

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN



BAND 34



HALLE (SAALE) 2012

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Herausgeber

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg

G. BORG K. FRIEDRICH M. FRÜHAUF
C. GLÄSSER H. HEINISCH W. KÜHLING C. LEMPP
H. PÖLLMANN K.-H. SCHMIDT W. THOMI P. WYCISK

Schriftleitung

D. MERTMANN T. DEGEN S. STÖBER

BAND 34

Halle (Saale) 2012

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg



Titelbild / Frontpage

Standort des Instituts mit den Gebäuden der Geographie (rechts) und den Geowissenschaften/Bodenkunde, im Vordergrund der Geologische Garten. Foto: Dr. J. Erfurt (Sept. 2005)

Anschrift von Herausgebern und Schriftleitung:

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Von Seckendorff - Platz 3/4
D-06120 Halle (Saale)

e-mail: hjg@geo.uni-halle.de

Schriftleitung:

D. Mertmann T. Degen S. Stöber

ISSN 2193-1305

© 2012 im Selbstverlag des Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Alle Rechte vorbehalten

Inhaltsverzeichnis

Untersuchungen zur Effizienz von Erdwärmesondenanlagen in Sachsen-Anhalt in Abhängigkeit von der Geologie des Untergrundes..... 1

Thomas Graupner¹, Tatjana Häntze², Christof Lempp¹

Evolution of the Central Pyrenean Mérens fault controlled by near collision of two gneiss domes..... 11

Jochen E. Mezger¹, Stephan Schnapperelle² & Christopher Rölke³

JARINA (Steinnuss) - Das pflanzliche Elfenbein aus Amazonien - Ein Bio-Edelstein 31

Marcondes Lima da Costa¹, Suyanne Flavia Santos Rodrigues², Helmut Hohn³ und Herbert Pöllmann⁴

Illit- und Chloritkristallinitäten aus der Harzgerode- und Wippra-Zone zwischen Breitung und Questenberg, südöstlicher Unterharz. 49

Thomas Müller¹, Helmut Heinisch¹ & Dorothee Mertmann¹

Das CO₂-Senkenpotential urbaner Gehölze im Kontext postwendzeitlicher Schrumpfungprozesse 67

Sara Vollrodt¹, Manfred Frühauf¹, Dagmar Haase^{2,3} und Michael Strohbach^{3,4}

The Natural History of Ooliths: Franz Ernst Brückmann's Treatise of 1721 and its Significance for the Understanding of Oolites 93

Robert V. Burne¹, J. Chris Eade², & Josef Paul³

Herrn Prof. Dr. MAX SCHWAB zum 80. Geburtstag.....115

Nachruf für Herrn Prof. Dr. MANFRED REICHSTEIN.....119

Nachruf für Herrn Dr. WOLFGANG RASCHKE.....123

Untersuchungen zur Effizienz von Erdwärmesondenanlagen in Sachsen-Anhalt in Abhängigkeit von der Geologie des Untergrundes

THOMAS GRAUPNER¹, TATJANA HÄNTZE², CHRISTOF LEMPP¹

¹INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN & GEOGRAFIE, MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT, VON-SECKENDORFF-PLATZ 3-4, 06120 HALLE (SAALE)

²LANDESAMT FÜR GEOLOGIE UND BERGWESSEN SACHSEN-ANHALT, KÖTHENER STRASSE 34, 06118 HALLE (SAALE)

Schlüsselworte: Oberflächennahe Geothermieanlagen, geologische Erkundung des Untergrundes, Sachsen-Anhalt, Wärmeentzugsleistung, Dimensionierung von Erdwärmesondenanlagen, VDI 4060

Keywords: Subsurface geothermal equipment, geological underground investigation, Saxony Anhalt, specific heat loss capacity, VDI 4060

Zusammenfassung

Die vorliegenden Ergebnisse und Auswertungen sollen einen Beitrag zum Verständnis der Dimensionierungsgrundlagen für Erdwärmesondenanlagen darstellen und am Beispiel von Sachsen-Anhalt zeigen, dass es systematische Wechselwirkungen zwischen geologischer Untergrundsituation und den bundesweit eingeführten Richtwerten nach VDI 4640 gibt.

Die gesamte Thematik bietet aufgrund der Varianz in den Berechnungsgrundlagen bei einer Anlagendimensionierung, auch bedingt durch die am Markt vorhandenen, verschiedenen technischen Anlagensysteme, sowie wegen der Vielzahl maßgeblicher interner und externer Eingabeparameter einen großen Diskussionsbedarf und erhebliche Spielräume bei der Bearbeitung. Dennoch konnte durch die eingesetzte Arbeitsmethodik ein Ansatz geboten werden, mit dessen Hilfe Berechnungen zu Dimensionierungen von Erdwärmesondenanlagen mit einfachen Mitteln durchgeführt werden können. Diesem Ansatz folgend wurde eine Auswertung auf statistischer Grundlage versucht, um die Einwirkungen aus der geologischen Untergrundsituation abzuleiten und Schlussfolgerungen für die Praxis ziehen zu können. Die in die Berechnung einbezogenen 110 Anlagenstandorte wurden, zugeordnet zu regionalen Flächeneinheiten, mit ähnlichen geologischen Bedingungen, in einer Übersichtskarte dargestellt. Diese verdeutlicht, welche Gebiete eher unkomplizierte Planungs- und Dimensionierungsbedingungen aufweisen und in welchen Regionen erschwerte Planungsbedingungen in Sachsen-Anhalt herrschen. Es können somit für die Gebiete, die durch eine hohe Varianz der spezifischen Wärmeentzugsleistung gekennzeichnet sind, Einschätzungen und Empfehlungen gegeben werden, wie dort mit erhöhtem Erkundungsaufwand die Eignung für eine geothermischen Nutzung zu prüfen ist. Bei kritischen Standortbedingungen sollte die bestehende geologische Situation in der Planung und der technischen Umsetzung auf jeden Fall sorgfältig berücksichtigt werden.

Abstract

The results presented and evaluations made contribute to a better understanding of the basic relations for design of terrestrial heat probes. Examples from Saxony Anhalt demonstrate that there are systematic interchanges between the geological underground and the calculation rules that were established by technical standards in VDI 4060 and that are valid throughout Germany.

Intensive discussion and causes for variable decisions during the planning and the installation of geothermal equipments are influenced by: the varying basics for calculation of the technical geothermal borehole installations; the different market options with technically different systems; and the large number of internal or external parameters that must be chosen for calculation of any subsurface geothermal system.

Nevertheless, an evaluation method was developed in order to create a relative simple scale and suitable tools for calculation of geothermal equipments in compliance with VDI 4060. On this basis an attempt was made to evaluate the differences of numerous geothermal settings as established in Saxony Anhalt and to combine the data statistically with the knowledge of the local geological underground situation. This statistical evaluation allows one to demonstrate some consequences for practical applications. About 110 geothermal locations were incorporated in the evaluation and linked with the characteristic regional geological units. Accordingly, an overview map displays this data combination. This map allows one to differentiate relatively easily locations where simple conditions arise for designing a geothermal equipment, and also where greater effort is needed to plan and to calculate the geothermal installations with success. Consequently, one can indicate regions with widely varying heat loss capacity in order to develop suggestions for successful designing of geothermal equipments by more intensive geological investigations. A crucial evaluation of the geological setting in distinct regions is a precondition for an acceptable calculation of the geothermal equipment.

1. Einleitung

In Zusammenarbeit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB) in Halle wurde eine Untersuchung zur Effizienz von Erdwärmesondenanlagen in bestimmten Regionen von Sachsen-Anhalt durchgeführt. Auf Grund des zunehmenden Interesses an der oberflächennahen Nutzung geothermischer Energie gilt es, systematische Abhängigkeiten zwischen den betriebstechnischen Parametern von Erdwärmesondenanlagen und den bestehenden Rahmenbedingungen der geologischen und hydrogeologischen Standorteigenschaften in ihrer gegenseitigen Beeinflussung besser zu verstehen. Die Bewertung der Ergebnisse dieser Untersuchung gründet sich auf einen Vergleich real existierender und theoretischer ermittelter Kennwerte konkreter Anlagenstandorte. Bei den am meisten verbreiteten Erdwärmesonden werden in der Regel eine oder mehrere, meist vertikal in den Untergrund eingebrachte Bohrungen hergestellt, in die paarweise gebündelte U-förmige Kunststoffroherschleifen eingelassen werden. Zur Wärmeübertragung zirkuliert in den hier betrachteten Fällen innerhalb der Sondenrohre eine Sole, meist ein Wasser/Glycol - Gemisch (Tholen, Walker-Hertkorn 2008).

Dieses führt die aufgenommene Wärmeenergie aus dem Untergrund an die Oberfläche, wo die Übergabe an eine Wärmepumpe stattfindet. Durch den technischen Prozess in der Wärmepumpe erfolgt die Umwandlung von einem niedrigen zu einem höher energetischen Niveau. Die resultierende Wärmeenergie steht abschließend der Verbrauchereinheit zur Nutzung zur Verfügung. Dabei muss die Sondenanlage ausreichend dimensioniert werden, um die erforderliche Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Dimensionierung erfolgt in Abhängigkeit von den jeweiligen spezifischen Wärmeentzugsleistungen, die im Untergrund durch die Sonden selbst sowie durch die lithologischen und die hydrogeologischen Bedingungen bestimmt sind.

2. Arbeitsmethodik

Das Ziel der durchgeführten Untersuchung bestand darin, nach einfachen Kriterien bereits bestehende Anlagen auf Grundlage von Kenntnissen zur geologischen Situation entsprechend den Dimensionierungsansätzen der Richtlinie der VDI 4640 in ihrer Effizienz zu überprüfen und anschließend zu bewerten. Nach einer Erfassung der an den Standorten der Anlagen im Untersuchungsgebiet anstehenden Gesteinstypen wurden diesen die jeweils spezifischen Wärmeentzugsleistungen zugeordnet.

Tabelle 1. Auswahl einzelner spezifischer Wärmeentzugsleistungen für bestimmte Gesteinsarten in Locker- und Festgesteinsfolgen

Bezeichnung einzelner zur Berechnung einbezogener Locker- und Festgesteine	Spezifische Wärmeentzugsleistung in [W/m] für 2400 h/a (in Anlehnung an Vorgaben der VDI 4640 unter wassergesättigtem Milieu)
Lockergestein	
Lockersedimente (trocken)	20
Ton, Schluff, Mergel, Geschiebemergel,	40
Feinsand, Sand (schluffig)	50
Mittelsand, Grobsand, Feinkies, Mittelkies, Grobkies	55
Festgestein	
Braunkohle	20
Mergelstein	45
Tonstein, Tonschiefer	50
Grauwacke, Konglomerat, Sandstein, Schluffstein,	55
Brekzie, Dolomit, Hornstein, Kalkstein (dolomitisch) Rhyolith	60
Anhydrit	65

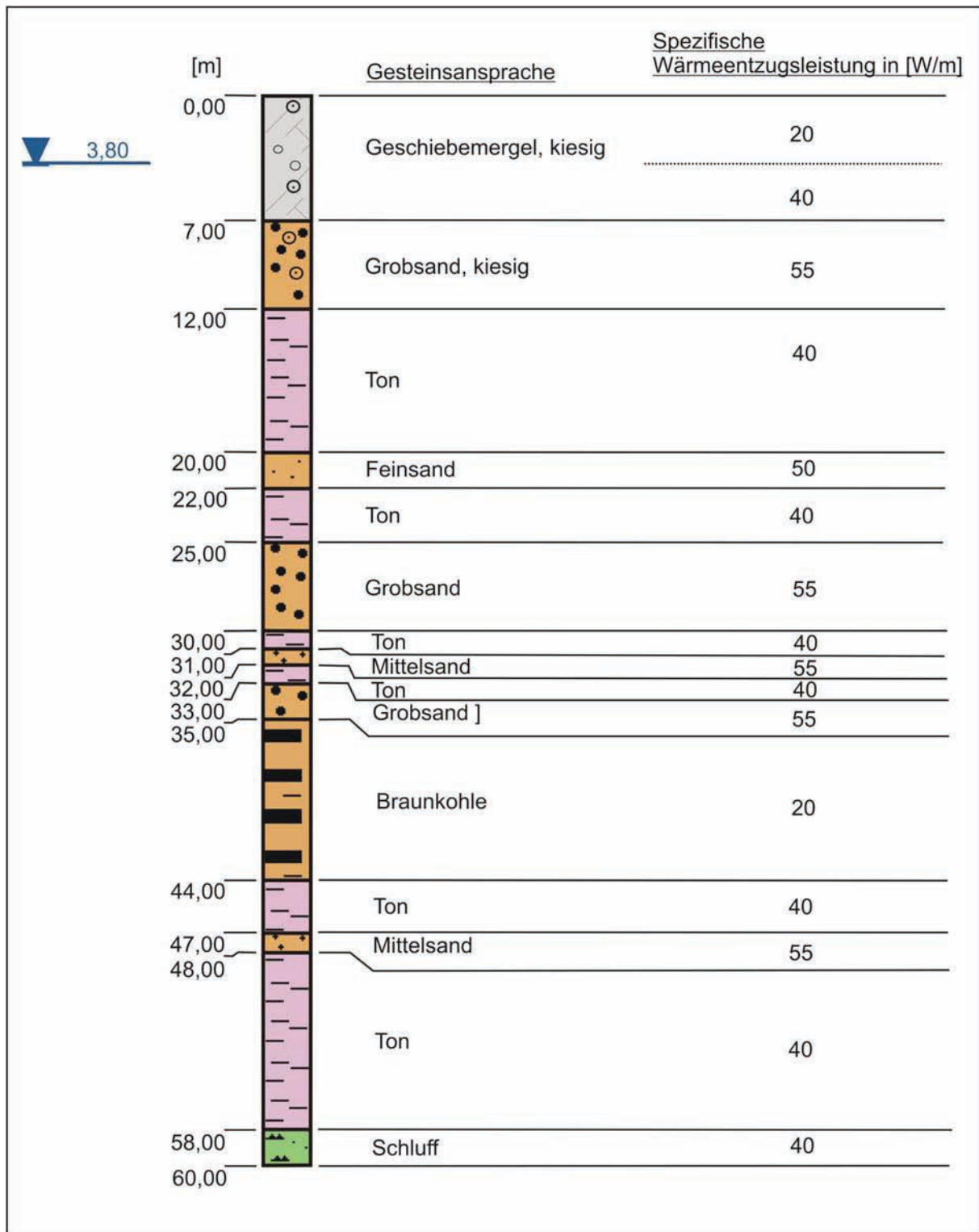


Abb. 1 Darstellungsbeispiel eines charakteristischen Bohrprofils in der Einheit der tertiären Grundwasserleiter mit Kennwerten der spezifischen Wärmeentzugsleistung für jede Gesteinsschicht (für Anlagen mit Heizung, einschließlich Warmwasser). Die Angaben erfolgen in Anlehnung an gesteinspezifische Richtlinien der VDI 4640. Vergleiche auch Tabelle 1.

Entsprechend der Tabelle 1 wurde damit für jeden einzelnen Standort, in Abhängigkeit der Lithologien und der realisierten Bohrtiefen (Abb. 1), die Summe der theoretisch möglichen Wärmeentzugsleistung ermittelt.

Durch den Vergleich der bei der Einrichtung real geplanten Sondenmetern mit den durch Berechnung nach VDI 4640 ermittelten Werten, konnte die Dimensionierung jeder Erdwärmesondenanlage beurteilt und klassifizierend bewertet werden.

Die flächenhafte Aufteilung der Standorte der zu vergleichenden Erdwärmesondenanlagen erfolgte in Abhängigkeit der geologischen und hydrogeologischen Standorteigenschaften in vier Einheiten. Dabei handelt es sich im Bereich der Festgesteine um die Einheiten des Grundgebirges und des Tafeldeckgebirges. Im Falle einer Standortwahl im Lockergestein erfolgte die Zuordnung entweder in die Einheit der tertiären Grundwasserleiter oder in die Einheit von quartären Ablagerungen als pleistozäne Terrassen (zur Geologie des Untersuchungsgebietes vgl. Bachmann et al. 2008).

Das Grundgebirge mit dem überlagernden Schiefergebirgs- und Übergangsstockwerk ist durch paläozoische, metamorphe Gesteine geprägt. Bei Standorten in der Einheit des Tafeldeckgebirges dominieren wechselnde Lagen von mesozoischen Sandsteinen und Tonsteinen. Charakteristisch für diese Einheit sind außerdem Sandsteine und Konglomerate aus dem Karbon und Perm, mächtige Grauwacken des Devon und Kalkstein und Anhydrit als Bildungen aus der Zeit des Zechstein. Typisch für die lithologische Schichtenfolge der tertiären Grundwasserleiter sind Wechsellagen von Tonen, Schluffen und Sanden mit teilweise mächtigen zwischenlagernden Kohleflözen. Dagegen werden die quartären Ablagerungen der Einheit der Pleistozänen Terrassen durch sandige, kiesige Schotterkörper und durch Geschiebemergel bestimmt sowie durch teilweise hohe Flurabstände des Grundwassers.

Die Bewertung der einzelnen Standorte erfolgte im Vergleich zu deren planerischen Umsetzung in „gut dimensionierte“, „überdimensionierte“ und „unterdimensionierte“ Erdwärmesondenanlagen. Die Auswahl der Erdwärmesondenanlagen begründete sich zum einen nach der Qualität der geologischen Informationen über den Standortuntergrund und zum anderen im Bemühen, eine repräsentative Verteilung der Gesamtheit der Daten auf der Landesfläche zu gewährleisten. Zur Recherche der geologischen Situation dienten die Landesbohrdatenbank des Landesamts für Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt sowie öffentlich zugängliches geologisches und hydrogeologisches Kartenmaterial.

3. Beschreibung des verwendeten Datensatzes an Erdwärmesondenanlagen

Bei den in der Analyse verwendeten Anlagendaten handelt es sich um konkrete Erdwärmesondenanlagen, welche in verschiedenen Landkreisen von Sachsen-Anhalt geplant und baulich umgesetzt wurden. Die Bereitstellung des Datensatzes erfolgte durch das Landesamt für Geologie und Bergwesen in Halle. Der Datensatz umfasste 500 Standorte, von denen eine Auswahl von 110 Anlagen in die weiteren Bewertungen einbezogen wurde. Die bereitstehenden Informationen beschreiben den genauen Standort mit Ortsnamen und einer Lagekennzeichnung durch den Hoch- und Rechtswert.

Des Weiteren bestanden Angaben zur Bohrtiefe und Anzahl der Bohrungen. Hinzu kommen die für eine Dimensionierungsberechnung notwendigen Werte zum Wärmebedarf und die Leistungszahl der Pumpe. Die zur Verwendung ausgewählten Daten betrafen im wesentlichen Standorte in den Landkreisen Harz, Saalekreis, Mansfeld-Südharz, Anhalt-Bitterfeld, Wittenberg sowie den kreisfreien Städten Halle und Magdeburg. Im nördlichen Gebiet von Sachsen-Anhalt wurden keine Standorte in die Berechnung und Bewertung einbezogen, da bei den zuständigen Behörden andere Meldeformalitäten bestehen und daher bei der Datenerfassung für eine geplante Erdwärmesondenanlage die hier zur Berechnung notwendigen Kennwerte nicht aufgenommen werden.

4. Dimensionierungsansatz nach Vorgaben der Richtlinie VDI 4640

Um eine derartige Untersuchung durchzuführen, musste ein Dimensionierungsansatz erarbeitet werden, der in gleicher Weise für alle gewählten Standorte verwendet werden konnte. Dabei richteten sich die gewählten Werte der spezifischen Wärmeentzugsleistungen für die einzelnen Gesteine nach Vorgaben der VDI 4640. Diese Richtlinie gibt Beispiele für eine Anzahl von Locker- und Festgesteinen mit Angaben zur Wärmeleitfähigkeit und volumenbezogenen spezifischen Wärmekapazität.

Daraus ergeben sich empfohlene mittlere Richtwerte der einzelnen spezifischen Wärmeentzugsleistungen. Diese stellen keine festen, messbaren Größen dar, sondern werden durch technische Randbedingungen der Sonden sowie eine Vielzahl von Eigenschaften des Untergrundes beeinflusst und variiert, weil z.B. Struktur, Aufbau, Poren- und Kluftfüllung sowie die bestehenden hydrogeologischen Gegebenheiten ebenfalls maßgebend sind.

Die in dieser Studie ausgewählten jeweiligen Entzugsleistungen entsprachen in der Festlegung

immer solchen Werten, die innerhalb des angegebenen Schwankungsbereiches der Richtlinie VDI 4640 lagen. Dabei wurde bei der Auswertung eine zu große Streuung der gesamten Entzugsleistung eines Standortes durch den Ausschluss von minimalen und maximalen Werten (Extremwerten) vermieden.

5. Ergebnisse der Standortauswertungen

Nach Bewertung aller 110 einbezogenen Erdwärmesondenanlagen ließ sich ein Trend hinsichtlich der Summe der jeweiligen spezifischen Wärmeentzugsleistungen in Abhängigkeit der Standorteigenschaften erkennen. Die Auswertung der Gesamtheit der Anlagen zeigt eine deutliche Differenzierung der Ergebnisse. Zusammenfassend konnten etwas weniger als die Hälfte der Anlagenstandorte als „gut dimensioniert“ eingestuft werden. Die Sondenanlagen, welche als „überdimensioniert“ eingestuft wurden, gelten hinsichtlich der Anlageneffizienz ebenfalls als „gut dimensionierte“ Anlagen, da zwar die Sondenstrecke nach der theoretischen Summe der Wärmeentzugsleistung zu lang angesetzt wurde, die Funktions- und Betriebssicherheit der Wärmepumpe jedoch jederzeit gewährleistet ist. Nachteil einer Überdimensionierung ist der erhöhte Kostenbedarf beim Bohren der Sondenstrecken und bei Installation der Erdwärmesonden. Im Hinblick auf die Effizienz der Nutzung geothermischer Energie sind daher alle die Anlagen, welche als „unterdimensioniert“ bewertet wurden, von maßgeblicher Bedeutung, um die gegebenen Standortkriterien einzuschätzen.

Von den 110 Standorten gelten 34 Anlagen nach den vorgenommenen theoretischen Berechnungen als „unterdimensioniert“. Bei diesen Anlagen könnte die Aussage getroffen werden, dass zum einen die Betriebssicherheit nicht gegeben ist, und neben höheren Kosten durch größeren Stromverbrauch auch ein erhöhtes Risiko einer Gefährdung der Umwelt besteht (vgl. Tabelle 2).

Im Folgenden soll nun die Verteilung der Bewertungsergebnisse für die vier klassifizierten geologischen Einheiten im Einzelnen erörtert werden. Dabei sind die Standorte, welche mehrheitlich der Einheit des Tafeldeckgebirges zugeordnet worden sind, entsprechend der Berechnung den realen Anlagendaten am nächsten. Aus der Tabelle 3 und der Abb. 1 ist ersichtlich, dass von den im Tafeldeckgebirge positionierten 35 Sondenanlagen 23 als „gut dimensioniert“ eingestuft und 9 der Standorte als „überdimensioniert“ bewertet wurden.

Das bedeutet, dass über 90 % der Anlagen einer effizienten Nutzung geothermischer Energie entsprechen

und nur 8 % bei der Planung „unterdimensioniert“ worden sind.

Ein ähnliches Ergebnis bietet die Einheit des Grundgebirges und des Schiefergebirgs- und Übergangsstockwerks. Von den 17 dort berechneten Erdwärmesondenanlagen wurden 10 Anlagen als „gut dimensioniert“ und 6 als „überdimensioniert“ bewertet. Nur einer (1) der Standorte galt im Vergleich zu der theoretischen Wärmeentzugssumme als „unterdimensioniert“. Somit ist die Nutzung in über 90 % der Anlagen in diesem Festgesteinsbereich als effizient einzuschätzen. Auffällig ist jedoch der erhöhte Anteil von „überdimensionierten“ Standorten in der Grundgebirgseinheit im Vergleich zur Einheit des Tafeldeckgebirges. Eine Ursache hierfür ist wahrscheinlich eine pauschale Belegung von Entzugsleistungen von meist 50 W/m.

Zusammenfassend erscheint es jedoch so, dass die realen Anlagendaten in ihrer Effizienz in Abhängigkeit zur Geologie des Untergrundes fast überall gut mit den theoretisch ermittelten Entzugsleistungen im Festgestein übereinstimmen.

Die Einheit der pleistozänen Terrassen zeichnet sich im Gegensatz zu den Einheiten im Festgestein durch eine große Mächtigkeit der Lockergesteinsfolge aus. Von den ausgewählten 25 Standorten dieser Einheit konnten 11 Anlagen als „gut dimensioniert“ und 7 Anlagen als „überdimensioniert“ bewertet werden. Mit den verbleibenden 7 „unterdimensionierten“ Anlagen weist diese Einheit daher im Vergleich zu den Festgesteinseinheiten des Tafeldeckgebirges und des Grundgebirges eine deutlich größere Unsicherheit in der Anlagendimensionierung auf. Nach Tabelle 1 sind mittlere bis hohe Wärmeentzugswerte von Sand und Kies zu erwarten. Schwierigkeiten in der planerischen Auslegung könnten durch niedrige Grundwasserstände und größere Schichtmächtigkeiten von Ton, Mergel und Geschiebemergel zu erklären sein. Prinzipiell entspricht dieses Ergebnis aus den pleistozänen Terrassen der ungefähren Situation der Gesamtverteilung.

In der prozentualen Verteilung (vgl. Tabelle 1) werden die Unterschiede zwischen der zugrundeliegenden Planung und der Dimensionierung der jeweiligen Standorte durch eine breite Streuung der Bewertungen deutlich. Bei der Beurteilung der Anlageneffizienz dieser Einheit ist mit 72 % „gut dimensionierter“ bzw. „überdimensionierter“ Anlagen und

28 % „unterdimensionierter“ Anlagen das Ergebnis im Vergleich zum Festgestein als relativ schlechter einzustufen.

In der Einheit der tertiären Grundwasserleiter ist allerdings die Bewertung der Anlagen bezüglich ihrer

Tabelle 2. Auswertung der Ergebnisse der Gesamtheit der Anlagenstandorte

Bewertung - Gesamtheit der Anlagendaten	Anzahl der Anlagen:	Anteil in [%]:
gut dimensioniert:	50	45
unterdimensioniert:	37	34
überdimensioniert:	23	21
Gesamtsumme:	110	100

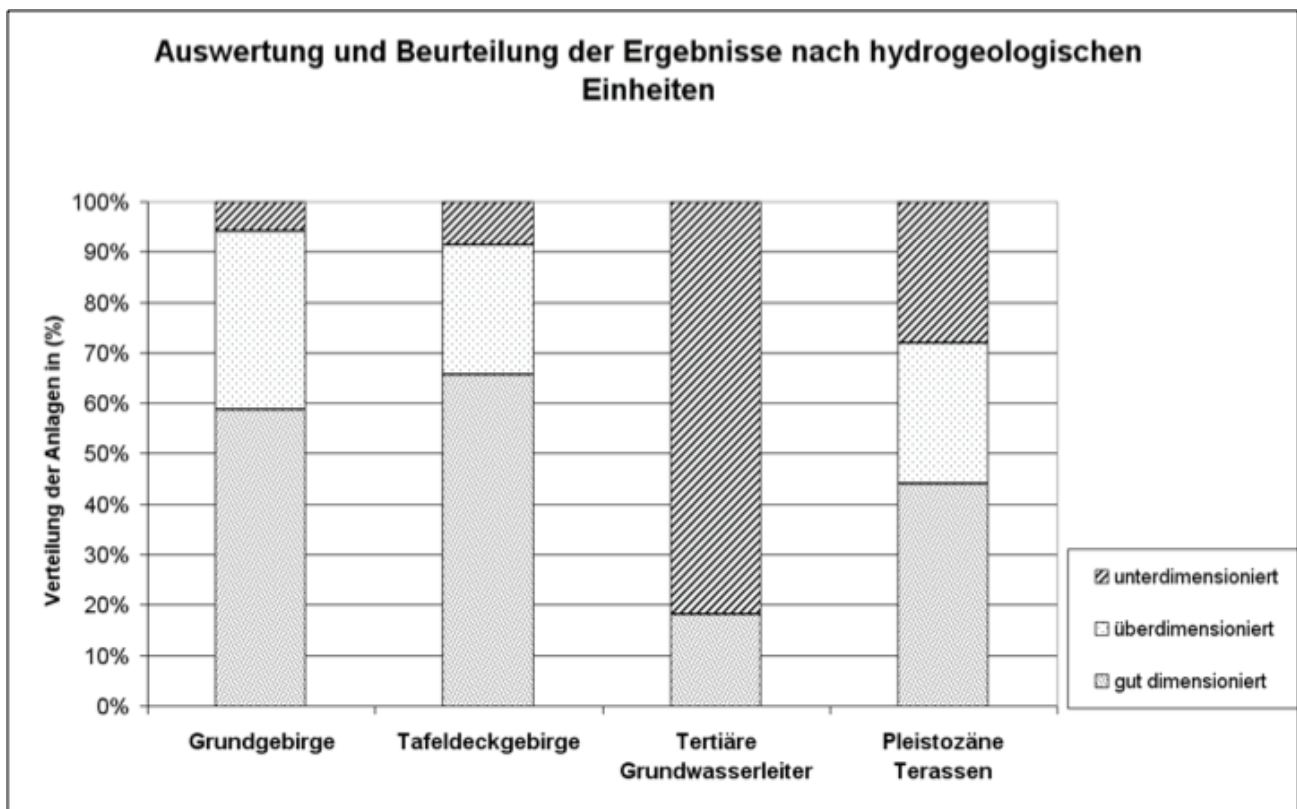


Abb. 2 Grafische Darstellung der Dimensionierungsergebnisse für die vier klassifizierten Einheiten Grundgebirge, Tafeldeckgebirge, tertiäre Grundwasserleiter und pleistozäne Terrasse

Tabelle 3. Statistische Auswertung der Ergebnisse für die klassifizierten geologischen Einheiten Grundgebirge, Tafeldeckgebirge, tertiäre Grundwasserleiter und pleistozäne Terrassen

Bewertung der Erdwärmesondenanlagen	Grundgebirge		Tafeldeckgebirge		Tertiäre Grundwasserleiter		Pleistozäne Terrassen	
	Anzahl	[%]	Anzahl	[%]	Anzahl	[%]	Anzahl	[%]
gut dimensioniert	10	59	23	66	6	18	11	44
unter dimensioniert	1	6	3	8	27	82	7	28
überdimensioniert	6	35	9	26	0	0	7	28
Summe	17	100	35	100	33	100	25	100

Effizienz noch kritischer. Aus Abb. 1 wird sofort deutlich, dass in diesem Fall über 80 % der Erdwärmesondenanlagen als „unterdimensioniert“ gelten müssen. Von den insgesamt 33 Standorten dieser Einheit sind nur 6 Anlagen als „gut dimensioniert“ und alle verbleibenden 27 Anlagen als „unterdimensioniert“ eingeschätzt worden. Nach diesem Ergebnis ist eine klare Abhängigkeit von Dimensionierungskriterien und geologischer Situation im

Untergrund zu erkennen (Abb. 2). Aufgrund der Dominanz bindiger Lockersedimente wie Ton und Schluff und dem häufigen Vorkommen von Braunkohleflözen im Untergrund sind die spezifischen Wärmeentzugswerte in dieser Einheit selten über 40 W/m anzusetzen (siehe Abb. 3). Um in diesem Fall die Betriebssicherheit der Anlagen in dieser geologischen Einheit zu gewährleisten, muss die Situation im Untergrund standortbezogen erkundet

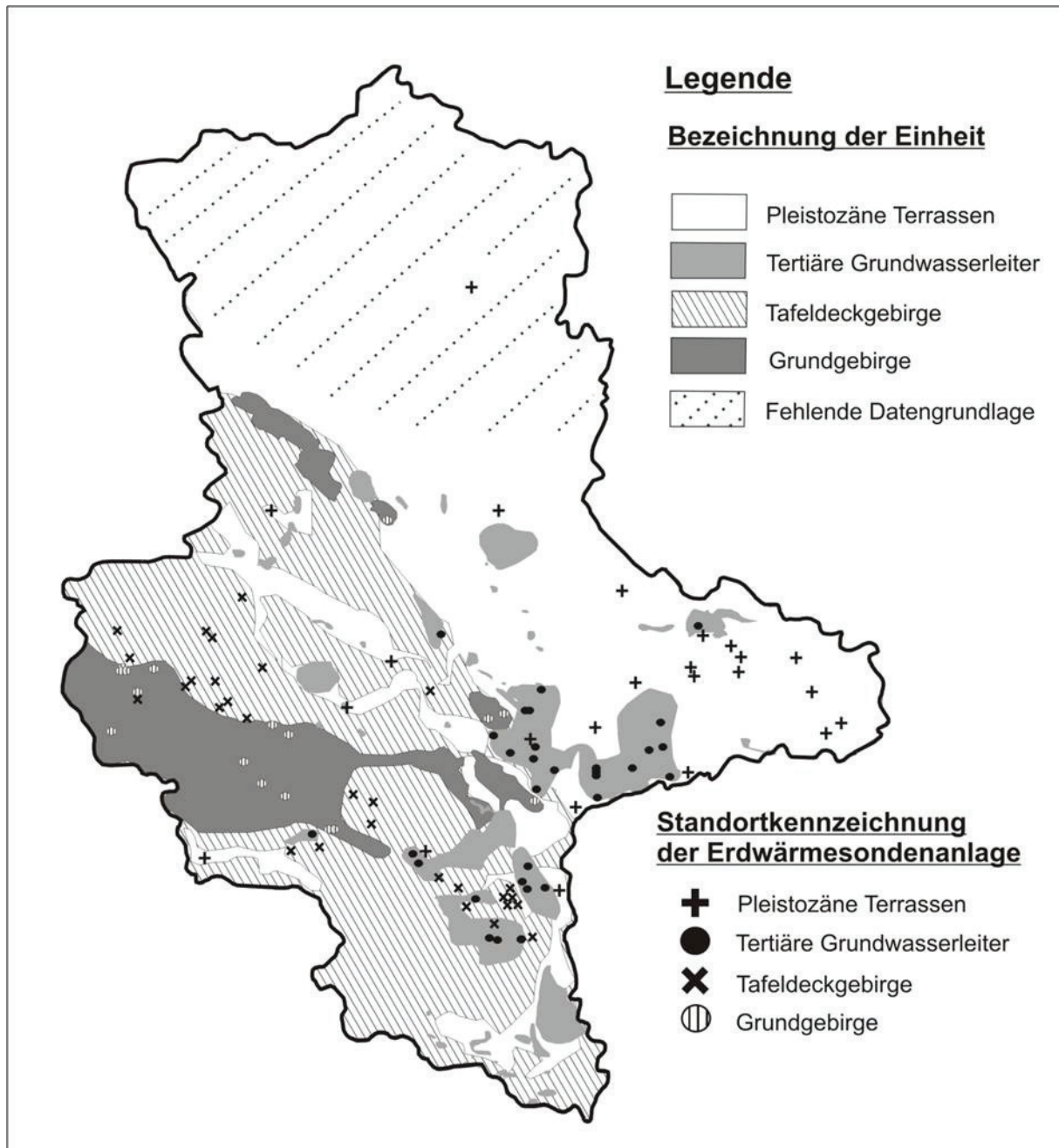


Abb. 3 : Schematische Darstellung der klassifizierten geologischen Einheiten und Lagekennzeichnung der einzelnen in die Untersuchung einbezogenen Standorte von Erdwärmesondenanlagen in Sachsen-Anhalt.

Tabelle 4. Berechnungsbeispiel für die Summe der spezifischen Wärmeentzugsleistung eines Anlagenstandortes in der Einheit des Tafeldeckgebirges (Festgestein)

Sondenstrecke (Bohrprofil) von x [m] unter Gelände	Bezeichnung der Fest- bzw. Lockergesteine	Berechnung nach Vorgabe der VDI 4640 [W/m] pro Gesteinsschicht	Spezifische Wärmeentzugsleistung pro Gesteinsschicht in [W] (pro Summe Meter Sondenlänge) für 2400 h/a	Spezifische Wärmeentzugsleistung der jeweiligen Sondenstrecke in [W]
0 bis 4	Ton, Schluff (trocken)	20	80	
4 bis 65	Sandstein	55	3355	3435

Tabelle 5. Berechnungsbeispiel für die Summe der spezifischen Wärmeentzugsleistung eines Anlagenstandortes in der Einheit der tertiären Grundwasserleiter (überwiegend bindiges Lockergestein)

Sondenstrecke (Bohrprofil) in [m] unter Gelände	Bezeichnung der Fest- bzw. Lockergesteine	Berechnung nach Vorgabe der VDI 4640 [W/m] pro Gesteinsschicht	Spezifische Wärmeentzugsleistung pro Gesteinsschicht in [W] (pro Summe Meter Sondenlänge) für 2400 h/a	Spezifische Wärmeentzugsleistung der jeweiligen Sondenstrecke in [W]
0 bis 1,5	Schluff, Sand, trocken	20	30	
1,5 bis 4	Schluff, trocken	20	50	
4 bis 20	Ton	40	640	
20 bis 30	Braunkohle	20	200	
30 bis 50	Ton, Schluff	40	800	
50 bis 60	Braunkohle	20	200	
60 bis 65	Ton	40	200	2120

Tabelle 6. Berechnungsbeispiel für die Summe der spezifischen Wärmeentzugsleistung mit einer Entzugsleistung von 50 W/m für einen Tonstein

Sondenstrecke (Bohrprofil) von x [m] unter Gelände	Bezeichnung der Fest- bzw. Lockergesteine	Berechnung nach Vorgabe der VDI 4640 [W/m] pro Gesteinsschicht	Spezifische Wärmeentzugsleistung pro Gesteinsschicht in [W] (pro Summe Meter Sondenlänge) für 2400 h/a	Spezifische Wärmeentzugsleistung der jeweiligen Sondenstrecke in [W]
0 bis 4	Ton, Schluff, trocken	20	80	
4 bis 65	Tonstein	50	3355	3130

Tabelle 7. Berechnungsbeispiel für die Summe der spezifischen Wärmeentzugsleistung mit einer Entzugsleistung von 60 W/m für einen Sandstein

Sondenstrecke (Bohrprofil) von x [m] unter Gelände	Bezeichnung der Fest- bzw. Lockergesteine	Berechnung nach Vorgabe der VDI 4640 [W/m] pro Gesteinschicht	Spezifische Wärmeentzugsleistung pro Gesteinschicht in [W] (pro Summe Meter Sondenlänge) für 2400 h/a	Spezifische Wärmeentzugsleistung der jeweiligen Sondenstrecke in [W]
0 bis 4	Ton, Schluff, trocken	20	80	
4 bis 65	Sandstein	60	3660	3740

und in der Planung mit ausreichenden Bohrungslängen entsprechend berücksichtigt werden.

Die in dieser Untersuchung angenommenen jeweiligen Entzugsleistungen entsprachen in der Festlegung immer nur solchen Werten, die innerhalb des angegebenen Schwankungsbereiches aus der Richtlinie der VDI 4640 lagen. Dabei sollte in der Auswertung auch eine zu große Streuung der gesamten Entzugsleistungen eines Standortes durch den Ausschluss von minimalen und maximalen Werten verhindert werden.

Fehlerabschätzung und Bewertung der Berechnungsgrundlage

Aufgrund der unterschiedlichen Bewertungen der geologischen Standorteigenschaften und der Komplexität beeinflussender Faktoren stellt sich die Frage, inwieweit die verwendeten Kennwerte zur jeweiligen spezifischen Wärmeentzugsleistung uneingeschränkt bei solchen Aufgaben angewendet werden können. Die Methode der Datenbearbeitung kann keinesfalls absolute Kennwerte als bestimmte Entzugsleistungen definieren. Vielmehr konnte mit Hilfe der statistischen Auswertung lediglich der systematische Trend aufgezeigt werden, dass sich in Abhängigkeit von der Geologie des Standortes die Kriterien für eine effiziente Dimensionierung der Sondenstrecke zum Teil stark unterscheiden. Dabei wird deutlich, dass in vielen Gebieten mit Festgesteinsuntergrund gleichmäßig mittlere bis hohe Wärmeentzugsleistungen erwartet werden können. Im Gegensatz dazu weisen bestimmte Standorte im Lockergestein, bedingt durch die geologische Untergrundsituation, oft nur niedrige bis mittlere Entzugsleistungen auf und es kann folglich leichter zur Unterdimensionierung der Anlagen kommen, wenn unzureichende Kenntnisse des geologischen Profils bestehen. Diese Aussage soll durch zwei Berechnungsbeispiele, gezeigt in den Tabelle 4 und 5, verdeutlicht werden.

In der Tabelle 4 wird eine Situation vorausgesetzt, die allgemein für eine Wärmeentzugsleistung im Festgestein angenommen werden kann. Die Bohrung

ist in einem Sandstein angelegt mit einer Sondenstrecke von 65 Metern. Es besteht eine 4 Meter mächtige Lockergesteinsbedeckung. In der Annahme, dass der Grundwasserstand unterhalb von 4 Metern liegt, wird die spezifische Wärmeentzugsleistung für diesen oberen Bereich im Lockersediment mit 20 W/m ausgelegt. Für die verbleibende Sondenstrecke von 61 Metern im Sandstein sind durchgängig mittlere bis hohe Wärmeentzugswerte zu erwarten.

Bei angesetzten 3 Bohrungen könnten dem Untergrund somit unter den gegenwärtigen technischen Anlagenbedingungen bis zu 10 kW entzogen werden.

In der Tabelle 5 wird eine Standortcharakteristik der Einheit der tertiären Grundwasserleiter beschrieben. Durch den Wechsel unterschiedlicher Schichtmächtigkeiten von Ton, Schluff, Sand und Braunkohle sind durchgängig nur niedrige bis mittlere spezifische Wärmeentzugsleistungen zu erwarten. Im Vergleich mit der Berechnung der Tabelle 4 sind bei gleichen technischen Bedingungen und einer benötigten Bedarfsleistung von 10 kW statt 3 Bohrungen nunmehr 5 Bohrungen notwendig, um eine äquivalente Summe der Entzugsleistung zu erreichen.

Da es sich bei den theoretisch ermittelten Summen der Entzugsleistungen um Näherungswerte handelt, wurde im Vergleich zu den real angegebenen Anlagendaten in der Auswertung der Gesamtentzugsleistung für jeden Standort eine Fehlertoleranz von 10 % Abweichung angesetzt und rechnerisch einbezogen. Aufgrund dieses tolerierten Schwankungsbereiches wurden in der abschließenden, klassifizierenden Beurteilung nur diejenigen Anlagen als „überdimensioniert“ bzw. „unterdimensioniert“ betrachtet, die bei der Dimensionierungsplanung durch den verantwortlichen Bauherrn entweder eine andere geologische Situation am Standort vorausgesetzt hatten, oder bei denen die angenommenen spezifischen Wärmeentzugsleistungen im Untergrund entgegen den Vorgaben der VDI 4640 als zu hoch oder zu niedrig angesetzt worden waren. Diese Aussage soll an den

Berechnungsbeispielen der Tabelle 6 und 7 anschaulich verdeutlicht werden.

Je nach den gegebenen Planungskriterien kann der gewählte Wert für eine spezifische Wärmeentzugsleistung im Festgestein variieren. Als Dimensionierungsgrundlage kann ein mittlerer Wert von 50 W/m wie im Falle eines Tonsteines für die gesamte Sondenstrecke angenommen werden.

In anderen Planungsansätzen wird die Entzugsleistung für einen Sandstein mit einem Wert von 60 W/m angesetzt. Im Vergleich zur ermittelten Summe der Entzugsleistung von 3435 W in der Berechnung der Tabelle 4, liegen jedoch die jeweiligen Gesamtsummen von 3130 W für einen Tonstein und 3740 W für einen Sandstein mit einer prozentualen Abweichung von 9 % innerhalb der Grenze der 10 % Fehlertoleranz (vgl. Tabelle 6 und 7).

Dadurch werden auch eventuelle Unterschiede in der Gesteinsansprache und Unsicherheiten im Bezug bestehender lithologischer Mächtigkeiten in der Auswertung berücksichtigt. Anders verhält es sich, wenn die gewählten jeweiligen Entzugswerte im Widerspruch zur geologischen Situation im Untergrund stehen (vgl. Tabelle 5).

In der Gesamtheit wird dieses Bewertungskonzept durch die gute Übereinstimmung der Wärmeentzugsleistungen im Festgestein und die häufig erkannten Schwierigkeiten einer Anlagendimensionierung im Lockergestein unterstützt.

6. Literaturquellen

/1/ Bachmann, G.H., Ehling, B.C., Eichner, R. & Schwab, M. (Hrsg. 2008): Geologie von Sachsen-Anhalt. 689 S., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

/2/ Tholen, M., Walker-Hertkorn, S. (2008): Arbeitshilfen Geothermie - Grundlagen für oberflächennahe Erdwärmesondenbohrungen. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.

/3/ VDI 4640 Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg. 2010): Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Beuth Verlag, Berlin.

/4/ VDI 4640 Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg. 2001): Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 2: erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Beuth Verlag, Berlin.

Evolution of the Central Pyrenean Mérens fault controlled by near collision of two gneiss domes

JOCHEN E. MEZGER¹, STEPHAN SCHNAPPERELLE² & CHRISTOPHER RÖLKE³

¹MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG, INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND GEOGRAPHIE, FG ALLGEMEINE GEOLOGIE, VON- SECKENDORFF- PLATZ 3, HALLE (SAALE); EMAIL: JOCHEN.MEZGER@GEO.UNI-HALLE.DE

²STEPHAN SCHNAPPERELLE BORNAISCHE STRASSE 9, D-04277 LEIPZIG EMAIL: DEM_STEPHAN@WEB.DE

³CHRISTOPHER RÖLKE SCHEFFELSTRASSE 47, D-04277 LEIPZIG EMAIL: CHRISTOPHER_ROELKE@HOTMAIL.COM

Schlüsselwörter: Mérens-Störung, Zentralpyrenäen, Gneisdome, Verformungspartitionierung, Kompetenzkontrast

Keywords: Mérens fault, Central Pyrenees, gneiss domes, strain partitioning, competence contrast

Zusammenfassung:

Die Mérens-Scher- und -Störungszone (MSFZ) ist ein bedeutendes orogen-paralleles Strukturelement innerhalb der variszischen Kernzone der Zentralpyrenäen. Entlang einer Gesamtlänge von 70 km verläuft sie durch Gesteine unterschiedlicher Festigkeit. Die Ausbildung der MSFZ wird beeinflusst durch den Kompetenzkontrast der durchschnittlichen Gesteine, sowie der Existenz zweier großer Gneisdome, dem Aston- und dem Hospitaletdom. In Bereichen minimalen Abstandes (ca. 300 m) zwischen den Orthogneiskernen der beiden Dome haben sich mylonitische Bänder in subvertikalen metasedimentären Gesteinen geringer Festigkeit ausgebildet. Westlich der Orthogneise befindet sich eine Übergangszone, in der die MSFZ in eine nördlich einfallende Aufschiebung übergeht, die amphibolitfaziale Glimmerschiefer im Norden von Phylliten mit spröde-duktilen Gefüge im Süden trennt. Der Schersinn innerhalb der duktilen Scherzone und der spröden Störung weist auf eine generelle dextrale, südwärts gerichtete Aufschiebung des Astondoms über den Hospitaletdom hin. Lokale Scherrichtungen stehen unter dem Einfluss von Verformungspartitionierung, befinden sich aber im Einklang mit dextraler transpressiver Tektonik. Im Bereich des westlichen Endes der MSFZ ist die lokale Verformung minimal, wobei sie sich über mehrere Kilometer verteilt und in südvergente Falten manifestiert. Das zu beobachtende Gefüge weist auf eine kontinuierliche Entwicklung von duktiler Scherung zu sprödem Bruch hin, anstatt zweier unterschiedlicher Deformationsereignisse. Die Ausbildung der mylonitischen Scherzone und der Störungszone ist das Ergebnis der Beihnahekollision zweier großer Gneisdome.

Abstract:

The Mérens shear and fault zone (MSFZ) is a major orogen-parallel structure within the Variscan crystalline core of the Central Pyrenees, passing through rocks of various strength along its 70 km length. The nature of the MSFZ is strongly dependent on the competence contrast of the rock assemblages transected by it, and the presence of two large gneiss domes, the Aston and Hospitalet. A high-strain mylonite zone is developed in narrow subvertical bands of weak metasedimentary rocks where the spacing of the orthogneiss cores of the domes is minimal (ca. 300 m). In a transition zone west of the orthogneisses, the MSFZ grades into a northerly dipping reverse fault, separating amphibolite-facies mica schist with mylonitic bands to the north from phyllites displaying brittle-ductile fabrics to the south. Sense of shear along the ductile shear zone and the brittle fault indicates an overall dextral reverse motion, thrusting of the Aston dome over the Hospitalet dome to the south. Local shear directions respond to strain partitioning and are in accordance to an overall dextral transpressive regime. Near its western termination, local strain is minimal, deformation spread across several kilometres resulted in south-verging folds. Observed fabrics indicate a progression from ductile to brittle deformation, rather than two separate deformation events resulting in ductile shearing followed by brittle faulting. The development of the high-strain shear and fault zone is the result of the near collision of two large gneiss domes.

1. Introduction

The development of fault and shear zones is commonly associated with weakening of rocks by reducing rock cohesion (fault breccia), grain size (mylonitization), or the development of distinct planes of anisotropy, e. g. foliation, mylonitic foliation (Ramsay & Huber 1987, Twiss & Moores 1992). Such zones of relative weakness, compared to adjacent stronger wall rocks, can be reactivated later under favourable stress orientations (Passchier & Trouw 2005). Large-scale (> 10 km) regional fault or shear zones change their expression along strike in response to variations in rock strength and competence contrast. In crystalline core zones of orogenic belts, characterized by multiple deformation and metamorphism, younger thrust faults are most common and easy to recognize. Less obvious, and possibly obscured by younger events, are high-angle fault and shear zones with a long history that may include more than one orogenic cycle. They can possess a complex geometry with co-existing brittle and ductile fabrics that result from either separate deformational events, progressive deformation at different crustal levels, partitioning between zones of different strain, or a combination of these factors. Reconstruction of the deformational history along such fault and shear zones is a difficult task, but crucial for the understanding of the orogenic evolution (Alsop & Holdsworth 2004).

The Pyrenees are an east-west trending mountain range resulting from partial subduction of the Iberian underneath the European plate during the late Cretaceous to late Oligocene, coeval with the formation of the Alps (Verges et al. 2002). This convergence initially created sinistral strike-slip faults along the plate boundaries (e.g. North Pyrenean fault) and subsequently a biverging fold and thrust belt (Fitzgerald et al. 1999). The Axial zone is the crystalline core of the Pyrenees and vestige to an older tectonic period: pre-Mesozoic metasedimentary and magmatic rocks were deformed during the Variscan orogeny. The majority of faults within the Axial Zone have a strong vertical displacement component, and are thrust faults of Variscan or Alpine age. Faults with prominent lateral motion are restricted to high-strain shear zones in the eastern Pyrenees, the Albera and Cap de Creus massifs (Carreras 2001), or regional fault zones developed in the vicinity of gneiss domes of the Central Pyrenees. These steeply dipping fault zones are oriented parallel to the present-day orogenic trend, and display signs of multiple phases of deformation, the youngest having a dominant southerly directed thrust component, corresponding to late Variscan or Alpine thrusts. Their presence at the contact between orthogneisses bodies and metasedimentary rocks reflect the significant competence

contrast between strong orthogneisses and weaker schists and phyllites.

One of the most extensive fault zones in the Central Pyrenees is the E–W-striking Mérens shear and fault zone (MSFZ). It can be traced along 70 km from the Noguera-Pallaresa valley in Spain eastward through the French Soulcem valley, along northern Andorra, to the Têt valley, where it abuts the Confluent basin (Fig. 1). The expression and the style of deformation of the MSFZ change along strike and reflect the different rock types it transects, as well as its activity periods. In northwestern Andorra, near its western termination, the fault splays into several smaller strands, separating amphibolite facies schists in the north from lower grade phyllites to the south. In the central part, spectacular subvertical mylonitic bands mark a shear zone that separates the large orthogneiss bodies of the Aston and Hospitalet domes. Along the eastern section, south of the Quérigut massif, the MSFZ is poorly exposed.

Previous researchers (Zwart 1958, Carreras and Cirés 1986, McCaig 1986, Denèle et al. 2008) have focused on specific parts of the fault and shear zone, but without correlation of these different regions our understanding of this major Pyrenean fault zone remains vague. This study is an attempt to develop an evolution model of the MSFZ by comprehensive mapping of a large section (ca. 40 km) of its well exposed western part. The main problems that are being addressed pertain to the along strike variation of deformation, sense and timing of movement, metamorphism and rocks affected. For the first time, the different aspects of the Mérens fault are described and summarized in one comprehensive study, intended not to be the definite model, but rather provide the base for future research.

2. Geological Setting

Elongated mantled gneiss domes, consisting of orthogneiss cores with enveloping amphibolite-facies metasedimentary rocks, are among the most spectacular structures in the Axial zone of the Pyrenees, preserving multiple ductile deformation and metamorphism of the main-phase Variscan deformation (Mezger 2009). The orthogneiss complexes of the Aston and Hospitalet domes are comparable in size (28–34 km length, 9–14 km width) and are composed mainly of monzogranitic augengneisses. Metaleucogranite, metagranodiorite, metadiorite and migmatitic orthogneiss are also common in the western Aston orthogneiss. Intrusions of the protolith are predominantly of middle Ordovician age (ca. 470 Ma, Denèle et al. 2009), while parts of the Aston orthogneiss are vestige to a Cadomian magmatic event (545 Ma, Mezger 2010). The orthogneisses are intruded by granites of uncertain Carboniferous age. Both

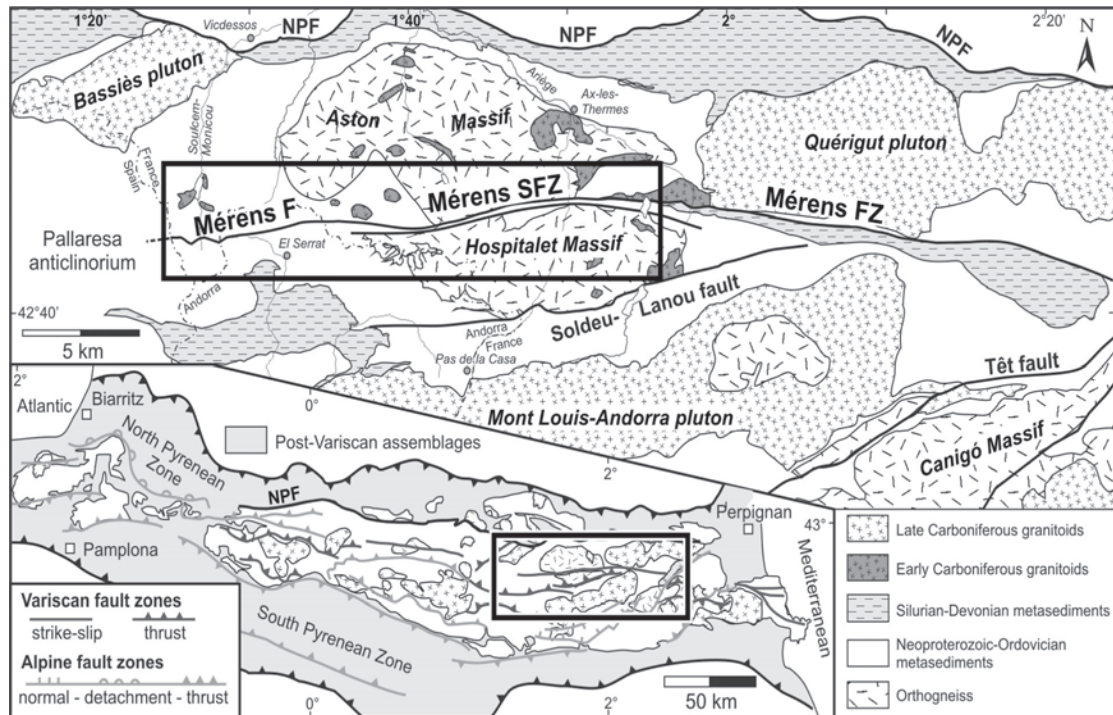


Fig. 1 Geological overview map of the Central Pyrenean Axial zone with location of the Mérens shear and fault zone. The Major faults within the Axial zone and the post-Variscan cover rocks are shown on a simplified geological map of the Pyrenees. Study area is indicated by blue rectangle. NPF denotes North Pyrenean Fault. Modified after van den Eeckhout (1986), Autran & Garcia-Sanseguno (1996) and Mezger (2009).

orthogneisses have a laccolith shape, the thickness of the smaller Hospitalet gneiss is estimated to be 2.5 km (Denèle et al. 2007). At their eastern termination, the gneiss cores dip underneath the metasedimentary mantle, while high-grade mica schists, migmatitic in the Aston dome, structurally underlie the orthogneiss in the west. Similar attitudes of schistosity in metasedimentary rocks and orthogneisses suggest that the main deformation post-dates initial magmatic emplacement in the Ordovician (Mezger 2009). Metasedimentary rocks consist predominantly of metapelites, with minor micaceous quartzites, marble and quartzite layers, of Cambro-Ordovician age (Zwart 1965, Casteras 1969) and possibly latest Neoproterozoic age (Ediacaran, Mezger, unpublished data). Their metamorphic grade decreases from upper amphibolites facies near the contact with the orthogneiss to greenschist facies (mica-chlorite phyllite) with increasing distance.

Formation of the Aston and Hospitalet domes is the result of N–S directed compression, subsequently reducing the distance between the orthogneiss cores to a few hundred meters in the central region (Denèle et al. 2007, Mezger 2009). Within this narrow zone, high-strain deformation of metasedimentary rocks produced mylonites and ultramylonites of the Mérens shear zone (MSZ), subsequently overprinted by the semi-brittle Mérens fault (MF), named after the village of Mérens-les-

Vals in the Ariège valley. To the west of the orthogneisses, the shear zone passes through less competent metasedimentary rocks and splays into several strands of mylonite and deformation bands with gradually lower strain, eventually to diminish west of the French-Spanish border (Carreras & Cirés 1986). In these low-strain zones, which also cut fine-grained greenschist facies phyllites, distinction between low-strain shear zones and younger semi-brittle faults becomes difficult. Schnapperelle (2010) named the whole composite structure the Mérens shear and fault zone (MSFZ).

Reverse faults are also developed along the northern and southern margins of the orthogneisses, accommodating uplift of the orthogneiss complexes relative to the adjacent low-grade metasediments. However, only the Soldeu-Lanou fault along southern margin of the Hospitalet orthogneiss forms a distinct fault zone (Fig. 1, Denèle et al. 2007).

3. Previous Studies

Despite its length of approximately 70 km, its good exposure along the main Pyrenean chain (800–2000 m elevation above sea level) and its accessibility through the Ariège and northern Andorran valleys, the MFSZ has not been the subject of many detailed studies. Its major characteristics were described by Zwart (1958) and

subsequently published on 1:50,000 scale maps (Zwart 1965, Besson 1991), though the lithology in many sections of the MFSZ is not differentiated. Carreras & Cirés (1986) and Carreras & Debat (1995) have shown that the distinct mylonitic zone of the MSZ in northern Andorra splays into two mylonite bands near the French-Andorran border, passing into several lower strain deformation bands which disappear in the Pallaresa anticlinorium west of the Port de Roumazet (Port Vell) at the Spanish-French border. They relate the deformation bands to intense late folding without significant offset that, consequently, do not represent a fault. Thus, they refute previous studies which postulate a continuation across the Pallaresa anticlinorium further to the Cauterets massifs, 125 km to the west (Oele 1966, Soula et al. 1986).

McCaig (1986) mapped a small area of the MF and adjacent Aston dome in the Rialb valley of northern Andorra. Although the main focus of the study is fluid-rock interaction and metasomatism in shear zones (McCaig 1987), structural analyses suggested that the MF was active together with smaller WNW-trending shear zones (McCaig 1986, McCaig et al. 1990). These mylonites are related to widespread oblique shear zones that cut through all Variscan structures associated with Alpine orogenesis (Soula et al. 1986). ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of 100–50 Ma from whole rock and muscovite of mylonitic metapelites are interpreted as the timing of movement along the MF, although McCaig & Miller (1986) do not rule out older Variscan movement.

East of Mérens-les-Vals, Denèle et al. (2008) studied mylonitized plutonic rocks (granodiorites to gabbro-norites) within the MSZ, interpreted to have been deformed in sub-solid state during emplacement. The authors concluded that the MSZ served as a feeder zone to a now eroded pluton during the main Variscan magmatic phase.

Most authors agree on reverse motion with relative movement of the northern block (i.e. Aston dome) over the southern Hospitalet dome, with a minor dextral component (Zwart 1958, Carreras & Cirés 1986, McCaig 1986, Mezger 2009), except for Soula et al. (1986) who postulated a major sinistral offset of 10 km based on presumed displacement of metamorphic mineral isograds.

4. Methodology

The incentive for this study is to connect the study areas of Carreras & Cirés (1986) and Denèle et al. (2008) and develop a comprehensive evolution model of the MSFZ by mapping it in its entirety along the best exposed section, 40 km between the Port de Roumazet at the French-Spanish border to the Étang de Naguille in the east. Excellent accessibility allowed continuous mapping, leaving only small gaps (<1 km) due to steep ridges. The 30 km east of

the Parc Natural d'Orlu, where the MSFZ passes through regions of relative poor exposure, were excluded from this study. Data were collected in the course of several mapping and diploma projects conducted by the authors from 2000 to 2008. Aside from structural mapping with special emphasis on kinematic analyses, the lithology of the MSFZ rocks was mapped in detail at a scale of 1:25,000 along a 1–2 km wide strip, covering the shear zone rocks and well into the adjacent areas of the Aston and Hospitalet dome not affected by the MSFZ (Rölke 2009, Schnapperelle 2010). Structural and geological data from the adjacent areas are obtained from Mezger (2009). In addition, microstructural analyses from 112 samples were made.

5. The Mérens Shear and Fault Zone (MSFZ)

5.1 Overview

Although the rocks within the narrow high-strain zone between the Aston and Hospitalet orthogneisses are mechanically weaker, the MSFZ does not control the morphology. Instead of E–W trends, the main valleys of Soulcem-Monicou, Seignac, Aston and Ariège are aligned north to south, reflecting the more recent Alpine orogenic and exhumation history. The valleys that run parallel to the MSFZ are less distinct and catch the headwaters at the foot of the main Pyrenean mountain chain, the watershed between rivers flowing to the Atlantic (north) or the Mediterranean (south). Even within E–W oriented valleys, the MSFZ does not necessarily pass through the valley floor, but is located along steep mountain slopes (e.g. Tristaina valley, northern Andorra).

