



## Zur Pedostratigraphie nordiranischer Löss

MARTIN KEHL<sup>\*</sup>), MANFRED FRECHEN<sup>\*\*</sup>) & ARMIN SKOWRONEK<sup>\*\*\*</sup>)

2 Abbildungen

*Iran  
Paläoböden  
Löss*

### Inhalt

Zusammenfassung .....	159
Abstract .....	159
1. Einleitung .....	159
2. Sammelprofile nordiranischer Löss .....	160
2.1. Vorbemerkungen .....	160
2.2. Sammelprofil Sefid-Rud-Löss .....	160
2.3. Sammelprofil Elburs-Nordabdachung .....	162
2.4. Löss semiarider Gebiete .....	162
3. Fazit .....	162
Dank .....	162
Literatur .....	163

### Zusammenfassung

Die nordiranischen Löss sind von Paläoböden durchzogen, die typologisch von schwach entwickelten Interstadialböden (Ah-, CBk- bzw. Bvk-Horizonte von Steppenböden) bis hin zu kräftigen Interglazialböden (Bht, Bt-Horizonte von Waldböden) reichen. Die Löss-Boden-Abfolgen gewähren wahrscheinlich einen Einblick bis in das untere Mittelpleistozän. Zwei schematische pedostratigraphische Profile werden im Beitrag diskutiert, woraus weiterer Forschungsbedarf zur Absicherung und Verfeinerung der vorgeschlagenen Stratigraphie abgeleitet wird.

### Pedostratigraphy of Loesses in Northern Iran

#### Abstract

North-Iranian loesses are intercalated by several paleosols, which range from weakly developed interstadial soils (Ah, CBk, or Bwk horizons of steppe soils) to strongly developed interglacial soils (Bht, Bt horizons of forest soils). The loess-soil sequences probably cover the lower Middle Pleistocene to Holocene period. Two pedostratigraphic profiles are discussed and future research for confirmation and refining of the proposed stratigraphy is suggested.

#### 1. Einleitung

Die Löss Nordirans zählen zu den südlichsten Lössvorkommen Eurasiens und sind ein wichtiges regionales Bindeglied zwischen den südosteuropäischen und den zentralasiatischen Lössen. Maximale Lössmächtigkeiten von etwa 80 m werden im sog. Iranischen Lössplateau im Nordosten des Landes erreicht (Abb. 1), während geringmächtigere Lössdecken (bis max. 25 m) auf Hängen der Elburs-Nordabdachung (vgl. NIOC, 1978) in intramontanen Becken und Längstälern von Elburs und Koppet Dagh sowie auf Terrassen der die Gebirge nach Norden entwässernden Flüsse vorkommen. Nordiranischer Löss ist entlang eines ausgeprägten Klimagradienten von heute subhumi-

gere Lössdecken (bis max. 25 m) auf Hängen der Elburs-Nordabdachung (vgl. NIOC, 1978) in intramontanen Becken und Längstälern von Elburs und Koppet Dagh sowie auf Terrassen der die Gebirge nach Norden entwässernden Flüsse vorkommen. Nordiranischer Löss ist entlang eines ausgeprägten Klimagradienten von heute subhumi-

\*\*\* PD Dr. MARTIN KEHL, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Geographie, D 35390 Gießen, Senckenbergstraße 1. mkehl@uni-bonn.de.

\*\*\* Prof. Dr. MANFRED FRECHEN, GGA-Institut, Sektion 3 – Geochronologie und Isotopenhydrologie, Stilleweg 2, D 30655 Hannover.

