

Brandenburg. geowiss. Beitr./ Arbeitsber. Bodendenkmalpfl. Brandenburg	Cottbus/ Wünsdorf	22 (2015), 2/ 28 (2016) Sonderband 2016	S. 191–197	3 Abb., 2 Tab., 16 Zit.
--	----------------------	---	------------	-------------------------

## OSL-Altersbestimmungen an den spätsaale- bis eemzeitlichen Ablagerungen von Jänschwalde

### OSL age determination of the Late Saalian to Eemian deposits of Jaenschwalde

LUDWIG ZÖLLER & CHRISTOPH SCHMIDT

#### 1 Einleitung

Was kann die OSL-Datierung zur Erforschung der archäologischen Fundstelle Jänschwalde beitragen? Die Optisch Stimulierte Lumineszenz (OSL) ist die Methode der Wahl zur Datierung des Ablagerungsalters silikathaltiger klastischer Sedimente, sofern gewisse Datierungsvoraussetzungen gegeben sind. Dazu zählen vor allem eine ausreichende Rückstellung (Nullstellung) der OSL durch Belichtung zum Zeitpunkt der Ablagerung, die Zugehörigkeit der Probe zum durch Sättigungsdosis und natürliche Radioaktivität gegebenen Datierungszeitraum sowie eine ausreichende Langzeitstabilität der herangezogenen Lumineszenz-Emissionen (AITKEN 1998, SCHMIDT & ZÖLLER 2016). Dem großen Vorteil der OSL-Methode, *direkt* Ablagerungsalter bestimmen zu können, stehen auch einige Nachteile gegenüber. In die Altersberechnung der Lumineszenz-Datierung fließt eine Reihe von zufälligen und systematischen Fehlerquellen ein. Deshalb umfassen die  $1\sigma$ -Fehlerbereiche des Gesamtfehlers eine relativ große Breite um den Mittelwert (ca. 10 %). Es kann daher nicht erwartet werden, dass chronologische Detailfragen, die einen Zeitraum kleiner als das Fehlerintervall betreffen, alleine durch eine OSL-Altersbestimmung gelöst werden können. In Verbindung mit stratigraphischen Methoden und Altersmodellen können Lumineszenz-Alter jedoch einen wichtigen Beitrag zur Chronostratigraphie der untersuchten Schichtenfolge leisten. Dies wird im vorliegenden Beitrag versucht. Konkret geht es um die Frage, ob das biostratigraphisch und sedimentologisch erstellte Altersmodell der Schichtenfolge im Südbecken von Jänschwalde, welches die Bildungen der Eem-Warmzeit (ca. 126 bis 115 ka BP) zuordnet (vgl. Beiträge STRAHL und KOSSLER in diesem Band), durch physikalische Datierungen bestätigt werden kann.

#### 2 Probenmaterial und Aufbereitung

Die Proben wurden von Herrn Dr. Ingo Raufuss im August 2013 nach unseren Anweisungen in lichtdichten Zylindern entnommen (Abb. 1 und 2) und im Oktober 2013 in unge-

öffnetem Zustand ins Lumineszenz-Labor in Bayreuth gebracht, wo sie unter den Labornummern BT 1213 (unten, spätsaalezeitliche Sande), BT 1212 (Mitte, schluffige Sande mit Sanddorn-Resten, entsprechend der Fundschicht) und BT 1211 (oben, eemzeitliche Mudde) registriert wurden. Die Öffnung der Zylinder erfolgte unter gedämpftem roten Diodenlicht, die äußeren ca. 2 cm wurden jeweils wegen möglichen Lichteinfalls bei der Beprobung ausgeschürft und der Rest weiter aufbereitet. Die Bearbeitungsschritte umfassten Nasssiebung (90–200  $\mu\text{m}$ ), Entkalkung mittels HCl, Zerstörung von organischer Substanz in  $\text{H}_2\text{O}_2$ , Abtrennung von Schwermineralen sowie Trennung von Quarzen und Feldspäten in Schwerelösung unterschiedlicher Dichte (Lithiumpolywolframat), Ätzen der Quarz-Fraktion in konzentrierter HF zur Entfernung von Plagioklasen und der äußeren, von externer  $\alpha$ -Strahlung betroffenen Rinde der Quarzkörner, und schließlich erneute HCl-Zugabe und Trockensiebung zum Erhalt einer möglichst engen Fraktion der Quarzkörner. An diesen wurden zunächst Testmessungen mittels Infrarot Stimulierter Lumineszenz (IRSL) vorgenommen, um eine eventuelle Kontamination der Quarzfraktion mit Feldspäten auszuschließen.

Von der Probe BT 1212 wurde auch die polymineralische Feinkornfraktion (4–11  $\mu\text{m}$ ) durch Schlämmen im Atterberg-Zylinder für IRSL-Messungen abgetrennt.