Based on structural characteristics, the mapped 40 km segment of the MSFZ can be divided into three domains. A high-strain shear zone prevails along a distance of 27 km, from the Étang de Naguille to the Port de Soulanet at the French-Andorran border. That section is dominated by mylonitic rocks with a subvertical foliation. The shear zone width ranges from less than 250 m (Laparan valley) to 1.5 km (Mérens-les-Vals, Étang de Naguille, Fig. 2). Following the western termination of the orthogneisses near Port de Soulanet, coexisting brittle and plastic deformation mark a 5–6 km long transition zone where the MSFZ passes through metasedimentary rocks. The width of the transition zone ranges from 30–150 m. Near the Arcalis ski station in the Tristaina valley, the MSFZ is marked by a fault zone (Mérens fault zone, MFZ) that splits into two deformation bands, the major striking westward, and a minor splaying to the southwest, terminating after 3 km at the French-Andorran border (Carreras & Cirés 1986). The main MFZ passes the border at Port de Rat, a narrow zone few tens of meters wide with steep northerly dipping fault planes, tightly folded schists

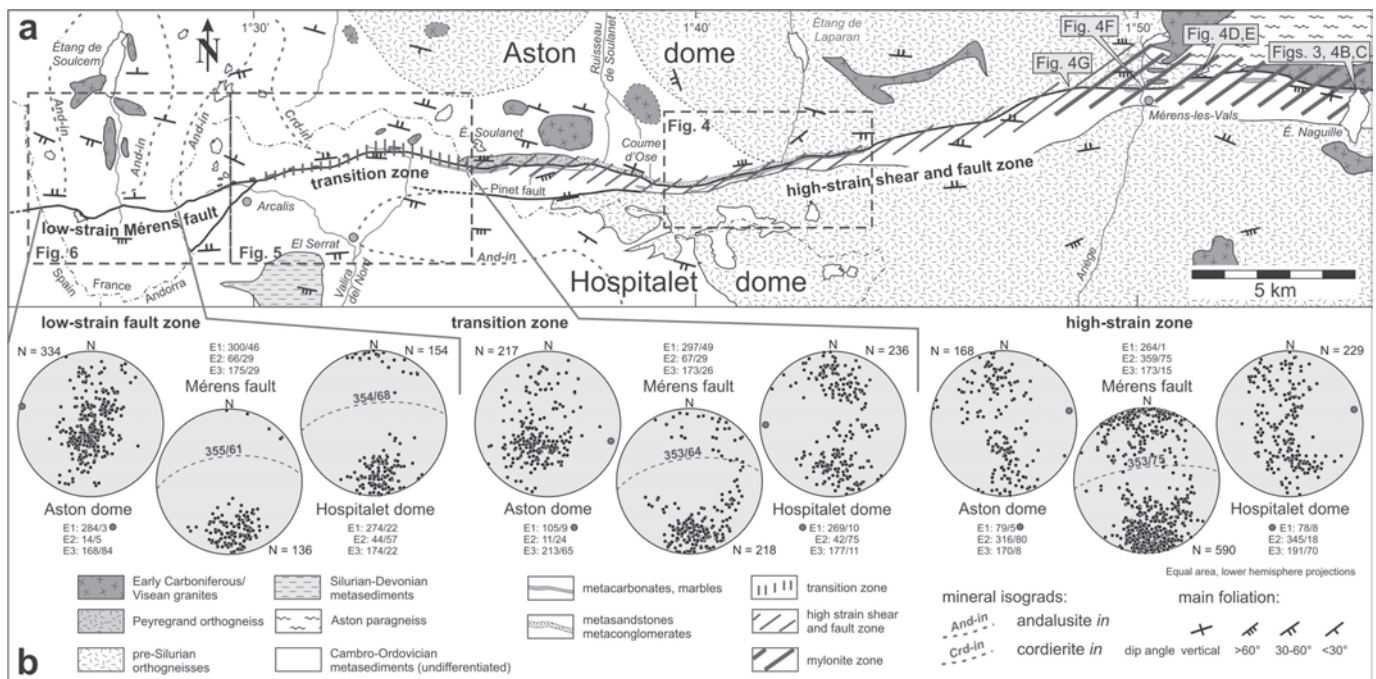


Fig. 2 Geological map of the western part of the Mérens shear and fault zone (MSFZ) subject to this study. Based on observed strain magnitude, the MSFZ is subdivided into three sections, a low-strain, a transition and a high-strain zone. Attitudes of the main foliation and location of selected mineral isograds are shown; B: Equal area stereonet of poles to foliation within the MSFZ and adjacent areas of the Aston and Hospitalet domes in all three zones. E1–3 represent the calculated eigenvectors. Geology modified after van den Eeckhout (1986), Denèle et al. (2008), Mezger (2009), Rölke (2009) and Schnapperelle (2010).

and decimetre-scale duplex structures. Along the final 8 km, strain within the MFZ diminishes gradually and the metamorphic contrast between the metasedimentary rocks of the northern and southern blocks disappears. At its end near Estany de Port Vell, the MFZ is merely reduced to a few deformation bands without obvious offset (Carreras & Cirés 1986).

5.2 Lithology of the MSFZ

Located between the Aston and Hospitalet domes, the lithology of the MSFZ reflects the geology of the adjacent domes. Metasedimentary rocks within the MSFZ include phyllite, quartzite, meta-microconglomerate, metasandstones, metabreccia, meta-arkose, metamarl, calcsilicate and marble. Heterogeneous metacarbonates, varying from pure marble, calc-silicate to marls with interbedded phyllitic layers, form bands up to a thickness of 50 m which can be traced for up to more than one kilometer. Three individual long carbonate layers have been observed at Port de Soulanet, in the Laparan valley and east of Mérens-les-Vals. The eastern band is assigned to the middle to upper Devonian (Denèle et al. 2008, BRGM & IGME 2010), while van den Eeckhout (1986) correlated western marble bands with the Cambrian Ransol member. Pure quartzite banks are very common in the western

Hospitalet dome (van den Eeckhout 1986), but in the MSFZ only a lone metre-thick bed has been encountered in the Rialb valley. Psammitic metasedimentary rocks include meta-microconglomerates with small (<1 mm) clasts of quartz, plagioclase and minor potassium feldspar and muscovite that suggest granitic or granodioritic origin, as well as metasandstones that still preserve individual quartz grains. Metaconglomerates occur in the Laparan valley north of the MF, where they form a prominent 6–7 km long and 50–250 m thick band structurally overlying the orthogneisses of the Aston dome. Isolated small lenses are found in the Rialb valley further to the west, but are probably more widespread, since strongly deformed metaconglomerates are barely distinguishable from mylonitic metagranites with the naked eye. South of the metapsammities, the MSFZ contains fine-grained biotite-muscovite-chlorite phyllites, structurally overlying the Hospitalet orthogneiss. They vary in thickness from tens of meters (western Laparan valley) to more than 2 km west of Mérens-les-Vals. There, however, only the northernmost 500 m lie within the shear zone. The absence of porphyroblasts characteristic of amphibolite facies (e.g. andalusite, staurolite) and the fine-grained texture of less deformed metapelites outside the MSFZ strongly suggest that the metamorphic grade of the phyllites did

not exceed greenschist facies. These phyllitic rocks are in strong contrast to migmatitic schists, andalusite and/or sillimanite schists that underlie the western Aston dome north of the MSFZ westward from Port de Soulanet. In the eastern Rialb valley, these coarse high-grade schist are mylonitized and incorporated into the shear zone, easily distinguishable from the adjacent phyllites to the south of the MF.

Magmatic rocks within the MSFZ occur as lenses of orthogneiss and granitic pegmatite varying in size from tens to hundreds of meters in the NW Andorran section between Port de Soulanet and Port de Rat. Their occurrence is restricted to the area north of the MF. In the eastern section, predominantly east of Mérens-les-Vals, calc-alkaline granitoids and mafic plutonic rocks (diorite, gabbro, tonalite) form a 10 km long band interpreted by Denèle et al. (2008) as a deformed magma feeder zone of a now eroded pluton. The only other known occurrence of mafic rocks within the MSFZ west of Mérens-les-Vals is the central Laparan valley, where a dark fine-grained metatonalite forms a lens of possible 100 m width within the Aston orthogneiss.

The main bodies of the Aston orthogneisses have only marginally been affected by deformation along the MSFZ, most notably augengneisses in the Laparan valley and the leucocratic granitic Peyregrand gneiss east of Port de Soulanet. The deformational imprint only extends for a few tens or at most hundred metres. Hospitalet orthogneisses basically lie outside the deformation zone of the MSFZ.

Within the MSFZ, the mineral composition of the metasedimentary rocks has seen an increase in chlorite abundance, primarily due to alteration of biotite, which also produced ilmenite, and muscovite. The new chlorite preferentially grows in shear bands crosscutting the previous schistosity. Chloritization of biotite is not restricted to the MSFZ, but occurs in schists of the Aston dome as far as one kilometre away from the fault zone. In orthogneisses, feldspar is altered to calcite and sericite. McCaig (1987) suggested that metasomatism is related with enhanced fluid flow in the shear or fault zones, accompanied with a significant volume increase.

5.3 The eastern high-strain and mylonite zone: the Mérens shear zone (MSZ)

Squeezed between the orthogneisses of the Aston and Hospitalet domes, the eastern MSFZ is characterized by mylonitic magmatic and metasedimentary rocks forming a shear zone up to two kilometres wide. The maximum width is observed east of the study area, between the southwestern margin of the Quérigut pluton and the Étang de Naguille, where calc-alkaline granitoid rocks have experienced high-strain deformation (Denèle

et al. 2008). West of Naguille, the shear zone width is reduced to 1.5 km near Mérens-les-Vals, and to 0.5–1 km up to the termination of the orthogneiss complexes near Port de Soulanet, where the lower strain transition zone commences (Fig. 2). At its narrowest part in the Laparan valley, the Aston and Hospitalet orthogneisses are separated by a zone of metasedimentary rocks less than 300 m wide (Figs. 4A & 7). In the eastern section, up to approximately 1.5 km west of Mérens-les-Vals, the MSFZ affects a significant portion of the Aston orthogneiss. Further west, the majority of the strain is taken up by the metasedimentary rocks within the MSFZ. There, only the southernmost 100–200 m of the Aston orthogneiss has experienced deformation that can be attributed to the MSFZ, while the Hospitalet orthogneisses to the south appear not to be affected at all. In areas where the spacing between the orthogneiss complexes is less than one kilometre, phyllites and meta-microconglomerates, and a minor (5–10 m) marble-marl layer, are completely incorporated in the MSFZ. The brittle Mérens fault passes through the rheological weakest layers, the carbonate band. With increasing space between the Aston and Hospitalet orthogneisses, only metasedimentary rocks north of the fault zone are affected by high-strain deformation. This suggests that the controlling factor for development of the MSFZ location is the southern margin of the Aston orthogneiss.

Structural analyses show that poles to the main foliation within the MSFZ form a broad cluster with a mean around a steep (75°) northerly dipping plane (Figs. 2B & 7). The orientation of the foliation in the adjacent Aston and Hospitalet domes partly overlaps with that of the MSFZ, forming nearly identical girdles around E–W-trending subhorizontal fold axes. They mirror the overall attitude of the main foliation within the two dome structures (Mezger 2009).

The best exposed section of the high-strain MSFZ is located along the shore of the Étang de Naguille, where it cuts through steeply north dipping metasedimentary and adjacent magmatic rocks of the MSFZ (Fig. 3B). The highest strain is recorded in a few tens of meters wide mylonite zone near the dam, at the contact between northern granodiorite and southern phyllites (Fig. 4B). South of the zone of intense shearing, localized mylonitization indicates partitioning into several high and low strain zones. Along the Ariège valley, characteristic rocks of the high-strain MSFZ are mylonitic orthogneisses of the Aston massif with centimetre-sized feldspar augen (Figs. 4 D, E, F). These augengneisses can be traced across the Ariège valley to the upper ski station of the Plateau de Bonascre (Ax-3-Domaines). West of the Ariège valley, gradually

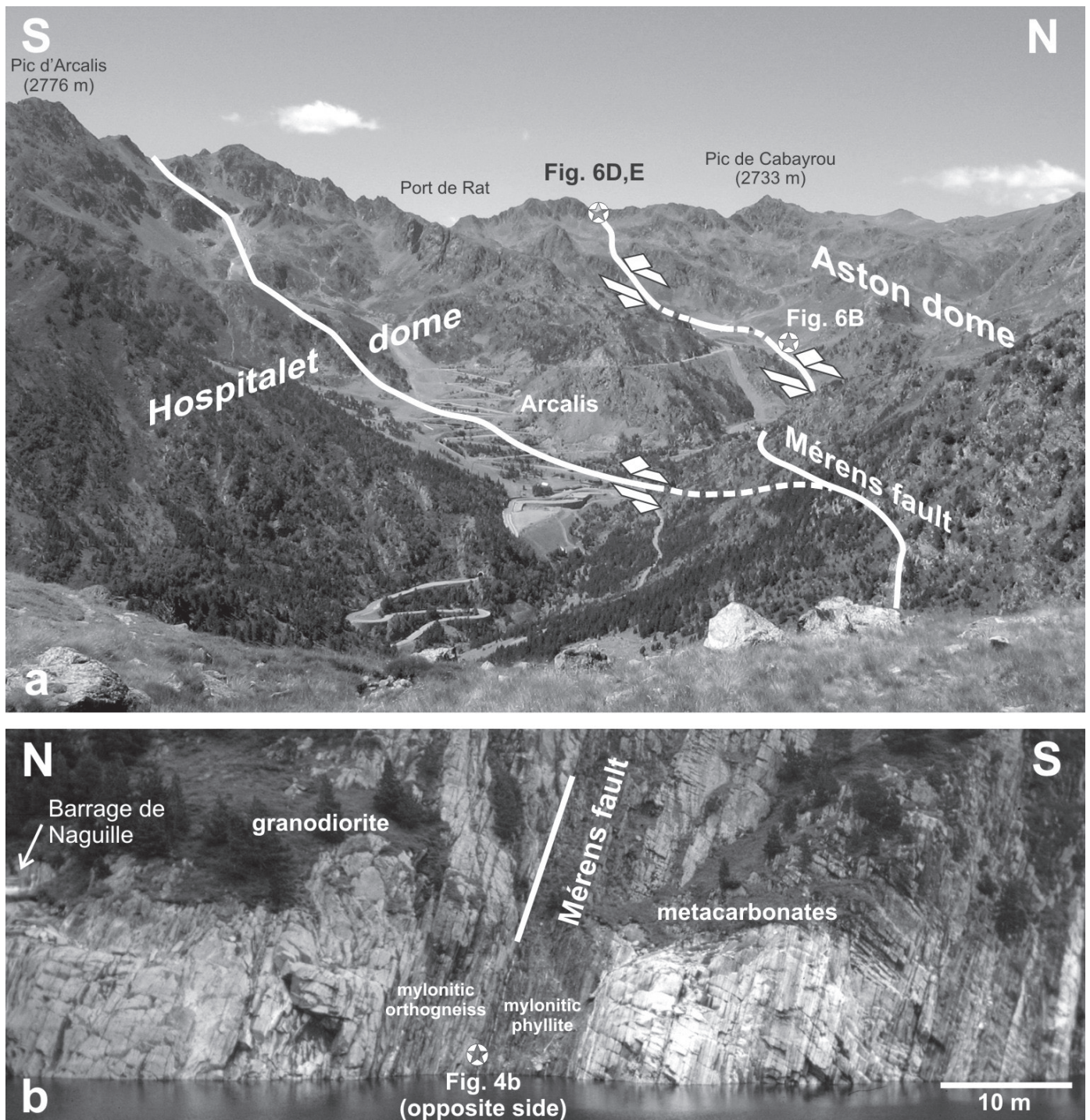


Fig. 3 View westwards across the Tristaina valley in northwestern Andorra towards the border with France at 5 km distance. White lines mark the surface trace of the Mérens fault (MF) and the southwest-striking deformation band passing through Pic d'Arcalis. Arrows indicate top-to-the-south thrusting; B: 80 m wide N–S section of the Mérens shear zone near hydroelectric dam at the northern end of the Étang de Naguille. The MF passes through the centre of the photograph, along the contact between mylonitic granodiorites of the MSFZ in the north and mylonitic phyllites and carbonate to the south. A photomicrograph from a thin mylonitic tonalite band at the base of the orthogneiss is shown on Fig. 4B. The mylonitic foliation is commonly parallel to the lithological contacts, i.e. it has transposed original layering, and dips steeply ($> 70^\circ$) to the north. Reactivation of the fault zone by brittle structures is evident in photomicrographs of Fig. 4C.

Fig. 4 Geological map and rocks from the high-strain MSFZ; A: Detailed structural map of the upper Laparan valley where width of the MSFZ is at its minimum, generally less than 500 m. Most kinematic indicators, slickenlines, show a hanging wall-up, top to the SE motion, i.e. reverse dextral movement of the northern block. However, some fault planes also reveal normal, top to northerly direction, motion. Topography based on the 1:25,000 scale maps Vicdessos and Bourg-Madame (I.G.N. 1992b); B: Thin section scan of a 5 cm thick band of ultramylonitic tonalite from the Mérens fault at the Naguille dam (Fig. 3B). Elliptical sigma-type clasts of hornblende and plagioclase (Pl) indicate dextral sense of shear. Matrix consists of quartz and abundant biotite. Adjacent leucocratic granitic layers are less mylonitised, suggesting that strain was localized in the mica-rich tonalite; C: Detailed photomicrograph from B reveals a millimeter thick breccia layer parallel to the mylonitic foliations, implying reactivation of the older fabric during brittle conditions. Randomly oriented angular fragments of the mylonitic rock are outlined by red arrows. Plane polarized light (PPL); D: Thin section scan of a fine-grained mylonitic granitic augengneiss from the Aston dome near the Mérens fault, one kilometer east-northeast of Mérens-les-Vals; E: Detailed photomicrograph from D zooms in on rounded feldspar clasts mantled by recrystallized feldspar wings with a characteristic delta-type geometry, indicating sinistral sense of shear. Crossed polarized light (XPL); F: Field photograph of a mylonitic two-mica granitic augengneiss with cm-sized feldspar augen (red arrow) from a road outcrop along the RN 20, 500 m north of Mérens-les-Vals. Rock hammer for scale; G: Photomicrograph of an orthogneiss from the Aston dome, Pic de Savis, 2 km west of Mérens-les-Vals. Central feldspar porphyroclast is cut by a sinistral shear band. Red arrows point to domino-type fragmentation of the clast near the fracture. Plastic deformation of quartz crystals in layers within the matrix is indicated by subgrain rotation recrystallization (SGR). Strain experienced by this granite is lower than in D and E (XPL); H: Photomicrograph of a meta-microconglomerate from the Coume d'Ose valley with plastically deformed quartz layers and clasts (SGR) overprinted by younger fold (white line) (XPL); I: Photomicrograph of a crenulated meta-microconglomerate from the western Laparan valley (PPL); J: Close-up of I reveals aligned feldspar clasts and SGR in quartz layers indicative of ductile deformation preceding crenulation folding (XPL).

decreasing strain is evident from a larger average matrix grain size and fractured feldspar clasts (Fig. 4G).

In the western part of the high-strain zone, a narrow microconglomerate band immediately north of the MF records two ductile deformation phases: an earlier high-strain deformation preserved as subgrain rotation recrystallization of quartz and aligned feldspar clasts (Figs. 4H, J). This protomylonitic fabric has been overprinted by younger millimetre-scale tight and southerly verging folds (Figs. 4H, I). Fault planes and slickenlines in adjacent metacarbonates and phyllitic rocks mark the site of the brittle MF. Thin (1 mm) fault breccia zones parallel to the mylonitic foliation of a tonalite at the Naguille dam are the result of brittle reactivation of ductile fabrics within the MSFZ (Fig. 4C).

5.4 The central transition zone

West of Port de Soulanet, the MSFZ leaves the confinement of the Aston and Hospitalet orthogneisses to pass through metasedimentary rocks, mechanically weak phyllites overlain by thin carbonate beds and sillimanite schist to the north (Fig. 5A). In a zone of intense faulting tens of metres wide, thrust planes, duplex structures and northwesterly plunging slickenlines indicate south- to southeast-directed thrusting (Figs. 5B, C). On average, the fault zone foliation dips slightly shallower (64°) northward than in the high-strain zone (Fig. 2B). In contrast, the main foliation of phyllites south of the fault zone and schists to the north has shallower dip angles. Immediately north of the fault zone, a parallel 100–150 m thick protomylonitic

band cuts through sillimanite schist, metaconglomerates and granitic lenses along the first 2.5 km of the transition zone up to the Portella de Rialb (Figs. 5A, 7). Observed sense of shear is similar to that of the fault zone, reflecting south to southeasterly thrusting. The overall strain in the protomylonitic zone is less than in the mylonites of the eastern high-strain zone (Fig. 5 D-F).

Several minor faults exist on both sides of the main MF, with similar orientation and sense of motion, e.g. at Port de l'Albeille, east of the Estany Tristaina. Their formation and activity most likely coincides with motion along the main fault, and reflect widening of the deformation zone. These faults are difficult to trace over a wider range, and some may be blind thrusts, such as the one 500 m south of the MF in the Riab valley, that could represent the termination of the Pinet fault (Fig. 7, van den Eeckhout 1986) or a south-verging syncline (Clariana & García-Sansegundo 2009). Near the Arcalis ski station, a several meter wide deformation band splays off the main strand towards the southwest, passing north of the Pic d'Arcalis ending after 3 km near the French-Andorran border (Fig. 3A). Along the valley floor, tight folding, local crenulation foliation and metamorphic contrast –phyllites in the north, staurolite-cordierite schist to the south– are evidence for thrusting.

5.5 The western fault zone: the Mérens fault zone (MFZ)

The main characteristic of the MFZ is a discrete, few tens of meters wide zone of intensely folded and

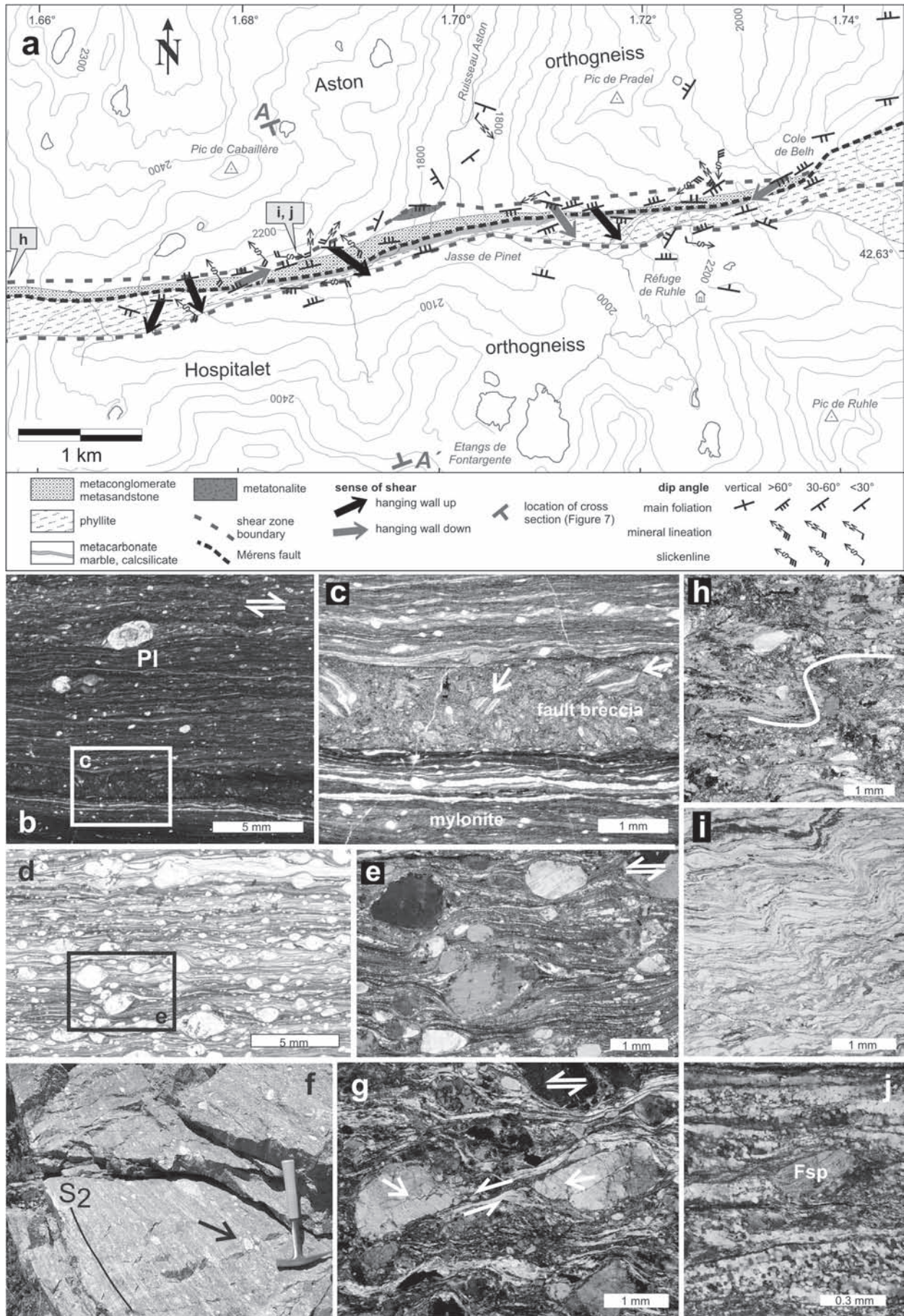


Fig. 5 Geological map and rocks from the transition zone; A: Detailed structural map with major mineral isograds of the transition zone in the Rialb and Tristaina valleys, northern Andorra. Topography based on the 1:25,000 scale map Vicdessos (I.G.N. 1992a); B: Northerly dipping marble beds overlying phyllites at Port de Soulanet, along the French-Andorran border; C: Duplex structures in the phyllites indicate top-to-the-south hanging wall up movement; D: Photomicrograph of a quartz-rich metaconglomerate in the Mérens shear zone in the Rialb valley. Ductile deformation is indicated by shape preferred orientation of quartz subgrains that define an oblique foliation (XPL); E: Photomicrograph of a metagranite from a metre-sized lens within the Mérens shear zone displays brittle fracturing of feldspar clasts and ductile deformation in horizontal quartz bands (SGR) (XPL); F: Photomicrograph of metaconglomerate in the Mérens shear zone of the eastern Rialb valley shows a late brittle shear band, diagonal black line, overprinting plastically deformed (SGR) quartz clasts (PPL).

faulted metasedimentary rocks. Decimetre-scale duplex structures, northerly dipping thrust planes with NW- to NNW-oriented slickenlines and southerly verging tight folds are indicative of southward directed thrusting with a dextral strike-slip component (Fig. 6B, F). North of the fault, andalusite-bearing mica schists possess a moderately northerly dip, while south of the fault, finer grained phyllites dip steeply northwards. The discrete nature of the MFZ is reflected in the tight clustering of the foliation (average attitude of 355/61), compared to the scattering of shear and fault planes in the transition and the high-strain zones. The orientation of the foliation of the Hospitalet phyllites is also more uniform than further east, dipping slightly steeper to the north (354/68). Foliation poles of the schist of the western Aston dome north form a girdle around a horizontal E–W trending fold axis (Figs. 2B, 7). The MFZ cuts mineral isograds of the southern part of the Soulcem contact aureole and the main Aston dome, thus juxtaposing sillimanite-andalusite schist with lower grade phyllites of the Hospitalet dome.

While the attitude of the foliation does not change towards its eastern termination, the overall strain recorded in the MFZ diminishes. Up to the eastern slope of the Soulcem valley, the zone is thrust-dominated, with brittle fracturing of feldspar clasts, plastic deformation of quartz, shear bands in both schist and phyllite (Figs. 6C–E, G, 7). Further west, thrusts give away to southerly verging folds with steeply northerly dipping axial planar cleavages (average attitude: 359/82). Up to a distance of 1.5 km from the MFZ, vertical displacement and strain is distributed over south-verging folds, rather than concentrated on discrete faults. Tight folding, the development of a new cleavage and pressure solution induced by shortening, and transposition of the older fabrics characterize the deformation band west of the Étang de Soucarrane (Fig. 6H,I). Less than one kilometre into Spanish territory, these last vestiges of the MF disappear at Estany de Port Vell (Carreras & Cirés 1986).

The southwesterly striking deformation band and fault zone that splays off the main Mérens fault near the Arcalis ski station in northwest Andorra displays SE-verging tight folds with NW-dipping axial planar cleavage

and slickenlines. The direction of displacement, top-to-the-SE thrusting, is similar to that along the main MFZ.

6. Kinematics within the MSFZ

Along the surveyed 40 km, from the high-strain zone at Étang de Naguille to the termination near Estany Port Vell, the average strain within the MSFZ gradually decreases. The overall displacement direction, however, is the same throughout the MSFZ: a relative upward motion of the northern Aston dome onto the southern Hospitalet dome (Fig. 8A). In detail, brittle and ductile fabrics of the eastern high-strain zone differ from those of the western transition and fault zones. Mylonitic foliations of the high-strain zone are subvertical and strike E–W, while the orientation of shear planes in the transition and fault zone is more scattered and possesses shallower northerly attitudes (Fig. 8B). On the other hand, fault planes and slickensides have similar attitudes, dipping steeply in northern directions (ca. 345/75, Fig. 8B). Slickenline and mineral lineation orientations are subparallel, mirroring the differences between high- and low-strain zones: plunging to the NW-WNW (306/65) in the eastern fault zone, and wider scattered around a westerly plunging mean in the high-strain zone (276/57). The mineral lineation and slickenline trends in the MSFZ are very similar to those in the adjacent dome structures. The plunge angles, however, are significantly steeper in the MSFZ (55–80°) than in the domes where they are shallow to subhorizontal (Mezger 2009). Denèle et al. (2008) report similar lineation attitudes for the metaplutonic rocks of the MSZ.

Shear sense indicators in the eastern shear zone mostly record relative upward motion of the northern block, while both hanging wall up and down motion along northerly dipping shear planes can be observed in the western low-strain zone (Fig. 8A). Given the west-northwestern to northwestern attitudes of most stretching lineations and slickenlines in the eastern part of the MSFZ, a top-to-the-SE motion implies a dextral component to thrusting, as noted before by Zwart (1958), Carreras & Cirés (1986), McCaig & Miller (1986) and Mezger (2009).

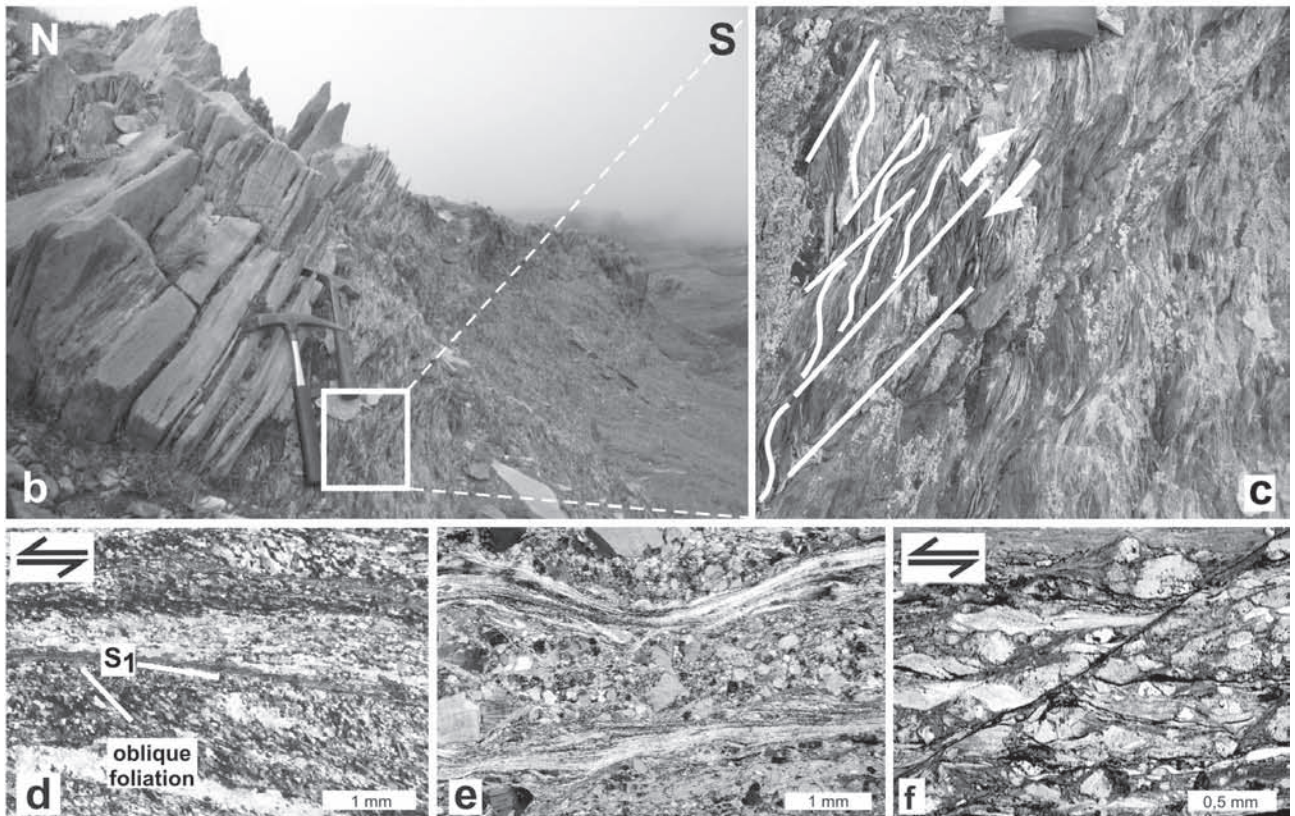
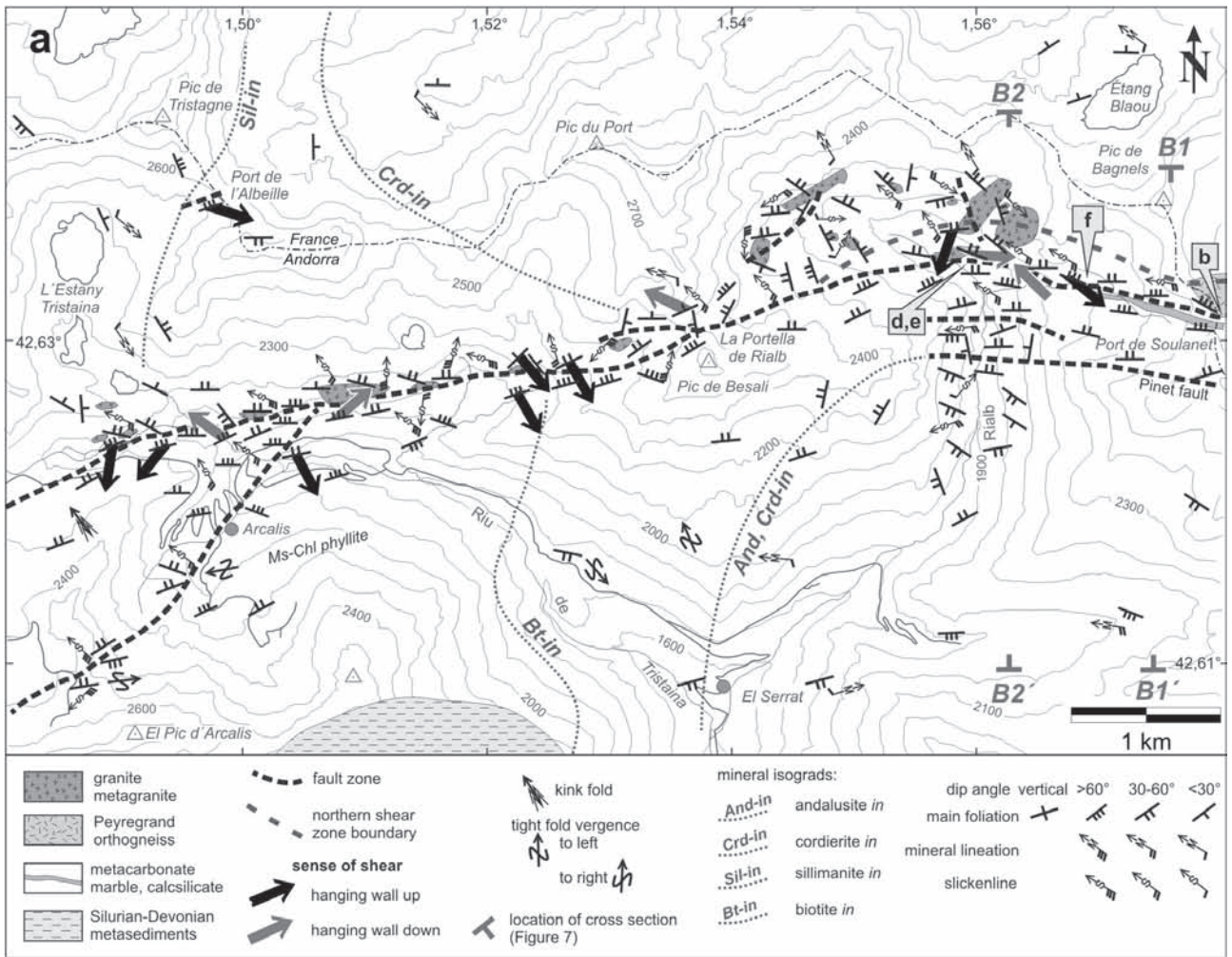


Fig. 6 Geological map and rocks from the western low-strain zone of the MSFZ; A: Detailed structural map of the Tristaina and Soulcem valley, where the MF is expressed as a steep reverse fault with predominant top-to-SSE motion. Topography based on the 1:25,000 scale map Vicdessos (I.G.N. 1992a); B: Folded granite pegmatite in the upper Tristaina valley, north of the Mérens fault. Adjacent mica schist possesses second order folds and an axial planar cleavage, which is also poorly developed within the granite. Folds and new cleavage verge to the south. Yellow notebook (19 cm) for scale; C: Photomicrograph from B reveals brittle fracturing of feldspar, while subgrain rotation in quartz bands is indicative of plastic deformation (XPL); D: Port de Rat, immediately south of the MF: thin section scan of a fine-grained phyllite with late shear bands; E: Port de Rat, immediately north of the MF: photomicrograph of a coarser grained garnet-bearing mica-quartz schist outlines the metamorphic contrast to the phyllites south of the fault. A continuous S1 foliation defined by recrystallized quartz grains is cut by younger shear bands (S2) formed by fine-grained white mica (XPL). Sense of shear is identical in D and E, and related to motion along the MF; F: Outcrop photograph of a mica schist in the MFZ at the eastern Soulcem valley. South-verging tight and sheared-off fold and duplex structures indicate top-to-the-south motion; G: Thin section scan of the mica schist at F shows late shear bands overprinting plastically deformed (SGR) quartz layers (XPL); H: Field photograph taken at Port de Roumazet (Port Vell) along the French-Spanish border, one kilometer east of the termination of the Mérens fault. Here, the only trace of the MF is a deformation band characterized by tight folding of quartz-rich mica schist with prominent new subvertical foliation. Scale bar equals 8 cm; I: Photomicrograph from H reveals a distinct spaced S2 schistosity developed as an axial planar cleavage.

7. Discussion

7.1 Deformation variation along strike

Rock strength, competence contrast and the shape of the gneiss cores control the development of the MSFZ. High-strain deformation is prevalent where the orthogneiss cores of the Aston and Hospitalet domes are in close proximity. The maximum difference in rock strength is reflected in mylonitization of narrow bands of weak metasedimentary rocks wedged between strong orthogneisses, well exposed in the Laparan/Jasse de Pinet section (Fig. 4A). East towards Étang de Naguille, however, an increasing volume of magmatic rocks, mostly calc-alkaline granites, diorites and gabbros, is involved in high-strain deformation. According to Denèle et al. (2008), gabbroic and successively more felsic magma intruded along large tension gashes in a dextral transpressive regime, forming the root zone to a now completely eroded pluton. Periodically ascending magma is thought to have enhanced movement along the fault, at the same time thermally weakening adjacent older Aston orthogneiss, so that it experienced plastic deformation throughout a wider zone (ca. 1 km) than elsewhere along the MSFZ. High-strain deformation is concentrated in the northern part of the MSFZ, close to and partially incorporating the Aston orthogneiss, while the Hospitalet orthogneiss is exempt. The concave shape of the northern Hospitalet orthogneiss margin west of Mérens-les-Vals served as a strain shadow for weak metasedimentary rocks, which retained their low-strain deformation (Fig. 9).

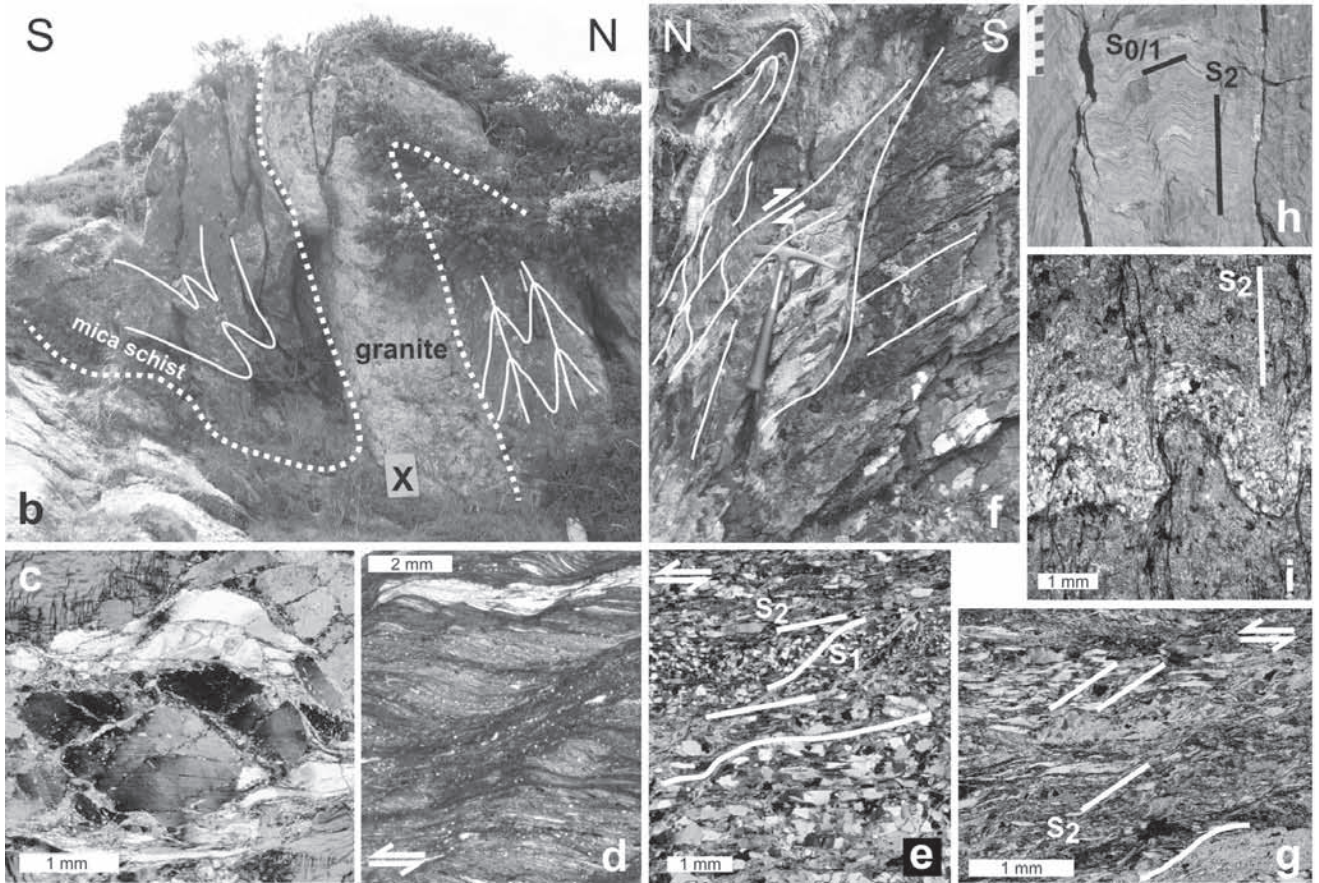
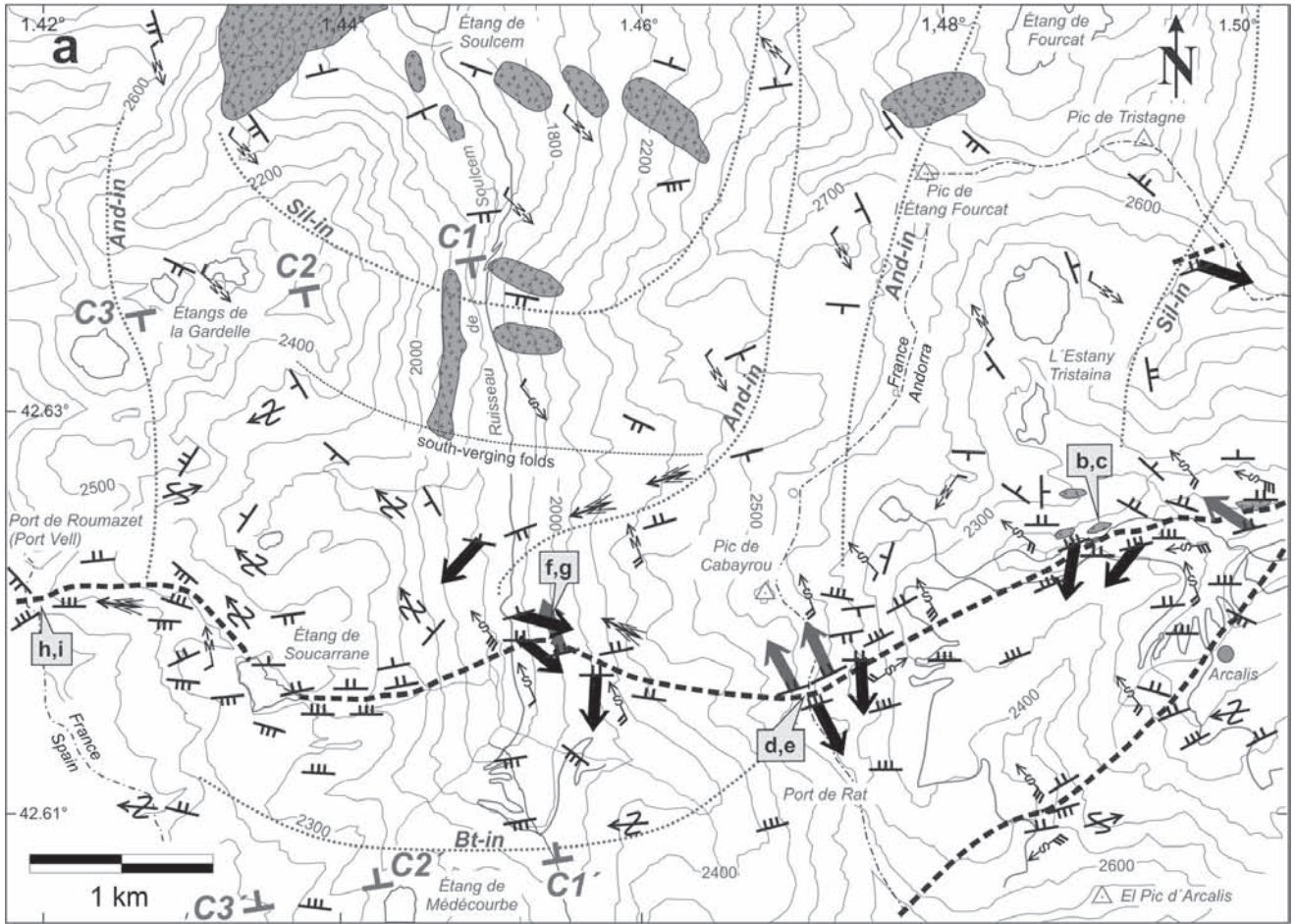
Overall strain decreases as the MSFZ passes west out of the narrow confinement of the orthogneisses. While the Hospitalet orthogneiss gives way to softer phyllites, the western Aston dome is underlain by relatively strong migmatitic mica schists. In the transition zone,

competence contrast is less than in the high-strain zone, but enough to produce thin mylonitic bands. Further reduction of the competence contrast occurs westwards as the metamorphic grade in the Aston dome decreases and migmatitic gneiss is succeeded by weaker andalusite schist. As a result, deformation is spread along branching faults and deformation bands and southerly verging folds across a width of more than two kilometres.

The brittle MF which has overprinted ductile fabrics shifts its site relative to the shear zone, and is variably located to the north, south or within the previously developed shear zone. Its location is controlled by the strongest competence contrast, e.g. at the base of the Aston orthogneiss, or the presence of mechanically weak rocks, kilometre-long marble layers, in general following a path of least resistance.

7.2 Metamorphic grade within the MSFZ

Chloritization of biotite, sericitization of feldspar, nucleation of chlorite in shear bands and fractures indicate that plastic and brittle deformation within the MSFZ took place under greenschist facies conditions. Fine-grained phyllites within the eastern higher strain zone near Naguille show that they were never subjugated to amphibolite facies metamorphism. Within the MSFZ, there is no indication of mineral assemblages, neither fresh or retrogressed, that can be related to deformation under amphibolite grade conditions. Cretaceous-Paleogene ^{40}Ar - ^{39}Ar ages of mylonites either indicate post-Variscan deformation, or more likely, loss of argon caused by surpassing the closure temperatures in biotite and muscovite at 400-500°C (McCaig 1986). These observations refer to the MSFZ exposed at the present surface. The fact that sillimanite isograds of the western Aston dome are cut by the MSFZ implies that it affects



the middle crust as well. Denèle et al. (2008) inferred from microtextures that emplacement and mylonitic deformation of calc-alkaline magmatites in the eastern MSZ occurred under amphibolite facies conditions.

7.3 Ductile versus brittle deformation

Fault planes within marble layers display well-developed slickenlines throughout the whole length of the MSFZ. Field observations and microstructural analyses reveal that brittle deformation post-dates ductile (e.g. Naguille mylonite, Fig. 4C). Due to lack of directional data it is difficult to establish temporal correlation between brecciation of mylonites and faulting in adjacent weaker rocks. Similar structural attitudes facilitate a genetic relation between crenulation folding of competent rocks and macroscopic folding and faulting of weaker rocks. Furthermore, parallelism of brittle and ductile linear structures within the MSFZ points to similar stress orientations (Fig. 8B). An observed progression from high-strain ductile, low-strain ductile to brittle in the Laparan/Jasse de Pinet and Rialb areas furthermore corroborates temporal proximity (Figs. 4A, 5A). Relative strong microconglomerates are mylonitized, preserved in subgrain rotation and bulging recrystallization, and subsequently folded before static recrystallization obliterated the high-strain fabrics (Figs. 4H, I). Bordering marbles and phyllites are tightly folded or have developed duplex structures, indicative of semi-brittle deformation (Figs. 5C, D). Thus, mylonitization and faulting could have been part of the same deformation phase. In the western fault zone, foliation development can be related to folding of metapelites, indicated by virtual identical means of the orientation of the axial planar cleavages and the foliation (ca. 355/63, Figs. 2B, 8B).

7.4 Shift in direction of motion

Despite a wide scattering of data points, a near 60° counter-clockwise shift of the shortening direction from NNW in the western fault to 280° in the central shear zone can be inferred from the mean azimuths of ductile and brittle linear structures (Fig. 8A). Taken the E–W-trending fold axis related to the MF in the Soulcem valley into account, the total shift in shear direction amounts to 80°. This can be explained in terms of deflection of flow and strain partitioning due to approaching and a near collision of two large rigid bodies, the orthogneiss massifs of the Aston and Hospitalet domes (Figs. 9, 10). A compressive regime with a small dextral transpressive component forms southerly verging E–W-trending folds in homogeneous metapelites of the western Aston and Hospitalet domes. (Fig. 8B). Thrust direction along the MF changes from southwards in Soulcem valley to southeastwards in the Tristaina valley to ESE at the Port

de Soulanet, thus turning into transpressive with a strong dextral component, as a response to the approaching of strong migmatitic paragneiss from the north. In the central region, where the hard orthogneiss cores almost come in touch with each other and are only separated by a thin metasedimentary band, dextral strike-slip with a strong vertical component is dominant. The steepening of the attitude of the foliation in the MSFZ, from an average 60° to the north in the Soulcem valley to 75° in the central high-strain zone, can also be interpreted as the result of near collision of two massive rigid bodies. If shortening is assumed to be homogeneous along the MSFZ, concentration along discrete narrow zones, such as the Laparan valley, requires a larger vertical offset along the MSFZ than in the western area, where strain is spread over several kilometres.

7.5 Displacement along the MSFZ

Most studies agree on the overall reverse dextral, top-to-the-SE motion along the MSFZ (this study, Zwart 1958, Carreras & Cirés 1986, McCaig 1986, Denèle et al. 2007, Mezger 2009). Due to the lack of cut-off markers, quantification of the offset is a major problem. Save for the western termination at Estany de Port Vell where the MSFZ dies out and offset approaches zero, the majority of the MSFZ separates two dome structures with their distinct geological evolution paths.

Soula et al. (1986) inferred a sinistral offset of 10 km, based on apparent displacement between isograds in the western Aston and Hospitalet domes. In the light of recent detailed mapping of metamorphic isograds (Mezger, 2005), this estimate is prone to error, since mineral isograds associated with the Soulcem contact aureole cannot exactly be correlated with isograds of the Hospitalet dome. McCaig (1986) proposed a southward throw of 1–8 km based on a postulated shallow northward dip and spacing of isograds observed elsewhere in the Axial Zone, as well as temperature differences between mylonitic assemblages in the Aston and Hospitalet domes of 100–150 °C. Horizontal displacement is expected to be in the same range.

Although this study recognizes the shortcomings of previous offset estimations, the tectonometamorphic evolution, in which the formation of large antiformal structures of the Aston and Hospitalet domes distorted the orientation of the early Variscan mineral isograds prior to motion along the MSFZ, precludes more precise and correct determination of offset. A recent thermobarometric study on metapelitic rocks and orthogneisses yields pressures of 3.2–4.0 kbar in the Aston and 3.2–3.6 kbar in the Hospitalet dome (Mezger, unpublished data). The strongest metamorphic contrast is observed in the northern Tristaina valley near Arcalis, Andorra, where coarse

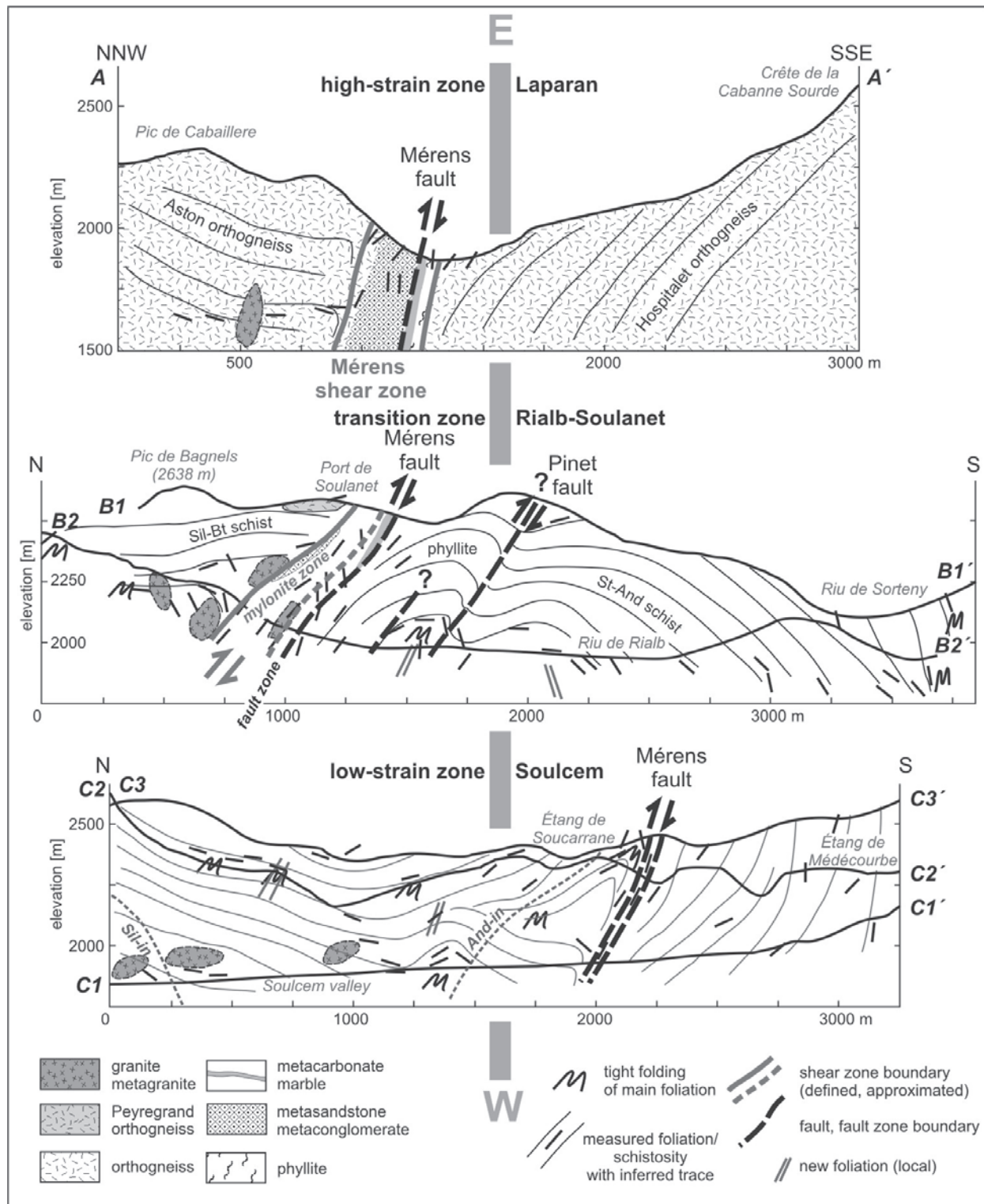


Fig. 7 Three cross sections passing through the MSFZ in the three different strain zones. The sections are compiled from different parallel section running through valley and ridges. Thus, the structural and lithological character throughout a vertical height of 500–700 m could be constructed. Location of the sections is indicated in Fig. 5 - Fig. 7.

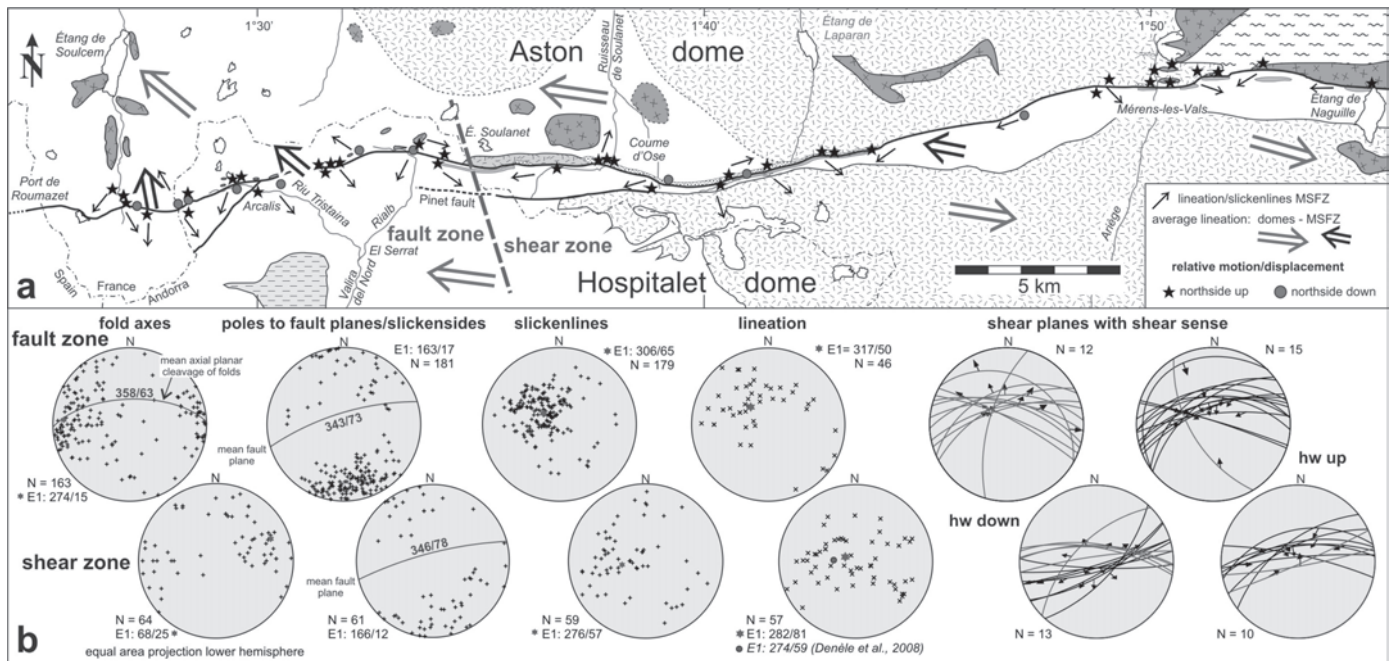


Fig. 8 Simplified geological map of the MSFZ showing relative motion of northern and southern hanging wall blocks. Note that the transition zone of Fig. 2 is assigned to the fault zone. Small arrows indicate local lineation, large arrows show average trend of lineation in Aston and Hospitalet domes (grey) and within the MSFZ (black); B: Stereonographic projections of fold axes, slickenside poles (individual fault planes), slickensides and mineral lineations within the eastern (shear zone) and western (fault zone) MSFZ. Shear sense indicators show brittle and ductile deformation combined as lineation (mineral lineation or slickenside) with arrow pointing in direction of shear on shear or fault plane. Blue planes indicate relative upward motion of northern block, while red great circles are associated with relative downward displacement of northern block. Geological signatures are the same as in Fig. 2.

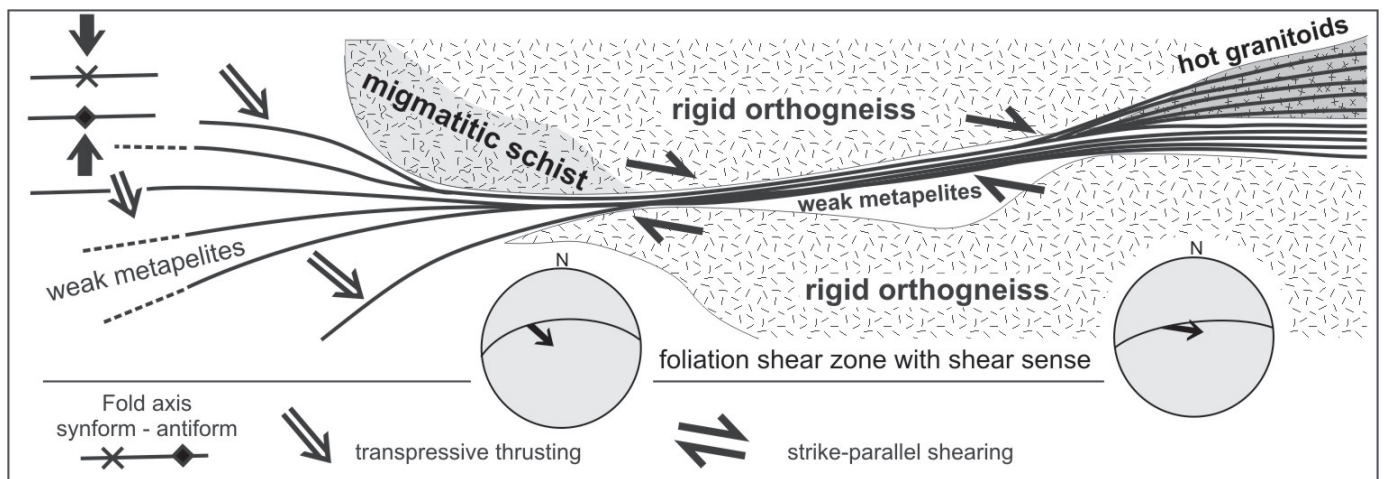


Fig. 9 Summary of main structural observations interpreted as coeval development of NNW-SSE and WNW-ESE linear fabrics. Strain magnitude in MSFZ is indicated by spacing of black lines. Stereonets display average foliation in MSFZ and mineral lineation/slickensides from Fig. 2B and Fig. 8B.

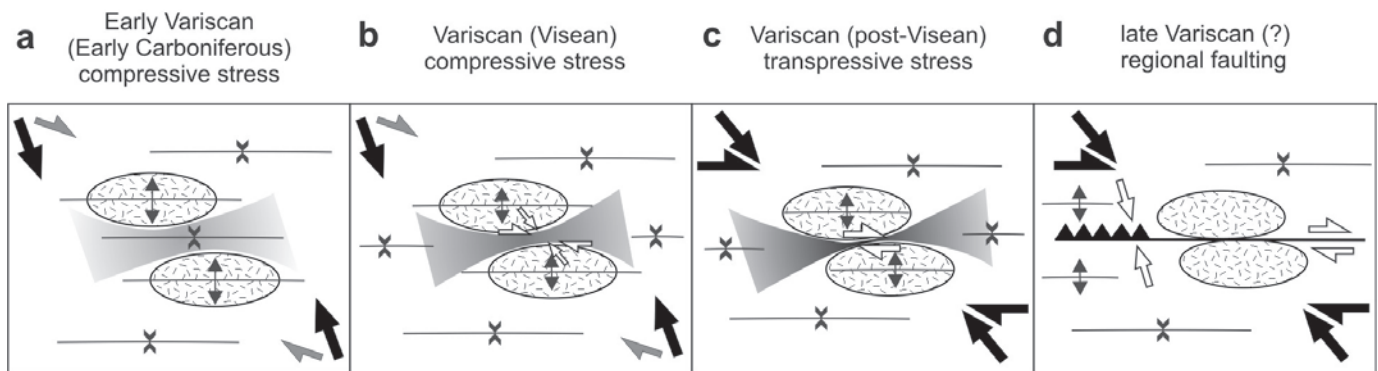


Fig. 10 Four-stage evolution model of the Mérens shear and fault zone following the initial Ordovician emplacement of the granitoid laccoliths. Darker grey shade reflects higher strain; A: Early stage of dome development during dominant compressive stress in early Carboniferous; B: High-strain zone begins to form between approaching orthogneiss cores in the Visean, local strain partitioning; C: Overall stress changes to transpressive resulting in strong strain partitioning with dextral displacement in narrow mylonite zone during the late Variscan main phase deformation; D: Late Variscan or Alpine folding and localized faulting at shallower structural levels, reactivation of older ductile fabrics.

sillimanite schists (620 °C at 3.5 kbar \approx 11.5 km) are juxtaposed with fine-grained muscovite-chlorite phyllites (\leq 400 °C) to the south. Taken van den Eeckhout's (1986) estimation of a geothermal gradient of 72 °C/km for the western Hospitalet dome into consideration, this would amount to a vertical difference of 5–6 km. This offset is based on several assumptions, e.g. correct geothermal gradient and temperature estimation for the western Hospitalet dome, and small error in geobarometry of the western Aston schist. If the average attitude for the slickenlines and stretching lineation (280–310/50–80) had been the same during time of movement along the MSFZ, the dip-slip and strike-slip components would be in the same order of magnitude, and a dextral displacement not more than 5–6 km can be expected. These assumptions match the proposed displacement of McCaig (1986).

