Lumineszenzalter von Quartärablagerungen im Donautal und im Tertiärhügelland bei Ingolstadt (Bayern)

Von Markus Fiebig und Frank Preusser

Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen

Schlüsselworte: Bayern – Ingolstadt – Donautal – Tertiärhügelland – Infrarot Stimulierte Lumineszenz (IRSL) – Quartärgliederung

Kurzfassung: Erste chronostratigraphische Einstufungen quartärer Sedimente aus dem Donautal und dem angrenzenden Tertiärhügelland bei Ingolstadt (Bayern) basieren auf Datierungen mittels Infrarot Stimulierter Lumineszenz (IRSL). Für drei Proben aus einer Düne auf der Niederterrasse bei Neustadt ergaben sich übereinstimmend Alter zwischen 1300 bis 1500 Jahre n.Chr., was eine Reaktivierung äolischer Umlagerungsprozesse im Spätmittelalter anzeigt. Das Alter einer weiteren Düne aus dem Tertiärhügelland fällt in das ausgehende Pleistozän und legt eine Korrelation mit der Jüngeren Dryaszeit nahe. Fünf Proben aus fluvialen Deckschichten der Niederterrasse bei Schwaig ergaben IRSL-Alter um 15 000 Jahre. Die Ablagerung fand somit zu Beginn des Spätglazials, möglicherweise in Zusammenhang mit dem Auftauen des Permafrostes statt. Fünf weitere Proben aus oberflächennahen Sedimenten des Tertiärhügellandes erbrachten drei sehr unterschiedliche Alter, die jeweils mit Kaltphasen und Zeiten geringer Vegetationsbedeckung korrelieren. Bei zwei Proben lag die IRSL im Bereich der Sättigung, was auf Alter > 500 000 Jahre hindeutet. Die Datierungen belegen somit eine Reihe von Umlagerungsereignissen und bedeutenden Landschaftsveränderungen in der Region während des Quartärs.

Luminescence dating of Quarternary deposits from the river Danube valley and the Molasse hills („Tertiärhügelland") near Ingolstadt (Bavaria)

Keywords: Bavaria – Ingolstadt – Danube valley – Tertiärhügelland – infrared stimulated luminescence (IRSL) – subdivision of the Quarternary

Abstract: A first chronology of Quaternary sediments from the river Danube valley and the adjacent Molasse hills („Tertiärhügelland") near Ingolstadt (Bavaria) is based on infrared stimulated luminescence (IRSL) dating. Three samples from a dune on top of the lower terrace of the Danube near Neustadt gave corresponding age estimates of 1300 to 1500 years AD, thus, indicating the reactivation of aeolian processes during Late Medieval times. Another dune from the Molasse hills has a latest Pleistocene age implying a correlation with the Younger Dryas. IRSL ages of five samples from sandy reworked sediments on top of the lower terrace near Schwaig scatter around 15 000 years. Deposition took place during the on-setting Late Glacial period, probably caused by the melting of perma frost. Five samples taken from surface near sediments of the Molasse hills have three divergent age estimates. Each correlates with a period of cold climate and less vegetation. IRSL of two samples is close to saturation, likely to represent ages of > 500 000 years. The study indicates several substantial reworking events and confirms significant changes and evolution of the landscape around Ingolstadt during the Quaternary.

Anschrift der Verfasser: Dr. Markus Fiebig, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-80797 München; Dr. Frank Preusser, Geologisches Institut, Universität Bern, Baltzerstrasse 1, CH-3012-Bern.

Inhalt

1. Einführung 260
2. Probenahme 260
3. Lumineszenzdatierungen 264
4. Diskussion 268
5. Zusammenfassung 270
6. Literatur 270

1. Einführung

Die Palette an quartären Lockergesteinen reicht in der Region um Ingolstadt bezüglich ihrer Korngröße von Feinsedimenten über Sande und Kiese bis hin zu Diamikten. Für einige dieser Lockergesteinsvorkommen, als Beispiel seien hier Dünensande auf Präquartär genannt, ist nach der Feldaufnahme weder ihre relative Position innerhalb der quartären Abfolge noch ihre exakte Position innerhalb der Erdgeschichte bekannt. Da die Biostratigraphie in diesem Fall wegen des Mangels an Entwicklung und Häufigkeit von Fossilien kaum weiterhilft, muss auf andere Methoden zurückgriffen werden. So könnte z. B. der Grad der Verwitterung der Dünenoberfläche Schlüsse auf die Zeit seit der Entstehung bzw. letzten Verlagerung zulassen. Allerdings sind solche „Datierungen" oft schwer nachvollziehbar und eine Korrelation über größere Distanzen oder mit andersartigen Sedimenten meist unmöglich. Physikalische und chemische Datierungsmethoden stellen, abgesehen von methodischen Einschränkungen und Problemen, hervorragende Möglichkeiten dar, die sich stellenden erdgeschichtlichen Fragen zu beantworten. In der vorliegenden Studie werden die Ergebnisse von ersten Datierungen mit der Infrarot Stimulierten Lumineszenz (IRSL) vorgestellt.

2. Probenahme

Alle Proben wurden aus Aufschlüssen aus dem Bereich des Blattes 7236 Münchsmünster der Geologischen Karte 1:25 000 von Bayern entnommen (siehe Abb. 1).

Probe K4E:

Im Dürnbucher Forst an der Hauptgeräumt-Straße findet sich in einem Weganschnitt ein Sandvorkommen, das als Düne interpretiert wird (R 44 78 575, H 53 99 180). Optisch strukturlose, schwach feinsandige, leicht rötliche Mittelsande bauen eine ca. 1,5 m hohe, längliche Kuppe in der Landschaft auf. Ca. 1 m unter der Geländeoberkante wurde eine Probe (K4E) entnommen (Abb. 2a). Auch unterhalb der morphologisch erkennbaren Düne stehen laut Kartierung weitflächig Sande an. Ob es sich dabei um anstehende tertiäre Sande oder um quartär umgelagertes Material handelt, ist nicht bekannt. Weitere Probenahmen sollten hier später folgen.

