

Erdihan TUNÇ<sup>1</sup>  
Dietmar SCHRÖDER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dr., Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat  
Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Gaziantep,  
tunc@gantep.edu.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Universitaet Trier/Trier,  
Deutschland

## Vergleichen der Bodenerosion von Landwirtschaftlich Genutzten Flaechen in Mittelanatolienu Und Rheinland-Pfalz

İç Anadolu Bölgesindeki tarım arazilerinde toprak  
erozyonunun rheinland-Pfalz eyaleti ile karşılaştırılması

Alınış (Received): 04.03.2009 Kabul tarihi (Accepted): 25.05.2009

### Anahtar Sözcükler:

K-faktörü, toprak erozyonu, genel  
toprak taşınımı denklemi

### Key Words:

K-factor, soil erosion, universal  
soil loss equation

### ÖZET

Erozyondan korunma yolları hemen her yerde bilinmesine rağmen yeterince uygulanmamaktadır. Bu çalışmada düşük erozyon şiddetine sahip ve yüksek erozyon şiddetine sahip olmak üzere iki bölgede erozyonu belirleyen temel faktörler araştırılmıştır. Erozyon tahmini uluslararası toprak kaybı tahmin denklemi (USLE) kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar İç Anadolu Bölgesindeki toprakların erozyona daha duyarlı olduğunu göstermiş bunu K-faktörü ve uluslararası toprak kaybı tahmin denklemi de doğrulamıştır.

### ABSTRACT

The dimensions of the soil erosion and resulting damages differ depending on the region. Although, the methods of protection from the erosion universally known, but they can not be applied sufficiently. In this study, basic determining factors of erosion were investigated in two representative regions; one having a low erosion rate and the other having high erosion rate. The estimation of erosion was done by Universal soil loss equation (USLE). The results indicated that Central Anatolia lands are very susceptible to soil erosion and this result was verified by the K factor and universal soil loss equation.

### EINLEITUNG

Die Bodenerosion ist nahezu weltweit die größte Herausforderung für den Bodenschutz. Sie führt zu einer irreversiblen Bodendegradierung und ist daher mit erheblichen sozialen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Folgen verbunden (Boardman et al., 1990). Bodenerosion ist auch in Deutschland und Mittelanatolien von aktueller Bedeutung. Allerdings sind Ausmaß, Ursachen, Erscheinungsformen und erforderliche Schutz- sowie Nutzungsmaßnahmen teilweise verschieden. Gründe dafür sind die unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten wie Substrat, Böden, Relief und Klima, sowie die Art und Intensität der derzeitigen Landnutzung (Scheffer und Schachtschabel, 1992). Die Bodenbeschaffenheit spielt eine wesentliche Rolle für die Stärke und Art des Bodenabtrags (Rohr, 1990). Anfällig sind bindige und zur Verdichtung neigende Böden sowie schluffige Böden mit geringer Durchlässigkeit und geringer Aggregatstabilität.

Des Weiteren ist die Erosionsanfälligkeit von der Nutzungsart des Bodens abhängig, wobei insbesondere Kulturen mit kurzer Vegetationszeit kritisch sind. Die Türkei ist wegen ihrer topographischen Lage, ihres stark gegliederten Reliefs, ihrer erosionsanfälligen Ausgangsgesteine und aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Bodennutzung stark durch Bodenerosion bedroht (Atalay, 1997; Çepel 1997; Dinç et al., 2001). In Mittelanatolien sind heute Erosionsrinnen und Badlands, Hangbereiche ohne Bodendecke und Hangfußakkumulationen als landschaftsverbreitete Elemente bekannt. Durch die starke Landschaftsdegradation treten dürregefährdete Standorte, Kulturland- und Weideflächenaufgabe und Naturkatastrophen auf (Hütteroth und Höhfeld 2002). In Mittelanatolien ist das Ausmaß der bisherigen und derzeitigen Erosion weitaus größer als in Rheinland-Pfalz, insbesondere deshalb, weil wegen des kontinentalen, sommertrockenen Klimas der Waldanteil gering ist und mögliche Wiederbewaldung oder mindestens dichter Bewuchs mit Steppengräsern und Sträuchern durch Überweidung mit Schafen und Ziegen unterbleibt. Zudem fließt von den in der Regel hängigen bis steilen überweideten Flächen viel Zuschusswasser auf die am Unterhang und in Mulden liegenden Ackerflächen und verstärkt dort erosive Prozesse. Und schließlich begünstigt die traditionelle Landnutzung die Erosion. Um die Erosionsanfälligkeit der Böden und der Landschaften beider Regionen vergleichend zu erfassen und zu bewerten, wurde sowohl die Erosionsdisposition von Ackerstandorten anhand einiger Indikatoren ermittelt, als auch die Erosion in den Landschaften anhand der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung geschätzt. Die Befunde werden nachfolgend mitgeteilt.