7.6 Dating movement along the MSFZ

McCaig & Miller's (1986) attempt to date mylonitic fabrics of the MSFZ with the ^{40}Ar - ^{39}Ar method did not yield conclusive results. The postulated Alpine age (100–50 Ma) of mylonitic deformation does not exclude Variscan activities. Several studies dated micas from narrow 110°-striking mylonite zones, and correlated the obtained late Cretaceous ages with motion along the main MSFZ (Majoor 1988, Maurel 2003). Similar ^{40}Ar - ^{39}Ar -ages were obtained from micas in ESE-striking shear zones of the Millas granite plutone, immediately east of the Quérigut massif (Monié et al. 1994). However, the genetic relation between these oblique mylonite zones and the MSFZ is doubtful, as they cut all Variscan structures, including the MSFZ (Soula et al. 1986, Denèle et al. 2008).

More recent studies restrict Alpine activity along the MSFZ to thrust faulting (Denèle et al. 2008). Paleocene (60–55 Ma) southward thrusting is also proposed for the ENE-striking Têt fault separating the Canigó massif and the Mont-Louis pluton (Fig. 1) according to a recent thermochronological study (Maurel et al. 2008).

Unfortunately, no magmatic rocks crosscut the MSFZ, but granite sills affected by the MSFZ exist, thus providing a minimum age for plastic deformation. While none of the deformed pegmatites have been dated, a granite from the core of the Soulcem granite suite, of which the folded granitic sill in the upper Tristaina valley (Fig. 6B) is likely related to, has a Visean intrusive age (339 Ma, Mezger 2010). The same study has obtained a similar age from granitic sill near the Bossòst fault, 60 km further west, whose folding is linked to the late main-phase Variscan formation of the Bossòst dome (Mezger & Passchier 2003). Furthermore, the overall attitude of folds throughout the Aston and Hospitalet domes corresponds to that of folds close to the MSFZ, suggesting that initiation of deformation along the shear zone occurred in the later stages of Variscan dome formation (Carreras & Cirés 1986, Denèle et al. 2007). New geochronological data by Mezger (2010) suggest that activity along the MSFZ may extend back to the early Carboniferous.

8. Conclusions

Crucial for the development of the MSFZ is the progressive evolution and approach of the Aston and Hospitalet gneiss domes (Fig. 10). Metasedimentary cover rocks are wedged between strong orthogneiss cores, while their original foliation and layering has been rotated

or transposed into steep northerly dips. Movement and finite strain along the MSFZ is strongly dependant on the strength and the competence contrast of rocks affected by it or within close vicinity (Fig. 10B-D). Thus, local shear directions respond to strain partitioning and are in accordance to an overall dextral transpressive regime that lasted through the main Variscan deformation phase (Fig. 10B, C). Juxtaposition of strong versus weak rocks enhanced the development of a discrete high-strain shear and fault zone with dextral, north side up thrusting (Fig. 10C, D). Where competence contrast is missing, as it is the case in the western region, deformation is spread across a wide zone without major discrete high-strain structures.

The onset of shear zone activity could have occurred early during the main Variscan deformation phase (Fig. 10D), since the youngest rocks affected by the MSFZ probably belong to the Visean Soulcem granite suite. A continuous progression from high-strain to low-strain ductile and low-strain brittle is possible and supported by preserved mylonitic orthogneisses and mica schists at the base of the hanging-wall juxtaposed with faulted phyllites in the MFZ, all displaying the same shear sense. We postulate that the majority of displacement took place during the main-phase Variscan deformation. However, until supported by chronological data, this remains an educated guess. Reactivation of brittle fabrics during Alpine orogeny is likely, though we regard its effect as minor.

The MSFZ owes its existence to the presence of two adjacent large gneiss domes, which provided a strong competence contrast and forced partitioning of strain that resulted in the development of long lasting high-strain shear zones. Regional lateral fault and shear zones in other orogenic belts may have experienced a similar tectonic evolution.

9. Acknowledgments

We thank Anne Kött for the permission to use the photograph in Fig. 4F. We also would like to thank the editors of the Hallesches Jahrbuch for providing us the opportunity to publish a field-based study that does not include fancy analytical data. Constructive review by Helmut Heinisch and critical comments by Bas van den Eeckhout are acknowledged.

10. References

- /5/** Alsop, G.I. & Holdsworth R.E. (2004): Shear zones – an introduction and overview. –In: Alsop, G.I., Holdsworth, R.E., McCaffrey, K.J.W. & Hand., M. (eds.): *Flow Processes in Faults and Shear Zones*. – Geological Society of London Special Publication, 224: 1-9.
- /6/** Autran, A. & Garcia-Sanseguno, J. (1996): Carte structurale de tectonique hercynienne (moitié orientale). – In: Barnolas, A. & Chiron, J. C. (eds.): *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées: Tec H1, H2*; Orléans, Madrid (BRGM - ITGE).
- /7/** Besson M. (1991): Notice explicative, Carte Géologique de France (1:50.000), feuille Fontargente (1093). – 35 pp. Orléans (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).
- /8/** Bureau de Recherches Géologiques et Minières & Instituto Geológico y Minero de España (2010): Carte Géologique des Pyrénées. – Scale 1:400.000.
- /9/** Carreras, J. (2001): Zooming on Northern Cap de Creus shear zones. – *Journal of Structural Geology*, 23: 1457-1486.
- /10/** Carreras, J. & Cirés, J. (1986): The geological significance of the western termination of the Mérens fault at Port Vell, (Central Pyrenees). – *Tectonophysics*, 129: 99-114.
- /11/** Carreras, J. & Debat, P. (1995): Tectonique Hercynienne. – In: Barnolas, A. & Chiron, J.C. (eds.): *Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées: 585-677*; Orléans, Madrid (BRGM –ITGE).
- /12/** Casteras, M., Destombes J.-P. & Raguin, E. (1969): Notice explicative, Carte Géologique de la France (1:50.000), feuille Vicdessos (Xxi-48). – 16 pp. Orléans (Bureau de Recherches Géologiques et Minières).
- /13/** Clariana, P. & Garcia-Sanseguno J. (2009): Variscan structure in the eastern part of the Pallaresa massif, Axial Zone of the Pyrenees (NW Andorra). Tectonic implications. – *Bulletin Société Géologique de France*, 180: 501-511.
- /14/** Denèle, Y., Olivier, P., Gleizes, G. & Barbey, P. (2007): The Hospitalet gneiss dome (Pyrenees) revisited: lateral flow during Variscan transpression in the middle crust. – *Terra Nova*, 19: 445-453.
- /15/** Denèle, Y., Olivier, P. & Gleizes, G. (2008): Progressive deformation of a zone of magma transfer in a transpressional regime: The Variscan Mérens shear zone (Pyrenees, France). – *Journal of Structural Geology*, 30: 1138-1149.
- /16/** Denèle, Y., Barbey, P., Deloule, E., Pelleter, E., Olivier, P. & Gleizes, G. (2009): Middle Ordovician U-Pb age of the Aston and Hospitalet orthogneissic laccoliths: their role in the Variscan evolution of the Pyrenees. – *Bulletin Société Géologique de France*, 180: 209-216.
- /17/** Denèle, Y., Olivier, P., Gleizes, G. & Barbey, P. (2009): Decoupling between the middle and upper crust during transpression-related lateral flow: Variscan evolution of the Aston gneiss dome (Pyrenees, France). – *Tectonophysics*, 477: 244-261.
- /18/** Fitzgerald, P.G., Munoz, J.A., Coney, P.J. & Baldwin, S.L. (1999): Asymmetric exhumation across the Pyrenean orogen: implications for the tectonic evolution of a collisional orogen. – *Earth and Planetary Science Letters*, 173: 157-170.
- /19/** Institut Géographique National (1992a): Carte topographique No. 2148 OT, Vicdessos. – Scale 1:25.000.
- /20/** Institut Géographique National (1992b): Carte topographique No. 2249 OT, Bourg-Madame. – Scale 1:25.000.
- /21/** Majoor, F.J.M. (1988): A geochronological study of the Axial Zone of the Central Pyrenees, with emphasis on Variscan events and Alpine resetting. – *Verhandeling Nr. 6 Zwo Laboratorium voor Isotopen-Geologie: 1-117*; Amsterdam.
- /22/** Maurel, O. (2003): L'exhumation de la Zone Axiale des Pyrénées orientales: Une approche thermo-chronologique

- multi-méthodes du rôle des failles. *Mémoire des Géosciences de Montpellier* 31: 1-218.
- /23/** Maurel, O., Monié, P., Pik, R., Arnaud, N., Brunel, M. & Jolivet, M. (2008): The Meso-Cenozoic thermo-tectonic evolution of the Eastern Pyrenees: an $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fission track and (U-Th)/He thermochronological study of the Canigou and Mont-Louis massifs. – *International Journal of Earth Sciences*, 97: 565-584.
- /24/** McCaig, A.M. (1986): Thick- and thin-skinned tectonics in the Pyrenees. – *Tectonophysics*, 129: 319-342.
- /25/** McCaig, A.M. (1987): Deformation and fluid-rock interaction in metasomatic dilatant shear bands. – *Tectonophysics*, 135: 121-132.
- /26/** McCaig, A.M. & Miller, J.A. (1986): ^{40}Ar - ^{39}Ar age of mylonites along the Merens fault, central Pyrenees. – *Tectonophysics*, 129: 149-172.
- /27/** McCaig, A.M., Wickham, S.M. & Taylor, Jr., H.P. (1990): Deep fluid circulation in alpine shear zones, Pyrenees, France: field and oxygen isotope studies. – *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 106: 41-60.
- /28/** Mezger, J.E. (2005): Comparison of the western Aston-Hospitalet and the Bossòst domes: Evidence for polymetamorphism and its implications for the Variscan tectonic evolution of the Axial Zone of the Pyrenees. – *Journal of the Virtual Explorer (electronic edition)*, 19: paper 6.
- /29/** Mezger, J.E. (2009): Transpressional tectonic setting during the main Variscan deformation: evidence from four structural levels in the Bossòst and Aston-Hospitalet mantled gneiss domes, central Axial Zone, Pyrenees. – *Bulletin Société Géologique de France*, 180: 199-207.
- /30/** Mezger, J.E. (2010): Cadomian, Ordovician and Viséan magmatism in the Axial Zone of the Central Pyrenees revealed by LA-ICP-MS U-Pb zircon dating. – 23. Réunion des Sciences de la Terre, Bordeaux, October 25-29, 2010, *Livre des Résumés*: 209.
- /31/** Mezger, J.E. & Passchier, C.W. (2003): Polymetamorphism and ductile deformation of staurolite-cordierite schist of the Bossòst dome: indication for Variscan extension in the Axial Zone of the central Pyrenees. – *Geological Magazine*, 140: 595-612.
- /32/** Monié, P., Soliva, J., Brunel, M. & Maluski, H. (1994): Les cisaillements mylonitiques du granite de Millas (Pyrénées, France). Age Crétacé $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ et interprétation tectonique. – *Bulletin Société Géologique de France*, 165: 559-571.
- /33/** Oele, J.A. (1966): The structural history of the Vall Ferrera area, the transition zone between the Aston Massif and the Salat-Pallaresa anticlinorium (central Pyrenees, France, Spain). – *Leidse Geologische Mededelingen*, 38: 129-164.
- /34/** Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. (2005): *Microtectonics*. – 366 pp.; Berlin (Springer).
- /35/** Ramsay, J.G. & Huber, M.I. (1987): *The Techniques of Modern Structural Geology, Volume 2: Folds and Fractures*. – 391 pp.; London (Academic Press).
- /36/** Rölke, C. (2009): *Strukturgeologische und petrologische Kartierung der Mérens-Scher-Zone im zentralen Aston-Hospitalet-Dom, Zentralpyrenäen (Frankreich, Andorra) - Ostgebiet*. – Unpublished diploma mapping thesis, Martin-Luther-Universität. – 65 pp.; Halle (Saale).
- /37/** Schnapperelle, S. (2010): *Gefügekundliche, mikrotektonische Untersuchung der Mérens Scher- und Störungszone im Aston- und Hospitalet-Dom, Zentralpyrenäen (Frankreich, Andorra)*. – Unpublished diploma thesis, Martin-Luther-Universität. – 60 pp.; Halle (Saale).
- /38/** Soula, J.C., Lamouroux, C., Villard, P., Bessière, G., Debat, P. & Ferret, B. (1986): The mylonite zones in the Pyrenees and their place in the Alpine tectonic evolution. – *Tectonophysics*, 129: 115-147.
- /39/** Twiss, R.J. & Moores, E.M. (1992): *Structural Geology*: 465-497; New York (Freeman).
- /40/** van den Eeckhout, B. (1986): A case study of a mantled gneiss antiform, the Hospitalet Massif, Pyrenees (Andorra, France). – *Geologica Ultraiectina* 45: 1-193.
- /41/** Verges, J., Fernández, C. & Martínez, A. (2002): The Pyrenean orogen: pre-, syn-, and post-collisional evolution. – *Journal of the Virtual Explorer*, 8: 57-76.
- /42/** Zwart, H.J. (1958): La Faille de Mérens dans les Pyrénées ariégeoises. – *Bulletin Société Géologique de France*, 8: 793-796.
- /43/** Zwart, H.J. (1965): *Geological map of the Paleozoic of the central Pyrenees: sheet 6, Aston, France, Andorra, Spain*. – Scale 1:50.000; Leiden (Geological Institute, University of Leiden).

JARINA (Steinnuss) - Das pflanzliche Elfenbein aus Amazonien - Ein Bio-Edelstein

MARCONDES LIMA DA COSTA¹, SUYANNE FLAVIA SANTOS RODRIGUES², HELMUT HOH³ UND HERBERT PÖLLMANN⁴

¹CG/UFGA E PESQUISADOR CNPQ.E-MAIL: MLC@UFGA.BR

²CG/UFGA E EN/UFGA.E-MAIL: SUYANNEFLAVIA@HOTMAIL.COM

³AUTÔNOMO.E-MAIL: HHOHN@ZIPMAIL.COM.BR

Schlüsselworte: Jarina, Steinnuss, Edelstein, Schmuck

Keywords: Jarina, ivory nut, gemstone, jewellery

Zusammenfassung

Jarina ist der Populärname für die in Südamerika endemische Palme *Phytelephas macrocarpa* (Phyto = Pflanze und elephas = Elefant) aus Amazonien. Die Samen der Pflanze, ihre Nüsse oder Jarina, gelten als pflanzliches Substitut für tierisches Elfenbein. Jarina wurde früher vor allem zur Herstellung von Knöpfen verwendet, heute allerdings ersetzt durch Plastikerzeugnisse. Seit den 80er Jahren des 20ten Jahrhunderts weckt die Jarina erneut wirtschaftliches Interesse: diesmal als Material zur Herstellung von Kunstgegenständen und Schmuck.

Die Jarina-Palme tritt in den brasilianischen Bundesstaaten Rondonia, Acre und Amazonas auf, wo sie mit anderen Bäumen vor allem in den Überschwemmungsgebieten und Tälern der Weißwasserflüsse, wie der Flüsse Purus, Juruá und ihrer Zuflüsse im Bundesstaat Acre, wächst.

Im Bundesstaat Acre existieren bereits verschiedene Vereine und kleinere Firmen, die in Handarbeit Jarina-Kunstgegenstände und Schmuck herstellen. Im Einklang mit der Natur stehen und entwickeln sich Kunst und Design sowie Verarbeitungstechniken. Für Amazonien leisten die neuen Produkte bereits einen Beitrag zum ökonomischen Selbstunterhalt.

Abstract

Jarina is a usual name for the endemic palm tree *Phytelephas macrocarpa* (Phyto = Plant and elephas = Elefant) from the Amazon region. The nuts from this palm are known as ivory nuts (jarina) which is considered to be a substitute for ivory from animals. Jarina was used as raw material for the production of buttons. Now it is replaced nearly completely by plastic materials. In the 80's a renewal of economic interest occurred due to the possibility to use the nuts for jewellery and arts. The home of the ivory nut palm are the Brazilian states of Rondonia, Acre and Amazonas, especially in flooding areas and

valleys of white water rivers and their tributaries like Purus and Juruá in the state of Acre.

In Acre already some small companies and associations produce different mainly hand-made jewellerys and work of arts made of ivory nuts. Art and design along with production techniques are developing in accordance with nature. For Amazonia these new products already contribute to the economic life of the region.

Resumo

Jarina é o nome popular da palmeira *Phytelephas macrocarpa* (Phyto = planta e elephas = elefante), endêmica da Amazônia sul-ocidental que produz sementes, cuja amêndoa, também denominada jarina, é conhecida como marfim vegetal, um possível substituto do marfim animal. A jarina foi empregada no fabrico de botões sendo completamente substituída pelo plástico. Nos anos 80 a jarina da Amazônia voltou a despertar maior interesse econômico, desta vez como uma matéria-prima para o artesanato e joalheria.

A palmeira jarina é abundante nos estados de Rondônia, Acre e Amazonas, onde forma gregarismo, associada a outras espécies arbóreas em terrenos de planícies de inundação, preferencialmente nos vales dos rios de água branca, como os rios Purus, Juruá e seus afluentes, no estado do Acre. No Acre já existem várias comunidades e micro-empresas de beneficiamento e produção de artesanatos em jarina, e mais isoladamente jóias. A cadeia produtiva é grande, envolve muita mão de obra, suscita o aprendizado de técnicas de tratamento, arte e design, e ainda desenvolve uma consciência do viver em sintonia com o meio ambiente. Esta é uma atividade inicialmente extrativa, mas que pode gerar produtos nobres de apelo amazônico com um certo grau de economia auto-sustentável.

1. Einleitung

Jarina ist der Populärname für die Palme *Phytelephas macrocarpa* (Phyto = Pflanze und elephas = Elefant), die Samen mit wirtschaftlichem Wert hervorbringt. Diese Nüsse, ebenso Jarina genannt, werden vor allem aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften verwendet: milchig weiße Elfenbeinfarbe, relativ hohe Härte und gute Verwitterungsbeständigkeit. Sie zerbrechen nicht sehr verschieden von tierischem Elfenbein. Aus all diesen Gründen werden sie von den Gemmologen als pflanzliches Elfenbein bezeichnet.

Die Jarinapalme wird seit langer Zeit von den Bewohnern Amazoniens geschätzt. Sie produziert hervorragendes Palmito, ein wichtiger Nahrungszusatz. Ihre Blätter eignen sich optimal für Hausbedachungen. Die Früchte sind ebenso als Nahrung geeignet, solange sie sich noch in flüssigem bis gelatinösem Zustand befinden. Nach der Trocknung eignen sie sich zudem als Brennmaterial also Kohleersatz. Darüber hinaus kann der Samen durch Erhitzen zur Imprägnation von Tontöpfen verwendet werden, um die Anhaftung von Speisen an den Topfwänden zu verhindern, sozusagen ein Vorläufer des Teflon.

Die wirtschaftlich ausgerichtete Suche nach Jarina begann in Amazonien Ende des 19. Jahrhunderts. Zu jener Zeit wurden vor allem Knöpfe aus dem Rohmaterial hergestellt; darauf basierte praktisch die gesamte Welt-Knopf-Produktion. Andrade (1937) berichtet: “In Juruá erreicht der Export bereits jährlich 100.000 kg. Da der Transport einfach ist, kann der Export auf mehr als 1.000.000 kg steigen. “O Juruá já atingiu a exportação de 100.000 kgs, annualmente. Se o transporte fosse fácil, a exportação poderia subir a mais de 1.000.000 kgs. O rio Envira, sobretudo, é privilegiado em matéria de jarina”.

Die Verwendung von Jarina zur Knopf-Herstellung wurde nach dem 2. Weltkrieg komplett durch Plastikprodukte ersetzt. In Brasilien schloss der letzte Betrieb zur Knopfherstellung aus Jarina in den 70er Jahren. Die Jarina wird in Ländern wie Peru, Kolumbien und vor allem Ecuador seit längerem zur Herstellung von diversen Kunstgegenständen verwendet. Die Nüsse, die dazu die im internationalen Handel verwendet werden, sind als Samen der *Phytelephas aequatoriales* meist viel größer als jene aus der brasilianischen Amazonasregion. In den 80er Jahren begann sich Jarina auch in Brasilien einen Platz als gemmologisches Material zu erobern und wurde und wird auch zusammen mit anderen Mineralen und Gesteinen verarbeitet.

2. Vorkommen und geologische Umgebung

Die Jarina-Palme ist im Südosten und Osten Amazoniens endemisch beheimatet. In Brasilien wächst Jarina in den Bundesländern Rondônia, im Südosten von Amazonas und vor allem in Acre. Auch in anderen südamerikanischen Staaten Bolivien, Peru, Kolumbien und Ecuador bis nach Mittelamerika tritt Jarina auf. (Abb. 1).

In Brasilien hat sich die Palme in Überschwemmungsgebieten angesiedelt, besonders entlang der Uferregionen von Weißwasserflüssen der Flüsse Purus und Juruá sowie ihrer Nebenflüsse, zum Beispiel des Envira, der den Ort Feijó im Bundesstaat Acre durchdurchfließt (Abb. 2). Dort finden sich sogar größere Jarina-Haine

Im Holozän entstanden weitverbreitet Schwemmsedimente im Umfeld der jetzigen Flusstäler. Diese Ablagerungen überdecken teilweise Sedimentgesteine der Solimões-Formation, bestehen aus siltig-tonigem Material mit Quarz und Tonmineralen (Smectit, Illit und hellen Glimmern) und enthalten nicht selten silifizierte Baumstämme, weniger häufig auch etwas Pyrit. Die Tonminerale entstammen durch Verwitterung Gesteinsfragmenten sowie der Feldspatzersetzung (Almeida, 2005). Die Überschwemmungsgebiete sind daher reich an SiO_2 und Al_2O_3 , enthalten signifikante Gehalte an Alkalien und Erdalkalien, wie Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium, sind nur leicht sauer und reich an Nährstoffen (Almeida, 2005). Diese feinen Böden mit beschränkten Ackerbaumöglichkeiten sind typische Uti- und Cambisols.

3. Die Steinnusspalme

Die Steinnusspalme kann taxonomisch folgendermaßen zugeordnet werden (Henderson et al. 1995):

Ordnung:	Palmenartige (Arecales)
Familie:	Palmengewächse (Arecaceae)
Unterfamilie:	Phytelephantoideae
Gattung:	<i>Phytelephas</i>
Art:	<i>Phytelephas macrocarpa</i> Ruiz & Pavon

Als Synonyme sind bekannt: *Elephantusia macrocarpa* Ruiz & Pavon, Wild, *Phytelephas microcarpa* Ruiz & Pavon und *Yarina microcarpa* Ruiz & Pavon. Einige Autoren beschreiben sie auch als

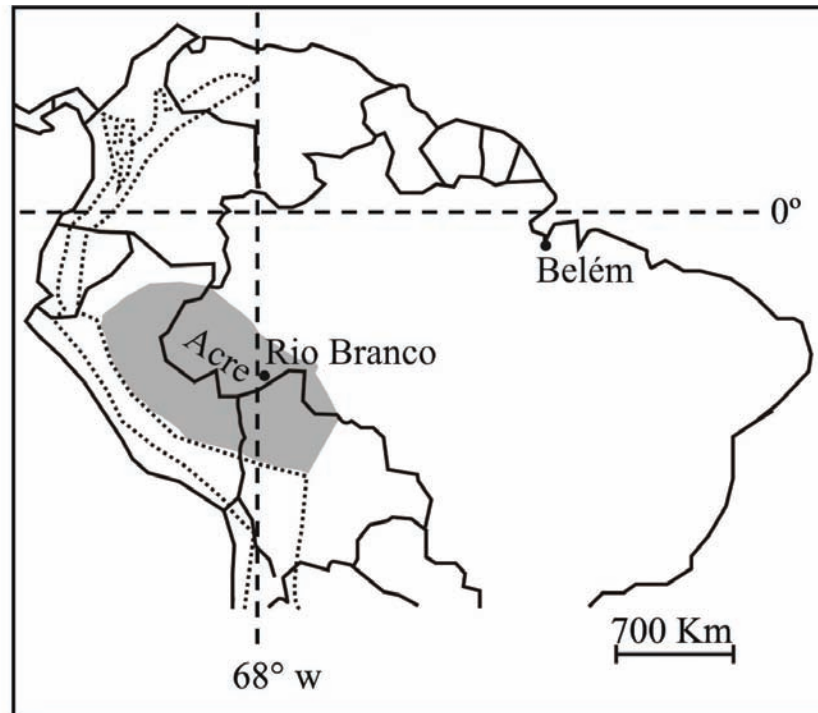


Abb. 1 Geographisches Vorkommen der Jarina-Palme *Phytelephas macrocarpa*. Das grau markierte Gebiet stellt das Vorkommen innerhalb Brasiliens dar. Die gepunkteten Gebiete stellen den Bereich des Vorkommens außerhalb Brasiliens dar (modifiziert nach Henderson et al. 1995).



Abb. 2 Ansicht eines Waldgebietes mit einem Uferbereich aus holozänen Sedimenten des Envira-Flusses, in dem die Jarina-Palme auftritt (Stadtgebiet von Feijó, Acre).

Phitelephas (Ferreira 2005). Neben ihr sind fünf weitere Arten beschrieben.

Die Steinnusspalme kann bis zu 5 m hoch werden. Der Stamm, sie kann auch stammlos auftreten, ist kurz, schlank und weist viele Stacheln auf (Ferreira, 2004). Die Blüten duften stark. Die Palme besitzt nur eine geringe Tragfähigkeit. Sie wächst langsam, deshalb kann man oft Exemplare mit Altern von mehr als 100 Jahren finden (Ferreira, 2004). In den Alluvialflächen von Acre wird sie

von Mulateiro (*Calycophyllum spruceanum*) und anderen Baumarten und Palmen begleitet. Die Keimung findet nach drei oder vier Jahren statt (Ferreira, 2004). Die Palme trägt ab dem siebten Jahr Früchte (Ferreira, 2004), bei Kulturpflanzen bereits ab dem fünften Jahr (Abb. 3).

4. Das pflanzliche Elfenbein

Die Jarina-Palme trägt nur einmal im Jahr Früchte im Allgemeinen mit sechs bis acht Hüllen, jeweils bis



Abb. 3 Jarina-Palme mit vielen Früchten am São Francisco bei Rio Branco, Acre.

20cm Durchmesser und einem Gewicht bis zu 10 kg (Abb. 4). In Acre kann die Zahl der Nusshüllen, auch bekannt als Stachelhüllen, auf bis zu neun ansteigen. Sie enthalten ein bis fünf Samen (Abb. 5). Die Samen haben im Inneren drei getrennte Kammern (Abb. 6). Die äußere Form ist dreieckig, die Oberfläche glatt (Abb. 7). Die äußere Hülllage kann leicht entfernt werden, indessen ist die innerste Schicht fest mit der Nuss verbunden (Abb. 8), manchmal bleibt diese auch teilweise für die Kunstgegenstände erhalten. Die Nuss ohne Schale behält die Morphologie, ist aber oft rundlicher (Abb. 9). Die Größe der Nüsse aus Acre

schwankt zwischen 48,5 und 80 mm, die Breite zwischen 38,7 und 87,7 mm. Das Gewicht schwankt zwischen 10 und 20 g, im Mittel zwischen 14 bis 18 g. Durch Sontrocknung schrumpfen die Nüsse etwa zwischen 1 bis 4,5 %, dadurch wird aber keine Rissbildung verursacht. Ohne Hülle wiegen die Samen schließlich zwischen 10 und 14 g. Der Zentralhohlraum ist irregulär und leicht trapezoedrisch (Abb. 6).

Im internationalen Sprachgebrauch wird die Jarina unterschiedlich benannt (http://www.ecuadorexporta.org/productos_down/ficha_tagua725.pdf):



Abb. 4 Hülle der Jarina-Frucht. Durchmesser etwa 25 cm.



Abb. 5 Durchgeschnittene Frucht mit inneren Samen. Durchmesser etwa 8 cm.



Abb. 6 Aufbau der Steinnuss mit mehreren Lagen und zentralem Hohlraum. Durchmesser einer Hälfte etwa 5 cm.



Abb. 7 Glatte Oberfläche der Nüsse. Durchmesser jeweils etwa 5 cm.



Abb. 8 Samen mit innerer Hülle. Durchmesser etwa 5 cm.



Abb. 9 Weiße Samen ohne Schale. Bildbreite etwa 28 cm.

Englisch:	ivory nut
Nordamerikanisch:	tagua nut oder tagua
Südamerikanisch:	corozo
Deutsch:	Steinnuss
Japanisch:	binroji
Spanisch:	coquilla, nuez de tagua oder yarina.

5. Physikalische und chemische Eigenschaften der Steinnuss

Die Jarina-Nuss hat eine weiße milchige Elfenbeinfarbe, mit dem typischen Elfenbeinglanz und eine mittlere Härte. Die optischen Eigenschaften ähneln echtem Elfenbein, die Dichte ist hingegen etwas geringer. Obwohl Jarina nicht so schlagempfindlich ist, wie das tierische Elfenbein, ist es empfindlicher gegen Hitze, dadurch wird manchmal die natürliche Farbe hin zu einem mehr gelblichen Ton verändert (Abb. 10). Empfindlich ist die Jarina auch gegenüber einigen Pilzen und Insekten, die vor allem im zentralen Hohlraumbereich leben. Die Bestandteile der Jarina sind teilweise amorph (Abb. 11)

und bestehen aus Hemicellulose, einem Polymer aus Pentosen (Toledo & Filho, 1977). Das tierische Elfenbein hingegen setzt sich vor allem aus Calcium- und Magnesiumphosphaten sowie -karbonaten zusammen, die zum Teil auch kristallin sind. Manchmal fluoresziert die Jarina mit leicht violetter Farbe (Leite 1993).

Die Nuss baut sich aus feinen konzentrischen Lamellen auf. Es sind Submillimeter dünne Lagen; fast massive wechseln sich mit etwas dickeren fibrösen Schichten ab (Abb. 10). Die ganze Nuss ist fibroradial aufgebaut, und die einzelnen Fasern sind perfekt ausgerichtet (Abb. 12 und 13). Die meisten Bestandteile der Nuss sind amorph. Mit EDX können Al und Si sowie Ca und Kalium nachgewiesen werden. Der Samen enthält SiO_2 als anorganische Hauptkomponente, mit geringen Anteilen an Al und P; 99 % stellen organische Anteile dar (Glühverlust).

6. Sammlung und Veredelung

Das Aufsammeln der Steinnüsse in den Weiten der natürlichen Wälder findet von Januar bis Juni statt, nachdem die Hüllen spontan zerfallen und dadurch die Samen frei am Boden aufgelesen werden können. Die Veredelung findet zuerst über eine Trocknung der Samen



Abb. 10 Durch Temperung gelblich verfärbte geschälte Steinnüsse. Bildbreite ca. 20 cm.

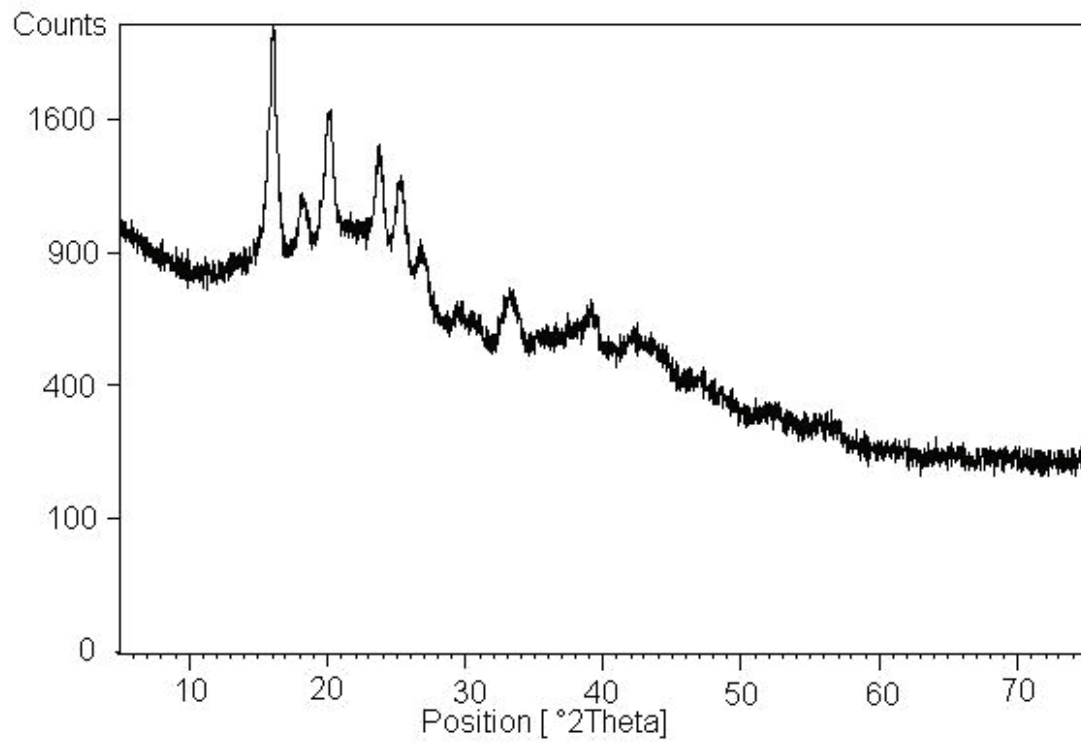


Abb. 11 Röntgendiagramm von Jarina.



Abb. 12 Fibroradialstruktur der Jarina – Binokularbild.

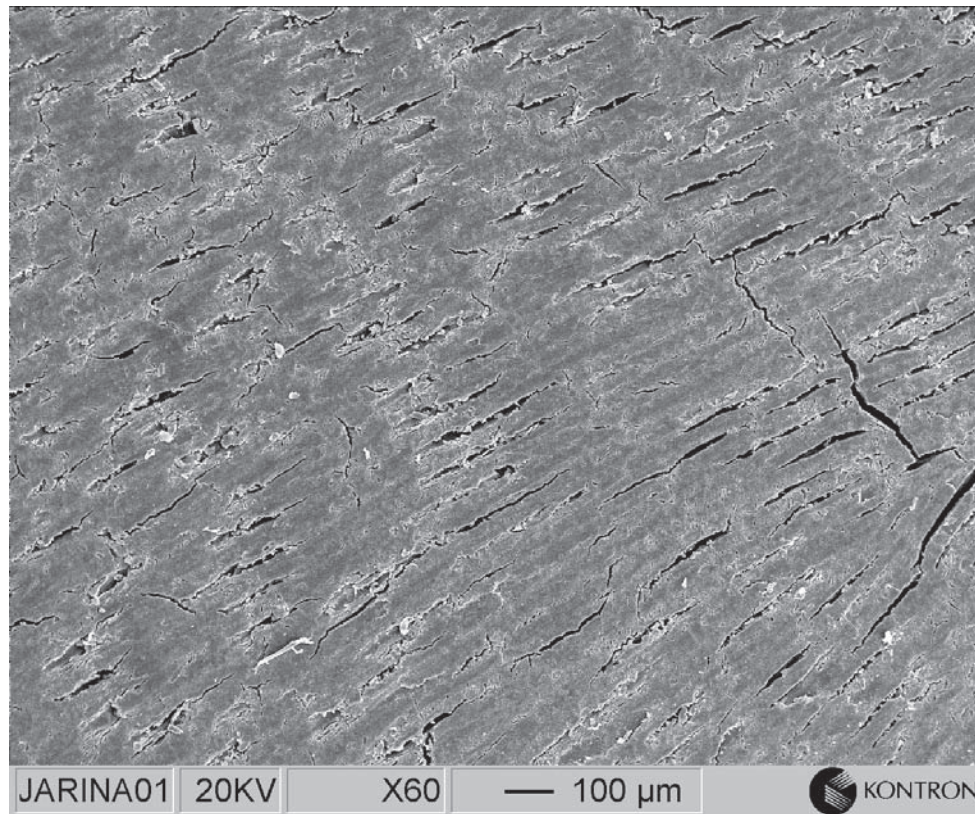


Abb. 13 Fibroradialstruktur der Jarina – REM-Bild.

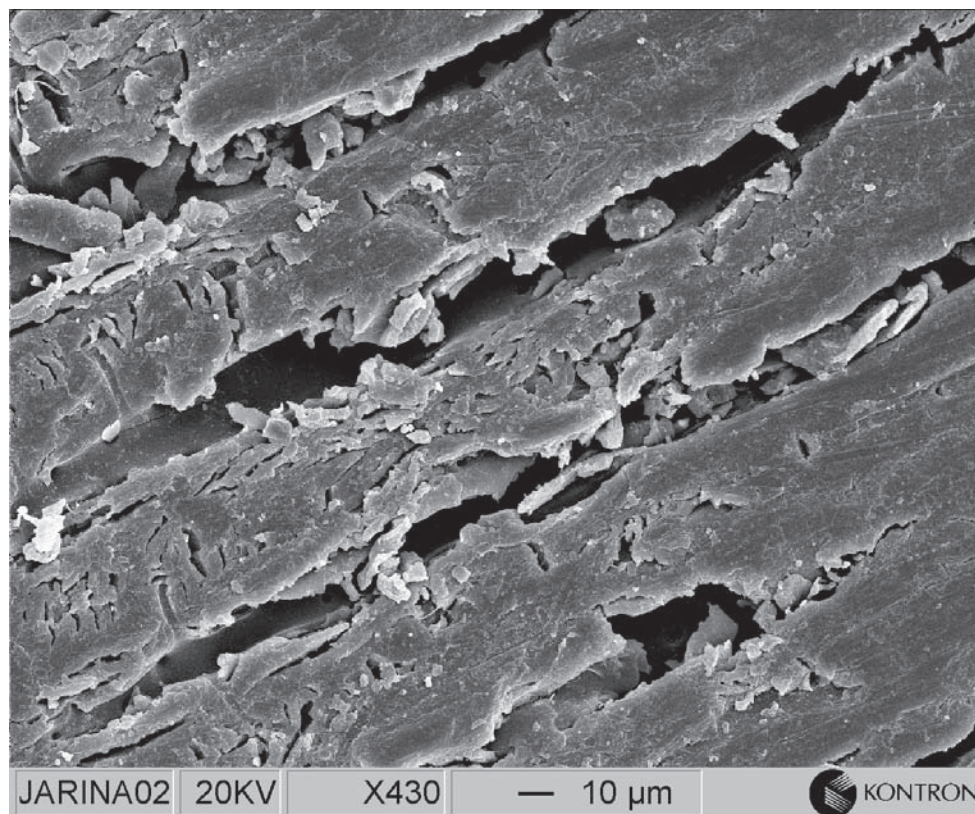


Abb. 14 Detailaufnahme der Fibroradialstruktur von Jarina – REM-Aufnahme.



Abb. 15 Samen, die für die Sontrocknung vorbereitet sind.



Abb. 16 Entfernung der äußeren Samenhülle in Handarbeit.



Abb.17 Halskette aus künstlich gefärbten Jarina-Scheiben.

an der Sonne statt (Abb. 15), manchmal erfolgt diese auch in kleinen Öfen. Im zweiten Schritt wird die äußere Hülle (Abb. 16) und auch die innere Schale, je nach den Wünschen der Auftraggeber, entfernt. Danach werden die Nüsse in elektrisch betriebenen Trommeln poliert. Die Samen, die für Bioschmuck (biojóias) verwendet werden sollen, werden je nach Bedarf in unterschiedliche Formen gebracht, Scheiben, Röhren, Kugeln, Prismen und Zylinder, gegebenenfalls gebohrt, wenn notwendig auch gefärbt (Abb. 17, 18). Die Samen können auch weiter veredelt werden.

7. Färbungsprozesse

Ähnlich wie andere Edelsteinminerale kann Jarina durch Färbung modifiziert werden. Die Farbveränderung wird gewöhnlich unter Verwendung natürlicher oder künstlicher Farbstoffe durchgeführt. Es ist ein einfacher und billiger Prozess, der wegen der Mikroporosität der Steinnuss auch komplett bis ins Innere wirksam ist. Dazu wird Jarina, wie andere Samen auch, in einer wässrigen



Abb.18 Jarina-Halskette aus Röhren und Kugeln. Die Farben sind durch Wärmebehandlung des Materials hervorgebracht.

Lösung aus Färbemittel mit wenig Salzzusatz (NaCl) für ca. 30 Minuten gekocht (Abb. 19, 20, 21).

Das Kochen in pflanzlichem Öl führt zu einer meist bräunlichen Färbung. Die Temperung von Jarina (erhöhte Temperatur oder längerer Verbleib bei moderaten Temperaturen) führt zu hell- bis dunkelbraunen Farbvarianten (Abb. 18). Andere Möglichkeiten zur Farbveränderung stellen die natürliche, kontrollierte Reifung und Alterung dar. Die durch die verschiedenen Prozesse erzielten Farbtöne maskieren die ursprüngliche Maserung und den Glanz des Materials nicht und werden deswegen von den Käufern gerne akzeptiert. Die Farbveränderungen helfen, die Verwendungsmöglichkeiten besonders bei der Herstellung der Kunst- und Schmuckgegenständen zu erhöhen.

8. Hauptprodukte

Die Steinnuss wird heute vor allem zur Herstellung von Bioschmuck, z.B. Halsketten und Armbändern (Abb. 17 und 18), sowie Schlüsselanhängern und kleineren Skulpturen und Schnitzartikeln aller Art verwendet (Abb.



Abb. 19 Färbungsprozess durch mildes Erhitzen.



Abb. 20 Samen nach der Färbung durch mildes Erhitzen.



Abb. 21 Gefärbte Samen, die schon für die Schmuckherstellung (vgl. Abb. 17) vorbereitet sind.



Abb. 22 Muiraquitã aus Jarina an einer Halskette.



Abb. 23 Blumenschnitzerei als Anhänger.



Abb. 24 Krokodil als Schnitzarbeit aus einer Nuss. Höhe 4 cm.



Abb. 25 Fisch als Schnitzarbeit. Am Ständer sind Reste der Nusshülle zu Dekorzwecken verblieben. Die braune Schwanzflosse wurde angesetzt. Höhe 7 cm.



Abb. 26 Halskette aus einer Kombination aus Jarina-Kugeln und verschiedenen Mineralen, wie Amethyst und Amazonit sowie anderen organischen Materialien.

22, 23, 24). Dabei wird die Jarinanuss auch mit anderen Samen, wie z.B. Açai (*Euterpe oleracea*), Paxiúba (*Socratea exorrhiza*), Paxiubinha (*Iriartella stenocarpa*), Seringueira (*Hevea brasiliensis*), Tenta (*Ormosia paraensis*), kombiniert.

Die Kombination mit Edelmetallen, wie Gold und Silber, ähnelt sehr der Verwendung mineralischer Schmucksteine. Andere Anwendungen nutzen die Kombination von Jarina mit Mineralen oder Edelsteinen (Abb. 25). Am häufigsten werden dazu Amethyst, Citrin, Rauchquarz, Türkis, Achat, Malachit, Hämatit, Beryll, Tigerauge, Bernstein verwendet. Vor allem in Brasilien wurde die Steinnuss sehr schnell in den Bioschmuck-Markt eingeführt, während in anderen südamerikanischen Ländern dieser Prozess länger dauerte. Das Material stößt inzwischen weltweit auf großes Interesse, da es durch seine Eigenschaften optimale Anwendungsmöglichkeiten aufweist. Damit erreichen kleine Herstellungsbetriebe und Kooperativen, die durch Regierungshilfen (Organizações não Governamentais (ONGs)) gefördert werden, wirtschaftliche Anreize und Vorteile, die sich dann auch ökologisch und humanitär positiv für die Region auswirken. Effekte aus lokalen kleinen Gemeinden und Kooperativen und wird.

9. Schlussfolgerungen

Die Steinnuss kann als ein organischer Edelstein angesehen werden, dessen Hauptvorkommen in

Amazonien, Brasilien und einigen Nachbarstaaten zu finden ist. Im brasilianischen Teil Amazoniens kommt die Jarinapalme (*Phytelephas macrocarpa*) in den Bundesstaaten Acre, Amazonas und Rondônia vor, wobei Acre der wichtigste Produzent ist. Die Jarina ist eine endemische Palme an feuchten Standorten in diesem subandinen Teil Amazoniens, der reich an alluvialen fruchtbaren jungen Böden ist. Die Jarina kann kultiviert sicherlich ihren Beitrag dazu leisten, das tierische Elfenbein zu ersetzen. In der Schmuckwelt wird es schon heute als künstlicher Edelstein geführt. Diese Edelsteine sind sehr schön. Sie sind aber weniger lang haltbar als mineralische Edelsteine, da Insekten sie zerstörbar können. Die Produktion ist derzeit hoch und der Wertzuwachs durch Bearbeitung enorm. Ein Samen wird von den Sammlern in Rio Branco oder Plácido de Castro, beide in Acre, für R\$ 0,03 verkauft. Ein kleiner, geschnitzter Schlüsselanhänger kostet in Rio Branco schon R\$ 17,00 d.h. ein fast 600 facher Wertzuwachs.

In der Zukunft wird die Nachfrage nach Jarina wahrscheinlich weiter ansteigen. Verbesserte Arbeitstechniken und innovatives Design aus Arrangements von Metall, Mineralen und Jarina werden die Attraktivität des interessanten und nachwachsenden Naturproduktes weiter steigern. Außerdem muss es als Ersatz für tierisches Elfenbein konsequent in den Blickpunkt gerückt werden.

Eine Politik des Anreizes zur Entwicklung neuer Arbeitstechniken, neuer Anwendungen und Produkte ist geboten, um eine Verbesserung der Produktivität zu erzielen. Diese wird letztlich auch eine verbesserte Qualität der Produkte zur Folge haben. Die Förderung zur Verwendung von Primärmaterialien anderer Produkte in Amazonien, z.B. Öle, Duftstoffe oder Aktivkohle, zeitigt diesen Erfolg bereits. Die Steinnuss ist in besonderer Weise geeignet, einen Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung Amazoniens zu leisten.

Danksagung

Vor allem für die finanzielle Hilfe, durch Florestar (Família Profetto), Comufflor, Arte de Socorro Freitas e a César Farias sowie Banco da Amazônia (BASA) sei an dieser Stelle gedankt.

10. Literatur

- /44/** ALMEIDA, H. D. F. 2005. Mineralogia, geoquímica, fertilidade e origem dos sedimentos de praia (Barra em Pontal) das bacias dos rios Purus e Juruá no estado do Acre. Belém: Centro de Geociências/ Universidade Federal do Pará.153p. (Dissertação de Mestrado).
- /45/** ANDRADE O. 1937. Amazônia, esboço histórico, geographia physica, geographia humana e ethnographia do rio Juruá. Maceió. Offina Graphica da Casa Ramalho. 160p.
- /46/** COSTA, M.L., RODRIGUES, S.F.S. & HÖHN, H. 2006. Jarina: o marfim das biojóias da Amazônia. Revista da Escola

de Minas, Ouro Preto-MG, 59(4): 367-371.

- /47/** COSTA, M.L., RODRIGUES, S.F.S. & HÖHN, H. 2008. Jarina, o marfim vegetal da Amazônia. Belém-Pará. 170 p.
- /48/** FARIAS C. 2005. A Peleja do Zé Jarina e técnicas de produção de biojóias em sementes da Amazônia. Rio Branco. Fundação Elias Mansour, 2005. 43 p., il.
- /49/** FERREIRA E.L. 2005. Manual das palmeiras do Acre, Brasil. Disponível em: http://www.nybg.org/bsci/acre/www1/manual_palmeiras.html. Acesso em : 30 nov de 2005
- /50/** FERREIRA M.G.R. 2004. Jarina, o marfim vegetal. Disponível em: <<http://www.cpafro.embrapa.br/embrapa/rtigos/jarina.html>>. Acesso em : 5 de abr de 2007.
- /51/** HENDERSON A., GALENO G., BERNAL R. 1995. Field guide to the palms of the Americas, 3a ed . Princeton, New Jercey: Princeton University Press 365p.
- /52/** http://www.ecuadorexporta.org/productos_down/ficha_tagua725.pdf . Acessado em: 10 de maio de 2007.
- /53/** LEITE W. 1993. O marfim vegetal (Jarina). Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Gemas e Metais Preciosos, 1993. 4p.(Nota Técnica)
- /54/** TOLEDO F. F. & FILHO J. M. 1977. Manual das sementes. Tecnologia da produção. São Paulo: Editora Agrônoma Ceres. 224p.

11. Erläuterungen

Bezeichnung	Erläuterungen
Solimoes-Formation	Sedimentgesteine benannt nach einem Quellfluß des Amazonas, die aus Ton und Silt besteht.
Palmito	Palmenherz, Mark der Palmenpflanze
Jarina	Steinnuss
Tropische Baumarten :	
Açaí	Palme die eine Nuss mit essbarer Haut produziert
Paxiúba, Paxiubinha	Palme zur Holzproduktion, Früchte werden zur Schmuckherstellung verwendet.
Seringueira	Baum zur Latex(Kautschuk)-produktion
Tento	Kleine rote, flache Früchte für die Schmuckherstellung
Muiraquitã	Amulett, das einen Frosch symbolisiert. Getragen von den Frauen Amazoniens. geschnitzt aus Nephrit, Tremolit und Aktinolith.

Illit- und Chloritkristallinitäten aus der Harzgerode- und Wippra-Zone zwischen Breitung und Questenberg, südöstlicher Unterharz.

THOMAS MÜLLER¹, HELMUT HEINISCH¹ & DOROTHEE MERTMANN¹

¹INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN & GEOGRAFIE, MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT, VON-SECKENDORFF-PLATZ 3-4, 06120 HALLE (SAALE)

Schlüsselwörter: Illitkristallinität, Anchizone, Harzgerode Zone, Wippra-Zone, Breitung, Questenberg, SE-Unterharz, Harz

Keywords: Illite crystallinity, anchizone, Harzgerode Zone, Wippra-Zone, Breitung, Questenberg, SE-Unterharz, Harz

Zusammenfassung

In der Harzgerode- und Wippra-Zone des Unterharzes wurden längs dreier Profile Illit- und Chloritkristallinitäten bestimmt und Dünnschliffuntersuchungen durchgeführt. Der untersuchte Ausschnitt der „Metamorph Zone“ des Harzes befindet sich im südöstlichen Teil des Unterharzes zwischen Breitung und Questenberg. Aus 53 Aufschlüssen wurden 159 Proben aus den stratigraphischen Einheiten der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation, Rammelburg-Phyllit-Quarzit-Formation, Klippmühle-Quarzit-Formation und der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation untersucht.

Der Illit-(001)-Basisreflex zeigt in allen drei Profilen eine fast ausnahmslose Zugehörigkeit der Kristallinitätsdaten zur Anchizone, wobei die obere Anchizone überwiegt. Dieselbe Zuordnung ergibt sich auch aus dem Weaver-Index und den Chlorit-Kristallinitäten. Die Daten schwanken systematisch. Ein regionaler Trend quer zum Streichen ist nur undeutlich erkennbar. Im westlichen Profil steigt die Illit-Kristallinität leicht gegen Norden an, vermutlich verursacht durch die thermische Beeinflussung der Ramberg-Intrusion. Die Fluktuation der Werte wird mit einer postmetamorphen kleinräumigen Schuppentektonik im Zuge der postkollisionalen Hebung erklärt. Der generelle Trend der Daten steht im Widerspruch zu bisherigen Literaturdaten. Die regionale Gültigkeit ist durch Messungen in anderen Bereichen der „Metamorph Zone“ des Harzes zu prüfen.

Abstract

Illite- and chlorite-crystallinities were determined and investigations of thin sections were carried out within the Harzgerode- and Wippra-Zone of the Lower Harz, aligned at three profiles. The investigated part of the „Metamorphic Zone“ is situated in the southeastern part of the Lower Harz between Breitung and Questenberg. Derived from 53 outcrops, 159 samples were investigated, originating from the stratigraphic units of Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation, Rammelburg-Phyllit-Quarzit-Formation, Klippmühle-Quarzit-Formation and Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation.

At all three profiles, the illite base reflex 001 almost without exception indicates the anchizone, in which the upper anchizone is prevailing. The same relation is found also regarding the Weaver-index and the chlorite crystallinity. The data are fluctuating systematically. A regional trend perpendicular to striking of strata is only indistinctly visible. In the western profile, the illite crystallinity increases slightly towards the north, presumably caused by the thermal influence of the Ramberg intrusion. The overall fluctuation of the values is explained by postmetamorphic small scaled horse tectonics during postcollisional uplift. The general trend of data contradicts the hitherto published data. The validity of the findings has to be tested at a regional scale in other parts of the „Metamorphic Zone“ of the Harz.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Die „Metamorphe Zone“ des Harzes ist bereits seit dem Ende der achtziger Jahre des 19. Jahrhunderts Gegenstand zahlreicher geologischer Untersuchungen. Einer ersten Detailkartierung durch Lossen (1884) und darauf beruhenden ersten Gliederungen der Schichtenfolge, folgten weitere Arbeiten (u.a. Fischer 1929, Reichstein 1964, Schwab 1976, Sehnert 1991), die sich besonders mit stratigraphischen und tektonischen Problemstellungen auseinandersetzten. Eine Zunahme der metamorphen Prägung im Unterharz in südöstlicher Richtung wurde bereits durch Lossen (1884) anhand von Geländebeobachtungen und petrographischen Untersuchungen erkannt. Die besondere Mineralparagenese Quarz-Muskovit-Illit/Chlorit-Rutil-Hämatit-Ottrelith wurde von Löffler & Schwab (1981) als Indiz für eine regional-metamorphe Überprägung gedeutet.

Da niedriggradige Metamorphosebedingungen lediglich einen geringen Einfluss auf das makroskopische Gefüge und den Mineralbestand eines pelitischen Gesteins haben, kann durch den verstärkten Einsatz der Röntgendiffraktometrie eine Zuordnung in bestimmte

Diagenese- und Metamorphosebereiche erfolgen. Die Anwendung tonmineralogischer Untersuchungen zur Erfassung geothermaler Probleme geht in der „Metamorphen Zone“ des Harzes auf Siedel (1989) zurück. Anhand dieser Messungen konnte eine epizonale Prägung der Serie 2 bis 7 sowie der abklingende Verlauf der Metamorphose in nördlicher Richtung erkannt werden.

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung von Meta-Peliten bezüglich ihrer Tonmineralokristallinität im südwestlichsten Teil der „Metamorphen Zone“ des Harzes, im Raum Breitung, Questenberg, Breitenbach und Wolfsberg (Abb. 1). Für diesen Bereich der „Metamorphen Zone“ liegen nur sehr vereinzelt Messwerte der Illitkristallinität vor. Zur Überprüfung der erhobenen Kristallinitätsdaten wurden weiterhin die Chloritkristallinität und der Weaver-Index bestimmt. Diese Untersuchungen ergeben damit Hinweise auf die Höhe der Diagenese- bzw. Metamorphosebedingungen der Abfolgen dieses Gebietes. Die erhobenen Messreihen werden mit den Ergebnissen anderer Autoren, u.a. Löffler & Schwab (1981), Siedel (1989), Siedel & Theye (1993), Theye (1995), Friedel et al. (1995), verglichen und diskutiert.

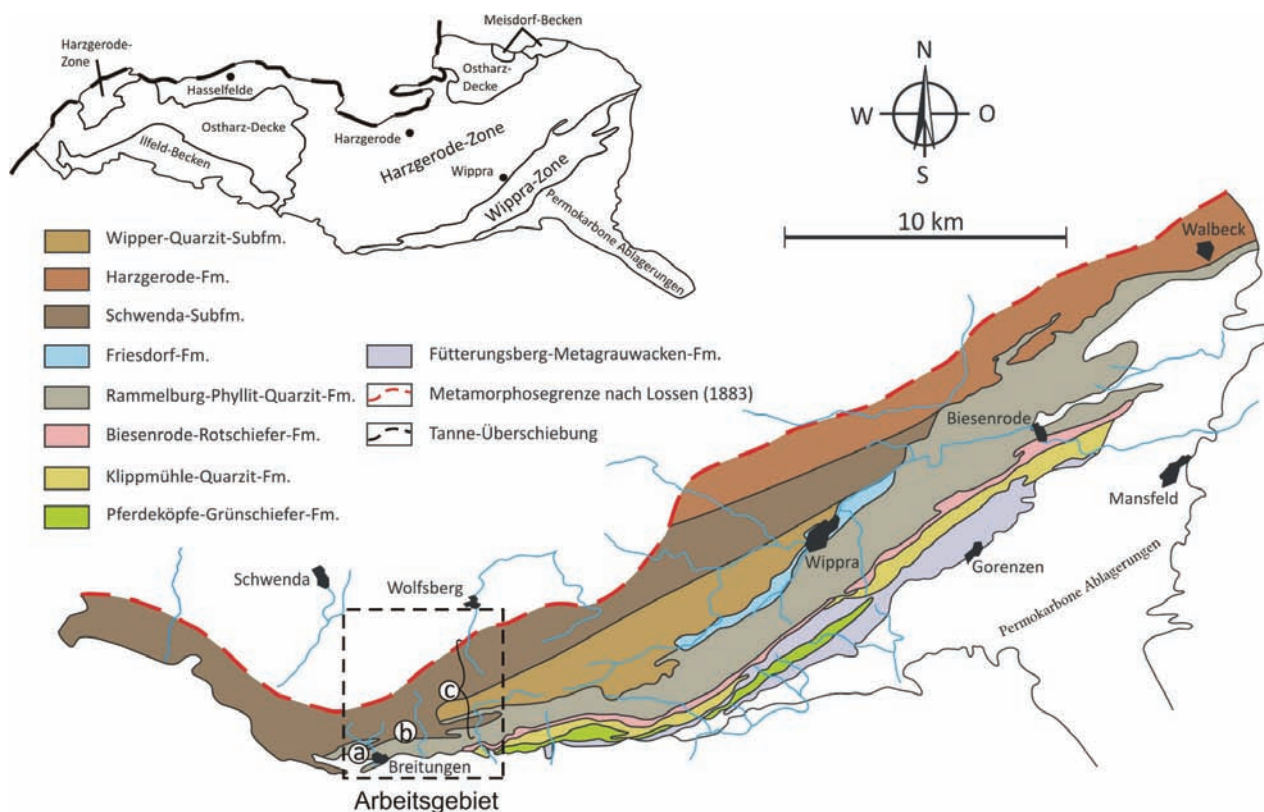


Abb. 1 Lage des Arbeitsgebietes in der "Metamorphen Zone" des Harzes (geändert nach Reichstein 1964, Schwab 2008). Beprobte Profile liegen im Breitungertal (a), Glasebachtal (b) und Nassetal mit Wolfsberger Wipper (c).

2. Regionale Geologie

Am südlichen Rand des Rhenoherynikums erstreckt sich über eine Länge von ca. 650 km und eine durchschnittliche Breite von 10-20 km eine Zone, die aufgrund der mehr oder weniger häufig auftretenden phyllitischen Gesteine als Nördliche Phyllitzone bezeichnet wird. Die im Südwesten, bei Düppenweiler, beginnende Zone verläuft nach Küstner (2000) in nordöstlicher Richtung über den Süd-Hunsrück, den Süd-Taunus und die Wippra-Zone im südöstlichen Harz bis zur Packendorf-Zone und trennt dabei nach Scholtz (1930) die Groöeinheit des Rhenoherynikums im Norden von der dem Saxothuringikum zugehörigen Mitteldeutschen Kristallinschwelle im Süden. Burmann et al. (2001) beschreiben eine Fortsetzung der Nördlichen Phyllitzone in östlicher Richtung bis zum Raum Frankfurt/Oder, wo phyllitische Pelitschiefer, quarzitisches Grauwacken und Feinsandsteine sowie phyllonitisierte Meta-Vulkanite in verschiedenen Bohrungen angetroffen wurden. Neben einigen wenigen Aufschlüssen im Süd-Taunus und Süd-

Hunsrück (Friedel 1995) umfasst die Wippra-Zone nach Burmann et al. (2001) den Großteil der in der Nördlichen Phyllitzone bekannten Aufschlüsse.

Die Wippra-Zone erstreckt sich über eine Länge von ca. 35 km und einer maximalen Breite von ca. 7 km, ausgehend von Hettstedt und Walbeck im Nordosten in südwestlicher Richtung bis in den Breitungseraum. Hierbei handelt es sich um eine metamorphe Abfolge ursprünglich sedimentärer und basaltischer Gesteine (Ahrendt et al. 1996), die traditionell nach Fischer (1929) anhand lithologischer Merkmale in sieben Zonen/Serien (Tabelle 1) untergliedert werden. Der metamorphe Charakter trifft jedoch nicht ausschließlich auf die Wippra-Zone zu, sondern beeinflusst nach Wachendorf (1986) mit seiner in nordwestlicher Richtung abklingenden Intensität auch die südöstlichen Bereiche der Harzgerode-Zone, weshalb Reichstein (1964) erstmals bei seiner zonalen Gliederung der Wippra-Zone den Begriff der „Metamorphe Zone“ des Harzes einführte und dabei

Tabelle 1. Gliederung der Wippra-Zone in sieben Zonen/Serien (nach Schwab & Ehling 2008, * nach Reichstein (1964), ** nach Burmann et al. (2001).

Zonen/ Serien*	Lithostratigraphische Einheiten**	Alter	Lithologie (Typusgesteine)
1b	Harzgerode-Formation	Unteres-mittleres Visé	Tonschiefermatrix mit Olitholithen
1a	Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation	Oberdevon-Visé (?)	Phyllitische Tonschiefer im Wechsel mit feldspatführenden, quarzitischen Sandsteinen und Grauwacken
2	Friesdorf-Formation	Silur	Dunkle, milde, phyllitische Tonschiefer mit Lagen und Linsen von dunklen Kalksteinen, kieseligen Schiefern, Toneisensteinen, Meta-Vulkaniten
3	Wippra-Gruppe Rammelburg-Phyllit- Quarzit-Formation	Ordovizium, Arenig- Llanvirn	bunte phyllitische Tonschiefer im Wechsel mit Quarziten, Meta-Vulkaniten
4	Biesenrode-Rotschiefer-Formation	Arenig	rote phyllitische Tonschiefer mit karpholithführenden Segregationsquarz
5	Klippmühle-Quarzit-Formation Piskaborn-Gruppe	Arenig-Llanvirn (?) ?Devon, ?Kambro- Ordovizium	bunte, phyllitische, quarzitisches Tonschiefer im Wechsel mit bankigen Quarziten
6	Perdeköpfe-Grünschiefer- Formation	?Devon, ?Kambro- Ordovizium	grüne, phyllitische Tonschiefer im Wechsel mit Meta-Vulkaniten
7	Fütterungsberg-Metagrauwacken- Formation	?Devon, ?Kambro- Ordovizium	phyllitische Tonschiefer im Wechsel mit Kieselschiefern und Grauwacken, Einschaltungen von Meta-Vulkaniten

den schwach metamorphen Anteil der südöstlichen Harzgerode-Zone mit einbezogen (Jacob 1992).

Die Hauptmasse der verschiedenen Petrotypen bilden nach Ahrendt et al. (1996) phyllitische Tonschiefer, die untergeordnet von Quarziten, Meta-Grauwacken, Kieselschiefern, Kalksteinen/Marmoren und basischen Meta-Vulkaniten begleitet werden. Biostratigraphische und lithofazielle Arbeiten (u.a. von Reichstein 1964, Ackermann 1985, Sehnert 1991, Burmann et al. 2001) bestätigten die von Fischer (1929) durchgeführte lithologische Unterteilung in sieben abgrenzbare Einheiten.

Das struktureologische Inventar der Wippra-Zone wird nach Jacob & Franzke (1992) durch eine intensive Faltung und die Ausbildung von drei verschiedenen Schieferungen sowie von Knick- und Scherbändern bestimmt. Die im epizonalen Metamorphosebereich angelegte schichtparallele s1-Schieferung erfährt demnach durch die B2-Hauptfaltung eine Verstellung und transversale Durchdringung durch eine s2-Schieferung. Die dritte und vierte Deformationsphase äußert sich durch Bruchschieferungen und die Herausbildung von Knickbändern. Den Abschluss bildet in der fünften Deformationsphase die Ausbildung von NNW und SSE gerichteten Scherzonen, die als listrisch geformte Aufschiebungen entwickelt sind (Jacob & Franzke 1992).

Die Übertragung der tektonischen Merkmale, mit einer nach NW abklingenden Intensität, hat die Ausbildung des Hauptgefügeelementes der s1-Schieferung im südlichen Bereich der Harzgerode-Zone zur Folge. Dieses Hauptgefügeelement ist nach Hilgenberg (1974) oftmals nicht faltengebunden, verläuft schichtparallel und wurde ebenfalls durch eine B2-Faltung verstellt, womit die Ausbildung einer zweiten Foliation als „crenulation cleavage“ verbunden ist. Infolge einer Querdehnung in der zweiten Deformationsphase kam es zur Ausbildung einer s3-Schieferungsknickung, deren Häufigkeit mit nachlassender metamorpher Überprägung nach NW hin abnimmt.