Zur Bestimmung der natürlichen Radioaktivität der Proben wurden bei der Probennahme jeweils Sedimentproben separat in Plastiktüten verpackt. Der Inhalt wurde im Labor getrocknet und eine jeweils normierte Teilmenge von etwa 200 g an Herrn Dr. Detlev Degering (VKTA - Strahlenschutz, Analytik & Entsorgung Rossendorf e. V.) zur radiometrischen Analyse mittels hochempfindlicher  $\gamma$ -Spektrometrie (Ge-Detektor) gesandt. Eine direkte Bestimmung des Porenwasseranteils konnte nicht vorgenommen werden, da die beprobten Schichten laut Mitteilung von Herrn Ralf Kühner (Vattenfall Europe Mining AG) unterhalb des Grundwasserspiegels lagen, sich aufgrund der Grundwasserabsenkung für die Ausbaggerung aber seitdem oberhalb des Grundwasserspiegels befinden.

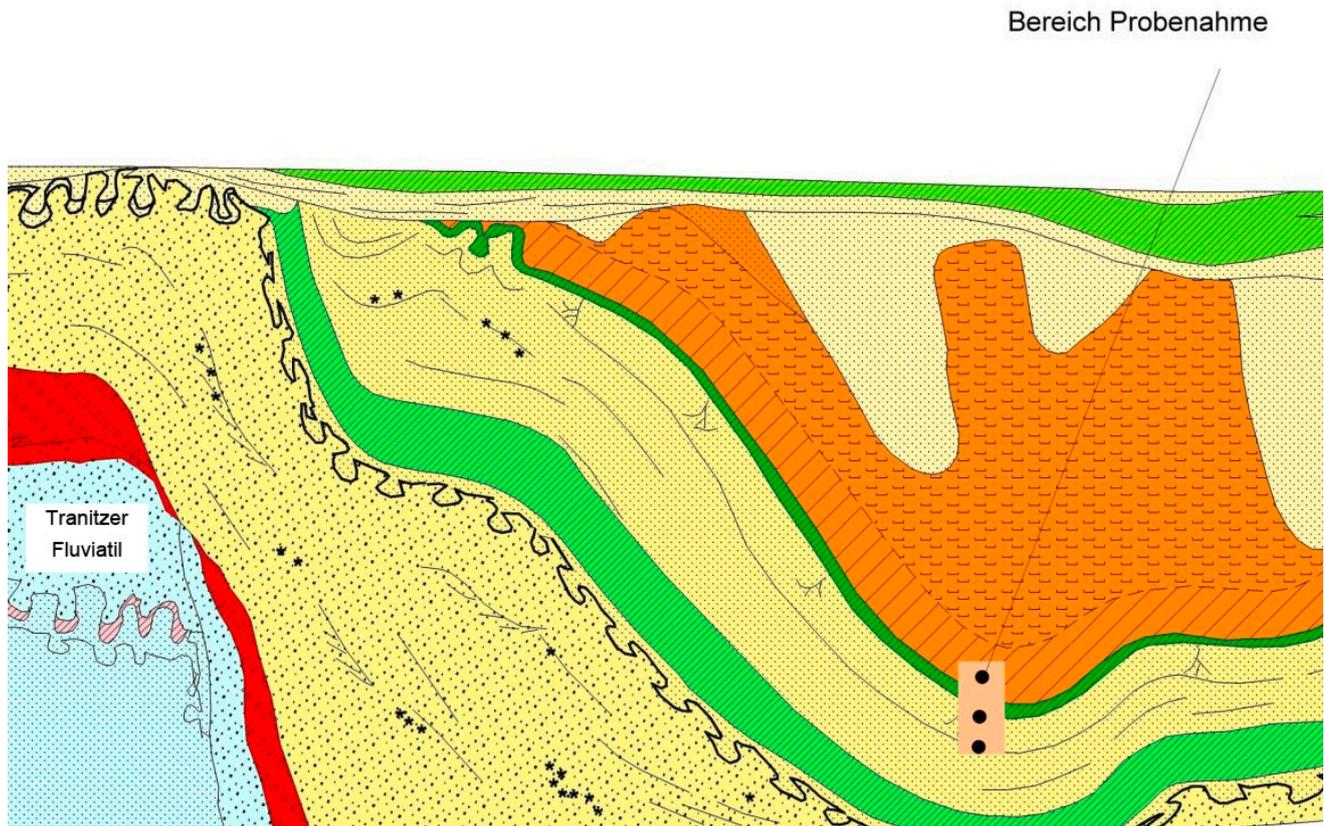


Abb. 1: Profilausschnitt der Muldenstruktur mit saale- und eemzeitlichen Sedimenten im Tagebau Jänschwalde mit Lage der OSL-Probennahme (Profil: R. KÜHNER 2015).

Fig. 1: Part of the depression hosting the Saalian and Eemian deposits in the open cast mine Jaenschwalde including position of OSL sampling (profile: R. KÜHNER 2015).