### **Bodenvergesellschaftung Der Untersuchungsgebiete Rheinland-Pfalz**

In Verebnungspositionen des Untersuchungsgebietes „Hunsrück-schiefer“ sind flächendeckend pleistozäne Decklagen vorhanden. Über dem anstehenden Schiefer liegt hier die aus wenig umgelagertem, physikalisch verwittertem Schiefer und geringen Anteilen älterer Bodenbildungen

bestehende Basislage. Darüber befindet sich in wenig abtragungsgefährdeten Geländepositionen verbreitet die Mittellage. Sie enthält neben verwittertem Schieferschutt i.d.R. größere Anteile von Lößlehm und gelegentlich geringe Anteile von Graulehm. Ihre Mächtigkeit beträgt verbreitet 30-70 cm. Über der Mittellage liegt die Hauptlage. Sie ist überwiegend in der jüngeren Tundrenzeit durch Staublehmeinwehung entstanden und daher schluffreich. Ihre Mächtigkeit beträgt unter Wald 30-50 cm. Unter Acker ist sie größtenteils erodiert worden. Eine schuttreiche Oberlage befindet sich nur kleinräumig unterhalb von Kämmen und Graten. Der verbreitetste Boden auf den Schieferschuttlagen ist die mittelgründige Braunerde. Diese wurde auf allen Schieferstandorten ausgewählt. Das Relief der betrachteten Flächen ist überwiegend schwach bis mäßig geneigt. Aufgrund des basenarmen Ausgangsmaterials, des hohen Skelettanteils und ihrer nur mittleren Gründigkeit haben die ausgewählten Standorte nur eine mittlere Ertragsfähigkeit. Neben diesen Braunerden sind im Untersuchungsraum auch Pseudogleye und alle Übergänge vertreten, die i.d.R. aber nicht ackerbaulich genutzt werden und daher nicht näher betrachtet werden sollen.

Das Untersuchungsgebiet Buntsandstein liegt großräumig innerhalb der Trier-Bitburger Mulde, die sich als mesozoisches Deckgebirge von dem umgebenden devonischen Grundgebirge in seiner naturräumlichen Ausstattung unterscheiden lässt und zur Arenrather Hochfläche in der Moseleifel gehört. Nach der bodenkundlichen Übersichtskarte 1:200.000 besteht die Bodeneinheit aus Braunerden, podsoligen Braunerden, Braunerde-Podsolen, Podsolen, stellenweise Rankern; basenhaltig bis sehr arm. Auf den tertiären Sanden des Untersuchungsgebietes Buntsandstein haben sich wie auf dem Mittleren Buntsandstein lehmig-sandige saure Braunerden entwickelt, die in exponierten Lagen von Rankern begleitet werden. Die Hänge sind mit mächtigen Hangschuttdecken überzogen, die Mulden und Talböden mit lehmig-sandigen Kolluvien gefüllt. Wegen ihrer Nährstoffarmut und geringen Wasserspeicherkapazität werden die Böden überwiegend forstlich genutzt. Insbesondere

unter Nadelwald, oft mit Zwergsträuchern im Unterwuchs, haben sich überwiegend podsolige Braunerden entwickelt.

Das Untersuchungsgebiet Muschelkalk liegt ebenso wie das Buntsandsteingebiet innerhalb der Trier-Bitburger Mulde. Naturräumlich lässt sich das Gebiet dem Bitburger Gutland zuordnen. Der größte Teil befindet sich innerhalb der naturräumlichen Einheit des Welschbilliger Hochflächenrandes. Nach der bodenkundlichen Übersichtskarte 1:200.000 besteht die Bodeneinheit aus Rendzina, Braunerde, verzahnt mit Pelosol und Pseudogley, meist entkalkt (Muschelsandstein). Die Böden sind meist basenhaltig bis -reich. Die Oberböden der Böden auf Muschelkalk sind durch die pleistozäne Vermischung von Löss und Terra-fusca Material geprägt und weisen wesentlich günstigere Eigenschaften auf als der lehmig-tonige Unterboden, der oft zur Staunässe neigt. Oft sind Lösslehm und Terra-fusca durch den Bodenabtrag und alte Beackerung miteinander vermischt worden. Weit verbreitet sind Pseudogley-Braunerden mit Übergängen zu Braunerde-Pseudogleyen und Pseudogleyen. Auf Kuppen und Steillagen sind sie mit Rendzinen vergesellschaftet, an Unterhängen und in Mulden mit Kolluvisolen. Neben den hier beschriebenen Böden wurden nicht selbst untersuchte Lössböden aus dem Mitteldeutschen Trockengebiet in die Untersuchung einbezogen, da Lössböden besonders erosionsgefährdet sind.

### **Bodenvergesellschaftung Der Untersuchungsgebiete Mittelanatolien (Türkei)**

Die Untersuchungsräume in der Türkei liegen überwiegend in Mittelanatolien etwa im Raum 100 km von Ankara in Richtung Norden an der Straße Ankara Richtung Çankırı, und im Westen an der Straße Ankara Richtung Bepazarı und Nallihan.

