

Bachelor of Science

Erdihan Tunc

Vom Fachbereich VI
(Geographie/Geowissenschaften)
der Universität Trier

zur Verleihung des akademischen Grades

Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

genehmigte Dissertation

Vergleichende Analyse der Erosionsdisposition ausgewählter
rheinland-pfälzischer und mittelanatolischer Bodenregionen,
sowie Möglichkeiten ihrer nachhaltigen bodenschonenden Nutzung

Betreuer: Prof.Dr. D.Schröder

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. C. Emmerling

Berichterstatter: Prof.Dr.H.Soran: Universität Hacettepe-Ankara/Türkei

Datum der wissenschaftlichen Aussprache: 05.02.2004

Erscheinungsort und Jahr: Trier, 2004

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich insbesondere ganz herzlich bei Prof. Dr. Dietmar Schröder bedanken, der mir alle Möglichkeiten eröffnet hat und mir viele Anregungen bei der Fertigstellung der Arbeit gegeben hat.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei Herrn PD Dr. Christoph. Emmerling, der mich im Labor bei den biologischen Untersuchungen und Auswertungen betreut hat, für Rückfragen immer bereit war und die Zweitbegutachtung übernommen hat. Herrn Dr. Raimund Schneider danke ich für die Unterstützung bei den bodenphysikalischen Untersuchungen, Herrn Dr. Markus Quirin für die Hilfe bei der Darstellung der Daten, für sprachliche Korrekturen und für viele gute Ratschläge, Frau Prof. Dr. Barbara Ruthsatz für ihre moralische Unterstützung während meines Studiums an der Universität Trier.

Frau Haungs vom Auslandsamt (DAAD, Universität Trier) danke ich recht herzlich für die Vermittlung finanzieller Unterstützung während meines Aufenthalts in Deutschland.

Es ist mir auch eine angenehme Pflicht, mich besonders bei Herrn Prof. Dr. Haluk Soran von der Universität Hacettepe, der meine Arbeit in der Türkei betreut hat, Herrn Prof. Dr. Ali Özçağlar, Herrn Prof. Dr. Mesut Elibüyük und Herrn Dr. Mehmet Somuncu von der Universität Ankara, die mir bei Auswahl der Standorte und der Probennahme der türkischen Böden behilflich waren, Herrn Dr. İhsan Çiçek, der mir die topographischen Karten der türkischen Standorte beschafft hat, Herrn Dr. Orhan Doğan und Herrn Suat Akgül vom Ankara Research Institute of Rural Services für die Bereitstellung von Daten zu bedanken.

Herrn Steffen Schobel, Herrn Dietmar Niebes sowie Herrn Christoph Müller möchte ich ganz herzlich dafür danken, dass sie mir einige Grunddaten aus ihren Arbeiten zur Verfügung gestellt haben.

- Ein besonderer Dank gilt meiner Freunde Sylvia Hower und Kadir & Meriç Güzel für ihre Unterstützung während meines Studiums sowie während meiner Promotion.
Des weiteren möchte ich mich bei den folgenden hilfreichen Personen bedanken:
- Petra Ziegler und Elvira Sieberger, die mir bei der Durchführung der chemischen und biologischen Laboranalysen geholfen haben,
- Frau Elke Biewer, die durch ihre freundliche Art, organisatorische Hilfe und ihre moralische Unterstützung den Fortgang der Arbeit befördert hat.
- Frau Claudia Winter, die Frauenbeauftragte der Universität Trier für ihr in jeder Hinsicht offenes Ohr,

- Frau Hampel vom Katholischen Frauendienst, die mir bei der Suche einer Tagesmutter für die Betreuung meiner Tochter geholfen hat und mir auch moralische Unterstützung gegeben hat,
- Frau Margret Roth und Ihrer Mutter sowie Familie Seher, dass sie mich während meines Aufenthaltes in Trier so herzlich aufgenommen haben,
- Tina Kordel und ihrer ganzen Familie, die sich während meiner Arbeit an der Uni sehr liebevoll und fürsorglich um meine Tochter Dicle gekümmert haben,
- meiner ganzen Familie und allen Freunden, die ich noch nicht erwähnt habe:
- Familie Kilic aus München, Familie Bahl aus Köln, Familie Carooğlu, meiner Schwiegermutter Zeynep Tunç und meinem Schwiegervater Ömer Tunç, Familie Sindi aus Trier meinem Bruder Aziz Güzel für die Beschaffung der türkischen Literatur, meiner Kusine Ceylan Carooğlu, Mathias Neuss und Natalie Knoll aus den Kommunalwissenschaften

