

# Abschlussbericht 2010 des Forschungsprojektes der Sächsischen Akademie der Wissenschaften „Quartärgeologie-Paläoklimatologie“

<i>Projektleiter:</i>	<i>OM L. Eißmann</i>
<i>Begleitende Kommission:</i>	<i>Prof. Dr. K.-D. Jäger (Halle/Berlin, Leiter), OM L. Eißmann (Leipzig)</i>
<i>Forschungsstelle:</i>	<i>„Geochronologie Quartär“ am Institut für Angewandte Physik der TU Freiberg (Institutsdirektor: Prof. J. Heitmann)</i>
<i>Leiter:</i>	<i>Dr. M. Krbetschek (weitere wiss. oder techn. Mitarbeiter nur zeitweise aus Drittmitteln)</i>
<i>Laufzeit:</i>	<i>1988 (1991)–2010</i>

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung
2. Das Forschungsprojekt: Inhalt und Entwicklung
3. Forschungsziele und Ergebnisse
  - 3.1 Physikalische Forschung zur Lumineszenzdatierung
    - 3.1.1 Vorbemerkungen
    - 3.1.2 Ergebnisse physikalisch-methodischer Forschung
  - 3.2 Geochronologische Forschung
    - 3.2.1 Ziele des Forschungsprojektes
    - 3.2.2 Ergebnisse der angewandten geochronometrischen Forschung
4. Zusammenfassung
5. Publikationsliste

## 1. Einleitung

Das wissenschaftliche Vorhaben „Quartärgeologie-Paläoklimatologie“ verfolgte das Ziel, auf der Basis physikalischer Altersbestimmungen an Gesteinen, Fossilien und archäologischen Objekten, Einzelschichten, Schichtsuczessionen und paläoklimatische Ereignisse zeitlich genauer einzustufen. Die möglichst hochaufgelöste Geochronometrie bildet eine Grundlage für viele Bereiche der quartärgeologischen und archäologischen Forschung. Das Quartär des östlichen Deutschlands, insbes. Mitteldeutschland als Typusgebiet der drei großen skandinavischen Vereisungen, bietet einzigartige Voraussetzungen für eine genaue zeitliche Fixierung paläoklimatischer Ereignisse und Abläufe sowie früher menschlicher Tätigkeit. Die zeitlichen Erkenntnisse zur Paläoklimatologie des Quartärs sind mit solchen aus anderen Gebieten der Erde zu vergleichen. Während die relative Gliederung der quartären Schichtenfolge bis in das Mittelquartär, einschließlich des Cromer-Komplex, große Fortschritte gemacht hat, war der Hauptmangel noch immer an absolutzeitlichen Fixierungen der geologischen und klimageschichtlichen Hauptereignisse, wie Beginn und Ende der Eisinvasionen und der dazwischen liegenden Warmzeiten, zu sehen.

Kernstück der Forschungsunternehmung war der Betrieb eines leistungsfähigen Labors für physikalische Altersbestimmungen in dem die grundlegenden Zeitdaten geschaffen werden. Lumineszenz-Datierungsmethoden sind für die Lösung der gestellten geochronologischen Aufgaben besonders geeignet. Deren Einsatz und methodische Weiterentwicklung war ein Schwerpunkt der Forschungstätigkeit. Andere physikalische Altersbestimmungsverfahren wurden zusätzlich eingesetzt.

Die Forschungsstelle wurde 1988 innerhalb der Forschungsunternehmung: „Beiträge zur Umwelt- und Klimaforschung mittels natürlicher Radioaktivität und Geochronologie“ gegründet. 1993 wurde diese Forschung in zwei eigenständige Projekte mit den Forschungsstellen „Umweltforschung mit radiometrisch-geochemischen Methoden“ sowie „Geochronologie Quartär“ gegliedert. Die letztgenannte Forschungsgruppe arbeitet integriert in das Institut für Angewandte Physik der TU Bergakademie Freiberg. Die Tradition der Angliederung von SAW-Forschungsstellen an physikalische Institute reicht dort bis in das Jahr 1965 zurück.

Die Leitung des Forschungsprojektes erfolgt seit 1993 durch das Ordentliche Mitglied der SAW, Herrn Prof. Dr. Lothar Eißmann. Die organisatorische und fachliche Betreuung im Wissenschaftsbereich/Institut für Angewandte Physik wurde von den jeweiligen Wissenschaftsbereichsleitern (vor 1991) bzw. Institutsdirektoren übernommen.

Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren zur Datierung quartärer Sedimente hatten sich in den 1980er Jahren sprunghaft entwickelt. Das große internationale Interesse war vor allem darauf zurückzuführen, dass das Alter bis dahin nicht datierbarer, häufig vorkommender Sedimente im Gegensatz zu bisherigen Verfahren in einem weiten Zeitbereich möglich wurde. Der Einsatz vieler Isotopenverfahren (z.B. Radiokohlenstoff, Uranium-Reihen, Kalium-Argon) hat größere Einschränkungen. Einerseits überdecken manche der Methoden nur enge Zeitabschnitte, andererseits fehlen vielerorts in den Sedimentsequenzen die datierbaren Substanzen (organisches Material, Mineralneubildungen).

Die Forschungsstelle bestand aus einem Wissenschaftler (Geologe), dessen Tätigkeit seit 1990 beständig durch Förderungen erweitert wurde. Dazu gehörten vor allem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekte, insbesondere aus den Bereichen „Neue Technologien für die Geisteswissenschaften“ (NTG) und „Deutsches Klimaforschungsprogramm“ (DEKLIM), seit 2005 vorwiegend DFG-Projekte. Erweiterungen erfolgten auch durch die TU Freiberg (zeitweilige Laborantenkapazität, Wissenschaftlerleistungen für Radionuklidanalytik, Landesstipendien für Doktoranden, Kapazitäten der elektronischen und mechanischen Werkstätten), Forschungsprojekte des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Geologie, ausländische Wissenschaftler (z.B. Stipendiaten der Humboldt-Stiftung des DAAD) sowie das Einbeziehen von Studenten in die Forschungstätigkeit (Diplom- und Studienarbeiten, wissenschaftliche Hilfskräfte).

Die Einbindung der SAW-Forschungsstelle und des damit verbundenen Lumineszenz-Forschungs- und Datierungslabors in das Institut für Angewandte Physik der TU Freiberg hat sich als höchst effektiv für das Forschungsprojekt erwiesen. Zum einen bestand dort eine lange Tradition und Kompetenz im Bereich der Radionuklidforschung in der Geo- und Hydrosphäre mit dem dazugehörigen analytischen Potenzial. Andererseits sind durch einen zweiten Forschungsbereich des Institutes auch die Bezüge zur Festkörperphysik gegeben, die für die Forschung an und mit physikalischen Altersbestimmungsverfahren, welche auf den Prinzipien der Festkörperdosimetrie ionisierender Strahlung beruhen, fördernd wirken. Im Institut selbst, den anderen physikalischen Instituten (Institut für Experimentelle Physik, Institut für Theoretische Physik) und den angeschlossenen Werkstätten bestehen hervorragende Voraussetzungen hinsichtlich der Umsetzung projektrelevanter Messprinzipien, wie beispielsweise der Detektion kleinster Lichtmengen (z.B. Raman-Spektrometrie und Photolumineszenz im Institut für Theoretische Physik bzw. Experimentelle Physik). Dies beschleunigte den umfangreichen Bau neuer Messgeräte, der seit 1988 geleistet wurde.