Als geologische Ausgangssubstrate herrschen hier tertiäre Mergel vor; kleinräumig werden sie von pleistozänen Sedimenten überlagert. Um den Raum gut zu repräsentieren, wurden typische Böden auf den vier verbreitetsten Substraten Eozän, Miozän, Oligo-Miozän-Mergel sowie quartäre Mergel ausgewählt. Aufgrund ausgedehnter Erosion sind die

unter ungestörten Bodenbildungsbedingungen entstandenen Böden kaum verbreitet. Unter Ackernutzung finden sich überwiegend abgetragene oder umgelagerte Böden und nur an Unterhängen und in Mulden sind tiefgründige anstehende oder kolluvial überdeckte Böden zu finden.

Die bodenkundliche Ansprache ist nicht problemlos. Nach der türkischen Bodenkarte (Akyürek, 1987) werden Böden in diesem Raum als Inceptisol, Entisol und Aridisol (iod) bezeichnet.

Die Weltbodenkarte der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) weist Böden dieser Region um Ankara herum als Steppenböden unter Steppenvegetation aus. Aufgrund der Bodenbildungsfaktoren Mergel, kontinentalem Klima mit ca. 400 mm Niederschlägen, heißen Sommern und kalten Wintern bei einer Höhenlage zwischen 700 und 1000 m und Steppenvegetation sind in der Tat Steppenböden zu erwarten. Sie kommen aber nur unter ungestörten Verhältnissen vor. Unter Ackerland wurden im Untersuchungsgebiet hingegen keine Steppenböden beobachtet. Weder Farbe, Humusgehalt, noch Gefüge deuten darauf hin. Die Nutzung mit hohem Bracheanteil lässt ihre Erhaltung oder natürliche Entstehung nicht zu. Möglicherweise ist der Tongehalt für ihre Ausprägung auch zu hoch. Stattdessen haben sich auf den schluffig lehmigen Mergeln vom Eozän bis Pliozän vornehmlich Pararendzinen, nach FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Rendzinen, auf den Tonmergeln kalkhaltige Regosole oder Pelosole gebildet. Unter langzeitiger Beweidung ist eine Tendenz zur Tschernosembildung zu erkennen. Auf kalkfreien oder entkalkten Substraten tritt Verbraunung ein, ohne dass aber deutliche Bv- Horizonte zu erkennen wären. Aus der Türkei wurden weitere Bodenproben aus Südostanatolien ohne feldbodenkundliche Aufnahme und bodenphysikalische Untersuchungen erfasst.

### **METHODEN**

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2000 und 2003 mit folgenden Methoden durchgeführt:

Die Bestimmung der Korngrößenanteile erfolgte mittels der Pipettmethode nach Köhn (1929). Die Durchlässigkeit der Böden für Wasser wurde nach dem Messprinzip für die gesättigte Wasserleitfähigkeit nach der Methode von Hanus & Knoch (1965) ermittelt. Die Bestimmung der Aggregatstabilität erfolgte durch Tauchsiebung ( $\Delta$ GMD) nach De Leenheer & De Boodt (1954). Gesamtkohlenstoff ( $C_t$ ) und Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) wurden mittels trockener Veraschung im Sauerstoffstrom am LECO CHN-1000 bestimmt. Beurteilung der Erosivität erfolgte durch die Universale Bodenverlustgleichung (USLE=ABAG). In den USA wurde die Universale Bodenverlustgleichung (Universal Soil Loss Equation=USLE) in Zusammenarbeit vieler Wissenschaftler (Wischmeier et al., 1971) entwickelt und von Schwertmann et al. (1987) für deutsche Verhältnisse angepasst (ABAG). Die Gleichung lautet:  $A=R*K*L*S*C*P$ . Regen- und Oberflächenabflussfaktor (R-Faktor): Für den Trierer Raum wurde der R-Faktor durch folgende Formel nach Schwertmann et al. (1987) berechnet.  $R=0,141.N_s^{-1,48}$

$N_s=406$  mm ist hier der mittlere Sommerniederschlag von 30 Jahren in Trier (Petrisberg) vom 1.Mai-31.Oktober (Müller, 1983), so dass hier der R-Faktor=54,6 resultiert. Die von Doğan (1987) ermittelten R-Faktoren in den Untersuchungsgebiet Mittelanatolien und Südostanatolien wurden für die ABAG-Schätzung übernommen und liegen bei 27,656 für Çankırı, 40.715 für Ankara und 27.261 für Diyarbakir in Südostanatolien. Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) stellt den jährlichen Abtrag eines bestimmten Bodens pro R-Einheit auf dem Standardhang (22 m Länge, 9 % Gefälle, dauernde Schwarzbrache) dar. Nach Wischmeier und Smith (1978) lässt sich der K-Faktor aus 5 Bodeneigenschaften errechnen. Diese 5 Eigenschaften des Bodens sind: Gehalt an Schluff und Feinsand, Sand, die organische Substanz, Permeabilität und Bodenstruktur als Aggregatklasse. Diese Eigenschaften werden mit Hilfe der folgenden Gleichung zum K-Faktor verrechnet.  $K=2,77*10^{-6}*M^{1,14}*(12-OS)+0,043*(A-2)+0,033*(4-D)$ .  $M=(\% \text{ Schluff} + \% \text{ Feinstsand})*(\% \text{ Schluff} + \% \text{ Sand})$

OS= % organische Substanz ist der mit 1,72 multiplizierte Gehalt an organischem

Kohlenstoff (in %) der Ackerkrume. A= Aggregatklasse wurde nach AG Bodenkunde (1994) in der Ackerkrume bestimmt. So wurde die Aggregation in der Ackerkrume von 1 bis 4 eingestuft.