Abb. 2: Foto der für die OSL-Datierung beprobten Schichten (Foto: I. RAUFUSS 2013)

Fig. 2: Photo of the layers sampled for OSL dating (photo: I. RAUFUSS 2013)

### 3 Methoden

Für die OSL-Messung der Quarze wurde das „Single Aliquot Reiteration“ (SAR) Protokoll nach MURRAY & WINTLE (2000) in der Variation des „Doppel-SAR“ Protokolls (u. a. BANERJEE et al. 2001) angewandt. Die Messungen erfolgten auf einem automatisierten Risø DA15-Gerät mit blauen ( $470 \pm 5$  nm) Stimulations-Laserdioden ( $36 \text{ mW/cm}^2$ ) und einem 7,5 mm Hoya U340 Detektionsfilter ( $340 \pm 80$  nm). Den OSL-Messungen ging jeweils ein Vorheizen für 10 s bei  $180^\circ \text{C}$  voraus. Von den OSL-Intensitäten zwischen 0 und 0,6 s Ausleuchtduer wurde der Untergrund von 32,5 bis 40 s abgezogen. Für jedes einzelne Aliquot wurden Qualitätskriterien für die Akzeptanz angelegt („dose recovery test“:  $1.0 \pm 0.1$ , „recuperation“:  $< 5\%$ , „recycling ratio“:  $1.0 \pm 0.1$ ). Für die Probe BT 1211 verblieben schließlich 17 Aliquots zur Ermittlung der Äquivalenzdosis, für die Probe BT 1213 23 Aliquots, die die Qualitätskriterien erfüllten.

Für die IRSL-Messungen von BT 1212 wurde ebenfalls ein modifiziertes SAR-Protokoll angewandt (siehe FAUST et al. 2015). Das Vorheizen erfolgte bei  $290^\circ \text{C}$  für 60 s. Zwischen der Labor-Bestrahlung und der IRSL-Messung erfolgte eine Pause von 1200 s. Dieses Protokoll hat sich nach bisherigen Erfahrungen bewährt, um den als „anomalous fading“

(anomales Ausheilen) bekannten Effekt einer Langzeitinstabilität des IRSL-Signals weitgehend zu eliminieren. Trotzdem wurde von dieser Probe auch ein Langzeit-Ausheiltest durchgeführt. Die Stimulation erfolgte mittels IR-Laserdioden ( $875 \pm 40$  nm,  $120$  mW/cm<sup>2</sup>) und die Detektion im violett-blauen Spektralbereich durch einen Chroma D410/30x Interferenzfilter ( $410 \pm 30$  nm). Von den IRSL-Intensitäten zwischen 0 und 0,6 s Ausleuchtdauer wurde der Untergrund von 25 bis 40 s abgezogen.

Die Berechnung der Dosisleistung erfolgte aus den  $\gamma$ -spektrometrisch ermittelten Konzentrationen für U, Th und K über Konvertierungsfaktoren (GUÉRIN, MERCIER & ADAMIEC 2011) unter Annahme säkularen Gleichgewichts der U-Zerfallsreihen. Für die extreme „low level“-Dosismetrie besonders der Proben BT 1212 und BT 1213, für die zudem in Bezug auf das  $\beta$ -Strahlungsfeld (Reichweite bis 2 mm) mit Inhomogenitäten aufgrund der Präsenz von Kalifeldspat-Körnern und stärker radioaktiven Schwermineralen wie Zirkonen zu rechnen ist, stellen sich besondere analytische Herausforderungen. Unter diesen Umständen ist die hochauflösende  $\gamma$ -Spektrometrie die geeignete Methode. Es wurden aber auch U- und Th-Konzentrationen mittels  $\alpha$ -Zählung und K-Konzentrationen mittels ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) bestimmt. Obwohl für Sedimente unterhalb des Grundwasserspiegels und vor allem für solche in seinem Schwankungsbereich Ungleichgewichte leicht möglich sind, geht aus den  $\gamma$ -spektrometrischen Daten kein signifikantes Ungleichgewicht hervor. Wassersättigung der Poren wurde für den gesamten Zeitraum seit der Ablagerung angenommen; der kurze Zeitraum seit der künstlichen Grundwasserabsenkung fällt nicht ins Gewicht.

Die notwendige Berücksichtigung des Porenwassergehaltes wegen der Abschwächung der auf die Sedimentkörner einwirkenden ionisierenden Strahlung stellt grundsätzlich

eine der bedeutendsten systematischen Fehlerquellen einer Lumineszenz-Datierung dar. Diese werden im vorliegenden Fall zwar dadurch gemindert, dass von praktisch dauernder Wassersättigung auszugehen ist, allerdings liegen keine Daten über den ursprünglichen Wassergehalt vor. Die Wassersättigung konnte für zwei der drei Proben (BT 1211 und BT 1212) nachträglich im Labor experimentell ermittelt werden, für BT 1213 wurde sie unter Berücksichtigung der Textur geschätzt auf einen nahezu identischen Wert wie für BT 1212.

Die Berechnung der kosmischen Dosisleistung  $\dot{D}_c$  nach PRESCOTT & HUTTON (1988) erwies sich als etwas komplizierter, weil die Schichtenfolge nicht kontinuierlich, sondern episodisch abgelagert und zwischenzeitlich teilweise erodiert wurde (vgl. Beitrag KÜHNER, dieser Band). Obwohl  $\dot{D}_c$  normalerweise nur wenige Prozent der Gesamtdosisleistung ausmacht, bemühten wir uns angesichts sehr niedriger natürlicher Radioaktivität der Proben BT 1212 und BT 1213 um möglichst genaue Modellierung der für den gesamten Datierungszeitraum repräsentativen  $\dot{D}_c$  in einem zeitlichen Mehrschichtenmodell mit bis zu fünf Zeitscheiben für die tiefste Probe BT 1213 und vier Zeitscheiben für die Proben BT 1212 und BT 1211 (vgl. Tab. 1).

