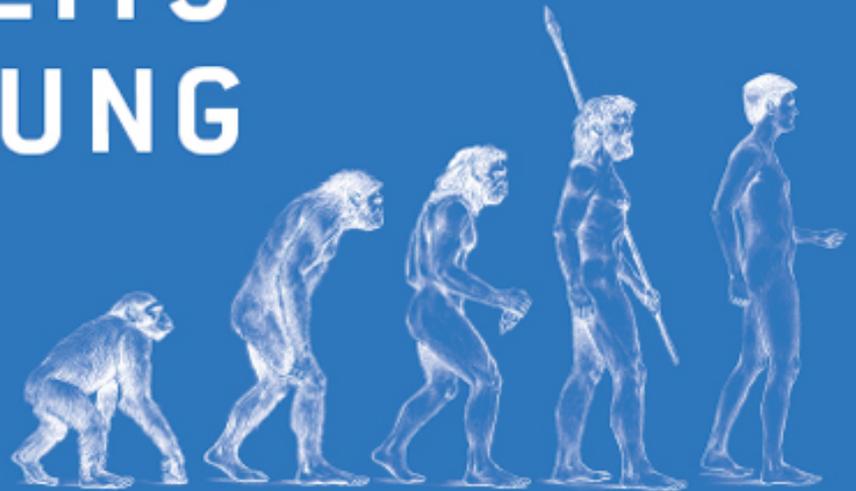


Frank Sirocko (Hg.)

WETTER, KLIMA,

# MENSCHHEITS- ENTWICKLUNG

VON DER EISZEIT  
BIS INS  
21. JAHRHUNDERT



THEISS

## Verzeichnis der Autoren

Eine Kurzvita der Autoren befindet sich am Ende des Bandes.

Frank Sirocko

Olaf Jöris

Detlef Gronenborn

Hartwig Löhr

Karen David-Sirocko

Rainer Schreg

Martin Street

Heini Wernli

Kurt W. Alt

Niels Bleicher

Markus Diehl

Stephan Dietrich

Frank Dreher

Markus Egg

Angelika Hunold

Sabine Gaudzinski-Windheuser

Bernd Kromer

Rouwen Lehné

Hans Nortmann

Christopher Pare

Stephan Pfahl

Martin Schönfelder

Klemens Seelos

Axel von Berg



**Frank Sirocko (Hrsg.)**

# **Wetter, Klima, Menschheitsentwicklung**

**Von der Eiszeit bis ins  
21. Jahrhundert**

3. Auflage

**THEISS**

# Impressum

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

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

3., durchgesehene Auflage 2012

© 2012 by WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt

1. Auflage 2009

Umschlaggestaltung: Peter Lohse, Heppenheim

Umschlagabbildungen: Gewitterstimmung © tm-photo - [Fotolia.com](http://Fotolia.com)

und Evolution © Birgit Meyeke - [Fotolia.com](http://Fotolia.com)

Layout und Satz: schreiberVIS, Bickenbach

Die Herausgabe des Werkes wurde durch die Vereinsmitglieder der WBG ermöglicht.

**Besuchen Sie uns im Internet: [www.wbg-wissenverbindet.de](http://www.wbg-wissenverbindet.de)**

**ISBN 978-3-534-25520-7**

Die Buchhandelsausgabe erscheint beim Konrad Theiss Verlag, Stuttgart

Umschlaggestaltung: Stefan Schmid, Stuttgart,

unter der Verwendung von Abbildungen von ullstein bild -

[fotofeeling.com](http://fotofeeling.com), ullstein bild - KPA und picture-alliance/akg-images

**ISBN 978-3-8062-2746-8**

**[www.theiss.de](http://www.theiss.de)**

Elektronisch sind folgende Ausgaben erhältlich:  
eBook (epub): 978-3-8062-2787-1  
eBook (PDF): 978-3-8062-2747-5

# Menü

[Buch lesen](#)

[Innentitel](#)

[Inhaltsverzeichnis](#)

[Informationen zum Buch](#)

[Informationen zum Herausgeber](#)

[Impressum](#)

# Inhalt

Verzeichnis der Autoren  
Zum Geleit  
Danksagung  
Einführung

## **1 Geologie und Entstehung der Maare**

## **2 Limnologie der Maarseen und typische Sedimente**

Limnologie  
Seesedimente

## **3 Pollenanalyse als Grundlage der Rekonstruktion von Umwelt- und Vegetationsgeschichte**

Pollenanalyse  
Vegetationsgeschichte

## **4 Korngrößenanalyse und Sedimentgeochemie als Grundlage der Klima- und Wetterrekonstruktion**

Korngrößenanalysen  
Geochemische Analytik  
Transportprozesse  
Wellenerosion  
Windstaubsedimente  
Hochwasserlagen und fluviatile Sedimente  
Turbidite  
Rutschungen  
Vulkanite  
Schutt und Geröll

## **5 Bohrungen und Untersuchungsgebiete**

Schalkenmehrener Maar  
Ulmener Maar  
Holzmaar  
Dehner Maar

## 6 Datierung der Sedimente

Die letzten 50 Jahre anhand von  $^{137}\text{Cs}$   
Die letzten 100 Jahre anhand von  $^{210}\text{Pb}$   
Die letzten 55.000 Jahre anhand von  $^{14}\text{C}$   
Tephrochronologie  
Palynostratigraphie  
Freeze-Kerne der letzten 1000 Jahre  
Rammkerne der letzten 10.000 Jahre  
Holzmaar: Kern HM1  
Ulmener Maar: Kern UM2  
Seilkern der letzten 60.000 Jahre