Ihnen allen möchte ich von ganzem Herzen danken.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Literaturübersicht	5
3. Untersuchungsgebiete	16
3.1 Untersuchungsgebiete Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien	16
3.1.1 Lage und naturräumliche Gliederung	16
3.1.2 Geologie und Geomorphologie	18
3.1.3 Klima und Hydrographie	24
3.1.4 Vegetation und Landnutzung	30
3.1.5 Böden	33
4. Methoden	39
4.1 Feldbodenkundliche Ansprache	39
4.2 Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden	39
4.2.1 Korngrößenanalyse	39
4.2.2 Porengrößenverteilung	39
4.2.3 Permeabilität	39
4.2.4 Aggregatstabilität	40
4.3 Bodenchemische Untersuchungsmethoden	40
4.3.1 C _{org} -und N-Gehalte, C/N-Verhältnis	40
4.3.2 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff	40
4.3.3 Carbonatgehalte und pH-Werte	40
4.3.4 P- und K-Gehalte	40
4.3.5 Elektrische Leitfähigkeit	41
4.4 Bodenbiologische Untersuchungsmethoden	41
4.4.1 Mikrobielle Biomasse	41
4.4.2 Mikrobielle Aktivität	42
4.5 Beurteilung der Erosivität anhand der „Universalen Bodenverlustgleichung“	43

5. Ergebnisse	47
5.1 Feldbodenkundliche Befunde	47
5.1.1 Bodenvergesellschaftung	47
5.1.2 Charakteristik der Untersuchungsstandorte	50
5.2 Bodenphysikalische Eigenschaften	59
5.2.1 Korngrößenverteilung	59
5.2.2 Porenverteilung	61
5.2.3 Permeabilität	65
5.2.4 Eindringwiderstand	66
5.2.5 Aggregatstabilität	67
5.3 Bodenchemische Eigenschaften	69
5.3.1 C_{org} - und N Gehalte und C/N-Verhältnis	69
5.3.2 Heißwasserlöslicher Kohlenstoff	71
5.3.3 Carbonatgehalte und pH-Werte	72
5.3.4 P- und K-Gehalte	73
5.3.5 Elektrische Leitfähigkeit	74
5.4 Bodenbiologische Eigenschaften	75
5.4.1 Mikrobiologische Biomasse	75
5.4.2. Mikrobiologische Aktivität	76
5.4.3. C_{mik}/C_{org} –Verhältnis	77
5.5 Beurteilung der Erodibilität	78
5.5.1 Die Erodierbarkeit der Böden (K-Faktoren)	78
5.5.2 Schätzverfahren zur Erosivität (ABAG)	79
6. Diskussion	83
6.1 Vergleichende Betrachtung der Eigenschaften deutscher und türkischer Böden	83
6.1.1 Bewertung der bodenphysikalische Eigenschaften deutscher und türkischer Böden	83
6.1.2 Bewertung der bodenchemischen Eigenschaften deutscher und türkischer Böden	86
6.1.3 Bewertung der bodenbiologische Eigenschaften deutscher und türkischer Böden	88
6.2 Bewertung der Erodierbarkeit deutscher und türkischer Böden (K-Faktoren)	90

6.3 Maßnahmen zum Erosionsschutz und zu angemessener Landnutzung in Deutschland und in der Türkei	92
--	----

7. Zusammenfassung	101
---------------------------	------------

8. Literaturverzeichnis	103
--------------------------------	------------

Anhang	
---------------	--

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Naturräumliche Einheiten und Lage der Untersuchungsgebiete und –flächen in Rheinland-Pfalz	17
Abb. 2:	Untersuchungsstandorte in Mittelanatolien	18
Abb. 3:	Geologie des Trierer Raumes	21
Abb. 4:	Geographisch-morphologische Gliederung der Türkei	23
Abb. 5:	Geologie der Türkei	23
Abb. 6:	Klimadiagramme Trier- Petrisberg	25
Abb. 7:	Klimatypen der Türkei	26
Abb. 8:	Niederschlagsverteilung der Türkei	27
Abb. 9:	Jahresniederschlagsverteilung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten Mittelanatoliens und Südostanatoliens	28
Abb.10:	Jahrestemperaturverteilung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten Mittelanatoliens und Südostanatoliens	29
Abb. 11:	Vegetation der Türkei	32
Abb. 12:	Böden der Türkei	38
Abb. 13:	Korngrößenverteilung in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max) (mit Dispergierung, Carbonat und Humuszerstörung)	60
Abb. 14:	Korngrößenverteilung in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien ohne Vorbehandlung (ohne Dispergierung, Carbonat -und Humuszerstörung) (Mittelwerte, Min und Max)	60
Abb. 15:	Gesamtporenvolumina [%] in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	62
Abb. 16:	Poren >50 µm [%] in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	63
Abb. 17:	Poren 50-10 µm [%] in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)	63
Abb. 18:	Poren 10-0,2 µm [%] in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	64
Abb. 19:	Poren <0,2 µm [%] in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	64

Abb. 20:	Wasserdurchlässigkeit in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	65
Abb. 21:	Luftdurchlässigkeit in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	66
Abb. 22:	Eindringwiderstand in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	67
Abb. 23:	Aggregatsstabilität (0-25 cm) durch Nasssiebung von der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	68
Abb. 24:	Mittelwerte für die Aggregatsstabilität nach der Perkolationsmethode in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	68
Abb. 25:	Organischer Kohlenstoffgehalt in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	70
Abb. 26:	N-Gehalte in den Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	70
Abb.27:	C/N-Verhältnis in den Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	71
Abb. 28:	Heißwasserlöslicher Kohlenstoffgehalt in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	72
Abb. 29:	Carbonatgehalte in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	72
Abb. 30:	pH-Werte in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	73
Abb. 31:	P- und K- Gehalte in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	73
Abb. 32:	Elektrische Leitfähigkeit in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	74
Abb. 33:	Cmik –Gehalte in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	76
Abb. 34:	Basalatmung in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	76
Abb. 35:	Cmik/ Corg Verhältnis in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)	77