Die normierten Lumineszenz-Signale des SAR-Protokolls wurden mit Hilfe der Software Analyst (DULLER 2007) gegen die applizierte Labordosis aufgetragen und mit einer exponentiellen Sättigungsfunktion gefittet (Abb. 3). Die Äquivalenzdosis ( $ED$ ) für die Altersberechnung ergibt sich aus dem fehlergewichteten Mittel für alle akzeptierten Aliquots (Abb. 4). Auch wenn der Langzeit-Ausheiltest für BT 1212 im Labor kein signifikantes anomales Ausheilen jenseits der Nachweisbarkeitsgrenze ergab, kann ein leichtes anomales Ausheilen (Langzeit-Ausheilen) und somit eine leichte Altersunterschätzung nicht ausgeschlossen werden. Eine Alterskorrektur ist aber nicht gerechtfertigt.

Dauer/Mächtigkeit Sediment	Gy/ka
20 ka lang 29 m Sediment	0,0165
90 ka lang 16/2 m Sediment	0,078
12 ka lang 15/2 m Sediment	0,082
5 ka lang 15 m Wasser (inkl. 0,5 m Sediment)	0,082
1 ka lang 0,6 m Sediment	0,193
<b>Gesamtdauer:</b> ca. 130 ka	
5-Schichtenmodell für BT 1213: $(20 \cdot 0,0165 + 90 \cdot 0,078 + 17 \cdot 0,082 + 0,193) / 130$ Gy/ka = 0,0687 Gy/ka	
4-Schichtenmodell für BT1211 und BT1212 (ohne den Summand 0,193/130): 0.0683 Gy/ka	

Tab. 1: 5-Schichtenmodell zur Abschätzung der kosmischen Dosisleistung  $\dot{D}_c$ . Die angegebenen Werte für  $\dot{D}_c$  in Gy/ka für die jeweiligen Zeitscheiben wurden entsprechend der Dauer dieser Abschnitte gewichtet.

Tab. 1: 5 layer model for estimating the cosmic dose rate  $\dot{D}_c$ . The given values for  $\dot{D}_c$  in Gy/ka for the individual time slices were weighted according to the respective duration of the period.