Auch boten die kompakte Struktur der TU Bergakademie Freiberg weitere, das Forschungsprojekt fördernde Möglichkeiten. Dazu gehören nicht nur Kooperationen im geowissenschaftlichen Bereich (Institut für Mineralogie und Geochemie, Institut für Geologie und Paläontologie) mit gemeinsamer quartärgeologischer, mineralogischer oder geochemischer Forschung sowie analytischen Arbeiten. Kooperationsbeziehungen ergaben sich beispielsweise auch bei der Lösung von Problemen der Extraktion bestimmter Mineralphasen für die Lumineszenzdatierung (Institut für Aufbereitungstechnik), der Alphaspektrometrie und Aufbereitung archäometallurgischer Schlacken (Chemische Institute) oder der Erarbeitung komplexer Computerprogramme zur Steuerung von Messgeräten und zur Auswertung verschiedener Messdaten, wie der Altersberechnung mit radioaktiven Ungleichgewichten oder der Dosisberechnung aus orts aufgelösten Lumineszenzmessungen (Institut für Informatik, Institut für Geophysik).

In Deutschland bestehen zahlreiche Beziehungen zu Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen. Sie wurden zur Bearbeitung ausgewählter Sedimentsequenzen im In- und Ausland auf der Grundlage der jeweiligen geochronologischen vor allem aber auch methodischen Ziele des SAW-Forschungsprojektes genutzt und hergestellt. Gleiches gilt auch für zahlreiche internationale Kooperationsbeziehungen der Forschungsstelle.

Im Folgenden wird für das Projekt Quartärgeologie-Paläoklimatologie ein allgemeiner Überblick zu den Zielen, den Forschungsarbeiten und den erreichten Ergebnissen gegeben. Ein detaillierter Einblick kann aus den Forschungsberichten in den Jahrbüchern der Sächsischen Akademie der Wissenschaften 1991–2010 und den in Anlage 1 aufgelisteten Publikationen gewonnen werden. Zudem wird auf den Bericht zur Evaluierung 2005, der die ersten ca. 15 Jahre der Forschungstätigkeit zusammenfasst, verwiesen.

## **2. Das Forschungsprojekt: Inhalt und Entwicklung**

Bei der quartärgeologischen Forschung stoßen konventionelle geologische Untersuchungsverfahren oft an die Grenzen ihrer Aussagefähigkeit. Physikalische Altersbestimmungen und deren Ausbau haben deshalb für diesen erdgeschichtlichen Abschnitt eine besondere Bedeutung erlangt. Den Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren kann gegenwärtig das größte Potenzial zugesprochen werden, geochronometrische Zeitmarken für den im Forschungsprojekt angesprochenen pleistozänen Entwicklungsabschnitt zu liefern. Eine genaue zeitliche Gliederung des Geschehens in der quartären Erdgeschichte auf der Basis geochronometrischer Altersbestimmungen ist vor allem im terrestrischen Bereich für die letzten 130.000 Jahre nur lückenhaft und davor im Prinzip nicht existent. Gerade jedoch auf dem Festland finden sich die untrüglichen Zeugen extremer Klimaschwankungen – Sedimente ausgedehnter Inlandvereisungen und Permafrostperioden der Früh- bis Hochglaziale und zugleich auch von Warm-

zeiten. Diesem Kenntnisstand gegenüber stehen wichtige globale Aufgaben der Wissenschaft, wie Klimamodelle und -Prognosen, die ohne das detaillierte Verständnis der paläoklimatischen Entwicklung, vor allem auch deren zeitlichen Ablauf, nur unvollständig gelöst werden können. Absolute Zeitmarken sind auch für die Erforschung der kulturgeschichtlichen Entwicklung des Menschen unerlässlich. Das Alter des überwiegenden Teils quartärer Ablagerungen im terrestrischen Bereich lässt sich aus Gründen ihrer geologischen Entstehung und ihres Entstehungszeitraumes gegenwärtig jedoch nur mit Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren ermitteln.

Als ein wichtiges Kriterium akademietypischer langzeitlicher Forschung galt die Untersuchung regionaler Zusammenhänge, die von globalem Interesse sind. Mitteldeutschland ist Definitionsgebiet von zwei großen skandinavischen Inlandvergletscherungen, der Elster- und der Saale-Eiszeit. Auch die letzte große Vereisung der Erdgeschichte, die der Weichsel-Eiszeit, tangiert im Norden diese Region. In mehr als 150 Jahren Forschungsgeschichte wurde der weltweit höchste quartärgeologische Forschungsstand erreicht. In den Ländern Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und dem südlichen Brandenburg sind im Rahmen der Braunkohlenerkundung u.a. allein mehr als 500.000 (!) Bohrungen abgeteuft worden. In zahlreichen Tagebauen konnte, und kann noch, hervorragend in quartäre Schichtenfolgen Einblick genommen werden. Die Region ist einzigartig privilegiert, und man kann von einer Generationenverpflichtung sprechen, sie zu nutzen. Die skandinavischen Inlandvergletscherungen sind gravierende Klimaereignisse globalen Ausmaßes. Die regionalen Verhältnisse sind in besonderer Weise geeignet, auf der Basis von physikalischen Altersbestimmungen Korrelationen mit anderen Gebieten der Erde herzustellen und damit einen Beitrag zum tieferen Verständnis globaler Klimaveränderungen zu leisten. Zudem sind in den quartären Schichten zahlreiche archäologische Fundschichten eingebettet, die wesentlich zum Verständnis der menschlichen Entwicklung beitragen und deren chronometrischer Bezug deshalb hergestellt werden muss.

Die Aufgaben im Forschungsprojekt gliederten sich in zwei Teilbereiche:

- Methodische Weiter- sowie Neuentwicklung und Vervollkommnung von Altersbestimmungsverfahren auf der Basis von Lumineszenzphänomenen von Mineralen, zur Datierung von geologischen Bildungen und Objekten von archäologischem Interesse.
- Erarbeitung eines detaillierten Zeitgerüsts der geologisch-paläoklimatischen Entwicklung in der quartären Erdgeschichte und Beiträge zur archäologischen Erforschung der Ur- und Frühgeschichte auf der Basis physikalischer Altersbestimmungen.

Das Spezifische der Forschungsunternehmung war die Kombination aus langzeitlicher Grundlagenforschung zu physikalischen Altersbestimmungsverfahren, insbesondere auf der Basis von Lumineszenz natürlicher Minerale, und der Nutzung der Zugänglichkeit der einzigartigen quartärgeologischen Verhältnisse am Rande der Inlandeise in Sachsen und den angrenzenden Gebieten. Dieses Wechselspiel, bestehend aus der Erforschung methodischer Voraussetzungen zum Erreichen eines geochronologischen Forschungsziels erforderte eine entsprechende Forschungsstrategie. Die wichtigsten Abschnitte der Forschung sind hier aufgelistet und müssen zum Verständnis in einem solchen Kontext betrachtet werden:

- 1988–1989. Aufbau des ersten Lumineszenz-Datierungslabors in der ehemaligen DDR.
- 1990. Erste Thermolumineszenzdatierungen an quartären Sedimenten Ostdeutschlands und in Kooperation mit der Estnischen Akademie der Wissenschaften erstmaliger Einsatz der Infrarot-Optisch-Stimulierten-Lumineszenz in Deutschland.
- 1991–1996. Aufbau der Lumineszenz-Spektrometrie und Durchführung darauf basierender physikalischer Grundlagenuntersuchungen, insbes. an Feldspatmineralen, zur methodischen

Weiterentwicklung der Lumineszenz-Datierungsmethoden. Entdeckung der Kaliumgehaltsbestimmung über die Rotemission von Feldspat. Basisdaten für das Quartär Mittel-, Ost- und Nordostdeutschlands für die zurückliegenden etwa 150.000 Jahre.