Proben NFD 1–3:

Südlich des Ortes Neustadt an der Donau konnten in einer kleinen Sandgrube inmitten eines Dünenfeldes drei Sandproben (NFD1–3) mittels Stechzylinder gewonnen

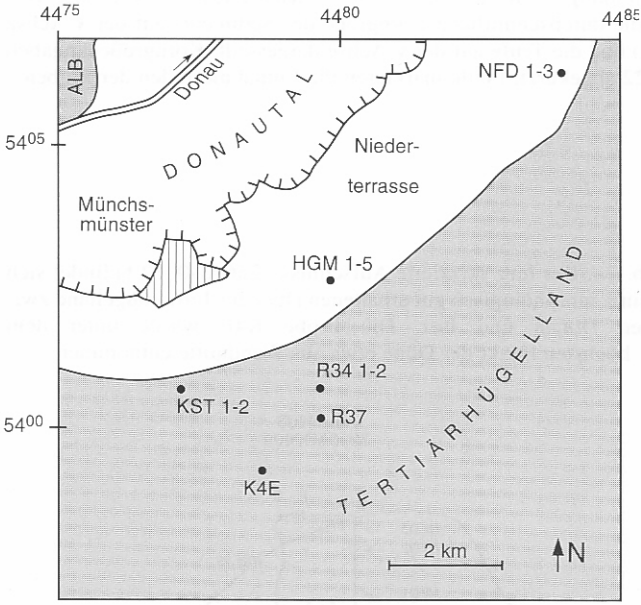

Abb.1. Die Probenentnahmepunkte befinden sich im Donautal im Bereich der Niederterrasse (NFD 1–3, HGM 1–5) sowie im Tertiärhügelland zwischen Donau und Isar (KST 1–2, K4E, R34 1–2 und R37). Die Proben wurden in folgenden Aufschlüssen entnommen (Objekt-ID's aus der Zentralen Datenbank des Bayerischen Geologischen Landesamts):
7236AG0009 = NFD,
7236AG0010 = HGM,
7236AG0011 = KST,
7236AG0012 = K4E,
7236AG0040 = R 34,
7236AG0041 = R 37.

werden (Abb. 2b). Die Grube schneidet in einen der WSW/ENE streichenden Sandhügel hinein, die Höhen zwischen 4 und 6 m erreichen. Etwa 200 m entfernt vom Probenahmepunkt (R 44 83 940, H 54 06 315) befindet sich eine Grundwassermessstelle (Objekt-ID im BayGLA 7236BP0134). Das Bohrprofil der Messstelle zeigt, dass unter einem ca. 5 m mächtigen, sandig-schluffigen, im unteren Teil schwach kiesigen Schichtverband ein ca. 5 m mächtiges Kiespaket folgt. Unterhalb des Kiespaketes stehen bis zur Endteufe schwach schluffige Sande an.

Aufgrund von über 300 Bohrungen im morphologischen Niederterrassenbereich des Kartengebietes kann das erbohrte Kiespaket eindeutig als Niederterrassenschotter identifiziert werden. Die unterlagernden schluffigen Sande dürften der tertiären Molasse zugehören. Das Schichtpaket über den Kiesen wurde durch Abschwemmvorgänge aus dem Tertiärhügelland auf die Niederterrasse aufgespült. Die morphologisch deutlich erkennbaren Dünen, aus denen die Proben gewonnen wurden, bilden die oberste Einheit.

Proben HGM 1–5:

Fünf Proben (HGM 1–5) stammen aus einer Kiesgrube bei Schwaig im Gewann Hochgementel (Abb. 2c). Am Probenentnahmepunkt (R 44 79 850, H 54 02 725) innerhalb der Kiesgrube stehen unter ca. 0,9 m mächtigen, sandigen Kiesen etwa 3,2 m feinsandige Mittelsande an. Bis ca. 2 m unter Geländeoberkante sind diese Sande vorherrschend rotfleckig, darunter setzt eine schwarze Bänderung ein. Aus letztgenanntem Bereich wurden die Proben HGM 5 und 4 entnommen. Ab etwa 4,1 bis 5,6 m unter Geländeoberkante findet sich eine mehrmalige Wiederholung von jeweils etwa 20 bis 40 cm mächtigen fining-up Zyklen aus Feinmittelsanden zu feinsandigen Schluffen. Das Material dieser Zyklen ist von oben nach unten zunehmend karbonatisch. Hier wurden die Proben HGM 3 bis 1 jeweils an Übergängen von Sanden zu Schluffen innerhalb der Zyklen entnommen.

Abb. 2. In den Skizzen der Abbildung 2 sind Lithofaziesprofile nach EYLES et al. (1983) verzeichnet. In diesen Profilen ist die durchschnittliche Korngröße des Sediments auf der x-Achse (F= Fines, S=Sands, G=Gravels) und die Teufe auf der y-Achse dargestellt. Korngrößenangaben sind entsprechend der DIN 4022 abgekürzt. Pfeile markieren die Entnahmestellen der Proben.

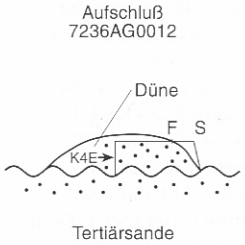

Abb. 2a. Der hier skizzierte Aufschluss 7236AG0012 befindet sich in einer morphologisch gut erhaltenen Düne im Tertiärhügelland zwischen Donau und Isar. Die Probe K4E wurde unter dem höchsten Punkt der Düne etwa aus Wandmitte entnommen.