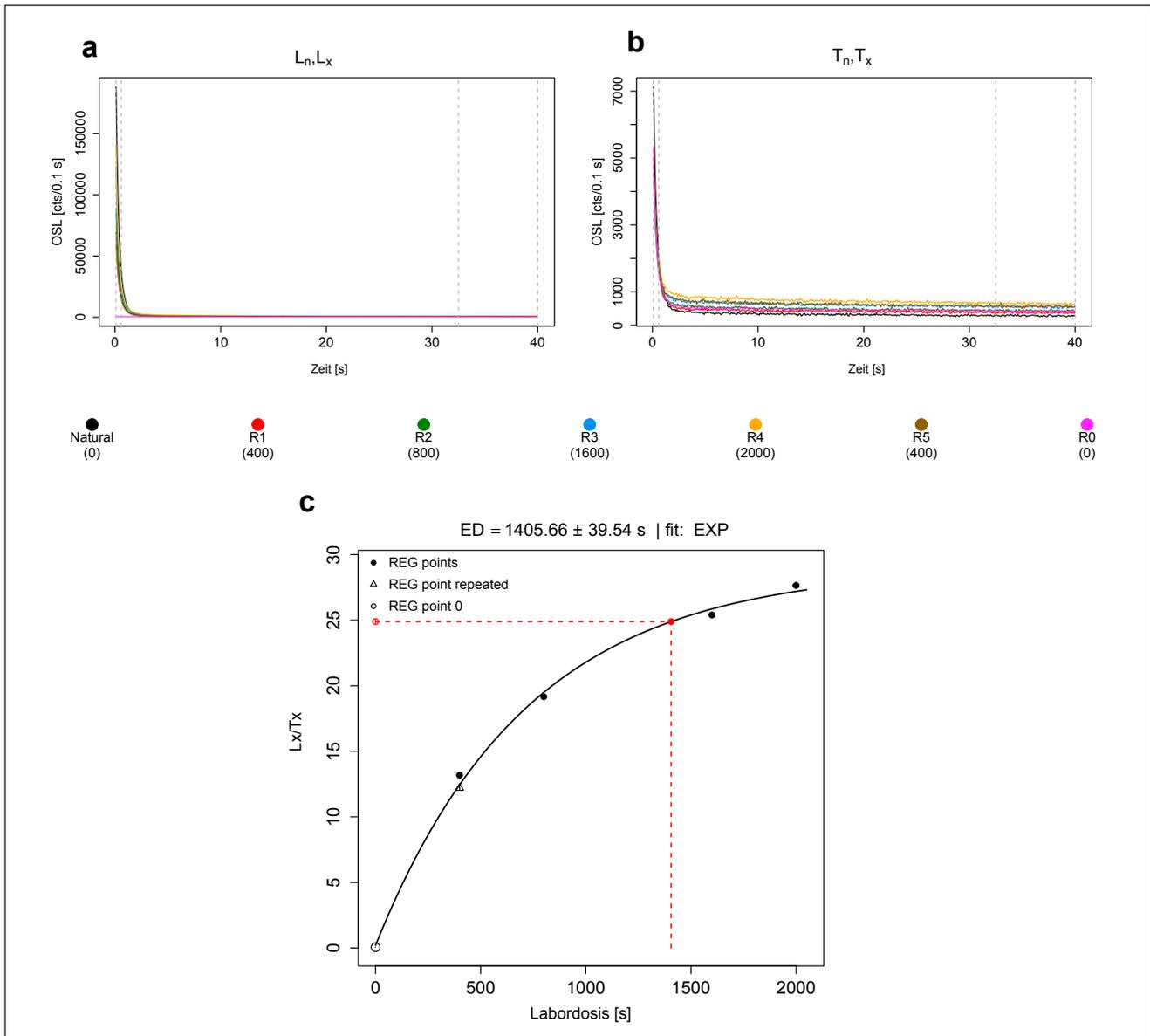


Abb. 3: a – typische OSL-Ausleuchtkurven der Probe BT 1213 (natürlich und nach regenerativer  $\beta$ -Bestrahlung);  
 b – OSL-Ausleuchtkurven nach Verabreichen einer konstanten Testdosis zwischen den Regenerierungsschritten des SAR-Protokolls;  
 c – Wachstumskurve eines Aliquots der Probe BT 1213, gefittet mit einer einfach sättigenden Exponentialfunktion

Fig. 3: a – typical OSL decay curves of sample BT 1213 (natural and after regenerative  $\beta$  irradiation);  
 b – OSL decay curves after administering a constant test dose in between the regeneration cycles of the SAR protocol;  
 c – Dose response curve of one aliquot of sample BT 1213, fitted with a single saturating exponential function

#### 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Lumineszenz-Alter  $t$  werden hier mit ihren  $1\sigma$ -Fehlern angegeben. Das bedeutet, dass das wahre Alter mit 68,3 % Wahrscheinlichkeit in das Konfidenzintervall  $t - \delta t$  bis  $t + \delta t$  fällt. Die Wahrscheinlichkeit erhöht sich auf 95,5 %, wenn die  $2\sigma$ -Fehler zugrunde gelegt werden, wie es beim Vergleich mit unabhängigen Datierungsmethoden üblich ist. Die Altersangaben werden hier auf maximal drei Stellen gerundet, die Fehler auf maximal zwei Stellen.

Das OSL-Alter an Quarzen der Probe BT 1213 beträgt  $150 \pm 17 \text{ ka}$ , das Konfidenzintervall (68,3 %) bewegt sich also zwischen 133 und 167 ka und schließt das erwartete Alter ein. Das OSL-Quarzalter der obersten Probe BT 1211 ist geeignet, die Sensitivität des Ergebnisses in Abhängigkeit von dosimetrischen Variablen zu diskutieren. Die nach  $\gamma$ -spektrometrischen Daten berechnete effektive Dosisleistung liegt um 20 % höher als die nach  $\alpha$ -Zählung und ICP-OES-Werten ermittelte, was vor allem auf Unterschiede in den gemessenen U- und Th-Konzentrationen zurückgeht.