- 1996–1998. Weitere methodische und Datierungsarbeiten in Mittel- und Ostdeutschland. Feststellung der oberen Altersgrenze konventioneller Lumineszenzdatierungen an Sedimenten bei etwa 150.000 a. Entdeckung der IR-Radiofluoreszenz (IR-RF) von Kalifeldspat als Basis für ein neues und bisherige Altersgrenzen überschreitendes Datierungsverfahren. Erste experimentelle IR-RF Datierungen.
- 1999–2000. Aufbau von automatisierten Messgeräten für Lumineszenzuntersuchungen und Datierungen an Mineral-Einzelkörnern. Arbeiten zur Korrelation des alpinen und skandinavischen Vereisungsgeschehens sowie zu nichtvergletscherten Regionen (sibirische Arktis). Weitere Datierungsarbeiten in Mitteldeutschland.
- 2001–2002. Grundlagenuntersuchungen zum Ausbau der IR-Radiofluoreszenz-Datierung als Routineverfahren und verstärkter Einsatz zur Datierung mittelpleistozäner (> 130.000 a) Sedimente Deutschlands. Weitere geochronologische Untersuchungen in Deutschland und Beginn von Arbeiten in Osteuropa.
- 2003–2005. Gesicherter Einsatz der neu entwickelten IR-RF Datierung zur Altersbestimmung von mittelpleistozänen Sedimenten bis etwa 250.000 a und deren Anwendung insbes. zur Korrelation paläoklimatischer Ereignisse in Deutschland und Osteuropa. Einbeziehung von Altersbestimmungen basierend auf durch kosmische Strahlung erzeugten Radionukliden (Beryllium-10, Neon-21) in die Forschungstätigkeit.
- 2006–2010. Vertiefung von Untersuchungen im Jungpleistozän (weichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands) auf der Basis neuer Quarz-OSL-basierter Methoden. Methodische Untersuchungen zur Datierungen älterer Sedimente (> ca. 250.000 a) mittels IR-RF (Kalifeldspat) und OSL/TL (Quarz) sowie Verbesserung von deren Genauigkeit (IR-RF Einzelkorndatierung). Erfolgreiche Datierung von Sedimenten bis 600.000 a (IR-RF) und weitere chronometrische Daten bis zum Holstein-Interglazial (Mitteldeutschland) und älterem Mittelpleistozän (Südwestdeutschland).

### **3. Forschungsziele und Ergebnisse**

#### *3.1 Physikalische Forschung zur Lumineszenzdatierung*

##### *3.1.1 Vorbemerkungen*

Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren sind gegenwärtig die einzigen Datierungsmethoden, um den Sedimentationszeitpunkt mineralchemisch relativ unveränderten Materials zu bestimmen, d.h. z.B. das Alter der Ablagerung wind- oder wassertransportierter Sand- oder Schluffpartikel. Darüber hinaus sind mit Lumineszenz-Methoden neben solchen Sedimenten zahlreiche weitere geologische Bildungen oder archäologische Objekte datierbar, wie vulkanische Aschen, erhitzte Feuersteinartefakte, durch archäologische Befunde veränderte Sedimente, Keramik u.v.a.. Ein weiterer Vorteil dieser Verfahren besteht in dem Zeitbereich, den sie überdecken. Er reicht, je nach Verfahren, von wenigen hundert Jahren bis potenziell mehr als 1 Million Jahre. Das Interesse am Einsatz dieser Altersbestimmungsmethoden ist in Geowissenschaften und Archäologie in den letzten Dekaden besonders stark gewachsen. Auf Grund der Tatsache, dass bei diesem Datierungsverfahren mit sehr komplexen, teilweise noch unverstandenen physikalischen Phänomenen gearbeitet wird, ist für die Ausschöpfung des Potenzials des Datierungsprinzips sowie die Erhöhung der Präzision und Richtigkeit der Al-

terswerte war und ist noch wesentliche physikalische Grundlagenforschung erforderlich. Diese ist einerseits festkörperphysikalischer Natur, auf das Lumineszenzverhalten natürlicher Minerale ausgerichtet, andererseits muss sie sich mit natürlichen Radionukliden und deren geochemischen Verhalten beschäftigen, da das zeitabhängige Signal von deren radioaktiver Umwandlung gespeist wird.

Hauptproblem der methodischen Forschung war – insbesondere zur Erreichung der geochronologischen Ziele des Forschungsprojektes – die Entwicklung von Lumineszenz-Datierungsmethoden, die die zuverlässige und genaue Altersbestimmung klastischer wind- und wassertransportierter Sedimente zunächst bis ca. 400.000 Jahre, später auch darüber hinaus, erlauben. Bis vor kurzem waren zuverlässige Lumineszenz-Altersdaten in den meisten Fällen nur bis etwa 80.000 Jahre in günstigen Fällen bis 150.000 Jahre realisierbar. Darüber hinaus stand die Erhöhung der Genauigkeit von Altersdaten, unabhängig von deren Höhe im Fokus der Forschung, um ein möglichst hochaufgelöstes Bild paläoklimatischer und menschlicher Entwicklung zu gewinnen.

### 3.1.2 Ergebnisse physikalisch-methodischer Forschung

Im Projekt konnten entscheidende Fortschritte bzgl. eines erhöhten Altersbereiches und der Genauigkeit von Lumineszenzdatierungen erzielt werden. Diese sind wesentlich auf den Aufbau und Einsatz hochempfindlicher Messtechnik, die eine spektrale Zerlegung des von den Mineralen ausgesendeten Lumineszenzlichtes erlaubt, zurückzuführen, der bereits in der ersten Hälfte der 1990er Jahre erfolgte. Das vorhandene Messsystem wurde beständig ausgebaut, modern gehalten und gehört noch heute zu den leistungsfähigsten und empfindlichsten der weltweit wenigen Messgeräte dieser Art. Spektrale Untersuchungen der Lumineszenz von Feldspäten standen im Mittelpunkt der mineralogisch-physikalischen Forschung, wegen des hohen Potenzials dieser Mineralgruppe für die Datierung mittelpleistozäner Sedimente. Daneben wurden auch andere Minerale und Substanzen untersucht (u.a. Flint, Karbonate u.a. Salzausscheidungen, Keramiken, Meteorite, polymineralische Feinkornsedimente, Quarz, Zirkon). Wesentliche Ergebnisse sind:

a) Beiträge zur Aufklärung der zugrunde liegenden physikalischen Prozesse verschiedener Lumineszenzeffekte von Feldspäten (insbes. Alkalifeldspäten) und die genauere Charakterisierung der verschiedenen Emissionen hinsichtlich ihrer lumineszenz-dosimetrischen Eigenschaften bzw. ihrer Eignung zur Datierung.