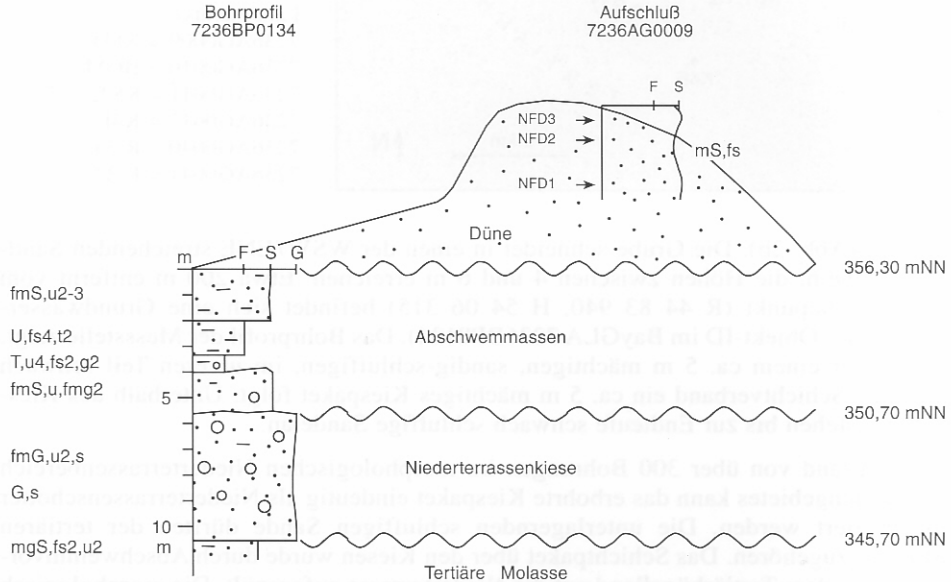

Abb. 2b. In dieser Skizze ist die Bohrung 7236BP0134 und ein Lithofaziesprofil aus einer kleinen Sandgrube 7236AG0009 mit den Probenahmestellen NFD 1–3 angedeutet. Die Bohrung durchteufte Abschwemmassen und Niederterrassenkiese bis in die tertiäre Molasse. Im Aufschluss sind die Sande einer Düne beprobt worden.

Ca. 150 m vom Probenahmepunkt entfernt wurde die Bohrung (7236BN0363) abgeteuft. Das Bohrprofil zeigt die aufgeschlossenen Sande, allerdings ungegliedert. Darunter wurde der Kieskörper der Niederterrasse durchteuft. Der Kies wird derzeit im Nassabbau durch einen Schwimmbagger gefördert und steht oberhalb des Grundwasserspiegels nicht an. Unterhalb der Niederterrassenkiese folgen vermutlich tertiäre Sedimente.

Proben R34 1–2 und R37:

Im Talrandbereich des Kaltenbrunner Baches finden sich zwei weitere Probennahmestellen (Abb. 2d) aus denen insgesamt drei Proben entnommen wurden. Die Auf-

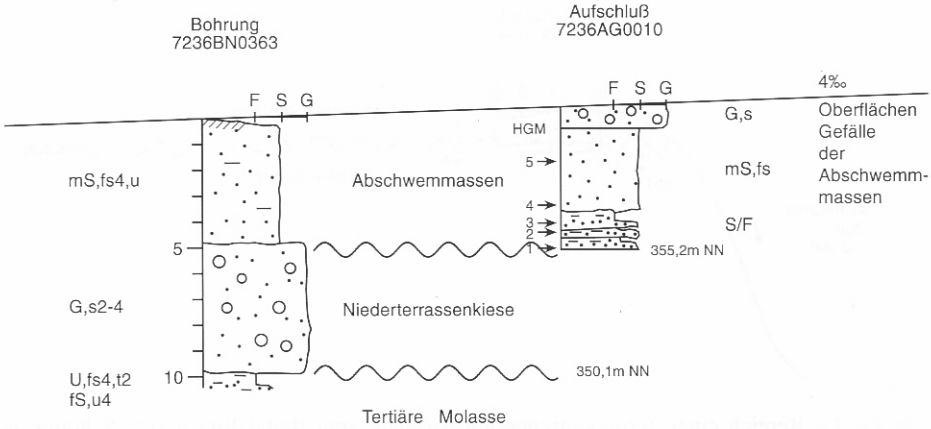

Abb. 2c. Die Skizze zeigt eine Profilaufnahme einer Aufschlusswand in der Kiesgrube Hochgementel (7236AG0010) mit den Probenahmepunkten (HGM 1–5). Daneben ist die etwa 150 m entfernte Bohrung 7236BN0363 aufgezeichnet. Während die Bohrung Abschwemmassen und Niederterrassenkiese bis in die tertiäre Molasse durchteufte, stehen im Aufschluss nur die Abschwemmassen an.

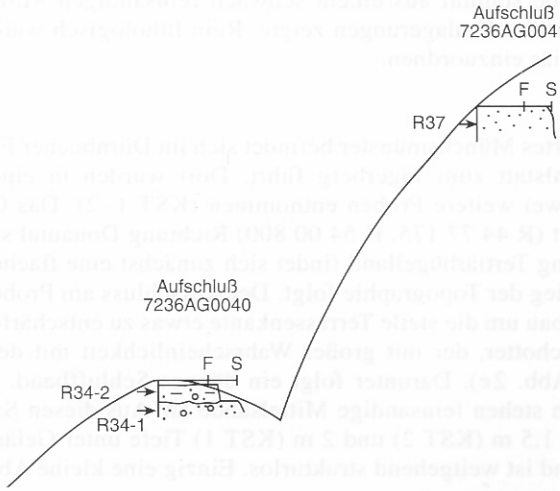

Abb. 2d. Zwei kleine etwa 700 m voneinander entfernte Aufschlüsse im Tertiärhügelland zwischen Donau und Isar wurden beprobt. Beide Aufschlüsse (7236AG0040 = R 34; 7236AG0041 = R 37) liegen im Einzugsbereich eines kleinen Baches der zur Donau entwässert.

schlüsse waren im Rahmen von Kabelverlegungsarbeiten als Muffengruben offen. In der Muffengrube R34 wurden zwei Proben aus 0,4 m (R34-2) und 1,1 m Teufe (R34-1) entnommen (R 44 79 635, H 54 00 680). Unter einer ca. 0,25 m mächtigen kiesigen Auffüllung im Bereich eines Waldweges folgten ca. 0,65 m mächtige Schluffe und Sande mit Kiesbeimengungen. Aus dieser Schicht stammt die Probe R34-2. Unterhalb folgte ein schwach feinkiesiger Mittelsand, aus dem eine weitere Probe (R34-1) entnommen wurde. Während die obere Schicht sich als Umlagerung am Talhang erklären lässt, könnte es sich bei der unteren Schicht auch um Molasse handeln.