Dieser metamorphe Charakter der „Metamorphen Zone“ des Harzes und die nachlassende Intensität in NW Richtung wurde bereits während der Erstkartierung durch Lossen (1884) erkannt. Intensive Untersuchungen an den Meta-Peliten der Wippra-Zone führte Siedel (1989) durch und bestimmte anhand von Illitkristallinitäten die Metamorphosetemperaturen sowie über die Bestimmung der b0-Parameter die zugehörigen Bildungsdrücke. Demnach wurden die Höchstwerte im Südosten der Wippra-Zone erreicht und liegen bei einer Temperatur zwischen 360-400°C und einem maximalen Druck von 3 kbar. Neuere Untersuchungsergebnisse von Siedel & Theye (1993) und Theye (1995) zeigen später, dass die Serie 7 höheren Bildungsdrücken mit mehr als 6 bis 8 kbar ausgesetzt war. Der durchschnittliche Temperatur-

und Druckgradient für die Wippra-Zone liegt nach Theye (1995) bei ca. 320°C und 2,5 bis 3 kbar. Die Minerale Ottrelith und Karpholith gehören dabei nach Löffler & Schwab (1981) zu den fazieskritischen Metamorphose-Anzeigern. Phengitische Hellglimmer in den Meta-Grauwacken und -Peliten der Serie 7 werden als druckbetonte Metamorphoseanzeiger bis 6 kbar gedeutet. Der für Kollisionszonen typische Glaukophan konnte bisher lediglich als Detritus in der Selke-Grauwacke und Tanner Grauwacke nachgewiesen werden (Ganssloser et al. 1996), nicht in der Wippraer Zone. Auch im Rahmen der hier vorgelegten Untersuchungen war keinen Nachweis von Glaukophan möglich.

Nach bisherigen Literaturdaten von Schwab (2008) nimmt der Metamorphosegrad, der zonalen Gliederung nach Nordwesten hin folgend, deutlich ab. Die Metamorphose der Serie 2 bis 6 fand in einem Temperaturbereich von 300 bis 350°C und unter einem Druck von ca. 2,5 kbar statt. Die Umwandlungserscheinungen in der Serie 1 liegen an der Grenze hin zur Anchizone, in einem Temperaturbereich unter 300°C.

Dieser Temperaturverlauf durch die verschiedenen Gesteinsverbände kann nach Friedel et al. (1995) auf eine verschieden tiefe variszische, synmetamorphe Versenkung zurückgeführt werden. Eine Hebung der höher metamorphen Einheiten im Spätvarisikum erfolgte entlang NE-SW und NW-SE verlaufender Störungszonen.

3. Probenauswahl und -beschreibung

Die „Metamorphe Zone“ des Harzes wurde im Zuge einer Diplomarbeit (Müller 2011) in ihrem südwestlichen Bereich zwischen Breitungen und Questenberg in 53 Aufschlüssen mit 159 Proben aus den stratigraphischen Einheiten der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation, Rammelburg-Phyllit-Quarzit-Formation, Klippmühle-Quarzit-Formation und der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation beprobt (Abb. 1, Abb. 2). Bei der Probenahme wurden aufgrund der tonmineralogischen Fragestellung pelitreichere Lagen bevorzugt, wobei das breite Korngrößenspektrum der Meta-Pelite eine Entnahme siltiger Proben nicht verhindern konnte. Damit weiterhin noch Aussagen über die mikroskopischen Gefügeelemente getroffen werden konnten und somit eine grobe Einordnung in bestimmte metamorphe Faziesbereiche möglich ist, wurden weiterhin Meta-Sandsteine und -Grauwacken entnommen.

3.1. Siltige Tonschiefer

Die Hauptmasse an Gesteinen in der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation ist dem Petrotyp des siltigen Tonschiefers zuzuordnen. Detritische Quarze, die eine durchschnittliche Korngröße zwischen 80 und 140 µm erreichen und stark suturierte Korngrenzen aufweisen,

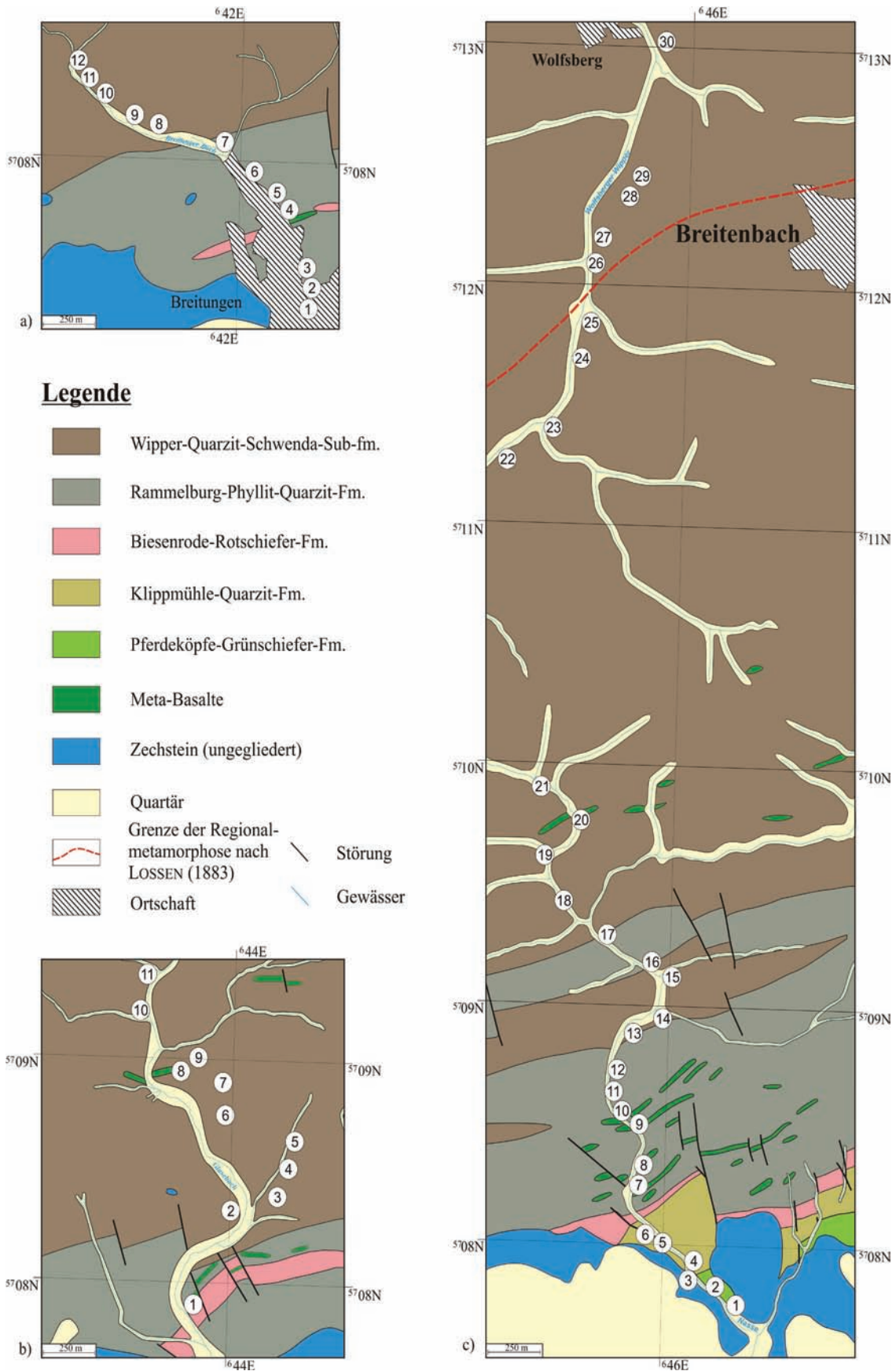


Abb. 2 Probenahme-Punkte im Breitunger Tal (a), Glasebachtal (b) und Nassetal mit Wolfsberger Wipper (c) auf vereinfachten geologischen Karten nach Schröder & Dahlgrün (1928), Müller (2010) und Starck (2010).

sind in die erste, oftmals als „anastomosing cleavage“ ausgebildeten Schieferung eingeregelt. Hauptbestandteil der siltigen Tonschiefer ist eine feinkörnige Matrix aus Seriziten, Quarzen und Plagioklasen. Glimmer- und Quarzbärtchen treten häufig in den Druckschattenbereichen der detritischen Quarze auf. Kontinuierliche und diskontinuierliche Auslöschungen sowie teilweise Ausbildung von Deformationslamellen können bei den detritischen Quarzen erkannt werden. Zum Teil treten detritische Muskovite auf, die länglich, teils auch isometrisch ausgebildet sind (Tafel. 1).

3.2. Quarzitisches Tonschiefer

Die quarzischen Tonschiefer unterscheiden sich von den siltigen Petrotypen lediglich durch ihren höheren Quarzgehalt. Die detritischen Quarze erreichen maximale Korngrößen von 350 µm und sind in die erste, als „anastomosing cleavage“ ausgebildete Schieferung eingeregelt. Ein Kornkontakt zwischen den größeren Quarzindividuen besteht nicht. Auch hier kommt es bei den detritischen Quarzen zum Anwachsen von Quarz- und Glimmerbärtchen. Deformationslamellen sowie kontinuierliche und diskontinuierliche Auslöschung treten bei den detritischen Quarzen auf. Die feinkörnige Matrix baut sich aus Seriziten, Quarzen und Plagioklasen auf. Detritische Muskovite mit einer durchschnittlichen Korngröße von 50 µm können vereinzelt beobachtet werden. Akzessorisch kommt es in den Dünnschliffen noch zum Auftreten von Calcit und Gesteinsbruchstücken.

3.3. Meta-Grauwacken

Das Gefügebild dieses allgemein schlecht sortierten Petrotypes wird durch die Einregelung der Mineralkomponenten in die erste, oftmals als „anastomosing cleavage“ ausgebildete Schieferung bestimmt. Als Hauptkomponenten sind detritische Quarze zu nennen, die eine durchschnittliche Korngröße zwischen 200 und 270 µm erreichen. Beginnende Rekristallisationserscheinungen können bei einer Vielzahl der Quarze erkannt werden. Die größeren Komponenten umgibt eine feinkörnige Matrix bestehend aus Serizit und Quarz. Detritische Muskovite treten im Dünnschliff vereinzelt auf. Die an der Matrix beteiligten Quarze zeigen amöboide Strukturen als Folge von stark suturierten Korngrenzen. Untergeordnet kommt es weiterhin zum Auftreten von Plagioklasen und lithischen Fragmenten, die jeweils mit je 10 Vol.-% am Modalbestand der Proben beteiligt sind. Bei den lithischen Fragmenten handelt es sich hauptsächlich um Metamorphite, die angular bis subangular gerundet und teilweise auch zerbrochen sind.

3.4. Phyllitische Tonschiefer

Die Hauptmasse der Rammelburg-Phyllit-Quarzit- und der Klippmühle-Quarzit-Formation wird von phyllitischen Tonschiefern gebildet (Tafel. 2). Lokal treten in diesem Petrotyp erhebliche Gefügeunterschiede auf. Hierbei weicht die einheitlich ausgebildete Foliation, bedingt durch das vermehrte Auftreten von Quarzbändern und -gängen, einem recht diffus, mylonitisiert erscheinendem Gefüge. Die quantitativ bedeutendste Komponente bildet eine feinkörnige Matrix aus Serizit und untergeordnet Quarz. Quarzporphyroblasten verteilen sich in der Matrix und sind in ihrer Längserstreckung in die erste Schieferung eingeregelt. Die Quarzporphyroblasten zeigen oftmals in ihren Druckschattenbereichen faserige Anwachsungen von Quarz- und Glimmerbärtchen. Akzessorisch treten Chlorite, Hämatite, Plagioklase und Calcite auf.

Die Vorkommen phyllitischer Tonschiefer in der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation beschränken sich lediglich auf vereinzelte Lagen zwischen den massig ausgebildeten Grünschiefern. Als Hauptgemengteil ist eine feinkörnige Grundmasse aus Serizit und Chlorit zu nennen. Die makroskopisch deutlich erkennbare erste Schieferung wird von einer zweiten Schieferung transversal durchstoßen. Segregationslagen von Quarz erscheinen deutlich boudiniert. Untergeordnet kommt es weiterhin zum Auftreten lagenförmiger Ansammlungen von Hämatit und Calcit.

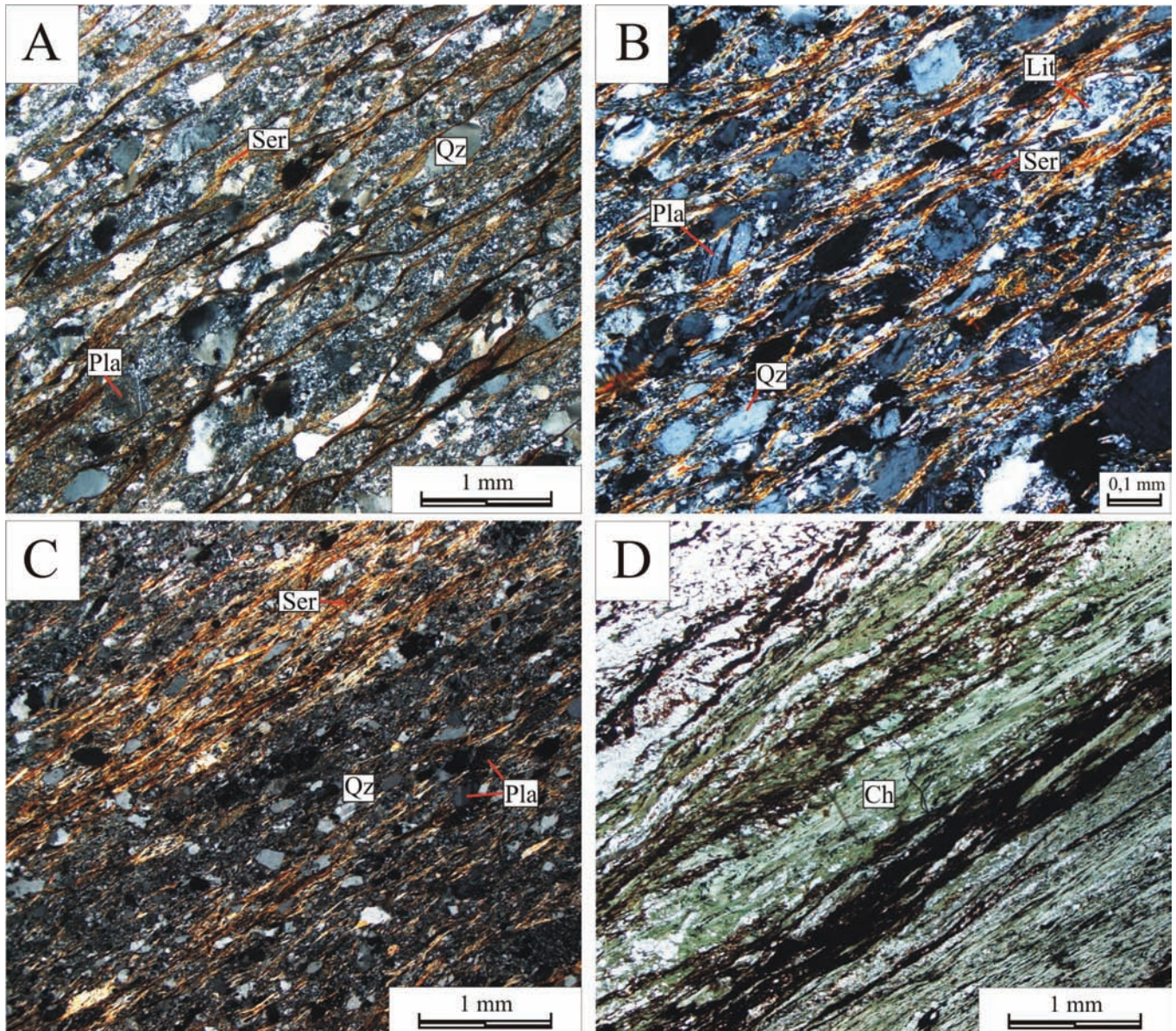
4. Aufbereitungs- und Untersuchungsmethoden

Geringe thermische Beanspruchungen zeigen nach Krumm (1992) nur bedingt makroskopische Veränderungen im Gefüge und Mineralbestand von Meta-Peliten. Da meist Mineralassoziationen, die als Geothermometer genutzt werden, fehlen, behilft man sich üblicherweise mit dem Kristallisationsgrad der Tonminerale, um thermische Veränderungen nachzuweisen.

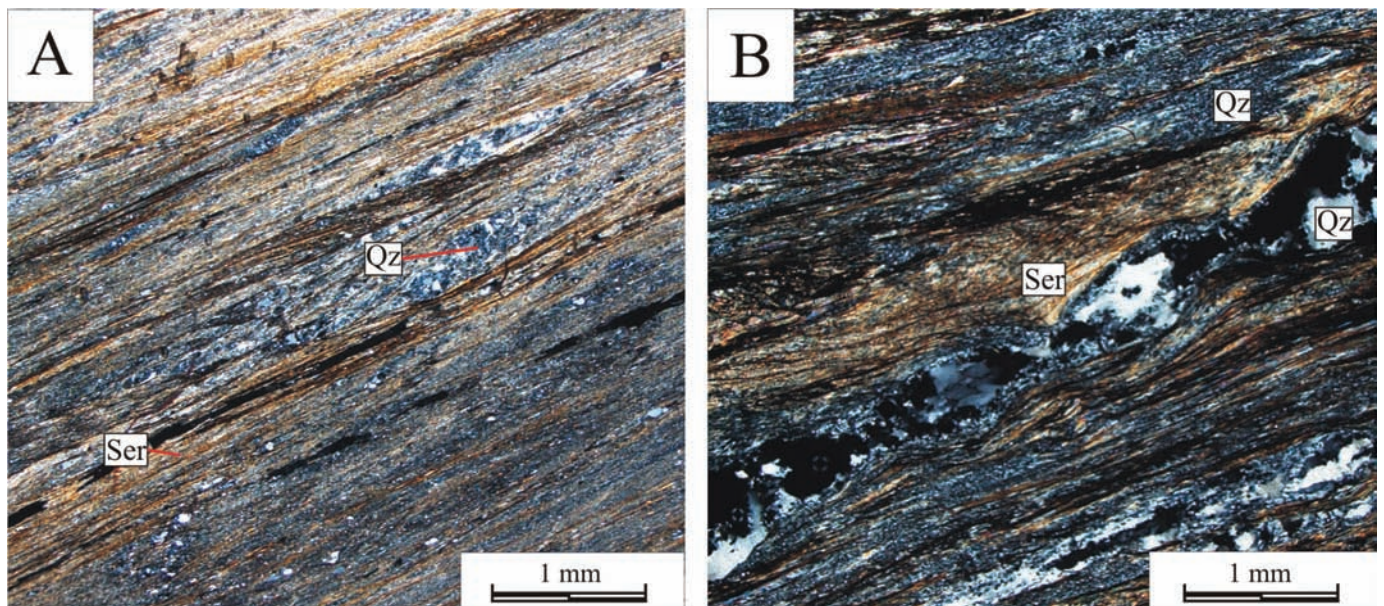
4.1. Probenaufbereitung und -messung

Da die im Untersuchungsgebiet entnommenen Gesteinsproben ein recht homogenes Korngrößenspektrum aufweisen, musste die Probenaufbereitung nicht individuell auf verschiedene Lithologien angepasst werden. Die Probenmenge betrug ca. 1 kg pro Aufschluss, da lediglich 20 g Probenmenge separiert wurde.

Verschiedene Verfahren zur Zerkleinerung des Probenmaterials diskutiert Krumm (1992) und geht dabei auf die jeweiligen Vor- und Nachteile dieses Arbeitsschrittes ein. Es ist dabei wichtig, ein geeignetes Verfahren zum Aufmahlen zu finden, um einerseits das Vorhandensein von einzelnen Kornaggregaten



Tafel. 1 A – Meta-Grauwaacke der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation (Probe G11-D, 2,5-fache Vergrößerung, gekreuzte Nicols). Deutlich ausgeprägte „anastomosing cleavage“ umfließt linsenförmige Mikrolithons. B – Siltiger Tonschiefer der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation (Probe B12-D, 2,5-fache Vergrößerung, gekreuzte Nicols). Eine deutlich ausgeprägte „anastomosing cleavage“ umfließt linsenförmige Mikrolithons. Auffällig sind die recht gute Sortierung der Probe und die verstärkte Einregelung der Minerale in die 1. Schieferung. C - Meta-Siltstein der Wipper-Quarzit-Schwenda-Subformation (G06-D, 2,5-fache Vergrößerung, gekreuzte Nicols), feinkörnigerer und besser sortierter Petrotyp im Vergleich zu Probe G11-D. Die anastomosierende 1. Schieferung ist deutlich in den tonreicheren Lagen ausgebildet. Die Schieferflächen umfließen auch hier linsenförmige Mikrolithons. D - Wechsellagerung eines phyllitischen Tonschiefers mit einem chloritischem Grünschiefer (Metatuff) der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation (Probe G10-D, 2,5-fache Vergrößerung, Hellfeld). Die Grundmasse aus schichtparallel auftretendem, blassgrünen Chlorit ist eng verwachsen mit feinkörnigem Serizit Abkürzungen zu A-D: Ser – Sericit, Pla – Plagioklas, Qz – Quarz, Ch – Chlorit, Lit - Mikrolithons.



Tafel. 2 Dünnschliff-Aufnahmen phyllitischer Tonschiefer der Rammelburg-Phyllit-Quarzit-Formation (A - Probe N10-D, 2,5-fache Vergrößerung, gekreuzte Nicols, B - Probe B05-D, 2,5-fache Vergrößerung, gekreuzte Nicols). Eine schichtparallele 1. Schieferung mit linsenförmigen Ansammlungen von Quarz ist deutlich sichtbar (A) sowie darin ein boudinierter Quarzgang (B).

auszuschließen, andererseits darf auch keine Reduktion der Originalkorngröße der Tonminerale erfolgen. Die verschiedenen Zerkleinerungsverfahren reichen dabei von der Verwendung von Scheibenschwingmühlen (Frey 1988, Küstner 2000) über Kugelmühlen (Robinson et al. 1990), Schlagkreuzmühlen (Kisch 1990), Backenbrecher (Ohlenschläger 1986, Kunert 1999) und Ultraschall (Marioth 2001) bis hin zu Handmörsern (Yan 2004). Da jedoch der Einfluss der verschiedenen Zerkleinerungsverfahren auf die Illitkristallinität nicht überprüft werden konnte und die schonendste Aufbereitung wohl mit dem Handmörser realisiert wird, wurden sämtliche Proben mit dem Handmörser aufgearbeitet.

Nach einer gründlichen Reinigung des Probenmaterials mit einer harten Bürste und entmineralisiertem Wasser, wurden die Gesteine schonend mit einem Hammer auf eine Korngröße von ca. 2 mm vorzerkleinert. Die Fraktion ≤ 2 mm wurde mittels Sieb abgetrennt und mit dem Handmörser aufgearbeitet. Um ein Zerkleinern der Originalgröße der Illite zu verhindern, wurde das gemörserte Material nach ca. einer Minute mittels Sieben (150 μm Maschenweite) abgetrennt und die verbleibende Probe weiter aufgemörsert. In der Regel waren fünf Siebdurchgänge notwendig, um eine Probenmenge von 20 g für die weiteren Versuchsdurchgänge zu separieren. Zur schonenden Aufbereitung wurden mit dem Pistill weniger ziehende

und scherende Bewegungen ausgeführt, sondern leichte vertikale Schläge auf das Probenmaterial gegeben.

Um Karbonate als Kittsubstanz zu entfernen, wurde nach König & Jacob (1996) 20 g Probenmaterial 24 Stunden mit 30 ml 10 %-iger Salzsäure behandelt. Anschließend wurde ein neutraler pH-Wert eingestellt und das Probenmaterial luftgetrocknet.

Die für die röntgenographischen Untersuchungen benötigte ≤ 2 μm Probenfraktion wurde mittels Atterbergverfahren separiert. Die dafür notwendige 5 g Probenmenge wurde zur besseren Dispergierung mit 5 ml Natriumpyrophosphat versetzt und über Nacht geschüttelt. Anschließend wurde das Material, angelehnt an die Aufbereitungsmethode von Yan (2004), für kurze Zeit mit Ultraschall behandelt. Um das Korngrößenspektrum nicht zu verfälschen, wurden jeweils drei Separationsdurchgänge bei konstanter Raumtemperatur durchgeführt. Die gewünschte Kornfraktion wurde anschließend im Trockenschrank bei 45°C getrocknet.

Für die röntgenographischen Untersuchungen wurden texturierte Präparate hergestellt. Um eine vergleichbare röntgenographische Untersuchung zu gewährleisten und um nach Kisch (1991) und Warr & Rice (1994) eine maximale Intensität im Röntgendiffraktogramm zu erreichen, wurde eine einheitliche Belegungsichte von 3,5 mg/cm^2 gewählt. Dafür wurde das wieder in Suspension gebrachte Probenmaterial für kurze Zeit mit Ultraschall behandelt, auf ein rundes Glasblättchen

Tabelle 2. Messparameter des Pulverdiffraktometers „Kristalloflex D5000“ für die röntgenographischen Untersuchungen

Parameter	Werte
Meßbereich in 2θ	3-22°
Schrittweite in 2θ	0.019°
Meßzeit pro Schritt	1 s
Röhrenspannung	40 kV
Stromstärke	30 mA
Divergenzblenden	V20/V20

von 2 cm Durchmesser pipettiert und anschließend luftgetrocknet.

Die röntgenographischen Untersuchungen erfolgten an einem Pulverdiffraktometer „Kristalloflex D5000“ der Firma SIEMENS, betrieben mit einer Kupferröhre ($\text{CuK}\alpha_1 = 1,54056 \text{ \AA}$) und einem Sekundärmonochromator. Die genutzten Messparameter können der Tabelle 2 entnommen werden. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm X'Pert HighScore.

4.2. Illitkristallinität

Zur Bestimmung der Illitkristallinität werden die Illit-Basisreflexe anhand ihrer jeweiligen Peakbreite analysiert. Diese Peakbreite vergrößert sich nach Merriman et al. (1990) mit abnehmender Kristallitgröße. Die Ableitung der Illitkristallinität erfolgte anhand des Kübler-Indexes (Kübler 1967, 1968), wonach die Halbhöhenbreite, gemessen in $\Delta^\circ 2\theta$, als Mittelwert zwischen den beiden Flanken des Illit-001- und Illit-002-Peaks auf der Hälfte der Entfernung zwischen Peakmaximum und Untergrund berechnet wurde. Da mit zunehmender Metamorphose eine Verschmälerung der Peaks zu verfolgen ist, nimmt auch der Zahlenwert des Kübler-Indexes mit der Metamorphosezunahme ab. Die Grenzwerte der Anchizone von 0,42 und 0,25 $\Delta^\circ 2\theta$, worauf in dieser Arbeit Bezug genommen wurde, wurden von Kübler (1967) definiert. Hesse & Dalton (1991) unterscheiden zusätzlich noch zwischen der Oberen und Unteren Anchizone und legen dabei die Grenze als Mittelwert bei 0,335 $\Delta^\circ 2\theta$ fest.

Die Messungen von Illitkristallinitäten variieren von Institut zu Institut aufgrund verschiedener Aufbereitungsmethoden und Präparationsverfahren (Kunert 1999). Um diesen Abweichungen entgegenzuwirken, wurde der CIS-Standard von Warr & Rice (1994) eingeführt. Für die Standardaufbereitung standen sechs Standards aus dem Very Low-Grade Metamorphosegürtel in Nord-Cornwall in Südwest England zur Verfügung, die äquivalent zum Probenmaterial aufgearbeitet und

gemessen wurden. Nach der Datenkorrelation ermöglicht die ermittelte Regressionsgerade die Korrektur sämtlicher Illitkristallinitätsdaten und damit den Vergleich zwischen verschiedenen Instituten (Abb. 3).

4.3. Chloritkristallinität

Die Chloritkristallinität kann nach Kunert (1999) analog zur Illitkristallinität als temperaturabhängiger Parameter für den niedriggradigen Metamorphosebereich herangezogen werden, wobei die Auswertung der Chloritkristallinitäten analog zu den Illitkristallinitäten erfolgt. Um mögliche Fehlinterpretationen, verursacht durch peaküberlagernde Phasen, zu vermeiden, wurde der Chlorit-002-Peak zusätzlich ausgewertet. Da die Aufbereitung der Gesteinsproben und die Anfertigung der Messpräparate sowie die Auswertung der CIS-Standards für die Illit- und Chloritkristallinität identisch sind, ist ein direkter Profilvergleich möglich. Die Grenzwerte der Anchizone definiert Kübler (1967) ebenfalls bei 0,42 und 0,25 $\Delta^\circ 2\theta$. Die ermittelte Regressionsgerade für die Eichung der Werte ist in Abb. 4 dargestellt.

4.4. Weaver-Index

Zusätzlich zum Kübler-Index wurde der Weaver-Index als weitere Ableitungsmethode zum Kristallisationsgrad der Illite bestimmt. Weaver (1960) setzt den 10 \AA -Illitpeak ins Verhältnis zum 10,5 \AA -Illitpeak und prägte damit den Begriff der „sharpness ratio“. Das Auftreten von Paragonit in einer großen Anzahl von Probenmaterial führt nach Weh (2004), aufgrund der Überlagerung an der rechten Schulter des 001-Illit-Reflexes, zu einer Verbreiterung des Illit-Peaks und damit zur Verfälschung der Kristallinitätswerte. Da der Weaver-Index lediglich die Intensitäten bei 10 \AA und 10,5 \AA ins Verhältnis setzt, bleibt dieser von dem Auftreten der Paragonitphase unbeeinflusst. Die Grenzwerte der Anchizone definiert Weaver (1960) dimensionslos bei 2,3 und 12,1. Sollte das Intensitätsverhältnis größer als 12,1 ausfallen, so sind die betroffenen Proben der Epizone

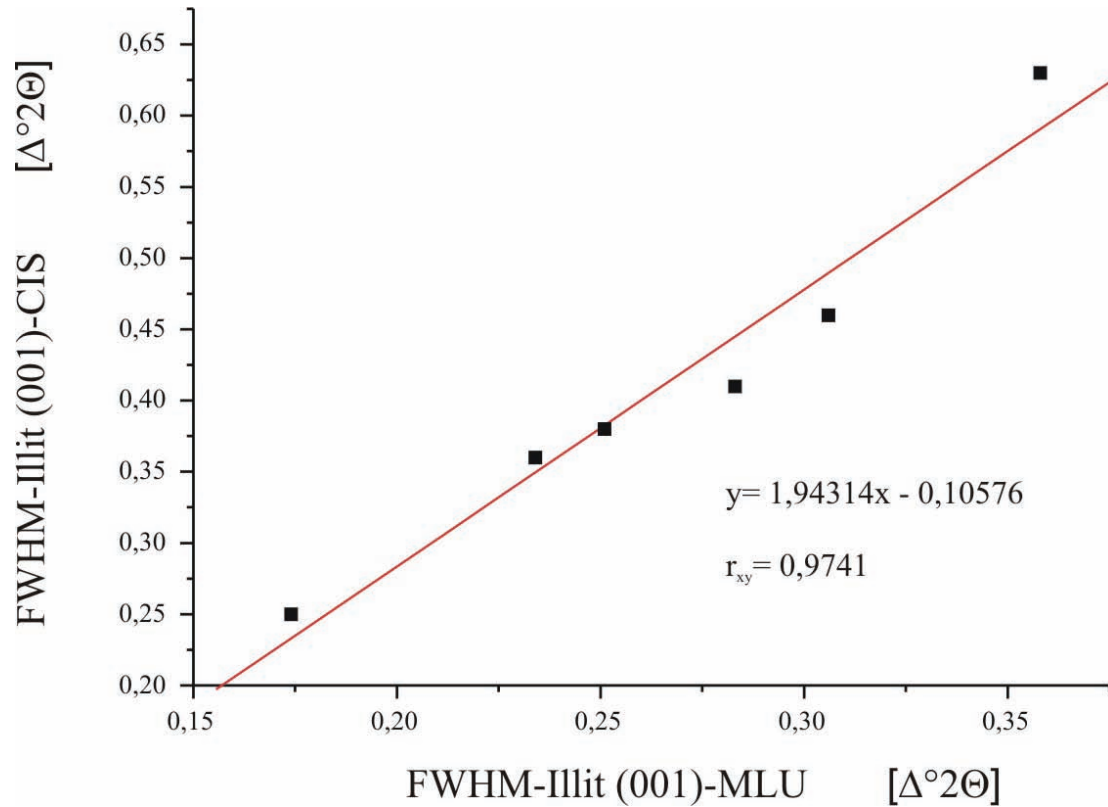


Abb. 3 Eichkurve für die Diffraktometer-Messungen (MLU) zur Bestimmung der Illitkristallinität anhand der Original-CIS-Standards von Warr & Rice (1994).

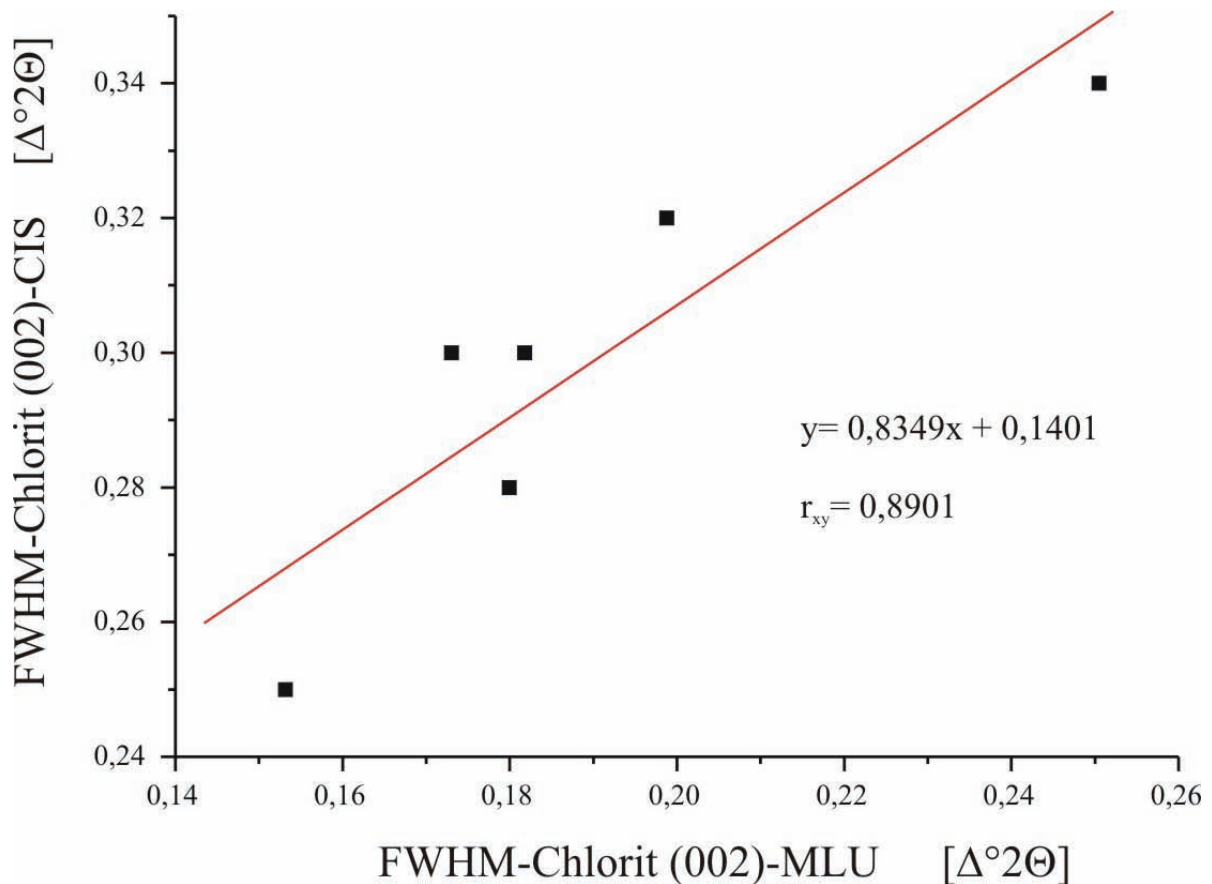


Abb. 4 Eichkurve für die Diffraktometer-Messungen (MLU) zur Bestimmung der Chlorit-Kristallinität anhand der Original-CIS-Standards von Warr & Rice (1994).

zuzuordnen, fällt der Wert kleiner als 2,3 aus, so kann von einer Zugehörigkeit zur Diagenesezone gesprochen werden.

5. Untersuchungsergebnisse

5.1. Qualitative Phasenanalyse

5.1.1. Illit

Bei Illiten handelt es sich nach Grim et al. (1937) um einen Überbegriff für feinkörnige, glimmerähnliche Minerale, die traditionell anhand ihres 10 Å Peakreflexes identifiziert werden. Da paragonitische Phasen eine Verbreiterung des Illit-001-Reflexes zur Folge haben, kann die Bestimmung des Illit-002-Basisreflexes zusätzlich herangezogen werden, um fundierte Aussagen über den Kristallisationsgrad zu treffen.

Illite treten in sämtlichen Proben auf und stellen quantitativ das bedeutendste Schichtsilikat dar. Die anchizonale bzw. epizonale Überprägung lässt darauf schließen, dass die Proben im Wesentlichen die 2M-Modifikationen der Illit-Polytypen enthalten.

5.1.2. Chlorit

Wie Illit ist auch Chlorit Hauptbestandteil aller Tonfraktionen im Arbeitsgebiet und kann nach Ohlenschläger (1986) leicht an den Basisreflexen bei 14 Å und 7 Å erkannt werden. Auf der Grundlage von Brown (1961) kann das Intensitätsverhältnis des Chlorit-001- und Chlorit-002-Basisreflexes Rückschlüsse auf den Chemismus der Chlorite zulassen. Die Auswertung dieser Intensitäten zeigt eine Verhältnisverlagerung in östlicher Richtung. Treten im westlichen Arbeitsgebiet überwiegend magnesiumreiche Polytypen auf, so kann eine Verlagerung zu eisenreichen Polytypen in östlicher Richtung ausgemacht werden.

5.1.3. Paragonit

In einer Vielzahl von Proben konnte Paragonit durch die Reflexe bei 9,71 Å und 4,43 Å nachgewiesen werden. Das Auftreten von Paragonit führt zur Verbreiterung des Illit-001-Reflexes und damit zur scheinbaren Erniedrigung der Illitkristallinität. Neben der anchimetamorphen Neubildung von Paragonit, kann dieser nach Ohlenschläger (1986) auch detritischer Natur sein.

5.1.4. Smektit

In vereinzelt Proben konnte Smektit durch den Reflex bei 8,5 Å nachgewiesen werden. Kommt es zu höheren Konzentrationen von zwischengelagertem Smektit, kann dieser zu einer starken Verbreiterung des Illit-001-Reflexes führen.

5.2. Illit- und Chloritkristallinität

Die Abschätzung niedriggradiger Metamorphoseeinflüsse in Meta-Peliten lässt sich makroskopisch nur sehr schwer erfassen. Um diese Unterschiede im Arbeitsgebiet genauer zu untersuchen, wurden drei NNW-SSE streichende Profile aufgenommen und anhand des Illit-001- und Illit-002-Basisreflexes ausgewertet (Abb. 2).

Der Illit-001-Basisreflex zeigt in allen drei Profilen eine fast ausnahmslose Zugehörigkeit der Kristallinitätsdaten zur Anchizone, wobei die Kristallinitätsdaten verstärkt der oberen Anchizone angehören. In den drei Profilen ist eine anhaltende Fluktuation der Kristallinitätswerte erkennbar und kann nicht einfach erklärt werden (vgl. Diskussion und Schlussfolgerungen). Paragonit als reflexüberlagernde Phase ist in verschiedenen Proben für erhöhte Peakbreiten verantwortlich und verfälscht damit die tatsächlichen Metamorphosebedingungen. Die höchsten, epizonal geprägten Kristallinitätswerte beschränken sich ausschließlich auf die Serie 6 im Nassetal (Abb. 5).

Sind bei den Kristallinitätswerten des Illit-001-Reflexes noch stärkere Streuungen der Messdaten sowie diagenetische Ausreißer zu verfolgen, so zeigt sich bei der Auswertung des Illit-002-Reflexes ein einheitlicheres Bild, da reflexüberlagernde Phasen den Illit-002-Basisreflex nicht beeinflussen (Abb. 6). Es zeigt sich auch hier wieder eine fast ausnahmslose Zugehörigkeit der Kristallinitätswerte zur Anchizone. Eine anhaltende Fluktuation kann auch trotz der verminderten Streuung deutlich beobachtet werden. Das Profil des Breitunger Tales wird von einem Trendverlauf hin zur Epizone bestimmt. Die nördlichen Profilmereiche sind dort thermisch stärker beeinflusst und sprechen damit wie schon von Friedel et al. (1995) postuliert wurde, für eine Prägung durch den Ramberg-Pluton (Abb. 6A). Während sich im Glasebachtal ein relatives Kristallinitätsplateau einstellt (Abb. 6B), ist im Nassetal ein Trendverlauf hin zur Diagenesezone zu verfolgen und bestätigt damit die abklingende metamorphe Prägung in nördlicher Richtung (Abb. 6C).

Zusätzlich zu den Illit-001- und Illit-002-Basisreflexen wurden die Chlorit-002-Reflexe sämtlicher Proben bestimmt und zeigen einen ähnlichen Verlauf in allen drei Profilen (Abb. 7). Auch hier kann eine fast ausnahmslose Zugehörigkeit der Kristallinitätswerte zur Anchizone verfolgt werden. Die relative Unempfindlichkeit der Chlorite auf die niedrigen thermischen Einflüsse bedingt eine weniger stark ausgeprägte Fluktuation. Smektitische Phasenüberlagerungen können für diagenetische Kristallinitätswerte verantwortlich sein.

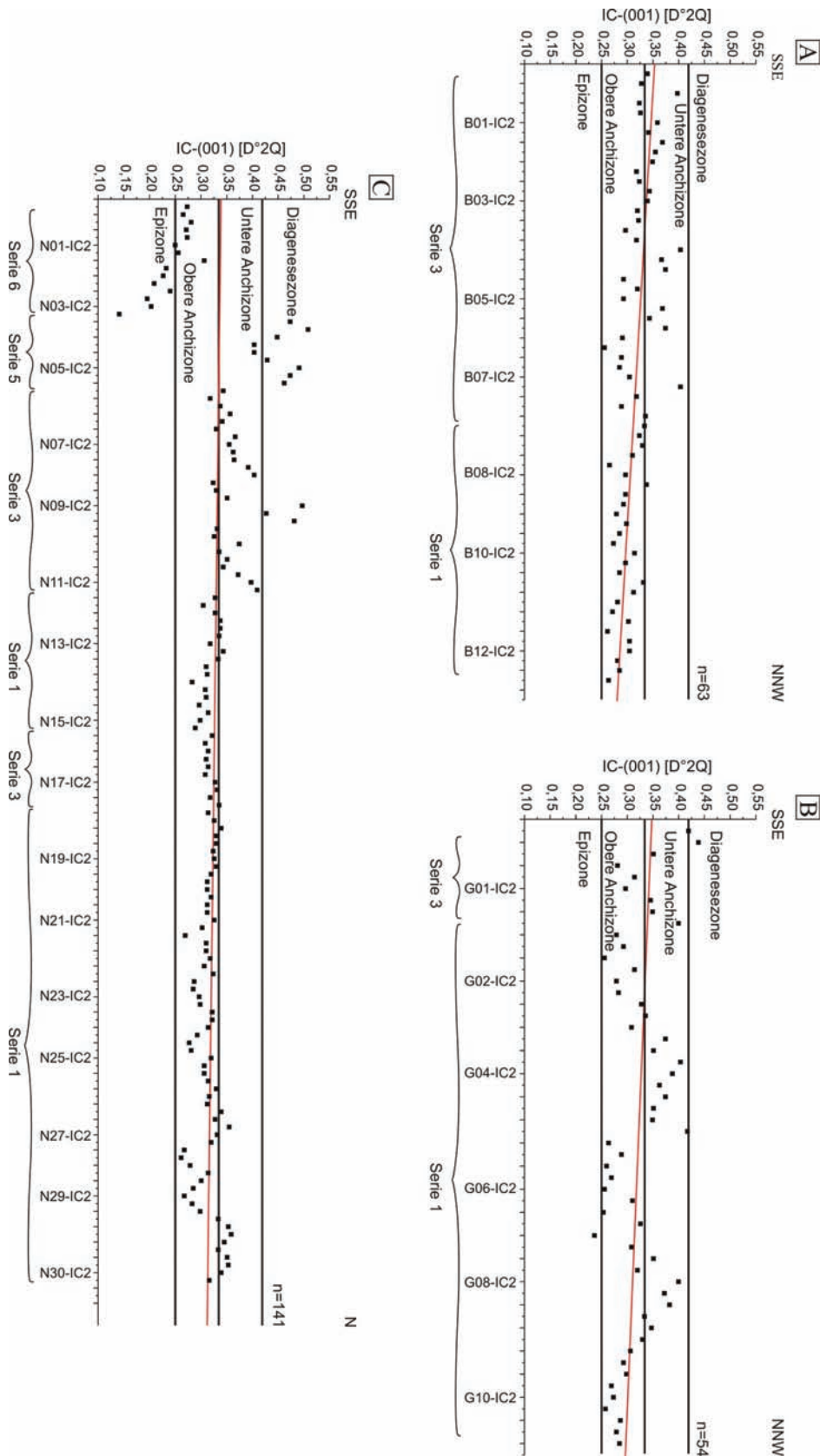


Abb. 5 Messergebnisse der Illitkristallinitäten für den Basisreflex (001) im Breitunger Tal (A), Glasebachtal (B) und Nassetal mit Wolfsberger Wipper (C).

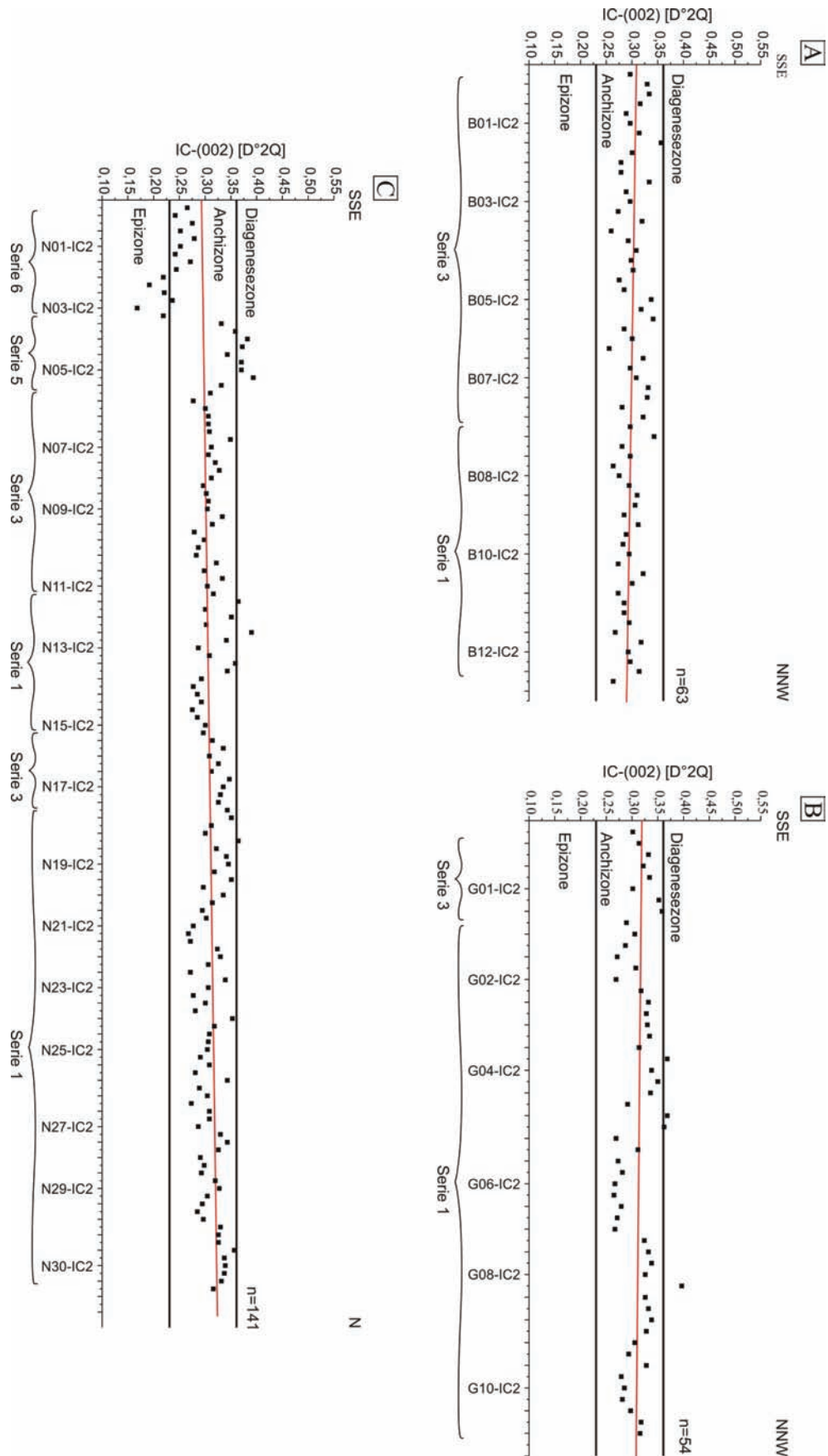


Abb. 6 Messergebnisse der Illitkristallinitäten für den Reflex (002) im Breitungertal (A), Glasebachtal (B) und Nassetal mit Wolfsberger Wippra (C).

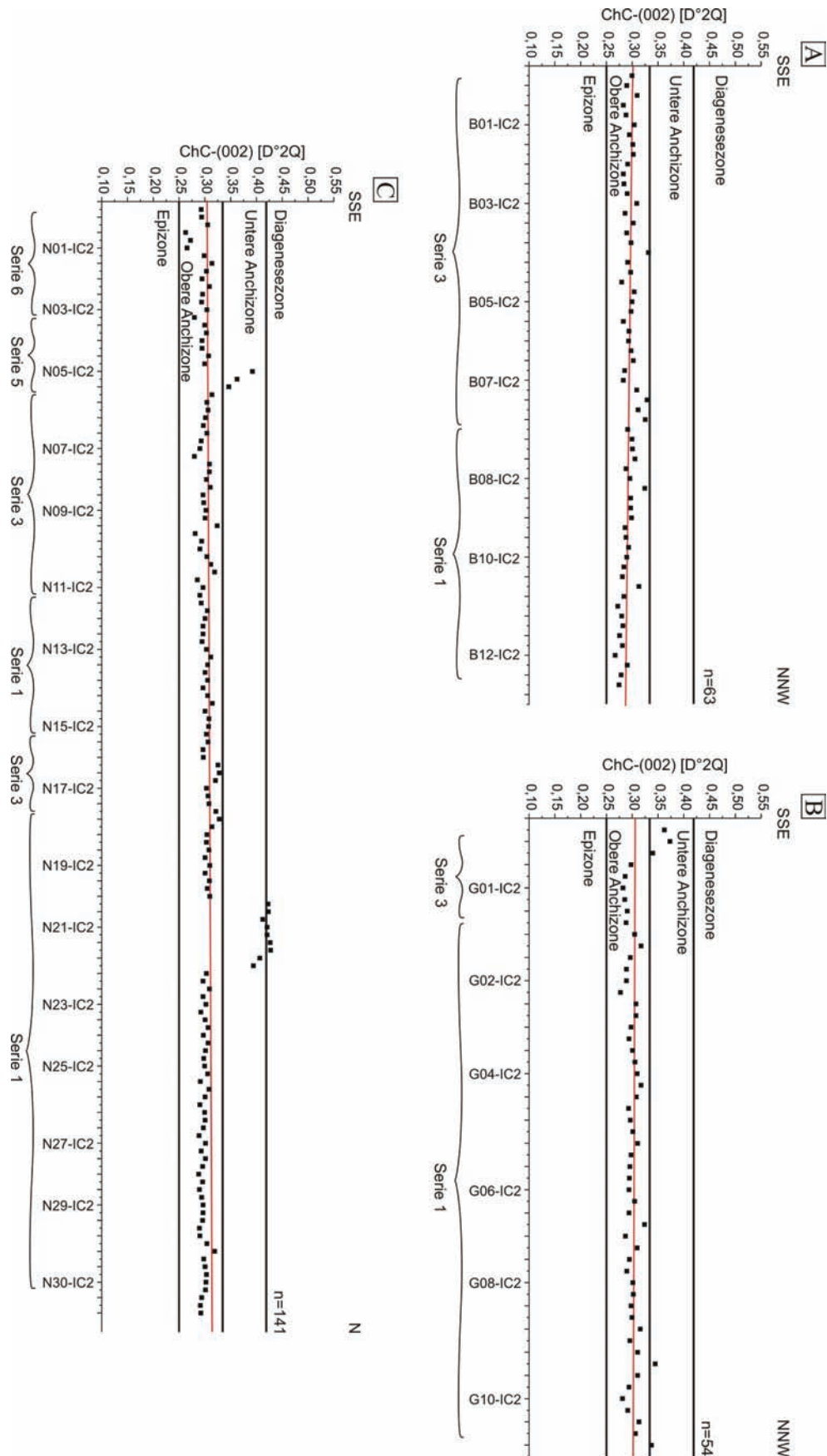


Abb. 7 Messergebnisse der Chloritkristallinitäten für den Reflex (002) im Breitunger Tal (A), Glasebachtal (B) und Nassetal mit Wolfsberger Wipper (C).

5.3. Weaver-Index

Aufgrund einer möglichen Fehlinterpretation durch den Kübler-Index, wurde zusätzlich der Weaver-Index bestimmt, dessen Intensitätsverhältnisse ebenfalls Aufschluss über den Grad der Metamorphose geben können. Gegenüber dem Kübler-Index wird der Weaver-Index nicht durch die Verbreiterung des Illit-001-Reflexes

durch Paragonit beeinflusst. Die Auswertung des Weaver-Indexes zeigte, dass 95 % aller Proben anchizonal geprägt wurden (Abb. 8). Diagenetisches Probenmaterial, wie es die Illit- und Chloritkristallinität zeigte, konnte nicht bestätigt werden. Demnach können Faktoren wie Peaküberlagerungen verschiedener Mineralphasen sowie Verwitterungseinflüsse für die Peakverbreiterung

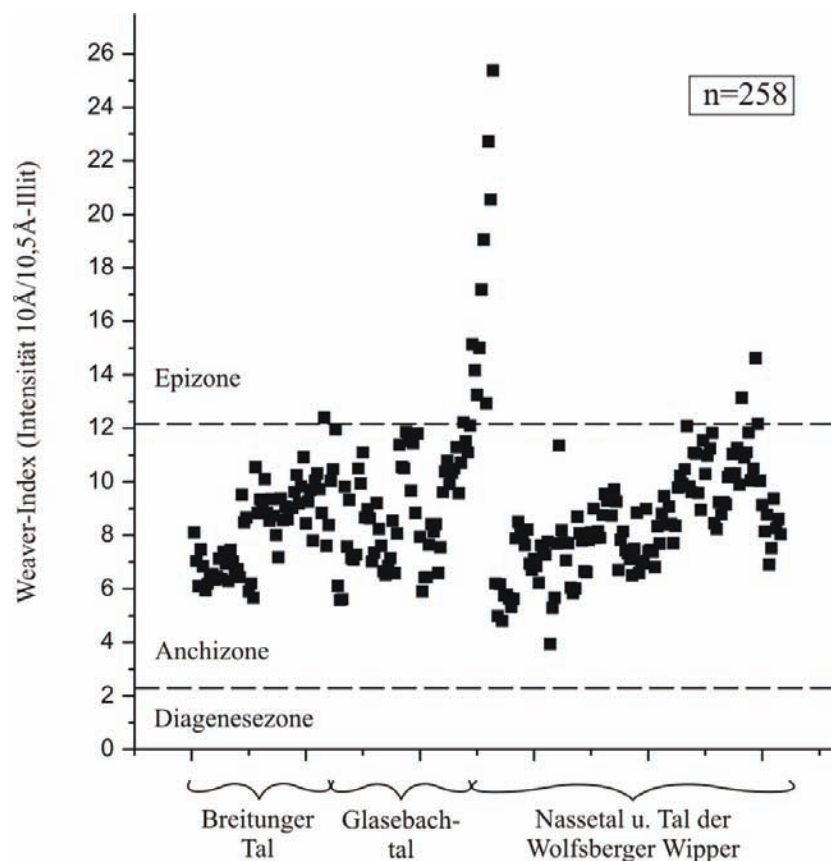


Abb. 8 : Weaver-Index für die drei bearbeiteten Profile. In allen Profilen überwiegt bei weitem die anchizonale Überprägung

verantwortlich sein und täuschen damit zu niedrige Illitkristallinitäten vor. Epizonale Intensitätsverhältnisse können in wenigen Proben der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation ermittelt werden und zeigen damit, dass eine erhöhte thermische Prägung lediglich in der Serie 6 stattgefunden hat.

6. Diskussionen und Schlussfolgerungen

Bei der Bestimmung von Illit- und Chloritkristallinitäten handelt es sich um bewährte Methoden, niedriggradige Metamorphoseeinflüsse in pelitischen Gesteinen nachzuweisen. Über Jahrzehnte hinweg haben verschiedenste Autoren diese Methode weiterentwickelt und erlauben damit eine relativ hohe Auflösung des niedriggradigen Metamorphosebereiches. Die Voraussetzung aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, besteht darin, da es sich bei dieser Methode um

ein statistisches Verfahren handelt, einen ausreichend großen Datensatz zu bearbeiten. Die Entwicklung eines standardisierten Aufbereitungsverfahrens soll gleichbleibende Aufbereitungs- und Messbedingungen gewährleisten. Die Verwendung von einheitlichen Standards, wie sie von Warr & Rice (1994) eingeführt wurden, ermöglicht den Vergleich zwischen unterschiedlichen Instituten und Bearbeitern.

Für die „Metamorphe Zone“ des Harzes postulierten verschiedenste Autoren (u.a. Siedel 1989; Jacob 1992; Hoth 1993; Friedel et al. 1995; Theye 1995) eine abklingende metamorphe Prägung in NW Richtung, wobei die Serien 2 bis 6 epizonal und die Serie 1 anchizonal geprägt wurde. Diese metamorphe Prägung konnte im Arbeitsgebiet nicht nachgewiesen werden.

Die Auswertung der Dünnschliffproben ergab keine Zugehörigkeit der Gesteine zur Epizone. Oftmals

ist die Korngröße der Grundmasse, bestehend aus Serizit, zu gering, um auf höhermetamorphe Einflüsse zu schließen. Beginnende Rekristallisationserscheinungen von Quarzen und eine beginnende Glimmersprossung reichen nicht aus, um den Proben epizonale Bedingungen zuzuschreiben. Diese Tatsache steht im Widerspruch zu den Aussagen der vorher genannten Autoren, deckt sich aber mit den unternommenen Messungen der Tonmineralkristallinitäten.

Da die statistischen Randbedingungen durch hohe Probenzahlen, mehrfache Aufbereitung und Wiederholungsmessungen in der vorliegenden Arbeit sorgfältig erfüllt wurden und die Eichung des Diffraktometers durch Original-Standardmaterial nach laboreigener Aufbereitung erfolgte, kann dieses von früheren Autoren abweichende Ergebnis nicht durch Messfehler erklärt werden.

Die Bestimmung von Tonmineralkristallinitäten kann, aufgrund verschiedener Faktoren, Fehlinterpretationen verursachen. So sollten lediglich „frische“ Gesteinsproben verwendet werden, um den Einfluss der Verwitterung so gering wie möglich zu halten. Ein standardisiertes Aufbereitungsverfahren muss gewährleistet sein, um Vergleiche zwischen den einzelnen Proben anzustellen. Weitere Fehlinterpretationen können bei der Auswertung der Röntgendiffraktogramme entstehen. Reflexüberlagernde Phasen führen zu einer Peakverbreiterung und erzeugen damit abnormal hohe Kristallinitätswerte. Um diesen Fehler der Auswertung zu vermeiden, wurde nicht einzig der Reflex des Illit-001-Peaks gemessen, sondern der Illit-002- und Chlorit-002-Reflex zusätzlich ausgewertet. Den Arbeiten von Siedel (1989) und Hoth (1993) ist zu entnehmen, dass paragonitische Phasen lediglich in den Serien 2 bis 6 vertreten sind. Diese Erkenntnis konnte bei der Auswertung der Röntgendiffraktogramme nicht bestätigt werden. Es kommt ebenfalls in einer Vielzahl von Proben aus der Serie 1 zum Auftreten von Paragonit, der sich störend bei der Reflexauswertung auswirkt.

Eine weitere Fehlinterpretation können detritische Glimmerminerale auslösen. Um das Vorhandensein detritischer Glimmer möglichst gering zu halten, wurde die Messung nach Kunert (1999) an einer Korngröße von <2 μm durchgeführt. Eine schonende Aufbereitung (Verzicht auf schädigende Mahlprozesse) sollte verhindern, die detritischen Glimmer zu zerstören und damit deren Abrieb zu messen. Die Auswertung des Esquevin-Indexes sollte Aufschluss über die Art der gemessenen Tonminerale geben. Dadurch konnte ermittelt werden, dass ausschließlich neugewachsene Glimmerminerale gemessen wurden.

Die Messung der Illit-001- und Illit-002- sowie der Chlorit-002-Reflexe ergab eine relativ

einheitliche anchizonale Prägung für die drei Profile des Arbeitsgebietes. Lediglich für die Serie 6 der Pferdeköpfe-Grünschiefer-Formation konnte eine epizonale Prägung nachgewiesen werden. Im Profil des Breitunger Tals wurde anhand der Illitkristallinitäten ein linearer Trend zu höheren Metamorphosebedingungen im NW Bereich ausgemacht. Diese Erkenntnis ist wohl auf den von Friedel et al. (1995) postulierten Verlauf des Ramberg-Plutons zurückzuführen. Im Profil des Glasebachtals ist ebenfalls ein leichtes Sinken der Kristallinitäten zu beobachten, wobei hier keine schlüssige Begründung für diesen Verlauf zu finden ist. Lediglich das Profil des Nassetals und des Tals der Wolfsberger Wipper zeigt einen ansteigenden Verlauf der Illitkristallinitäten und damit eine Schwächung des Metamorphoseeinflusses. Der epizonale Trend der Regressionsgeraden des Illit-001-Basisreflexes im zentralen und östlichen Profil im Arbeitsgebiet (vgl. Abb. 6) kann durch Kristallinitätswerte an der Grenze hin zur Diagenesezone im südlichen Profilbereich erklärt werden. Würden diese diagenetischen Kristallinitätswerte als Ausreißer betrachtet, stellt sich ein relatives Plateau der Regressionsgeraden ein.

Eine stetige Fluktuation der Illitkristallinitäten kann verstärkt auch bei der Auswertung des Illit-002-Reflexes in allen drei Profilen beobachtet werden. Als Erklärung für die deutliche Fluktuation der Illitkristallinitäten in allen drei Profilen (vgl. Abb. 6) wird eine intensive Verschuppung der Serien vorgeschlagen. Tektonische Schuppen zeichnen sich bei der Geländearbeit ab und wurden bereits von Hilgenberg (1974) erkannt.

Es kann daher folgendes geologisches Szenario für den untersuchten Teil der „Metamorphen Zone“ des Harzes abgeleitet werden: Im Zuge der variszischen Konvergenz und Schließung des Rhenohercynischen Ozeans kam es am aktiven Kontinentalrand Saxothuringias, heute erhalten u.a. in Gestalt des Kyffhäuser-Kristallins, zur Ausbildung eines Akkretionsprismas (Zeh et al. 2005). Hierbei wurden die aus dem nördlichen vorgelagerten Raum akkretierenden Gesteinseinheiten in Duplexstapel zerlegt und unterschiedlich stark versenkt. Dadurch erklären sich Hinweise auf eine eher druckbetonte Metamorphose in Teilen des Harzsüdrandes (Löffler & Schwab 1981, Theye 1995). Die Gesteine des hier untersuchten Abschnittes der „Metamorphen Zone“, charakterisiert durch Späne unterschiedlichster Alters und unterschiedlicher Lithologie, erreichten jedoch hierbei nie Bedingungen einer echten Versenkungsmetamorphose. Sie wurden nach der Stapelung durch ein einheitliches pT-Regime zwischen höherer und niedrigerer Anchizone metamorph überprägt. Die Intrusion des Ramberg-Plutons führt zu einer leichten Erhöhung der Illitkristallinitäten (im westlichen Arbeitsgebiet) in nördlicher Richtung. Im Zuge der postkollisionalen Hebung kam es zur

Zerschering und zu kleinräumigen Verschuppungen. Dies brachte geringfügig verschieden metamorphe Metapelite-Komplexe nebeneinander. Da die Proben-Profile vertikal zum Trennflächengefüge und zu den Schuppengrenzen verlaufen, führt dies zum beobachteten sprunghaften Wechsel der verschiedenen Kristallinitäts-Parameter. Dies überlagert einen möglichen durchgehenden regionalen Trend im betrachteten Ausschnitt.