b) Charakterisierung von Lumineszenzemissionen verschiedener Minerale und Substanzen (Mineralgemische) als Basis für neuartige Datierungsverfahren. Etwa  $\frac{3}{4}$  der mehreren Tausend in der Natur vorkommenden Minerale zeigen Lumineszenz. Davon ist zunächst, wegen der Häufigkeit ihres Vorkommens, nur ein sehr geringer Teil von Interesse für die Altersbestimmung. Da es heute messtechnisch möglich ist, auch Altersbestimmungen an einzelnen Körnern von wenigen 100  $\mu\text{m}$  Größe vorzunehmen, lassen sich Potenziale abschätzen.

c) Ein bei den Forschungsarbeiten neu entdecktes Phänomen der Wellenlängenverschiebung des Maximums einer roten Lumineszenzemission in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung des Feldspates erlaubt die Bestimmung des für die Berechnung der internen Dosisleistung wichtigen Kaliumgehaltes an kleinsten Feldspatmengen, bis in den Bereich von einzelnen, wenige 100  $\mu\text{m}$  großen Körnern.

d) Die Entwicklung eines völlig neuartigen Lumineszenz-Datierungsverfahrens, der Infrarot-Radiofluoreszenz-Datierung (IR-RF). Diese Methode hat gegenüber den bisher bekannten Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren grundlegende physikalische Vorteile, die u.a. zu

einer höheren Präzision der Daten führen. Ganz wesentlich ist aber auch, dass damit erstmals Sedimentdatierungen zuverlässige bis in den Bereich um 650.000 a, und potentiell bis mehr als 800.000 a möglich sind. Die SAW Forschungsstelle Freiberg ist auch gegenwärtig noch weltweit das einzige Labor, das dieses vorteilhafte Datierungsverfahren beherrscht und für die angewandte geochronometrische Forschung betreiben kann.

e) Die Entwicklung zweier neuartiger Thermolumineszenz (TL)–Datierungsverfahren auf der Basis eines Einzelpräparat-Regenerations-Messprotokolls (single aliquot regeneration – SAR) und der orange-roten Lumineszenzemission von Quarz. Damit wurde zum einen erstmals die sichere Datierung archäometallurgischer Schlacken möglich. Hervorzuheben ist aus der Sicht der archäologischen Forschung im Paläolithikum das neue Verfahren zur TL-Datierung von erhitzten Flintartefakten. Es erlaubt wegen des geringen Materialbedarfs die Altersbestimmung sehr kleiner, bisher nicht datierbarer Objekte und erhöht die Präzision der Daten bei höherem Probenangebot.

f) der orts aufgelöste Radiofluoreszenzmessungen die IR-RF – Datierung auf Altersbestimmungen an einzelnen Mineralkörnern erweitert. Damit werden in Zukunft noch genauere Sedimentdatierungen bis in die oben angegebenen hohen Altersbereiche möglich sein, insbesondere, weil dadurch Störeffekte, wie die unzureichend optische „Nullsetzung“ des Lumineszenzsignals zum Zeitpunkt der Sedimentation oder mikrodosimetrische Inhomogenitäten besser erkannt und deren Fehlereinfluss minimiert werden kann.

g) Fortschritte hinsichtlich der Genauigkeit von Lumineszenz-Altersdaten konnten auch durch eine verbesserte Radionuklidanalytik (hochauflösende Gammaspektrometrie und ergänzende Analytik der Uranium-Umwandlungsreihen) erzielt werden, inkl. der Entwicklung leistungsfähiger Computersoftware mit der beim Auftreten radioaktiven Ungleichgewichte Modellierungen vorgenommen werden können.

h) Methodische Fortschritte bei der Datierung verschiedener Sedimenttypen, insbes. limnische, fluviale und glazifluviale Sedimente sowie Permafrostsedimente, bzgl. des Grades ihrer optischen Nullstellung zum Zeitpunkt der Sedimentation (mittels Einzelpräparat- und Einzelkorn-Datierungstechniken) und radioaktiver Ungleichgewichte/Radionuklidmigration.

Die methodische Forschung stand stets in Verbindung mit dem Bau moderner Messtechnik, da für neuartige Datierungsverfahren kommerziell verfügbare, konventionelle Messgeräte unzureichend sind. Neben dem bereits erwähnten Lumineszenz-Spektrometer-System gehören auch der Aufbau eines Radiofluoreszenz-Messgerätes sowie verschiedener spezieller Detektorsysteme, zuletzt eines für orts aufgelöste Lumineszenzmessungen, zu den wichtigen physikalischen Forschungsergebnissen des Projektes.

### *3.2 Geochronologische Forschung*

#### *3.2.1 Ziele des Forschungsprojektes*

Als langfristige quartärgeochronologische Ziele der Forschungsunternehmung wurden fixiert:

a) Hauptschwerpunkt der geochronologischen Bearbeitung bildete, wegen der geologischen Rahmenbedingungen, das Definitionsgebiet der drei großen skandinavischen Inlandvereisungen. In Mitteleuropa und bes. ausgehend von den Quartärfolgen in Deutschland, sollen alle Hauptereignisse der paläoklimatischen Entwicklung vom Beginn der Elster-Kaltzeit bis zur Weichsel-Vereisung datiert werden.

b) Gleichzeitig bzw. danach ist eine Korrelation dieser Ereignisse mit den Verhältnissen auf den Britischen Inseln und in Osteuropa erforderlich.

c) Die Zyklen von Kalt- und Warmzeiten im Bereich des skandinavisch-britischen Vereisungsgebietes, sind mit der Entwicklung im Gebiet des Laurentischen Eisschildes (Nordamerika) zu vergleichen.

d) Bei der Erarbeitung eines Zeitgerüsts der Klimaereignisse sind die Altersbestimmungen an paläolithischen Fundhorizonten ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit. Damit sollen entscheidende Beiträge zur kulturgeschichtlichen Entwicklung des Menschen in Europa, wie dessen Erscheinung und Migration, geleistet werden.

e) Als weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen wurde die Korrelation der klimatischen Ereignisse der Vereisungszyklen mit den geologischen Sequenzen in den heutigen Trockengebieten und den Verhältnissen im marinen Bereich, insbes. den Meeresspiegelschwankungen vorgesehen.

Die Lösung der geochronologischen Aufgabenstellung sollte hauptsächlich auf der Basis von Lumineszenz-Altersbestimmungen erfolgen. Diese hatte das Lumineszenz-Datierungslabor der Forschungsstelle, ausgehend von den neuesten methodischen Forschungsergebnissen, durchzuführen. In Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten und zur gegenseitigen Kontrolle und Absicherung der Daten werden auch andere radiometrische Verfahren, wie Uranium-Serie-, Kalium-Argon-, Radiokohlenstoff-, Expositions- sowie andere physikalische Datierungen herangezogen.

Dazu sind Kooperationen mit anderen Institutionen notwendig. Abhängig von den methodischen Möglichkeiten sollten auch ältere mittelpleistozäne (> 400.000 a) und frühpleistozäne Schichten in die Untersuchungen eingeschlossen werden, ggf. erst in einer späteren Phase der Bearbeitung.