\*\*\* Prof. Dr. ARMIN SKOWRONEK, Universität Bonn, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) – Bereich Bodenwissenschaften, Nussallee 13, D 53115 Bonn.

den Verhältnissen im Sefid-Rud-Tal (~1000 mm Jahresniederschlag, JN) und an der Elburs-Nordabdachung (JN: ~700–600 mm, Profile Neka und Now Deh) bis zu semiariden Bedingungen im Bereich des Iranischen Lössplateaus und in der Umgebung der Stadt Mashad verbreitet (etwa 400–200 mm JN). Die Lössen werden von Paläobodenhorizonten durchzogen, die typologisch von schwach entwickelten Kalkanreicherungs-horizonten (CBk) bis hin zu kräftigen (oft rekalkifizierten) Tonanreicherungs-horizonten (Bt, Bht, Btk) reichen.

Die Lithologie, Altersstellung und Genese der nordiranischen Lössen waren in den letzten Jahren Gegenstand umfangreicher sedimentologisch-paläopedologischer Gelände- und Laboruntersuchungen sowie physikalischer Datierungen mittels infrarotstimulierter Lumineszenz (KEHL et al., 2006; KEHL, 2006; FRECHEN et al., submitted; KARIMI et al., in preparation). Auf Basis dieser Befunde stellt der folgende Beitrag zwei pedostratigraphische Sammelprofile nordiranischer Lössen zur Diskussion, die als Grundlage für Rekonstruktionen der Landschaftsgenese in Nordiran und für stratigraphische Korrelationen mit den zentralasiatischen und SE-europäischen Lössserien dienen können.

## 2. Sammelprofile nordiranischer Lössen

### 2.1. Vorbemerkungen

Insgesamt wurden etwa dreißig natürliche und künstliche Aufschlüsse im Löss angefahren und hinsichtlich der stratigraphischen Abfolge von Lössen und Paläoböden untersucht. Die Lössen überlagern oft paläozoische oder mesozoische Gesteine. Nur in wenigen Profilen besteht das Liegende aus mittel- bis jungquartären Terrassensanden und -kiesen, über deren absolute Alter allerdings wenig Kenntnisse vorliegen (EHLERS, 1971). Die von PALUSKA & DEGENS (1980) beschriebenen Tephrenlagen des quartärzeitlichen Elbursvulkanismus wurden nicht gefunden. Quartäre Leithorizonte fehlen somit weitgehend.

Für eine erste chronostratigraphische Einordnung der Lössen und fossilen Böden wurde daher die Abzählmethode gewählt, wonach der erste fossile Bt-Horizont dem letztinterglazialen (OIS 5e) Boden entspricht. Weitere chronologische Einordnungen erfolgten nach relativer Stratigraphie und unter Berücksichtigung der auch laboranalytisch nachweisbaren unterschiedlich starken Entwicklung der fossilen Böden (CBk-, Bvk-, Btk-Horizonte), welche die in Interglazialen und Interstadialen unterschiedliche Bodenbildungs-

intensität widerspiegelt. Zudem wurden die Ergebnisse der IRSL-Datierungen herangezogen, die zuverlässige Alter bis etwa 60 ka für die oberen Lösslagen liefern, während die älteren Bildungen wahrscheinlich als zu jung eingeschätzt werden (FRECHEN et al., submitted).

### 2.2. Sammelprofil Sefid-Rud-Löss

Im Tal des Sefid Rud („Weißer Fluss“) bedeckt Löss mittlere und obere Flussterrassen und zieht örtlich auch steil geneigte Hänge hoch. Der Sefid-Rud-Löss kann in Wechsellagerung mit mächtigen Schotterkörpern auftreten oder mit Hangsedimenten verzahnt sein und ist dann als Lössderivat oft von Grobpartikeln durchsetzt. In äolischer Fazies ist der Sefid-Rud-Löss durch große vertikale und horizontale Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung gekennzeichnet. Das pedostratigraphische Sammelprofil (Abb. 2, linke Seite) leitet sich i. W. aus den Abfolgen der Profile „Saravan“ und „Rustamabad“ ab.