Aufgrund der hohen Probenzahl auf engstem Raum und der sorgfältigen Eichung kann die generelle Einengung der metamorphen Prägung auf Anchizone als gesichert gelten. Der sich ergebende Widerspruch zu bisherigen Literaturdaten erfordert weitere Untersuchungen. Mögliche Fehlerquellen früherer Arbeiten können in einem zu dünnen Probenetz, Aufbereitungsproblemen oder aber auch in unzureichender Absicherung der Messungen durch internationale Standards liegen. Es ist zu betonen, dass sich die Aussage dieser Arbeit nur auf einen kleinen Ausschnitt der „Metamorphen Zone“ des Harzes bezieht. Die Ergebnisse können nicht unbesehen auf die gesamte „Metamorphe Zone“ übertragen werden. Zur Klärung des offenen Problems sind Untersuchungen der anderen Bereiche durch eine ähnlich dichte, statistisch abgesicherte Probenahme unter identischen Messbedingungen erforderlich.

7. Dank

Die Ergebnisse entstanden im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Geowissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Der Fachgruppe Mineralogie und Geochemie wird für die Erlaubnis zur Nutzung des Röntgendiffraktometers gedankt. Herrn Dr. Thomas Witzke, Juri Buchantschenko und Frau Dagmar Steller gilt besonderer Dank für die technische Hilfestellung. Weiterhin danken möchten wir Prof. Dr. Laurence Warr von der Ernst-Moritz-Arndt-Universität in Greifswald, der freundlicherweise das Material für die Erstellung der Standards kostenfrei zur Verfügung stellte.

8. Literatur

/55/ Ackermann, S. (1985): Beiträge zur Stratigraphie und Lithologie der Wippraer Formation. Dissertation: 136 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
 /56/ Ahrendt, H., Franzke, H.J., Marheine, D., Schwab, M. & Wemmer, K. (1996): Zum Alter der Metamorphose in der Wippraer Zone/Harz – Ergebnisse von K-Ar-Datierungen an schwachmetamorphen Sedimenten. *Z. dt. geol. Ges.*, 147: 39-56.
 /57/ Brown, G. (1961): The X-ray identification and crystal-structures of clay minerals. 544 S., *Min. Soc. 1961, Clay Mineral Group*.
 /58/ Burmann, G., Ehling, B.-C., Franzke, H.J., Hoth, K., Kopp, J. & Wunderlich, J. (2001): Nördliche Phyllitzone (an der

MKZ). – In: Hoth, K. & Leonhardt, D. (Hrsg.): Stratigraphische Kommission Deutschlands – Stratigraphie von Deutschland II, Ordovizium, Kambrium, Vendium, Riphäikum, Teil III: Nordthüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, deutscher Anteil Ostsee, Schleswig-Holstein, deutscher Anteil Nordsee. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 235: 11-67.

/59/ Fischer, G. (1929): Die Gesteine der Metamorphen Zone von Wippra mit besonderer Berücksichtigung der Grünschiefer. *Abh. Preuß. Geol. L.-Anst.*, 121: 1-64.

/60/ Frey, M. (1988): Discontinuous inverse metamorphic zonation, Glarus Alps, Switzerland: evidence from illite „crystallinity“ data. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68: 171-183.

/61/ Friedel, C.-H. (1995): Tektonik und Metamorphose im östlichen Mittelharz. Dissertation: 195 S., TU Berlin.

/62/ Friedel, C.-H., Hoth, P., Franz, G. & Stedingk, K. (1995): Niedriggradige Regionalmetamorphose im Harz. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 1993: 1213-1235.

/63/ Ganssloser, M., Theye, T. & Wachendorf, H. (1996): Detrital glaucophane in graywackes of the Rhenohercynian Harz mountains and the geodynamic implications. *Geol. Rdsch.*, 85: 755-760, Berlin (Springer).

/64/ Grim, R.E., Brey, R.H. & Bradley, W.F. (1937): The mica in argillaceous sediments. *Amer. Min.*, 22: 813-829.

/65/ Hesse, R. & Dalton, E. (1991): Diagenetic and low-grade metamorphic terranes of Gaspé Peninsula related to the geological structure of the Taconian und Acadian orogenic belts, Quebec, Appalachians. *J. metamorphic Geol.*, 9: 775-790.

/66/ Hilgenberg, J. (1974): Die tektonischen Verhältnisse der Harzgeröder Zone zwischen Rottleberode und Wippra. *Hercynia, N. F.*, 11: 333-351.

/67/ Hoth, P. (1993): Fazies, Diagenese und schwache Metamorphose klastischer Präpermsedimente zwischen Harz und Ostsee. Dissertation: 158 S., TU Berlin (unveröff.).

/68/ Jacob, G. (1992): Gefügeanalytische Untersuchungen an Gesteinen der Wippraer Zone (Harz). Dissertation: 102 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).

/69/ Jacob, G. & Franzke, H.J. (1992): Die Entwicklung der Wippraer Zone im Unterharz. *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 1992: 51-61.

/70/ Kisch, H.J. (1990): Calibration of the anchizone: a critical comparison of illite „crystallinity“ scales used for definition. *J. metamorphic Geol.*, 8: 31-46.

/71/ Kisch, H.J. (1991): Illite crystallinity: recommendations on sample preparation, x-ray diffraction settings, and interlaboratory samples. *J. metamorphic Geol.*, 9: 665-670.

/72/ König, U. & Jacob, G. (1996): Anleitung zur Probenpräparation und Bestimmung von Illit- und Chloritkristallinitäten. Institut für Geowissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, unveröff.

/73/ Krumm, S. (1992): Illitkristallinität als Indikator schwacher Metamorphose – Methodische Untersuchungen, regionale Anwendungen und Vergleiche mit anderen Parametern. *Erlanger geol. Abh.*, 120: 1-75.

/74/ Kübler, B. (1967): La cristallinité de l'illite et les zones tout a fait superieures du métamorphisme. In: *Colloque Etages Tectoniques. A la Baconniere*, 105-122, Neuchatel.

- /75/** Kübler, B. (1968): Evaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite. – Etat des progress realizes ces dernières années. Bull. Centre Rech. Peau, S.N.P.A., 2: 385-397.
- /76/** Kunert, V. (1999): Die Frankenwälder Querzone: Entwicklung einer thermischen Anomalie im Saxothuringikum. Dissertation: 171 S., Justus-Liebig-Universität Gießen.
- /77/** Küstner, W. (2000): K-Ar-Datierungen an detritischen Muskoviten und Sm-Nd-Modellalter prä- und synorogener schwach metamorpher Sedimente im Rhenoherynikum. Grundlegende Daten zur Quantifizierung orogener Prozesse am Beispiel der Varisziden. Dissertation: 111 S., Georg-August-Universität Göttingen.
- /78/** Löffler, H.K. & Schwab, M. (1981): Über das Auftreten von Karpholith im Harz und seine Bedeutung für die mineralfazielle Entwicklung in der Wippraer Einheit. Z. geol. Wiss., 9: 1309-1313.
- /79/** Lossen, K.A. (1884): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Blatt Wippra. Desgleichen Blatt Pansfelde, Blatt Schwenda. Preuß. Geol. L.-Anst.
- /80/** Marioth, R. (2001): Charakterisierung und Quantifizierung thermischer und diagenetischer Prozesse im karbonischen Akkretionsprisma in Nordchile. Dissertation: 155 S., Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- /81/** Merriman, R.J., Roberts, B. & Peacor, D.R. (1990): A transmission electron microscope study of white mica crystallite size distribution in a mudstone to slate transitional sequence, North Wales, UK. Contrib. Mineral Petrol., 106: 27-40.
- /82/** Müller, Th. (2010): Geologische Kartierung im Raum Breitung (Südharz). Dipl.-Kartierung: 89 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).
- /83/** Müller, Th. (2011): Illit- und Chloritkristallinitäten als Indikatoren für niedriggradige Metamorphoseereignisse in der Harzgerode- und Wippra-Zone im südöstlichen Unterharz. Dipl.-Arbeit: 71 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).
- /84/** Ohlenschläger, T. (1986): Sedimentpetrographische Untersuchungen und Illitkristallinität im Profil Öfenbach bei Saalfelden (Salzburg). Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 14: 115-129.
- /85/** Reichstein, M. (1964): Stratigraphische Konzeptionen zur Metamorphen Zone des Harzes. Geologie, 13: 5-25.
- /86/** Robinson, D., Warr, L.N. & Bevins, R.E. (1990): The illite „crystallinity“ technique: a critical appraisal of its precision. J. metamorphic Geol., 8: 333-344.
- /87/** Scholtz, H. (1930): Das variszische Bewegungsbild entwickelt aus der internen Tektonik eines Profils von der Böhmischen Masse bis zum Massiv von Brabant. Fortschr. Geol. Paläont., 25: 1-316.
- /88/** Schröder, E. & Dahlgrün, F. (1928): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern, 4432, Blatt Dankerode 1:25.000. Berlin (Preuß. Geol. Landesanstalt).
- /89/** Schwab, M. (1976): Beiträge zur Tektonik der Rhenoherynischen Zone im Unterharz. Jb. Geologie, 5/6: 9-117.
- /90/** Schwab, M. (2008): Harz. In: Bachmann, G.H., Ehling, B.-C., Eichner, R. & Schwab, M. (Hrsg.): Geologie von Sachsen-Anhalt, 160-180, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- /91/** Sehnert, M. (1991): Beiträge zur Biostratigraphie epizonaler Metamorphite in der Wippraer Einheit (Harz). Dissertation: 119 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).
- /92/** Siedel, H. (1989): Beiträge zur Petrographie und Geochemie epizonaler metamorpher Pelite in der Wippraer Zone (Harz). Dissertation: 142 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).
- /93/** Siedel, H. & Theye, T. (1993): Very low-grade metamorphism of pelites in the Wippa Metamorphic Zone, Harz mountains, Germany. – N. Jb. Miner. Mh., 1993: 115-132.
- /94/** Starck, M. (2010): Geologische Kartierung im Raum Agnesdorf (Südharz). Dipl.-Kartierung: 85 S., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (unveröff.).
- /95/** Theye, T. (1995): Metamorphosesprünge in der Wippraer Zone (Unterharz). Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 1993: 1187-1200.
- /96/** Wachendorf, H. (1986): Der Harz – variszischer Bau und geodynamische Entwicklung. Geol. Jb., A 91: 3-67.
- /97/** Warr, L.N. & Rice, H.N. (1994): Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. J. metamorphic Geol., 12: 141-152.
- /98/** Weaver, C.E. (1960): Possible uses of clay minerals in search for oil. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 44: 1505-1518.
- /99/** Weh, A. (2004): Polythermale Alteration der Südöstlichen Kantabrischen Zone. Dissertation: 273 S., Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- /100/** Yan, S. (2004): A comparative study on the illite crystallinity and the clay mineral reflectance spectral index for subdividing the very low-grade metamorphic belt along the Lizhou-Hekou geological section in the Youjiang sedimentary basin, Guangxi, China. Science in China, Series D, Earth Sciences, 47: 834-845.
- /101/** Zeh, A., Gerdes, A., Will, T.M. & Millar, I.L. (2005): Provenance and Magmatic-Metamorphic Evolution of a Variscan Island-Arc Complex: Constraints from U-Pb Dating, Petrology, and Geospeedometry of the Kyffhäuser Crystalline Complex, Central Germany. J. Petrology, 46: 1393-1420.

Das CO₂-Senkenpotential urbaner Gehölze im Kontext postwendzeitlicher Schrumpfungprozesse

Die Waldstadt-Silberhöhe (Halle/Saale) und deren Beitrag zu einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung

SARA VOLLRODT¹, MANFRED FRÜHAUF¹, DAGMAR HAASE^{2,3} UND MICHAEL STROHBACH^{3,4}

¹MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND GEOGRAPHIE VON-SECKENDORFF-PLATZ 4 06099 HALLE (SAALE)

²HUMBOLDT UNIVERSITÄT BERLIN DEPARTMENT OF GEOGRAPHY UNTER DEN LINDEN 6 10099 BERLIN

³HELMHOLTZ CENTRE FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH - UFZ DEPARTMENT OF COMPUTATIONAL LANDSCAPE ECOLOGY PERMOSERSTRASSE 15 04218 LEIPZIG

⁴UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS – AMHERST DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL CONSERVATION HOLDSWORTH HALL AMHERST, MA 01003

Schlüsselworte: Klimawandel, klimawandelgerechte Stadtentwicklung, shrinking city, Stadtbäume, CO₂-Speicherpotential

Keywords: climate change, shrinking city, CO₂- storage potential

Zusammenfassung

Von den urban geprägten Räumen der Erde, die ca.3% der Festlandoberfläche einnehmen, werden nahezu 80% der anthropogen bedingten CO₂-Emissionen emittiert. Damit kommt dem Ökosystem Stadt im Kontext der Diskussion um Quellen, aber auch Senken von Treibhausgasen und unter dem Blickwinkel von *Mitigation* und *Adaptation* eine Rolle als „Gestalter“ bezüglich der Ursachen und Folgen des Klimawandels zu. Integrierte Klimaschutzkonzepte auf kommunaler Ebene fokussieren diesbezüglich vorrangig die Minderung der jährlichen CO₂-Emission. Die natürliche Speicherleistung der urbanen CO₂-Senken Boden und Stadtvegetation findet bisher in der Forschung kaum, weniger noch in der (Planungs-) Praxis genügend Beachtung. Für die Erweiterung des Forschungsstandes und einer Ableitung von Empfehlungen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung untersucht die vorliegende Studie die CO₂-Speicherwirkung des integrierten Stadtentwicklungskonzeptes „Waldstadt-Silberhöhe“ in Halle (Saale) - genauer: der forstlichen Renaturierung zahlreicher Abrissflächen. Basierend auf der allometrischen Regression zwischen den Baumgrößen „Durchmesser“ und „oberirdische Holzbiomasse“ wurde aus forstwirtschaftlichen Studien eine Speicherleistung des aktuellen Baumbestandes in der „Waldstadt-Silberhöhe“ von 4.866 t CO₂ ermittelt. Bis zum Jahr 2025 werden die Stadtbäume, aufgrund des artspezifischen sekundären Dickenwachstums, insgesamt 14.150 t CO₂ absorbieren. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass in schrumpfenden Städten der Anteil an Grünflächen infolge einer Renaturierung der Abrissflächen steigt und so eine zunehmende Senkenwirkung schafft. Um dieses Potential bei künftigen Pflanzmaßnahmen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung optimal auszuschöpfen wurden Szenarien mit den Optimierungsfaktoren Bestandsdichte und Auswahl der Baumarten nach Rohdichte und Wachstumsverhalten modelliert. Aus deren Vergleich lassen sich verschiedene Handlungsempfehlungen ableiten, die weitergehende Positivwirkungen für andere Ecosystem-Serviceleistungen nach sich ziehen.

Abstract

The global urban landscape takes about 3% of the continental surface and emits almost 80% of anthropogenic CO₂ emissions. Therefore the ecosystem „City“ plays a role as „creator“ in the discussion about sources and sinks of greenhouse gases and also from the perspective of mitigation and adaptation regarding the courses and consequences of the climate change. On the municipal level concepts for climate protection focus particularly the reduction of the annually emission of CO₂. Until now the natural storage capacity of the urban CO₂ sinks „soil“ and „vegetation“ is considered hardly in the science and however less in the (planning) practice. To extend the state of research and to educe some recommendations for a climate-compatible urban development this study analyses the CO₂ storage effect of the integrated concept for climate protection from the „Waldstadt-Silberhöhe“ in Halle (Saale), Saxony Anhalt, Germany - more precisely: the afforestation numerous demolition sites. Based on the allometric regression between „diameter at breast high“ and „above-ground woody biomass“, a storage capacity about 4,866 Mg CO₂ of the current tree population in the „Waldstadt-Silberhöhe“ was determined with biomass equations from different forestry studies. By 2025, the CO₂ absorption will increase about 14,150 Mg CO₂ due to the secondary growth of the trees. In this context it is important that the share of planted areas in shrinking cities will rise because of the demolition of vacancies. This promises an increasing CO₂ storage. To optimize this potential during future tree plantations three scenarios were modeled. They differ in the parameters „tree density“ as well as the tree characteristics „bulk density“ and „growth rate“. From their comparison can be derived different recommendations for implementation and these entail advanced positive effects for other ecosystem services.

1. Einleitung

Städte und Stadtregionen spielen als „Verursacher“ und „Opfer“ eine Schlüsselrolle im Klimawandel (Churkina 2008: 107). Auf globaler Ebene betrachtet entstammen über 80% der Emissionen des wichtigsten Treibhausgases (THG) Kohlenstoffdioxid aus 2,4% der Landmasse - dem „urbanen Ökosystem“ (Oßenbrügge et al. 2010: 97). Aufgrund der räumlichen Konzentration der Vulnerabilität gegenüber den klimatischen Veränderungen gilt der urbane Raum jedoch auch als besonders betroffenes Gebiet (Mkulnv 2011). Die Erwärmung verstärkt den stadt eigenen Wärmeinseleffekt und mindert den thermischen Komfort. Die Hochwasserhäufigkeit steigt und die Luftqualität sinkt durch die zunehmende Konzentration toxischer Stoffe - um nur einige Wirkfolgen des Klimawandels anzusprechen, die die Notwendigkeit einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung verdeutlichen (BMVBS/ BBSR 2009b: 20 f).

Die Regionalmodelle für Deutschland prognostizieren eine Erwärmung um 0,5 bis 1,5°C im Zeitraum zwischen 2021 bis 2050 (IPCC 2007). Diese Prognose geht einher mit einer Veränderung der Niederschlagsverteilung und der Tendenz hin zu häufigeren und längeren sommerlichen Trockenphasen sowie dem verstärkten Auftreten von Extremereignissen (Böhler et al. 2008: 11-12). Zur Minderung der prognostizierten Folgen eines Temperaturanstiegs von mehr als 2°C ist die Stabilisierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration auf < 450 ppm¹ unabdingbar (Vereinte Nationen 1997). Dafür liegen die Ziele der nationalen Klimaschutzstrategien nicht allein in der Vermeidung von Emissionen sondern auch in der Stärkung natürlicher Senken des Kohlenstoffkreislaufs (Kordowski 2009: 3).

Der urbane Raum bietet mit dem Steuerinstrument der Stadtentwicklung das Potential bereits vorhandene Senken im urbanen C-Kreislauf effizienter zu gestalten (BMVBS/ BBSR 2009a: 6 nach: World Bank 2008). Die ExWoSt-Studie² der „klimawandelgerechten Stadtentwicklung“ empfiehlt u.a. die Stadtvegetation als eine wichtige Option der Anpassung (BMVBS/ BBSR 2009b). Dafür sprechen zum einen ihre ökosystemaren Dienstleistungen der Klimaregulation sowie die Verbesserung der Lufthygiene (Bruse 2003). Die wichtigste Dienstleistung für diese Untersuchung liefert die Stadtvegetation mit ihrer CO₂-Senkenwirkung, denn in dem urbanen C-Kreislauf stellen

die Stadtbäume, neben dem Boden, die wichtigste CO₂-Senke dar (Oßenbrügge 2010: 11). Ihre Biomasseproduktion und Lebensdauer liegt deutlich über denen der Sträucher und der annualen Vegetation (Kordowski 2009: 13).

Mit der Wiedervereinigung Deutschlands begann die, für ostdeutsche Agglomerationsräume, typische Bevölkerungsentwicklung der „shrinking city“ (Friedrichs et al. 2001). Diese Auswanderungswellen in die alten Bundesländer hinterließen einen enormen Wohnungsleerstand, der u.a. von dem Bund-Länder-Programm „Stadtumbau Ost“ (vgl. BMVBS / BBR 2006) nach und nach abgebaut wurde und wird. Aus den vom Staat finanzierten Abrissmaßnahmen resultiert bis heute eine stetig zunehmende Verfügbarkeit an Freiflächen. Unter dem Leitbild einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung unterstützt das neue Freiraumpotential die nationalen Reduktionsziele³. So kann der kommunale Beitrag zum Klimaschutz sowie die Anpassung an die unumgänglichen Folgen des anthropogenen Klimawandels effizienter gestaltet werden (Böhler et al. 2008: 11).

1.1 Fragestellung und Zielsetzung

Die ehemalige Großwohnsiedlung Silberhöhe am südlichen Stadtrand Halles verlor nach der Wiedervereinigung Deutschlands etwa 66% seiner Einwohner (StALA 2011). Nach dem Abriss der leer stehenden Wohneinheiten begann im Jahr 2004 die Realisierung des integrierten Stadtentwicklungskonzeptes (ISEK) für den Stadtteil Silberhöhe mit dem Leitbild einer „Waldstadt“. Die bis 2010 erfolgreich umgesetzte Renaturierung der entstandenen Freiflächen in Form von Baumpflanzungen (vgl. Stadt Halle 2007) bietet ein optimales Beispiel für die Analyse der symbiotischen Strategie des Stadtumbaus mit Klimaschutzmaßnahmen.

Die Fragestellung dieser Arbeit liegt in dem CO₂-Speicherpotential der Waldstadt-Silberhöhe als Beitrag zu einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung. Ihre Wirkung als CO₂-Senke im urbanen Kohlenstoffkreislauf wird im Kontext dieser Arbeit insbesondere unter dem Aspekt des Zuwachses der oberirdischen Holzbiomasse aus den bisher erfolgten Pflanzungen

¹ Die atmosphärische CO₂-Konzentration liegt etwa bei 383 ppm (Kordowski 2009; Stand 2008) und steigt jährlich (zwischen 1960 und 2005) im Mittel um 1,9 ppm (IPCC 2007: 2).

² Forschungsprogramm Experimenteller Wohnungs- und Städtebau des BMVBS

³(vgl. ARGEBAU 2008: 6: bis 2020 Reduzierung der THG-Emissionen um 40%)

beurteilt. Die Zielstellungen wurden mit den folgenden Handlungsschritten analysiert:

- Anwendung von Schätzverfahren zur Bestimmung der oberirdischen Holzbiomasse im Untersuchungsgebiet,
- CO₂-Speicherwirkung des aktuellen Baumbestands in der Waldstadt-Silberhöhe,
- Prognose der künftigen CO₂-Speicherung mithilfe der jährlichen Zuwachsrates der oberirdischen Holzbiomasse,
- vergleichende Analyse verschiedener Pflanzalternativen hinsichtlich Bestandsdichte und Artenwahl zur Optimierung künftiger Aufforstungsmaßnahmen bis zum Planungshorizont 2025,
- Bewertung des Stadtentwicklungskonzepts „Waldstadt-Silberhöhe“ als klimawandelgerechte Stadtentwicklung.

2. Grundlagen

In Tab. 1 sind die bisher vorrangig thematisierten schleichenden Veränderungen des Klimawandels im Stadtraum ersichtlich. Die dargelegten Punkte betonen die Dringlichkeit der Inanspruchnahme urbaner Leistungspotentiale zur Begegnung des Klimawandels.

Einige Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum, wie Hitzebelastung oder Hochwasserereignisse, sind offensichtlich. Sie sind jedoch verknüpft mit Effekten, die sich erst auf den zweiten Blick definieren lassen (z.B. für Transport und Verkehr). Aus der Literaturschau und Expertenbefragung des BMVBS/ BBSR wurde daher die oben abgebildete Liste mit den wichtigsten Wirkfolgen zusammengefasst (ebd. 2009b: 19). Sie gilt als Grundlage für die Identifizierung von Faktoren, die die klimatischen Veränderungen im urbanen Raum beeinflussen (ebd. 2009b: 6).

2.1 Definition einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung

Der Klimawandel und dessen Folgen stellen die Stadtentwicklung als Steuerinstrument des urbanen CO₂-Kreislaufs vor eine neue Herausforderung. Nach den Grundsätzen der Raumordnung ist mit § 2 Abs. 2 Nr. 6 Satz 7 ROG „den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes [...] Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen [...]“ (BMVBS/BBR 2008). Im Sinne dessen sollten räumliche Möglichkeiten für den

Ausbau regenerativer Energien, für eine effiziente Energienutzung und den Erhalt sowie die Entwicklung natürlicher Senken für klimaschädliche Stoffe geschaffen werden (ebd.). Ein solch mono-funktionales Leitbild muss unter Umständen Maßnahmen für den Klimaschutz und Lösungen zur Minderung der Vulnerabilität gegenüber den Klimafolgen *gegeneinander* abwägen (BMVBS /BBSR 2009a: 49). So kann z.B. die (ebenerdige) Nutzung von Solaranlagen mit dem Kühlungseffekt der Vegetation zur Minderung der Hitzevulnerabilität konkurrieren. Das Leitbild „klimawandelgerecht“ bedarf also einer 3-gleisigen Planungsstrategie: Maßnahmen zum Klimaschutz und -anpassung müssen zusammen mit den stadtentwicklungspolitisch relevanten Aufgaben, wie dem demographischen Wandel, dem Flächenmanagement, einer sozialräumlichen Segregation oder der Globalisierung synergetisch geplant werden (BMVBS / BBSR 2010: 46). Prognosen über künftige Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklungen finden bisher jedoch in kaum einem Klimaschutzkonzept Beachtung und die Zielkonkurrenzen zwischen eben diesen Handlungsfeldern werden selten thematisiert (BMVBS / BBSR 2010: 46). Solche Konflikte aber auch Synergien sind im Rahmen der städtischen Zieldiskussion und Abwägung zu identifizieren und aufzulösen (ebd.). In der DAS-Studie (Deutscher Anpassung an den Klimawandel) findet das Leistungspotential einer nachhaltigen Stadtentwicklung eine deutliche Bestätigung: „*Räumliche Planung kann mit den bereits bestehenden rechtlichen und planerischen Instrumenten sowohl Klimaschutz als auch Anpassung unterstützen. [...] Die Raumplanung kann mit der Entwicklung von Leitbildern für anpassungsfähige und belastbare Raumstrukturen eine Vorreiterrolle übernehmen, die gegenüber den Auswirkungen aller gesellschaftlichen Veränderungsprozesse auf die Raumstruktur robust und flexibel reagiert*“ (BMU 2008: 42). Elementar ist also die planerische Festlegung eines Klimaschutzkonzeptes. Aus einer jährlichen CO₂-Bilanz und einem regelmäßigen Monitoring können Ziele definiert und Handlungsfeld übergreifende Strategien entwickelt werden. Viele Kommunen sind gegenwärtig jedoch aufgrund ihrer Haushaltslage häufig nicht in der Lage, den hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand für die Erstellung nötiger Klimaschutzkonzepte bereit zu stellen (BMVBS /BBSR 2010: 46).

2.2 Forschungsstand des CO₂-Speicherpotentials urbaner Wälder

Eine besondere Quantifizierung der Funktion eines Waldes als CO₂-Senke demonstrieren die Bundeswaldwaldinventuren (BMELV 2002). In der Forstwissenschaft ist die Inventarisierung des Baumbestandes für eine biometrische Berechnung

Tabelle 1. Mögliche Wirkfolgen des Klimawandels auf den urbanen Raum in Deutschland (BMVBS/ BBSR 2009b: 20)

Wirkungsbereiche	Wirkfolgen des Klimawandels
Menschliche Gesundheit	sinkender thermischer Komfort Hitze und Kälte bedingte Todesfälle Extremereignisse
Energie	steigender Energiebedarf für Kühlung und zur Aufbereitung von Wasser sinkender Heizbedarf etc.
Wasserhaushalt	veränderte Häufigkeit und Höhe von Hochwässern steigender Wasserbedarf im Sommer sinkendes Brauchwasserangebot im Sommer etc.
Freiräume und Grünflächen	steigender Bedarf an Kaltluftentstehungsgebieten und Erholungsflächen Veränderung des Pflegebedarfes (besonders Bewässerung) Veränderung der Eignung von Pflanzen (z.B. Straßenbäume) Veränderung der Biodiversität
Technische und soziale Infrastruktur	veränderte Ansprüche an technische (z.B. Entwässerung) und soziale Infrastruktur (Klimatisierung öffentlicher Einrichtungen) vermehrte Schäden Extremereignissen etc.
Lufthygiene	zunehmende Konzentration toxischer Stoffe (z.B. Ozon, Stäube) steigende Geruchsbelastungen
Transport und Verkehr	vermehrte Behinderungen und Verspätungen durch Extremereignisse steigende Kosten für die Instandhaltung
Tourismus und Kulturerbe	Auswirkungen auf das Stadtimage Veränderung der Badegewässerqualität (z.B. durch Algenblüten)

der Kohlenstoffbilanz ein etabliertes Verfahren (siehe Kändler et al. 2009, Fischlin et al. 2003). Eine umfassende Quantifizierung der Kohlenstoffbindung des Stadtgrüns fand in Deutschland bisher neben einer Studie in Leipzig (Strohbach & Haase 2012) kaum Anwendung. Der aktuelle Wissenstand des CO₂-Speicherpotentials städtischer Gehölze geht auf verschiedene Studien amerikanischer Forscher seit Beginn der 1990er Jahre zurück (siehe u.a. Rowntree et al. 1991, Nowak 1994, Nowak et al. 2002a McPherson 1998 oder McPherson et al. 2005). Die Schätzungen basieren bei allen Projekten auf der allometrischen Regression zwischen verschiedenen Baumkompartimenten, wie der Höhe, dem Durchmesser oder dem Kronenvolumen (vgl. Whittaker 1968). Aus dem Vergleich der genannten Studien lassen sich die Parameter *Bestandsdichte und Durchmesserverteilung* als wichtigste Einflussgrößen auf den Kohlenstoffvorrat je Flächeneinheit ableiten (vgl. McPherson 1998). Nowak (2002b) betont insbesondere den Einfluss der Baumart. Bei der Beachtung artspezifischer Charakteristika wie Lebensdauer, Wachstumsverhalten und Holzdichte kann die Artenwahl das CO₂-Speicherpotential positiv beeinflussen (ebd.). Die Literatur stellt zudem umfassende Sammlungen

standortspezifischer Biomassegleichungen bereit. All diese Gleichungen wurden in Forstbeständen erstellt. Der Forschungsstand explizit an Stadtbäumen entwickelter Formeln steht dagegen noch am Anfang und birgt einige Unsicherheiten (McHale et al. 2009). Für die Schätzung der Holzbiomasse von Stadtbäumen in Deutschland wurden die Pilotprojekte von Strohbach & Haase (2012), Strohbach et al. (2011, 2012) und Frenzel (2009) als Referenzstudien für die vorliegende Untersuchung herangezogen. In Frenzel (2009) wurde das Leipziger Straßenbaumkataster als Datengrundlage für die oberirdische Holzbiomasse und deren C-Speichervermögen im Leipziger Stadtraum herangezogen. Das Kataster ermöglicht des Weiteren eine Alters- und Wachstumsklassifizierung anhand der Artenverteilung und deren spezifisch-physiologischen Wachstumseigenschaften. Aus stichprobenartigen Messungen und deren Vergleich mit den Bestandsdaten resultiert der jährliche Durchmesserzuwachs. Während der Kohlenstoffgehalt eines Baumes durch die Messung des Durchmessers in Brusthöhe (1,30 m; im folgenden BHD) direkt ermittelt wird, stammen die jährlichen Wachstumsraten zumeist aus forstlichen Ertragstafeln. Das jährliche Wachstum ist jedoch nicht nur artspezifisch,

sondern in besonderem Maße auch standortbeeinflusst. In Anbetracht der räumlichen Nähe und der Aufnahme unter urbanen Standortbedingungen fanden die Wachstumsraten der Leipziger Straßenbäume für diese Untersuchung besondere Beachtung.

3. Das Untersuchungsgebiet

Die Großwohnsiedlung Silberhöhe am südlichen Stadtrand Halles wurde zwischen 1979 und 1989 auf einem Plateau über der Elster-Saale-Aue erbaut. Diese etwa 213 ha große Fläche bot mit ursprünglich etwa 15.000 Wohneinheiten Wohnraum für ca. 39.000 Menschen in der Nähe ihrer Arbeitsstätte, den Chemiekombinaten Leuna und Buna (Stadt Halle 2011: 113). Das Potential für eine Förderung der urbanen CO₂-Senkenwirkung schaffte der postwendezeitliche Prozess der Stadtschrumpfung.

Die postwendezeitlichen Transformationsprozesse bewirkten einen intensiven ökonomischen und demographischen Wandel. Halle stellt zwar mit 236.402 Einwohnern (Stand 31.12.2010) noch immer die bevölkerungsreichste Stadt in Sachsen Anhalt dar (Stadt Halle 2011: 6). Sie verlor jedoch seit 1990 etwa 25% ihrer Einwohner (ebd.). Halle-Silberhöhe traf es mit einem Einwohnerverlust von 66% zwischen 1994

und 2010 besonders (ebd.:113). Dem folglich hohen und dauerhaften Anstieg des Leerstandes wurde bis 2009 mit einem Abrissvolumen von insgesamt 40% der ursprünglichen Wohneinheiten begegnet (Neubert 2009: 2). Diese Maßnahme stellt die Grundlage für die Entwicklung des Leitbildes „Waldstadt-Silberhöhe“ mit Hilfe des Integrierten Stadtentwicklungskonzepts (ISEK) im Jahr 2004 dar. Aus der gesamtstädtischen Entwicklungsperspektive gilt es, die Qualitäten eines Stadtteils zu bewahren und zu fördern (Stadt Halle 2007: 83). Neben der noch immer guten sozialen Infrastruktur und Verkehrsanbindung implizieren die Freiflächen und die Nähe zur Saale-Elster-Aue ein zunehmend bedeutendes Qualitätsmerkmal für die Silberhöhe. Durch die Entdichtung der Bausubstanz und die Aufforstung der Freiflächen steigt die Wohnqualität und verbesserte damit die Wettbewerbsfähigkeit und den ökonomischen Wert des Wohnraums (ebd.).

Das Leitbild der „Waldstadt“ impliziert eine qualitative und quantitative Verbesserung der ursprünglich eher spärlichen Gestaltung der Grünflächen (ebd.). Diese reicht von einem parkartigen Stadtwald im

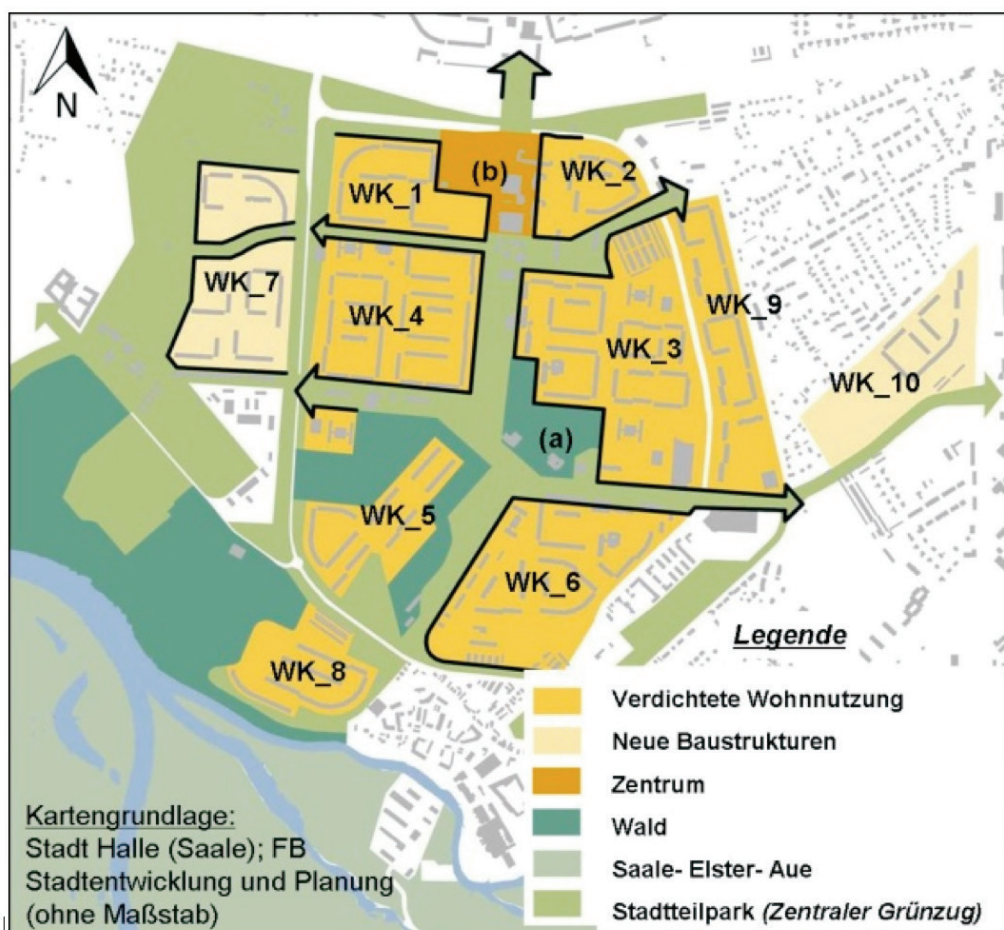


Abb. 1 Leitbild der „Waldstadt-Silberhöhe“ (verändert nach Stadt Halle 2007: 87)

zentralen Grünzug hin zu naturnahen Aufforstungs- und Sukzessionsflächen (Stadt Halle 2007: 75)

Die Handlungsfelder im Stadtumbaugebiet gliedern sich auf in Erhaltungsbereiche als Rahmen der künftigen Quartiersbildung, Umstrukturierungsbereiche und Vorbehaltsflächen. Auf den Umstrukturierungsbereichen ist der Rückbau bereits erfolgt oder geplant. Die Möglichkeiten der Nachnutzung stehen für diese Areale also fest (Stadt Halle 2007: 82-84). Die zunächst bis zum Jahr 2010 geplanten Abriss- und Aufforstungsmaßnahmen wurden erfolgreich abgeschlossen. Insgesamt erfolgte bisher die Pflanzung von 8.265 Bäumen (Neubert 2009).

4. Methodik

Im Verlauf ihres jährlichen Wachstums nehmen Bäume das Treibhausgas CO₂ während der Fotosynthese auf. Einen Teil davon speichern sie längerfristig in ihrem Holzgewebe (Nowak et al. 1998: 716). Die chemische Zusammensetzung des Holzes (siehe Tab. 2) zeigt, dass ein Gramm der organischen Trockensubstanz zu etwa 50% aus Kohlenstoff besteht (Larcher 2001: 13). Aufgrund dessen wird in der vorliegenden Untersuchung ausschließlich die oberirdische Holzbiomasse (70% der Phytomasse mit Stumpf, Stamm, Geäst und Rinde) als CO₂-Senke analysiert.

$$1 \text{ g}_{\text{org. Trockensubstanz}} = 0,42-0,51 \text{ g C} = 1,5-1,7 \text{ g CO}_2$$

$$(\text{Massenumrechnungsfaktor } 1 \text{ g C} = 3,67 \text{ g CO}_2)$$

Die oberirdische Holzbiomasse eines Einzelbaumes wird durch Schätzfunktionen bestimmt. Der Schlüssel für diese Kalkulation liegt in deren allometrischen Regression zu den Pflanzengrößen Durchmesser (BHD) und/oder der Baumhöhe (Whittaker et al. 1968: 23). In dieser Untersuchung wurde die im Gelände einfach kartierbare dendrometrische Größe des BHD für die Schätzung der oberirdischen Holzbiomasse verwendet. Beschrieben wird die allometrische Funktion häufig mit der Gleichung (Braeker 2008b):

$$y = a \times x^b$$

y = oberirdische Holzbiomasse (oHB); x = BHD; a und b = Schätzungsparameter

4.1 Auswahl der Formeln

Die literaturbasierten Gleichungen für die Schätzung der Holzbiomasse im Untersuchungsgebiet stammen ausnahmslos aus forstwirtschaftlichen Studien. Zunächst wurden artspezifische Gleichungen ausgewählt. Für viele Arten stellt die Literatur mehr als eine Formel zur Verfügung. Als zusätzliche Kriterien für die Auswahl wurden daher ähnliche Wuchsgebiete sowie eine ausreichend große BHD-Spannbreite berücksichtigt. Steht keine artspezifische Formel zur Verfügung bietet die Anwendung gattungsspezifischer Gleichungen eine geeignete Ausweichoption (siehe Nowak et al. 2002a).

Eine bedeutende Alternative stellt die Generierung so genannter *Mischformeln* bzw. dar. Die besonders von Pastor et al. (1983) publizierte Methodik bietet sich vor allem bei der überregionalen Anwendung standortspezifischer Gleichungen an. Für die Entwicklung dieser generalisierten Gleichungen stellt die Literatur eine umfassende Datensammlung standortspezifischer Biomassegleichungen bereit. Zianis et al. (2005) schafft einen Überblick über 607 Biomasse- und 230 Volumengleichungen für 39 Baumarten in Europa. Für Nordamerika sind Ter-Mikaelian et al. (1997) oder Jenkins et al. (2003) zu nennen. Jenkins et al. (2003) nutzen ihre Sammlung bspw. zur Schätzung der nationalen C-Speicherwirkung des nordamerikanischen Waldbestandes.

Die Standortbedingungen im Stadtraum unterscheiden sich signifikant von der natürlichen Lebenssituation eines Waldbaumes. Um die damit verbundene Ungenauigkeit der Schätzungen zu mindern wurden daher vorrangig generalisierte Gleichungen ausgewählt.

Die folgende Tab. 3 zeigt die Formeln zur Schätzung der oberirdischen Holzbiomasse im Untersuchungsgebiet.

Tabelle 2. Chemische Grundelemente von trockenem Holz (Frommhold 2008: 36)

Chemische Grundelemente	Anteil
Kohlenstoff	ca. 50 %
Sauerstoff	ca. 43%
Wasserstoff	ca. 6%
Stickstoff	< 1%
Mineralstoffe	< 1%

Tabelle 3. Formeln zur Berechnung der oberirdischen Holzbiomasse (Vollrodt 2011: 39)

ID	Formel	Quelle
1	$BM = Exp(a + b \times \ln(BHD))$	Pastor et al. 1986/ Jenkins et al. 2003
2	$BM = a \times (BHD)^2$	Clark et al. 1986
3	$BM = a \times BHD^2$	Muukkonen 2007
4	$BM = EXP(a + b \times (\ln(BHD) \times \pi))$	BUNCE 1968

Die dazugehörigen Gleichungen mit den artspezifischen Parametern finden sich in Vollrodt 2011 (:38).

4.2 Datengrundlagen

Ein regelmäßiges Monitoring und eine entsprechend lückenlose Datensammlung des aktuellen Baumbestandes für den Stadtteil Halle-Silberhöhe existiert nicht. Für eine möglichst genaue Schätzung der gesamten oberirdischen Holzbiomasse erfolgte die Gehölzinventur daher über das statistische Verfahren der zufälligen Stichprobenwahl (random sampling; siehe Strohbach & Haase 2012). Die Überlegungen für einen Stichprobenumfang mit einer ausreichenden Schätzgenauigkeit berücksichtigen die Anzahl der Stichproben und deren Größe. Zur Schätzung des Gesamtbestandes wurden im August 2010 die Einzelbäume innerhalb von 60 Plots mit je 15m Radius (= 0,067 ha) kartiert. Als Kartengrundlage liegt ein Digitales Orthofoto des Untersuchungsgebietes mit einer Auflösung von 20 x 20 cm vor (LVermGeo 2008). Während den Kartierarbeiten wurden die Baumartenverteilung sowie der BHD des Einzelbaums (mindestens 2,5 cm) erfasst. Die Schätzung der oberirdischen Holzbiomasse erfolgt mit den artspezifisch ausgewählten allometrischen Regressionsgleichungen. Die plotskalierten Ergebnisse werden gemittelt, auf einen Hektar hochgerechnet und schließlich auf die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes von 213 ha extrapoliert.

4.3 Analyse der Wachstumsraten

Das sekundäre Dickenwachstum eines Baumes impliziert das Maß der CO₂-Sequestrierung und damit ein jährlich zunehmendes CO₂-Speicherpotential. Die CO₂-Sequestrierung ist zum einen art- bzw. gattungsspezifisch und abhängig vom Wachstumsverhalten und der Lebensdauer eines Baumes. Zum anderen beeinflussen die gegebenen Standortbedingungen den jährlichen Zuwachs an Holzbiomasse. Gehölze lassen sich grob differenzieren in schnell-wachsende Baumarten mit einer geringeren Lebensdauer und Baumarten mit einem

mittleren bis langsamen Wachstum sowie einem im Durchschnitt späteren Eintritt in die Reifephase (Braeker 2008a). Der jährliche Durchmesserzuwachs sinkt mit dem zunehmenden Alter eines Baumes. Bei der Ermittlung des künftigen Wachstums wird demnach die Altersstruktur des Gehölzbestandes berücksichtigt.

Das fehlende Monitoring im Untersuchungsgebiet verhinderte die Bildung artspezifischer und altersabhängiger Wachstumsraten. Aufgrund der Ähnlichkeit der (urbanen) Standortbedingungen fanden die Zuwachsraten aus der Studie von Frenzel (2009) alternativ ihre Anwendung.

4.4 Entwicklung von Pflanzalternativen

Das geplante Aufforstungskonzept bis 2010 wurde erfolgreich abgeschlossen. Die Stadt Halle geht jedoch aufgrund der gegebenen Altersstruktur von einem anhaltenden Bevölkerungsrückgang aus. Daher „[...] wird es möglicherweise nach 2010 noch einmal zu einer grundsätzlichen Neuorientierung kommen“ (Stadt Halle 2007: 75). Die in dieser Arbeit modellierten Pflanzalternativen (siehe Abb. 1) orientieren sich an der Optimierung des künftigen CO₂-Speicherpotentials der Waldstadt-Silberhöhe. Der Zeitrahmen bis 2025 orientiert sich an der „Raumordnungsprognose 2025/2050“ für Deutschland (siehe BBSR 2009). Als Unterschied zwischen den Pflanzalternativen werden *Bestandsdichte* [BZ/ha] und das *Wachstumsverhalten* der Aufforstungen (schnelles vs. langsames Wachstum) als Einflussgrößen auf die jährliche CO₂-Sequestrierung analysiert.

Die Auswahlkriterien der Baumarten für die künftigen Pflanzungen fokussieren die Parameter:

Wachstumsgeschwindigkeit und Lebensdauer, artspezifische Rohdichte und Porenvolumen des Holzes

Eignung der Baumarten für das sich verändernde Klima.

Bei der Auswahl der Baumarten müssen ebenso die klimatischen, pedogenen und hydrologischen Standortbedingungen berücksichtigt werden. Deren Beachtung gewährleistet ein ungehindertes und gesundes Wachstum der Bäume. Besonders die Stresssituationen Sommerhitze und Trockenheit verstärken sich in Zukunft infolge der klimatischen Veränderungen und stellen die Stadtvegetation vor neue Herausforderungen (Roloff et al. 2008: 2). Vor diesem Hintergrund gilt es bei der Artenwahl besonders wärmeliebende Baumarten mit einem geringen Wasserbedarf/ hoher Trockenheitsresistenz


zu beachten. Eine Entscheidungshilfe für die Stadtplanung stellt die Klima-Arten-Matrix (KLAM) von Roloff et al. (2008) in Abb. 3 dar.

Für die Verwendung als Stadtbaum in Mitteleuropa folgt die Eistufung der Arten nach Roloff et al. 2008 als sehr geeignet bis geeignet unter folgenden Kriterien:

- max. 500 mm Jahresniederschlag und möglicher Frost bis Anfang Mai mit einer ausreichenden Winterfrosthärte⁴


Die Kriterien orientieren sich an dem Mittel der klimatischen Verhältnisse in Ostdeutschland.

⁴ Tagesminimumtemperatur von -17,8°C bis -23,3°C




Pflanzalternative I: "Waldstadt"

- Stand 2010: 8.265 Bäume
- keine weitere Aufforstung bis 2025



Pflanzalternative II: "Urbaner Wald"

- jährliche Aufforstung bis 2025 mit einer Bestandsdichte von 203 Bäumen/ha
- Artenwahl: schnelles Wachstum
- Artenwahl: mittleres Wachstum
- Artenwahl: langsames Wachstum



Pflanzalternative III: "Regenerativer Waldpark"

- 1/3 urbaner Wald (BZ 203/ha)
- 1/3 Landschaftspark (BZ 76/ha)
- 1/3 Kurzumtriebsplantage

Abb. 2 Pflanzalternativen für das CO₂-Speicherpotential in der „Waldstadt-Silberhöhe“ 2025 (Vollrodt 2011: 32)

		Winterhärte			
		.1	.2	.3	.4
Trockenstresstoleranz	1.	1.1	1.2	1.3	1.4
	2.	2.1	2.2	2.3	2.4
	3.	3.1	3.2	3.3	3.4
	4.	4.1	4.2	4.3	4.4

Beschreibung	Benotung
sehr gut geeignet	1.1/ 1.2
gut geeignet	1.3/ 2.1/ 2.2
geeignet aber z.T. problematisch	2.3/ 3.1/ 3.2/ 3.3
nur sehr eingeschränkt geeignet	1.4/ 2.4/ 3.4/ 4.1/ 4.2/ 4.3
ungeeignet	4.4

Abb. 3 Klima-Arten-Matrix (KLAM) mit 16 Einstufungen nach Trockentoleranz und Winterhärte (modifiziert übernommen aus Roloff et al. 2008: 9)

Repräsentiert werden sie von der subkontinental geprägten Klimastation in Leipzig-Schkeuditz (ebd.).

5. Ergebnisse

5.1 CO₂-Senke Waldstadt Silberhöhe 2010

Die Gehölzinventur des Untersuchungsgebietes und das statistische Verfahren des bootstrapping liefern den Näherungswert der oberirdischen Holzbiomasse von 14,3 t/ha. Die Extrapolation des plot-basierten Mittelwertes ergibt für die insgesamt 213 ha große Waldstadt-Silberhöhe etwa 3.040 t. Umgerechnet stellt die oberirdische Holzbiomasse im Jahr 2010 demnach eine Senke für 4.866 t des klimawirksamen Treibhausgases CO₂ dar.

Die statistische Auswertung in Tab. 5 zeigt eine Standardabweichung von 2,35 t/ha. Der Standardfehler der untersuchten Flächen liegt bei 0,074 t/ha. Er gibt an, dass der Näherungswert für den Erwartungswert der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% (Konfidenzintervall) in dem engen Schwankungsbereich zwischen 14,2 und 14,3 t/ha liegt. Die geringfügige

Schwankung resultiert aus der Tatsache, dass der Standardfehler des Mittelwertes gerade das $\frac{1}{\sqrt{n}}$ -fache der Standardabweichung der Grundgesamtheit ausmacht (Bahrenberg et al. 1999: 113). Die Bildung des Mittelwertes schließt daher Extremwerte (22,5 t/ha) aus der Grundgesamtheit aus und mindert die Streuung.

5.2 Artspezifische Zuwachsraten und künftiges Speicherpotential bis 2025

Das Wachstum eines Baumes impliziert eine stetige Steigerung seines CO₂-Speicherkapitals. Dieser Beständigkeit steht die Variabilität des Zuwachses gegenüber, denn das Lebensalter sowie das artspezifische Wachstumsverhalten weisen im Vergleich signifikante Unterschiede. Die Auswertung der Kartierarbeiten zeigt die Hauptgattungen *Acer* (Ahorn), *Prunus* (Vogelkirsche), *Populus* (Pappel) und *Salix* (Weide). Sie machen etwa 50% des gesamten Bestandes aus. Weitere wichtige Gattungen stellen u.a. *Fraxinus* (Esche) und *Tilia* (Linde), *Sorbus* (Mehlbeere), *Robinia* (Robinie) und *Betula*

BM = Biomasse; a und b = Parameter; BHD = Brusthöhendurchmesser

Tabelle 4. CO₂-Speicherpotential der oberirdischen Holzbiomasse 2010 in der „Waldstadt-Silberhöhe“ (Vollrodt 2011: 42)

oberirdische Holzbiomasse pro Hektar 2010 [t]	oberirdische Holzbiomasse Waldstadt-Silberhöhe 2010 [t]	CO ₂ 2010 [t]
14,3	3.041	4.866

Tabelle 5. Statistische Auswertung der oberirdischen Holzbiomasse der „Waldstadt-Silberhöhe“ 2010 (eigene Berechnung mit SPSS_18 sowie eigene Darstellung 2011)

Mittelwerte der oberirdischen Holzbiomasse	Statistik	Standardfehler
Mittelwert der Mittelwerte	14,28	0,074
68% Konfidenzintervall des Mittelwertes	Untergrenze	14,21
	Obergrenze	14,36
5% getrimmtes Mittel	14,25	
Median	14,21	
Standardabweichung	2,35	
Minimum	8,50	
Maximum	22,5	
N = 1000 Fehlend = 0		

(Birke) dar. Diese Häufigkeitsverteilung lässt sich auf die vergangenen Aufforstungsmaßnahmen zurückführen.

Die Schätzung der künftigen oHB für die Waldstadt-Silberhöhe erfolgt über den jährlichen Durchmesserzuwachs. Der mangelhafte Datenbestand im Untersuchungsgebiet führte zu dem Entschluss die Wachstumsklassifizierung der Untersuchung im Leipziger Stadtraum zu übernehmen. Die jährliche Zuwachsrate *urbaner Gehölze* bieten aufgrund einer gewissen Standortähnlichkeit (Stadtklima, ab- und aufgetragener Oberboden etc.) eine höheres Potential an Genauigkeit

als Zuwachsraten aus forstlichen Ertragstafeln (vgl. Blume 1993). Tab. 6 zeigt die angewandten Werte. In Tab. 7 folgt eine Zuordnung der erfassten Baumarten in der Waldstadt-Silberhöhe zu den von Frenzel 2009 gruppierten Wachstumsklassen.

Das durchschnittliche altersspezifische Wachstum zeigt deutlich den Kulminationspunkt nach etwa 40 Jahren mit einer sprunghaften Abnahme des jährlichen Durchmesserzuwachses auf von 0,67 auf 0,49 cm. Die Wachstumsrate der langsam wachsenden Gattungen in der WK I bleibt über alle Altersklassen hinweg konstant (vgl.

Tabelle 6. Tab. 6: Altersspezifischer jährlicher Zuwachs des Brusthöhendurchmessers je Wachstumsklasse (Ergebnisse übernommen aus: Frenzel 2009: 31)

	Ø altersspezifischer Zuwachs [cm/a]	WK I Zuwachs [cm/a]	WK II Zuwachs [cm/a]	WK III Zuwachs [cm/a]	WK IV Zuwachs [cm/a]
AK I 0 bis 20	0,78	0,455	0,707	0,714	0,988
AK II 21 bis 40	0,67	0,455	0,696	0,896	0,624
AK III 41 bis 60	0,49	0,455	0,358	0,505	0,174
AK IV 61 bis 80	0,40	0,455	0,389	0,372	0,213
AK V > 80	0,34	0,455	0,309	0,219	0,359

AK = Altersklasse; WK = Wachstumsklasse

Spalte 3 in Tab. 6). Bei den WK II bis IV sind die Raten im Verlauf der ersten zwei Altersklassen am höchsten. Später nehmen sie abrupt ab. Die schnell wachsende WK IV zeigt sowohl die höchste (0,988 cm/a AK I) als auch die niedrigste Wachstumsrate (0,174 cm/a AK III). Diese deutlichen Unterschiede des Wachstums im Lebenslauf eines Baumes bestätigen die dringliche Information über die Altersverteilung eines Bestandes für die Berechnung der künftigen oberirdischen Holzbiomasse.

Das tatsächliche Pflanzjahr der Einzelbäume ist in dem Straßenbaumkataster oft nicht angegeben bzw. ungenau datiert. Die historische und aktuelle Entwicklung der Silberhöhe lassen jedoch den Schluss auf einen generell recht jungen Baumbestand zu. Auf der bis zum Jahr 1979 ackerbaulich genutzten Fläche (Geiss et al. 2002: 8) kann ein nennenswerter Baumbestand zunächst ausgeschlossen werden und mit der Entstehung der Großwohnsiedlung Silberhöhe geht eine starke Versiegelung einher. In einigen Quellen wird der ursprünglich mangelnde Grünbestand des dichten Wohngebietes angesprochen (vgl. Geiss et al. 2002: 126

oder Neubert 2009). Die Zeit der intensiven Aufforstung im Sinne der „Waldstadt“ begann zwischen 2003 und 2004 (BMVBS/ BBSR 2009a: 51). Da die Pflanzmaßnahmen zumeist mit Starkbäumen durchgeführt wurden (Pohl 2011), kann das Pflanzalter dieser Bäume auf neun Jahre generalisiert werden. Eine genaue Bestimmung des Alters ist zwar nicht möglich, zumindest aber eine Eingrenzung. Der älteste Baum (Pflanzjahr 1993) erreicht im Jahr 2025 demnach ein Alter von 34 Jahren. Das Wachstum bis zur Altersklasse (AK) II (< 40 Jahre vgl. von Frenzel 2009) wird also nicht überschritten. Die kartierten BHD im Jahr 2010 bilden die Grundlage der Berechnung. Bis zum Ende der AK I (< 20 Jahre) wird deren Zuwachs bis 2015 mit dem artspezifischen Wert der Wachstumsklasse ermittelt. Von 2016 bis 2025 wird schließlich die jährliche Wachstumsrate der zweiten AK angewandt. Die Schätzung der plotskalierten Holzbiomasse erfolgt mit einem neuen Durchmesser nach dem gleichen Prinzip, welches bereits

Tabelle 7. Wachstumsklassen und die Zugehörigkeit der Baumarten in der „Waldstadt-Silberhöhe“ (modifiziert übernommen von Frenzel 2009: 21; lat. Bezeichnung nach Schütt et al. 2006)

Wachstumsklasse 1	Wachstumsklasse 2	Wachstumsklasse 3	Wachstumsklasse 4
<i>Aesculus</i> (Kastanie)	<i>Abies</i> (Tanne)	<i>Acer</i> (Ahorn)	<i>Cornus</i> (Hartriegel)
<i>Betula</i> (Birke)	<i>Ailanthos</i> (Götterbaum)	<i>Corylus</i> (Hasel)	<i>Picea</i> (Fichte)
<i>Carpinus</i> (Hainbuche)	<i>Gleditsia</i> (Gleditschie)	<i>Prunus</i> (Rosengewächse)	<i>Platanus</i> (Platane)
<i>Castanea</i> (Esskastanie)	<i>Juglans</i> (Walnuss)	<i>Sambucus</i> (Traubenholunder)	<i>Populus</i> (Pappel)
<i>Eleagnus</i> (Ölweide)	<i>Platycladus</i> (Lebensbaum)	<i>Sorbus</i> (Mehlbeere)	<i>Pseudotsuga</i> (Douglasie)
<i>Fraxinus</i> (Esche)	<i>Tilia</i> (Linde)		<i>Robinia</i> (Robinie)
<i>Pinus</i> (Waldkiefer)			<i>Salix</i> (Weide)
<i>Quercus</i> (Eiche)			<i>Styphnolobium</i> (Schnurbaum)
<i>Ulmus</i> (Ulme)			

Tabelle 8. CO₂-Speicherpotential der oberirdischen Holzbiomasse in der „Waldstadt-Silberhöhe“ 2025 (Vollrodt 2011: 48)

oHB [t/ha] 2025	oHB [t/ha] der Gesamtfläche 2025	C 2025	CO ₂ 2025
-----------------	----------------------------------	--------	----------------------

für das Jahr 2010 beschrieben wurde. Tab. 8 zeigt das CO₂-Speicherpotential im Jahr 2025.

In dem Planungszeitraum zwischen 2010 und 2025 steigt das CO₂-Absorptionsvermögen um etwa 66%. Die Ergebnisse der skizzierten Pflanzalternativen zeigen, dass die Speicherleistung der Waldstadt-Silberhöhe mit 14.150 t CO₂ nicht das Optimum bis 2025 darstellt.

5.3 Pflanzalternativen im Vergleich der Optimierung

Das steigende Freiflächenpotential einer schrumpfenden Stadt bietet verstärkt die Möglichkeit einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung. Die in der Stadtumbau- und Entwicklungskonzeption der Waldstadt als „Umstrukturierungsbereiche“ definierten Flächen sowie der zentrale Grünzug erweitern das künftige Freiflächenpotential um etwa 50 ha. Hinzu kommen weitere 20 ha, die als „Vorbehaltsflächen für bauliche Nachnutzung“ ausgeschrieben wurden. Aufgrund eines anhaltenden Leerstandes werden diese Flächen für eine

temporäre Zwischennutzung als Kurzumtriebsplantage (KUP) umgestaltet. Die folgende Karte stellt die räumliche Verteilung des bis 2025 um insgesamt 70 ha erweiterten CO₂-Senkenpotentials dar.

Die bereits beschriebene Generalisierung der Aufforstung mit Starkbäumen findet auch in diesem Kapitel Anwendung. Nach dreimaliger Verpflanzung innerhalb der Baumschule haben diese Bäume zum Zeitpunkt ihrer Pflanzung einen Umfang von 20 cm (= BHD 6,4 cm) (Pohl 2011). Das mittlere Wachstum beruht auf der durchschnittlichen Zuwachsrate der Leipziger Straßenbäume. Es ist also nicht artspezifisch (Frenzel 2009: 29). Die Schätzung der Biomasse erfolgt mit der Mischformel für die Laubbäume im Leipziger Stadtraum⁵.

⁵ $oHB = EXP(a + b \times \ln(D))$ (PASTOR et al. 1986) mit $a = -3,172$ und $b = 2,709$ (nach FRENZEL 2009)



Abb. 4 Freiflächenpotential für weitere Aufforstungsmaßnahmen der Pflanzalternativen bis 2025 (LVermeo Sachsen-Anhalt 2008)

Pflanzalternative I: „Waldstadt 2025“

Diese Überlegung basiert auf dem Gestaltungskonzept der Pflanzungen für die Waldstadt-Silberhöhe und impliziert einen Stillstand der Aufforstungsmaßnahmen nach 2010. Die Einflussgrößen *Bestandsdichte* und *Flächenverfügbarkeit* bleiben unverändert. Die CO₂-Speicherung der oberirdischen Holzbiomasse steigt natürlich bis zum Jahr 2025. Allerdings lediglich im Zuge des Wachstumsprozesses der Bäume und nicht durch zusätzliche Aufforstungsmaßnahmen. Eine *aktive* Verbesserung der CO₂-Speicherwirkung der „Waldstadt“ bleibt also aus.

Pflanzalternative II: „Urbane Wald“

Die Renaturierungsstrategie „Urbane Wald“ wird infolge der langsamen Entwicklungsphase der Bäume prinzipiell als *dauerhafte* Nachnutzung betrachtet. Die prognostizierten Freiflächen von 70 ha werden hier mit einer Baumdichte von 203 Bäumen pro Hektar aufgeforstet. Diese Baumzahl orientiert sich an der bereits erfolgreich umgesetzten Landschaftsgestaltung

am Anhalter-Platz. Hochgerechnet ergibt die aufgeführte Bestandsdichte eine Gesamtzahl von 14.210 Bäumen. Um dies zu erreichen, wird eine jährliche Pflanzung von 950 Bäumen⁶ im Zeitraum von 2010 bis 2025 angenommen. Mit der Untergliederung in: a) Pflanzungen ausschließlich langsam wachsender Gattungen, b) Pflanzungen eines Mischbestandes *mittleren Wachstums* und c) Pflanzungen ausschließlich *schnell wachsender* Gattungen wird die Einflussgröße des artspezifischen Wachstums auf die Biomasseproduktion näher betrachtet. Die bereits beschriebenen Zuwachsraten finden hier erneut ihre Anwendung. Der Mischbestand symbolisiert eine heterogene Baumartenverteilung deren Wachstumsrate im mittleren Bereich liegt. Die schnell wachsenden Gattungen *Platanus* oder *Populus* stehen im Wechsel mit langsam wachsenden Gattungen, wie *Fraxinus* oder *Quercus*. Ebenso gehören die im Verlauf der Aufforstungsmaßnahmen erwähnten Wildobstwiesen,

⁶14.210 Bäume dividiert durch 15 Jahre

41	8.843	4.112	14.150
----	-------	-------	--------

Tabelle 9. CO₂-Speicher der Pflanzalternative II: „Urbaner Wald“ (Vollrodt 2011: 54)

Wachstumsverhalten	jährliche Zunahme oHB [t]	oHB [t] 2025	jährliche Zunahme CO ₂ [t]	CO ₂ [t] 2025
langsameres Wachstum	22,2	333,5	35,6	533,6
mittleres Wachstum	36,4	546,3	58,3	874,1

Linden und Ahornbestände mit einem mittleren Wachstum zum Inventar.

Tab. 9 zeigt das künftige CO₂-Sequestrierungspotential der waldähnlichen Aufforstung bis 2025. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass die Aufforstung vorrangig schnell wachsender Baumarten das quantitative Optimum der CO₂-Sequestrierung beschreibt. Mit einem jährlichen Zuwachs von 58 t oHB werden 92 t des Treibhausgases CO₂ gespeichert. Bis zum Jahr 2025 ergibt dies eine maximale CO₂-Senkenwirkung von 1.385 t.