Ausgehend vom Umfang der im Projekt primär von der SAW eingesetzten Forschungskapazität (1 Wissenschaftler) ist das Erreichen der genannten geochronologischen Ziele deutlich von deren Erweiterung durch Projektmittel bestimmt. Drittmittel wurden in den ersten rund 10 Jahren von der Forschungsstelle selbst vorwiegend im Bereich der physikalischen Forschung eingeworben. Das war aus der Sicht des methodischen Erkenntnisgewinns notwendig. Die Forschungsstelle Geochronologie Quartär übernahm deshalb in zahlreichen Forschungsprojekten die geochronologische Bearbeitung der pleistozänen Sedimentsequenzen von Kooperationspartnern. Diese mussten für Ziele des SAW-Forschungsprojektes relevant sein, d.h. es bestand hier thematisch kein uneingeschränktes Angebot. Zudem war mit dem Einwerben von Drittmitteln beständig die Schaffung von mindestens einer halben Laborantinnenstelle verbunden, um einen effektiven Laborbetrieb sichern zu können.

Die Unterstützung von Datierungsarbeiten in anderen Forschungsprojekten lieferte Probenmaterial, das zur Qualifizierung der eigenen methodischen Möglichkeiten hilfreich war und erbrachte zugleich Daten für die geochronologische Aufgabe des SAW-Projektes. Die Arbeiten in Mittel-, Ost- und Nordostdeutschland sind hingegen weit überwiegend mit den Kapazitäten der SAW (inklusive deren Drittmittelprojekte) durchgeführt worden. Aus Gründen der Altersgrenzen der Datierungen bestanden bis ca. 2002 starke Einschränkungen bei den angewandten geochronometrischen Arbeiten, die erst mit ausgereiften IR-RF Datierungen überwunden werden konnten. In der Folgezeit wurden dann auch der methodische Forschungsanteil zugunsten angewandter geochronometrischer Forschung verkleinert.

### 3.2.2 Ergebnisse der angewandten geochronometrischen Forschung

Aus den in Abschnitt 3.1 genannten methodischen Gründen konnten erst ab ca. 2003 verstärkt ältere Teile des Mittelpleistozäns in die Untersuchungen einbezogen werden. Hier sind an einigen Profilen des Hauptarbeitsgebietes (Mittel- und Ostdeutschland) die Arbeiten noch

nicht abgeschlossen. Einzelne Publikationen befinden sich in der Vorbereitung. Außerdem konnten aus Gründen des Setzens von Schwerpunkten in der geochronometrischen Arbeit bis zum Laufzeitende des Projektes die in b), c), und e) genannten Ziele von Korrelationen paläoklimatischer Ereignisse insgesamt, aber besonders für das Mittelpleistozän, nur vorbereitet werden.

Zu den wichtigsten geochronologischen Ergebnissen des Projektes gehören (1 ka = 1000 a, OIS, Oxygen Isotope Stage):

- Durch Lumineszenzdatierungen an Sedimenten der südlichen Ostseeküste und weiterer Aufschlüsse Mecklenburg-Vorpommerns sowie Brandenburgs wurde der Hauptvorstoß der weichselzeitlichen Gletscher im OIS 2 festgestellt. Ein aus Untersuchungen in Schleswig-Holstein, Dänemark und Polen wahrscheinlich gemachter Gletschervorstoß um 65 ka (OIS 4) konnte im Arbeitsgebiet nicht eindeutig nachgewiesen werden. Ebenso fehlen hier Anzeichen bzw. Auswirkung eines vermutlich von Skandinavien weit nach Osten reichenden Eisvorstoßes um 90 ka (OIS 5b).

- Durch Untersuchungen an frühweichselzeitlichen Sedimentsequenzen (z.B. in Mitteldeutschland) wurde mit Datierungen die Korrelation zu den Stadial/Interstadial Folgen Herinng/Brörup/Rederstall/Odderade und den OISs 5d bis 5a (Zeitabschnitt von ca. 115–70 ka) bestätigt.

- Es wurden zahlreiche pollenanalytisch in die Eem-Warmzeit einzustufende Sequenzen von der Eifel bis nach Zentralrussland datiert. Alle Altersdaten stufen die Schichten in OIS 5e (130–115 ka) ein. Obwohl es bereits aus geologisch-paläoklimatischer Sicht höchst unwahrscheinlich ist, dass zu unterschiedlichen Zeiten die Entwicklung einer Warmzeit identisch verläuft, sprechen auch die gewonnenen Lumineszenzalter gegen eine solche gelegentlich noch geäußerte Theorie der Existenz von Warmzeiten des Typs „Eem“ unterschiedlichen Alters.

- Der von einigen im Quartär tätigen Wissenschaftlern noch vertretenen Ansicht, dass es zwischen den Vorstößen der Saale-Inlandgletscher Warmzeiten gab, widersprechen zahlreiche Lumineszenzdatierungen an Profilen im gesamten Untersuchungsgebiet. Beispielhaft genannt seien hier lediglich Datierungen zum Alter des sog. „Rügen-Interglazial“ und des „Interglazials von Neumark“. Gleichbedeutend sind die umfangreichen Ergebnisse der Untersuchungen zum Alter der Saale-Vergletscherungen (Drenthe, Warthe). Sie konnten auf den Zeitraum zwischen ca. 150 bis 130 ka fixiert werden (Lumineszenz- und Expositionsdatierungen). Eine zwischengeschaltete Warmzeit, für die aus quartärgeologischer Sicht mindestens 12 ka Dauer anzusetzen wäre, ist damit ausgeschlossen.

- Lumineszenzdatierungen an Sedimenten der frühsaalezeitlichen Hauptterrasse bzw. deren Äquivalente im Hauptuntersuchungsgebiet reichen von ca. 150 ka bis etwa 300 ka. Diese Folge beinhaltet also OIS 7 und OIS 8. Sie enthält auch warmzeitliche Schichtenfolgen, z.B. den Wacken-Torf, der in OIS 7e datiert werden konnte.

- Das Holstein-Interglazial konnte auf der Basis von Datierungen mit dem OIS 9 korreliert werden, sowohl im unmittelbaren Untersuchungsgebiet (Profil Bendorf) als auch am Typprofil (Munster). Ob das sog. Reinsdorf – Interglazial (Schöningen) zum OIS 9 oder OIS 7 gehört konnte mit den vorliegenden Daten noch nicht abschließend geklärt werden.

- Mit der Korrelation des Holstein-Interglazials mit OIS 9 ist eine Zurordnung des Elster-Glazials zu OIS 10 aus geologischer Sicht wahrscheinlich. Datierungen elsterzeitlicher Sedimente oder Gesteinsoberflächen führten jedoch noch nicht zu einer genauen zeitlichen Fixierung auf der Basis geochronometrischer Daten. An den Profilen Mitteldeutschlands ist eine Klärung nur durch die Datierung glazifluvialer Sedimente möglich, welche methodische Weiterentwicklungen bei der Lumineszenzdatierung, vorrangig der IR-RF Methode, erfordert. Datierungen südwestdeutscher Sedimentprofile (u.a. Heidelberger Becken) wurden bis ca. 650 ka erfolgreich durchgeführt. Sie erbrachten aber für das Skandinavische Vereisungsge-

biet, insbes. zum Alter der Elster-Vergletscherungen, aus geologischer Sicht keine verwertbaren Ergebnisse.