Der vergleichsweise feinsandreiche und etwa 20 m mächtige Löss des Profils Saravan geht an der Basis in Flusssande und -schotter über, die mit einem etwa 5 m über dem gegenwärtigen Flusswasserspiegel liegenden Terrassenniveau zu korrelieren sind. Dies weist auf ein letztglaziales Lössdepositionsalter hin, das von fünf IRSL-Altersschätzungen zwischen  $22,7 \pm 2,5$  ka und  $47,9 \pm 4,8$  ka bestätigt wird. Der obere Teil des Profils enthält zwei gut entwickelte braun-graue Steppenböden (L1S2, L1S2), die wahrscheinlich mit Interstadialen des OIS 3 korrelieren. Dem gleichem Stadium lässt sich ein schwach entwickelter Verbraunungshorizont (L1S3) zuweisen. Das Profil wird von einem gekappten rezenten Boden (S0) begrenzt, der durch scharfe Untergrenzen zum kalkinfiltrierten Löss und durch Tondurchschlammung (Bt) gekennzeichnet ist.

In dem etwa 13 m mächtigen, tonreichen Löss des Profils Rustamabad sind sieben gekappte Paläoböden mit Tonanreicherungs- und stellenweise kräftigen Kalkanreicherungs-horizonten (S1–S7) eingeschaltet. Der letztglaziale Löss ist hier schlecht aufgeschlossen, dürfte aber aufgrund der durch starke Hangneigung geförderten Erosion und nach Lössabbau (Ziegelproduktion) nur eine geringe Mächtigkeit aufweisen. Nach der Abzählmethode und den bisherigen Datierungen korreliert der S1 mit dem Sauerstoffisotopenstadium (OIS) 5e. Die darunter folgenden, in unterschiedlichen Mächtigkeiten erhaltenen Böden S2–S7 haben alle interglazialen Charakter und ähneln dem rezenten Boden (S0). S2 und S3 sind in weitgehend primärem

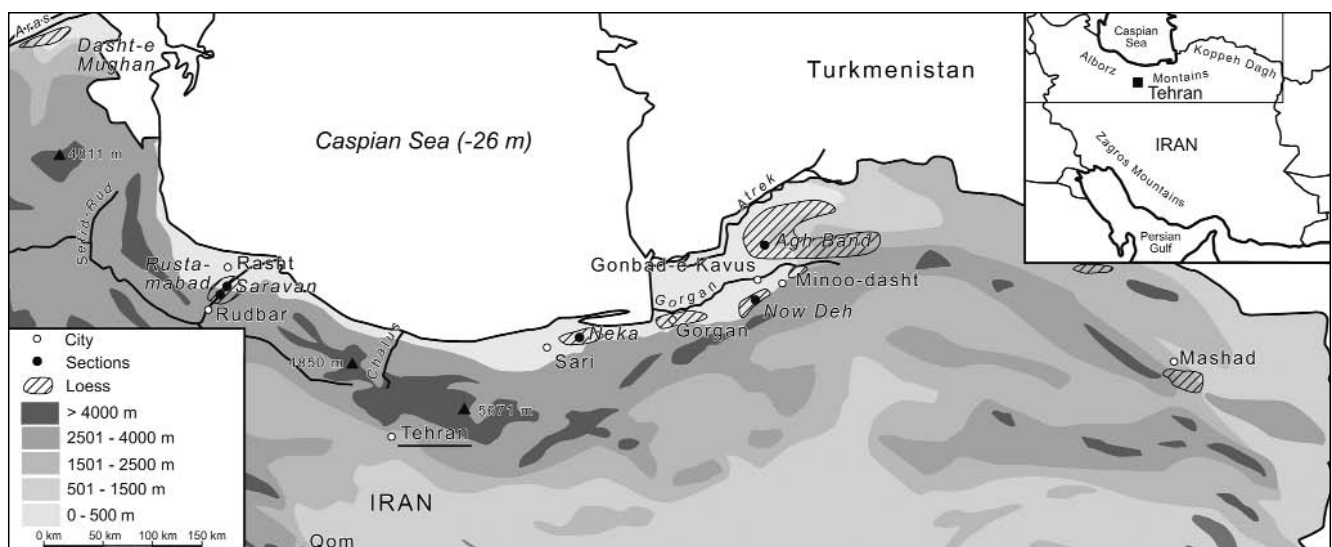


Abb. 1. Lössverbreitung in Nordiran mit der Lage wichtiger Lössprofile.