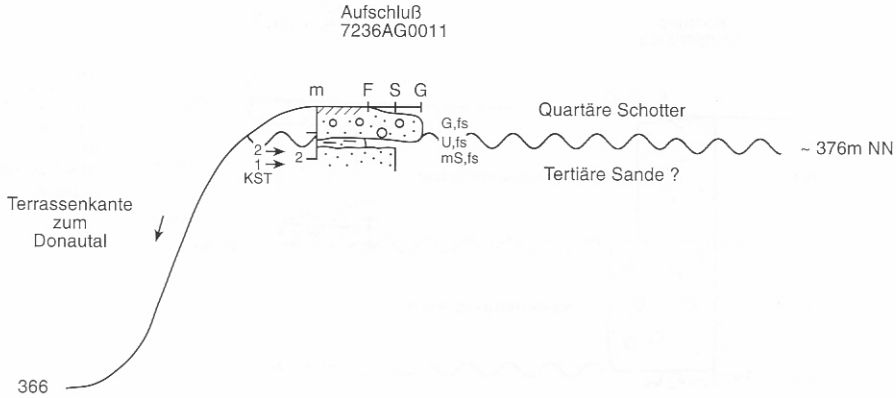

Abb. 2e. Im Bereich einer Terrassentreppe am Ausgang vom Ilmtal finden sich Schotter auf Verebnungsflächen. In einem kleinen Aufschluss (7236AG0011) wurden Proben aus den unterlagernden Sanden entnommen.

Ca. 10 m höher und etwa 700 m entfernt befand sich auf einem flachen Sporn oberhalb des Bachtales eine weitere Muffengrube (R 44 79 900, H 53 99 930). Die hier entnommene Probe stammt aus einem schwach feinsandigen Mittelsand, der keine Hinweise auf quartäre Umlagerungen zeigte. Rein lithologisch wäre es denkbar, diesen Sand ins Tertiär einzuordnen.

KST 1–2:

Südlich des Ortes Münchsmünster befindet sich im Dürnbucher Forst ein Stichweg, der von der Kohlstatt zum Jägerberg führt. Dort wurden in einem Weganschnitt (7236AG0011) zwei weitere Proben entnommen (KST 1–2). Das Gelände fällt vom Probenahmepunkt (R 44 77 175, H 54 00 800) Richtung Donautal steil ab. Entgegengesetzt in Richtung Tertiärhügelland findet sich zunächst eine flache Passage, auf die ein weiterer Anstieg der Topographie folgt. Der Aufschluss am Probenahmepunkt entstand beim Wegebau um die steile Terrassenkante etwas zu entschärfen. Im Aufschluss findet sich ein Schotter, der mit großer Wahrscheinlichkeit mit der Terrassenfläche korrespondiert (Abb. 2e). Darunter folgt ein dünnes Schluffband. An der Basis des Aufgeschlossenen stehen feinsandige Mittelsande an. Aus diesen Sanden wurden die beiden Proben in 1,5 m (KST 2) und 2 m (KST 1) Tiefe unter Geländeoberkante entnommen. Der Sand ist weitgehend strukturlos. Einzig eine kleine Abschiebung konnte beobachtet werden.

3. Lumineszenzdatierungen

Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen, Verfahren und Probleme der Lumineszenzdatierung von Sedimenten sollen an dieser Stelle kurz zusammengefasst werden. Ausführliche Abhandlungen liegen u.a. von AITKEN (1998), DULLER (1996), PRESCOTT & ROBERTSON (1997) und WINTLE (1997) vor. Mit den Lumineszenzmethoden kann für Sedimente die letzte Sonnenlichtexposition und somit der Ablagerungszeitpunkt datiert werden. Das Prinzip der Methode beruht auf der Messung eines durch natürlich vor-

kommende Radioaktivität verursachten Strahlenschadens in Mineralen, welcher als latentes Lumineszenzsignal gespeichert wird. Während des Sedimenttransportes wird das Lumineszenzsignal durch Sonnenlicht gelöscht. Nach der Ablagerung wächst das Signal unter Lichtabschluss wieder an. Die Zunahme der Lumineszenz ist proportional zur Zeit und zur Dosisleistung (D) im Sediment. Die von Mineralen absorbierte radioaktive Energie kann im Labor gemessen werden, wird als akkumulierte Dosis (AD) bezeichnet und in der Einheit Gray (1 Gy = 1 J kg^{-1}) angegeben. Das Sedimentationsalter einer Probe berechnet sich aus:

$$\text{Alter [a]} = \text{AD [Gy]}\ D^{-1}\ [\text{Gy a}^{-1}].$$

Die verschiedenen Lumineszenztechniken unterscheiden sich durch die Art der Stimulation des Signals im Labor. Die in dieser Arbeit angewendete Infrarot Stimulierte Lumineszenz (IRSL) hat gegenüber der Thermolumineszenz (TL) den entscheidenden Vorteil, dass IRSL wesentlich sensibler gegenüber Sonnenlicht ist. Unter günstigen Bedingungen wird das IRSL-Signal bereits innerhalb weniger Minuten, das optisch sensitive TL-Signal erst nach mehreren Stunden vollständig gelöscht. Somit ist die IRSL auch für Sedimente geeignet, die während des Transportes nur relativ kurz dem Sonnenlicht ausgesetzt waren. Im fluvialen Milieu wird die Lichtstärke durch Wassersäule, Turbulenz und Schwebstoffe stark eingeschränkt (DITLEFSEN 1992). Dadurch erhöht sich die für die Löschung der IRSL benötigte Zeit. Für Proben, deren IRSL vor der Ablagerung nicht vollständig gelöscht wurde, ergeben sich bei der Datierung scheinbar höhere, überbestimmte Alter. Verschiedene Möglichkeiten zur Identifikation unvollständig gebleichter Sedimente wurden von AITKEN (1998) und PREUSSER (1999) diskutiert.

Der Datierungsbereich der Lumineszenzmethode lässt sich nur schwer eindeutig abgrenzen und hängt stark von den verwendeten Techniken und vom Sediment ab. Bei sehr jungen Proben, bis wenige hundert Jahre, ist das entstandene Lumineszenzsignal oft so gering, dass es sich kaum vom Hintergrundsignal des Messgerätes trennen lässt. Verschiedene Arbeiten haben jedoch gezeigt, dass sich Dünensande unter günstigen Voraussetzungen im Bereich bis wenige hundert Jahre durchaus verlässlich datieren lassen (STOKES & SWINEHEART 1997; RADTKE et al. 1998).