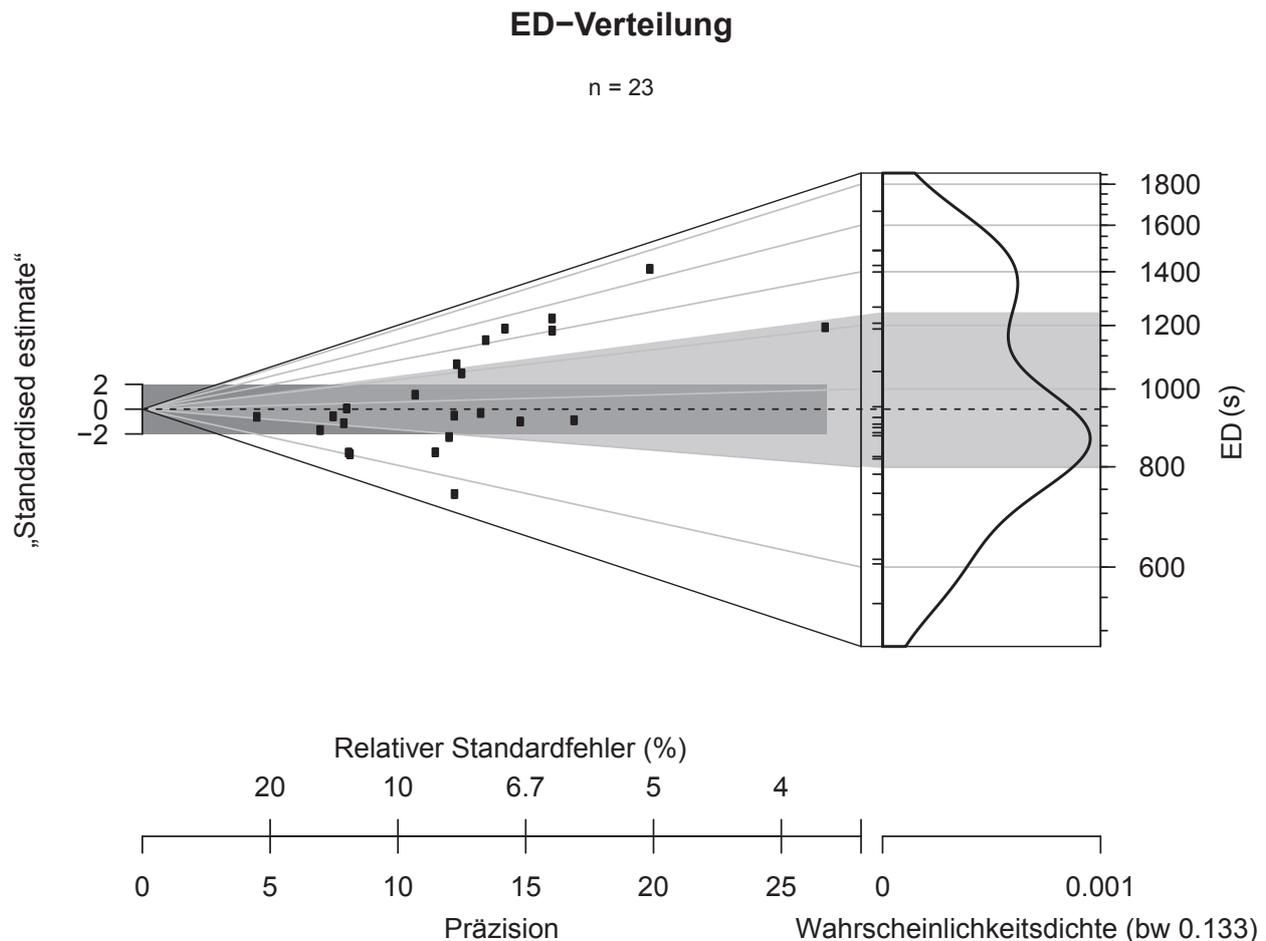


Abb. 4 : Abanico-Plot (DIETZE et al. 2016) der ED-Verteilung von Probe BT 1213 ( $1\sigma = 0,121\text{ Gy}$ )

Fig. 4: Abanico plot (DIETZE et al. 2016) of the ED distribution of sample BT 1213 ( $1\sigma = 0,121\text{ Gy}$ )

Diese Differenz könnte auf den Gehalt der Probe an organischer Substanz (bei Silikatmudden  $> 5\%$  und  $< 30\%$ ) zurückgehen, die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung ähnlich wie Porenwasser abschwächt (DIVIGALPITIYA 1982). Das Alter errechnet sich aus den  $\gamma$ -spektrometrischen Werten zu  $87 \pm 10\text{ ka}$ , was selbst bei Zugrundelegung des  $2\sigma$ -Fehlers das erwartete Alter deutlich unterschätzt. Eine entsprechende Korrektur des Alters für die organische Substanz wurde mangels genauer Daten dazu nicht durchgeführt. Eine befriedigende Erklärung dieser signifikanten Altersunterschätzung im Vergleich zum biostratigraphisch abgeleiteten Alter kann derzeit nicht gegeben werden. Anomales Ausheilen scheidet bei den Quarzen aus. Wird die Altersberechnung hingegen mit den Konzentrationen aus  $\alpha$ -Zählung und ICP-OES durchgeführt, steigt das Alter auf  $105 \pm 13\text{ ka}$ . Dieser Wert schließt innerhalb des  $2\sigma$ -Konfidenzintervalls das biostratigraphisch erwartete Alter zwar ein, er kann jedoch aufgrund der unsicheren Annahmen über die Radioelement-Konzentrationen nicht als zuverlässig gelten. Andererseits trägt das mittels  $\gamma$ -spektrometrischen Daten berechnete jüngere Alter einer möglichen Abschwächung der  $\beta$ -Strahlung durch organische Substanz nicht Rechnung. Dieses wird daher zunächst als Mindestalter angesehen und das höhere Alter als Maximalalter.

In der jüngeren Forschung wird häufig berichtet, dass Unterschätzungen der Äquivalenzdosis und somit des Alters häufig auftreten, wenn die natürliche Dosis sehr nahe an der Sättigungsdosis liegt (u. a. MURRAY & FUNDER 2003, STOKES et al. 2003, TIMAR-GABOR et al. 2015). Obwohl die Probe BT 1211 die stratigraphisch jüngste ist, liegt ihre natürliche Radioaktivität etwa doppelt so hoch wie die der älteren Proben, weshalb ihr natürliches OSL-Signal nahezu in Sättigung ist. Es ist zudem zu berücksichtigen, dass Quarze verschiedener Herkunft unterschiedliche Sättigungsdosen haben. Für die exakte chronostratigraphische Einordnung der Probe BT 1211 erachten wir weder das OSL-Minimalalter von  $87 \pm 10\text{ ka}$  noch das Maximalalter von  $105 \pm 13\text{ ka}$  (vgl. Tab. 2) für aussagekräftig.