D= Durchlässigkeitsklasse wurde nach Kartieranleitung (1982) mittels im Labor ermittelter Wasserleitfähigkeit (cm/d) bestimmt. Für die Böden aus Südostanatolien konnten keine bodenphysikalischen Eigenschaften ermittelt werden. Deswegen wurde nur der K-Vorwert aus dem K-Faktor-Nomogramm anhand der Gehalte vom Schluff-Feinsand (0,002-0,1mm) und organischer Substanz (%) berechnet. Hanglängenfaktor (L): Für die Vergleichbarkeit der Erosionsgefährdung wurden die Hanglängen von deutschen und türkischen Flächen auf 100 m standardisiert.

Hangneigungsfaktor (S): Die Hangneigung von deutschen und türkischen Flächen wurden ebenso wie die Hanglänge auf 16° standardisiert. Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C): Für den Trierer Raum wurde der C-Faktor von Schwertmann et al. (1987) für Winterweizen (0,100) übernommen. Für das Untersuchungsgebiet Mittelanatolien wurde der von Doğan (1997) ermittelte C-Faktor für die Getreide-Brache-Periode mit 0,24 übernommen. Erosionsschutzfaktor (P): Weder im Untersuchungsgebiet Rheinland-Pfalz noch in der Untersuchungsgebieten in der Türkei sind Erosionsschutzmaßnahmen vorhanden. Deswegen wurde nach Schwertmann et al. (1987) der P-Wert=1 angegeben.

## ERGEBNISSE

### Korngrößenverteilung

Für die Einschätzung der Erodierbarkeit hat die Korngrößenverteilung eine entscheidende Bedeutung. Je höher der Schluff -und Feinsandgehalt, desto größer ist die potentielle Erodierbarkeit.

Wird die Bodenart nach Humus- und Carbonatzerstörung sowie Dispergierung mit Natriumpyrophosphat bestimmt, sind die Partikel in ihre feinsten Teilchen zerlegt. Ein dispergierter Boden entspricht aber nicht mehr den natürlichen Verhältnissen. Dies

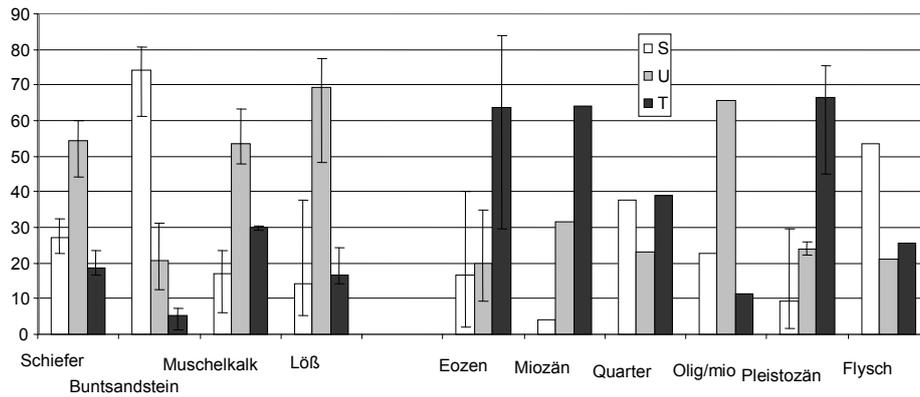


Abb. 1. Korngrößenverteilung in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittel Anatolien (Mittelwerte, Min und Max) (mit Dispergierung, Carbonat -und Humuszerstörung U:Schluff, T: Ton, S:Sand).

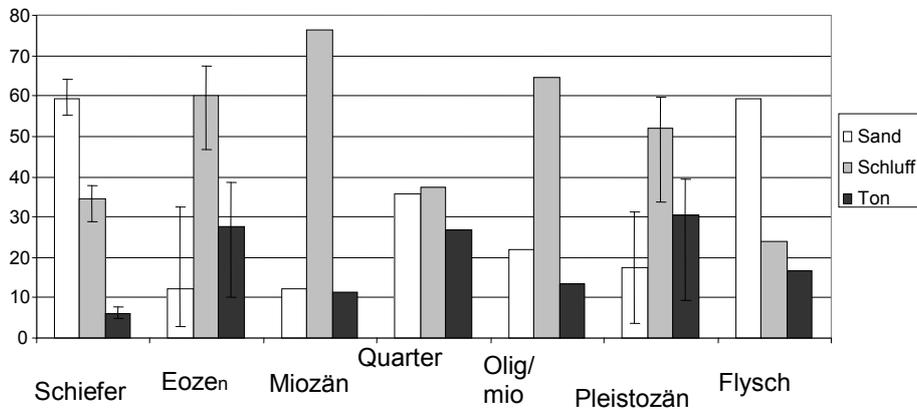


Abb. 2. Korngrößenverteilung in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Anatolien ohne Vorbehandlung ( ohne Dispergierung, Carbonat -und Humuszerstörung) (Mittelwerte, Min und Max).