- Mit der Datierung pleistozäner Sedimentfolgen konnten archäologisch bedeutsame Fundschichten genauer zeitlich eingeordnet werden. Diese Ergebnisse umfassen den gesamten bearbeiteten Zeitabschnitt von OIS 15 bis OIS 2. Hervorzuheben sind die paläolithischen Fundstellen von Mauer (*Homo heidelbergensis*,  $609 \pm 40$  ka / OIS 15), Wallendorf (OIS 8), Markkleeberg (Hauptfundschrift OIS 7e), Neumark-Nord I/II und Gröbern (OIS 5e). Damit konnte ein wichtiger Beitrag zum Erscheinen und der Ausbreitung des Menschen in Mitteleuropa geleistet werden.

Im Bearbeitungszeitraum wurden auch in folgenden anderen Regionen geochronometrische Daten auf der Basis von Lumineszenzdatierungen geschaffen, in Kooperation mit in- und ausländischen Forschungseinrichtungen:

- Antarktis (Schirmmacher Oase)
- Arabische Halbinsel
- Französische Westalpen
- Hochland von Tibet
- Innere Mongolei
- Kamtschatka
- Ostseebecken
- Pamir
- Sibirische Arktis (Lena-Delta, Küstenabschnitte der Laptev-See)

#### 4. Zusammenfassung

Das Forschungsprojekt „Quartärgeologie-Paläoklimatologie“ hatte das Ziel, weiträumig fehlende geochronometrische Zeitdaten für quartärgeologisch-klimageschichtliche Hauptereignisse zu schaffen, damit über die geologischen Hinterlassenschaften die Wechsel der Klimate, insbesondere auch deren zeitliche Dimensionen, verstanden werden.

Einen wesentlichen Teil des Forschungsprojektes bestimmte notwendigerweise die physikalische Forschung. Es sind in dieser Hinsicht die Voraussetzungen geschaffen worden, alle geochronologischen Ziele des Vorhabens zu erreichen. Für den Bereich des jüngeren Mittelpleistozäns und Jungpleistozäns konnten in verschiedenen Teilgebieten die angewandten Datierungsarbeiten abgeschlossen werden. Verschiedene quartärgeologische Abschnitte im Hauptarbeitsgebiet (Quartär Deutschlands, insbes. Mittel- und Ostdeutschlands) und das Skandinavische Vereisungsgebiet betreffend bedürfen jedoch noch einer genauen zeitlichen Fixierung (Elster-Inlandeisinvansion) oder detaillierteren geochronologischen Auflösung (Saale-Komplex mit Warmphasen). Ebenso müssen weiträumige Korrelationen, insbes. für das Mittelpleistozän, weiteren Forschungsprojekten vorbehalten bleiben.

Abkürzungen:

BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
DEKLIM	Deutsches Klimaforschungsprogramm
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DAAD	Deutscher Akademischer Austauschdienst
NTG	Forschungsprogramm: Neue Technologien für die Geisteswissenschaften
SMUG	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Geologie

IR-RF	Infrarot Radiofluoreszenz
ka	Kilojahre (= 1000 Jahre)
OIS	marines Sauerstoff-Isotopen-Stadium (Oxygen Isotope Stage)
OSL	Optisch Stimulierte Lumineszenz
TL	Thermolumineszenz

## 5. Publikationen 1990–2010

2010

- Geyh, M.A. und Krbetschek, M.R. (2010): Zum radiometrischen Alter des Holstein-Interglazials. – *Forschungen zur Urgeschichte im Tagebau von Schöningen 1*, (zur Veröffentlichung angenommen).
- Lang, S., Hornung, J., Krbetschek, M., Ruckwied, K. und Hoppe, A. (2010): Der Ablagerungsraum am Rand des Oberrheingrabens in Darmstadt im Mittel- und Oberpleistozän. – *Geologische Abhandlungen Hessen*, (zur Veröffentlichung angenommen).
- Krbetschek, M.R.: Sediment age determination by luminescence methods. In: Sirocko, F.: The stratigraphic framework of the Eifel dry maar drilling project. – *Quaternary Sciences Reviews* (submitted).
- Lauer, T., Krbetschek, M., Frechen, M., Tsukamoto, S., Hoselmann, C. and Weidenfeller, M. (2010): Infrared Radiofluorescence (IR-RF) dating of Middle Pleistocene fluvial archives of the Heidelberg Basin (Southern Germany). – *Geochronometria* (in press).
- Lüthgens, C., Böse, M. and Krbetschek, M.R. (2010): On the age of the young morainic morphology in the area ascribed to the maximum extent of the Weichselian Glaciation in north-eastern Germany. – *Quaternary International* 222, 1–2, 72–79.
- Lüthgens, C.; Böse, M.; Lauer, T.; Krbetschek, M.R.; Strahl, J. and Wenske, D. (2010): Timing of the last interglacial in Northern Europe derived from Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of a terrestrial Saalian-Eemian-Weichselian sedimentary sequence in NE Germany. – *Quaternary International* (in press, available online).
- Lüthgens, C., Krbetschek, M.R., Böse, M. and Fuchs, M.C. (2010): Optically Stimulated Luminescence dating of fluvio-glacial (sandur) sediments from north-eastern Germany. – *Quaternary Geochronology* 5, 237–243.
- Novothy, A.; Frechen, M.; Horváth, E.; Krbetschek, M. and Tsukamoto S. (2010): Infrared optically stimulated luminescence and radiofluorescence dating of Quaternary aeolian sediments from Hungary. – *Quaternary Geochronology* 5, 114–119.
- Schirrmeister, L.; Grosse, G.; Kunitsky, V.V.; Fuchs, M.C.; Krbetschek, M.R.; Andreev, A.A.; Herzsuh, O.B.; Siegert, C.; Meyer, H.; Derevyagin, A.Y. and Wetterich, S. (2010): The mystery of Bunge Land (New Siberian Archipelago): Implications for its formation based on palaeoenvironmental records, geomorphology, and remote sensing. – *Quaternary Science Reviews* 29, 3598–3614.
- Schirrmeister, L., Grosse, G.; Schnelle, M.; Fuchs, M.; Krbetschek M.R.; Ulrich, M.; Kunitsky, V.; Grigoriev, M.; Andreev, A.; Kienast, F.; Meyer, H.; Babiy, O.; Klimova, I.; Bobrov, A.; Wetterich, S. and Schwamborn, G. (2010): Late Quaternary paleoenvironmental records from the western Lena Delta, Arctic Siberia. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, (in press, available online).
- Strahl, J.; Luckert, J.; Krbetschek, M.R.; Machalet, B.; Meng, S.; Oches, E.A.; Rappsilber, I.; Wansa, S. & Zöller, L. (2010).- Geologie, Paläontologie und Geochronologie des Eem-Beckens Neumark-Nord 2 und Vergleich mit dem Becken Neumark-Nord 1 (Geiseltal, Sachsen-Anhalt). – *Eiszeitalter Gegenwart (Quaternary Science Journal)* (zur Veröffentlichung eingereicht).
- Wagner, G.A.; Krbetschek, M.R.; Degering, D.; Bahain, J.-J.; Qingfeng, S.; Falgueres, C.; Dolo, J-M. and Garcia, T. (2010): Radiometric dating of the type-site for *Homo heidelbergensis* at Mauer, Germany. – *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 107 (46), 19726–19730.

2009

Eißmann, L.; Jäger, K.-D.; Krbetschek, M.R. (2009): Vorhabenbericht Quartärgeologie - Paläoklimatologie. – In: Kaden, H. (Hrsg.) Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 2007–2008, Verlag der SAW Leipzig, 339–342.