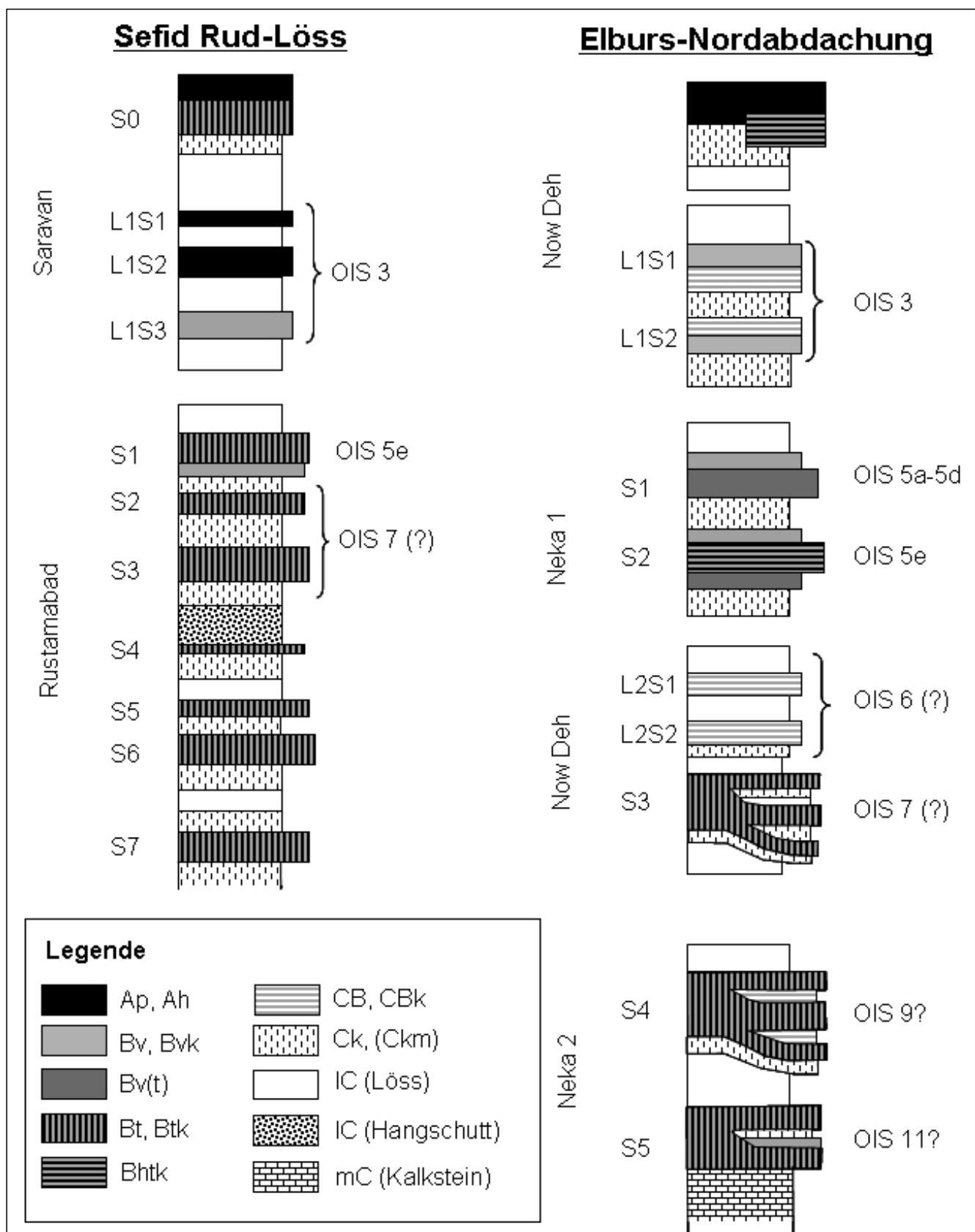


Abb. 2. Pedostratigraphische Sammelprofile für Löss im Sefid-Rud-Tal und an der Elburs-Nordabdachung (schematisch).