Der Mischbestand, bestehend aus Gattungen vorwiegend mittleren Wachstums, verbessert die jährliche CO₂-Absorption um etwa 58 t. Bei der Umsetzung dieser Pflanzmaßnahme würde die Waldstadt-Silberhöhe im dem begrenzten Planungshorizont bis 2025 etwa 875 t CO₂ zusätzlich speichern. Die mindeste Verbesserung der CO₂-Speicherung bis 2025 liegt bei rund 533 t. Im Vergleich zu Bäumen schnellen Wachstums reduziert die ausschließliche Pflanzung langsam wachsender Baumarten die jährliche CO₂-Sequestrierung um fast 60% auf 35 t/a. Diese Spannweite verdeutlicht die Wichtigkeit des artspezifischen Wachstumsverhaltens für die quantitative Optimierung der CO₂-Senkenwirkung.

Pflanzalternative III: „Regenerativer Waldpark“

Bereits die Bezeichnung dieser dritten Pflanzalternative deutet eine vielseitige und heterogene Gestaltung der künftigen Freiflächen an. Weniger dicht bepflanzte Parkanlagen bieten einen attraktiven Treff- und Erholungspunkt für die Anwohner. Sie wechseln sich ab mit kleinen dichten Waldbeständen und mehrreihigen Baumhainen.

Die Aufforstungsoption „Regenerativer Waldpark“ wirkt zweigleisig. Zum einen gilt es, den aktuellen Kurs der forstlichen Renaturierung fortzusetzen und auszubauen. Zum anderen wird mit der Erweiterung der bereits vorhandenen Kurzumtriebsplantage (KUP) ein neuer Weg der künftigen Stadtentwicklung beschrieben. Eine KUP besteht aus schnell wachsenden Kulturen

mit einem raschen Jugendwachstum und einem hohen Ausschlagvermögen der Stecklinge (BfN 2010: 3). Eine Energieerzeugung im Stadtraum wird von der BMVBS/ BBSR (2009c) als denkbare Strategie für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung beschrieben. Der „Handlungskatalog - Optionen erneuerbarer Energien im Stadtraum“ (BMVBS / BBSR 2009c) oder die ExWoSt-Studie „Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien“ (BMVBS / BBSR 2009d) betonen die Aufgabe des urbanen Raumes dem Klimawandel „verstärkt durch Wege zur Energieeinsparung und zur Erzeugung erneuerbarer Energie“ zu begegnen (ebd.: 3).

Nachdem die ersten KUP auf den Abrissflächen entlang des Lüneburger Bogens im Stadtteil Halle-Neustadt eingerichtet wurden, folgte die dritte KUP in der Silberhöhe. Entlang der Willi-Bredel-Straße wurden im März 2009 rund 8.000 Stecklinge der Art *Populus balsamifera* auf einer Abrissfläche von 9.000 m² gepflanzt (HWS 2011). Die Hallesche Wasser- und Stadtwirtschaft GmbH formulierte diese Trendsetzung mit der Symbiose des verstärkten Einsatzes von Biomasse zur klimaneutralen Energieerzeugung zusammen mit einer imagesteigernden, temporären Zwischennutzung städtischer Freiflächen (ebd.). Gehölz wirkt nicht allein als langfristige CO₂-Senke für den Klimaschutz. Die Möglichkeit der Energiegewinnung aus Holzbiomasse bietet auch eine „indirekte“ CO₂-Senkenfunktion. Die Anlage einer KUP wirkt CO₂-neutral indem sie zusätzliche Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger verhindert und ihre energetische Nutzung für Strom oder Wärme lediglich bereits zuvor emittiertes CO₂ frei setzt (Fischlin et al. 2006: 29). Die künftige Freifläche wird in

drei Teile segmentiert und mit einer unterschiedlichen Bestandsdichte aufgeforstet:

Wald: Fläche von 23 ha mit waldähnlicher Baumdichte von 203 BZ/ha,

Park: Fläche von 23 ha mit parkähnlicher Baumdichte von 76 BZ/ha,⁷

KUP: Fläche von 24 ha mit der Anlage einer Kurzumtriebsplantage.

Die Flächenanteile des Waldparks mit einer abwechselnden Bestandsdichte werden mit einem heterogenen Mischbestand aufgeforstet. Die möglichen Baumarten, wie *Fraxinus*, *Acer*, *Prunus*, *Tilia* oder *Populus* vertreten die verschiedenen Wachstumsklassen.

Die Vorbehaltsflächen für eine bauliche Nachnutzung im nördlichen und östlichen Teil der Silberhöhe werden ab 2010 im Sinne einer KUP mit der schnell wachsenden *Populus balsamifera* aufgeforstet.

⁷ Plot im zentralen Grünzug als Praxisbeispiel für die Baumbestandsdichte eines Landschaftsparks in der Waldstadt-Silberhöhe.

Zum Zeitpunkt der jeweiligen Rotation, also der Ernte während der Vegetationspause im Winter, haben die jungen Bäume einen durchschnittlichen BHD von 10 cm und eine Höhe von etwa 10 m (Hartmann 2002: 83). Ein geeigneter Pflanzverband, der Abstand zwischen den Pflanzen und die gesamte Pflanzzahl beeinflussen die Erntemasse (vgl. Scholz et al. 2006: 8). Laut Spangenberg (2010: 14) erfolgt die Pflanzung von etwa 20 cm hohen Pappelstecklingen häufig in Einzelreihen. Ein Bestand von ca. 10.000 Pappelstecklingen pro ha liefert bei einem gering bis mäßigem Wasserangebot (<500 mm/a) im Durchschnitt ein jährliches Ertragspotential von ca. 8 t/ha⁸ Dendromasse/atro (vgl. Tab. 10) (Scholz et al. 2006: 5).

Tab. 11 zeigt die Schätzung einer jährlichen CO₂-Sequestrierung von etwa 12,8 t/ha. Extrapoliert auf die Flächenverfügbarkeit von 24 ha wirkt die KUP als jährliche CO₂-Senke für 307 t CO₂. Petzold et al. (2010) zufolge liegt die Lebensdauer einer solchen Anlage im Durchschnitt zwischen 20 bis 30 Jahren (ebd.: 44). Der Planungszeitraum bis 2025 genügt bei einem Rotationszyklus von vier Jahren für drei Ernten und einen erneuten Austrieb der Stecklinge für die letzten drei Jahre.

⁸ Halle (Saale) im Mitteldeutschen Trockengebiet mit < 500mm/a (vgl. STADT HALLE 2010)

schnelles Wachstum	57,7	865,4	92,3	1384,7
--------------------	------	-------	------	--------

Tabelle 10. Anzahl der Stecklinge und geschätzte Dendromasse für die künftige Kurzumtriebsplantage (nach Spangenberg 2010: 13)

Rotationszyklus (RZ)	Stecklinge/ ha	jährliche Dendromasse/ ha
4 Jahre	10.000	8 t

Tabelle 11. Produktion von Dendromasse und die CO₂-Absorption der Kurzumtriebsplantage im Untersuchungsgebiet (Vollrodt 2011: 57)

atro [ha/a]	atro [ha/4xa]	atro [24 ha/a]	atro [24 ha/4xa]	CO ₂ [ha/a]	CO ₂ [24 ha/a]	CO ₂ [ha/4xa]	CO ₂ [24 ha/4xa]
8	32	192	768	12	307	51	1.228

Angaben in Tonnen, atro = Dendromasse mit absolutem Trockengewicht

Tabelle 12. Freiflächengestaltung des „Waldparks“ bis 2025 (Vollrodt 2011: 58)

Eigenschaften der Aufforstung	Park	Wald
Bestandsdichte (BZ/ha)	76	203
Bestandsdichte Σ_{23ha}	1.748	4.669
jährliche Pflanzung (Stk.)	116	311

Tabelle 12. Freiflächengestaltung des „Waldparks“ bis 2025 (Vollrodt 2011: 58)

Eigenschaften der Aufforstung	Park	Wald
Waldpark	427 Bäume jährlich insgesamt 6417 Bäume bis 2025	
Baumarten	Mischbestand: u.a. <i>Platanus</i> , <i>Acer</i> , <i>Quercus</i>	
jährlicher Durchmesserzuwachs	0 bis 20 Jahre Altersklasse I: 0,78 cm/a 21 bis 40 Jahre: Altersklasse II: 0,67 cm/a	

Angaben in Tonnen

Tabelle 13. CO₂-Senkenpotential der Teilflächen des „Regenerativen Waldparks“ (Vollrodt 2011: 58)

	Park	Wald	KUP
jährliche Holzbiomasse	5	14	192
jährliche CO ₂ -Sequestrierung	8	22	307
Holzbiomasse 2025	78	210	2.880
CO ₂ -Speicherung 2025	125	336	4.608
Gesamte CO ₂ -Speicherung 2025	462		5.070
Gleichung zur Berechnung der Holzbiomasse: $EXP(a + b \times \ln(BHD))$ (a= -3,172; b= 2,709)			

Angaben in Tonnen

Im Verlauf eines Rotationszyklus produziert die KUP in der Waldstadt-Silberhöhe 768 t Dendromasse und absorbiert 1.229 t CO₂ aus der städtischen Atmosphäre. Nach der Transformation der Dendromasse zur Energieerzeugung wirkt die Dendromasse durch die Substitution fossiler Rohstoffe klimaneutral.

Tab. 12 zeigt die Rahmenbedingungen für die Schätzung der Ergebnisse des Waldparks. Die Renaturierung der übrigen 46 ha im Stil eines Waldparks schafft bis 2025 mit ca. 19 t/a oberirdischer Holzbiomasse einen zusätzlichen CO₂-Speicherraum von 288 t. Die jährliche CO₂-Sequestrierung beträgt 30 t und stellt bis zum Jahr 2025 ein dauerhaftes Senkenpotential für 462 t CO₂ bereit.

Das enorme CO₂-Speicherpotential einer KUP wird durch einen Vergleich der Teilflächen „Park“ – „Wald“ und „KUP“ in Tab. 13 deutlich. Mit der Annahme einer Unterlassung der energetischen Nutzung der Dendromasse böte die KUP im Jahr 2025 eine Senke für 4.608 t CO₂.

Die steilen Einbrüche der jährlichen CO₂-Speicherung in Abb. 5 veranschaulichen den Vier-Jahres-Zyklus der Ernte und die damit verbundene Freisetzung

des gespeicherten CO₂. Ungeachtet dessen zeigt die grau markierte Trendlinie einen Anstieg der CO₂-Senkenwirkung im Zeitverlauf. Die CO₂-Speicherung reduziert sich alle vier Jahre auf die Sequestrierung der dauerhaft bepflanzten Flächen von 462 t CO₂.

5.4 Auswahl der Baumarten

Das Ziel einer Erhöhung des CO₂-Speicherpotentials bis 2025 gibt zunächst Anlass, ausschließlich die Pflanzung schnell wachsender Gattungen zu empfehlen. Dabei bleibt jedoch die Lebensdauer der Gehölze unberücksichtigt. In der anschließenden Diskussion wird auf die tatsächliche Eignung schnell wachsender Gattungen als optimale CO₂ noch einmal näher eingegangen.

Anatomie des Holzes - artspezifische Rohdichte und Porenvolumen

Das Kriterium einer höheren Rohdichte während der Baumartenwahl als Option zur Optimierung des CO₂-Speicherpotentials eines urbanen Waldes findet mit einem Vergleich zwischen Hartholz- und Weichholzarten seine Bestätigung. Das Hartholz der *Quercus rubra* mit einer Rohdichte von 0,64 g/cm³ und einem BHD von

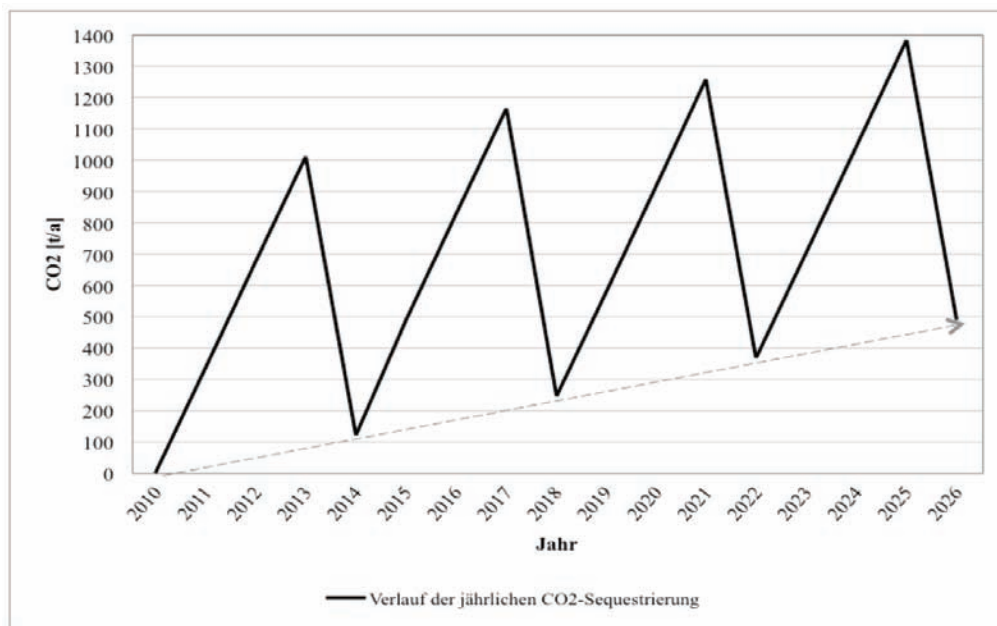


Abb. 5 Verlauf der jährlichen CO₂-Sequestrierung der Pflanzalternative III „Regenerativer Waldpark“ bis 2025 (eigene Darstellung 2011)

20 cm bietet mit 188 kg an oberirdischer Holzbiomasse einen Speicher für 302 kg CO₂. *Pinus silvestris* (Wald-Kiefer) als charakteristische Weichholzspezies mit einer Rohdichte von 0,49 g/cm³ stellt mit einem adäquaten BHD dagegen etwa 35% weniger an Holzbiomasse bereit. Sie besitzt also eine geringere Speicherleistung von etwa 192 kg CO₂.⁹

Die im Jahr 2010 kartierten Baumarten in der Waldstadt-Silberhöhe zeigen in der Mehrheit (55%) eine mittlere bis sehr hohe Rohdichte zwischen 0,55 und 0,87 g/cm³. Auffällig ist, dass besonders die Nadelbäume eine einheitlich geringe Rohdichte zwischen 0,35 und 0,45 g/cm³ aufweisen. Eine besonders hohe Rohdichte mit einer Spanne von 0,7 und 0,87 g/cm³ charakterisieren die Baumarten *Prunus domestica* (Mirabelle) und *Prunus mahaleb* (Felsen-Kirsche) sowie *Robinia pseudoacacia* (Robinie) und *Sorbus intermedia* (Schwedische Mehlbeere). Die Häufigkeitsverteilung der Baumarten im Untersuchungsgebiet zeigt weiterhin einen überwiegenden Anteil an schwerem Hartholz mit einer höheren Rohdichte. Dazu zählen die Hauptgattungen im Untersuchungsgebiet *Acer* (28% Anteil) und *Prunus* (14% Anteil). Das Holz der Hauptgattungen *Populus* (14% Anteil) und *Salix* (7% Anteil) ist dagegen eher weich und

leicht (Rohdichtewerte nach Jenkins et al. 2004; Schütt et al. 2006; Trendelenburg 1995).

Artenwahl im Kontext der Anpassung an den städtischen Klimawandel

Die Klassifizierung der aufgenommenen Baumarten in der Waldstadt-Silberhöhe nach der KLAM (vgl. Roloff et al. 2008) zeigt, dass die bisherige Artenwahl zu etwa 50% bereits an die prognostizierten Stressfaktoren Trockenheit und Winterfrost angepasst ist. Lediglich die Pflanzungen von *Acer pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus ornus*, *Prunus padus* und *Ulmus minor* sollten in Zukunft eingestellt werden. Aufgrund ihrer fehlenden Toleranz gegenüber Trockenstress sind sie für den Stadtraum nur minder empfehlenswert. *Fraxinus ornus* wird in der Kategorie Trockentoleranz zwar als sehr geeignet eingestuft, ihre Frosthärte jedoch eingeschränkt bewertet.

6. Diskussion

6.1 Beitrag der „Waldstadt“ zu einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung

Das Ziel einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung wird in dieser Arbeit als Symbiose des Klimaschutzes/der Anpassung und der Stadtschrumpfung definiert. Der Fokus liegt im Ausbau des urbanen Gehölzbestandes als CO₂-Senke und dessen Beitrag zum Klimaschutz. Die allometrischen Biomasseschätzungen für die Waldstadt-Silberhöhe ergeben eine gesamte Absorption von 14.150 t des Treibhausgases CO₂ aus der städtischen Atmosphäre. Umgerechnet auf

⁹Quelle der Rohdichten von FROMMHOLD 2008: 43; Berechnung der oHB nach den Gleichungen in VOLLRODT 2011

Tabelle 14. Ökosystemdienstleistungen der Stadtbäume (Burkhardt et al. 2008: 40-46)

Wirkungsbereiche	<ul style="list-style-type: none"> • Ökosystemdienstleistungen urbaner Wälder
Lufthygiene	<ul style="list-style-type: none"> • Filterleistung von Aerosolen und Schadstoffen
Lärm- und Lichtfilter	<ul style="list-style-type: none"> • Schallschutz und Minderung der UV-Strahlung
Boden und Wasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> • Wind- und Erosionsschutz • Filterung- und Pufferwirkung von Schadstoffen • Verbesserung der Grundwasserqualität durch teilweisen Abbau von Schadstoffen infolge hoher biologischer Aktivitäten • Beschleunigung von Bodenbildungsprozessen und Herstellung natürlicher Bodenfunktionen <ul style="list-style-type: none"> • Hochwasserschutz aufgrund Wasserrückhaltungsvermögen
Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlungseffekt durch Schattenwurf und Verdunstungskälte

die jährliche Emission der Wohnbevölkerung in der Silberhöhe von 149.800 t (11,3 t CO₂ pro Kopf/a * Einwohner in der Silberhöhe)¹⁰, relativiert sich dieser Wert. Die Bäume in der Waldstadt-Silberhöhe stellen ein Reservoir für <10% dieser *jährlichen* CO₂-Emission bzw. die jährliche Emission von etwa 1.252 Bewohnern dar. Diese Relation mindert jedoch nicht ihren Beitrag für die Stadt Halle zum Klimaschutz. Die Umsetzung des Stadtentwicklungskonzeptes „Waldstadt“ für die Silberhöhe kann als klimawandelgerecht bewertet werden. Im Sinne der Anpassung an die klimatischen Veränderungen erfüllt die Waldstadt die ihr zugeordneten ökosystemaren Dienstleistungen. Die Verdunstungskälte sowie die Schattenspende erlauben den nötigen Effekt der Abkühlung. Zudem wird die Frischluftzufuhr angeregt und damit die Luftqualität verbessert (Bruse 2003: 68f). Den bereits spürbaren und prognostizierten Veränderungen der Niederschlagsverteilung (Starkregen oder sommerliche Trockenheit) wird u.a. mit dem Rückbau der Versiegelung begegnet. Dies kommt einer Erhöhung des Grundwasserspiegels durch die nun mögliche Versickerung zugute (vgl. MKULNV 2011). Tab. 14 nennt weitere Dienstleistungen, die das Entwicklungskonzept „Waldstadt-Silberhöhe“ bereitstellt.

Auch Burkhardt et al. (2008) stellen fest, dass der Stadtbau zur Anpassung an den Klimawandel keine bessere Alternative bietet, als die nach dem Abriss des

¹⁰ Rechenweg: $932.881 \cdot 10^3 \text{ t CO}_2\text{-Emission (31.12.2006)} : 82.315 \text{ Mio. Einwohner Deutschlands (31.12.2006)} = 11,3 \text{ t CO}_2 \text{ pro Kopf/a (StaBa 2009: 313 und StaBa 2008: 36)} * 13.256 \text{ Einwohner der Silberhöhe (Stadt Halle 2011: 113)}$

Wohnbestandes entstehenden Freiflächen aufzuforsten (ebd.: 123). Außerdem findet das beschriebene, breite Leistungsspektrum eine hohe Akzeptanz in der lokalen Bevölkerung. Ihr Einfluss auf die Wirkungsbereiche in der oben abgebildeten Tab. 14 fördert das Wohlbefinden der Bewohner indem ihre Vulnerabilität gegenüber klimatischen Veränderungen gemindert wird.

6.2 Methodendiskussion zur Minderung von Unsicherheiten

Schätzgenauigkeit des Datenbestandes

Der nötige Umfang der Kartierarbeiten für eine möglichst hohe Schätzgenauigkeit war zunächst unklar, da die Anzahl und die Größe der Plots in den veröffentlichten Studien eine hohe Schwankungsbreite zeigen (siehe Vergleich in Tab. 15).

In der Studie „*Effect of Plot and Sample Size on Timing and Precision of Urban Forest Assessments*“ von Nowak et al. (2008) wird ein ausreichender Stichprobenumfang mit 200 Plots je 0,04 ha (1/6 acre) mit einem relativen Standardfehler (RSE) von etwa 12% für eine möglichst hohe Schätzgenauigkeit definiert (ebd: 389). Die nachfolgende Abb. 6 zeigt, wie der RSE ab 50 Plots abrupt sinkt und ab ca. 200 stetig bleibt und eine akzeptable Schätzgenauigkeit gewährleistet.

Das Untersuchungsgebiet Waldstadt-Silberhöhe umfasst in der Relation zu einer ganzen Stadt mit 213 ha nur eine geringe Flächengröße. Der Stichprobenumfang der Kartierung des Stadtteils Silberhöhe konnte daher ohne Genauigkeitsverluste von 200 auf 60 Plots reduziert werden. In einer persönlichen Anfrage per E-Mail bestätigte Nowak (2011) diese Entscheidung: „*The question is how much can you afford to do vs. precision,*

Tabelle 15. Auswahl verschiedener Studien mit einer Datensammlung über das Prinzip der zufälligen Stichprobenverteilung (eigene Auswahl)

Autor	Untersuchungsgebiet	Fläche der Plots	Anzahl der Plots
McPherson et al. 2007	Sacramento	0,01 ha	675
Nowak 1994	Chicago	0,04 ha	652
Nowak et al. 2002b	Brooklyn	0,04 ha	202

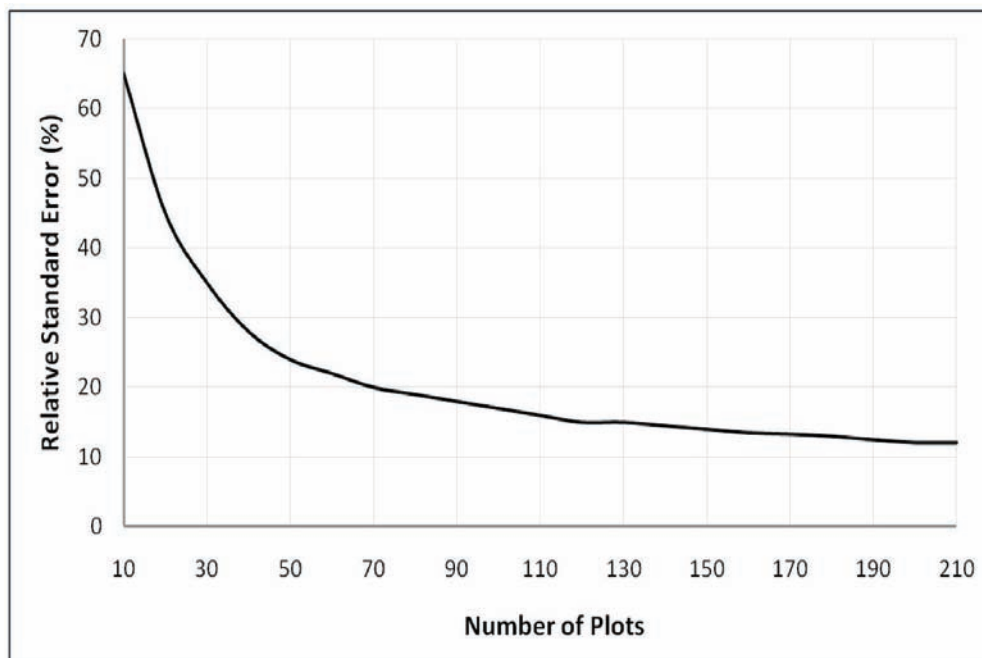


Abb. 6 Geschätzter relativer Standardfehler der absoluten Baumzahl je nach Stichprobenumfang (Plotfläche: 0,04 ha) (Nowak et al. 2008: 389)

I would suggest starting with 30-50 plots to start and analyze the data to see your standard error estimates“. Nowak et al. (2008) verglichen außerdem den Kosten-Nutzen-Effekt verschiedener Plot-Größen (1/24 acre = 0,02 ha; 1/10 acre = 0,04 ha; 1/6 acre = 0,067 ha). Diesem Ergebnis zufolge gewährleistet bereits eine Flächengröße von 0,04 ha eine ausgeglichene Bilanz zwischen (Zeit-) Kosten und der Schätzgenauigkeit (ebd.: 388). Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs dieser Arbeit und die nicht zeitaufwändig zu messenden Daten wurde die Größe der Plots auf das Maximum von 0,067 ha (15 m Radius) festgelegt.

Schätzgenauigkeit der jährlichen Zuwachsraten

Die Schätzung einer künftigen urbanen CO₂-Sequestrierung impliziert bei der Anwendung von Zuwachsraten mit forstlichem Hintergrund ein hohes Fehlerpotential. Die städtischen Wachstumsraten eines

Einzelbaumes sind häufig höher als im natürlichen Bereich. McPherson et al. (1999) führt dies zum Teil auf die zahlreichen freistehenden Einzelbäume ohne Konkurrenz um Licht, Wasser oder Nährstoffe zurück. In einem dichteren Baumbestand im Stadtraum es eher umgekehrt. Zu begründen ist das u.a. mit den minderen Standorteigenschaften im Vergleich zu natürlichen Wachstumsbedingungen (ebd.: 5). Aus diesem Grund wurden die art- und altersspezifischen Wachstumsraten aus dem Leipziger Stadtraum von Frenzel (2009) übernommen.

Generalisierte und Urbane Gleichungen zur Minderung von Unsicherheiten

Die literaturbasierte Auswahl allometrischer Regressionsgleichungen für die Schätzung der Biomasse birgt hohe Unsicherheiten. Zur Diskussion steht die prinzipielle Frage der Übertragbarkeit solcher Gleichungen

auf differente Standortbedingungen. Die urbane Wärmeinsel, das Nährstoff- und Wasserangebot oder die Bestandsdichte differenzieren das Wachstumsverhalten der Stadtbäume stark von den Waldbäumen. Diese Faktoren schränken die Übertragbarkeit der forstlich ermittelten Gleichungen auf andere Regionen oder die Anwendung auf einem großräumlichen Niveau ein (Jenkins et al. 2003: 13). Der Forschungsstand zur Schätzung der Holzbiomasse unter urbanen Standortbedingungen ist aufgrund der Kosten-Nutzen-Effizienz noch begrenzt. Explizit auf urbane Standortbedingungen angepasste und artspezifisch ermittelte Gleichungen gibt es bisher kaum (McHale et al. 2009). Daher werden generell Formeln aus forstlichen Untersuchungen zur Schätzung der urbanen Holzbiomasse ausgewählt (Jenkins et al. 2003: 13). So auch die artspezifischen Gleichungen dieser Arbeit.

Eine Lösungsoption für die Minderung der Ungenauigkeit beschreibt Nowak (1994) für seine Studie in „*Chicago's Urban Forest*“ in einer Reduzierung der geschätzten Biomasse der Stadtbäume um 20%. Er stellt die Ergebnisse forstlicher- und urbaner Gleichungen gegenüber. Die häufige Überschätzung mit forstlich ermittelten Parametern wird hier in den Formschnitten und im dem lichterem Baumbestand im Stadtraum vermutet. Durch die fehlende Lichtkonkurrenz ist das Kronenvolumen zwar weiter, das Höhenwachstum dagegen geringer ausgeprägt als in einem dichten Waldbestand (ebd.: 89). Für die Erstellung urban-basierter Gleichungen stellen McHale et al. (2009) eine interessante

Art der genauen Vermessung eines Stadtbaums ohne Fällarbeiten vor. Mit dem System des terrestrischen Laserscanning wird das Volumen eines Baumes in Form einer drei-dimensionalen Punktwolke aufgenommen. Die Umrechnung des Volumens in das Gewicht der Biomasse erfolgt über die artspezifische Rohdichte (ebd.: 98). Diese Datenaufnahme ermöglicht die Ermittlung artspezifischer „*urban-biomass-equations*“ (ebd.: 96).

Die Gegenüberstellung der auf diese Weise ermittelten Holzbiomasse mit dem Resultat artspezifischer Gleichungen aus dem Forst zeigt eine enorme Variabilität der Erträge je nach Art, Population oder Gemeinschaft. Die von Nowak (1994) als Trend formulierte Überschätzung wird mit etwa 18% auch in Fort Collins bestätigt. Als Erklärung werden die zugleich festgestellten differenten Holzeigenschaften der Stadtbäume gegenüber natürlichen Bäumen herangezogen. Ihre spezifische Rohdichte ist häufig niedriger als in einem natürlichen Bestand (McHale et al. 2009: 100). Pflegemaßnahmen, wie Düngung und Bewässerung können das jährliche Wachstum in der Stadt fördern. Ein schnelles Wachstum wirkt sich mit einem höheren Porenvolumen auf die Holzstruktur aus. Die Abweichungen von den urbanen Ergebnissen sind jedoch nicht generalisierbar. Das genaue Maß an Über- oder Unterschätzung kann demnach nicht definiert werden und eine nachträgliche Anpassung ist nicht möglich.

Die Gleichungen aus urbanen Studien verbessern die Schätzgenauigkeit zwar signifikant, ihre Verfügbarkeit ist jedoch begrenzt. Forstlich ermittelte

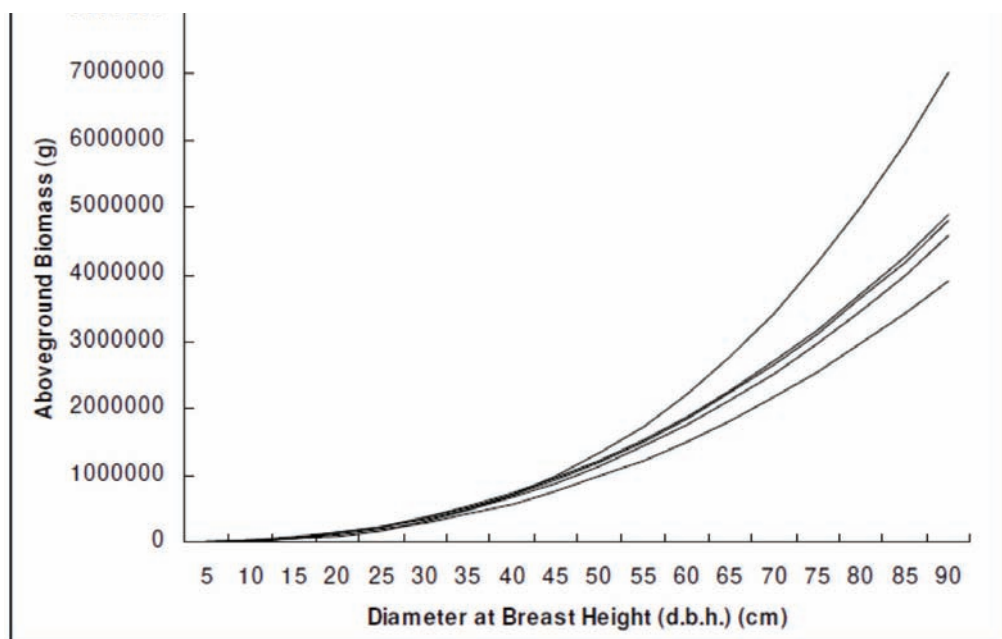


Abb. 7 Oberirdische Biomasse der Douglasie, geschätzt über fünf allometrische Regressionsgleichungen (Jenkins et al. 2004: 10)

Schätzparameter bergen eine gewisse Ungenauigkeit. Bei dem aktuellen Stand der Forschung bewährte sich jedoch deren Verwendung zur Ermittlung der Holzbiomasse eines urbanen Waldes. Eine überlegenswerte Option zur Reduktion der Schwankungen liegt in einer Standardisierung der Formelwahl und in der Verwendung durchschnittlicher, generalisierter Gleichungen.

Eine Entscheidungshilfe bei der Formelwahl stellen generalisierte Mischformeln dar. Sie entstehen aus einer Vielzahl an Formeln, die bevorzugt unterschiedliche Standortbedingungen widerspiegeln. Infolge dessen eignen sie sich besonders für großräumig angelegte, bzw. standortunabhängige Studien (Muukkonen 2007: 157). Die heterogene Datenbasis mindert den Grad der Unsicherheiten und lässt die Übertragbarkeit, z.B. nordamerikanischer Studien auf den mitteldeutschen Raum zu (Annahme der Autorin). Daher fanden

insbesondere die Gleichungen von Jenkins et al. (2003) für die Ermittlung der Holzbiomasse ihre Anwendung.

Umfangreiche Formelsammlungen verdeutlichen die Vielzahl artspezifischer Gleichungen mit entsprechend heterogenen Schätzungsparametern (vgl. Zianis et al. 2005; Jenkins et al. 2003 oder Jenkins et al. 2004). Muukkonen (2007: 157) beschreibt die damit verbundene Schwierigkeit der Auswahl: „[...] it is impossible to know which equations to choose for a particular species and site. Abb. 7 verdeutlicht am Beispiel der Douglasie den Einfluss einer Gleichung auf die Schätzung der Biomasse. Trotz eines identischen BHD als gegebene Variable beschreibt die Anwendung verschiedener Formeln eine hohe Schwankungsbreite der oberirdischen Biomasse.

Jenkins et al. 2004 betont die Korrelation zwischen der Schwankungsbreite und dem BHD. In Abb. 7 wird ersichtlich, dass die Differenz der Schätzergebnisse aus den verschiedenen Gleichungen erst ab einem BHD von etwa 35 cm zum Tragen kommt. Der junge Baumbestand in der Waldstadt-Silberhöhe zeigt 2010 zwar nur einen BHD von durchschnittlich ca. 12 cm. Das jährliche

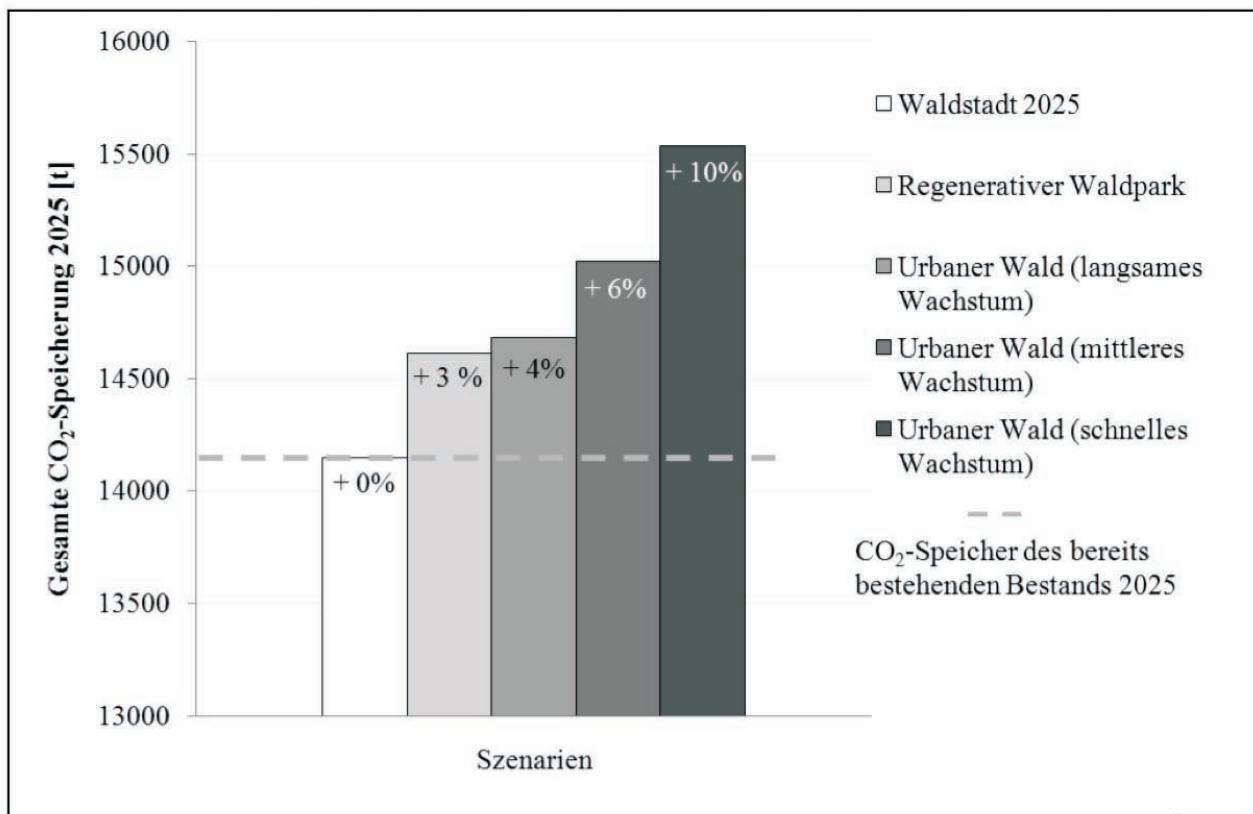


Abb. 8 Optimierungspotential der CO₂-Senkenwirkung der Pflanzalternativen (Vollrodt 2011: 70).

Wachstum der Bäume führt jedoch im Laufe der Zeit zur Überschreitung des „kritischen“ BHD-Wertes und hebt so das Maß an Unsicherheiten während der Formelauswahl. Die Vermutung einer Überschätzung und die Empfehlung der Voraussicht bestätigen sich mit dem prognostizierten Anstieg des durchschnittlichen BHD der Gehölze in der Silberhöhe um fast 50% innerhalb der nächsten 15 Jahre (im Jahr 2025 etwa 23 cm BHD).

6.3 Bestandsdichte und Artenwahl als Optimierungsfaktoren für künftige Pflanzungen

Die Beschreibung der alternativen Pflanzungen bis 2025 basiert auf einer Modifizierung des bisherigen Leitbildes der „Waldstadt“. Von der aktuell umgesetzten Aufforstungsstrategie wird bisher vorrangig die kulturelle Dienstleistung eines Stadtwaldes erwartet (siehe Stegemann 2010: 1). Impliziert wird zudem eine Aufwertung der Wohnqualität dank einer ökonomisch orientierten Imagesteigerung (siehe Stadt Halle 2007). Das neue Leitbild für den Planungszeitraum bis 2025 beschreibt die Neuorientierung hin zu einer Optimierung der urbanen CO₂-Speicherung. Als Einflussparameter wird zwischen der Bestandsdichte und dem generellen Wachstumsverhalten der gepflanzten Baumarten unterschieden. Abb. 8 zeigt das Optimierungspotential der CO₂-Speicherung der in dieser Arbeit vorgestellten Pflanzalternativen im Vergleich. Der Prozentwert *null* bedeutet keinesfalls eine ausbleibende Speicherfunktion. Dieser Wert beschreibt den *zusätzlichen* Effekt der Optimierung der CO₂-Speicherung zu den bereits umgesetzten Pflanzungen (*grün gestrichelte Linie*).

Aus dem Vergleich der Pflanzalternativen kann eine zunehmende Bestandsdichte eindeutig als wirkungsvolles Kriterium für die Optimierung der urbanen CO₂-Senke Wald begriffen werden. Demnach bietet es sich an, das Pflanzkonzept II „Urbaner Wald“ zu empfehlen und die künftigen Freiflächen mit einer waldartigen Baumdichte (203 BZ/ ha) aufzuforsten. Im Sinne einer wünschenswerten hohen Biodiversität ist eine möglichst hohe Artenvielfalt erstrebenswert. Der heterogene Mischbestand des mittleren Wachstums bietet zwar kurzfristig nicht das größte Potential bis 2025. Langfristig stabilisiert jedoch eine hohe Artenvielfalt das urbane Ökosystem gegenüber den beschriebenen Klimafolgen Trockenheit und Hitzebelastung. Damit wird die CO₂-Senkenleistung unterstützt bzw. bleibt erhalten.

Optimierte Artenwahl nach dem Kriterium Wachstumsverhalten:

Für eine Optimierung des CO₂-Speicherpotentials der Waldstadt-Silberhöhe ist die langfristig angelegte Aufforstung der künftigen Freiflächen mit langlebigen Gehölzen mittleren bis langsamen Wachstums sowie

einer hohen Rohdichte empfehlenswert. Da Laubgehölze (Fachbegriff: Hartholz) im Durchschnitt eine deutlich höhere Rohdichte als Nadelbäume (Fachbegriff: Weichholz) vorweisen (Frommhold 2008: 40), eignen sich bevorzugt sommergrüne Laubbäume, wie *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Fagus* oder *Robinia* für die zukünftigen Aufforstungen in der Waldstadt-Silberhöhe. Der Wirkungseffekt kann verstärkt werden, indem sich die Auswahl der Baumarten an den lokalen Auswirkungen des Klimawandels orientiert. Die Eigenschaften eines geeigneten Stadtbaums: Hitzeverträglichkeit, Trockentoleranz und Winterhärte unter der besonderen Berücksichtigung fremdländischer Arten sichern das jährliche Wachstum und mindern die Mortalitätsrate. Die Klassifizierung nach der KLAM ergibt, dass die bisherige Artenwahl den klimatischen Veränderungen gerecht wird. Dieses Resultat war zu erwarten. Die Stadt- und Landschaftsplanung in Halle muss sich schließlich bei der Artenauswahl von Natur aus nach dem geringen Wasserangebot im mitteldeutschen Trockengebiet richten. Zusätzlich zu den bisherigen Stadtbäumen auch die Pflanzung fremdländischer Baumarten in Betracht gezogen werden. Dies birgt den positiven Wirkungseffekt einer Erhöhung der Biodiversität, wodurch sich das urbane Waldökosystem weniger vulnerabel gegenüber Störgrößen entwickeln kann.

Die Verteilung der Baumarten im Untersuchungsgebiet und deren oberirdische Holzbiomasse deuten auf eine optimale Leistung der Pflanzung schnell wachsender Gattungen hin. Die Lebensdauer der Gehölze endet jedoch nicht im Jahr 2025, sondern deckt lediglich die juvenile Wachstumsphase ab. Der Vorteil des schnellen Wachstums in dem frühen Wachstumsstadium wird im adulten Alter infolge der kürzeren Lebensdauer aufgehoben (McPherson et al. 1999: 5). Ebd. vergleichen die CO₂-Speichereffizienz von Baumarten mit einem geringen Wachstum und dafür einer höheren Lebensdauer mit schnell wachsenden und eher kurzlebigen Spezies. Die in Abb. 9 dargestellten Diagramme der CO₂-Sequestrierung innerhalb von 60 Jahren von *Acer* (sugar maple; Ahorn) und *Populus* (hybrid poplar; Pappel) bestätigen den Einfluss der Lebensdauer und der Wachstumsrate.

Für eine langfristig orientierte CO₂-Speicherung der Waldstadt-Silberhöhe sind demnach langlebige Stadtbaumarten mit einem geringen Pflegebedarf und einem mäßigen bis schnellen Wachstum empfehlenswert (vgl. Nowak et al. 2002b: 118)

Optimierte Artenwahl nach den Kriterien Hitzeverträglichkeit und Trockenheitsresistenz

Ein Bericht des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft befürwortet z.B. für den

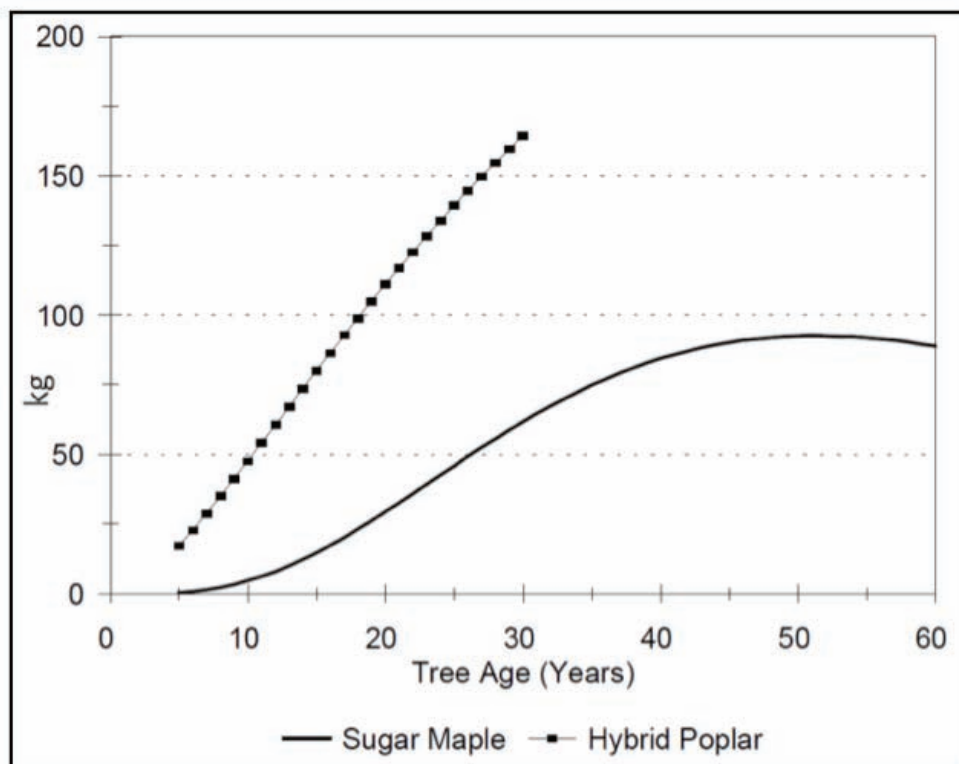


Abb. 9 Jährliche CO₂-Sequestrierung von Acer und Populus in Abhängigkeit der Wachstumsrate und der Lebensdauer (Die Schätzungen basieren auf Wachstumsraten und Biomassegleichungen von Stadtbäumen) (McPherson et al. 1999: 3 nach Frelich 1992 und Pillsbury et al. 1995).

Leipziger Raum einen „adaptierten Trockenwald“ (SMUL: 2005: 68), da künftig besonders die Wasserversorgung der limitierende Faktor des Baumwachstums sein wird. Die vom SMUL empfohlenen Baumarten werden aufgrund der analogen Standortbedingungen im halleschen Stadtteil Silberhöhe für die künftigen Pflanzungen in der Waldstadt ebenfalls befürwortet. In diesem Kontext sollte in Zukunft den trockenheitstoleranten Baumarten *Quercus petraea* und *Quercus rubra*, *Carpinus betulus*, *Tilia cordata* und *Acer platanoides* besondere Beachtung beigemessen werden (ebd.). Die bevorzugte Wahl verschiedener Arten der Gattung *Platanus* im Straßenraum beschreibt die GALK¹¹ mit ihrer hohen Toleranz gegenüber extremen Standorten (Burkhardt et al. 2008: 72). Aus der Studie der KLAM kristallisieren sich besonders Neophyten aus der südeuropäischen Mittelmeerregion oder Asien heraus, die die Kriterien „Trockenheitsresistenz“ und „Winterhärte“ erfüllen und sich für die Einführung in den Stadtraum anbieten.

7. Zusammenfassung

Das zunehmende Potential an Freiflächen eröffnet einer schrumpfenden Stadt neue Chancen für eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Dieser Beitrag zum kommunalen Klimaschutz wurde am Beispiel des Stadtentwicklungskonzeptes „Waldstadt“ für die ehemalige Großwohnsiedlung Halle-Silberhöhe analysiert. Die Stadt- und Bevölkerungsentwicklung fungieren im urbanen CO₂-Kreislauf als Steuerinstrumente während des CO₂-Austauschs zwischen Atmosphäre und Vegetation. Das Integrierte Stadtentwicklungskonzept „Waldstadt-Silberhöhe“ mit dem Leitziel der Aufforstung von Abrissflächen schuf eine zusätzliche Senke in diesem Kreislauf. Deren Wirkung wurde hinsichtlich ihrer Quantität und ihrem Optimierungspotential untersucht.

Die literaturbasierte Recherche nach artspezifischen Gleichungen zeigt eine enorme Vielfalt mit forstlichem Hintergrund. Diese Vielfalt erzeugt aufgrund standortbedingter Einflüsse ein hohes Unsicherheitspotential. Daher wurde in Form von überwiegend generalisierten Gleichungen über die Baumdimension des BHD und dessen allometrischer

¹¹ Arbeitskreis Stadtbäume der ständigen Gartnamtsleiterkonferenz, Empfehlung in der „GALK-Straßenbaumliste“

Regression zur Holzbiomasse die CO₂-Absorption aus der urbanen Atmosphäre abgeleitet.

Während des Wachstumsprozesses der gepflanzten Stadtbäume wird das THG CO₂ aus der städtischen Atmosphäre absorbiert. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt die CO₂-Senke der oberirdischen Holzbiomasse in der Waldstadt-Silberhöhe von etwa 3.000 t im Jahr 2010. Die darin gespeicherten 4.800 t CO₂ entsprechen jedoch lediglich einem marginalen Anteil der jährlichen CO₂-Emission der Einwohner. Dennoch stellt die urbane Vegetation eine CO₂-Senke dar, deren Beitrag zur Reduzierung der atmosphärischen CO₂-Konzentration optimiert werden kann.

Aus dem Vergleich zwischen den beschriebenen Pflanzalternativen lassen sich verschiedene Orientierungsvorschläge ableiten. Der erste Focus sollte auf die Bestandsdichte gelegt werden. Bis zum Jahr 2025 kann eine Ausdehnung der Baumpflanzung auf weitere 70 ha mit einem dichten Baumbestand von etwa 200 Bäumen pro ha den Klimaschutz um 4 bis 10% verbessern. Ein zweites wichtiges Kriterium stellt die Auswahl geeigneter Arten dar. Ihr Wachstumsverhalten sowie die Lebensdauer entscheiden zusätzlich über die Quantität der verbesserten CO₂-Senkenleistung. Für eine Optimierung des künftigen CO₂-Speicherpotentials ist die langfristig angelegte Aufforstung der künftigen Freiflächen mit langlebigen Gehölzen mittleren bis langsamen Wachstums sowie einer hohen Rohdichte empfehlenswert. Hartholz weist im Durchschnitt eine deutlich höhere Rohdichte auf als Weichholz (Frommhold 2008: 40). Sommergrüne Laubbäume, wie *Acer*, *Fraxinus*, *Quercus*, *Fagus* oder *Robinia* eignen sich also bevorzugt für die zukünftigen Aufforstungen in der Waldstadt-Silberhöhe. Ein gesundes Wachstum sowie eine hohe Biodiversität sichern die Stabilität eines Ökosystems. Der Wirkungseffekt kann verstärkt werden, indem sich die Auswahl der Baumarten an den lokalen Auswirkungen des Klimawandels orientiert. Die Eigenschaften eines geeigneten Stadtbaums: Hitzeverträglichkeit, Trockentoleranz und Winterhärte unter der besonderen Berücksichtigung fremdländischer Arten sichern das jährliche Wachstum und mindern die Mortalitätsrate. Die Klassifizierung nach der KLAM ergibt, dass die bisherige Artenwahl den klimatischen Veränderungen gerecht wird. Dieses Resultat war zu erwarten. Die Stadt- und Landschaftsplanung in Halle muss sich schließlich bei der Artenauswahl von Natur aus nach dem geringen Wasserangebot im mitteldeutschen Trockengebiet richten. Zusätzlich zu den bisherigen Stadtbäumen sollte auch die Einführung wärmeliebender und trockenheitsresistenter Neophyten verstärkt in Betracht gezogen werden. Dies birgt den positiven Wirkungseffekt einer Erhöhung der

Biodiversität, wodurch sich das urbane Waldökosystem weniger vulnerabel gegenüber Störgrößen entwickeln kann. Einen *effektiven* Beitrag zur Stabilisierung der Atmosphäre kann das urbane Ökosystem als globaler CO₂-Hauptemittent jedoch nur leisten, wenn ebenfalls Maßnahmen zur Emissionsreduktion in den Sektoren Verkehr, Bebauungsstruktur, Energieversorgung sowie der Industrie umgesetzt werden.

Dessen ungeachtet bietet die abgestufte Renaturierung der Freiflächen zusätzlich klimaregulierende Dienstleistungen zur Anpassung an die bereits spürbaren Folgen des Klimawandels, wie steigende Temperaturen oder Trockenheit. Die ökosystemaren Dienstleistungen des Kühlungseffekts, der (Fein-) Staubfilterung sowie die Verbesserung hydrologischer und pedogener Verhältnisse tragen einen bedeutenden Teil zum menschlichen Wohlbefinden bei. Die Schätzergebnisse der oberirdischen Holzbiomasse im Verlauf dieser Arbeit und deren aktuelles und zukünftiges CO₂-Speicherpotential bestätigen den Beitrag der Waldstadt-Silberhöhe zum Klimaschutz und einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung.

8. Literaturverzeichnis

- /102/** ARGEBAU - Bauministerkonferenz (2008): Klimaschutz in den Bereichen Bauen, Wohnen und Stadtentwicklung. Vorlage des Ausschusses für Stadtentwicklung, Bau- und Wohnungswesen der Bauministerkonferenz. URL: <http://www.isargebau.de/Dokumente/42310994.pdf>. (24.03.2011)
- /103/** Agenda 21 Treffpunkt (2009): Stromerzeugung und -verteilung. Bruttostromverbrauch pro Kopf 2009. URL: <http://www.agenda21-treffpunkt.de/daten/Strom.htm> (18.08.2011)
- /104/** Bahrenberg, G. / E. Giese / J. Nipper (1999): Univariate und bivariate Statistik, 4. Aufl., Bd. 2, Stuttgart.
- /105/** BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) (2009): Raumordnungprognose. Bonn.
- /106/** BfN (Bundesamt für Naturschutz) [Hrsg.] (2010): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen. Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbauanforderungen und Empfehlungen des BfN, Leipzig.
- /107/** Blume, H.P. (1993): Böden. In: Sukupp, H. / R. Wittig [Hrsg.]: Stadtökologie. Stuttgart / Jena / New York, S. 154-171.
- /108/** BMELV (Bundesamt für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) [Hrsg.] (2002): Bundeswaldinventur II. URL: www.bundeswaldinventur.de (27.07.2011)
- /109/** BMU (Bundesministerium für Umweltschutz) [Hrsg.] (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel - vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf (03.08.2011)
- /110/** BMVBS/BBR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesamt für Baum und Raumordnung) [Hrsg.] (2006): 1. Statusbericht. Stadtbau Ost - Stand und Perspektiven. Berlin. URL: http://www.irs-net.de/download/forschung/Erster_Statusbericht_Stadtbau_Ost.pdf

(01.07.2011)

/111/ BMVBS/BBR [Hrsg.] (2008): Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist. Bonn. URL: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/rog_2008/gesamt.pdf (23. 05.2012)

/112/ BMVBS / BBSR (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung / Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) [Hrsg.] (2009a): Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. BBSR-Online-Publikation 22 /2009. URL: http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_23582/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON222009,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON222009.pdf (26.04.2011)

/113/ BMVBS / BBSR [Hrsg.] (2009b): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Wirkfolgen des Klimawandels. BBSR-Online-Publikation 23 /2009. URL: http://www.bbsr.bund.de/nn_495542/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BBSROnline/2009/DL_ON232009,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON232009.pdf (26.04.2011)

/114/ BMVBS / BBSR [Hrsg.] (2009c): ExWoSt-Studie. Handlungskatalog: „Optionen erneuerbarer Energien im Stadtraum“. Bonn. URL: http://www.bbsr.bund.de/cln_032/nn_23470/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Sonderveroeffentlichungen/2009/DL__handlungskatalog,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL__handlungskatalog.pdf (26.04.2011)

/115/ BMVBS / BBSR [Hrsg.] (2009d): ExWoSt-Studie. Nutzung städtischer Freiflächen für erneuerbare Energien. Bonn. URL: http://www.nationale-stadtentwicklungspolitik.de/nn_251568/Content/Publicationen/Ressorforschung/erneuerbare_energien,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/erneuerbare_energien.pdf (20.04.2012)

/116/ BMVBS / BBSR [Hrsg.] (2010): Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Planungspraxis - aktualisierte Fassung der BBSR-Online Publikation, Nr. 25/2009. BMVBS-Online-Publikation 11 /2010. URL: http://www.bbsr.bund.de/cln_016/nn_629248/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/DL_ON112010,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/DL_ON112010.pdf (26.04.2011)

/117/ Böhler, S. / U. Jansen / F. Rudolph (2008): Bewertung klimarelevanter Wirkungen von Maßnahmen im Rahmen der Regionale 2010 am Beispiel der Freiraumkonzeptes RegioGrün : Endbericht. Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal. URL: http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wiprojekt/Endbericht_RegioGruen.pdf (21.07.2010)

/118/ Braeker, O.U. (2008a): Wachstumskurve. URL http://www.wsl.ch/forest/waldman/vorlesung/ww_tk22.ehtml (14.04.2011)

/119/ Braeker, O.U. (2008b): Waldwachstum I/II. Allometrische Funktionen. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum ETH Zürich. Birmensdorf. URL: http://www.wsl.ch/forest/waldman/vorlesung/ww_tk25.ehtml (17.04.2011)

/120/ Bruse, M. (2003): Stadtgrün und Stadtklima - Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. In: LÖBF-Mitteilungen, Bd.1, H. 3, Bochum, S. 66-70.

/121/ Bunce, R. (1968): Biomass and Production of Trees in a Mixed Deciduous Woodland. In: Journal of Ecological Nr. 56 / 3, S. 759-775.

/122/ Bundesregierung [Hrsg.] (2001): Initiative der Bundesregierung zur Verbesserung der Stadt- und Wohnungsmarktentwicklung in den neuen Ländern. Programm Stadtbau Ost.

/123/ Burkhardt, I. / R. Dietrich / H. Hoffmann / J. Leschner / K. Lohmann / F. Schoder / A. Schultz (2008): Urbane Wälder. In: BfN [Hrsg.] Naturschutz und Biologische Vielfalt, Bd. 63, Bonn / Bad Godesberg.

/124/ Churkina, G. (2008): Modeling the carbon cycle of urban systems. In: Elsevier Science B.V, Ecological Modelling Nr. 216, S. 107-113.

/125/ Clark, A. / D.R. Phillips / D.J. Frederick (1986): Weight, Volume, and Physical Properties of Major Hardwood Species in the Piedmont. In: USDA Forest Service. Research Paper Nr. 255, Southeastern Forest Experiment Station.

/126/ Fischlin, A. / B. Buchter / L. Matile / K. Ammon / E. Hepperle / J. Leifeld / J. Fuhrer (2003): Bestandsaufnahmen zum Thema Senken in der Schweiz. In: ETHZ (Eidgenössische Technische Hochschule Zürich) [Hrsg.]: Systemökologie ETHZ, H. 29, Zürich.

/127/ Fischlin, A. / B. Buchter / L. Matile (2006): CO₂-Senken und -Quellen der Waldwirtschaft. Anrechnung im Rahmen des Kyoto-Protokolls. In: BAFU (Bundesamt für Umwelt) [Hrsg.]: Umwelt Wissen. Bern.

/128/ Frenzel, K. (2009): Das Potenzial von Straßenbäumen als Kohlenstoffspeicher. Ein Beispiel für die Auswertungsmöglichkeit des Straßenbaumkatasters der Stadt Leipzig. Dipl.-Arb. Institut für Landschaftspflege d. FH für Technik und Wirtschaft. Dresden.

/129/ Frelich, L.E. (1992): Predicting dimensional relationships for Twin Cities shade trees. University of Minnesota, Department of Forest Resources.

/130/ Friedrichs, J. / H. Häussermann (2001): Die Entwicklung der Städte in den neuen Bundesländern. In: Bertram, H. / R. Kollmorgen [Hrsg.]: Die Transformation Ostdeutschlands - Berichte zum sozialen und politischen Wandel in den neuen Bundesländern. Leverkusen.

/131/ Frommhold, H. (2008): Holzkunde. Vorlesungsbegleitende Materialsammlung für das 3. Semester Forstwirtschaft, 2. Aufl., Fachhochschule Eberswalde. Fachbereich Wald und Umwelt. Eberswalde.

/132/ Geiss, S. / J. Kemper / M.T. Krings-Heckemeier (2002): Halle Silberhöhe. In: Deutsches Institut für Urbanistik [Hrsg.]: Die Soziale Stadt. Eine Erste Bilanz des Bund- Länder-

/133/ Programms „Stadtteile mit besonderem Entwicklungsbedarf- die soziale Stadt“. Berlin, S. 126-137. URL: <http://www.sozialestadt.de/veroeffentlichungen/pvo-endberichte/> (18.11.09)

/134/ Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft GmbH (HWS): 8.000 Pflänzchen wachsen zu drittem „Energiewald“ in Halle.

/135/ URL: [http://www.hws-halle.de/HWS/Willkommen/HWS Themen/Kurzumtriebsplantagen/](http://www.hws-halle.de/HWS/Willkommen/HWS%20Themen/Kurzumtriebsplantagen/) (17.06.2011)

/136/ Hartmann H. (2002): Biomassebereitstellung und Nutzung. In: Hartmann H. / M. Kaltschmitt [Hrsg.]: Schriftenreihen „Nachwachsende Rohstoffe“, Bd. 3, Biomasse als erneuerbarer

Energieträger. Münster, S. 74-184.

/137/ Hutyra, L.R. / B. Yoon / M. Alberti (2010): Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: A study of the Seattle WA region. In: *Global Change Biologie*. Seattle, S.1-15.

/138/ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): 4. Sachstandsbericht des IPCC über Klimaänderungen. Teil I. Wissenschaftliche Grundlagen. Kurzzusammenfassung. In: BMU [Hrsg.]. URL: <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/38650.php> (10.01.2011)

/139/ Jenkins, J.C./D.C. Chojnacky / L.S. Heath / R.A. Birdsey (2003): National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species. In: *Forest Science* Nr. 49/1, S. 12-35. URL:http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/other_publishers/OCR/ne_2003jenkins01.pdf (20.04.2010)

/140/ Jenkins, J.C./D.C. Chojnacky / L.S. Heath / R.A. Birdsey (2004): Comprehensive Database of Diameter-based Biomass Regressions for North American Tree Species. In: USDA Forest Service. General Technical Report NE-319, Delaware. URL: http://www.fs.fed.us/ne/global/pubs/books/dia_biomass/index.html (20.04.2010)

/141/ Kändler, G. (2009a). Anwendung von Biomassefunktionen am Beispiel der Bundeswaldinventur. In: FVA-einblick. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Jh. 13/ Nr. 2 + 3, S. 14-16.

/142/ Kordowski, K. (2009): Turbulenter Austausch von Kohlenstoffdioxid in der urbanen Grenzschicht über einer Parkfläche. In: Kuttler W. / B. Sures: *Essener Ökologische Schriften*, Bd. 29, Hohenwarsleben.

/143/ Larcher, W. (2001): *Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt*, 6. Aufl., Stuttgart.

/144/ Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen Anhalt [Hrsg.] (2008): *Digitales Orthofoto Maßstab 1:6000 der Befliegung Halle (Saale) 29.05.2008 (Auflösung 20cm)*. Halle.

/145/ McHale, M.R. / I.C. Burke / M.A. Lefsky / P.J. Peper / E.G. McPherson (2009): Urban forest biomass estimates: is it important to use allometric relationships developed specifically for urban trees? In: *Urban Ecosyst.* Nr. 12, S. 95-113. URL: http://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2009_mcperson%28mchale%29002.pdf (18.08.2011)

/146/ McPherson, E.G. (1998): Atmospheric Carbon Dioxide Reduction By Sacramento's Urban Forest. In: *Journal of Arboriculture* Nr. 24/ 4, S. 215-223. URL: <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=2809&Type=2> (18.08.2011)

/147/ McPherson, E.G. / J.R. Simpson (1999): Carbon Dioxide Reduction through Urban Forestry. Guidelines for Professional and Volunteer Tree Planters. In: USDA Forest Service Technical Report Nr.171, Albany, California. URL:<http://www.psw.fs.fed.us/techpub.html> (12.09.2010)

/148/ McPherson, E.G. / J.R. Simpson / P.J. Peper / S.E. Maco / Q. Xiau (2005): Municipal forest benefits and costs in five US cities. In: *Journal of Forestry*. Nr. 103/ 8, S. 411- 416. URL: http://www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/docs/jof_Dec_2005.pdf (12. 08.2010)

/149/ McPherson, E.G. / J.R. Simpson / Q. Xiau / C. Wu (2007): Los Angeles One Million Tree Canopy Cover Assessment. Final Report. URL:<http://www.fs.fed.us/psw/programs/uesd/>

[uep/products/psw_cufr689a_MillionTreesLA_final_web.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/psw_cufr689a_MillionTreesLA_final_web.pdf) (12. 08.2010)

/150/ MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) [Hrsg.] (2011): *Handbuch Stadtklima. Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel*. Düsseldorf.

/151/ URL: http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/handbuch_stadtklima.pdf (30.06.2011)

/152/ Muukkonen, P. (2007): Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. In: *Eur. J. Forest Res.*, Vol. 126, S. 157-166.