## 7 Grundlagen des Klimas und extremer Wettersituationen

Wettersysteme und Extremwetterereignisse  
Meteorologie von Extremwetterereignissen  
Kalt- und Warmereignisse  
Stürme  
Starkniederschläge  
Trockenperioden  
Regionalität

## 8 Ursachen von Klimavariabilität in der Vergangenheit

Global Player Nummer 1: Die orbitale Konstellation zwischen Erde und Sonne  
Global Player Nummer 2: Veränderungen der Sonnenaktivität  
Global Player Nummer 3: Treibhausgase  
Global Player Nummer 4: Vulkanaktivität

Interne Variabilität des Klimasystems als Global Player  
Nummer 5

## **9 Archäologische Grabungen und Denkmäler**

### **10 600.000-40.000 BP**

Frühe Europäer - die ersten Menschen in Mitteleuropa und der Sonderweg der Neandertaler

### **11 40.000-30.000 BP**

Das Aurignacien - erste anatomisch moderne Menschen in einer sich rasch wandelnden Umwelt

### **12 34.000-24.000 BP**

Das Mittlere Jungpaläolithikum - die Gletscher kommen, der Mensch geht

### **13 24.000-16.000 BP**

Siedlungsleere - das Kältemaximum der letzten Kaltzeit

### **14 16.000-14.700 BP**

Das Magdalénien und der Beginn der späteiszeitlichen Expansion

### **15 14.700-12.700 BP**

Als der Norden plötzlich wärmer wurde

### **16 12.700-11.500 BP**

Rentierjäger der Jüngeren Dryaszeit - das letzte kaltzeitliche Intermezzo

### **17 11.500-8000 BP**

Sammler und Jäger in den ersten warmzeitlichen Wäldern

### **18 8000 BP-5000 BC**

Frühholozänes Wärmeoptimum und neolithische Expansion

**19 5000-4400 BC**

Linearbandkeramik, Hinkelstein und die Intensivierung der Waldweide

**20 4400-3400 BC**

Viehwirtschaft und die Ausbreitung der Michelsberger Kultur

**21 3400-2800 BC**

Weiträumiger Kulturwandel am Beginn der einsetzenden Abkühlungen Mitteleuropas

**22 2800-1500 BC**

Die ältere Bronzezeit - mehr Fragen als Antworten

**23 1500-800 BC**

Der „Sonnenkult“ der Bronzezeit

**24 800-450 BC**

Änderung der Sonnenaktivität am Beginn der Hallstattzeit

**25 450-50 BC**

Laténezeit - Fürstengräber, Keltenwanderung und die ersten Städte

**26 50 BC-400AD**

Klimagunst und die Blütezeit des Römischen Reiches

**27 400-500 AD**

Völkerwanderung und Umweltkrise - das Ende des römischen Weltreiches

**28 500-1000 AD**

Siedlungsverdichtung und Stollenbau – der Mensch gestaltet die Landschaft nach seinen Vorstellungen

**29 1000-1300 AD**

Bevölkerungswachstum und künstlerische Entfaltung zur Zeit des mittelalterlichen Wärmeoptimums

**30 1300-1400 AD**

Das nasskalte 14. Jahrhundert – Hunger, Pest und Tod

**31 1400-1850 AD**

Die Kleine Eiszeit – Leben und Sterben im Schatten klimatischer Extremereignisse

**32 1800-2000 AD**

Das „Jahr ohne Sommer“ – preußische Aufforstung und Industrialisierung

**33 Zusammenfassung und Bewertung des Einflusses von Klima und Wetter auf die Menschheitsentwicklung**

Zusammenfassung

Das frühe Quartär

Das Paläolithikum

Mesolithikum

Neolithikum

Eisenzeit

Völkerwanderung und Frühmittelalter

Hochmittelalter

Kleine Eiszeit

Das 20. Jahrhundert

Das 21. Jahrhundert

Synthese

Perspektiven

Literaturverzeichnis

Kurzvita der Autoren  
Fotonachweis  
Register

## Zum Geleit

Eine leistungsfähige Wissenschaft, Forschung und Technologie sind der Motor für Innovation und damit die Zukunftsfähigkeit eines Landes. Die kontinuierliche Generierung von Wissen wird durch die räumliche Nähe sowie die rege Kooperation und den Austausch zwischen der Johannes Gutenberg-Universität (JGU) Mainz, einer der forschungstärksten Universitäten im Lande, und dem Römisch-Germanischen Zentralmuseum (RGZM) als international renommierter Forschungseinrichtung begünstigt.

Dabei ist die Rekonstruktion der sich ständig wandelnden Natur beziehungsweise - ab dem Aufkommen des Menschen - der „Umwelt“ die Aufgabe verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen. So sind für die Geistes- und Kulturwissenschaften die dabei erzielten Ergebnisse die Voraussetzung, noch einen Schritt weiter zu gehen und die Wechselwirkungen zwischen Menschen und „Umwelt“ zu untersuchen. Auf dem Feld der Umweltarchäologie und -geschichte, einer faszinierenden, noch relativ neuen Forschungsrichtung, kommt man freilich nur in enger Zusammenarbeit mit einer Reihe von verschiedenen Fachdisziplinen zu brauchbaren Ergebnissen. Dass diese gerade in der Zeit fundamentaler Veränderungen unserer modernen Welt von herausragender Bedeutung sind, versteht sich von selbst. Umso wichtiger ist die praktische Kooperation, die der vorliegende Band auf eindrucksvolle Weise demonstriert: Er spannt den Bogen von der Einwanderung des modernen Menschen vor 40.000 Jahren bis zu den Wetterextremen des 21. Jahrhunderts und veranschaulicht die enge Beziehung zwischen Wetter, Klima und