Löss entwickelt, der keine Anzeichen einer Verlagerung aufweist. Sie lassen sich so tentativ dem oft mehrphasigen Isotopenstadium 7 zuordnen.

Zwischen S3 und S4 ist eine Hangschuttdecke eingeschaltet, die eine Erosionsdiskordanz unbekannter Dauer

belegt. Die Böden S4 und S5 sind entlang einer Störung um 1 m vertikal versetzt. Eine chronostratigraphische Zuordnung der Böden S4 bis S7 wäre daher spekulativ. Generell fraglich ist, ob die Einzelböden zu Pedokomplexen zusammengefasst werden können. Wenngleich z.B.

der S4 an der südlichen Aufschlusswand des Profils an Mächtigkeit zunimmt, gliedert sich der Boden nicht in einen Pedokomplex mit eingeschalteten Lösslagen auf. Bisher liegen keine Hinweise auf polyzyklische Bodenbildungen vor.

### 2.3. Sammelpprofil Elburs-Nordabdachung

Auf Fußflächen und den nördlichen Randzügen des Elburs zwischen den Städten Sari und Minoodasht findet sich feinkörniger, bis etwa 25 m mächtiger Löss (vgl. NIOC, 1978), der mit steigender Geländehöhe ausdünnert, aber bis mindestens etwa 800 m ü.NN als örtlicher Schleier erhalten ist.

Das Sammelpprofil (Abb. 2, rechte Seite) basiert überwiegend auf den reichgegliederten Profilen Neka 1, Now Deh und Neka 2, die mit weiteren Abfolgen im Gelände abgeglichen wurden. Insbesondere der Löss in der Umgebung des Profiles Neka enthält bis zu fünf kräftig entwickelte Paläoböden/Pedokomplexe mit starker pedogener Tonanreicherung (Bt- bzw. Bht-Horizonte), die im Sammelpprofil mit S1 bis S5 benannt sind. S3 bis S5 sind polygenetische Böden (welded paleosols), die örtlich in mächtige (bis etwa 3 m) Pedokomplexe mit mehreren Paläoböden und zwischengeschalteten Lösslagen aufgliedern, wie z.B. in den Profilen Now Deh und Neka 2 (Abb. 2). Auch S1 und S2 sind polygenetisch und wurden daher als Pedokomplexe bezeichnet (PC 1 und PC 2 nach KEHL et al. [2006], FRECHEN et al. [submitted]); eine Aufgliederung ist bisher nicht beobachtet worden.

Während S1 kräftig entwickelt ist, aber nur ein initiales Stadium der Tonverlagerung aufweist (Bw(t)-Horizont), zeigt S2 mit einer schwarz-braunen Farbe, hohem Tongehalt (~40 %) und deutlich stärkerer Toneinschlammung große Ähnlichkeit mit den Eigenschaften des klimaphytomorphen rezenten Bodens S0 (in Neka 1 ein Luvisc Phaeozem nach FAO [1998]). Pedostratigraphisch ist daher S2 mit OIS 5e und S1 mit OIS 5a bis c zu korrelieren. Dies wird durch eine stetige Zunahme des Alters des S1 überlagernden Lösses von etwa 18 ka auf 60 ka gestützt, während die Altersdatierungen der folglich mit OIS 5b/d und OIS 6 zu korrelierenden Lössen kein einheitliches Bild geben (FRECHEN et al., submitted). Mit seiner dunklen Färbung ist S2 in vielen Aufschlüssen zwischen den Städten Neka und Gorgan enthalten und daher als Markerhorizont geeignet.