Abb. 36:	K-Faktor in den Ap-Horizonten der Böden aus Rheinland-Pfalz (mit Vorbehandlung) und Mittelanatolien (ohne Vorbehandlung, Dispergierung und Carbonatzerstörung) (Mittelwerte, Min und Max)	79
Abb. 37:	Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=100; S=16°) (Mittelwerte, Min und Max)	81
Abb. 38:	Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=20 m; S=8°) (Mittelwerte, Min und Max)	82
Abb. 39:	Geräteeinsatz bei konv. und konserv. Bodenbearbeitung	98
Abb. 40:	Maßnahmen zur Bodenlockerung und Gefügestabilisierung	99

Verzeichnis der Bilder

Bild 1:	Nallıhan	54
Bild 2:	Beypazarı	55
Bild 3:	Çubuk	56
Bild 4:	Çankırı	58

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1. Ausmaß der Wassererosion je Kontinent	5
Tab. 2: Bodenerosion im Kraichgau, Südwestdeutschland	10
Tab. 3: Die Verteilung der Bodenerosionsgefahr durch Wasser und Wind in der Türkei	11
Tab. 4: Eignungsklasse für die Ackernutzung in der Türkei	12
Tab. 5: Anzahl (n) der Parallelen für die verschiedenen bodenphysikalischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate	59
Tab. 6: Anzahl (n) der Parallelen für die verschiedenen bodenchemischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate	69
Tab. 7: Anzahl (n) der Parallelen für die verschiedenen bodenbiologischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate	75
Tab. 8: Die Mittelwerte des K-Faktors für die deutschen und türkischen Böden	78
Tab. 9: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=100; S=16°)	81
Tab. 10: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach Wischmeier- Gleichung (L=20 m; S=8°)	82
Tab. 11: Bodenabtrag, Wasserabfluss/-infiltration in Abhängigkeit von Aggregatstabilität, Humusgehalt und Mulchbedeckungsgrad nach konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat im Sächsischen Lößhügelland	96

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
&	und
°C	Grad Celsius
μ	Mikron
a	Jahr
A	Abtrag (t/ha.a)
A	Aggregatklasse
AAS	Atom-Absorptions-Spektrometer
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
Abb.	Abbildung
Agg.-stab	Aggregatstabilität
Aufl.	Auflage
BA	Basalatmung
BBodSchG	Bundes- Bodenschutzgesetz
Beyp	Beypazarı
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
Bunts	Buntsandstein
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
ca.	circa
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calciumkarbonat
CAL	Calcium-Acetat-Lactat
Çank	Çankırı
CFE	Chloroform-Fumigations-Extraktion
C _{hwl}	heißwasser löslicher Kohlenstoff
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
Cmik	Mikrobieller Kohlenstoff
CO ₂	Kohlendioxid
Corg	Organischer Kohlenstoff

Çubk	Çubuk
D	Durchlässigkeitsklasse
d.h.	das heißt
DB Dicle	Diyarbakır Universität Dicle
DB Dv	Diyarbakır Degeçidi
DBG	Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft
DOC	Dissolved Organic Carbon
ffS	Feinstsand
fS	Feinsand
fU	Feinschluff
g	Gramm
ggf.	gegebenenfalls
GPV	Gesamtporenvolumen
Gr	Greverath
gS	Grobsand
gU	Grobschluff
ha	Hektar
HCl	Salzsäure
Horiz.	Horizont
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
Id	Idenheim
IRGA	Infrarot-Gasanalysator
K	Kalium
K ₂ O	Kaliumoxid
ka	Luftdurchlässigkeit
kf	Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kpa	Kilo pascal
l	Liter
L	Lehm
m	Meter
M	Molar

m ³	Kubikmeter
Max	Maximum
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
Min	Minimum
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mS	Mittelsand
mU	Mittelschluff
Muschk	Muschelkalk
mV	mit Vorbehandlung
N	Stickstoff
Nr.	Nummer
NRW	Nordrhein-Westfalen
oligo/mioz.	oligozäne und miozäne Ablagerungen
OS	organische Substanz
oV	ohne Vorbehandlung
P	Phosphor
P	Poren
P ₂ O ₅	Phosphoroxid
pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
R ²	Bestimmtheitsmaß
RB	Regierungsbezirk
S	Sand
S.	Seite
t	Tonne
T	Ton
T	Ton
Tab.	Tabelle
Tf	Tiefe
Tho	Thomm
TO	Thomm Oberboden
TOC	Total Organic Carbon
Tu	Thomm Unterboden

U	Schluff
USLE	Universal Soil Loss Equation
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Bodenerosion ist weltweit eine große Gefahr für die Böden. Sie ist auch in Rheinland-Pfalz 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.