Die Datierungsobergrenze wird durch Sättigung des Signals bestimmt, d. h. wenn kein weiterer Strahlenschaden mehr akkumuliert werden kann. Die Sättigungsdosis liegt für Feldspat im Bereich zwischen einigen hundert bis wenigen tausend Gray. Die Zeit, in der die Sättigung erreicht wird, ist abhängig von der Dosisleistung und somit je nach Sediment verschieden. In siltig-tonigen Sedimenten ist die Dosisleistung meistens höher als in Sanden, da ein großer Teil der natürlich vorkommenden radioaktiven Elemente in feinkörnigen Partikeln, vor allem Ton- und einigen Schwermineralen, angereichert ist. Nach dem bisherigen Kenntnisstand liegt die Datierungsobergrenze für z. B. Löss bei etwa 150 000 Jahren, kann aber je nach Region und verwendeter Technik variieren. Die Datierungsobergrenze für Sande liegt wegen der geringeren Dosisleistung höher. Bei sehr geringer niedriger Dosisleistung (< 1 Gy/ka) scheinen Datierungen bis zu 500 000 Jahren möglich zu sein (HUNTLEY et al. 1993). Die Frage, ob Datierungen von > 100 000 Jahren durch Langzeitverluste des Lumineszenzsignals systematisch unterbestimmt sind (MEJDAHL 1988; BALESCU et al. 1997), ist zur Zeit noch nicht abschließend geklärt.

Methodik

In der vorliegenden Arbeit wurde die Grobkornmethode an kaliumreichen Feldspäten angewendet (MEJDAHL 1985). Eine ausführliche Beschreibung der benutzten Verfahren findet sich bei PREUSSER (1999). Die separierten Minerale der Korngröße 100–200 µm wurden mit Silikonspray auf Edelstahlplättchen montiert und durch Kurzzeitmessungen normiert. Nach der radioaktiven Bestrahlung (γ-Strahlung, Additive Methode) wurden die Proben für mindestens vier Wochen bei Raumtemperatur gelagert und anschließend bei 220 °C fünf Minuten lange vorgeheizt. Die Messungen erfolgten mit einem ein TL/OSL Gerät des Risø National Laboratory. Als Detektionsfilter diente eine Kombination aus einem Schott BG39, einem Schott GG400 und einem Corning 7–79. Diese Filterkombination erlaubt Transmission im blauen Spektralbereich mit einem Maximum bei 410 nm. Die Stimulation erfolgte mittels IR-Dioden für 60 Sekunden. Vom aufgezeichneten Signal wurde das Integral 50–60 s als spätes Leuchten subtrahiert (AITKEN & XIE 1992). Die Aufbaukurve wurde auf Basis der Integrale 0–25 s generiert und proportional zur Varianz gewichtet.

Die Bestimmung der externen Dosisleistung erfolgte mittels hochauflösender Gammaspektrometrie im Labor (Ge-Detektor von Canberra). Ein mittlerer Wassergehalt der Proben von 10 ± 3 % und ein a-Faktor von 0,07 ± 0,02 wurden angenommen. Die Berechnung der Abschwächung der kosmischen Dosisleistung durch überlagerndes Sediment für die Proben aus der Grube Hochgementel erfolgte nach AITKEN (1985). Für die interne Dosisleistung wurde von einem mittleren Kaliumgehalt der Feldspäte von 12,5 ± 0,5 % ausgegangen (HUNTLEY & BARIL 1997).

Datierungsergebnisse

Die Ergebnisse der Dosimetrie, die akkumulierte Dosis und die resultierenden Alter sind in Tabelle 1 angegeben. Die jüngsten IRSL-Alter wurden für drei Proben (NFD

Tabelle 1: Ergebnisse der Dosimetrie, ermittelte akkumulierte Dosis und resultierende IRSL-Alter für Proben aus der Region 10 (Ingolstadt)

Probe	K [%]	Th [ppm]	U [ppm]	Kosmisch [µGy a^{-1}]	Dosisleistung [µGy a^{-1}]	Akk. Dosis [Gy]	Alter [a]
HGM-5	0,69 ± 0,03	2,40 ± 0,12	0,82 ± 0,04	130 ± 13	1650 ± 160	22,5 ± 1,9	13 700 ± 1800
HGM-4	0,66 ± 0,03	2,04 ± 0,10	0,86 ± 0,04	90 ± 9	1560 ± 160	22,8 ± 1,9	14 600 ± 1900
HGM-3	0,69 ± 0,03	2,74 ± 0,14	0,94 ± 0,05	90 ± 9	1660 ± 160	26,8 ± 2,6	16 100 ± 2200
HGM-2	0,91 ± 0,05	3,70 ± 0,19	1,37 ± 0,07	75 ± 8	2020 ± 160	34,2 ± 1,2	17 000 ± 1500
HGM-1	0,86 ± 0,04	4,55 ± 0,23	1,69 ± 0,08	75 ± 8	2110 ± 160	28,9 ± 1,0	13 700 ± 1100
KST-2	0,84 ± 0,04	2,81 ± 0,14	0,75 ± 0,04	150 ± 20	1810 ± 160	929 ± 178	Sättigung
KST-1	0,63 ± 0,02	2,67 ± 0,13	0,84 ± 0,04	150 ± 20	1640 ± 160	1250 ± 250	Sättigung
K4E	0,60 ± 0,03	1,80 ± 0,09	0,65 ± 0,03	150 ± 20	1500 ± 160	15,6 ± 0,9	10 400 ± 1300
NFD-3	0,72 ± 0,04	2,26 ± 0,13	0,84 ± 0,04	150 ± 20	1690 ± 160	1,0 ± 0,1	620 ± 70
NFD-2	0,67 ± 0,03	2,01 ± 0,10	0,78 ± 0,04	150 ± 20	1610 ± 160	1,0 ± 0,1	590 ± 100
NFD-1	0,72 ± 0,04	1,93 ± 0,10	0,74 ± 0,04	150 ± 20	1640 ± 160	0,9 ± 0,1	540 ± 70
R34-2	0,85 ± 0,04	4,84 ± 0,24	1,50 ± 0,08	150 ± 20	2160 ± 160	27,4 ± 2,0	12 700 ± 1300
R34-1	0,50 ± 0,03	2,20 ± 0,11	0,66 ± 0,03	150 ± 20	1440 ± 160	28,1 ± 1,5	19 400 ± 2400
R37	0,64 ± 0,03	2,02 ± 0,10	0,64 ± 0,03	150 ± 20	1550 ± 160	234 ± 36	178 000 ± 47 000