Menschheitsentwicklung. Neu dabei ist die grundlegende Erkenntnis, dass sich gesellschaftliche Krisen vor allem in den Jahren einer schwachen Sonne konzentrieren beziehungsweise mit Vulkanausbrüchen zusammengehen. Es zeichnet sich ab, dass in den Jahren schwacher Sonnenintensität die Sommer kalt und feucht sind und dass das Getreide nicht reif wird. Passiert das über mehrere Jahre hinweg, sind Hunger, Auswanderung, Konflikte und Seuchen die Folge. Dieses Muster lässt sich regelhaft von dem Neolithikum bis in die Kleine Eiszeit verfolgen.

Die vorliegende Studie dokumentiert nicht nur die an der JGU sowie am RGZM geleistete Arbeit, sie belegt auch, wie wissenschaftliche Kreativität durch interdisziplinären Austausch noch beflügelt werden kann. Das bedeutet: weg von konventionellen, individuellen und einzelwissenschaftlichen Forschungstätigkeiten hin zum breiter angelegten, fächerübergreifenden Forschen, zu mehr Verständnis und schließlich hin zum interessierten Bürger. So wird nicht nur geschichtliches und geologisches Faktenwissen vermittelt, sondern die bewusste Auseinandersetzung mit Wissen und seiner Verortung gefördert.

Mainz, im Februar 2009

Universitätsprofessor Dr.  
Georg Krausch  
Präsident  
Johannes Gutenberg-  
Universität Mainz

Universitätsdozent Dr.  
Falko Daim  
Generaldirektor  
Römisch-Germanisches  
Zentralmuseum

## Danksagung

Die Idee zu diesem Buch ergab sich aus der Zusammenarbeit mehrerer Arbeitsgruppen an verschiedenen Instituten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, die im Rahmen des „Forschungszentrums Erdsystemwissenschaften“ in den Jahren 2005–2008 durch das Land Rheinland-Pfalz gefördert worden sind, um in Mainz einen geowissenschaftlichen Forschungsschwerpunkt aufzubauen. Für die großzügige finanzielle Unterstützung des Buchprojektes möchte ich der Leitung der Johannes Gutenberg-Universität, insbesondere Prof. Steve Foley als Koordinator des Forschungszentrums, sehr herzlich danken. Dank geht auch an die „Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation“, die für die Auswertung der Sedimentkerne umfangreiche finanzielle Mittel bereitgestellt hat.

Die Verknüpfung von Daten aus Klimaarchiven in der Region mit den von der archäologischen Landesaufnahme durchgeführten Grabungen versprach neue Erkenntnisse zu einem interdisziplinären Thema, das auch gut öffentlichkeitswirksam aufgearbeitet werden kann. Schnell zeigten sich aber die grundlegenden Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit der geisteswissenschaftlich und naturwissenschaftlich orientierten Teilgruppen. Während die Naturwissenschaftler in langen kontinuierlichen Zeitreihen denken, konzentrieren sich die Archäologen und Historiker auf einzelne Fundplätze, Kulturen und kurze Zeitabschnitte. Um in diesem Buch einen lückenlosen Überblick über die 40.000 Jahre seit Einwanderung des modernen Menschen nach Europa zu gewinnen und die Entwicklungen auch überregional zu dokumentieren, wuchs die Anzahl der Kapitel und Autoren schnell an.

Letztendlich waren dann 23 Autoren involviert, die zu vielen Themen natürlich auch unterschiedliche Arbeitsansätze und Interpretationen hatten.

Ein wichtiger Schritt war die Übernahme der Veröffentlichung durch die Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG) und den Theiss Verlag. Damit lagen klare Vorgaben zum Umfang von Text und Abbildungen vor. Es war für die Wissenschaftler nicht immer leicht zu akzeptieren, dass viele interessante Forschungsergebnisse nur im Ansatz skizziert werden konnten oder sogar wegfallen mussten. Letztendlich waren die formalen Vorgaben aber wahrscheinlich der wichtigste Schritt, um zu einem ausgewogenen und dennoch in sich schlüssigen Gesamtwerk zu kommen. Ich möchte dem Verlag und allen Autoren sehr herzlich danken, dass sie solch einen arbeitsintensiven Schreibprozess mitgetragen haben.

Viele, zum Teil unveröffentlichte Fotos der archäologischen Objekte wurden von Museen, Behörden und Privatpersonen großzügig zur Verfügung gestellt. Dank geht insbesondere an: Archäologisches Landesmuseum Schleswig; Bildarchiv des Forschungsbereiches Altsteinzeit des Römisch-Germanischen Zentralmuseums, Mainz; Forschungsbereich Vulkanologie, Archäologie und Technikgeschichte des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz/Mayen; Museum für die Archäologie des Eiszeitalters, Schloss Monrepos, Neuwied; Deutsche Presse-Agentur; Französisches Ministerium für Kultur und Kommunikation, Regionaldirektion für Kulturangelegenheiten - Region Rhône-Alpes; Regionale Abteilung für Archäologie, Landesmedienzentrum Koblenz; LVR-Landesmuseum Bonn; Landesmuseum Württemberg; Museum Folkwang Essen; NASA; Rheinisches Amt für Denkmalpflege; Rheinisches Landesmuseum Trier; Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft; Stiftung Rheinland-Pfalz für Innovation; Südtiroler

Archäologiemuseum; UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung; Ulmer Museum, Archäologische Sammlung; Universitätsbibliothek Heidelberg und University Museum of Zoology Cambridge.