trifft insbesondere für die türkischen Tonmergelböden zu. Nach der Fingerprobe wurden sie überwiegend als schluffige Tone angesprochen. Die Korngrößenanalyse nach Vorbehandlung wies sie aber als Tone mit teilweise 60-80 % Ton aus. Da diese Zusammensetzung nicht dem natürlichen Bodenartencharakter entspricht und die Bodenart für die Erodierbarkeit höchst bedeutsam ist, wurden Korngrößenanalysen auch ohne Humus- und Carbonatzerstörung, d.h. nur nach Ultraschallbehandlung und Schüttlung vorgenommen. In Abb. 1 und 2 sind die Ergebnisse mit Vorbehandlung und ohne Vorbehandlung dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Bodenarten eng mit den Substraten korrelieren. Die Buntsandsteinböden sind durch die Sandfraktion geprägt, die Lößböden durch die Schlufffraktionen, die Muschelkalkböden

durch die Ton- und Schlufffraktionen und die Schieferböden durch die Bodenart Lehm der Hauptlage.

Die Tongehalte fallen durch den Verzicht auf die Vorbehandlung deutlich niedriger aus und die Schluffgehalte steigen deutlich an. Im Durchschnitt erreichen die Schluffgehalte sehr hohe Werte. Da diese Befunde den Feldansprachen nahe kommen und den natürlichen Bedingungen entsprechen, müssen sie den Beurteilungen zur Erosionsdisposition zugrunde gelegt werden.

### Permeabilität

Die Permeabilität hat ebenso wie die Bodenart großen Einfluss auf die Bodenerosion. Häufig, aber keineswegs regelmäßig sind die ermittelten kf-Werte im Oberboden höher als in tieferliegenden Horizonten. Oft stören Krümenverdichtungen die Versickerung.

Allgemein sind die kf-Werte der deutschen Böden relativ hoch, mit Ausnahme der Lößböden (Abb. 3). In den schweren Muschelkalkböden tragen hierzu zahlreiche Regenwurmgänge bei, im Buntsandstein und Schiefer ist die grobe Textur dafür der Hauptgrund.

In den türkischen Unterböden liegt die Durchlässigkeit im mittleren bis niedrigen Bereich. In längeren Niederschlagsperioden kann nicht genügend Wasser versickern und muss daher oberflächlich abfließen. Lediglich die Oligo/Miozänen Mergel besitzen eine hohe Permeabilität.

In enger Beziehung zur Permeabilität für Wasser stehen auch die Permeabilität für Luft und das Porenvolumen  $> 50 \mu\text{m}$ . Daher werden diese Daten nicht aufgeführt.

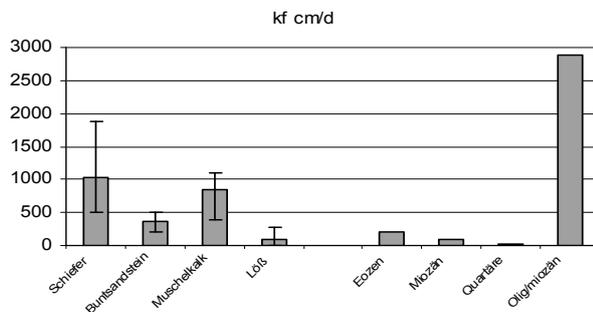


Abb. 3. Gesättigte Wasserdurchlässigkeit (cm/d) in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max).

### Gehalt An Organischem Kohlenstoff

Die deutschen Böden werden überwiegend mit Getreide und Raps bestellt und stark mit organischen Düngern versorgt. Auf den türkischen Böden werden ca. 50 % Wintergetreide und 25 % Blattfrüchte (Gemüse, Futterpflanzen) angebaut und 25 % oder mehr werden gebracht. Durch diese Schwarzbrache findet eine starke Humuszehrung statt. Zudem wird ein hoher Anteil des Stroh verbrannt. Böden mit höheren Humusgehalten besitzen unter sonst gleichen Bedingungen eine geringere Erosionsneigung. Die  $C_{\text{org}}$ -Gehalte der deutschen Böden sind mit Ausnahme der Lößböden relativ hoch, die der türkischen Böden insbesondere in Bezug zu den hohen Tongehalten und dem steppenartigen Klima sehr niedrig. Hierfür kann nur die Nutzung verantwortlich sein.

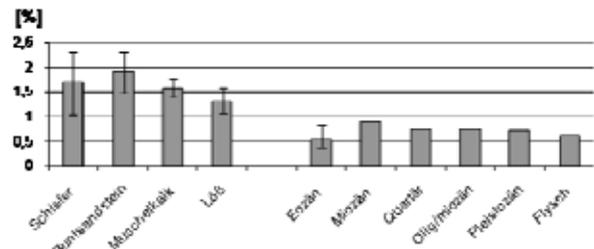


Abb. 4. Organischer Kohlenstoffgehalt in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max).

### Aggregatstabilität

Das Erosionsgeschehen wird auch maßgeblich von der Aggregatstabilität gesteuert. Ist diese hoch, sind Splash und Plansh Effekte gering, d.h., auch Starkregen auf nackter Oberfläche führen nicht zu erheblichem Abtrag.