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 zu mindest dichter Bewuchs mit Steppengräsern und Sträuchern durch Überweidung mit Schafen und Ziegen unterbleibt. Von den in der Regel hängigen bis steilen, überweideten Flächen fließt viel Zuschusswasser auf die am Unterhang und in Mulden liegenden Ackerflächen und verstärkt dort erosive Prozesse. Zudem begünstigt die traditionelle Landnutzung die Erosion. Zu den kritischen Maßnahmen zählen die Schwarzbrache, die vor allem zur Humuszehrung führt, die ackerbauliche Nutzung von Steillagen und die in Ackerbaugebieten vergleichsweise geringe Viehdichte, die mit einem geringen Anteil erosionsschützender Futterpflanzen und wenig Stallmist verbunden ist. Das Substrat dürfte in den untersuchten Regionen Mittelanatoliens ebenfalls erosionsanfälliger sein als in den Vergleichsregionen von Rheinland-Pfalz, denn in Mittelanatolien weist ein großer Teil der ackerbaulich genutzten Flächen schluffig-tonige Böden auf, die mittel bis stark erosionsanfällig sind. Einen erosionsfördernden Einfluss haben auch die relativ hohe Magnesium- und Natriumkonzentrationen der tertiären marinen Substrate. Die Reliefenergie ist in Mittelanatolien ebenfalls auf einem größeren Flächenanteil stark

ausgebildet. Hingegen ist die Niederschlagsintensität (R-Faktor) niedriger als in Rheinland-Pfalz.

Dennoch sollte es bei angemessener Landnutzung möglich sein, die Erosion auch in Anatolien auf ein akzeptables Niveau zu senken. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist aber eine intensivierete Beratung der Bauern, gekoppelt mit Anreizen oder gesetzlich verordneten Schutzmaßnahmen einschließlich möglicher Sanktionen. Es ist daher das Ziel dieser Arbeit, die wichtigsten erosionsbestimmenden Eigenschaften der Böden und Bedingungen der Naturräume vergleichend zu betrachten, zu bewerten und Schlussfolgerungen für dringende Erosionsschutzmaßnahmen und angepasste Landnutzungen abzuleiten.

Die Literaturrecherchen, Expertenkonsultationen, Geländebeobachtungen und eigenen Erfahrungen lassen folgende vorläufige Beurteilungen der Erosionsproblematik zu und folgende Lösungsmöglichkeiten in den Untersuchungsgebieten erfolgversprechend erscheinen:

Sowohl das rheinland-pfälzische als auch das anatolische Untersuchungsgebiet sind durch tertiäre und pleistozäne Abtragung und holozäne Erosion stark zerschnitten und reliefiert. In Abhängigkeit von Relief, Substrat/Boden und Nutzung ist der Grad der früheren und rezenten Erosion unterschiedlich stark.

In Rheinland-Pfalz ist derzeit nur die Erosion unter Acker von Bedeutung. In Mittelanatolien ist sie wegen fehlender Bewaldung und Überbeweidung der Hutungen mit Ausnahme des Grünlandes und der Ebenen jedoch ganzflächig bedeutsam. Aus Kapazitätsgründen können Untersuchungen dennoch nur in Ackerflächen erfolgen. Da

auch direkte Erosionsmessungen nicht zu leisten sind, kann die Erosionsdisposition der Böden lediglich aus Bodenparametern abgeleitet werden. Als geeignete Parameter haben sich vielfach Bodenart, Gefüge, Humusgehalt, biologische Aktivität, Aggregatstabilität, Porenverteilung und Permeabilität erwiesen. Diese Parameter können an ungestörten und gestörten Proben erhoben und über alle Gebiete hinweg vergleichend bewertet werden. Hierfür sollen in Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien in mehreren kleineren Gebieten jeweils einige Standorte unter Acker eingehender beschrieben und untersucht werden, um eine objektive analytische Basis für Schlussfolgerungen zu gewinnen. Die Standorte werden so gewählt, dass sie repräsentativ für größere Räume sind und die wichtigsten Bodeneinheiten und Ackernutzungen der Regionen repräsentieren. In Verbindung mit Klimafaktoren, Relief und Landnutzung lässt sich somit die Erosionsdisposition der Flächen und der Landschaften abschätzen. Zusätzlich soll die Erosionsgefährdung über standardisierte Schätzverfahren, z.B. ABAG, erhoben werden.

Im zweiten Teil der Arbeit sind aus den erhobenen Befunden Maßnahmen zum Schutz der Böden vor weiterer Erosion abzuleiten. Sie können und müssen sich erstrecken auf Bodenmanagement, Landnutzung, Beratung, Anreize für schonende Bewirtschaftung und ggf. Sanktionen bei Missachtung von Bodenschutzregeln. Zudem ist die Inwertsetzung degradierter Böden anzustreben. Insbesondere in Mittelanatolien sind durch Überweidung stark abgetragene, desertifizierte, steppenartige Standorte mit fortdauernder Zerrung durch rückschreitende Erosion entstanden.