Ausgehend von der pedostratigraphischen Korrelation von S2 mit dem OIS 5e, entstanden S3 bis S5 somit in den OIS 7, 9 und 11 oder älteren Interglazialen.

Neben den kräftig entwickelten interglazialen Böden enthalten die Löss der Elburs-Nordabdachung auch eine Reihe von schwach bis mäßig entwickelten, (schwach grau-) braunen Böden (CBk- und Bvk-Horizonte) mit Kalkanreicherungshorizonten. Die makroskopisch und anhand geochemischer und mikromorphologischer Merkmale erkennbare geringe Bodenbildungsintensität spiegelt geringere Verwitterungsraten während der Interstadiale wider. Die im Profil Now Deh näher untersuchten interstadialen Böden L1S1 und L1S2 sind derzeit mit dem OIS 3 zu korrelieren. Nach der o. g. Korrelation von S2 und S3 mit OIS 5e und OIS 7 sind die schwachen Böden L2S1 und L2S2 Interstadialen des OIS 6 zuzuordnen.

Der Vergleich zwischen den Sammelpprofilen zeigt eine stärkere Differenzierung in Einzelböden im Löss der Elburs-Nordabdachung, während der Sefid-Rud-Löss anscheinend einen tieferen Einblick in das Mittelpleistozän (S6 und S7 an der Elburs-Nordabdachung nicht gefunden) erlaubt. Hier bestehen aber noch große Unsicherheiten in einer möglichen Gruppierung von S1 bis S7 des Sefid-Rud-Lösses in Pedokomplexe. Die letztglazialen Interstadialböden im Sefid-Rud-Tal haben höhere Humusgehalte und damit eine etwas stärkere Bodenentwicklung als die ver-

mutlich zeitgleichen Bildungen im Löss der Elburs-Nordabdachung.

### 2.4. Löss semiarider Gebiete Nordirans

Im Gegensatz zu den differenzierten Löss-Bodenabfolgen der subhumiden Regionen enthalten die Löss der nordiranischen Trockengebiete nur wenige Paläoböden. Im mächtigen Löss des Iranischen Lössplateaus konnte bisher nur ein mäßig entwickelter brauner Boden mit initialer Tonmobilisierung (Bv(t)-Horizont) und schwacher Gips- und Carbonatanreicherung gefunden werden, der am Profil Agh Band von einer 40 m mächtigen homogenen Lösslage bedeckt wird. Dieser Paläoboden ähnelt dem rezenten Calcisol (KHORMALI & KEHL, 2006) und ist auch nach den vorliegenden Datierungen in das letzte Interglazial (OIS 5e) zu stellen (FRECHEN et al., submitted).

Lössvorkommen in der Dasht-e Moghan (NW-Iran, Abb. 1) sind nach bisherigen Kenntnissen geringmächtig und nicht von Paläobodenhorizonten durchzogen. In Nordostiran treten Löss- und Lössderivate auf, die schwache Bodenbildungen enthalten (z.B. im Gharatikan loess, [OKHRAVI & AMINI, 2000]). In dem Profil „Deh Jheybi“ wurde ein fossiler vermutlich eemzeitlicher Bt-Horizont gefunden, der als stratigraphischer Leithorizont nützlich sein könnte (KARIMI et al., in Vorbereitung). Für die Ableitung pedostratigraphischer Sammelpprofile sind zusätzliche Arbeiten erforderlich.

## 3. Fazit

Die nordiranischen Löss- und interstadialen Paläoböden sind durch zahlreiche interglaziale und interstadiale Paläoböden gegliedert, die wahrscheinlich einen Einblick bis in das frühe Mittelpleistozän gewähren. Die von EHLERS (1971) und PALUSKA & DEGENS (1980) postulierten mehrfachen Wechsel von Lössakkumulation und Bildung von Bt-Horizonten während des Holozäns sind abzulehnen. Vielmehr zeigt die Abfolge von Löss und kräftig oder schwach entwickelten Böden zahlreiche Parallelen mit den in europäischen und zentralasiatischen Lössen nachgewiesenen Zyklen.