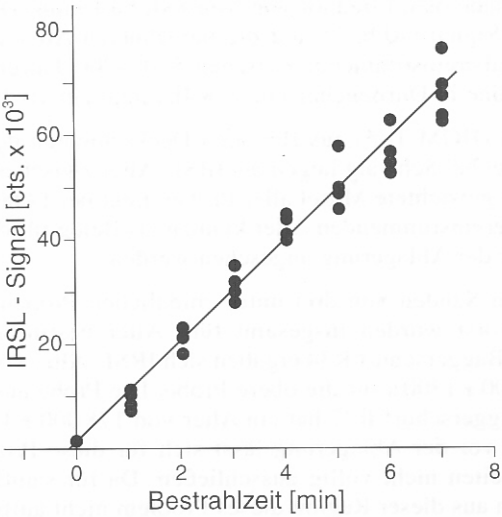

Abb. 3. Zunahme der IRSL-Intensität mit radioaktiver Bestrahlung (Wachstumskurve) am Beispiel der Probe NFD 3. Die Probe zeigt eine relativ geringe Intensität der natürlichen IRSL aber eine deutliche Zunahme mit weiterer Bestrahlung (1 min = 6,941 Gy).

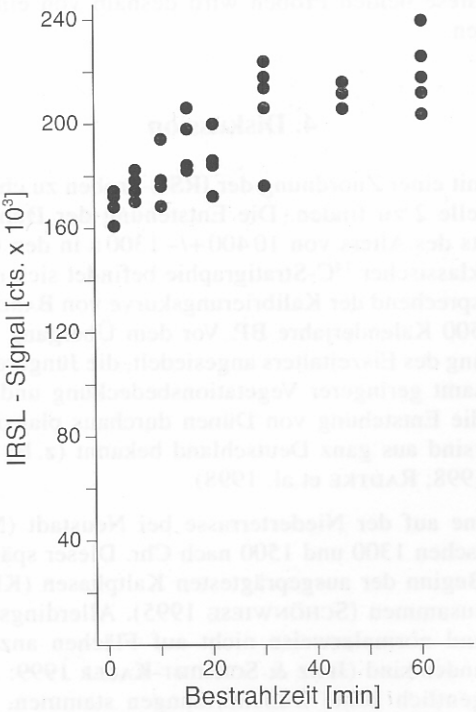

Abb. 4. Wachstumskurve für die Probe KST 2. Mit zunehmender Bestrahlung zeigt sich kaum eine Zunahme der IRSL-Intensität. Die IRSL ist nahe der Sättigung, deshalb kann in den Mineralen keine weitere Stahlung mehr in Form von latenter Luminezenz gespeichert werden.

1-3) aus der Düne nahe dem Friedhof von Neustadt bestimmt. Die Proben zeigen nur ein geringes IRSL-Signal (Abb. 3) und die berechneten Alter liegen, innerhalb der Fehlerabweichung übereinstimmend, zwischen 500—700 Jahren. Das Alter für eine weitere beprobte Düne in Dürnbucher Forst (K4E) liegt bei 10 400 ± 1300 a.

Für fünf Proben (HGM 1–5) aus fluvialen Deckschichten der Niederterrasse der Grube Hochgementel bei Schwaig liegen die IRSL-Alter zwischen 13 700 ± 1800 a und 17 000 ± 1500 a, das gewichtete Mittel aller Proben liegt bei 14 800 ± 700 a. Die innerhalb des Fehlers übereinstimmenden Alter können als Beleg für die vollständige Bleichung der IRSL vor der Ablagerung angesehen werden.

An z. T. kiesigen Sanden von drei unterschiedlichen Probenentnahmestellen aus dem Dürnbucher Forst wurden insgesamt fünf Alter bestimmt. Für zwei Proben (R34 1–2) aus dem Baggerschurf R34 ergaben sich IRSL-Alter von 19 400 ± 2400 a für die untere und 12 700 ± 1300 a für die obere Probe. Die Probe aus dem topographisch höher gelegenen Baggerschurf R37 hat ein Alter von 178 000 ± 47 000 a. Eine unvollständige Bleichung vor der Ablagerung lässt sich für diese Probe mangels direkter Vergleichsmöglichkeiten nicht völlig ausschließen. Da für sämtliche anderen bisher untersuchten Proben aus dieser Region dieses Problem nicht auftrat und ähnliche Ablagerungsmechanismen vorausgesetzt werden können, erscheint eine Altersüberbestimmung aber eher unwahrscheinlich. Die Akkumulierte Dosis von zwei Proben aus einem Weganschnitt nahe Kohlstatt liegt mit ca. 1000 Gy nahe der Sättigungsgrenze. Bei weiterer Bestrahlung zeigt sich kaum noch eine Zunahme der IRSL-Intensität (Abb. 4). Für diese beiden Proben wird deshalb von einem Mindestalter von 500 000 a ausgegangen.

4. Diskussion

Ein Verzeichnis mit einer Zuordnung der IRSL-Proben zu chronostratigraphischen Einheiten ist in Tabelle 2 zu finden. Die Entstehung der Düne im Tertärhügelland (K4E) fällt angesichts des Alters von 10 400 +/– 1300 a in den Grenzbereich Pleistozän/Holozän. Nach klassischer ^{14}C-Stratigraphie befindet sich diese Grenze bei etwa 10 000 Jahre BP. Entsprechend der Kalibrierungskurve von BARD et al. (1998) liegt die Grenze bei etwa 11 500 Kalenderjahre BP. Vor dem Übergang ins Holozän wird die letzte Kälteschwankung des Eiszeitalters angesiedelt, die Jüngere Dryas. Während dieser Phase mit insgesamt geringerer Vegetationsbedeckung und praktisch fehlendem Baumbestand wäre die Entstehung von Dünen durchaus plausibel. Dünenbildungen während dieser Zeit sind aus ganz Deutschland bekannt (z. B. JANOTTA et al. 1997; LANG & FEHRENTZ 1998; RADTKE et al. 1998).