Die Quarze der Probe BT 1212 waren so weit in Sättigung, dass gar kein OSL-Alter bestimmt werden konnte. Das IRSL-Alter der feldspathaltigen Feinkornfraktion beträgt  $110 \pm 11\text{ ka}$  (Tab. 2). Der  $2\sigma$ -Fehler schließt das erwartete Alter noch ein, nicht aber der  $1\sigma$ -Fehler. Mögliche Fehlerquellen außer im Labor nicht detektierbarem Langzeit-Ausheilen (s. o.), die die Altersbestimmung beeinträchtigen, können auch hier ein zu gering angenommener Porenwassergehalt sowie ein aus Literaturwerten

Labor-Nr.	Position	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	Relativer Wassergehalt $\Delta$ (feucht/trocken)	ED (Gy)	Dosisleistung (Gy/ka)	Alter (ka)
BT 1211 max.	Oben (top)	1,59	3,76	1,1	1,59	116 ± 8	1,109	105 ± 13
BT 1211 min.		2,00	6,1	1,23	1,59		1,337	87 ± 10
BT 1212 (IRSL)	Mitte (middle)	0,76	2,41	0,83	1,27	130 ± 7	1,181*	110 ± 11
BT 1213	Unten (bottom)	0,44	1,52	0,69	1,25	116 ± 9	0,775	150 ± 17

\*Der a-Wert wurde mit  $0,07 \pm 0,02$  angenommen.

Tab. 2: Ergebnisse der Analytik zur Bestimmung der Radioelementgehalte, der Lumineszenzmessungen sowie berechnete Alter.

Tab. 2: Analytical results of radioelement concentrations, results of luminescence measurements and calculated ages.

übernommener überhöhter a-Wert ( $\alpha$ -Effektivitätsfaktor) sein.

Auf Grundlage der hier mitgeteilten Alter der Proben BT 1212 und BT 1213 (Tab. 2) kann aber das biostratigraphisch fundierte eemzeitliche Alter der Mudde bestätigt werden. Eine ältere Warmzeit scheidet nach diesen beiden Altern aus, weil zum einen die Quarze von BT 1213 auch bei der sehr niedrigen Radioaktivität der Probe bei einem wahren Alter von  $\gg 200$  ka in Sättigung wären und zum anderen das angewandte IRSL-Protokoll der Probe BT 1212 ein Mindestalter von weit über 110 ka hätte liefern müssen (siehe FAUST et al. 2015).

## 5 Ausblick

In jüngerer Zeit wurden Verfahren zur Lumineszenz-Datierung entwickelt und getestet, die Datierungen in einem höheren Dosisbereich als dem der OSL von Quarzen zulassen und nicht von anomalem Ausheilen betroffen sind. Ermutigende Ergebnisse liegen bereits für die Infrarot-Radiofluoreszenz (IR-RF)-Datierung von Kalifeldspäten vor (ERFURT & KRBECSHEK 2003, WAGNER et al. 2010). Violett-stimulierte OSL von Quarzen zeigt ebenfalls eine weit höhere Sättigungsdosis und eröffnet somit die Perspektive der deutlichen Ausdehnung des Datierungszeitraumes, steckt allerdings noch in der Experimentierphase (ANKJAERGAARD, JAIN & WALLINGA 2013), ebenso wie die „Thermally Transferred“ (TT) OSL-Methode (u. a. WANG, WINTLE & LU 2006). In Zukunft könnte durch den Einsatz derartiger Methoden die Datierung von Schichten im Tagebau Jänschwalde Fortschritte erzielen. Unabhängig von der Eignung der neuartigen Methoden wäre für Sedimente von Jänschwalde wünschenswert, gegebenenfalls ein frisch aufgeschlossenes vollständiges Profil erneut zu bearbeiten und engständig für Lumineszenz-Datierungen zu beproben. Dadurch könnten

manche Fehlerquellen besser identifiziert und „Ausreißer“ begründet eliminiert werden.

## 6 Danksagung

Einen herzlichen Dank richten die Autoren an Herrn Dipl.-Inf. (FH) Manfred Fischer, ohne dessen engagierten Einsatz als Laborleiter des Bayreuther Lumineszenz-Labors die hier vorgestellten Ergebnisse nicht erzielt worden wären. Weiterhin bedanken wir uns herzlich bei Herrn Ralf Kühner und der Vattenfall Europe Mining AG für die Bereitstellung relevanter geologischer Informationen und für die finanzielle Unterstützung der Datierungen sowie bei Herrn Dr. Ingo Raufuss (Weimar) für die Vermittlung der Datierungen und für die Probennahme. Herrn Dr. Eberhard Bönisch und Frau Dr. Jaqueline Strahl danken wir für die Einladung, unsere Ergebnisse in diesem Band zu publizieren.

## Zusammenfassung

Drei Sedimentproben von der archäologischen Fundstelle Jänschwalde (Südbecken), die biostratigraphisch vom Saale-Spätglazial bis in das Eem eingeordnet werden, wurden mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz an Quarzen der Sandfraktion datiert. Die mittlere Probe (Fundsicht) erwies sich wegen OSL-Sättigung als nicht datierbar. Deshalb wurde an dieser Probe zusätzlich eine IRSL-Datierung der feldspathhaltigen Feinkornfraktion vorgenommen. Die ermittelten Alter bestätigen, dass es sich bei den warmzeitlichen Ablagerungen um Sedimente des Eem handelt, jedoch zeigen die mittlere und die obere Probe gegenüber den biostratigraphisch erwarteten Altern eine gewisse Altersunterschätzung, deren Ursachen noch nicht sicher benannt werden können.