2008

Krbetschek, M.R. (2008): Optically Stimulated Luminescence (OSL) Dating of Sediments from Jebel al-Emaylah (United Arab Emirates). – In: Ürpmann et al. (Eds.) The natural Environment of Jebel al-Buhais: Past and Present, Kerns Verlag Tübingen 2008, 43–45.

Krbetschek, M. R., Degering, D. und Alexowsky, W. (2008): Infrarot-Radiofluoreszenz-Alter (IR-RF) unter-saalezeitlicher Sedimente Mittel- und Ostdeutschlands. – *Zeitschrift d. Dt. Ges. f. Geowiss.* 159/1, 133–140.

Krbetschek, M.R. und Eißmann, L. (2008): Geochronologische Daten aus der Typregion der Elster- und Saale-Inlandvergletscherungen. – *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (Wien)* Band 62, 169–171.

Preusser, F.; Degering, D.; Fuchs, M.; Hilgers, A.; Kadereit, A.; Klasen, N.; Krbetschek, M.; Richter, D. and Spencer, J. (2008): Luminescence dating: basics, methods and application. – *Eiszeitalter Gegenwart (Quaternary Science Journal)* 57, 95–149.

2007

Degering, D. and Krbetschek, M. R. (2007): Dating of Interglacial Deposits by Luminescence Methods. – In: Sirokko et al. (Eds.): The Climate of Past Interglacials, Elsevier, 157–172

Degering, D. und Krbetschek, M. R. (2007): Lumineszenzdatierungen an limnischen Sedimenten von Klinge/Kreis Forst.- Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Cottbus, 120–128.

Eißmann, L., Jäger, K.-D. und Krbetschek, M.R. (2007): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 2005–2006, Verlag der SAW Leipzig, 310–313.

2006

Küster, Y, Hetzel, R., Krbetschek, M. and Tao, M. (2006): Holocene loess sedimentation along the Quilian Shan (China): significance for understanding the processes and timing of loess deposition. – *Quaternary Science Reviews* 25, 114–125.

Richter, D. and Krbetschek, M.R. (2006): A new Thermoluminescence dating technique for heated flint. – *Archaeometry* 48, 695–706.

2005

Eißmann, L., Jäger, K.-D. und Krbetschek, M.R. (2005): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 2003–2004, Verlag der SAW Leipzig.

Sirokko, F., Seelos, K., Schaber, K., Rein, B., Dreher, F., Diehl, M., Lehne, R. Jäger, K., Krbetschek, M. and Degering, D. (2005): A Late Eemian Aridity Pulse in Central Europe during the last Glacial inception, *Nature* 436, 833–836.

2004

Andreev, A.A., Grosse, G., Schirrmeister, L., Kuzmina, S.A., Novenko, E.Yu., Bobrov, A.A., Tarasov, P.E., Ilyashuk, B.P., Kuznetsova, T.V., Krbetschek, M., Meyer, H. and Kunitsky, V.V. (2004) Late Saalian and Eemian palaeoenvironmental history of the Bol'shoy Lyakhovskiy, Island Laptev Sea region, Arctic Siberia. – *Boreas* 33(4), 319–348.

Erfurt, G. und Krbetschek, M. R. (2004): Infrarot-Radiolumineszenz von Feldspäten soll neues Licht auf die altsteinzeitliche Vergangenheit des Menschen in Mitteleuropa werfen. – Neue Technologien für die Geisteswissenschaften, Hrsg.: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), 88–92.

Hiller, A., Junge, F.W., Geyh, M.A., Krbetschek, M.R. and Kremenetski, C. (2004): Characterising and dating Weichselian arganogenic sediments: A case study from the Lusatian marginal valley (Scheibitz opencast mine, eastern Germany). – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 205, 273–294.

- Nasdala, L., Götze, J., Hanchar, J.M., Gaft, M. and Krbetschek, M.R. (2004): Luminescence techniques in Earth Sciences. – EMU Notes in Mineralogy 6, 43–91.
- Sirocko, F., Cubasch, U., Kaspar, F., von Storch, H., Widmann, M., Litt, T., Kühl, N., Mangini, A., Pachur, H.-J., Claussen, M., Kubatzki, C., Junge, F.W., Böttger, T., Krbetschek, M., and Degering, D. (2004): Climate Change at the Very End of a Warm Stage: First Results From the Last Glacial Inception at 117,000 yr BP. PAGES News (12), 18–20.

#### 2003

- Eißmann, L., Jäger, K.-D. und Krbetschek, M.R. (2003): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 2001–2002, Verlag der SAW Leipzig, 207–224.
- Erfurt, G. and Krbetschek, M.R. (2003): IRSAR – A single-aliquot regenerative-dose dating protocol applied to the infrared radiofluorescence (IR-RF) of coarse-grain K feldspar. – *Ancient TL* 21, 21–28.
- Erfurt, G. and Krbetschek, M.R. (2003): Studies on the physics of the infrared radioluminescence of potassic feldspar and on the methodology of its application to sediment dating. – *Radiation Measurements* 37, 505–510.
- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Bortolot, V.J. and Preusser, F. (2003): A fully automated multi-spectral radioluminescence reading system for geochronometry and dosimetry. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (B)* 207, 487–499.
- Haustein, M.; Krbetschek, M.R. and Pernicka, E. (2003): Influence of radiation used by security control at airports on the TL signal of quartz. – *Ancient TL* 21, 7–10.
- Haustein, M., Roewer, G., Krbetschek, M.R. and Pernicka, E. (2003): Dating archaeometallurgical slags using thermoluminescence. – *Archaeometry* 45, 519–530.

#### 2002

- Erfurt, G. and Krbetschek, M.R. (2002): A Radioluminescence Study of Spectral and Dose Characteristics of Common Luminophors. – *Radiation Protection Dosimetry* 100, 403–406.
- Haustein, M. and Krbetschek, M.R. (2002): The red thermoluminescence of quartz and its application in dating archaeometallurgical slags. – *Radiation Protection Dosimetry* 100, 375–378.
- Krbetschek, M.R., Gonser, G. and Schwamborn, G. (2002): Luminescence dating results of sediment sequences of the Lena Delta. – *Polarforschung* 70, 83–88.
- Krbetschek, M.R., Goetze, J., Irmer, G., Rieser, U. and Trautmann, T. (2002): The red luminescence emission of feldspar and its wavelength dependence on K, Na, Ca-composition. – *Mineralogy and Petrology* 76, 167–177.

#### 2001

- Eißmann, L., Erfurt, G., Stolz, W. and Krbetschek, M.R. (2001): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 1999–2000, Verlag der SAW Leipzig, 152–163.
- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Trautmann, T. and Stolz, W. (2001): Radioluminescence (RL) probe dosimetry using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for precise calibration of beta sources applied to luminescence dating. – *Radiation Physics and Chemistry* 61, 721–722.

#### 2000

- Erfurt, G., Krbetschek, M.R., Trautmann, T. and Stolz, W. (2000): Radioluminescence behaviour of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C - potential for dosimetric applications. – *Radiation Measurements* 32, 735–739.
- Götze, J., Krbetschek, M.R., Habermann, D. and Wolf, D. (2000): High resolution cathodoluminescence studies of feldspar minerals. In: Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohnenstetter, D. (Eds.). – *Cathodoluminescence in Geosciences*, Springer, 245–270.
- Krbetschek, M.R. and Trautmann, T. (2000): Radioluminescence dating: A spectral radioluminescence study for dating and dosimetry. – *Radiation Measurements* 32, 853–857.
- Krbetschek, M.R., Trautmann, T., Dietrich, A. and Stolz, W. (2000): Radioluminescence dating: Methodological aspects. – *Radiation Measurements* 32, 493–498.
- Kuhn, R., Trautmann, T., Singhvi, A.K., Krbetschek, M.R., Wagner, G.A. and Stolz, W. (2000): A study of thermoluminescence emission spectra and optical stimulation spectra of quartz from different provenances. – *Radiation Measurements* 32, 653–657.