Die beprobte Düne auf der Niederterrasse bei Neustadt (NFD 1–3) zeigt eine Alterseinstufung zwischen 1300 und 1500 nach Chr. Dieser spätmittelalterliche Zeitraum fällt mit dem Beginn der ausgeprägtesten Kaltphasen (Kleine Eiszeit) im laufenden Interglazial zusammen (SCHÖNWIESE 1995). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass Flugsand normalerweise nicht auf Flächen anzutreffen ist, die erst nacheiszeitlich entstanden sind (JERZ & SCHMIDT-KALER 1999: 26). Aus dem Mittelalter sollten also eigentlich keine Dünenbildungen stammen. Vermutlich liegt die Erklärung für den scheinbaren Widerspruch zwischen Datierung und geologisch erwartetem Alter darin, dass die beprobte Düne eiszeitlich entstanden ist und im Mittelalter unter anthropogenem Einfluss eine erneute Mobilisierung erfahren hat. Denkbar wäre

Tabelle 2: Übersicht über die beprobten Schichten mit mittleren, gewichteten IRSL-Altern und chronostratigraphischer Einordnung

Schicht	Lage	Probe	IRSL-Alter [a]	Chronostratigraphische Einordnung
Düne auf Niederterrasse	Nahe dem Friedhof von Neustadt	NFD 1–3	580 ± 40	Subrezent (Spätmittelalter?)
Düne	Kreuzung 4 Evangelisten im Dürnbucher Forst	K4E	10 400 ± 1300	Spätglazial/Frühholozän (Jüngere Dryas?)
Fluviale Deckschichten der Niederterrasse	Kiesgrube Hochgementel bei Schwaig	HGW 1–5	14 800 ± 700	Frühes Spätglazial
Geisenfeld Sande	Baggerschlitz im Dürnbucher Forst	R34-2 R34-1	12 700 ± 1300 19 400 ± 2400	Spätglazial Hochglazial
Geisenfeld Sande	Baggerschlitz im Dürnbucher Forst	R37	178 000 ± 47 000	Vorletztes Glazial
Geisenfeld Sande	Aufschluss bei Kohlstatt im Dürnbucher Forst	KST 1–2	> 500 000	Altquartär oder älter

eine Koppelung zwischen dem sich verschlechternden Klima und daraus resultierenden Veränderungen in der Bearbeitung von landwirtschaftlichen Flächen. Auch im Oberrheingraben (Löscher 1994: 19) und in Norddeutschland (Radtke et al. 1998) konnten mittelalterliche Umlagerungen von eiszeitlichen Flugsanden belegt werden.

Aus weitverbreiteten fluvialen Deckschichten am Übergang der Niederterrasse ins Tertiärhügelland, wurden fünf weitere Proben (HGM 1–5) gewonnen. Alle 5 Proben aus dem insgesamt 5,6 m mächtigen Paket ergeben Alter um 15 000 a und sind, bei Beachtung der Fehlerbreite der Datierungen, als fast zeitgleich anzusehen. Größere Umlagerungen aus dem Hügelland auf die Niederterrasse innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums deuten sich hier an. Habbe (1985) beschreibt vom Blatt Grönenbach, dass Umlagerungen und Einschneidung von seitlichen Zuflüssen in die Terrassen der Iller insbesondere bis zur einer Stufe, die der Inneren Jungendmoräne (eines sehr weitverbreiteten Gletscherstandes im Alpenvorland) entspricht, beobachtet werden können. Habbe geht davon aus, dass mit Schwund des Permafrostes ein Versickern der Seitenbäche in den Terrassenkörpern möglich wurde und somit keine Einschneidung mehr stattfand. Unter Umständen könnte auch die im Donautal vorgefundene massenhafte und kurzfristige Umlagerung großer Sedimentmengen durch das Schwinden des Permafrostes hervorgerufen worden sein.

Bei den Proben aus dem Hügelland zeigen sich Alter von 12 700 +/– 1300 a (R34-2), 19 300 +/– 2400 a (R34-1), 178 000 a +/– 47 000 a (R37) und schließlich > 500 000 a (KST 1–2). Die Probe R34–2 wurde einem Sediment entnommen, das sich im Hangbereich eines Baches befindet und schlecht sortiert ist. Hangumlagerungen, wieder im Altersbereich der Jüngeren Dryas (11 500–12 800 a BP) dürften hier stattgefunden haben. Das Alter der unterlagernden Sandschicht fällt mit ca. 20 000 a BP ins Hochglazial. Sandumlagerungen zu dieser vegetationsarmen Zeit erscheinen durchaus plausibel. Auch die Proben R37 und KST 1–2 wurden in ähnlichen Sanden entnom-

men. Hier zeigen sich allerdings weit größere Alter. Für R37 kommt die Kaltphase vor dem letzten Interglazial in Betracht. Für KST stehen neben mittel- und altpleistozänen auch tertiäre Alter zur Diskussion. Es zeigt sich eine sehr ausgeprägte Altersheterogenität innerhalb der oberflächennahen Sedimente des Tertiärhügellandes. Weitere Untersuchungen könnten hier nähere Klärung bringen.

5. Zusammenfassung

Die Datierungen belegen mehrere Umlagerungsphasen im Bereich des Blattes Münchsmünster während des Quartärs. Während der jüngsten Phase in historischer Zeit scheinen kleinere, lokale Materialbewegungen stattgefunden zu haben. Auch für den Zeitraum der Jüngeren Dryas sind solifluidale und äolische Verlagerungen anzunehmen. Während des beginnenden Spätglazials sind mächtige Abschwemmassen in relativ kurzer Zeit auf die Niederterrasse aufgeschwemmt worden. Diese lithologisch uneinheitlichen, vielschichtigen Sedimente stellen chronostratigraphisch eine Einheit dar. Man könnte hier eine allostratigraphische Einheit einführen, die intern lithologisch inhomogen aufgebaut ist und sich nur durch ihre Diskordanzen zu den umgebenden Einheiten (hier zur unterlagernden Niederterrasse und zu stellenweise überlagernden Flugsanden) definiert.