**Summary**

Three sediment samples from the Jaenschwalde archaeological site (southern basin) which are biostratigraphically attributed between Late Saalian and Eemian were dated by OSL from sand-sized quartz grains. The middle sample from the archaeological horizon was not datable by OSL due to saturation of the OSL signal. Therefore, an additional dating of the feldspar-bearing fine grain fraction by IRSL was conducted. The dating results confirm that the interglacial deposits are of Eemian age, but the middle and the upper samples exhibited some age underestimation with respect to expected biostratigraphical ages the reasons of which can actually not be identified unambiguously.

**Literatur**

- AITKEN, M. (1998): An introduction to optical dating. The dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. – 267 S., Oxford (Oxford University Press)
- ANKJAERGAARD, C., JAIN, M. & J. WALLINGA (2013): Towards dating Quaternary sediments using the quartz Violet Stimulated Luminescence (VSL) signal. – *Quaternary Geochronology* **18**, S. 99–109
- BANERJEE, D., MURRAY, A. S., BOETTER-JENSEN, L. & A. LANG (2001): Equivalent dose estimation using a single aliquot of polymineral fine grains. – *Radiation Measurements* **33**, S. 73–94
- DIETZE, M., KREUTZER, S., BUROW, C., FUCHS, M. C., FISCHER, M. & C. SCHMIDT (2016): The abanico plot: Visualising chronometric data with individual standard errors. – *Quaternary Geochronology* **31**, S. 12–18
- DIVIGALPITIYA, W. M. R. (1982): Thermoluminescence dating of sediments. – MSc thesis Simon Fraser University (Burnaby, Vancouver), Dept. of Physics, S. 1–93, Vancouver (unveröff.)
- DULLER, G. A. T. (2007): Software Analyst Version 3.24
- ERFURT, G. & M. KRBETSCHKEK (2003): IRSAR – A single-aliquot regenerative-dose dating protocol applied to the infrared radiofluorescence (IR-RF) of coarse-grain K-feldspar. – *Ancient TL* **21**, S. 35–42
- FAUST, D., YANES, Y., WILLKOMMEN, T., ROETTIG, C., RICHTER, D., SUCHODOLETZ, H. VON & L. ZÖLLER (2015): A contribution to the understanding of late Pleistocene dunesand-paleosol-sequences in Fuerteventura (Canary Islands). – *Geomorphology* **246**, S. 290–304
- GUÉRIN, G., MERCIER, N. & G. ADAMIEC (2011): Dose-rate conversion factors: update. – *Ancient TL* **29**, S. 5–8
- MURRAY, A. S. & A. G. WINTLE (2000): Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. – *Radiation Measurements* **32**, S. 57–73
- MURRAY, A. S. & S. FUNDER (2003): Optically stimulated luminescence dating of a Danish Eemian coastal marine deposit: a test of accuracy. – *Quaternary Science Reviews* **22**, S. 1177–1183
- PRESCOTT, J. R. & J. T. HUTTON (1988): Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR. – *Nuclear Tracks and Radiation Measurements* **14**, S. 223–227
- SCHMIDT, C. & L. ZÖLLER (2016): Lumineszenzdatierung als Schlüssel zur Vergangenheit. – *Chemie in unserer Zeit* **50**, S. 188–197
- STOKES, S., INGRAM, S., AITKEN, M., SIROCKO, F., ANDERSON, R. & D. LEUSCHNER (2003): Alternative chronologies for Late Quaternary (Last Interglacial–Holocene) deep sea sediments via optical dating of silt-sized quartz. – *Quaternary Science Reviews* **22**, S. 925–941
- TIMAR-GABOR, A., CONSTANTIN, D., BUYLAERT, J.-P., JAIN, M., MURRAY, A.S. & A.G. WINTLE (2015): Fundamental investigations of natural and laboratory generated SAR dose response curves for quartz OSL in the high dose range. – *Radiation Measurements* **81**, S. 150–156
- WAGNER, G., KRBETSCHKEK, M., DEGERING, D., BAHAIN, J.-J., SHAO, Q., FALGUÈRES, C., VOINCHET, P., DOLO, J.-M., GARCIA, T. & G. P. RIGHTMIRE (2010): Radiometric dating of the type-site for *Homo heidelbergensis* at Mauer, Germany. – *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* **107**, S. 19726–19730
- WANG, X., WINTLE, A. G. & Y. LU (2006): Thermally transferred luminescence in fine-grained quartz from Chinese loess: Basic observations. – *Radiation Measurements* **41**, S. 649–658

**Anschrift der Autoren**

Prof. Dr. Ludwig Zöller  
 Dr. Christoph Schmidt  
 Lehrstuhl Geomorphologie  
 Universität Bayreuth  
 95440 Bayreuth  
 ludwig.zoeller@uni-bayreuth.de  
 christoph.schmidt@uni-bayreuth.de