Zusammenfassend lassen sich also folgende Ziele formulieren:

Durch bodenkundliche Detailuntersuchungen und bewährte Schätzverfahren sollte es möglich sein, die Erosionsgefährdung der ausgewählten Böden abzuschätzen. Über Relief, Regenfaktor, Landnutzung und aktuelle Beobachtung kann die Erosionsgefährdung der

Beispielsregionen vergleichend betrachtet werden. Für risikoreiche und geschädigte Regionen sollten sodann angepasste Schutzmaßnahmen im ökologischen, ökonomischen und administrativen Sektor abgeleitet werden können, um weitere Schädigungen zu vermeiden, die Wiederherstellung intakter Landschaften zu erreichen und eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen.

2. Literaturübersicht

Bodenerosion stellt nahezu weltweit ein großes Problem dar. Die teilweise irreversible Bodendegradierung ist mit erheblichen sozialen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Folgen verbunden (BOARDMAN et al., 1990). Katastrophale Überschwemmungen oder verwüstete Dürreflächen sind damit verknüpft (NILL, 1998).

Nach RICHTER (1998) steht die Bodenerosion im Kräftespiel zwischen Natur und Mensch. Der Mensch greift in die Vegetation ein und er beschleunigt durch die Nutzung des Landes die natürlichen Prozesse der Erosion und Denudation, des Transportes und der Ablagerung von Boden. RICHTER (1998) erklärt dies durch die Degradations-Spirale deutlich. Er meint, dass bei niedriger Bevölkerungsdichte und langen Brachezeiten der Nutzflächen die Ernten auch bei geringen Investitionen hoch seien. Je weiter die Brachezeiten verkürzt werden müssen, desto schlechter werden Nährstoffversorgung und Erntemenge und desto stärker wächst die Bodendegradierung. Nachfolgend entsteht ein Teufelkreis von geringen Ernten, niedrigem Einkommen, geringen Investitionen in die Produktion und in den Bodenschutz.

Das Ausmaß weltweiter Bodendegradierung wurde durch internationale Zusammenarbeit (FAO, ISRIC, UNEP, GLASOD) ermittelt, indem die Verbreitung der Degradierungsarten (Wassererosion, Winderosion, chemische und physikalische Degradierung), der Schädigungsgrade und Ursachen (Entwaldung, Überweidung, falsche Bewirtschaftung, Übernutzung usw.) festgestellt wurde. Die folgende Tab. 1 stellt die weltweite Verbreitung der Degradationserscheinungen durch Wassererosion je Kontinent dar.

Tab 1. Ausmaß der Wassererosion je Kontinent nach OLDEMAN et al. 1991 (aus RICHTER, 1998, S.234)

Kontinent	Fläche degradiert durch Wassererosion Mill. km ²	Grad der Bodenschädigung in % von Spalte 2			
		leicht	mäßig	stark	extrem
Europa	1,15	19	70	9	2
Asien	4,41	28	55	17	-
Afrika	2,27	25	30	43	2
Australien	0,83	96	4	.	-
Nordamerika	0,60	23	77	-	-
Mittelamerika	0,46	1	48	52	-
Südamerika	1,23	37	53	10	-
Landfläche 72° N bis 57° S	10,94	31	48	20	1

Die Tabelle 1 zeigt, dass die starken Schäden durch Wassererosion überwiegend in Afrika und Mittelamerika verbreitet sind.

Die Verbreitung und das Ausmaß der Erosion sind in den einzelnen europäischen Regionen je nach Relief, Klima und Landnutzung unterschiedlich zu beurteilen (RICHTER, 1998).

Unter Bodenerosion (Bodenabtrag) sind nach RICHTER (1976) alle Erscheinungen der Abtragung (Denudation, Erosion und Akkumulation) zu verstehen, die den Haushalt der Landschaft über ein naturgegebenes Maß hinaus verändern. Sie werden von Menschen ausgelöst und meist durch Wasser, Wind und Schwerkraft bewirkt. Neben der Bewirtschaftungsintensität des Menschen ist das Ausmaß der Bodenerosion auch von den natürlichen Faktoren wie Klima, Boden, Vegetation und Topographie abhängig (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1992). Bezüglich des Klimas sind vor allem die Niederschlagsmenge, die Niederschlagsintensität und die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge von Bedeutung. Dabei ist zu beachten, dass das ungünstige Zusammentreffen einzelner Niederschlagsereignisse innerhalb von wenigen Stunden zu einem beträchtlichen Teil der jährlichen, teilweise der mehrjährigen durchschnittlichen Erosion führen kann (MORGAN, 1986).

Seit dem Beginn des planmäßigen Ackerbaus sind verstärkte Erosionsphasen nachzuweisen (RICHTER, 1998). Wasser und Wind haben während geologischer Zeiträume maßgeblich zur Ausformung der Landschaftseinheiten mit ihrem reich gegliederten Relief beigetragen. Mit den Abtragsprozessen sind Akkumulation und Sedimentation eng verbunden, wodurch fruchtbare Böden, aber auch die nährstoffarmen Sander und Dünen entstanden sind (CAPELLE & LÜDERS, 1985).