Solche Diskordanzen, in denen sich im Eiszeitalter öfters längere Zeitabschnitte verbergen, erhalten durch allostratigraphische Gliederungen ihren festen Platz innerhalb der Eiszeitstratigraphie. Plötzliche – aus menschlicher Sicht katastrophale – von Diskordanzen begrenzte Sedimentationsereignisse sind, unabhängig von ihrer lithologischen Vielfalt, zu einer allostratigraphischen Einheit zusammenfassbar. Damit nähert sich die diskordanzgespickte Allostratigraphie elegant den oft kurzen Sedimentationsereignissen des Eiszeitalters an, während die Lithostratigraphie dazu verleitet, den Materialeinheiten lange Zeiträume gegenüber zu stellen.

Auch die sehr unterschiedlichen Alter für die beprobten, oberflächennahen Sedimente des Tertiärhügellandes belegen, dass lithologische Untersuchungen allein diesen Teil der Erdgeschichte kaum weiter klären können. Die geologischen Befunde bedürfen dringend der Unterstützung durch neue Methoden der Datierung, wie z. B. der Lumineszenz. Auf Datierungen aufbauend lassen sich neue stratigraphische Konzepte, wie Allo- und Sequenzstratigraphie, für diese Region entwickeln. Hierzu sind jedoch weitere Altersbestimmungen an verschiedenen stratigraphischen Einheiten notwendig. Erst dann kann die Dynamik von vielen Veränderungen unserer Umwelt im Eiszeitalter und in der geologischen Gegenwart, dem Holozän, sichtbar gemacht werden.

6. Literatur

AITKEN, M. (1985): Thermoluminescence dating. – 359 S., London (Acad. Press).

AITKEN, M. (1998): An introduction to optical dating. – 267 S., Oxford (Univ. Press).

AITKEN, M. & XIE, J. (1992): Optical dating using infrared diodes: young samples. – Quat. Sc. Rev., **11:** 147–152, Oxford.

BALESCU, S., LAMOTHE, M. & LAUTRIDOU, J. (1997): Luminescence evidence for two Middle Pleistocene interglacial events at Tourville, northwestern France. – Boreas, **26:** 61–72, Oslo.

BARD, E., ARNOLD, M., HAMELIN, B., TISNERAT-LABBORDE, N. & CABIOCH, G. (1998): Radiocarbon calibration by mass spectrometric $^{230}Th/^{234}U$ and ^{14}C ages of corals: an updated database including samples from Barbados, Mururoa and Tahiti. – Radiocarbon, **40:** 1085–1092, Tucson.

DITLEFSEN, C. (1992): Bleaching of K-feldspar in turbid water suspensions: a comparison of photo- and thermoluminescence signals. – Quat. Sc. Rev., **11:** 33–38, Oxford.

DULLER, G. (1996): Recent developments in luminescence dating of Quaternary sediments. – Progr. Physic. Geogr., **20:** 127–145, London.

EYLES, N., EYLES, C. & MIALL, A. (1983): Lithofacies types and vertical profile models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. – Sedimentology, **30:** 393—410, Amsterdam.

HABBE, K. (1985): Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25 000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK 25 Blatt 18 8127 Grönenbach. – Geomorphologische Detailkartierung in der Bundesrepublik Deutschland, **18:** 80, o.O..

HUNTLEY, D. & BARIL, M. (1997): The K content of the K-feldspars being measured in optical and thermoluminescence dating. – Ancient TL, **15:** 11–13, Aubiere Cedex.

HUNTLEY, D., HUTTON, J. & PRESCOTT, J. (1993): The stranded beach-dune sequence of southeast South Australia: A test of thermoluminescence dating 0–800 ka. – Quat. Res., **12:** 1–20, Seattle.

JANOTTA, A., RADTKE, U., CZWIELUNG, K. & HEIDGER, M. (1997): Luminescence dating (IRSL/TL) of Late Glacial and Holocene dune sands and sandy loesses near Bonn, Gifhorn and Diepholz (Germany). – Quat. Geochronology (Quat. Sc. Rev.), **13:** 349–355, Oxford.

JERZ, H. & SCHMIDT-KALER, H. (1999): Geologische Karte von Bayern 1:25 000 Erläuterungen zum Blatt Nr. 7234 Ingolstadt. – 88 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).

LANG, M. & FEHRENTZ, M. (1998): GR-OSL and IR-OSL-Datierungen an spätpleistozänen und holozänen Dünensanden der Senne (östliches Münsterland). – Kölner Geogr. Arb., **70:** 47–58, Köln.

LÖSCHER, M. (1994): Zum Alter der Dünen auf der Niederterrasse im nördlichen Oberrheingraben. – Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., **80:** 17–22, Karlsruhe.

MEJDAHL, V. (1985): Thermoluminescence dating of partially bleached sediments. – Nuclear Tracks and Radiation Measurements, **10:** 711–715, Oxford.

MEJDAHL, V. (1988): Long-term stability of the TL signal in alkali feldspars. – Quat. Sc. Rev. **7:** 357—360, Oxford.

PRESCOTT, J., & ROBERTSON, G. (1997): Sediment dating by luminescence: a review. – Radiation Measurements, **27:** 893–922, Oxford.

PREUSSER, F. (1999): Lumineszenzdatierung fluviatiler Sedimente – Fallbeispiele aus der Schweiz und Norddeutschland. – Kölner Forum Geol. Paläont., **3:** 1–62, Köln.

RADTKE, U., CZWIELUNG, K., HEIDGER, M. & JANOTTA, A. (1998): Lumineszenz-Datierung spätglazialer und holozäner Dünensande in der Allerniederung bei Gifhorn (Niedersachsen) und bei Brockum, Kreis Diepholz (Niedersachsen). – Kölner Geogr. Arb., **70:** 19–45, Köln.

SCHÖNWIESE, C. (1995): Klimaänderungen. – 224 S., Berlin (Springer).

STOKES, S. & SWINEHEART, J. (1997): Middle and late-Holocene dune reactivation in the Nebraska sand hills, USA. – The Holocene, **7:** 263–272, London.

WINTLE, A. (1997): Luminescence dating: Laboratory procedures and protocols. – Radiation Measurements, **27:** 769–817, Oxford.

Manuskript bei der Redaktion eingegangen am 3. 8. 2000.