Die Aggregatstabilität wurde mit mehreren indirekten Methoden ermittelt. In Abb. 5 sind die Ergebnisse der Tauchsiebung als Veränderung des Anteils der Aggregatfraktionen dargestellt ( $\Delta\text{GMD}$ ). Kleine Veränderungen bedeuten hohe Aggregatstabilität und somit geringe Abtrags- und Verschlammungsneigung. Diese Eigenschaft wurde in den Ap-Horizonten an ungestörten Proben ermittelt.

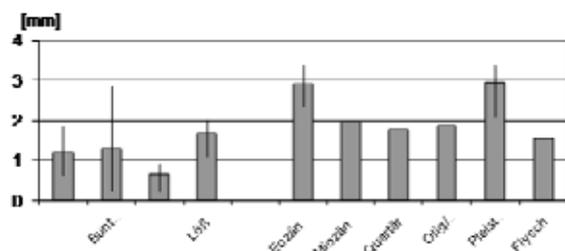


Abb. 5. Aggregatstabilität in 0-25 cm nach Nasssiebung von Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max).

Es zeigt sich, dass die Aggregatstabilität in den deutschen Böden höher ist als in den türkischen. Dies ist insofern verwunderlich, als die Türkischen höhere Tongehalte aufweisen, selbst ohne Vorbehandlung. Offenbar ist aber ihr geringer Humusgehalt für die geringe Aggregatstabilität verantwortlich; möglicherweise auch eine starke Dispergierungsneigung aufgrund von höherer Na-Sättigung. Unter den deutschen Böden haben erwartungsgemäß die

Böden aus Löß aufgrund ihres hohen Schluffgehaltes die geringste Aggregatstabilität.

### Die Erodierbarkeit Der Böden (K-Faktor)

Die Tab. 1 zeigt, dass der K-Faktor ein Verhältniswert ist und die Gesamtwirksamkeit der Bodeneigenschaften repräsentiert. Vergleicht man daraufhin die rheinland-pfälzischen und die mittelanatolischen Böden so zeigt sich, dass die mittelanatolischen Böden überwiegend erosionsanfälliger sind. Der Schluffgehalt ist in der Regel höher, der Gehalt an organischer Substanz niedriger und die Durchlässigkeit ebenfalls. Daraus ergibt sich durchweg ein höherer K-Wert.

Tab.1. Mittelwerte der erosionsbedingten Eigenschaften und der K-Faktoren für die Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien

Böden aus Rheinland-Pfalz	U+ffS	U+S	M	OS	D	A	K-Wert
Schiefer	52	77	3980	3.15	6	3	0.288
Buntsandstein	31	81	2540	2.81	6	4	0.214
Muschelkalk	58	55	3215	3.04	6	3	0.224
Löß	70	73	5082	2.3	4	4	0.537
Böden aus Mittelanatolien							
Eozän	63	66	4158	0.82	5	5	0.424
Miozän	81	79	6414	1.57	3	3	0.708
Quarter	40	71	2805	1.3	3	3	0.329
Oligo/miozän	67	82	5471	1.3	3	3	0.703

### Schätzverfahren Zur Erosivität (Abag)

Aus Tab. 2 ist zu ersehen, dass die R-Faktoren für die Region Rheinland-Pfalz deutlich höher sind als für die Region Mittelanatolien.

Die K-Faktoren wurden bereits erläutert. Die C-Faktoren unterscheiden sich wesentlich. In beiden Regionen herrscht der Getreidebau vor. Während in Rheinland-Pfalz darüber hinaus Raps, Futterpflanzen und Zwischenfrüchte angebaut werden, kommen in Mittelanatolien längere Schwarzbrachephasen vor. Der geschätzte Bracheanteil beträgt etwa 25 %. Zudem ist aus klimatischen Gründen kein Zwischenfruchtanbau möglich, so dass der Bedeckungsgrad insgesamt deutlich niedriger ist. Dies drückt sich in dem höheren C-Faktor aus.

Aus diesen Konstellation ergibt sich für die rheinland-pfälzischen Standorte ein relativ geringer Abtrag von wenigen Tonnen je Hektar und Jahr mit Ausnahme der Lößregion. Für einige mittelanatolischen Standorte werden aber höhere Abträge errechnet. Diese Ergebnisse stimmen mit Geländebefunden gut überein.

### DISKUSSION UND SCHLUSS

Anhand der erhobenen Daten konnte gezeigt werden, dass die potenzielle Bodenerosion der untersuchten türkischen Standorte größer ist, als die der deutschen. Ein wesentlicher Grund hierfür liegt in Unterschieden bei der Bodenart.