Wassererosion wird durch Oberflächenwasser ausgelöst. Bei der Wassererosion verläuft der Prozess der Erosion in zwei Phasen. Zuerst werden die Bodenaggregate durch den Aufprall der Regentropfen (Splash Effekt) zerschlagen und anschließend wird das dadurch entstehende Feinmaterial mittels Oberflächenwasser hangabwärts gespült (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1992). Durch den Tropfenaufprall entsteht je nach Bodentyp und Oberflächenverhältnissen (Oberflächenrauigkeit, Aggregatgröße und -stabilität) eine mehr oder weniger ausgeprägte Verschlammung, indem Aggregate an der Oberfläche zerstört werden und feines Bodenmaterial in die Poren eingeschlämmt wird (DULEY, 1939; McINTYRE, 1958; HUDSON, 1971; ONOFIOK & SINGER, 1984; TARCHITZKY et al., 1984).

Die Voraussetzungen für eine bedeutsame Wassererosion sind Starkregen oder schnelle Schneeschmelze und eine gewisse Hangneigung. Besonders das Auftreten heftiger Gewitter

und Regengüsse mit Niederschlagsintensitäten von mehr als 0,4 mm/min machen die völlige Versickerung des Wassers in den Boden unmöglich. Auch die Länge der vom Abfluss überströmten Flächen spielt für den Bodenabtrag eine große Rolle. Die Strömungsgeschwindigkeit und die Schleppkraft des Wassers nehmen mit der Länge der Hänge zu.

Die Bodenbeschaffenheit spielt eine wesentliche Rolle für die Stärke und Art des Bodenabtrags. Anfällig sind bindige und zur Verdichtung neigende Böden sowie schluffige Böden mit geringer Durchlässigkeit und geringerer Aggregatstabilität. Des Weiteren ist die Erosionsanfälligkeit von der Nutzungsart des Bodens abhängig, wobei besonders Kulturen mit kurzer Vegetationszeit kritisch sind. Generell stiegen die Erosionsschäden durch die Vergrößerung der Ackerfläche (KURON et al. 1953).

Der jährliche Bodenabtrag A lässt sich nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung von WISCHMEIER und SMITH berechnen: $A = R * K * LS * C * P$

Demnach ist der Bodenabtrag um so höher

- Je höher die kinetische Energie und die Häufigkeit der Starkregen sind (R-Faktor).
- Je leichter der Boden erodierbar ist. Der Boden ist um so leichter erodierbar, je leichter die Aggregate zerschlagbar sind und je weniger durchlässig der Boden ist. Aus diesem Grund sind besonders schluffreiche und humusarme sowie verdichtete Böden sehr stark erosionsgefährdet (K-Faktor).
- Je steiler und je länger der Hang ist, denn diese Eigenschaften bestimmen die Geschwindigkeit und die Menge des abfließenden Wassers (LS- Faktor).
- Je schlechter die Bodenoberfläche gegen den Regen geschützt ist. Dies hängt vom Bedeckungsgrad durch die lebende Pflanze oder durch Ernterückstände (Mulch) sowie von dem Bearbeitungszustand des Bodens ab (C- Faktor).
- Je weniger Erosionsschutzmaßnahmen ergriffen werden (P- Faktor).

Winderosion kommt durch das Zusammentreffen von starken Winden, windoffenen Landschaftsstrukturen, der Anfälligkeit der Bodensubstrate für den Transport durch Wind und einer ackerbaulichen Nutzung der Flächen zustande. Luft, Bodenoberfläche und der Boden sind die bestimmenden Faktoren für die Winderosion. Bei der Luft ist die Geschwindigkeit, Turbulenz, Dichte, Feuchtigkeit und die Viskosität von großer Bedeutung, während bei der Bodenoberfläche die Rauigkeit, Pflanzendecke, Hindernisse und die topographischen

Merkmale bedeutend sind. Bei dem Boden sind Struktur, Textur, Feuchtigkeits-, Humus-, und Karbonatgehalt von Bedeutung (GROßE et al. 1953).

Die Bewegung bei der Winderosion wird von CHEPIL (1945) durch drei Bewegungstypen gekennzeichnet:

1. **Springende Bewegung:** Dieser Bewegungstyp kommt am häufigsten bei der Verwehung der Ackerböden vor und betrifft im allgemein die Fraktionen mit einem Durchmesser zwischen 0,05 und 0,5 mm.
2. **Kriechende Bewegung:** Von dieser Bewegung sind die Partikel mit einem Durchmesser zwischen 0,5 und 1 mm betroffen. Die Bewegung tritt nicht direkt durch den Wind auf, sondern durch den Zusammenstoß mit den Partikeln in springender Bewegung.
3. **Schwebende Bewegung im Luftraum:** Hier müssen feine Staubteilchen erst über die viskose Luftschicht in den turbulenten Luftstrom gelangen und können dann vom Wind transportiert werden.