Kernfotos, Landschaftsaufnahmen und auch einige archäologische Objekte wurden von unserem Fotografen Thomas Hartmann, Taunusstein, ansprechend ins Bild gesetzt.

Saskia Rudert und Stephanie Grimm übernahmen mit viel Sorgfalt die notwendige Überprüfung der Literaturangaben und Abbildungsverweise. Alle Abbildungen wurden von Petra Sigl grafisch überarbeitet und im Layout angeglichen, sodass sich nunmehr auch das optische Erscheinungsbild weitgehend einheitlich darstellt.

Die Angleichung der sprachlichen Struktur und der formalen Vollständigkeiten übernahmen Karen David-Sirocko und Christiane Martin, die mit umfangreichen Lektoratsarbeiten den Texten den notwendigen Feinschliff gaben.

Ohne Thomas, Saskia, Stepheie, Petra, Karen und Christiane hätte dieses Buch nie entstehen können. Ihnen allen meinen herzlichen Dank für die Mitarbeit an diesem Projekt.

Mainz, 19.12.2008

Frank Sirocko

# Einführung

In diesem Buch wird die Entwicklung des modernen Menschen in Mitteleuropa seit der Einwanderung vor 40.000 Jahren im Kontext der Klima- und Wetterbedingungen der jeweiligen Zeit betrachtet. Wetter- und Klimarekonstruktionen werden dabei aus Sedimenten der Maarseen in der Eifel abgeleitet, da die Ablagerungen in diesen tiefen und sauerstoffarmen Seen jahresgeschichtet sind und die Seesedimente das einzige Geoarchiv darstellen, das in Mitteleuropa die letzten 40.000 Jahre vollständig dokumentiert. Es gibt insgesamt 68 dieser Maarseen, die zum Teil aber schon gegen Ende der Eiszeit ausgetrocknet waren; drei davon werden in diesem Buch vorgestellt: das Schalkenmehrener Maar, das Ulmener Maar und das Dehner Trockenmaar. Die hier abgelagerten Sedimente wurden durch Wetteranomalien wie Hochwasserextremereignisse und kaltzeitliche Trockenphasen in die Maare eingetragen, zeigen aber auch über vulkanische Aschen die Aktivitätsphasen des Eifelvulkanismus. Die Vegetation ist über Pollen dokumentiert und die Seeökologie spiegelt sich in den Planktongemeinschaften wider.

Auf dieser Grundlage wird die Entwicklung der frühen Menschen vor, während und nach der letzten Eiszeit vorgestellt. Es wird gezeigt, wie zunächst das Klima die Entwicklung der Vegetation steuerte, die die Nahrungsgrundlage für Mensch und Jagdwild darstellte. Weiterhin wird deutlich, dass mit der Neolithisierung seit 7000 vor heute Getreideanbau und Viehzucht dominierend die Landschafts- und Vegetationsstruktur beeinflussten. Mit

Beginn der Eisenzeit vor 2800 Jahren entwickelte sich der Bergbau und es entstanden befestigte Siedlungen, die nach der Eroberung durch die Römer intensiv ausgebaut wurden. Völkerwanderung, Blütezeit des Mittelalters, Kleine Eiszeit und preußische Wiederaufforstung sind weitere Eckpfeiler der Entwicklung bis zur heutigen Landnutzung. All diese Entwicklungen werden für den Großraum der Maare dargestellt, da diese Prozesse sich in den Sedimenten abbilden. Die kulturgeschichtlichen Entwicklungen werden allerdings überregional betrachtet, ebenso die Steuerungsmechanismen von Klima und Wetteranomalien.

Informationen über die Aktivität der Sonne in der Vergangenheit werden aus dem  $^{14}\text{C}$ -Gehalt in Baumringen hergeleitet. Beim Vergleich der Sonnenaktivität mit historisch belegten Krisenzeiten zeigt sich ein klarer Zusammenhang. Historisch belegte Umbrüche wie die Keltenwanderungen, die Völkerwanderung oder das krisengeschüttelte 14. Jahrhundert fallen immer in die Zeit einer schwachen Sonnenintensität. Eiskalte, lange Winter und nasskalte Sommer mit Ernteausfall waren für reine Ackerbauern existenzbedrohend. Der Ausfall einer Ernte war schlimm, ein zweiter nachfolgender nasskalter Sommer eine Katastrophe. Im dritten Jahr mit Ernteausfall in Folge brachen Hunger und Gewalt über die Menschen herein, in der Folge Seuchen und Auswanderung. All diese Entwicklungen werden an Fallbeispielen aus der Eifelregion dargestellt, die Schlussfolgerungen daraus aber überregional für ganz Mitteleuropa diskutiert.

Das Buch verbindet so naturwissenschaftliche Rekonstruktionen mit historischen und prähistorischen Dokumenten und zeichnet ein lebendiges Bild der Menschheitsgeschichte im Spannungsfeld der Klima- und Vegetationsentwicklung und einzelner Wetterextremereignisse.