Tab. 2. Mittelwerte der Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag (t/ha.a) der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=100; S=16°)

	R-Faktor	K-Faktor	LS- Faktor (16%, 100m)	C-Faktor	P-Faktor	ABAG (t/ha.a)
Schiefer n=7	54.6	0.288	5	0.10	1	7.8624
Buntsandstein n=3	54.6	0.214	5	0.10	1	5.8422
Muschelkalk n=3	54.6	0.224	5	0.10	1	6.1152
Löß n=7	56.1	0.537	5	0.10	1	15.06285
Deutschland n=20						
Eozän n=2	40.7	0.424	5	0.24	1	20.70816
Miozän n=2	40.7	0.708	5	0.24	1	34.57872
Quartär n=1	27.7	0.329	5	0.24	1	10.93596
Oligo/miozän n=1	27.7	0.703	5	0.24	1	23.36772
Pleistozän n=5	27.3	0.288	5	0.24	1	9.43488
Flysch n=2	27.3	0.280	5	0.24	1	9.1728
Türkei n=11						

Nach Rohrer (1985) ist die Bodenart die geeignetste Eigenschaft, um die Erosionsanfälligkeit eines Bodens zu charakterisieren. Sie ist im Feld leicht zu bestimmen und weist keine zeitliche Variabilität auf. Mit Vorbehandlung waren die Tongehalte der türkischen Böden sehr hoch, während die Korngrößenzusammensetzung ohne Vorbehandlung enger mit der feldbodenkundlichen Ansprache korrelierte, so dass für die Ermittlung des K-Faktors der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung die Korngrößenanalysen ohne Vorbehandlung herangezogen wurden. Schmidt et al. (1996) verwendeten bei dem Modell EROSION-2D ebenfalls die Korngrößenzusammensetzung ohne Vorbehandlung, da die Korngrößenzusammensetzung ohne Vorbehandlung das tatsächliche physikalische Verhalten der Böden eher widerspiegelt. Die mechanischen Impulsströme aus Tropfenschlag und Oberflächenabfluss zerstören zwar die ursprünglichen Bodenaggregate, aber hauptsächlich zerfallen sie in mehr oder weniger große Bruchstücke, die aus verkitteten Einzelpartikeln zusammengesetzt sind und nicht in die einzelnen Korngrößen. Dies trifft insbesondere für die türkischen Tonmergelböden zu. Nach der Fingerprobe wurden sie überwiegend als schluffige Tone angesprochen mit einem Tongehalt von 11-30 %. Die Korngrößenanalyse nach Vorbehandlung wies die Böden aber als Tone mit teilweise 60 - 80 % Ton aus. Nach Schmidt et al. (1996) weichen die Tongehalte der Bodenproben mit Vorbehandlung bzw. ohne Vorbehandlung bis zu 47 % voneinander ab. Die Schluffgehalte weichen bis zu 20 % voneinander ab, während die Sandgehalte von der Vorbehandlung wenig beeinflusst werden.

Insgesamt ist die Bodenart der türkischen Böden erosionsanfälliger als die der deutschen, mit Ausnahme der deutschen Böden aus Löß. Die Aggregatstabilität nimmt tendenziell mit steigenden  $C_{org}$ -Gehalten der Substrate zu (Kehl 1997). Für die niedrigen Humusgehalte der türkischen Böden sind vor allem die Schwarzbrache, die Strohverbrennung, die häufige Bodenbearbeitung und die mangelhafte organische Düngung verantwortlich.

Die Berechnung der K-Faktoren bestätigte das erwartete Ergebnis, dass die türkischen Böden erosionsanfälliger sind als die deutschen, mit Ausnahme der deutschen Lößböden.

Vor allem die schluffreichen miozänen und oligo/miozänen Mergel erlangen hohe K-Faktoren von ca. 0,7. Die Erosionsgefährdung der untersuchten Standorte wurde nach der ABAG abgeschätzt.

Die türkischen Standorte sind erosionsgefährdeter, obwohl ihre R-Faktoren gering sind.

Denn in Mittelanatolien herrscht Trockensteppenklimate mit kaltem Winter und Dürre im Sommer vor. Durch die hohe Erodibilität der Böden können aber selbst geringe Niederschlagssummen hoch erosiv wirken (Sauernborn et al., 1997). Deswegen hat Doğan (1987) sogar alle Niederschläge > 1,27 mm (innerhalb 25 Jahren) bei der R-Faktor-Berechnung berücksichtigt.

Die R-Faktoren für die türkischen Böden sind deutlich niedriger als für die deutschen Böden. Dies liegt daran, dass die Niederschläge in Mittelanatolien großenteils als Schnee fallen. Im R-Faktor ist der Bodenabtrag durch Schmelzwasser nicht enthalten. Quantitative Messungen über den Einfluss der Schneeschmelzen liegen in der Literatur noch nicht vor. Schneeschmelzen müssen aber berücksichtigt werden, weil während der Schneeschmelze der Boden wegen Verschlammung nur wenig Wasser aufnehmen kann und die Bodenoberfläche durch den Frost in kleine, leicht transportierbare Aggregate zerteilt wird (Schwertmann et al. 1987).

Der wichtigste Grund für die hohe Erosionsgefährdung türkischer Böden ist aber ihr hoher K-Faktor und ihr hoher C-Faktor. Für große stark reliefierte Gebiete ist auch der LS-Faktor bedeutsam. In diesen Gebieten nimmt die Erosion nicht tolerierbare Ausmaße an.