In der Türkei stellt Winderosion besonders in Mittel-, Süd- und Ostanatolien, z.B. im Gebiet Konya-Karapınar-Tuzgölü und Iğdır-Aralık ein großes Problem dar (DINC et al. 2001). In Deutschland kommt Winderosion vor allem im Nordwestdeutschen Raum vor. Nach FLEGEL (1958) sind ca. 100.000 ha der Ackerfläche Ostdeutschlands stark und ca. 900.000 ha mäßig anfällig und schutzbedürftig gegenüber der Winderosion. Dies betraf in den fünfziger Jahren ca. 15 % der kleinflächigen Bewirtschaftungsstrukturen. Nach grundsätzlichen Untersuchungen in den achtziger Jahren wurde festgestellt, dass ein Drittel der Ackerflächen gefährdet waren (LIEBEROTH et al. 1982; WERNER, 1982; FRIELINGHAUS et al. 1993, 1994).

Die Ursachen, die zur Winderosion führen wurden von CAPELLE & LÜDERS (1985) und FRIELINGHAUS et al. (1993, 1994) beschrieben:

- a) Schaffung von großräumigen Ackerbau Landschaften durch Umbruch von Grünland, Rodung von Wäldern und Hecken sowie der Beseitigung von Feldwegen und Rainen.
- b) Verminderung der Bodenbedeckung durch Veränderungen im Anbauverhältnis (Zunahme von Mais und Hackfrüchten und Abnahme von Feldfutter)
- c) Drainage und Absenkung des Grundwassers und dadurch verminderter kapillarer Aufstieg und somit schnelles und häufiges Abtrocknen der obersten Bodenschicht als Voraussetzung für eine intensive Bewirtschaftung.

Erosionsschäden

Auf Ackerflächen ergeben sich sichtbare und nicht sichtbare Schäden. Zu den sichtbaren Schäden zählt man:

1. Verletzung, Entwurzelung und Vernichtung von Kulturpflanzen
2. erschwertes Befahren der Äcker durch tiefe Erosionsrinnen oder Dünne, Überdeckung von Pflanzen
3. Wegspülen und Wegblasen von Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmitteln
4. Konzentration von Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteln im Ablagerungsbereich
5. Verschmutzung von angrenzenden Strassen, Wegen und Gräben

Nicht sichtbare Schäden sind:

1. Verlust an durchwurzelbarer Bodensubstanz und damit vermindertes Wasserspeicher-, Filter-, und Puffervermögen
2. Reduzierung der ökologischen Funktionsfähigkeit geschädigter Böden
3. Verarmung des Bodens an Humus und Pflanzennährstoffen
4. Minderung der Erträge
5. Zunahme der Flächenheterogenität als Erschwernis für die Bewirtschaftung
6. Akkumulation von Schadstoffen

(GLA- Mecklenburg- Vorpommern, 1998)

Bodenerosionsforschung in Deutschland

Die Erforschung des Bodenabtrages begann in Deutschland in den 30er Jahren (MÜCKENHAUSEN, 1976). Die Sektion „Bodenerosion“ der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft wurde im Jahre 1935 eingerichtet. Drei Jahre später wurde der Unterausschuss für Bodenerosion im Kuratorium für Kulturbauwesen unter Mitwirkung von Fachleuten aus der Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Kulturtechnik und Geologie gegründet (RICHTER, 1976 1998). 1944 begann die systematische Bestandesaufnahme durch Erosionskartierung in Deutschland (GRÖSSE 1953). Erosionsschadenkartierungen erfolgten zunächst auf zwei Beispielsbetrieben, dem Rossbacher Hof im Odenwald und dem Steinheimer Hof im Rheingau. Diese Arbeiten waren die Vorlage für die weitere Kartierungen von Gemeinden und Kreisen (DVWK, 1990).

Später wurden Schadenskartierungen auf der Basis von Untersuchungen von Bodenprofilen oder sichtbaren Abtragungsformen erstellt (RICHTER, 1976, 1983, 1998). Seit den fünfziger Jahren wurde in Deutschland intensiv auf dem Gebiet der Bodenerosion geforscht.

Wissenschaftler wie z.B. KURON et al. (1953) schlugen grundsätzliche Maßnahmen zur Erosionsbekämpfung vor. Kuron und seine Mitarbeiter haben durch grundlegende Arbeiten den Einfluss der Erosion auf die Böden, ihren Nährstoff- und Wasserhaushalt und die Ernteerträge erforscht und zeigten, dass die Bodenerosion in Deutschland ein wichtiges Problem darstellte (MÜCKENHAUSEN, 1976). Schon damals hatte man durch den Bodenabtrag hervorgerufene Ernteauffälle berechnet.

Mittels eines von Richter (1980) angelegten Versuchs auf 6 Standorten im Trierer Raum hat SCHRÖDER (1983) Bodenerodierbarkeitsfaktoren (K-Faktor) gemessen.

In den Sommerhalbjahren 1982-1990 wurde im nordostdeutschen Tiefland ein Bodenabtrag zwischen 12 und 170 t/ha gemessen (RICHTER, 1998). Auch in Südwestdeutschland wurden beträchtliche Abträge festgestellt (Tab. 2.).