# 1

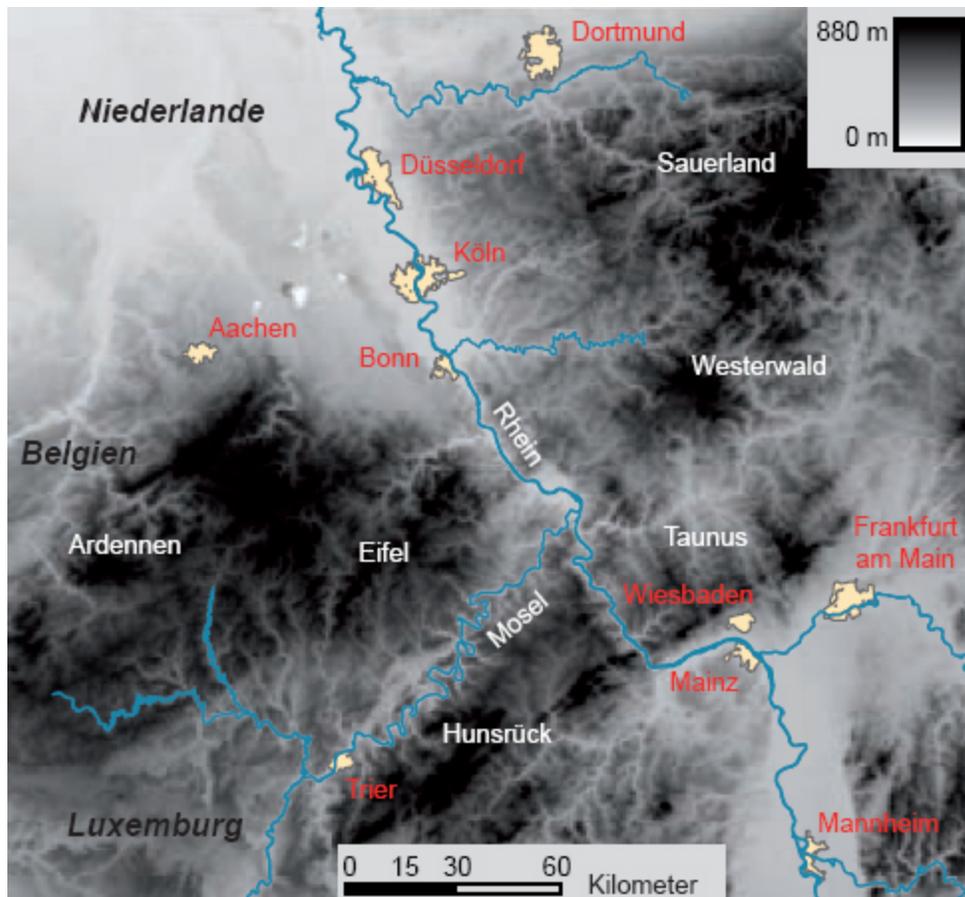
## Geologie und Entstehung der Maare

**Rouwen Lehne und Frank Sirocko**

Die Eifellandschaft mit ihren Böden und Gesteinsvorkommen ist eng mit Besiedlungsstrukturen verknüpft, denn Böden und Gesteine sind die Grundlagen für Landwirtschaft, Bergbau und Energiegewinnung und bestimmen damit kontinuierlich die Standorte menschlicher Siedlungen – heute und in der Vergangenheit. In diesem Kapitel werden daher die grundlegenden Fakten erläutert, die nötig sind, um die Entstehung der Maare, die Eruptionsmechanismen und die Verteilung der Ausbruchszentren im Kontext der Entstehung des Rheinischen Schiefergebirges zu verstehen ([Abb. 1.1](#) und [1.2](#)). Alle im Text erwähnten geologischen Perioden und ihre typischen Gesteine in der Eifel zeigt der Zeitstrahl in [Abbildung 1.3](#).

Morphologisch gesehen ist die Eifel ein Teil des Rheinischen Schiefergebirges, das sich in Linksrheinisches Schiefergebirge und Rechtsrheinisches Schiefergebirge untergliedert ([Abb. 1.1](#)). Im Westen setzt sich das Rheinische Schiefergebirge in den Höhenzügen der Ardennen fort. Die im Linksrheinischen Schiefergebirge gelegene Eifel bezeichnet das Gebiet, das von der Mosel, dem Rhein, der niederrheinischen Ebene und der

luxemburgisch-belgischen Landesgrenze umschlossen wird. Südlich der Mosel schließt sich der Hunsrück an. Da hier nur ein Überblick über die Erdgeschichte dieser Region gegeben wird, sei für genauere Ausführungen auf die Literatur verwiesen (WALTER 1992, MEYER 1986, LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 2005).