Zwar sind die Böden auf Mergeln überwiegend mittel-tiefgründig und die Neubildungsrate ist vergleichsweise hoch. Doch andererseits gehen durch Erosion Humus- und Nährstoffe verloren und es entstehen off-site-Schäden. Die Verlandung von Staudämmen ist dafür ein

markantes Beispiel. Sowohl wegen der on-site- als auch der off-site- Schäden sind also wirksame Erosionsschutzmaßnahmen zu treffen.

Bei der Festlegung der Toleranzgrenzen des Abtrags der deutschen und türkischen Böden wurde die Gründigkeit der jeweiligen Böden berücksichtigt. Die untersuchten deutschen und türkischen Böden sind mittelgründig. Für die mittelgründigen Böden sind die Toleranzgrenzen des Abtrags zwischen 5-10 t/ha (AG Bodenkunde, 1982). Legt man einen LS-Faktor von 5 (Hanglänge 100 m; Hangneigung 16°) zugrunde, steigt der Abtrag um ein Vielfaches an. Er erreicht dann in deutschen Böden außer in Löß-Böden immer

noch tolerierbare Werte (zwischen 5,8 t/ha und 7,8 t/ha), überschreitet aber in türkischen Böden außer bei Quartär- und Flysch-Standorten die tolerierbaren Werte (zwischen 8,3 t/ha und 34,6 t/ha) sehr stark.

## DANKSAGUNG

Einige bodenphysikalische Daten deutscher Vergleichsböden wurden aus den Trierer Dissertationen von Markus Quirin, Dietmar Niebes, Steffen Schobel, Raimund Schneider und Elisabeth Tressel bereitgestellt. Bei der Geländearbeit in der Türkei und der Betreuung vor Ort waren die Herren Haluk Soran und Ali Özçağlar hilfreich.

## LITERATUR

- AG Bodenkunde. 1982. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), 3.Auflage, Hannover.
- AG Bodenkunde. 1994. Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), 4.Auflage, Hannover.
- Atalay, İ. 1997. Türkiye Coğrafyası. Ege Üniversitesi Basımevi Bornova, İzmir.
- Akyürek, İ. 1987. Türkiye Genel Toprak Amenajman Planlaması. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Boardman, J., Foster I.D.L. and Dearing, J.A. 1990. Soil Erosion on agricultural land. Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 38, Issue 4. Wiley Chichester, UK.
- Çepel, N. 1997. Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, Dizgi – Baskı Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi, – İstanbul.
- De Leenheer, L. and De Boodt, M. 1954. Discussion on the aggregate analysis of soils by wet sieving. Trans.Vth. Congr. Soil Sci., Leopoldville, II, p.111-117 die Durchflussrate mittels der Perkulationsstabilität nach Becher & Kainz (1983) ermittelt.
- Diñç, U., Şenol, S., Kapur, S., Cangir, C. und Atalay, İ. 2001. Türkiye Toprakları, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 51; Ders Kitapları Yayın No: A-12 , 5. Baskı –Adana.
- Doğan O. 1987. Türkiye Yağışlarının Erosiv Potansiyelleri. (Erosive potentials of Turkey. T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Hanus, H. und Kmoch, H.G. 1965. Beitrag zur Methodik der Wasserpermeabilitätsmessung an ungestörten Bodenproben. - Zeitschrift für die Pflanzenernährung und Bodenkunde. 155. S. 185-190.
- Hütteroth, W.D. und Höhfeld, V. 2002. Türkei. –Wissenschaftliche Länderkunden -Darmstadt.
- Kehl, M. 1997. Experimenteller Laboruntersuchungen zur Dynamik der Wassererosion verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfallens- Bonner Bodenkundliche Abhandlungen Band 21, Bonn.
- Köhn, M. 1929. Korngrößenbestimmung vermittle Pipettenanalyse. Tonindustrie-Zeitung, 55, 729-731
- Müller, J.M. 1983. Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde- Trier.
- Rohr, W. (1990): Bodenerosionsschäden auf Ackerflächen: Schadenkartierung und Materialfangkästen - eine kombinierte Methode. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 61, S.43-46. Göttingen.
- Rohrer, J. 1985. Quantitative Bestimmung der Bodenerosion unter Berücksichtigung des Zusammenhanges Erosion - Abfluß im oberen Langete – Einzugsgebiet In: Physiogeographica, Band 6.
- Sauernborn, P., Ballisoy, N. und Skowronek, A. 1997. Die Erosivität der Niederschläge in der Türkei. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85.III, S.1461-1464.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P. 1992. Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl. Stuttgart.

- Schmidt, J., M. Von Werner und Michael, A. 1996. Erosion 2D - Ein Computermodell zur simulation der Bodenerosion durch Wasser. Sächs. Landesanstalt f. Landw. Dresden.
- Schwertmann, U.; Vogl, W. Und Kainz, M. unter Mitarbeit von Auerswald, K. und Martin, M. 1987. Bodenerosion durch Wasser. Stuttgart.
- Wischmeier W.H., Johnson Cb, Cross Bv 1971. A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. J. Soil and Water Conserv. 26: 189.
- Wischmeier W.H. und Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture (USDA), Agriculture Handbook No. 537.