Die zahlreichen interstadialen Böden des letztglazialen Lösses in Nordiran erlauben eine bessere pedostratigraphische Differenzierung dieses Glazials, als dies in den südosteuropäischen und zentralasiatischen Lössen möglich scheint. Die Altersstellung der interstadialen Paläoböden und der warmzeitlichen Pedokomplexe (z.B. Profile Now Deh und Neka 1) ist durch zusätzliche Geländeuntersuchungen und physikalische Altersdatierungen abzuschließen. Der in den Aufschlüssen bei Gorgan oft sehr mächtige letztglaziale Löss enthält wahrscheinlich bis zu fünf interstadiale Bodenbildungen, deren Aufnahme aufgrund starker Austrocknung der Profile und schlechter Zugänglichkeit bisher nicht möglich war. Intensiver Lössabbau für Ziegeleien oder zur Abdeckung von Kalkstein für die Zementindustrie gewährleistet eine gute Aufschlussituation, hat aber schon zum Totalverlust reichgegliederter Profile (z.B. Profil Neka 2) geführt.

### Dank

Herrn Prof. Dr. Reza SARVATI, Department of Geography der Shahid-Beheshti Universität in Teheran, und Herrn Prof. Dr. Hassan AHMADI, College of Natural Resources der Universität Teheran, für die Beantragung von Forschungsgenehmigungen und die Unterstützung der Geländearbeiten. Herrn Prof. Dr. Farhad KHORMALI (Department of Soil Science, Gorgan University) untersuchte eine Klimasequenz rezenter Böden aus Löss und half vor Ort bei der Diskussion und Beprobung der Aufschlüsse.

Die Untersuchungen im Nordiran wurden großzügig von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert (KE 818 / 4-1, FR 877/9-1).

## Literatur

- EHLERS, E. (1971): Südkaspisches Tiefland Nordiran und Kaspisches Meer. Beiträge zu ihrer Entwicklungsgeschichte im Jung- und Postpleistozän. – *Tübinger Geogr. Stud.*, **44**, 184 S.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (1998): *World Reference Base for Soil Resources*. – *World Soil Resources Reports*, **44**, 88 S., Rom.
- FRECHEN, M., KEHL, M., SARVATI, R. & SKOWRONEK, A. (submitted): Geochronology of loess-soil sequences in Northern Iran. – *Quat. Int.*
- KARIMI, A., FRECHEN, M., KEHL, M. & KHADEMI, H. (in preparation): Geochronology of peridesert loess in NE-Iran.
- KEHL, M. (2006): Quaternary loesses, loess-like sediments, soils and climate change in Iran. – *Habilitationsschrift, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Bonn*, 277 S.
- KEHL, M., SARVATI, R., AHMADI, H., FRECHEN, M. & SKOWRONEK, A. (2006): Loess paleosol-sequences along a climatic gradient in Northern Iran. – *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **55**, 149–173.
- KHORMALI, F. & KEHL, M. (2006): Quaternary loesses, soils and climate change in Northern Iran. – *Proc. INTAS final workshop on Pleistocene Environments in Eurasia*, 2.–3. 11. 2006, Hannover, 28–31.
- NIOC – National Iranian Oil Company (1978): *Geological Map of Iran at the scale of 1:1,000,000, Sheets 1–3, North-West Iran, North-Central Iran, North-East Iran*.
- OKHRAVI, R. & AMINI, A. (2001): Characteristics and provenance of the loess deposits of the Gharatikan watershed in Northeast Iran. – *Global Planet. Change*, **28**, 11–22.
- PALUSKA, A. & DEGENS, E.T. (1980): *Das Quartär des Kaspischen Küstentieflandes – Kartierung im Iran*. – *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, **49**, 61–134.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 6. Juni 2008