**1.1** Geländemodell des Rheinischen Schiefergebirges (Daten nach JARVIS et al. 2006).

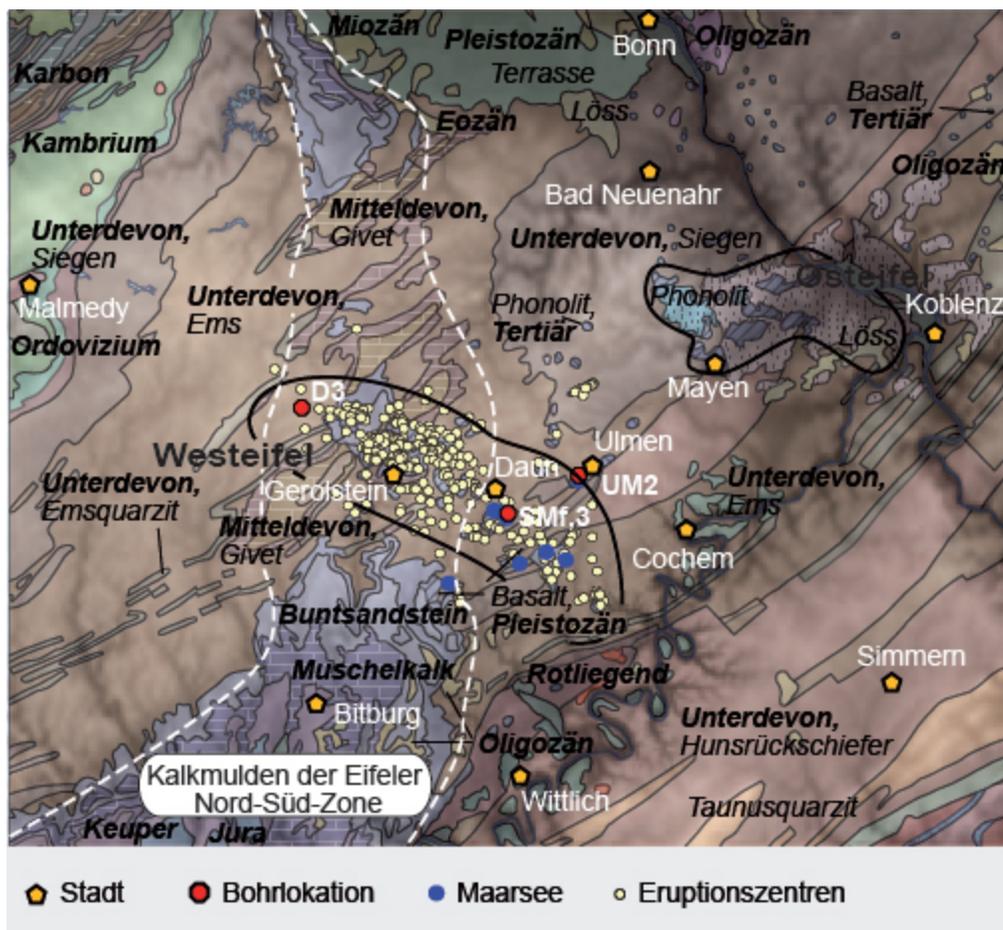
Die ältesten bekannten Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges stammen aus dem Kambrium (545–495 Mio. Jahre vor heute; Abb. 1.2 und 1.3), als der Norden Europas von einem flachen Meer bedeckt war. In diesem Meeresbecken lagerten sich küstennah vor allem Sande und im Beckeninneren vor allem Tone ab, die sich nachfolgend zu Sandsteinen und Tonschiefern umbildeten.

Das Devon (417–358 Mio. Jahre vor heute) war für die geologische Entwicklung des Rheinischen Schiefergebirges und somit der Eifel von entscheidender Bedeutung. In dieser Zeit entstand der überwiegende Teil der heute an der Erdoberfläche anstehenden Gesteine in einem damals marinen Meeresbecken mit feinkörnigen Ablagerungen im Zentrum und quarzreichen Küstensanden am Rand. Die grobkörnigen Küstensande verfestigten sich zu Quarziten und Sandsteinen, die feinkörnigen Beckensedimente zu Silt- und Tonsteinen, die später zu Schiefern umgewandelt wurden. Diese Schiefer und Siltsteine sind die an der Erdoberfläche am häufigsten anstehenden Gesteine in der Eifel.

Im Devon traten bereits die bis heute dominanten tektonischen Störungsmuster auf, die sich in NESW-orientierten Verwerfungen sowie Mulden- und Sattelstrukturen mit gleicher Orientierung zeigen (Abb. 1.2). Eine tektonische Besonderheit stellt die Eifeler Nord-Süd-Zone dar. Innerhalb dieser Zone gibt es viele Mulden, in denen devonisches Kalkgestein aus küstennahen Riffen erhalten geblieben ist. Diese Kalke bilden den Grundstoff für die Zementherstellung und sind zum Beispiel bei Gerolstein zu finden, wo diese Gesteine in dem tief eingeschnittenen Kylltal an den Talhängen anstehen. Die Gesamtmächtigkeit der verschiedenen devonischen Sedimente kann bis zu 3000 m betragen, verursacht durch die lang andauernde Absenkung des Meeresbeckens zu dieser Zeit.

Gesteine des darauf folgenden Karbons (358–296 Mio. Jahre vor heute) treten entlang des nördlichen Randes des Rechtsrheinischen Schiefergebirges auf, insbesondere entlang des Flusses Ruhr. In das Karbon fällt auch die erste Hebung und Verfaltung der devonischen Schiefer, da während der sogenannten Variszischen Gebirgsbildung vor etwa 300 Mio. Jahren (Abb. 1.3) ein Gebirgszug aufgefaltet wurde, der in den folgenden Jahrillionen dann

größtenteils wieder abgetragen wurde. Die Reste des Gebirgszuges bilden Kern und Sockel für alle heute in Deutschland existierenden Mittelgebirge. Während der Variszischen Gebirgsbildung drangen über Störungszonen heiße Lösungen mit stark angereicherten gelösten Stoffen aus der Tiefe in das Gebirge und imprägnierten das Umgebungsgestein. Aus diesen Lösungen sind Blei, Zink- und Eisenminerale ausgefallen, was zur Bildung von Erzadern führte. Diese Erzanreicherungen, die sich insbesondere entlang von Störungen bildeten, sind der Rohstoff für die Verhüttung von Blei, Zink und Eisen seit Beginn der Eisenzeit vor fast 3000 Jahren.



1.2 Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (GÜK 1000, BGR).