/153/ Neubert, U. (2009). Seminar des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) zum Thema Stadtbau- urbane Qualitäten durch Freiraumentwicklung. Vortrag am 10.11.2009 in Berlin, (unveröffentlicht).

/154/ Nowak, D.J. (1994): Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Chicago's Urban Forest. In: McPherson E.G. / R.A. Rowntree / D.J. Nowak: *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*. Gen. Tech. Rep. NE-186. US Department of Agriculture, Forest Service, S. 83-94. URL: http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/technical_reports/pdfs/scanned/OCR/ne_gtr186a.pdf (15.08.2010)

/155/ Nowak, D. J. / D. E. Crane (1998): The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions. In: USDA Forest Service. Northeastern Research Station. Syracuse, NY, S. 714- 720z URL: http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nc212/gtr_nc212_714.pdf (30.11.2010)

/156/ Nowak, D. J. / D. E. Crane (2002a): Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. In: *Environmental Pollution* (116). Syracuse, NY. S. 381- 389. URL: http://nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2002/ne_2002_nowak_002.pdf (30.11.2010)

/157/ Nowak, D.J. / J.C. Stevens / S.M. Sisinni / C. Lulay (2002b): Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. In: *Journal of Arboriculture* Nr. 28/ 3, S.113-122. URL: http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2002/ne_2002_nowak_004.pdf. (08.07.2011)

/158/ Nowak, D.J. / J.T. Walton / J.C. Stevens et al. (2008): Effect of Plot and Sample Size on Timing and Precision of Urban Forest Assessments. In: *Arboriculture and Urban Forestry* Nr.34 / 6, S. 386-390. URL: http://www.ncrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/2008/nrs_2008_nowak_003.pdf. (08.07.2011)

/159/ Nowak, D.J. Ph. D. Project Leader USDA Forest Service, Northern Research Station 5 Moon Library. Syracuse, NY 13210 (2011): Email-Kontakt am 23.02.2011.

/160/ Oßenbrügge, J. / B. Bechtel (2010): Klimawandel und Stadt. Der Faktor Klima als neue Determinante der Stadtentwicklung. In: Böhner, J. / B.M.W. Ratter [Hrsg.]: *Klimawandel und Klimawirkung. Hamburger Symposium Geographie*, Bd. 2, Hamburg, S. 97-118.

/161/ Pastor, J. / J.D. Aber / J.M. Melillo (1983): Biomass Prediction Using Generalized Allometric Regressions for Some Northeast Tree Species. In: Elsevier Science. *Forest Ecology and Management* Nr.7 /4, Amsterdam, S. 265-274.

/162/ Petzold, R. / K.H. Feger / H. Röhle (2010): Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: Bemann, A.

- / C. Knust [Hrsg.]: AGROWOOD -Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin, S. 44 – 53.
- /163/** Pillsbury N.H / J.L. Reimer / R.P. Thompson (1998): Tree volume equations for fifteen urban species in California. In: Technical Report No. 7. Urban Forest Ecosystems Institute, California's Polytech State. University, San Luis Obsipo.
- /164/** Pohl, R. (Nebenamtliches Mitglied des Grünflächenamtes Halle/ Saale). Telefonat zu den umgesetzten Maßnahmen und Art der Aufforstung in der Waldstadt-Silberhöhe am 23.01.2011.
- /165/** Roloff, A. / S. Bonn / S. Gillner (2008): Baumartenwahl im urbanen Raum unter Aspekten des Klimawandels. Institut für Forstbotanik und Forstzoologie der TU Dresden. Tharandt.
- /166/** URL: <http://www.klimawandelgarten.de/files/vortrag-roloff.pdf> (06.07.2011)
- /167/** Roloff, A. / A. Bärtels / B. Schulz /P. Kiermeier (2006): Flora der Gehölze. Bestimmung, Eigenschaften und Verwendung. 2. Aufl., Stuttgart (Hohenheim).
- /168/** Rowntree, R.A. / D.J. Nowak (1991): Quantifying the Role of the Urban Forests in Removing Atmospheric CO₂. In: Journal of Arboriculture, Nr.17/ 10, S. 269- 275.URL: http://nrs.fs.fed.us/pubs/jrnl/1991/ne_1991_rowntree_001.pdf (18.08.2011)
- /169/** Scholz, V. / B. Boelcke / F. Burger / M. Hoffmann / A. Vetter (2006): KTBL - Datensammlung Energiepflanzen. Merkblatt - Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. Potsdam / Bornim.
- /170/** Schütt, P. / H. Weisgerber / H..J. Schuck / U.M. Lang / B. Stimm / A. Roloff (2006): Enzyklopädie der Laubbäume. Landsberg/ Lech.
- /171/** SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) [Hrsg.] (2005): Klimawandel in Sachsen. Sachstand und Ausblick 2005. Dresden.
- /172/** Spangenberg, G. (2010): Begründung und Pflege von Kurzumtriebsplantagen. Engen / Welschingen.
- /173/** Stadt Halle (Saale) FB Stadtentwicklung und –planung. [Hrsg.] (2007): ISEK- Integriertes Stadtentwicklungskonzept. Stadtumbaugebiete. Halle, S. 75-89. URL: http://www.halle.de/push.aspx?s=/VeroeffentlichungenBinaries/266/199/br_isek_stadtumbaugebiete_2008.pdf (28.04.2011)
- /174/** Stadt Halle (Saale) [Hrsg.] (2010): Umweltatlas Halle (Saale). URL: http://umweltatlas.halle.de/ua_text.asp?themen=stadtplan_grau&layer=040103 (10.07.2010)
- /175/** Stadt Halle (Saale) [Hrsg.] (2011): Sonderveröffentlichung. Stadtteilkatalog 2010 der Stadt Halle.
- /176/** StaBA (Statistisches Bundesamt Deutschland) [Hrsg.] (2008): Fläche und Bevölkerung nach Ländern und Regierungsbezirken (Stand: 31.12.2006). In: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden.
- /177/** StaBA [Hrsg.] (2009): Luftemission 2006 nach Produktionsbereichen und Energieträgern (Stand: November 2008). In: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden.
- /178/** STaLA (Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt) [Hrsg.] (2011): Kreisfreie Stadt Halle - Bevölkerungsbewegungen (Stand 31.12.2010). URL: <http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/bevoelkerung/bewegungen/index.html> (25.07.2011)
- /179/** Stegemann, A. (2010): Dienstleistungen von Ökosystemen. In: NABU (Naturschutzbund **/180/** Deutschland e.V.) [Hrsg.]: Faltblattreihe Handlungsoptionen. Naturschutz im Klimawandel. Berlin. URL: www.natur-im-klimawandel.de (29.06.2011)
- /181/** Strohbach, M.W. / E. Arnold / D. Haase (2012): The carbon footprint of urban green space - A life cycle approach. In: Landscape and Urban Planning, Vol. 104, S. 220-229.
- /182/** Strohbach, M.W. / D. Haase (2012): Above-ground carbon storage by urban trees in Leipzig, Germany: Analysis of patterns in a European city. In: Landscape and Urban Planning, Vol. 104, S. 95-104.
- /183/** Strohbach, M.W. / E. Arnold / S. Vollrodt / D. Haase (2011): Carbon sequestration in shrinking cities – potential or a drop in the ocean? In: Rauch, S. / G.M. Morrison (Hrsg.) Urban Environment. S. 61-70.
- /184/** Ter-Mikaelian, M.T./ M.D. Korzukhin (1997): Biomass equations for sixty-five North American tree species. In: Forest Ecology and Management, Vol. 97, S. 1-24.
- /185/** Trendelenburg, R. (1955): Das Holz als Rohstoff, 2. Aufl., München.
- /186/** Vereinte Nationen (1997): Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.
- /187/** Vollrodt, S. (2011): Das CO₂-Senkenpotential urbaner Gehölze im Kontext postwendezeitlicher Schrumpfungsprozesse. Die Waldstadt-Silberhöhe (Halle/ Saale) und deren Beitrag zu einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung. Dipl.-Arbeit. Institut für Geowissenschaften und Geographie. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle.
- /188/** Wenk, G. / V. Antanaitis / S. Smelko (1990): Waldertragslehre. Berlin.
- /189/** Whittaker, R.H. / G.M. Woodwell (1968): Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest. In: Journal of Ecology, Vol. 56, New York, S. 1-25.
- /190/** Wittig, R. (1993): Flora und Vegetation. In: Sukupp, H. / R. Wittig [Hrsg.]: Stadtökologie, Stuttgart / Jena / New York, S. 198-235.
- /191/** World Bank (2008): The Global Monitoring Report 2008. Washington.
- /192/** Zianis, D. / P. Muukkonen / R. Mäkipää / M. Mencuccini (2005): Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. In: Silva Fennica . Monographs 4. Tammer - Paino Oy (Finnland). URL: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/smf/smf004.pdf> (10.08.2010)

The Natural History of Ooliths: Franz Ernst Brückmann's Treatise of 1721 and its Significance for the Understanding of Oolites

ROBERT V. BURNE¹, J. CHRIS EADE², & JOSEF PAUL³

¹RESEARCH SCHOOL OF EARTH SCIENCES, THE AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY, CANBERRA ACT, AUSTRALIA. E-MAIL: ROBERT.BURNE@ANU.EDU.AU

²VISITING FELLOW, CENTRE FOR ASIAN SOCIETIES AND HISTORIES. THE AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY, CANBERRA ACT 0200, AUSTRALIA. E-MAIL: JCEADE@GMAIL.COM

³ABT. SEDIMENTOLOGIE, UMWELTGEOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTLICHES ZENTRUM DER UNIVERSITÄT, GOLDSCHMIDT-STR. 3, 37077 GÖTTINGEN. E-MAIL: JPAUL@GWDG.DE

Schlüsselwörter: Oolithe, Brückmann

Keywords: Oolites, Brückmann

Zusammenfassung

Franz Brückmann schrieb 1721 seine erste Abhandlung über Oolithe. Wir stellen hier eine Übersetzung des lateinischen Originaltextes ins Englische vor. Brückmann beschreibt die Herkunft des Namens Oolith und seine Synonyme; interpretiert Oolithe als Ansammlung von Fisch-Eiern; klassifiziert sie als Steine; gibt Auftreten und Häufigkeit an; erklärt das Ablagerungsmilieu und Prozesse der Versteinering und die große Menge der gefundenen Eier; beweist ihre biologische Herkunft und ihre biologischen Beziehungen; unterscheidet die Oolithe von den Pisolithen und gibt Orte an, wo sie gefunden werden. Wir kommentieren Brückmanns Text, besprechen die Wirkung seines Werkes und verfolgen die Forschung über Oolithe bis zum frühen 20. Jahrhundert. Wir schließen, dass Brückmanns Abhandlung am besten als Überblick anzusehen ist, der eine Grundlage für spätere Forschungen bildete. Sein wichtigster Beitrag war, Oolithe eher als Anhäufungen von biologischen Überresten als „Spiele der Natur“ (*lusus naturae*) anzusehen. Einige von Brückmanns Zeitgenossen, wie Da Costa und De Saussure zweifelten, dass Fischeier versteinern können und – obgleich sie die biologische Herkunft einräumten – zogen es vor, sie als mineralische Konkretionen zu betrachten. Große Neuerungen in der Stratigraphie, Paläontologie, Mikrobiologie, Mikroskopie, vergleichenden Sedimentologie und Petrologie mußten stattfinden, bevor im 19. Jahrhundert signifikante Fortschritte von Brückmanns Interpretationen gemacht werden konnten.

Abstract

Franz Brückmann wrote his treatise on oolites in 1721. We present here an English translation of his Latin text which describes the following topics; derivation of the name “oolith” and its synonyms; interpretation as accumulations of fish-eggs; classification as stones; occurrence and diversity; environments of deposition and processes of lithification; explanations for the large quantities of eggs found; evidence for their biological origin; evidence for their biological associations; the distinction between ooliths and pisoliths; and localities of occurrence. We provide a commentary on Brückmann's text, and then review the impact of his work by tracing the subsequent development of research on Oolites up to the early twentieth century. We conclude that Brückmann's treatise is best regarded as a review paper that provided a platform for later research. His most significant contribution was to view oolites as accumulations of petrified biological remains rather than as “sports of nature”. Some of Brückmann's near contemporaries such as Da Costa and De Saussure doubted that fish eggs could lithify and, although conceding their sedimentary origin, preferred to regard them as mineral concretions. Major developments in the sciences of stratigraphy, palaeontology, microbiology, microscopy, comparative sedimentology, and petrology would be required before more significant advances could be made on Brückmann's interpretations.

1. Introduction

Oolites are limestones composed of spherical, concentrically laminated carbonate grains (ooids) generally up to about two millimetres in diameter. The lithology is represented in all geological periods. Brückmann (1721) would have been most familiar with the spectacular oolites of the Lower Buntsandstein (Lower Triassic) of northern and central Germany (Kalkowsky 1908, Paul et al. 2010). Here the constituent ooids can have diameters up to one centimetre and the oolite beds, varying in colour between brownish, reddish and white, are up to seven metres thick.

Humans have known and utilized oolites since ancient times. The celebrated Late Palaeolithic (24,000 and 22,000 years BCE) statuette, “the Venus of Willendorf” is carved from oolite (MacCurdy 1908, Szombathy 1909). Archaeologists have recently found a knife of Neolithic age (about 3 000 BCE) and some small Late Bronze Age (about 1100 -700 BCE) axes made from Buntsandstein oolite at Heeseberg (Heske et al. 2010). Many oolitic limestones form excellent building stones. In England Jurassic oolite (originally known as “Free-Stone“) have been used to construct much of the City of Bath, several Colleges of both the Universities of Oxford and Cambridge, the British Museum and many of the buildings designed by Sir Christopher Wren for London’s reconstruction following the Great Fire, most notably St Paul’s Cathedral. In the USA Mississippian Oolite from Indiana also makes an excellent building stone and has been used to construct many of the buildings of Indiana University, the Pentagon, and even parts of the Empire State Building in New York. Oolitic sand makes beautiful natural beaches in places such as the Bahamas. These are very popular for recreational activities because the round white grains are both relatively cool and smooth. At sometime in antiquity unconsolidated ooid sands were transported from North Africa to build a pleasure beach that is still used today at Cedraea, Sedir Adasi, in present-day Turkey, (Özhan 1990, El-Sammak & Tucker 2002). Cleopatra and Antony may have undertaken this remarkable early feat of coastal engineering in 33 BCE when Antony’s legions were based near Ephesus and when the couple were celebrating their relationship with a number of extravagant indulgences (Preston 2009, Goldsworthy 2010).

Pliny (77-79 AD) makes the first scientific mention of the rocks we now term “oolites”. He calls them “Hammites”, notes that they are “similar in appearance to the spawn of fish“, and classes them as precious stones. Agricola (1546) includes them in his treatise *De Natura Fossilium*, Book V, under the name “Ammonites” - “formed from sand in such a manner that it has the

appearance of fish roe and inside it sometimes has the same form and even the same colour and texture”. He later (Book VII) notes; “Some rock is similar in appearance to fish roe such as that found between Eisleben and Seberg”. This interpretation is reflected in the name Rogenstein (roestone), which has been used for this lithology in Germany since medieval times. Hooke (1665) published the first a microscopic examination of an oolitic limestone from Kettering, England in his famous work *Micrographia*. He notes that the grains “...appear to the eye, like the Cobb or Ovary of a *Herring*, or some smaller fish“. When magnified he saw that they have concentric structures that can be compared with the “shell“, “white” and “yolk“ of an egg. He noted that the grains lacked fine structures typical of plants or bones and suggested that the rock was formed “from a substance once more fluid, but afterwards by degrees growing harder, almost after the same manner as I supposed the generation of Flints to be made“. He considered the globular structure to be the result of the disruption of this immiscible liquid phase by the “workings and tumbling of the sea“.

It was Brückmann who wrote the first scientific treatise devoted entirely to oolites in 1721. He followed Volkmann (1720) in using the name “oolithos”, a Greek translation of the German “Rogenstein” or “Eierstein”. Brückmann describes oolites from several localities and horizons around the Harz Mountains in northern Germany, and also mentions occurrences in southern Germany and Switzerland. Brückmann was not the first scientist to use the term oolith, but he was the first who gave a detailed description of their characteristics including sizes of grains, colours, internal structures and regional occurrences. In this paper we present an English translation of Brückmann’s Latin text and then discuss the scientific significance and historical importance of his descriptions and interpretations.

2. Brückmann’s Treatise Translated

2.1. Biographical and Bibliographical Notes

Franz Ernst Brückmann (Fig. 1) was born on the 27th September 1697 in Marienthal, a small village near Helmstedt, some 30 km east of the city of Braunschweig (Brunswick). He attended the “Klosterschule” at Ilfeld and went on to study medicine at the University of Jena from 1716-1720. After graduation Brückmann settled as a physician in Weferlingen, east of Helmstedt, where his father had acted as local magistrate. In 1725 he received a doctorate from the University of Helmstedt and left Weferlingen for Braunschweig. In 1728 he moved to Wolfenbüttel, eventually becoming Court Physician to the Duke of Braunschweig. From 1747 he also held



Fig. 1 Portrait of F. E. Brückmann, 1737

the position of Assessor for the Collegium Medicum in Braunschweig. He had a passion for geoscience, especially mineralogy, and his work as a physician allowed him to pursue these interests. An important inheritance from a Hungarian uncle enabled him to travel widely and accumulate both a large library and a fine collection of geological specimens. Brückmann authored numerous publications in the fields of theology, natural sciences and mining. He was honoured by election to both the Imperial Academy of Sciences and the Royal Prussian Academy of Sciences. He died on 21st March 1753 at Wolfenbüttel in Lower Saxony.

The Mineralogical Biographical Archive provides an online annotated bibliography of Brückmann's writings at <http://www.mineralogicalrecord.com/libdetail.asp?id=218> (viewed 13/11/10).

“Specimen Physicum exhibens Historicam naturalem Oolithi“ is Brückmann's first publication. It was published in Latin in Helmstedt in 1721, the year that Brückmann graduated from Jena. From the signature on Page 4 of the first edition we learn that the writing of the treatise was completed at Weferlingen on 4th February

1721, just 3 months past Brückmann's 23rd birthday. Though a remarkable work for somebody so young, it does reflect a certain academic immaturity.

The 1721 edition has two dedications that give some insight into Brückmann's situation at the time. The first, on page 2, honours **Rudolph Christian Wagner** (cited as patron and a supporter) who was vice-rector of the university at Helmstedt. Wagner had earlier been private secretary to Leibniz, and remained his close friend throughout his life. In 1701 Wagner was made professor of mathematics and later professor of physics and doctor of medicine. Brückmann presumably went on to complete his Doctoral studies under Wagner. The second dedication extends over pages 3 and 4, and honours **Hermann Frideric Teichmeyer** (1685-1746) (cited as a supporter and a patron) professor of experimental philosophy at Jena from 1717 where he lectured in anatomy, surgery, medical-jurisprudence and botany and clearly had made a great impression on the youthful Brückmann.

“Specimen Physicum exhibens Historicam naturalem Oolithi“ was reprinted in 1728 on pages 127-140 of Brückmann's “Thesaurus Subterraneus, ducatis

Brunsvigii” which was published in Braunschweig. This edition lacks the original dedications and the volume is dedicated instead to **August Wilhelm**, Duke of Braunschweig and Lüneburg. Changes from the 1721 edition include a prefatory note and footnotes in German that update information, and the repositioning of the original figures to lie between pages 126 and 127 is explained. The text is otherwise identical to that of the 1721 edition, though works cited are now included in the list of references at end of the volume.

Notes on the Translation

Our translation of the text is based on a microfilm copy of the 1721 edition in the Library of Göttingen University. The translations of the footnotes are from a copy of the 1728 edition in the Ernst Mayr Library of the Harvard University (available on-line at <<http://www.archive.org/details/thesaurussubterr00brkm>> (viewed 21/May/2012).

Another copy of the 1728 edition has been digitized by the Max Plank Institute for the History of Science, Berlin, and is available on-line at:-

<<http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/ECHODocuViewfull?url=/mpiwg/online/permanent/library/TMRDQQA0/pageimg&pn=8&viewMode=images&ws=2&mode=imagepath>> (viewed 23/5/12).

We have not translated the introductory dedications. We give in parentheses original words or terms for which a translation is either ambiguous or not quite clear to us. We have translated the Latin “Conch” as “Shell-fish”. We do not use the term “oolite” retaining instead Brückmann’s terms “oolithos” etc. Similarly we do not translate his Latin terms for the constituent grains “ova, ovum, ovule etc”. We have adopted the modern spelling of place names; the old place names used by Brückmann are included in Appendix (i). Words or phrases marked with an asterisk are explained in the Appendix (ii). Biographical notes on the authors mentioned by Brückmann are given in Appendix (iii). His references to the literature are included in our reference list and identified thus †. The translations of the footnotes from the 1728 edition are shown in italics. Though carefully prepared, this translation should not be regarded as definitive. We have closely followed the structure of the original with the consequence that our grammar is awkward and the style decidedly stilted. Interested scholars are encouraged to consult the original Latin text.

2.2. The English Translation

Francis Ernest Brückmann

TREATISE (SPECIMEN PHYSICUM*)

establishing

The Natural History of Ooliths

Or

The eggs of fish and shell-fish turned into stone

Helmstedt

Printed by Salomon Schnorr

1721

Preface to 1728 edition:

*We have already described this stone in 1721 in another work (specimen *) which has been out of print for a long time. We will add here, as foot-notes, only things which we have learned since then.*

TREATISE establishing THE NATURAL HISTORY OF OOLITHS.

§. I. When I started to deal with *Ammonites*, a round grain of stone, appearing to the eye greater or lesser, and to present more detailed description and delineation of them, a few noteworthy things arose concerning their naming. The stone took its name from *amos*, sand, because the grain and *lapilli* of which it consists show a likeness to sand. It is also called Ammite, Hammonite, and more properly Oolith, from the Greek for egg and stone, or stone egg / egg-stone or stony egg, because the round grains of which it is composed are like the eggs of fish or shell-fish. The Germans in various Teutonic dialects call it Rogenstein, Regenstein, Fisch-Regenstein, Rögestein, scattered (*verschwemte*) and petrified (*versteinte*) Eyerstöcke, or Rogen.

§. II. Oolith is a class of stone composed of infinite petrified animal bodies; or, Oolith appears to be nothing other than the eggs of fish and other marine animals, e.g. shell-fish, turned into stone, exhibiting mineralised shell, albumen, and yolk to the aided (*armatus*) eye. A crude witness to a massive flood.

§. III. We place it in the category of stone, a hard and rigid substance, not pliable and not dissolving in water or oil, as our experiments confirm. However, our stone is not of one kind but differs among itself by turns, partly the size of eggs, partly by colour, partly by solidity (**A**). Martin Ruland in his *Dictionary of Alchemy* p. 40 s.v. Ammonite, distinguishes between this same great Ammonite, big *Regenstein* and smaller, little *Regenstein*

(called fish eggs in the dialect of many people); but the size of the eggs varies in many ways, as is seen from Figures I, II, III. These three species have round eggs not only in the cortex but in the innards themselves through the whole substance of the stone. But I found another species, exceeding the others in solidity, in the district of the Duchy of Halberstadt called Hamersleben, which when broken up reveals to the eye not round eggs, but pure triangles of which the basis is the circumference of the eggs but the cusps tend all to the centre; for an illustration, see Figure X. Frederic Lachmund in his treatise called *Oryktographia* Hildesheimensis*, p. 37, says Hammites, Rögenstein are so composed from sand that, so far as their shape goes they are like fish eggs, sometimes like sodium carbonate (*nitrum*) as to composition and colour. This class of stone is found in Saxony towards Alfeld and Hildesheim, as large as a walnut (*nucis juglandis*), sometimes bigger. Agricola Bk. V of Fossils [*De Natura Fossilium*] [states]: „I found a fairly large [one] in gravel, sub-purple in colour, which resembles (refert) a salmon egg.“ Johann Jacob Scheuchzer describes an iron Hammonite at Kaiseraugst in his Weekly *Erzehungen der Natur Geschichten des Schweitzerlandes*, no. 27, p. 106. As for the difference in colour and solidity, that which is found plentifully here in Weferlingen is for the most part brown, tending to reddish, not uncommonly also white: Oolith which is composed of tiny round eggs, is brown, and with white *ovules*, but in the centre, as to the yolk, it shows red, a great delight to the eye. This stone takes a polish, which, when a while ago I traveled to the Harz Mountains to see the sights of nature and works of art of the Harz Mountains, I gave to a man of Nordhausen who polished alabaster, to polish it. This polished stone (so fine is the polish) elegantly shines and the *ovules* stand out more, and indeed the *ovules* in the middle that are horizontally dissected by the polishing, shine only on the outer of the cortex and albumen; but those that are truly cut across where no more yolk is left, shine completely and the diversity of the substance, the shell, albumen, yolk can be seen by the naked eye.

Georg Anthon Volkmann who recently published *Silesiam Subterraneam*, in quarto, describes Oolithos Massiliensis, whose eggs he says are entirely white of various size. Some are of the size of the seed of Millet, poppy or Sinapus; the earth, with the matrices in which the eggs lie, is also white, etc. **(B)**

(A) *If the ovula are large, the stone gets other names; the largest are called Pisolithi and Orbias; but which are not described here; the other species Meconites has ovula of the sizes of poppy seed and the third Cenchrates has the size of millet and it may be possible*

to make more species; at the Nußberg near Brunsvig, the Meconites and Cenchrates have four kinds of colours.

(B) *In the Nußberg, these stony ovaria have various colours; some are yellow, others white, others brown and they lie in a red or brown matrix, others are grey.*

§. IV. We have seen the differences of this stone and the diversity of its species. We now turn to something else, namely to the origin of these little bodies. As for the globosity and roundness, no one will deny that this is not difficult to see with the unaided eye. Whether these round corpusculae are of animal origin there is much dispute among the experts: while some grant to us that the origin is animal and others, as we said a little before, see them as petrified and mineralised marine animal eggs; others resort to a sport of nature, and others ascribe them to some Ancient Creator making shapes of the earth's stones; and others find other causes. We leave to each his free opinion; in the meanwhile we will draw upon and examine the arguments that are directed towards the destruction of the opinion that we draw from the most learned in natural science, Büttner, Baier, Scheuchzer, the shining lights of their fatherland, to none unknown among the learned by their midnight-oil works, and by others not of inferior rank. But first it is our pleasure to reveal our opinion concerning the path and force by which the eggs came into our region, also the means of petrification.

The path and force by which so great heaps of eggs **(C)** came to our regions, remote from the ocean and mountainous to boot, was alone some universal flood commonly called a cataclysm, which also the aforementioned lights of science, before us, Scheuchzer, Büttner, Baier, and Ray, and much evidence fully establishes. The stony hardness that these eggs exhibit, is to be ascribed to some petrifying liquid (*succus*), we believe.

For when, from the intolerable iniquity and evil of man, the divine torches welled up and the divine numen opened the deepest springs of the earth and the cataracts of heaven, divine catastrophe followed: beneath which the whole globe was as it were divided: above, terrestrial with muddy watery things; watery with terrestrial, animal and vegetable with sand, a sludge of earth of various kinds, and as I may say, buried together which as time passed coalesced into one lump, which mass by petrifying liquid or mineral (which by others is called *Archaeus* of the earth) saturated in many places, made heavy and consolidated (*impleta*), turned into stone or mineral, this stony metamorphosis not only of fish and shell-fish eggs but endless other animals and vegetables whose various

parts, of which an account, if to make one of it, would require a special treatise.

(C) *In the Nußberg, so much Rogenstein is extracted that houses can be built and streets paved daily. Also the St. Andreas Church, a large building in Braunschweig, is made of this stone.*

§. V. The group of those who refer our Hammonite to the mineral kingdom convince themselves that the main argument against the eggs is their quantity, for they try to prove from their huge and almost uncountable number the weakness and fragility of our opinion that these *ovaria* are of animal origin; for they say that no one can easily be persuaded in himself to be presented with an infinite number of petrified eggs all of animal origin, and from this are they not better supposed mineral? To which in the following manner we reply. We will not be able to fix on the truth of this by any reasoning that there are, to be sure, numberless such eggs turned into stone, they can still nonetheless have been eggs of animals and the unspeakable number of animality, as I may say, nothing could reduce. Leeuwenhoeck, the famous anatomist, examined the shell-fish ovary and left in his writings that it consisted of 1,728,000 *ovules*, which the celebrated anatomist Dn.D. Langius, the book *De Orig, lapid*, p. 48 cites and entirely agrees. If therefore one shell-fish has so many *ovules* how much could not a infinity of shell-fish produce and thousands of fishes with which the seas and rivers abound, genera and species, for the marine kingdom is said to rejoice in more kinds of fish and shell-fish than the vegetable kingdom has of plants, besides, this Oolith is not found everywhere and in all regions but only here and there; e.g. in certain totally rocky places neighbouring the Harz Mountains exhibit nothing else than this kind of rock; again, in Halberstadt and especially around the settlement of Weferlingen where the land is not so much covered with them but still stony, from where the stone for building is quarried **(D)**. For which no other reason can be assigned than that a global wind (*Aeolus macrocosmicus*), ruling during the flood and stirring the waters, drove the eggs flowing in the waters of the flood to certain places; for the whole realm, and whole regions lack them and as must further be said, the multitude still sets before our eyes the fecundity of the formerly blessed world and its divine diversity before the flood.

(D) *From the Nußberg, there are many 100 cartloads picked up.*

§. VI. They bring another argument who think *Oolite* is to be taken rather for a sport of nature than for true mineralised animals. It is of this sort of quality and tendency: they say they are given *ovula* of such smallness

that they scarcely exceed the size of the smallest poppy seed in mass **(E)**, and they are the smaller because they were of necessity suffocated in the immense floods of the universal cataclysm and changed into confusion by the inevitable necessity of Chaos: they firmly persuade themselves that it is therefore much safer to attribute the *ovula* to a sport of nature. But the consequence of this argument is not by that token secure, but is false and labours under this mistake: they could certainly be suffocated, could be changed in the confusion of Chaos. We along with those that have a simpler alternative (Büttner, Scheuchzer and Baier), consider that the ovaria, in face of this miserable turmoil, piled up in certain places by the strength of the wind and changed again, stayed submerged in mud and filth, which being soft preserved it undamaged and less torn about. And while the water of the flood dried up, mineral vapours and stone-making liquids (*succi*), to which various names are given, permeated not only through the very layers of the earth but through all that in them came in the way; numberless they communicated their power successively both to the animal and the vegetable kingdom, congealed them and turned to stone, which made stone in this our age; they belong to the community of the mineral kingdom. However we admit these ovules could be pressed together in the universal flood in the manner described, but we are compelled to admit that in modern times they appear mineralised, not compressed and torn about. Moreover the *ovula* of this stone to the aided eye show a cortex or shell, albumen and yolk, **(F)** complete lamellas and coverings, one upon the other, which stated parts of the egg can be better seen in a polished stone, which also let it be admitted by those who refer to our stone as a sport of nature.

(E) *The smallest species of the Nußberg is dark red and so small that it is hardly seen by eyes. It is present in a stratum of the so-called Grossebruch (Large Quarry).*

(F) *Ferrandus Imperato, Histor. Natural. Lib. XXIV, Cap. XXVII, pag. 761: If the Rogenstein is laid into fire, it will be very finely calcined and gets white like snow, but as the gluten is also burnt, it will be breakable and disintegrates into powder.*

§. VII. One particular Hammite demolishes the opinion of those who deny our Oolith to be the remains of this deplorable state. Baier, Büttner make mention of this and Volckmann in his *Silesia subterranea*. They gather together in their *Lithophilacium**, among the rarer, rocks that exhibit not only eggs but the foetus of Mytuli, striated shell-fish, turbinulate, Entrochoi, Asterias, corals and other marine (organisms) within the said Ooliths, whose

images may be found conveniently in the cited works. **(G)** Büttner in *Rud. dil. test.* p.233 examines a certain fissile stone from Eisleben, which shows with one face fish, on the other grain here and there. Whether this is to be taken as a fish *ovule*, when fish are observed in its vicinity the well-known author leaves others to say. Langius, already cited above, exhibiting together stones ovules and shell-fish gave them a particular name and called them matrices of shell-fish, as can be seen in his *Hist. lapid.* fig. Silesia, rich in this species of stone, has other examples.

(G) *There are no shell-fish (mussels) in the Rogenstein of the Nußberg; but we found at that hill a snailstone a lapidem pentagonum, which can be seen at Tab. II, Fig. II a flattened Echinum. which will be mentioned at the second Thesaurus.*

§. VIII. Many confuse this stone with Pisolith, which however differs not only as to the cortex but also as concerns the farinaceous white medulla, certain of which kind can be seen in certain Lithophilacia*. Besides the stone in which the pisoliths lie is not so hard as Hammite. They can also more easily be dislodged and extricated from the stone matrix and large Ooliths that sometimes adhere so firmly to their matrix that they admit of a shiny and elegant polish like marble. The other specific differences I do not touch upon, when what can be said about pisolith and phacolith worthy of note I propose for a future publication.

§. IX. As for its native place or country (for I call it patria where it is at present found) around Weferlingen in the Duchy of Halberstadt, it is found in thousands of hundredweight. **(H)** From which circumstance I came to publish this. If other geological reports are desired we will find them in various places. Thus David Sigismund Büttner, *Rud. div. test.* Plate XXVII no. 17 shows us Ooliths all from eggs of various size sent to the author from Vienna. **(I)** He also makes mention of *Ichthyolith mansfeldensis* which on the other side exhibits various round grains. And it is found also in the county of Mansfeld in sandy excavation not far from the town of Schraplau according to Büttner in his *Corallographia subterr.* The author while he shows various illustrations of stone, e.g. shell-fish, laevia, gyrata, echinata, pryphata, echinata, gryphata, dentata, ferrata, murices, turbines, neritae, entalia, &c and where they are found, he says among them are Hammitites or petrified fish ovaries: cap VIII, p. 51; and Johan Jacob Bayer in his *Oryctographia* Norica* cap. VII *De petrif. ... univ:* he recognises Heimburg and Sulzberg in the territory of Nürnberg as the home of this stone, he says in the place cited „I show in Tab VI Fig 31 a body of sublute eggs in a block of stone; often met

in Heimburg and Sultzberg“, but he shows a much better image in Fig 30 mixed up together from ovules and what seem much to exceed them in size, from the smallest shell-fish, nautilus, turbins, etc. Nor is Switzerland devoid, as can be seen in many places in J. J. Scheuchzer, op. var. He shows us an elegant Plate in his *Phys.* Pt. II, p.69. G.F. Mylius, *Memorabil. Saxon. subterr.* Pt. II, p.69 (writes) that the ways around Ascherleben and Alsleben and other villages near the Harz are full (of *oolites*), whole quarries of this species are found and moreover they are dispersed at various localities in our country of Saxony & c. Boëthius de Boot in his *Hist. lapid.* II cap. 236 and Fred. Lachmund, *Oryctographia* Hildesheimensis* p.37. They are also found in Saxony near Alfeld and Hildesheim, the size of walnuts (*nucis juglandis*), sometimes bigger; nor is this stone unknown in Silesia and can be seen in many places in Georg Anthon. Volckmann *Silesia. subterr.* where various Plates are found. What further evidence is required (Quid ergo pluribus opus)? **(K)**

(H) *In the often mentioned Nußberg yields thousand hundredweights of several species.*

(I) *We searched very eagerly in the area around Vienna anno 1723 and 1724, but we did not find the smallest track or trace of Rogenstein, but there were abundant fossilized shell-fish and snails.*

(K) *Between Hamersleben in the Duchy of Halberstadt and Helmstedt, we find a quarry at an old tower near the road, where much Rogenstein is present; among them were the most beautiful dendrites; from which are not mentioned by any authors.*

§. X. This then is what we wished to publish on petrified eggs of fish and shell-fish, fragments of the true Flood, monuments and witnesses of the divine wrath in the simplicity (*tenuitas*) of a young man (*pro tenuitate juvenalis ingenii in lucem edere voluimus*), seeking from readers that they will examine it with an equable mind and if perhaps they find it unsatisfactory to pardon it. Nor do I think any will be a severe and exact judge of youthful industry but prefer from their thinking to add the opinion (*animos addere*) to that of one attempting such matters. industry but prefer from their thinking to add the opinion (*animos addere*) to that of one attempting such matters.

3. Commentary on the Text

Comments are made on each of Brückmann's ten chapters. A title is suggested for each chapter.

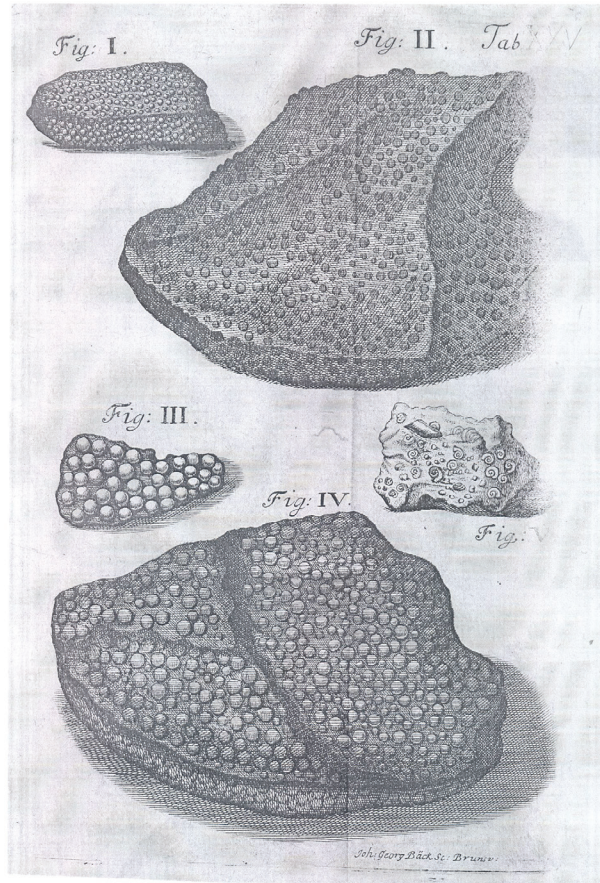


Plate 1 Brückmann's figures I – V

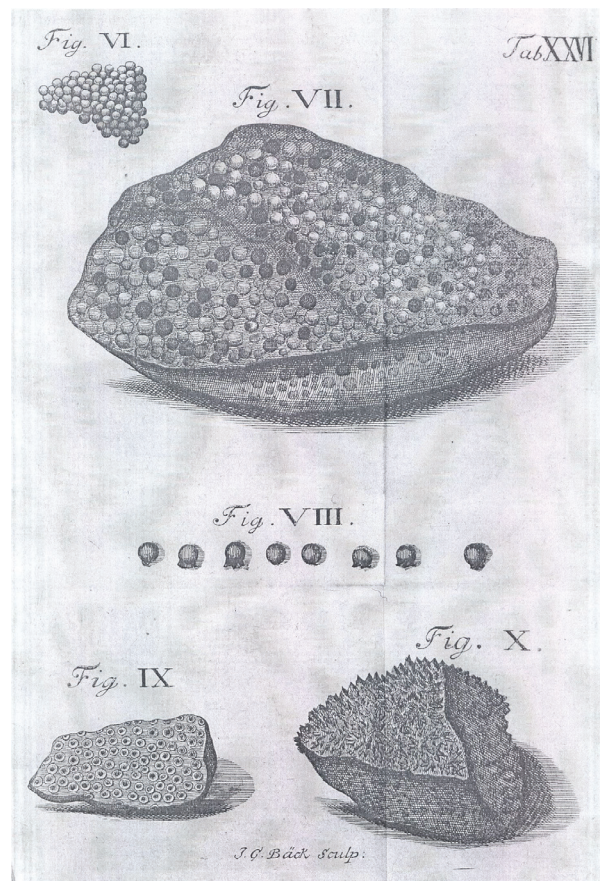


Plate 2 Brückmann's figures VI – X

§ I- Introduction and origin of the name Oolith

Brückmann discusses the various names by which the lithology has been known. The name “Ammitite” derives from Pliny (77-79) who notes that “Hammites is similar in appearance to the spawn of fish: there is also a variety of it which has all the appearance of being composed of nitre (sodium carbonate), except that it is remarkably hard”. Da Costa (1757) summarises some of the confusion that had arisen in interpreting Pliny’s description. The derivation of this name is clearly from the Greek Ammos (= sand). Immediately following the description of Hammites, Pliny goes on to describe “Hammonis Cornu” which was “reckoned amongst the most sacred gems of Aethiopia: it is of a golden colour, like a ram’s horn in shape, and ensures prophetic dreams, it is said”. The name Hammonis Cornu (= “the Horn of Ammon”) makes reference to the legend of Bacchus (or some say Hercules) and his soldiers being lost in the desert and being saved by the appearance of a ram that led them to an oasis. The grateful Bacchus established a temple there to Jupiter, who he renamed “Ammon”, because of the sandy surroundings (for details of this story see Lempriere 1822). In reality the name Ammon is the Greek adaptation of Amon, the god of Ancient Thebes (Breasted 1944), and its predecessor the Kushite god Amun to whom a temple had been built at the Oasis of Ammonium (modern Siwa). Amun of Napata was frequently depicted as a ram-headed human figure with forward curving horns typical of the species *Ovis platyura aegyptiaca* (Welsby 1998, p. 75). The stones that Pliny refers to as “Ammonis Cornu” are pyritised fossil Ammonites that bear some similarity to the shape of a ram’s horn. Agricola (1546: 98) also refers to “ammonis cornu” in the vicinity of Hildesheim (from

the fortress of Marienburg to the lower city and on to the village of Hasede). Unfortunately Agricola does not refer to “Hammites”, but instead uses the term “Ammonites” to refer to a rock “formed from sand in such a manner that it has the same appearance of fish roe and inside it sometimes has the same form and even the same colour and texture”. Today these “Ammonis Cornu” are known as Ammonites, and the term “Cornu Ammonis” is used in anatomy to describe regions of the hippocampus in the brain (De Garengot 1742). To add to the confusion the Ammonites include the genus *Hamites* in which the final coils don’t touch each other. These give their name to the “Hamitenschichten” in southern Germany that represent a calm, clayey facies of the Middle Jurassic.

Brückmann proposes the name oolith (Greek “egg stone”). Brückmann was not the first to use this term. Volkman (1720), for example, wrote “We like to recall also the Oolithi, also known by the people as Hamitae, Ammitae, in German Rogenstein. They are of animal origin, nothing different than roe from water animals which are petrified”. While Brückmann uses the Greek form (Oolithi) to describe the rock, he uses the latin (Ovum) to describe the rounded grains of the rock, which he took to be the lithified eggs. It was not until Kalkowsky (1908) that these constituent grains were also given a Greek-based name –“Ooids”.

§ II- Interpretation as accumulations of fossil eggs

Brückmann supported the then accepted interpretation that oolites are composed of petrified eggs of fish and shell-fish. He uses either a lens or microscope to examine the internal structure of the grains, and considers that he can see shell, albumen and yolk. He makes no

EXPLANATION OF THE FIGURES (Plate 1 and Plate 2)

Fig. I. Tiny ovules that are hardly the size of poppy seed

Fig. II & III. Larger of same

Fig. IV. Ovules of various size in one stone

Fig. V. Reproduced from Baier’s *Oryktographia* Norica*. Shows eggs with barely-hatched (exclusos) shell-fish foetuses

Fig. VI. Reproduced from Scheuchzer’s *Physica*

Fig. VII. Matrices or empty spaces from ovules and some *ovules* jumbled in one stone

Fig. VIII. Ovules separated from the matrix

Fig. IX. Ovules horizontally dissected and examined under power where the cortices are in sunlight, albumen and vitellum

Fig. X. The interior composition (substantia) of Oolith from Hamersleben

mention of the similar observations of Hooke (1665). Brückmann follows Volkmann (1720) in considering these grains to be the actual remains of eggs, and in concluding that these rocks are indeed evidence of the effects of the Great Flood.

§ III- Classification, occurrence and diversity

The systems of classification available to Brückmann were based on a descriptive rather than a genetic understanding of geological specimens. Pliny (77 - 79 AD) was the first to classify oolites when he placed “Hammites” among the precious stones. Agricola (1546) proposed a similar classification in his *De Re Fossilium*, Book V where “Ammonites” are classed as a species of the second genera of stones – gems. Brückmann, who was aware of both these works and also of the classification system proposed by Boëtius de Boodt (1609), classes the oolithi as stones. He describes several varieties, depending on the size and composition of the grains. These include Scheuchzer’s (1705-1707) description of iron oolithi from Kaiseraugst, and the Oolithos Massiliensis described by Volkmann (1720). Oolithos Massiliensis is known today as *Dirina massiliensis*, lichens of both a circular shape and white colour that are reminiscent of ooids. Pitton de Tournefort (1694) had earlier described this species in his book “Elements de botanique” as an autonomous class of plants. Brückmann mentions not only oolites from Lower Buntsandstein localities, but also oolites of other stratigraphic positions (Tab. 1). There are Upper Jurassic oolites in the areas of Alfeld, Hildesheim and Weferlingen in northern and central Germany. The iron oolites from Kaiseraugst in Switzerland and from localities near Nürnberg in southern Germany were probably only known to him from the literature. Brückmann mentions ooids the size of walnuts. This may be based on a misreading of Agricola (1546). On page 99 in the paragraph following his description of *Ammonites* (i.e. Oolithos in the sense of Brückmann) he mentions: “A certain genus of stone is found in Saxony near Alfeld and Hildesheim the size of a walnut or even larger. They belong to the same genus that I shall describe in Book Seven”. We consider that these “Walnuts” are clearly different from ooliths in size and structure. It is possible that they are concretions or intraclasts composed of cemented clusters of ooids.

§ IV- Environment of deposition and process of lithification

In 1721 the influence of the Church was still strong enough for scientists of the time to strive to correlate scientific interpretation with Biblical teachings. This atmosphere certainly limited the free development of

scientific theories, as is clearly demonstrated in the writings of John Ray (1721). Edwards (1967) has described the late 17th century and early 18th century as the “heyday of the Diluvianists” who believed in a universal flood and cited as evidence for it the remains of marine organisms preserved in rocks far from any sea. This theory at least allowed that fossils were the remains of life forms that had been transported by the flood. While Brückmann mentions those who see oolites as “sports of Nature” or as shapes fashioned by an “Ancient Creator”, he cites Scheuchzer, Büttner, Baier and Ray to support his interpretation that the oolithi were composed of the eggs of marine animals transported by the Great Flood and rapidly accumulated in one large deposit. Brückmann, in an attempt at objectivity, starts this chapter with a descriptive rather than a genetic name for grains that make up the oolites. Everywhere else he refers to them as “ova”, but in here they are described as “little bodies” or “corpusculae”. Brückmann considered that these were indeed eggs transported by the waters of the Great Flood in a soft, unlithified state and accumulated in vast numbers. These deposits were then indurated after deposition by a percolating petrifying liquid comparable to the “succus lapidescens” of Agricola (1544). Brückmann does not consider the possibility that there may have been several periods of inundation depositing beds of Oolithi at different times. He makes no mention of the suggestion of Hooke (1705) that repeated alterations in the distribution of land and sea had occurred and that they were caused by earthquakes which gave rise to the successive elevation of strata containing marine fossils – a concept that presaged the theory of stratigraphy and the use of fossils as chronological indices (Smith 1815). Brückmann could not have been aware of Leonardo Da Vinci’s earlier unpublished arguments against a single global inundation for the origin of fossils in uplifted strata far from the sea (reproduced in Edwards 1967, p. 16-18), though, through his patron Wagner, he may have been aware of the then unpublished views of Leibniz (1749).

A footnote to this chapter mentions that oolithi were used for paving streets, building houses, and even St Andrew’s Church in Braunschweig (Fig. 2). We suppose that Brückmann mainly studied oolites in quarries from which building material was being extracted. In most of these localities Lower Buntsandstein rogenstein is generally not of sufficient quality to be used as a facing or Free-stone. In medieval and early modern times, transport of heavy stones was very expensive. Therefore, people generally used stone from quarries in the immediate vicinity to build their churches and houses. Most private houses in Germany were half-timbered and consisted of wood and loam. Only sacred buildings, town halls, guild halls and the houses of wealthier people were built of



Fig. 2 The spire of the Andreas Church in Braunschweig. The lower part is built mostly of red and white rogenstein whereas the upper part consists of white Muschelkalk freestones.

stone (Fig. 3, 4). The distance between the quarry and the building site was in most cases 10 km or less. The rocks from the quarries Brückmann mentioned and described, were generally not used for building churches or houses, but rather for constructing walls and or as cobblestones to pave roads. The Rogenstein contrasts with the excellent building stones provided by Jurassic oolites in England and Mississippian Oolites in America. The oolites from Alfeld and Hildesheim are probably from quarries in Upper Jurassic rocks, the Kimmeridge Beds and the Korallenoolith (Corallian Oolite; Vinken 1974). Both units consist at the greater part of oolites. They were already being exploited in Brückmann's time.

§ V- Explanation for the large quantities of eggs involved

Brückmann presents evidence to support the suggestion that eggs could be produced in large numbers, and that the sheer quantity of grains does not preclude a biological origin. He cites the work of Antoni van Leeuwenhoek the pioneering microscopist and microbiologist who first established that huge quantities of ova and spermatozoa are produced by organisms. Brückmann proposed that their vast concentration in certain localities was a result of them having been driven together by wind-generated currents. In this he follows Volkmann (1720) who said (p. 156, §7) "They occur individual or mostly in heaps, as they hang together in

statu naturali in slime. Their enormous number indicates the great fertility of the first world. The often observed dissimilarity of the eggs proves that the power of wind and waves has driven together all sorts like roe".

§ VI- Evidence for a biological origin

Brückmann attempts to counter the argument that the oolithi are sports of nature and therefore not of biological origin. He refers to Chaos, the name used at the time for initial, formless state of the universe. He concedes that though the oolithi now belong to the Mineral Kingdom as a result of later lithification, he argues that the original eggs belonged to the animal kingdom. They were initially soft and were concentrated by winds and then buried in soft mud allowing the preservation of their structure and prevented them from being torn up. He repeats the argument that the *ovula* have an internal structure of concentric lamellae that he considers show a cortex or shell, the albumen and a yolk. In these conclusions he again follows Volkmann (1720) who stated „After grinding down to the centre of the small eggs, it is possible to see the small peels (tunica), the white and the yolk, and also by the naked eye the breed".

§ VII- Evidence for biological association

To give further support to his argument for a biological origin Brückmann here cites a number of



Fig. 3 The old market place of Braunschweig. From left: the clothiers' Guild Hall, the Martini Church and the Old Town Hall. All these medieval buildings are made of red rogenstein from the Nussberg.

examples of oolites that contain ovules associated with the remains of other marine organisms.

§ VIII- Oolites are distinct from pisoliths

Brückmann emphasizes that oolites are not to be confused with Pisoliths or Phacoliths. He tantalizingly promises to document these differences in a later publication (not so far identified).

§ IX- Oolith localities

Here Brückmann describes several other authors' accounts of oolite localities. It is significant that Büttner was sent samples from Vienna, but there is no indication that the samples actually came from outcrops in the vicinity of Vienna. Büttner's description of a specimen that on one side shows the cast of a fossil fish (*Ichthyolithi mansfeldensis*) and on the other side exhibits various round grains is not evidence for a juxtaposition of fossil fish and fossilized fish eggs as Brückmann suggests. The *Ichthyolithi* of



Fig. 4 Freestones of the Old Town Hall: Oolites and a stromatolite dome. The freestone block has been placed upside down. Thickness of the freestone is about 30 cm.

Mansfeld are now identified as *Palaeoniscum freieslebeni* of the Upper Permian Kupferschiefer. The round grains described by Büttner may well be small spherical grains of bitumen that Dr S. Brandt (pers.comm. 2010) reports occurring on some bedding planes at a specific horizon of the Kupferschiefer seam which is restricted to the area of Mansfeld and Eisleben.

§ X- A youthful request

In his concluding chapter the 23 year old Brückmann appeals for the reader to take his youth and inexperience into consideration when judging his conclusions that Oolites are petrified eggs of fish and shell-fish, deposited during the Great Flood.

4. Brückmanns legacy and the subsequent development of the understanding of Oolites

i. Initial impact

Brückmann's treatise was clearly an immediate success. The 1721 edition soon went out-of-print. Brückmann reprinted the work in 1728 as part of a larger volume describing the significance of the contents of 25 specimen cabinets curated for the Duke of Braunschweig (Brückmann 1728). Both these publications seem to have circulated widely. Wallerio (1778) cites Brückmann as an authority on Oolites in his *System Mineralogicum* published in Vienna. In England Brückmann's 1721 and 1728 editions are the earliest of nine works on Ooliths listed under "Oolithus" in the 1799 catalogue of the Library of the Sir Joseph Banks (Dryander 1799). The 1728 work also appears in the 1813 catalogue of the library of the British Museum. Evidence of the work's impact is demonstrated by the fact that very soon after their publication Brückmann's conclusions began to come into question. For instance Da Costa, who used the term "Hammites" was unimpressed by the fish-egg explanation proposed by Scheuchzer, Baier, Büttner, Volkmann and Brückmann. In his "Natural History of Fossils" of 1757, a work much admired by Linnaeus (Rouseau & Haycock 2000). Da Costa concluded that such large concentrations of grains in many different places in the world could not represent fish-eggs, and that fish-eggs were in any case "incapable of petrification". He further considered that a single deluge could not explain "the vast quantities and even strata of Hammita being found in different parts of the world". Da Costa (1757) concluded "The granules or grit of this stone, are all true small Stalagmitae or bodies

of a crustated structure, being composed of coats or crusts, including one another".

De Saussure (1779) described Oolites from the Jura Mountains and noted that "Plusieurs naturalistes ont regardé les petits grains comme des ovaires de poissons, et ont appelé ces pierres des oolithes, en allemand Rogenstein". While the German term (rogenstein) is acknowledged here, Brückmann's work is not cited. Instead De Saussure names as his source Valmont de Bomare (1764) who, in turn, refers to the "Memoire sur les Oolithes", by Prof. Schmidt of Basle. Schmidt (1762) regarded ooliths as "sports of nature". De Saussure rejected the fish-egg theory because he considered that fish-eggs would putrify rather than become mineralized, though he mentions that crab-eggs conceivably could become lithified. However he concluded that ooliths were "des dépôts ou des cristallisation" formed in agitated waters and rounded by the movement of water during formation, a conclusion reminiscent of that of Hooke (1665).

ii. Oolites and stratigraphy

In Britain the word "Oolite" is used instead of "Oolith". Hutton (1788, p. 252) was perhaps the first to publish this term, which he uses in passing when describing a clast in a limestone conglomerate as "species of oolites marble". Brochant de Villiers is credited by some with first using the term "oolite". In his "Traité de Minéralogie" (1801, p 529) he describes "Rogenstein – L'Oolite". He notes its occurrence in "Sweden, Switzerland and above all in Thuringia (Eisleben, Artern, Klosteroda)" and mentions that "Oolites had been long regarded as an accumulation of petrified fish eggs, but that this idea is unfounded". He does not include Brückmann in his citations. However this work was preceded by Hutton and also possibly by William Smith who Winchester (2001) implies used the term in when naming stratigraphic horizons he superimposed on Taylor and Naylor's circular map of the area around Bath (Fig.17 & page 123 in Winchester 2001). Certainly Warner (1811) uses the term on his "Fossilogical Map" of the same area. In fact William Smith (1815) used the term "Oolite" in a new way to identify stratigraphical units in what is now known as the Jurassic. Since Smith never elaborated on his use of the term, for an explanation of this we have to depend on the account of his good friend, Joseph Townsend (1813) who wrote: "...Oolite, called free-stone.....distinguished by Linnaeus under the appellation of *Marmor Hammites*, that is sand marble and is by him particularly noticed in Gothland, Saxony, Thuringia, and the Duchy of Brunswick. It is the Rogenstein and hersenstein of the Germans, so called from the resemblance of its component parts to fish spawn and millet seed.....The name of *Oolite*, i.e. egg

stone or spawn stone, from Oos and Lithos, answers well to the appearance of this rock. ...The appellation of *free-stone* is too general“. In Smith’s usage the stratigraphic units identified as “Oolites” were not entirely composed of Oolitic lithologies. This stratigraphic use of the term soon became generally accepted, for example by 1828 the French are clearly following William Smith’s stratigraphical usage (Rozet 1828).

iii. Growth of oolitic grains by carbonate accretion

De La Beche applied and developed Smith’s stratigraphic scheme in his role as the first Director of the Geological Survey of Great Britain. He had inherited a property, Halse Hall, in Jamaica (Chubb 1958) and during a visit to the Island in 1823-1824 became perhaps the first scientist to observe the formation of oolitic grains in modern tropical seas. He later noted that in places such as Jamaica waters highly charged in carbonate of lime under gentle to and fro motion in shallow water causes concentric coatings of carbonate of lime to form around small nuclei to form what he termed “oolites“ or “oolitic grains“(De La Beche 1851, p. 43, 148). Dana (1872) made similar observations on the formation of “oolite“ on beaches associated with coral reefs. He observed that these grains are “usually much smaller than the roe of most fishes, a resemblance which is alluded to in the name“.

Just as William Smith’s Geological Map revolutionised the science of stratigraphy (Winchester 2001), the work of Henry Clifton Sorby pioneered both modern techniques of microscopical petrology and the discipline of comparative sedimentology (Judd 1908, Folk 1965). He employed both approaches in the study of oolites. At first he refers to “the ovum-like concretions of oolite“ (Sorby 1851a, 1851b). Later (Sorby 1879) published detailed descriptions of Jurassic oolites. He discusses their petrology, fossil assemblages and interprets their depositional environments. He considers that some were deposited in still water, others by current action, and concluded that they must have formed in tropical seas. He finds that the oolitic grains were not in fact eggs, but, like De La Beche before him, suggested that they were the product of minute, prismatic crystals of carbonate “mechanically accumulating around a centre, something like the layers in a large rolled snowball“. He describes the diagenetic transformation of oolitic grains from concentric to radial structures as a result of re-crystallisation. Sorby also used the term “oolitic grains” for modern ooids he examined from the Bahamas and Bermuda. Unfortunately Sorby (1879) used ‘Sprudelstein’ or cave-pearls from a mineral spring at Carlsbad as the type examples for this study, and he drew attention to

the fact that Bahamian oolitic grains were less perfectly developed (Sellwood 1993).

iv. Microbial Influences on the formation of Oolitic Grains

Walther (1888, 1891) suggested that oolitic grains were formed by the decay of organic tissue. Rothpletz (1892) found oolitic grains within the sediments of Great Salt Lake contain the remains of blue-green algae (cyanobacteria) and concluded that the grains were the product of “lime-secreting fission-algae”.

Ernst Kalkowsky produced his landmark paper on “Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein“ in 1908. He had enrolled in the University of Leipzig in 1870 and worked under Prof. Ferdinand Zirkel who had studied the techniques and methods of microscopical petrology with Henry Clifton Sorby. It is therefore likely that Kalkowsky was familiar with Sorby’s mechanical theory of the formation of oolites when he commenced his own work on the Buntsandstein examples. In 1893, when Kalkowsky was Professor of Geology and Mineralogy at the University of Jena (Brückmann’s Alma Mater), he was contacted by Ludwig Knoop, a local School Teacher, who drew his attention to structures associated with ooliths in the local outcrops of the Buntsandstein that Kalkowsky later named “stromatolithe“. Kalkowsky was well prepared for research on the association of oolites and stromatolites, for not only did he have a strong background in both field mapping and microscopic petrography, it seems probable that he discussed this research with both Haeckel (who proposed the term “ecology“) and Walther (the founder of comparative sedimentology) who were among his colleagues at Jena. However he moved to Dresden in 1886, and the pressure of the duties of his new post meant that publication of his Buntsandstein research was delayed until 1908. The term “oolith” was so firmly entrenched in usage that Kalkowsky continued its use, even though he thought it “rather stupid” since the constituent grains were by this time clearly known to not be fossilized eggs. For consistency he proposed that these constituent grains be termed “Ooid” and he proposed the term “Stromatolith” for the layered bodies quite different from ooliths but found associated with them, and “Stromatoid” for the individual layers of the stromatolith. Kalkowsky (1908) mentioned that Ooliths had at that time been studied for two centuries. He cites Brückmann’s (1721) microscopic observation of shell, white and yolk structures within the grains. Kalkowsky concluded that ooliths and stromatoliths were genetically associated and

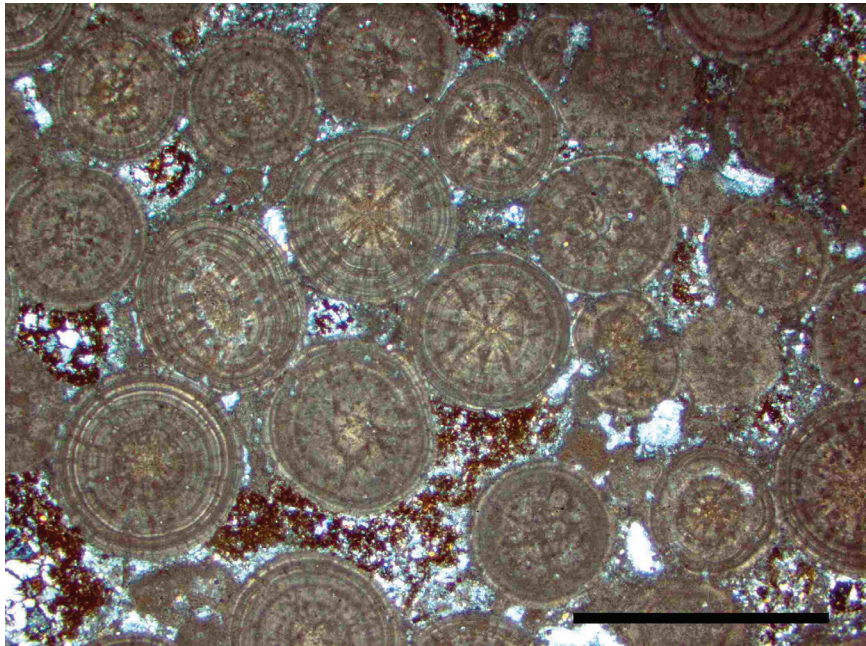


Fig. 5 Buntsandstein oolites in thin section. The oolites are partly recrystallized. Scale: 2 mm. Heeseberg.

that both were produced by minute “phytoorganisms“ (Paul et al. 2010).

Later Rothpletz (1915-1916) combined his experiences in Great Salt Lake with these concepts to the study of ancient associations of stromatolites (cryptozoon) and oolites in both Europe and North America, though he does not cite Kalkowsky (1908).

Linck (1903, 1909) was the first scientist to undertake laboratory studies on the formation of oolitic grains. He concluded that aragonite oolitic grains form as a result of calcium sulphate in sea water reacting with sodium carbonate and ammonium carbonate generated by the decay of animal and plant tissue.

Shortly after this, Drew (1911) added calcium sulphate to a culture of marine denitrifying bacteria and found finely laminated carbonate concretions were precipitated. He noted the resemblance between these concretions and oolitic limestones and concluded that the experiment had suggested the manner in which such oolites may have formed. Vaughan (1914) applied these results in scientific research on the extensive deposits of modern ooids on the Bahama Banks.

Bucher (1918) noted that the descriptions of Drew (1913) and Vaughan (1914) suggested that oolites were formed from colloidal calcium carbonate. He drew attention to the work of Schade (1909, 1910) who had studied the origin and structure of urinary calculi such as gallstones. Schade found that the transformation from an emulsion colloid to solid state gave rise to calculi with a radial crystalline structure if the emulsion was of pure

composition, but if other colloidal impurities were present then co-precipitation gave rise to calculi with a concentric structure. These findings were applied by Bucher (1918) to explain the genesis of Oolites and Spherulites.

v. Subsequent Research

Almost two centuries after Brückmann’s review had appeared, Brown (1914), who favoured an inorganic origin for oolites, published his own review of the development of scientific research on oolites and oolitic texture. He cites Hooke’s work on the “Kettering Stone“, but makes no mention of Brückmann’s treatise. Extensive research has been undertaken on ooids and oolites since 1914 and this has been summarised in several review papers by, among others, Simone (1981), Peryt (1983), and Siewers (2003). Although very significant advances have been made since 1914, these reviews serve to reconfirm the conclusion of Cayeux (1935) that the amount of conclusive information on the formation of ooids is small compared with the large number of published papers.

vi. Modern Terminology

By 1970 confusion over the use of the terms oolith, oolite, and ooid had become endemic in English-language publications. For example the term with “oolith” was often used to refer to the constituent grains rather than the lithology itself (see for example Bathurst 1971). Teichert (1970) proposed that the terminology be rationalized. He advocated dropping the term oolith, while retaining the term oolite for the lithology and ooid for the constituent

Tab. 1: Stratigraphic chart of the Mesozoic in Germany and northern Switzerland. Bold = oolites mentioned by Brückmann. In parentheses: minor important oolites.