- Trautmann, T., Krbetschek, M.R., Dietrich, A. and Stolz, W. (2000): The basic principal of radioluminescence dating and a first model approach. – *Radiation Measurements* 32, 487–492.
- Trautmann, T., Krbetschek, M.R. and Stolz, W. (2000): A systematical study of radioluminescence properties of single feldspar grains. – *Radiation Measurements* 32, 685–690.

#### 1999

- Krbetschek, M.R., Stolz, W. und Eißmann, L. (1999): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 1997–1998, Verlag der SAW Leipzig, 129–138.
- Richter, D., Krbetschek, M.R., Rieser, U., Trautmann, T. and Wagner, G.A. (1999): Spectral investigation of the thermoluminescence of heated flint (silex). – *Quaternary Geochronology* 18, 279–285.
- Trautmann, T., Krbetschek, M.R., Dietrich, A. and Stolz, W. (1999 a): Radioluminescence dating: A new tool for quaternary geology and archaeology. v *Naturwissenschaften* 86, 441–444.
- Trautmann, T., Krbetschek, M.R., Dietrich, A. and Stolz, W. (1999 b): Feldspar radioluminescence: A new dating tool and its physical background. – *Journal of Luminescence* 85, 45–58.

#### 1998

- Krbetschek, M.R., Stolz, W. und Eißmann, L. (1998): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 1995–1996, Akademie Verlag, 106–122.
- Trautmann, T., Krbetschek, M.R., Dietrich, A. and Stolz, W. (1998): Investigations of Feldspar Radioluminescence: Potential for a new Dating Technique. – *Radiation Measurements* 29 (3–4), 421–425.

#### 1997

- Dütsch, C. and Krbetschek, M.R. (1997): New methods for a better K-40 internal dose rate determination. – *Radiation Measurements* 27 (2), 377–381.
- Krause W., Krbetschek M.R. and Stolz, W. (1997): Dating of Quaternary sediments from the Schirmacher Oasis (East Antarctica) by infrared stimulated luminescence (IRSL) detected at wavelength in the region 560 nm. – *Quaternary Geochronology* 16, 387–392.
- Krbetschek M.R., Götze J., Dietrich A. and Trautmann T. (1997): Spectral Information from Minerals relevant for luminescence dating. – In: Wintle, A.G. (Ed.) A Review on Luminescence and Electron Spin Resonance Dating and Allied Research. – *Radiation Measurements* 27, 695–748.
- Krbetschek, M.R. und Stolz, W. (1997): Lumineszenz-Datierungen am jungpleistozänen Becken von Gröbern – neue Ergebnisse. – *Leipziger Geowissenschaften*, 5, 129–133
- Rieser U., Lang, A., Wagner, G.A., Krbetschek, M.R. and Stolz W. (1997): Luminescence dating in archaeology: recent developments. – Proceedings of the 4th International Conference on Optics within Life Sciences 1996, Springer 1997.
- Rieser, U., Hütt, G., Krbetschek, M. and Stolz, W. (1997): Feldspar IRSL spectra at elevated and low temperatures. – *Radiation Measurements* 27 (2), 273–287.
- Stolz, W., Rieser, U., Krbetschek, M. und Trautmann, T. (1997): Lumineszenzspektrometrie: Fortschritt in der archäologischen Datierung. – Broschüre des Bundesministeriums für Bildung, Forschung, Wissenschaft und Technologie: Einsatz neuer Technologien in den Geisteswissenschaften, 55–57.

#### 1996

- Precker, A. und Krbetschek, M.R. (1996): Die Hochmoore Mecklenburg-Vorpommerns – Erste Auswertung zum Regenmoor-Schutzprogramm des Landes Mecklenburg-Vorpommern. – *Telma* 26, 205–221.
- Precker, A., Krbetschek, M.R. and Hebert, D. (1996): Litho- and chronostratigraphical investigations on raised bogs in Northeast Germany. – Proceedings of the 10th International Peat Congress, Bremen 1996, 2, Stuttgart (Schweitzerbart), 128–130.
- Krbetschek, M.R. und Eißmann, L.. (1996): Vorhabenbericht Quartärgeologie – Paläoklimatologie. – Jahrbuch der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig 1993–1994, Akademie Verlag, 91–99.

- Krbetschek, M. R., Rieser, U. and Stolz, W. (1996): Optical dating: Some dosimetric properties of natural feldspars. – *Radiation Protection Dosimetry* 66, 407–412.
- Singhvi, A. K. and Krbetschek, M. R. (1996): Luminescence dating of arid zone sediments: A review and perspective. – *Annals of Arid Zone* 35, 249–280.
- Stolz, W. und Krbetschek, M. R. (1996): Radioaktivität, Lumineszenz und Altersbestimmung im Quartär. – *Naturwissenschaftliche Rundschau* 49 (11), 421–427.

#### 1990–1995

- Koch, U., Heinicke, J., Fröhlich, K. und Krbetschek, M. (1992): Radon im Oberen Vogtland und seine geowissenschaftliche Anwendung. – *Wissenschaft und Fortschritt* 42, 253–255.
- Krbetschek, M. R. (1995): Lumineszenz-Datierung quartärer Sedimente Mittel-, Ost- und Nordostdeutschlands. – Dissertation TU Bergakademie Freiberg, 120 S.
- Krbetschek, M. und Heinicke, J. (1991): Altersbestimmung limnischer Sedimente von Schönfeld, Kreis Calau, Thermolumineszenz-Methode. – In: Striegler, R. und Striegler, U. (Hrsg.): Das Eem von Schönfeld I. – Natur und Landschaft in der Niederlausitz, Cottbus, 86–91.
- Krbetschek, M. R. and Rieser U. (1995): Luminescence spectra of alkalifeldspars and plagioclases. – *Radiation Measurements* 24 (4), 473–477.
- Krbetschek, M.R., Rieser, U., Zöller, L. and Heinicke, J. (1994): Radioactive Disequilibria in Palaeodosimetric Dating of Sediments. – *Radiation Measurements* 23, 485–489.
- Krbetschek, M. R. und Stolz, W. (1994): Lumineszenz-Datierung an pleistozänen Sedimenten aus Tagebauen des Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlenreviers. – In: Eißmann, L. und Litt, T. (Hrsg.): Das Quartär Mitteldeutschlands – Ein Leitfaden und Exkursionsführer. – Altenburger Naturwissenschaftliche Forschungen H. 7, 289–295.
- Stolz, W. und Krbetschek, M.R. (1990): Lumineszenzdatierung quartärer Sedimente. – *Isotopenpraxis*, 26 (11), 505–512.
- Thiem, G. und Krbetschek, M.R. (1992): Geschiebestatistische Untersuchungsergebnisse an Grundmoränen im Raum westlich Spremberg (Niederlausitz). – *Z. geol. Wiss.* 20 (5/6), 593–601.