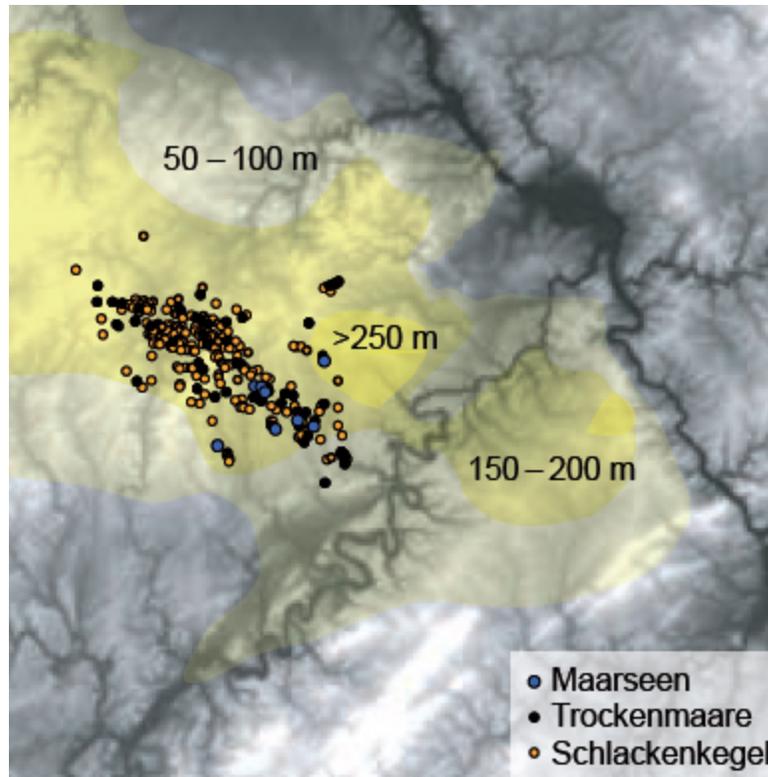
Nach der Variszischen Gebirgsbildung kamen im Perm (296–251 Mio. Jahre vor heute) Sandsteine und Tone unter terrestrischen semiariden Klimabedingungen zur Ablagerung, gekennzeichnet durch eine typische rote Färbung, die diesen Sedimenten aus dem Unteren Perm den Namen „Rotliegend“ gegeben hat. Rotliegend-Sedimente sind heute im Saar-Nahe-Becken, das sich südlich des Rheinischen Schiefergebirges erstreckt, anstehend.

In der nachfolgenden Trias (251–200 Mio. Jahre vor heute) lagerten sich im Eifelgebiet Buntsandstein und Muschelkalk ab. Der Buntsandstein ist vom Aussehen und der Entstehung ähnlich den Rotliegend-Sandsteinen, der Muschelkalk repräsentiert dagegen ein marines Flachmeer mit biogenen Kalkablagerungen. Diese Ablagerungen, die in der Folge zu Kalkstein verfestigt wurden, haben früher mit hoher Wahrscheinlichkeit die gesamte Eifel bedeckt, sind aber mit der Hebung der Eifel im Tertiär erodiert worden, sodass sich die Gesteine des Muschelkalks heute nur noch in den tektonischen Mulden der Eifeler Nord-Süd-Zone finden (Abb. 1.2).

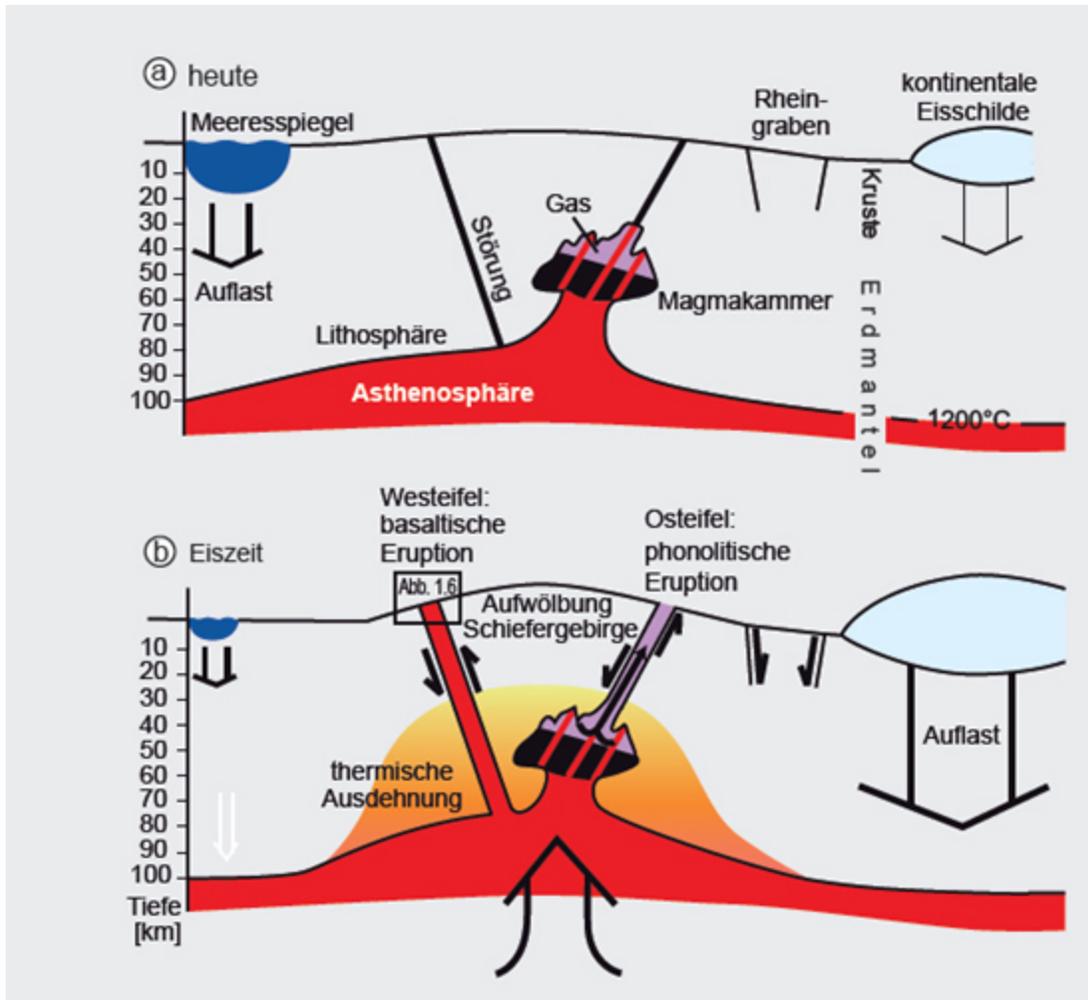
Ära	Mio. J.v.h.	Periode	Im Text erwähnte Ablagerungen und Prozesse	
Erdneuzeit	2,6	Quartär	Sand, Kies, Löss Lava, Tephra	
		Tertiär	Lava, Tephra	
	65		Hebung der Eifel seit etwa 40 Mio. J.v.h.	
Erdmittelalter	142	Kreide		
	200	Jura		
	251	Trias	Muschelkalk (Kalkstein) Buntsandstein (Sandstein)	
	296	Perm	Rotliegend (Sandstein, Tonstein)	
Erdaltertum	358	Karbon	Kohle	Variszische Gebirgsbildung (Schieferung der devonischen Tonsteine)
	417	Silur		
	443	Ordovizium		
	495	Kambrium	Tonschiefer, Sandstein	
	545			
	Erdfrühzeit	2500	Proterozoikum	
4000		Archaikum		
4600		Priskonium		