			North Germany	South Germany
Cretaceous	Upper			
	Lower		(iron oolite)	
Jurassic	Upper	Tithonian	oolite	(oolite)
		<i>Kimmeridgian</i>	oolite	(oolite)
		Oxfordian	Corallian Oolite	
	Middle	Callovian		
		Bathonian		iron oolite
		Bajocian		oolite
		Aalenian		iron oolite
	Lower	Toarcian		
		Pliensbachian	(iron oolite)t	(oolite)
		Sinemurian	(iron oolite)	iron oolite
Hettangian				
Triassic	Upper	Rhaetian		
		Norian		
		Carnian		
	Middle	Ladinian		
		Anisian	(L. Muschelkalk)	
	Lower	Olenekian		
		Indusian	Rogenstein	

grains. It is interesting that Teichert, although educated in Germany, seemed completely unaware of Brückmann's treatise or the other 18th century German uses of the term "oolith", [e.g. Volkmann (1720) and Schröter (1771)] and mistakenly attributes the term to De Saussure.

5. Conclusions

Brückmann's interpretations follow the accepted conservative contemporary scientific opinion that was in keeping with the theological teachings of the time. His work was also limited by the primitive classifications available for describing geological materials that were most often procured to augment collections curated for rich and powerful people. Brückmann himself provided interpretations for the contents of the 25 specimen cabinets assembled for August Wilhelm, the Duke

of Brunswick (Brückmann 1728), and reproduced his 1721 treatise as part of the explanation for the contents of the 25th Specimen Cabinet. Many noted scientists of the period gained employment by cataloging and furnishing specimens for the "Steinkabinet" and "Kunst und Naturalienkabinet" of the aristocracy (Friess 1982). Townsend (1813) remarks on visiting "the cabinets of France" as a very important part of his geological travels. In the absence of concepts of uniformitarianism (Hutton 1798), geological succession (Smith 1815), biological evolution (Darwin 1859), or facies relationships (Walther 1893, 1894) these collections could only be arranged by classifications that were little more than lists compatible with an Earth History dominated by the generally held religious belief in a single Biblical Flood. This represented a considerable barrier to the understanding of geological processes and delayed the realization that similar marine

lithologies could be produced by separate marine inundations recurring at quite different times. Scientists who challenged the accepted view were either reluctant to have their theories published until after their deaths (Hooke 1705, Leibniz 1749), contrived to avoid even their posthumous publication (Da Vinci), or modified their views to accord with theological teachings of the day (Ray 1721, Townsend 1813).

Brückmann's treatise on ooliths represents a comprehensive review of the state of knowledge on the subject at the time. His key observations and interpretations had virtually all been previously published by others. These earlier works are generally, though not always, appropriately cited. Taking all his descriptions into account, Brückmann was a good observer. His statements are comprehensible and seem to be reliable. Brückmann does seem to be puzzled by the problem of accumulating large deposits of soft fish-eggs without deforming or destroying them. Despite problems with the fish-egg theory, he insists that ooliths are of biological origin. Unfortunately the virtual complete ignorance of microbiology in the eighteenth century would have prevented him from properly assessing the feasibility of plausible alternative biological origins for oolitic grains. Brückmann clearly considered that fossils found in rocks were the remains of marine organisms, and showed some basic understanding of processes of transport, deposition and lithification. After a strong initial impact, Brückmann's work was largely overlooked after 1813. Nevertheless his work represents a significant step in the evolution of the understanding of this enigmatic but important lithology. The wealth of scientific research on oolites and ooids since 1721 clearly shows that Brückmann's closing plea that *“(his readers) will examine (this work) with an equable mind and if perhaps they find it unsatisfactory to pardon it. Nor do I think any will be a severe and exact judge of youthful industry but prefer from their thinking to add their opinion to that of one attempting such matters“*... has subsequently been enthusiastically endorsed.

Appendix i.

Stratigraphic Positions of Oolite Horizons in Germany and Switzerland

There are several **oolite beds** in various stratigraphic positions around the Harz Mountains:

1. Upper Permian, Zechstein, Staßfurt Carbonate, SW of the Harz Mts., 0 - 50 m, marine - hyperhaline, rare associated fauna.

2. Lower Triassic, **Buntsandstein**, Rogenstein, N and S of the Harz Mts., several beds, 0-7 m, freshwater to brackish, no fauna known.

3. Middle Triassic, Lower and Upper **Muschelkalk**, around the Harz Mts., some metres thick, marine, associated with marine fauna, like bivalves.

4. Middle Jurassic, Bathonian, Bajocian N of the Harz Mts.

4. Upper Jurassic, **Corallian Oolite**, from NW to NE of the Harz Mts., 0-60 m, marine to hyperhaline, rare fauna.

5. Upper Jurassic, Tithonian, NW of the Harz Mts., 14 m thick *Oolites* correlated with stromatolites, evaporitic environment.

Oolite Localities mentioned by Brückmann

Alfeld: between Göttingen and Hannover in Lower Saxony. The 65 m thick Upper Jurassic Korallenoolith crops out there. Some beds contain concretions and intraclasts which consist of oolites. Their sizes vary between one and ten cm.

Braunschweig (Brunsvig): capital of the Duchy Braunschweig. Many churches, guild halls and the old townhall are built of rogenstein from the Nussberg.

Eisleben (Isleb): Rogenstein crop out near the town and at the slopes of the Süßer See.

Halberstadt: town in Saxony-Anhalt, outcrops of Upper Muschelkalk. About 10 km NW of Halberstadt, the Lower Buntsandstein with rogenstein horizons is outcropping.

Hamersleben: NE of the Harz Mts., between Halberstadt and Helmstedt where Brückmann lived; the next outcrop of Buntsandstein oolites is about 7 km north of Hamersleben.

Heimburg: in Franconia, the site of exploitation of iron oolites since the 18th century.

Hildesheim: NW of the Harz Mts. in Lower Saxony. There were quarries of the Upper Jurassic Corallian Oolite in the Galgenberg (gallow hill) and the

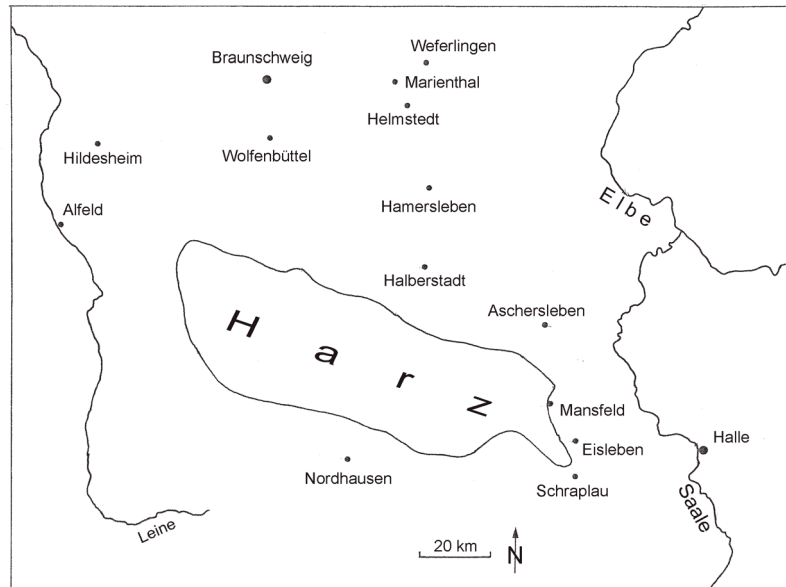


Fig. 6 Map of localities around the Harz Mts. mentioned by Brückmann

Steingrube (stone pit). The Steingrube was first mentioned 1324 as quarry and burning place of witches (Horst 1970). The Korallenoolith is about 50 m thick and consists of the Lower Oolite, an intercalation of limestones, and the Upper Oolite. The ooids are up to 2 mm thick (Schulze 1975). As a result of weathering their colour may change between brownish, yellowish and whitish hues. Weathering may also be responsible for the break-down of oolitic limestones to a powder-like substance, the “nitrum” or soda of Brückmann.

Kaiseraugst (Augusta Raurica): in Switzerland near Basel at the foot of the Jura Mountains. The Jura Mountains south of Basel contain an 80 m thick oolite horizon, the Hauptrogenstein formation which is of Bathonian age (Gonzales & Wetzel 1996). Additional, there are several horizons of iron oolites. Their age is Bajocian (Middle Jurassic).

Mansfeld: E of the Harz Mts, near Eisleben, situated in the Rogenstein area of the Buntsandstein.

Nordhausen (Northus) south of the Harz Mts: There are outcrops and quarries of Zechstein and Buntsandstein with oolite horizons. Near Nordhausen, the Werra-Anhydrit (first cycle of Upper Permian Zechstein) contains gypsum concretions with large crystals which were used until 100 years ago as alabaster spheres. There was an extensive fabrication of such things starting perhaps already in medieval times.

Nussberg: The Nussberg quarry mentioned by Brückmann (1728) was a large Rogenstein quarry first mentioned 1265 or 1271 (Ohm 2002). It is named after a patrician and entrepreneur Nottsberch who exploited the Nussberg for rogenstein. Many medieval and early

modern buildings in Braunschweig were constructed from Nussberg. Now it is part of a park within the town. It is mostly cultivated with many trees. Twenty years ago there was a vertical section of seven or eight metres displaying oolites associated with large stromatolites.

Schraplau (Scraplau): 13 km SE of Eisleben, Situated at the margin of the rogenstein area.

Sülzburg (Sultzburg): town about 40 km SE of Nürnberg, iron oolites of Middle Jurassic are exploited in the 17th and 18th century.

The Hartz Mountains (Sylvae Hercyniae): in medieval times these mountains were covered in forests, known as the Hercynian Forest. However there was a more or less complete deforestation in the 18th century due to mining activities. The area is now known as the Harz or the Harzgebirge.

Weferlingen (Weferling): east of Helmstedt and near the outcrops of Lower Buntsandstein Rogenstein.

Appendix ii. Glossary of Publication Terminology

Lapidary: A catalogue of mineral and rock types, together with their properties and uses.

Lithophylacium: Derived from the term for “Guard House” this word refers either to a museum collection of geological specimens, or to the catalogue of such a collection.

Oryktographia: Literally “a description of diggings” this term refers to what today might be termed a geological handbook or guide to a region.

Specimen Physicum: Literally a presentation of an idea on a subject in the physical sciences, and probably

best translated in present usage as a Treatise. The term is also used for other disciplines, e.g. Specimen Botanicum, Specimen Zoologicum, Specimen Astronomicum etc.

Appendix iii. Biographical notes on Authors mentioned or cited by Brückmann

Georg Agricola, (Bauer) (1494-1555): Studied languages and medicine at the universities of Leipzig, Bologna and Padua. Settled as doctor and pharmacist in Joachimsthal. Mayor in Chemnitz, Universal scholar. Founder of geoscience, mining and metallurgy. He mentioned in his famous book “*De Natura Fossilium*” *Oolites* and interpreted them as fish roe.

Johann Jacob Baier (1677-1735): Studied medicine at the universities of Jena and Halle, 1701 physician in Nürnberg, later in Regensburg. At the age of 27 he was professor of medicine and astronomy at the University of Altdorf/Nürnberg, later personal physician of the Kaiser. He published a book about the petrography of the rocks surrounding of Nürnberg “*Oryctographia Norica*” in 1708. Brückmann mentioned two localities with iron oolites: Heimbürg and Sulzberg. At both localities, iron oolites of Dogger age have been excavated in early modern times (Hornung 1958).

Anselm Boëtius de Boodt (Boëtius de Boot) (1550-1632): Physician and mineralogical advisor in Prague to Emperor Rudolf II. Regarded by some as the father of mineralogy. In 1609 he published “*Gemmarum et Lapidum Historia*”, the most important Lapidary* of the seventeenth Century.

David Sigismund Büttner (1660–1719): Theologian, poet and naturalist from Lichtenstein. He was pastor at Stedten and Schraplau, and then Deacon at Querfurt. In 1710 he published his “*Signs and Witnesses to the Flood*” which included descriptions of fossil bones from the palaeolithic site at Bilzingsleben. In 1714 he published “*Corallographia Subterania*”, the first treatise on a particular fossil group.

Ferrante Imperato (1550–c1631): Italian naturalist and pharmacist. Owned a prosperous pharmacy in Naples and founded that city’s Botanical Gardens.

Friedrich Lachmund, (1635-1676): Born in Hildesheim, studied of medicine, became physician in Osterwieck and later in Hildesheim. In 1669 he published “*Oryctographia hildesheimensis*”, a book about rocks, minerals and fossils found near Hildesheim.

Karl Nikolaus Langius (Lang, Lange), (1670–1754): Swiss Doctor and scientist born in Lucerne. He studied at Freiburg, Bologna, Augsburg, Rome and Paris. He was the personal physician of Marie-Ann of Austria up to the time of her marriage to King John V of Portugal in 1708. He then returned to Lucerne. He thought fossils were produced by finely divided, powdery germs which

had accidentally entered the earth, and grew without attaining life. Drawing partly on the ideas of his friend Joseph Pitton de Tournefort he wrote his “*Methodus nova et facilis testacea Marina pleraque debits& distinct in suas classes, genera & species distribuendi*”, published in 1722 in Lucerne. This is the first zoological book to use the binomial association of genus and species. This system was later adopted by Carl von Linneaus (1707-1778).

Antoni van Leeuwenhoek, (1632–1723): Dutch scientist and manufacturer of microscopes. He is considered to be the first microbiologist. He was born as Thonis Philipzoon. Later he called himself van Leeuwenhoek as his birth-place was near the Leeuwenpoort, the Lion’s gate. He ground lenses and constructed special microscopes which allowed a magnification of 270 times. He discovered and described three forms of bacteria and other microscopic organisms. He was also the first to record microscopic observations of muscle fibers, bacteria, spermatozoa and blood flow in capilleries.

Gottlieb Friedrich Mylius, (1675-1726): Secretary of the Elector of Saxony, published 1709 “*Memorabilium Saxoniae subterraneae*”. These are the oldest plates of fossil plants in central Europe.

John Ray (Rajus) (1627–1705): Regarded as the Father of English natural history, he was the first to give a biological definition of the term species. Ray outlined the essential principles of the cycle of erosion. Ray insisted that fossils had once been alive, in opposition to his friends Martin Lister and Edward Llywd. He wrote „These [fossils] were originally the shells and bones of living fishes and other animals bred in the sea“ (Ray 1692). However Ray was torn between theological and scientific interpretations when it came to fossils, concluding on one hand that fossils were “originally formed in the places where they are now found by a spermatic principle” but elsewhere again insisting that “fossils were originally the shells and bones of living fishes and other animals bred in the sea“ (Ray 1721).

Martin Ruland the Younger, (1569-1611): Physician and alchemist, physician of Emperor Rudolf II in Prague. His most important work, a dictionary of alchemy was published posthumously 1612.

Johann Jacob Scheuchzer, (1672-1738): Born in Zürich, physician and naturalist. Studied at the University of Altdorf/Nürnberg. Later became a physician in Zürich. He was a prolific author. He initially thought of fossils were ‘sports of nature’, but later became convinced that they are relics of the deluge. His “*Natural History of Switzerland* is a major work that covers the climate, topography, hydrology, glaciology, meteorology, mineralogy and fossils of the country. Another important

work is his *Physica Sacra* which in later editions (1731-33) contained 745 full page copper engravings of Biblical history from Genesis to the Apocalypse. He also published investigations of climatology, crystallography and palaeontology. He described the skeleton of a giant salamander which was found in Tertiary sediments as the remains of a human being who had perished in the Great Flood.

Georg Anton Volkmann (Volckmann), (1664-1721): Pharmacist in Liegnitz, Silesia. He proposed theory that antediluvian vegetation was of a much higher order than that of today, that plants had degenerated and wholesome, fruitbearing trees had been changed into thorns, thistles and other weeds.

6. References

† References in Brückmann 1721

- /193/** †AGRICOLA, G. (1544): *De ortu et causis subterraneorum*: Libr V; Basel (Froben)
- /194/** †AGRICOLA, G. (1546): *De Natura Fossilium*. – Translation by BANDY, M.C. & BANDY, J.A. (1955): *Geol. Soc. America. Spec. Pap.*, 63: 240 p.; New York.
- /195/** †BAIER, J.J. (1708): *Oryctographia Norica, sive rerum fossilium et minerale regnum pertinentium, in territorio Norimbergensi ejusque vicinia observatum succinta description* – 96p; Nürnberg (Michaeli).
- /196/** BATHURST, R.G.C. (1971): *Carbonate Sediments and their Diagenesis*. – *Dev. Sedimentology*, 12: 620 p., Amsterdam.
- /197/** †BOËTHIUS DE BOODT, A. (1609): *Gemmarum et Lapidum Historia, qua non solus ortus, natura, vis et precium, sed etiam modus qua ex iis, olea, salea tincturae, essentiae, arcane et magisterae, arte et chymica confici possint, ostenditur, Opus pricipus, medicis, chymicis, physicis, ac liberalioribus ingeniis utilissimum*. – 133p.; Hanau.
- /198/** BREASTED, J.H. (1944): *Ancient Times, a History of the Early World*. 2nd ed., 823 p.; Boston (Ginn).
- /199/** BROCHANT, J.M. (1801): *Traité de Minéralogie suivant les principes du professeur Werner, Rédigé d'après plusieurs ouvrages allemands, augmenté des découvertes les plus modernes, et accompagné de notes pour accorder sa nomenclature avec celle des autres mineralogistes français et étrangers*. Tome Premier. – 644 p.; Paris (Villier).
- /200/** BROWN, T.C. (1914) *Origin of Oolites and oolitic texture in rocks*. – *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 25: 745-780; Tulsa.
- /201/** BRÜCKMANN, F.E. (1721): *Specimen Physicum exhibens Historam naturalem Oolithi*. – 28 p.; Helmestadii (Salomonis Schnorri).
- /202/** BRÜCKMANN, F.E. (1728) *Specimen Physicum exhibens Historam naturalem Oolithi*. – In: BRÜCKMANN, F.E. *Thesaurus Subterraneus, ducatus Brunsvigii*. – 127-140 pp.; (Meisner) Braunschweig.
- /203/** †BÜTTNER, D. S. (1710): *Rudera diluvii testes, i. e. Zeichen und Zeugen der Sündfluth, in Ansehung des itzigen Zustandes unserer Erd- und Wasser-Kugel, insbesondere* der darinnen vielfältig auch zeither in Querfurtischen Revieren unterschiedlich angetroffenen, ehemals verschwemmten Thiere und Gewächse. – 314 p.; Leipzig (J. F. Braunen).
- /204/** †BÜTTNER, D. S. (1714): *Corallographia subterranea seu dissertatio de corallis fossilibus, in Specie, de Lapide Corneo, Horn oder gemeiner Feuerstein*. – 68 p., Leipzig (Großschoffen)
- /205/** CAYEUX, L. (1935): *Les roches sedimentaires de France*. – T. I-III., 463 p., Paris (Masson et Cie).
- /206/** CHUBB, L.J. (1958): *Sir Henry Thomas De La Beche. Geonotes, Quarterly Newsletter of the Jamaica Group of the Geologists's Association, De La Beche Memorial Number*, p. 1-26 (Kingston, Jamaica).
- /207/** DA COSTA, E.M. (1757): *The Natural History of Fossils*. – Part 1: 294 p; London (L. Davis and C. Reymers).
- /208/** DANA, J.D. (1872): *Corals and Coral Islands*. – 398 p.; New York (Dodd and Mead).
- /209/** DARWIN, C. (1859): *The Origin of Species by means of Natural Selection*. – 502 p.; London (John Murray).
- /210/** DE GARENGEOT, R.J. (1742) *Splanchnologie ou l'anatomie des visceres*, 2: 250-251, 2nd ed., Paris (Osmont).
- /211/** DE LA BECHE, H.T. (1851): *The Geological Observer*. – 695 p.; Philadelphia (Blanchard and Lea).
- /212/** DE SAUSSURE, H.-B. (1779): *Voyages Dans Les Alpes- Tome 1* § 359: p. 292; Neuchatel (Samuel Fauche).
- /213/** DREW, G.H. (1911): *The action of some denitrifying bacteria in tropical and temperate seas, and the bacterial precipitation of calcium carbonate in the sea*. – *J. Marine Biol. Ass. United Kingdom*. 9: 142-155. Cambridge.
- /214/** DRYANDER, J. (1799): *Catalogus Bibliothecae Historico-Naturalis Josephi Banks, 4: Mineralogi, Monographiae Lapidum Calceorum, 143. Oolithus*. – p. 129; London, (Bulmer).
- /215/** EDWARDS, W.N. (1967): *The Early History of Palaeontology* 58 p.; London (Trustees of the British Museum [Natural History]).
- /216/** EL SAMMAK, A.A. & TUCKER, M.E. (2002): *Ooids from Turkey and Egypt in the eastern Mediterranean and a love-story of Antony and Cleopatra*. – *Facies*, 46: 217–228; Erlangen.
- /217/** FOLK, R.L. (1965): *Henry Clifton Sorby (1826 – 1908), the Founder of Petrography*. – *J. Geol. Education*, 13: 43-47;
- /218/** FRIESS, H. (1982): *Johann Samuel Schröter (1735-1808) a pioneer in palaeontology*. – *Arch. Nat. History*, 11: 83-98; Edinburgh.
- /219/** GEIKIE, A. (1905): *The Founders of Geology*. – 486 p. London (Macmillan).
- /220/** GOLDSWORTHY, A. (2010): *Antony and Cleopatra*. – 470 p.; London (Weidenfeld and Nicolson).
- /221/** GONZALES, R. & WETZEL, A. (1996): *Stratigraphy and paleogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau Formations (middle Bajocian to late Bathonian, northern Switzerland)*. – *Ecl. geol. Helvetica*, 89: 695-720; Basel.
- /222/** HARRISON, W.J. (1897): *A Text-Book of Geology, Intended as an Introduction to the Study of the Rocks and Their Contents*. – 343 p.; (Blackie)
- /223/** HESKE, I., GREVEN-PETRES, S., POSSELT, M. WIETHOLD, J. (2011): *Die jungbronzezeitliche Außensiedlung*

- der „Hünenburg“ bei Watenstedt. Vorbericht über die Ausgrabungen 2005-2007. – Prähist. Z.; Berlin (in press).
- /224/** HOOKE, R. (1665): *Micrographia: or some Physiological descriptions of Minute Bodies made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries thereupon.* – London (Jo. Martyn and Jo. Allestry).
- /225/** HOOKE, R. (1705): *Discourses of earthquakes, their causes and effects, and histories of several.* – In: WELLER, R. (ed.) *The posthumous works of Robert Hooke: containing his Cutlerian lectures, and other discourses.* – 572 p.; London (Sam. Smith and Benj. Walford).
- /226/** HORNUNG, H. (1958): *Johann Jakob Baiers Oryktographia Norica nebst Supplementen - In der Übersetzung aus dem Lateinischen von Herrmann Hornung und unter paläontologischer Mitarbeit von Florian Heller-Erlangen erläutert und herausgegeben von B. v. Freiberg-Erlangen.* – Erlanger Geol. Abh., 29: Erlangen.
- /227/** HORST, U. (1970): *Alte naturwissenschaftliche Beobachtungen und Funde aus dem Hildesheimer Raum, neuzeitlich betrachtet.* – Z. Mus. Hildesheim, NF., 21; Hildesheim.
- /228/** HUTTON, J. (1788): *Theory of the Earth or an Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution, and Restoration of Land upon the Globe.* – Trans. Royal Soc. Edinburgh, vol. I, Part II: 209-304 [Read March 7. and April 4. 1785.] (Edinburgh).
- /229/** †IMPERATO, F. (1672): *Dell' Historia Naturale.* – 696 p., 2nd ed. Venetia (Presto Combi & La Nou).
- /230/** JUDD, J.W. (1908): *Henry Clifton Sorby and the birth of microscopical petrology.* – Geol. Mag., 5: 193-204; London.
- /231/** KALKOWSKY, E. (1908): *Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein.* – Z. dt. Geol. Ges., 60: 68-125; Berlin
- /232/** †LANGIUS, K.N. (1708): *Historia lapidum figuratorum helvetiae ejusque viciniae in qua non solum enarrantur omnia eorum genera species et vires aeneisque tabulis repraesentantur sed insuper adducuntur eorum loca nativa in quibus reperi solent ut cuilibet facile sit eos colligere modo adducta loca adire libeat.* – 165 p., Venetiis & Lucernae. (J. Tomasini; Apud Haeredes G. Hautt & J. J. Halter).
- /233/** †LANGIUS, K.N. (1709): *Tractatus de origine lapidum figuratorum [microform] : in quo diffusè disseritur, utrum nimirum sint corpora marina a diluvio ad montes translata, & tractu temporis petrificata vel an a seminio quodam e materia lapidescente intra terram generentur, quibus accedit accurata diluvii, ejusque in terra effectuum descriptio : cum dissertatione de generatione viventium, testaceorum praecipuè, plurimorum[que] corporum, à vi plasticâ auræ seminalis hinc inde delatæ extra consuetam matricem productorum.* – 80 p.; Lucernae (Felicitatis Hautt).
- /234/** LEIBNIZ, G.W. (SCHEIDT, C. L. (ed.) (1749): *Summi polyhistoris Godefridi Guilielmi Leibnitii Protogaea: sive de prima facie telluris et antiquissimae historiae vestigiis in ipsis naturae monumentis dissertatio ex schedis manuscript is viri illustris in lucem edita a Christiano Lvdo vico Scheidio. Sumtibus Ioh. Guil. Schmidii; Goettingae.*
- /235/** LINCK, G. (1903): *Die Bildung der Oolithe und Rogensteine.* – N. Jb. Mineral., Petrol. Paläont. Beil., 16: 495-513; Stuttgart.
- /236/** LINCK, G. (1909): *Über die Bildung der Oolithe und Rogensteine.* – Jenaische Z. Wiss., 45: 267-278; Jena.
- /237/** †LACHMUND, F. (1669): *Oryctographia Hildesheimensis, sive, Admirandorum fossilium; quae in tracta Hildesheimensi reperiuntur, descriptio iconibus illustrata, cui addita sunt alia de calculis de fontibus.* – 80 p.; Hildesheim (Jacob Müller).
- /238/** LAMPRIERE, J. (1822): *A Classical Dictionary.* –, 3rd Am. ed.; Philadelphia (Crissy).
- /239/** MACCURDY, G.G. (1908): *Some Recent Paleolithic Discoveries.* – American Anthropologist, 10: 643; Arlington.
- /240/** †MYLIUS, G.F. (1709): *Memorabilium Saxoniae Subterraneae. Pars Prima. Des Unterirdischen Sachsens Seltsame Wunder der Natur.* – 80 p.; Leipzig (Friedrich Groschuffen)
- /241/** PAUL, J., PERYT, T.M. & BURNE, R.V. (2010): *Kalkowsky's Stromatolites and Oolites (Lower Buntsandstein, northern Germany).* – Lect. Notes Earth Sci., 131: 13-28; Berlin (Springer).
- /242/** PERYT, T.M. (ed.) (1983): *Coated Grains.* – 655 p.; Berlin (Springer).
- /243/** PHILLIPS, W. (1818): *Selection of facts from the best authorities, arranged so as to form an outline of the Geology of England and Wales. With a Map and Sections of the Strata.* – 240 p.; London (William Phillips).
- /244/** PITTON DE TOURNEFORT, J. (1694): *Elemens de Botanique ou Methode pour Connoître les Plantes.* 3 T. – 503 p.; Paris (Imprimerie Royale).
- /245/** †PLINY SECUNDUS SENIOR, C. (77–79): *Historia Naturalis.* – Translation by BOSTOK, J. (1855): *Red Lion Court, Fleet Street. London (Taylor and Francis).*
- /246/** PRESTON, D. (2009): *Cleopatra and Antony; Power, Love and Politics in the Ancient World.* – 333 p.; New York (Walker & Co).
- /247/** †RAY, J. (1692): *Miscellaneous Discourses concerning the Dissolution and Changes of the World.* – 259 p.; London (Sam Smith).
- /248/** RAY, J. (1721): *Three Physico-Theological Discourses, concerning I. The Primitive Chaos, and Creation of the World. II. The General Deluge, its Causes and Effects. III. The Dissolution of the World, and Future Conflagration. : Wherein are largely discussed the production and use of mountains; the original of fountains, of formed stones ... With practical inferences.* – 2nd ed., 414 p.; London (Sam Smith)
- /249/** ROTHPLETZ, A. (1892): *Ueber die Bildung der Oolithe.* – Bot. Centralbl., 51: 265–268; Jena.
- /250/** ROTHPLETZ, A. (1915-1916): *Über die systematische Deutung und die stratigraphische Stellung der ältesten Versteinerungen Europas und Nordamerikas mit besonderer Berücksichtigung der Cryptozoen und Oolithe.* 2 vols. 46 + 92 p.; München (Königl. Bayer. Akad. Wiss.).
- /251/** ROUSSEAU, G.S. & HAYCOCK, D. (2000): *The Jew of Crane Court: Emanuel Mendes Da Costa (1717-91), Natural History and Natural Excess.* – History Sci., 38: 127-170; Aberystwyth.
- /252/** ROZET, M. (1828): *Description geognostique du Bassin du Bas -Boulonnais.* – 123 p.; Paris (Selligue).

- /253/** †RULAND M. (1612): *Lexicon Alchimiae sive Dictionarium*. 471 p., Frankfurt (Zachariae Palthenius).
- /254/** †SCHEUCHZER, J.J. (1705-1707): *Seltame Naturgeschichten des Schweizer-Lands wöchentliche Erzählungen*. – 27: 106. Zürich
- /255/** †SCHEUCHZER, J.J. (1721): *Physica Sacra*. – 467 p.; Zürich.
- /256/** SCHEUCHZER, J.J. (1731-1733): *Physica Sacra Johannis Jacobi Scheuchzeri iconibus aenis illustrata procurante & sumtus suppeditante Johannes Andrea Pfeffel*. – x p.; Augsburg and Ulm
- /257/** SCHMIDT, F.S. (1762): *Memoire sur les oolithes*. – 23 p.; Basle
- /258/** SCHULZE, K.H. (1975): *Mikrofazielle, geochemische und technologische Eigenschaften von Gesteinen der oberen Heersumer Schichten und des Korallenooliths (Mittleres bis Oberes Oxfordium) NW-Deutschlands zwischen Weser und Leine*. – *Geol. Jb.*, D11: 102 p., Hannover.
- /259/** SELLWOOD, B.W. (1993): *Structure and origin of limestones*. – In: Le Bas, M.J. (ed.) *Milestones in Geology*. – *Geol. Soc. London, Mem.*, 16: 185-193; London.
- /260/** SIEWERS, F.D. (2003): *Oolite and Coated Grains*. – In: MIDDLETON, G.V. (ed.) *Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks*, 502–506 pp. (Springer Reference).
- /261/** SIMONE, L. (1981): *Ooids: A Review*. – *Earth Sci. Rev.*, 16: 319–355; Amsterdam.
- /262/** SMITH, W. (1815): *A Memoir to the Map and Delineation of Strata of England and Wales, with part of Scotland*. – London (John Cary, No 181 Strand).
- /263/** SORBY, H.C. (1851a): *On the microscopical structure of the Calcereous Grit of the Yorkshire coast*. – *Qu. J. Geol. Soc.*, London, 7: 1-6; London.
- /264/** SORBY, H.C. (1851a): *On the microscopical structure of the Calcereous Grit of the Yorkshire coast*. – *Proc. West Yorkshire Geol. Soc.*, 3: 220–224; York.
- /265/** SORBY, H.C. (1879): *The structure and origin of limestones* – *Proc. Geol. Soc.*, London, 35: 56-94; London.
- /266/** SZOMBATHY, J. (1909): *Die Aurignacienschichten in Löss von Willendorf*. – *Korrespondenzbl. Dt. Ges. Anthropol., Ethnol., und Urgeschichte*, 40: 85-88; München.
- /267/** TEICHERT, C. (1970): *Oolite, Oolith, Ooid: Discussion*. – *American Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 54: 1748-1752; Tulsa.
- /268/** TOWNSEND, J. (1813): *The Character of Moses established for veracity as an historian recording events from the creation to the deluge*. – 446 p.; Bath & London (Gye; & Longman, Hurst, Rees, Orme and Brown).
- /269/** VALMONT DE BOMARE, J.C. (1764): *Oolithe* – *Dictionnaire Raisonné Universel D'Histoire Naturelle*, 4: 51-52; Paris (Didot, Musier, De Hansey, Panckoucke).
- /270/** VAUGHAN, T.W. (1914): *Preliminary remarks on the geology of the Bahamas, with special reference to the origin of the Bahamian and Floridan Oolites*. *Papers of the Tortuga Laboratory, Carnegie Institute, Washington*. Publication, 128: 1-136; Washington.
- /271/** VINKEN, R. (1974): *Der obere Jura (Malm) des Hildesheimer Jura-Zuges*. – *Geol. Jb.*, A23: 3-56; Hannover.
- /272/** †VOLKMANN, G.A. (1720): *Silesia subterranea*. – 347 p. Leipzig (Weidmann).
- /273/** WALLERIO, J.G. (1778): *System Mineralogicum quo Corpora Mineralia. Tom II. Mineræ & Concreta*. – Ed. novo, 639 p.; Vienna (Kraussana).
- /274/** WALTHER, J. (1888 & 1891): *Abh. math.-nat. Classe kgl. Sächs. Akad. Wiss.*, 14 & 16
- /275/** WALTHER, J. (1893, 1894): *Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft*. – 1055 P., Jena (Fischer).
- /276/** WINCHESTER, S. (2001): *The Map That Changed The World*. – 338 p., London (Viking).

Herrn Prof. Dr. MAX SCHWAB (Halle/Saale) zum 80. Geburtstag



Mit einem Geologischen Festkolloquium ehrte das Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle – Wittenberg Herrn Prof. Dr. MAX SCHWAB, der am 01. März dieses Jahres seinen 80ten Geburtstag feierte. Zugleich wurde des 16. Todestages am 15. November 1996 seines Zwillingsbruders Dr. sc. GÜNTHER SCHWAB gedacht.

Die Veranstaltung fand in den Räumen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften statt. Eine Vielzahl geladener Gäste aus Nah und Fern, Kollegen, Freunde und Verwandte, erlebten das Kolloquium in einer festlichen und überaus angenehmen Atmosphäre.

Herr Prof. Dr. GERHARD H. BACHMANN moderierte die von Dr. THOMAS J. DEGEN mit großer Umsicht vorbereitete Veranstaltung.

Es sprachen der Vizepräsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina Prof. Dr. GUNAR BERG, der Dekan der Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Naturwissenschaftlichen Fakultät III, Prof. Dr. PETER WYCISK und der Geschäftsführende Direktor des Institutes für Geowissenschaften und Geographie der MLU Herr Dr. Dr. h.c. Prof. MANFRED FRÜHAUF.

Eine Würdigung seines Vorgängers Dr. sc. GÜNTHER SCHWAB im Amt als Präsident des Landesamts

für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg gab Präsident i.R. Dr. WERNER STACKEBRANDT. Herr Dr. HANS-JOACHIM FRANZKE (Technische Universität Clausthal), langjähriger Wegbegleiter des Jubilars im Harz, erinnerte an gemeinsame geologische Forschungen. Der jüngste Sohn von MAX SCHWAB, Dr. MARKUS SCHWAB, wiss. Mitarbeiter im Deutschen Geoforschungszentrum GFZ Potsdam, Sektion Klimadynamik und Landschaftsentwicklung berichtete über die „Dynamik des Klimawandels in historischen Zeiträumen, gelesen aus geologischen Archiven“.

Mit der für das Institut stellvertretenden Überreichung einer stattlichen Amethyst-Druse aus Rio Grande do Sul (Süd-Brasilien) an den Jubilar durch Herrn Prof. Dr. Dr. HERBERT PÖLLMANN, Leiter des Fachgebiets Mineralogie und Geochemie, den Dankesworten des Jubilars und einem Empfang durch das Institut endete die Veranstaltung.

Das Leben und das Schaffen von Herrn Prof. Dr. MAX SCHWAB würdigt nachfolgend der Text der von Herrn Prof. Dr. JÖRG HACKER, Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und Herrn Prof. Dr. KARL-ARMIN TRÖGER, Technische Universität Bergakademie Freiberg, gemeinsam verfassten Laudatio.

zum 01. März 2012

Herrn Prof. Dr. Max Schwab, Halle (Saale)
zum 80. Geburtstag

Sehr geehrter Herr Kollege, lieber Herr Schwab,

am 1. März 2012 vollenden Sie Ihr 80. Lebensjahr. Aus diesem Anlass sei uns ein kurzer, sicher nicht vollständiger Rückblick auf Ihr Leben, Ihre wissenschaftliche Entwicklung und Ihr wissenschaftliches Werk gestattet.

Besonders schwer war Ihr Schicksal durch die unerträgliche Diskriminierung und Beeinträchtigung des Lebens Ihrer gesamten Familie durch die Rassengesetze des Dritten Reiches. Sie gehören außerdem einer Generation an, die die Schrecken eines Weltkrieges in ihrer Jugend erleben musste.

Geboren wurden Sie und Ihr Zwillingbruder Günther in Halle (Saale) als Söhne des jüdischen Kaufmannes Julius Schwab und seiner Ehefrau Margarethe geb. Günther, die zum jüdischen Glauben konvertiert war. In der Saalestadt mussten Sie Ihre Jugend in vieler Hinsicht anders als Ihre Altersgefährten verbringen. Die Diskriminierung Ihrer Familie verstärkte sich schon mit dem Beginn der NS-Herrschaft und verschärfte sich bereits im Jahre 1935 mit dem erzwungenen Verkauf von Grundstückseigentum und der geschäftlichen Behinderung Ihres Vaters sowie mit Verhören durch die Gestapo. Die Reichspogromnacht im November 1938 stellte dann einen besonderen Einschnitt dar. Ihr Vater wurde verhaftet und nach Buchenwald verschleppt. Seine Freilassung im selben Jahre erfolgte nur auf seine Zusicherung hin, das Land zu verlassen. Ihr Vater, dem die deutsche Staatsbürgerschaft aberkannt wurde, verließ Deutschland im Januar 1939. Er versuchte, sich in den Niederlanden eine neue Existenz aufzubauen. Nach dem Einmarsch der deutschen Truppen verblieb er noch bis 1942 dort. Er wurde interniert und den deutschen Behörden übergeben. Im September 1942 wurde er nach Auschwitz deportiert und dort ermordet. So musste ab 1939 Ihre Mutter, deren Mut, Tatkraft und Geschick man nur bewundern kann, die Fürsorge für Sie und Ihren Bruder sowie die Verantwortung für Ihrer beider Erziehung und Ausbildung allein übernehmen. Sie selbst und Ihr Bruder Günther, mit dem Sie immer sehr eng verbunden waren (leider verunglückte er 1996 tödlich), galten ab 1943

auf Betreiben Ihrer Mutter als „Mischlinge ersten Grades“. Das hat Ihnen wahrscheinlich das Leben gerettet.

Allerdings durften Sie schon ab 1939 keine öffentliche Schule mehr besuchen. Der von Ihrer Mutter veranlasste und finanzierte Privatunterricht unter Mitwirkung einer Privatlehrerin ermöglichte es Ihnen, nach 1945 ohne Zeitverlust eine öffentliche Schule zu besuchen und bereits 1950 in der Thomas-Müntzer-Oberschule in Halle Ihr Abitur abzulegen. Die Erlebnisse Ihrer Jugendzeit ließen Sie dennoch nicht zu einem verbitterten Menschen werden. Sowohl im geteilten als auch im wiedervereinigten Deutschland haben Sie all Ihre Kräfte für einen demokratischen Wiederaufbau eingesetzt. Ihre kritische Haltung auch in wissenschaftlichen Fragen war immer förderlich – wenn auch manchmal nicht gern gesehen.

Ihr beruflicher Werdegang ist eng mit der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und ihrem Geologisch-Paläontologischen Institut verbunden, dessen Geschichte zwischen 1950 und der Gegenwart Sie miterlebt und zu einem bedeutenden Teil mitgeprägt haben. Bereits nach Abschluss der Schulausbildung und noch vor Beginn des Studiums der Geologie in Halle nahmen Sie an Ausgrabungen in der tertiären Braunkohle des Geiseltales teil. Diese Tätigkeit förderte Ihr Interesse an geologischen Untersuchungen sehr wesentlich. Nach dem Studienstart in Halle wechselten Sie 1950 zur Humboldt-Universität in Berlin. Ihre akademischen Lehrer in Halle und Berlin waren national und international führende Geologen und Paläontologen. Genannt seien für Halle Professor Hans Gallwitz und für Berlin die Professoren Serge von Bubnoff (Historische und Regionale Geologie), Fritz Deubel (Geologie und Regionale Geologie – besonders Geologie von Thüringen), Walter Gross (Paläontologie), Walther Gothan (Paläobotanik) und Günter Möbus (Geologie, Geotektonik). Der Aufenthalt in Berlin gab Ihnen die Möglichkeit der Bekanntschaft mit einer Reihe von jungen Wissenschaftlern, mit denen Sie in der Folgezeit enger zusammenarbeiteten und mit welchen Sie vielfach durch Freundschaft verbunden waren und bis heute noch sind. Genannt seien hier Peter und Elfriede Bankwitz, Harald Lützner, Karl-Bernhard Jubitz, Erich Schröder sowie Hans-Jürgen Paech. Ihre von Serge von Bubnoff und Günter Möbus betreute Diplomarbeit mit dem Titel „Die Nordlausitzer Grauwackenformation bei Weißenberg/

Sachsen“ legte wohl den Grundstein für Ihre weiteren Arbeiten im Paläozoikum in der Folgezeit. Diese Arbeit wurde mit dem Prädikat „mit Auszeichnung“ beurteilt. Als Assistent gingen Sie zurück an das Geologisch-Paläontologische Institut der Martin-Luther-Universität in Halle, das bis zu seinem Tod im Jahre 1958 unter der Leitung von Professor Hans Gallwitz stand. Die Amtsnachfolger von Gallwitz, die Professoren Horst Werner Matthes und Rudolf Hohl, förderten Ihre weitere Entwicklung und lenkten Ihre Aufmerksamkeit auf das Permokarbon im Saale-Trog, zunächst in der Umgebung von Halle, und auf die stratigraphische und tektonische Entwicklung im Paläozoikum der Harz-Scholle. Bereits 1961 erfolgte Ihre Promotion, die Sie ebenfalls mit „summa cum laude“ abschlossen. Das Thema der Promotionsarbeit lautete „Tektonische Untersuchungen im Permokarbon nördlich von Halle/Saale“.

Als Folge der Beschlüsse der – schon damals recht umstrittenen – dritten Hochschulreform wurde an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg das Geologisch-Paläontologische Institut aufgelöst und der Universität das Recht zur Diplomverleihung in den Fachrichtungen Geologie/Paläontologie sowie Mineralogie/Petrographie entzogen. Das führte zwischen 1968 und 1969 zu einer weitgehenden Umgestaltung innerhalb der Universität sowie zu einer Verlagerung der Geologie/Paläontologie-Ausbildung nach Freiberg und Greifswald. Der Fachbereich Geologie wurde Teil der Sektion Geographie, der Fachbereich Paläontologie und das Geiseltalmuseum Teil der Sektion Biowissenschaften und die Mineralogie eine Arbeitsgruppe innerhalb der Sektion Chemie. Für die in der Universität verbleibenden Mitarbeiter der ehemaligen Institute bedeutete das einen tiefen Einschnitt nicht nur in der Lehr-, sondern auch in der Forschungstätigkeit.

Sie, lieber Herr Schwab, verblieben an der Universität Halle und setzten unbeirrt Ihre Arbeiten fort. Dabei war es Ihr besonderes Anliegen, den Fortbestand geologisch/paläontologischer Forschung und Ausbildung für die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg soweit als möglich zu sichern. Ihre Habilitation mit einem regionalgeologisch-tektonisch-stratigraphischen Inhalt im Jahre 1970 erfolgte kurz nach dem geschilderten Einschnitt und trug den Titel „Beiträge zur Tektonik der Rhenoharzynischen Zone im Gebiet der DDR mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Unterharz“. Durch Exkursionen in

die Ardennen, die Sudeten, den Ural und den Tianshan konnten Sie diese Forschung in der Folgezeit regional erweitern. In kurzer zeitlicher Folge erhielten Sie 1971 die *Facultas docendi*, 1978 eine Berufung zum Hochschuldozenten für Regionale Geologie und 1983 eine außerordentliche Professur für Regionale Geologie. Bereits 1978 erfolgte die Berufung zum kommissarischen Leiter, 1984 dann zum Leiter des Wissenschaftsbereiches Geologische Wissenschaften und Geiseltalmuseum an der Sektion Geographie.

Nach der politischen Wende 1989 erarbeiteten Sie zusammen mit Ihren engeren Mitarbeitern W. Gläßer und J. M. Lange in Form einer Studienordnung, eines Prüfungsplanes sowie eines Studienplanes die Grundlagen für eine erneute Ausbildung von Geologen und Paläontologen an der Universität Halle. Davon zeugt noch heute ein ausführlicher Schriftwechsel mit den zuständigen Stellen. Diesen Bemühungen ist es wohl maßgeblich zu verdanken, dass 1991 eine Neugründung eines Institutes für Geologische Wissenschaften unter Einschluss des Geiseltalmuseums erfolgte. Umso befremdlicher war es für einen großen Kollegenkreis, dass Sie keine C4- oder C3-Professur erhielten, sondern 1993 eine Professur „alten Rechts“ bestätigt wurde, die Sie bis zu Ihrer Pensionierung im Jahre 1997 inne hatten.

Ihre Lehrtätigkeit umfasste ein sehr breites Spektrum von Vorlesungen und Übungen zur Regionalen Geologie, zur Geotektonik und zur Allgemeinen Geologie sowie ein Exkursionsprogramm im In- und Ausland. Dazu trat die Betreuung von 60 studentischen Qualifikationsarbeiten sowie 26 Promotionen zu stratigraphischen, lithologischen und tektonischen Themen des Paläozoikums, des Permokarbons und des Quartärs. Darüber hinaus beteiligten Sie sich – neben Ihrer Tätigkeit an der Universität – an der Organisation einer Reihe von Fachtagungen. Erwähnt werden soll hier vor allem das Leopoldina-Meeting „Mittel- und westeuropäische Varisziden“ im Jahr 1994 in Halle.

152 Publikationen und zahlreiche unveröffentlichte Berichte umfasst Ihr wissenschaftliches Werk. Es handelt sich überwiegend um Arbeiten zu tektonischen, stratigraphischen und lithologischen Themen, vor allem zu Problemen des permokarbonen Vulkanismus sowie der Sedimente des Rotliegenden im Saale-Trog, zu Problemen der varistischen Tektonik in Europa, der Lithologie im Silur bis Karbon, insbesondere der tektonofaziell-

gebundenen Lithostrome, sowie um vergleichende Untersuchungen im Rhenoharzynikum, insbesondere des Harz-Paläozoikums. Sie haben damit einen sehr wesentlichen Beitrag zur 2008 herausgegebenen Geologie von Sachsen-Anhalt geleistet.

Die Anerkennung Ihrer wissenschaftlichen Leistungen kommt in einer großen Anzahl von Berufungen in nationale und internationale wissenschaftliche Gremien, Akademien und Gesellschaften zum Ausdruck. Das waren vor 1989 – trotz fehlender Parteizugehörigkeit – der Wissenschaftliche Beirat für Geowissenschaften, die Hauptforschungsrichtung „Geologische Wissenschaften und mineralische Ressourcen“, der Expertenrat des Weiterbildungszentrums Geowissenschaften und die Problemkommission IX (Arbeitsgruppe Olisthostrombildung). Seit 1991 sind Sie Mitglied der Leopoldina, an deren Tagungen und Sitzungen in Halle Sie regelmäßig teilnehmen.

Nach 1989 waren Sie Mitglied der Evaluierungskommission des Wissenschaftsrates, Mitglied des Wissenschaftsrates, Mitglied des Deutschen Landesausschusses für das International Geoscience Programme (IGCP), Mitglied des Wissenschaftlichen Beirates „Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben“ beim Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Mitglied des Deutschen Nationalkomitees für Geologische Wissenschaften, Fachgutachter der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für das Fachgebiet

Historische und Regionale Geologie, Mitglied der DFG-Senatskommission für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung und Vorsitzender der Gesellschaft für Geologische Wissenschaften. Dabei war besonders die erstgenannte Mitgliedschaft mit einem hohen Zeitaufwand und einem großen menschlichen Verständnis für die Mitarbeiter der zu evaluierenden Einrichtungen der ehemaligen DDR verbunden.

Sie sind Ehrenmitglied der Geologischen Vereinigung sowie Träger der Hans-Stille-Medaille und der Serge-von-Bubnoff-Medaille.

Bei allem darf die ständige Mitwirkung und Unterstützung Ihrer Frau Jutta Schwab nicht unerwähnt bleiben. Sie ist wohl wesentlich durch ihre Hilfe und Fürsorge an Ihren wissenschaftlichen Erfolgen beteiligt.

Die Leopoldina mit allen ihren Mitgliedern wünscht Ihnen, lieber und verehrter Herr Schwab, noch viele Lebensjahre in voller Gesundheit und geistiger Frische, die Sie mit Ihrer Frau Gemahlin und Ihrer ganzen Familie insbesondere Ihren drei Söhnen sowie deren Familien – verleben können.

Mit herzlichen Grüßen

Ihre

Jörg Hacker (Präsident)

Karl-Armin Tröger (Freiberg)

Nachruf für Herrn Prof. Dr. MANFRED REICHSTEIN

*18. April 1928 † 11. Oktober 2012

gehalten bei der Trauerfeier auf dem Gertraudenfriedhof Halle/Saale
am 23. Oktober 2012

GERHARD H. BACHMANN



Liebe Frau Reichstein, liebe Familie Reichstein,
im Namen der Martin-Luther-Universität, des
Instituts für Geowissenschaften und Geographie und
im Namen aller Kollegen und Mitarbeiter, spreche
ich Ihnen meine herzliche Anteilnahme aus.

Für die Universität und für die Geowissenschaften ist
der Tod unseres verehrten Kollegen Prof. MANFRED
REICHSTEIN ein großer Verlust.

Sehr geehrter Herr Pfarrer Schlademann, meine
Damen und Herren,

MANFRED REICHSTEIN war ein Geologe mit Leib und
Seele. Für unsere Wissenschaft hat er viel getan und
er hat sich bleibende Verdienste erworben.

Nach dem Krieg, mit 20 Jahren, hat er angefangen hier
in Halle Geologie zu studieren, bei Prof. GALLWITZ,
der damals Institutsdirektor war. Sein Interesse an
Gebirgen und Gesteinen ging darauf zurück, so sagte

er, dass er schon als Kind mit seinen Eltern oft in die
Alpen gefahren ist.

Bereits in der Diplomarbeit fand er das Thema, das ihn
lange beschäftigen sollte: den Harz und seine Geologie.
Und im Harz, im Eisenerzbergbau von Elbingerode,
fand er auch eine erste Anstellung. Dann aber bot ihm
Prof. GALLWITZ eine Assistentenstelle in Halle an.
Das war nicht ganz einfach, denn es gab politischen
Gegenwind. Aber GALLWITZ konnte ihn durchsetzen
und 1957, mit 29 Jahren, machte er seinen Doktor
über den Komplex von Elbingerode. Kurz darauf,
mit 33, habilitierte er sich über die komplizierten
„Herzynkalke“. Dabei kam ihm eine neue Methode
zu Gute, die damals aufkam, die sog. „Conodonten“.
Das sind mikroskopisch kleine Zähne von
Tieren, mit denen das geologische Alter viel besser
bestimmen werden konnte als vorher. So wurde er
einer der wenigen Conodonten-Spezialisten. 1965
fasste er dann seine Ergebnisse in einer Publikation

zusammen über den „Deckenbau im Harz“. Er kam darin zum Schluß, dass die Sedimentgesteine des Harzes, wie wir sie heute vorfinden, nicht einfach übereinander abgelagert worden sind, sondern dass sie oft viele 10er Kilometer von Süden her in ihre heutige Lage transportiert worden sind -- eben als sog. „Decken“ -- und dass sie dabei kompliziert zerschert und deformiert wurden. Über diese Fragen hatten sich vorher schon Generationen von Harzgeologen den Kopf zerbrochen. Und für diese Erkenntnisse wird man sich an MANFRED REICHSTEIN immer dankbar erinnern, so lange Geologen in den Harz gehen.

MANFRED REICHSTEIN wurde nun in Ost und West bekannt. Schon vorher wurde er unter GALLWITZ Oberassistent und dann Dozent für Geologie. Zu seinen vielen Forschungsarbeiten hatte er nun noch Vorlesungen und Übungen zu halten, Exkursionen zu führen. Das tat er mit großem Engagement. Der Erfolg blieb nicht aus: aus Jena und Weimar kamen Anfragen wegen einer Berufung zum Professor.

Inzwischen aber war die Mauer gebaut worden und die Grenzen waren dicht. Prof. GALLWITZ war gestorben. Und der politische Wind wurde immer stärker. Zu alledem wurde 1967 das Geologische Institut geschlossen (es konnte aber unter dem Dach der Geographie weitergeführt werden). Zu seinem Glück war MANFRED REICHSTEIN inzwischen Dozent und konnte nicht so einfach entlassen werden. Aber es ging natürlich auch anders: Man untersagte ihm seine Harz-Forschungen und strich die Forschungsgelder.

Mit 40 Jahren ist ein Wissenschaftler normalerweise auf der Höhe seiner Schaffenskraft. MANFRED REICHSTEIN aber stand mit 40 vor dem wissenschaftlichen Aus! Kaltgestellt!

Da begann MANFRED REICHSTEINS zweite wissenschaftliche Karriere. Er machte nun etwas ganz anders. Er wandte sich dem Sonnensystem zu, dem Mond, den Planeten und Kometen. Es war damals der Anfang der Raumfahrt und die sowjetischen und amerikanischen Sonden lieferten ständig neue Daten -- Daten, die man auswerten und auch geologisch interpretieren konnte. In der DDR damals ein weitgehend unbeackertes Feld.

Im Institut für Physik (nicht der Geologie) hielt er jetzt Vorlesungen über Astronomie und Planetologie. Er beschaffte sich neueste Literatur. Er hielt Vorträge,

schrub Fachveröffentlichungen und auch populäre Arbeiten -- und er leitete 1978 in Cottbus die erste Tagung in der DDR zur Planetologie. Er war also sehr erfolgreich auf diesem Gebiet. Noch bis vor kurzem hielt er Vorträge, die viele Zuhörer anzogen.

Schließlich, nach der Wende, Anfang der 90er Jahre, schlug für MANFRED REICHSTEIN und seine Familie doch noch die Stunde der Genugtuung. Spät, aber nicht zu spät! Mit 62 Jahren wurde zum Professor für Allgemeine Geologie berufen. Noch einmal konnte er für Geologie-Studenten Vorlesungen halten und mit ihnen auf Exkursion gehen. In der Physik half er, einen Studiengang Astronomie aufzubauen. Auch in die Alpen konnte er wieder fahren, zusammen mit seiner Frau HELGA, die ihm die ganze Zeit treu beigestanden hatte, und der Familie. Zusammen mit anderen gründete er den Alpenverein in Halle wieder, dessen Ehrenvorsitzender er zuletzt war. Rastlos tätig war er, so lange er konnte.

Ein Beispiel für seine Vielseitigkeit und Originalität, das mich besonders beeindruckt hat, sind seine Untersuchungen über Schneekristalle. In kalten Winternächten hat er auf dem Dachboden zu Hause die Fenster geöffnet. Die Schneeflocken, die hereingerieselt sind, hat er auf Platten gesammelt und fotografiert und die verschiedenen Formen systematisch und wissenschaftlich mit den Wetterbedingungen verglichen.

Viele von Ihnen haben von der Familie die Trauerkarte für MANFRED REICHSTEIN erhalten. Auf der Vorderseite sind Schneeflocken abgebildet -- Schneeflocken die MANFRED REICHSTEIN fotografiert hat. Schneeflocken sind Wunder -- aber auch Symbole der Vergänglichkeit. Kaum sind sie entstanden, sind sie auch schon wieder vergangen.

MANFRED REICHSTEIN:

ein großer Geologe, ein großer Wissenschaftler, ein großer Mensch.

Dank

Ich danke der Familie REICHSTEIN, Herrn Dr. F. EIGENFELD, Herrn Prof. Dr. P. GRAU und Herrn Prof. Dr. M. SCHWAB, Halle, für zahlreiche Hinweise und Unterlagen zum Leben und Werk von Herrn Prof. Dr. MANFRED REICHSTEIN.

Literatur

- EIGENFELD, F. (2003): Laudatio zum 75. Geburtstag von Herrn Prof. Dr. MANFRED REICHSTEIN.– Hallesches Jahrb. Geowiss., B 25: 121–123.
- REICHSTEIN, M. (1997): HANS GALLWITZ (1896–1958) und die Geschichte des Geologisch-Paläontologischen Institutes in Halle.– Hallesches Jahrb. Geowiss., B 19: 7–16.
- http://de.wikipedia.org/wiki/Manfred_Reichstein
- Prof. Dr. GERHARD H. BACHMANN
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Von-Seckendorff-Platz 3
D-06120 Halle (Saale)
- Wichtige Publikationen von MANFRED REICHSTEIN**
- Die bunten Schiefer bei Michaelstein im Harz.– Hall. Jb. Mitteldt. Erdgesch., 2: 59–85; Halle 1955 (Diplomarbeit)
- Die fazielle Sonderentwicklung im Elbingeröder Raum des Harzes.– Geologie, 8: 13–46; Berlin 1959 (Dissertation)
- Das Devon der metamorphen Zone bei Walbeck.– Geologie, 8: 440–445; Berlin.
- „Gemeinsames“ Auftreten von mitteldevonischen Trilobiten mit oberdevonischen Conodonten am Büchenberg-Sattel.– Geologie, 9: 565–674; Berlin 1959
- Parallelisierung eines Teiles des bisherigen Hauptquarzits vom Unterharz mit der Schichtfolge des Acker-Bruchberg-Systems.– Geologie, 10: 302–315; Berlin 1961
- Die Tanner Grauwacke – eine unterkarbonische Fazies des Harzes.– Geologie, 10: 763–777; Berlin 1961
- Nachweis hochoberdevonischer Schichten und bretonischer Bewegungen im Nossen-Wilsdruffer Schiefergebirge.– Geologie, 11: 17–25; Berlin 1962 (mit M. SCHWAB)
- Conodonten und Graptolithen aus einem Kalk-Mergel-Geschiebe des Unter-Ludlow.– Geologie, 11: 538–547; Berlin 1962
- Die Stratigraphie der Herzynkalke bei Güntersberge im Unterharz und das Problem der Herzynkalkentstehung.– Geologie, Beih. 34: 1–73; Berlin 1962 (Habilitationsschrift)
- Stratigraphische Konzeptionen zur metamorphen Zone des Harzes.– Geologie, 13: 5–25; Berlin 1964
- Zur frühvariszischen Reliefentwicklung im Mittelharz.– Ber. Geol. Ges. DDR, 9: 551–565; Berlin 1964
- Motive und Probleme erneuter Deckenbauvorstellungen für den Harz.– Geologie, 14: 1039–1079; Berlin 1965
- Lithologische und paläogeographische Entwicklung des Oberdevons und Dinants in der Umgebung der Mitteldeutschen Schwelle.– 23rd Internat Geol. Congr., 9–19; Prag 1968 (mit H. PFEIFFER & R. RUCHHOLZ)
- Die Erde. Planet unter Planeten.– 277 S.; Berlin 1981 (Neues Leben), 2. Aufl. 1982
- Regeln des planetaren Vulkanismus.– Die Sterne, 57: 3–18; Leipzig 1981
- Saturn und seine Eiskörperwelt.– 72 S.; Jena 1984 (Planetarium Carl-Zeiss-Stiftung)
- „Kernprobleme“ der Kometen.– Astronomie und Raumfahrt, 22/2: 26–28; Berlin 1984
- Kometen – kosmische Vagabunden.– 208 S.; Leipzig 1985 (Urania), Wien (Schönbunn), Frankfurt/M. (Deutsch).
- Interpretation des Phobos-Furchensystems.– Die Sterne, 64: 354–361; Leipzig 1988
- Solare Eruptionen und Polarlichter. Polarlichtbeobachtungen am 13./14. März 1989.– Astronomie und Raumfahrt, 28/1: 15–18; Berlin 1990 (mit P. & S. GRAU & J. RENDTEL).
- Die ungewöhnliche Entdeckungsgeschichte der Marsmonde.– Astronomie und Raumfahrt, 26: 162–169; Berlin 1989
- Neptun und sein gestörtes Satellitensystem, Stand der Erkenntnisse und Erwartungen von der Voyager-Begegnung 1989.– Astronomie und Raumfahrt, 27/1: 2–10; Berlin 1989
- Kometen nach Halley.– Astronomie und Raumfahrt, 28/1: 10–15; Berlin 1989 (mit K. KIRSCH & J. RENDTEL)

Harztektonik, „Lobostrome“ und Gleitvorgänge an der Krimküste.– Z. geol. Wiss., 19: 601–610; Berlin 1991

Das Jupitersystem nach 25 Jahren Raumfahrtforschungen (I).– Astronomie und Raumfahrt, 34/5: 16–19; Berlin 1997

Das Jupitersystem nach 25 Jahren Raumfahrtforschungen (II).– Astronomie und Raumfahrt, 34/6: 32–36; Berlin 1997

E. M. Shoemaker und die kleinen Himmelskörper.– Astronomie und Raumfahrt, 35/2: 12–14; Berlin 1998

Vom Werdegang der lunaren Kruste des Mondes.– Astronomie und Raumfahrt, 35/3: 8–15; Berlin 1998

KARL FREIHERR VON FRITSCH (1838–1906): Wegbereiter des geologischen Profils an der Martin-Luther-Universität in Halle.– Hallesches Jb. Geowiss., B 20: 135–146; Halle 1998.

Kryovulkanismus im Sonnensystem.– Astronomie und Raumfahrt, 37/3: 3–8; Berlin 2000

Biorefugien: Refugien einer Bioevolution in Planetensystemen.– Astronomie und Raumfahrt, 39/6: 30–34; Berlin 2002

Die Marsoberfläche, geprägt durch Wasser und Eis bis heute.– Astronomie und Raumfahrt, 42/5: 29–33; Berlin 2005

In Memoriam Dr. WOLFGANG RASCHKE



Am 18. Juli 2012 ist Herr Dr. WOLFGANG RASCHKE, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität im Alter von 58 Jahren gestorben. Mit ihm verlieren wir einen verdienstvollen, geradlinigen und geachteten Wissenschaftler, der über drei Jahrzehnte das Profil der geographischen Lehre und Forschung in Halle mitgeprägt hat. Mit großer Trauer haben wir und die Studierenden von ihm Abschied genommen.

WOLFGANG RASCHKE wurde am 26. August 1953 in Saßnitz (Rügen) geboren. Nach seiner Schulausbildung und dem Wehrdienst führte ihn sein Weg zum Studium der Geographie im Jahre 1976 nach Halle. Seit dessen Abschluss im Jahre 1980 war er in der Geographie als Wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Seine Promotion, angeregt von Prof. Dr. SCHOLZ, seinen von ihm sehr geschätzten (Hochschul-) Lehrer, mit dem Thema „Die Entwicklung der Bevölkerung in ausgewählten Kreisen des Ballungsgebietes Halle-Leipzig von 1970 – 1980“ legte in gewisser Weise bereits den Schwerpunkt seiner künftigen akademischen Laufbahn: Dr. RASCHKE blieb mit der Bevölkerungsgeographie verwurzelt und verband sie eng mit der Siedlungsgeographie. Auch nach der Wiedervereinigung und der Neugründung des Instituts für Geographie blieb diese Kontinuität erhalten. Davon profitierte die Forschung und vor allem die Lehre in der Arbeitsgruppe Sozialgeographie, der Herr Dr. RASCHKE nun angehörte. Mit Leidenschaft war er Geograph und dies übertrug sich auch auf seine Studenten. Gern waren sie in seinen Vorlesungen, Seminaren und Praktika und erlebten vor allem in Exkursionen (davon viele in das europäische und außereuropäische Ausland) seine profunde Regionalkennntnis und Begeisterung für das Fach. Ohne auf Lehrdeputat zu schauen, schulterte er notwendige Überlasten in der Lehre sowie der akademischen Selbstverwaltung - auch dann noch als ihn seine schwere Krankheit bereits zeichnete. Nicht unerwähnt sollen an dieser Stelle auch seine Verdienste in der außeruniversitären Weiterbildung sowie als Geschäftsführer des Vereins für Erdkunde zu Halle bleiben.

Wenn wir als Vorgesetzte und Kollegen seine Persönlichkeit nach 20jähriger Zusammenarbeit charakterisieren sollen, dann bleibt er als guter und liebenswerter Kollege in Erinnerung, der sich durch eine „preußische“ Tugend der Gewissenhaftigkeit und Zuverlässigkeit auszeichnete. Man konnte sich mit ihm durchaus auch „reiben“, aber er war dennoch respektvoll und konstruktiv und unglaublich hilfsbereit gegenüber jungen Kollegen, Kolleginnen und Studenten. Dr. RASCHKE hat damit dauerhafte positive „Spuren“ in und für die Geographie, aber auch in menschlicher Hinsicht hinterlassen, - die bleiben!

Wir sind dankbar für die Jahre, die wir mit ihm zusammenarbeiten durften!