Ablagerungsbedingungen       marin       terrestrisch

**1.3** Zeittafel mit Gesteinen in der Eifel (nach LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGBAU RHEINLAND-PFALZ 2005).



**1.4** Geländemodell des Rheinischen Schiefergebirges mit Hebungsbeiträgen der letzten 800.000 Jahre (MEYER & STETS 2007) und Eruptionszentren (Maarseen, Trockenmaare und Schlackenkegel; BÜCHEL 1984).



**1.5** Modell der geophysikalischen Grundlagen von Vulkaneruptionen in der Eifel. **a)** unter heutigen Bedingungen; **b)** unter eiszeitlichen Bedingungen, das heißt mit Inlandgletschern auf Skandinavien und Nordamerika bei gleichzeitig abgesenktem Meeresspiegel.

Das Gebiet des Linksrheinischen Schiefergebirges war während des Juras (200–142 Mio. Jahre vor heute) und der Kreidezeit (142–65 Mio. Jahre vor heute) größtenteils Festland, sodass es dort zu keinen Ablagerungen kam oder die Ablagerungen bei der nachfolgenden Hebung im Tertiär größtenteils wieder abgetragen worden sind. Während des Tertiärs (65–2,6 Mio. Jahre vor heute) und des Quartärs (vor 2,6 Mio. Jahre bis heute) entstand das heutige Landschaftsbild des Rheinischen Schiefergebirges. Mit der einsetzenden Hebung vor etwa 45 Mio. Jahren begann sich

das Gewässernetz in das Gestein einzuschneiden. Beschleunigt wurde dieser Prozess durch das gleichzeitige Absinken der Niederrheinischen Bucht und den Einbruch des Neuwieder Beckens. Die so entstandenen Mäanderschleifen von Rhein und Mosel sind damit das Ergebnis eines Wechselspiels zwischen Aufstieg des Gebirges und Einschneiden der Flüsse.

Der Hebungsprozess verlief im Tertiär deutlich langsamer als im nachfolgenden Quartär, das in der Eifel durch regionale Hebungen von bis zu 300 m in den letzten 800.000 Jahren gekennzeichnet ist (Abb. 1.4). Ursache für diese ausgeprägte Hebung war eine Erwärmung der Erdkruste durch eine unter der Eifel befindliche heiße Aufwölbung des Erdmantels (RITTER & CHRISTENSEN 2007), das heißt eine Aufwölbung der 1200- °C-Isotherme in etwa 80 km Tiefe (Abb. 1.5). Die damit verbundenen thermischen Ausdehnungen hoben auch die Erdoberfläche und öffneten dabei Störungen, die bereits während der Variszischen Gebirgsbildung angelegt waren.

Neben der oben beschriebenen Hebung verursachte die Anomalie im Erdmantel einen seit dem Tertiär aktiven Vulkanismus, der viele noch heute landschaftsprägende Schlackenkegel bildete, insbesondere in der Region um Kehlberg. Erst viel später, im Quartär, kam es ab 600.000 Jahren vor heute erneut zu Vulkaneruptionen, die die meisten Schlackenkegel der West- und Osteifel formten (BÜCHEL & LORENZ 1982, SCHMINCKE 2007). West- und Osteifelvulkanismus lassen sich geochemisch gut voneinander unterscheiden (Abb. 1.5). So herrschte in der Westeifel basaltischer Vulkanismus vor, das heißt, die Magmen wurden direkt aus dem Mantel gefördert, während die Osteifel von sogenannten phonolithischen Eruptionen geprägt wurde. Phonolithe sind differenzierte Magmen, die in der Erdkruste lange Zeit in Magmenkammern eingeschlossen waren, wo sich in einem