Tabelle 2: Bodenerosion im Kraichgau, Südwestdeutschland (RICHTER, 1998, S.196)

Erosion [m ³ /ha*a]	Bubnoff*	Maßstab oder Methode	Autor
150-175**	15000-17500	Messungen auf einzelnen Feldteilen, Durchschnitt	Eichler 1974
15-265	1500-26500	(3Jahre) für ganze Hänge	Quist 1984
15-60	1500-6000	Kleine Testflächen	Dikau 1986
<11-65	<1100-6500	Ablagerung in kleinen Becken (<2 km ²)	Clement/Stahr 1994
ca.8	800	Geschätzt aus der Bodenentwicklung	Bleich 1978
ca.1	100	Kleinsteinzugsgebiete (0,6 km ²)***	Baade et al. 1993
ca.0,6	60	Kleine Einzugsgebiete (7,6 km ²)****	Schulte 1995
0,3-0,8	30-80	Mittlere Einzugsgebiete (542 km ²)*****	Gündra et al. 1995
15-30	1500-3000	Potentielle Bodenerosion*****	

*Bubnoff entspricht einem Abtrag von 1 m in 1Mio. Jahre. 1m³/ha*a bedeutet 0,1 mm/a=100 Bubnoff; **Die Werte beziehen sich auf Einzelereignisse; ***Die Menge ist der Austrag aus den betreffenden Einzugsgebieten; ****Der angegebene Wert ist der Austrag aus dem Einzugsgebiet 1988 (high value) und 1990 (low value). Etwa 50 % dieses Materials wird im Gerinnebett mobilisiert, das durch kleinere Einzugsgebiete in den Nebenflüssen mit Material „geladen“ wird. Eine vorsichtige Abschätzung aus den Ablagerungen in der Talaue, die seit dem Neolithikum sedimentiert wurden, ergibt eine durchschnittliche Erosion von 1-2 m³/ha.a (100-200 Bubnoff); *****Die potentielle Bodenerosion wurde für Baden-Württemberg nach der ABAG berechnet, d.h. nach der mitteleuropäischen Version der USLE von Wischmeier.

Bodenerosionsforschung in der Türkei

Die Türkei ist wegen ihrer topographischen Lage, ihres stark gegliederten Reliefs, ihrer erosionsanfälligen Ausgangsgesteine und aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Bodennutzung stark durch Bodenerosion bedroht (BALCI, 1971; ZECH & CEPEL, 1977;

CEPEL, 1997; DINC et al., 2001). Seit dem Neolithikum führten die Eingriffe des Menschen zum Bodenabtrag. Durch Entwaldung, Überweidung und Beackerung hat der Boden seinen natürlichen Schutz verloren und war der Bodenerosion ausgesetzt (HÜTTEROTH, 1982). In Anatolien sind heute Erosionsrinnen und Badlands, Hangbereiche ohne Bodendecke und Hangfußakkumulationen als landschaftsverbreitete Elemente bekannt. Durch die starke Landschaftsdegradation treten dürrgefährdete Standorte, Kulturland- und Weideflächenaufgabe und Naturkatastrophen auf (HÜTTEROTH, 1982; HÜTTEROTH & HÖHFELD, 2002; BÖHM & GEROLD, 1995). Heute sind mehr als Hälfte der türkischen Böden durch Bodenerosion gefährdet (ATALAY, 1997; DINC et al., 2001). Jährlich werden in der Türkei 380 bis 500 Mill. Tonnen Boden durch Wasser ins Meer abgetragen (AKALAN, 1968; GÜNAY, 1997; ATALAY, 1997; CEPEL, 1997; ISIK, 1999; DINC et al. 2001). Jährlich werden 6,8 Mill. Tonnen Boden in Dicle (Tigris)-Diyarbakir, 108,2 Mill. Tonnen Boden in Euphrat-Dutluca, 54,9 Mill. Tonnen Boden in Yesilirmak-Carsamba, 33,5 Mill. Tonnen Boden in Karasu, Keban abgetragen (GÜNAY, 1997).

Tab. 3: Die Verteilung der Bodenerosionsgefahr durch Wasser und Wind in der Türkei (CANPOLAT, 1981)

Erosionsgefahr durch Wasser	Eignungsklasse für die Ackernutzung		
Erosionsstärke	II, III, IV (ha)	V, VI, VII (ha)	Summe (ha)
Mittel	13.780.260	1.812.450	15.593.750
Stark	2.077.265	26.527.668	28.334.932
sehr stark	1.930	13.219.273	13.321.203
Summe	15.859.455	41.269.431	57.148.866
Erosionsgefahr durch Wind	Eignungsklasse für die Ackernutzung		
Erosionsstärke	II, III, IV (ha)	V, VI, VII (ha)	Summe (ha)
Schwach	159.259	8.405	165.664
Mittel	168.660	62.581	231.041
Stark	2.439	61.940	64.385
sehr stark	-	4.823	4.823
Summe	330.258	135.755	463.913

Die Tabelle 3 zeigt, wie viel Hektar der Böden in der Türkei insgesamt durch Wasser - und Winderosion gefährdet sind.

Tab. 4: Eignungsklasse für die Ackernutzung in der Türkei

Eignungsklasse	Fläche in ha	Fläche in %	Bearbeitungsfähigkeit
Klasse I	4973162	6,5	Ackerbau möglich
Klasse II	6705943	8,8	Ackerbau möglich
Klasse III	7532049	9,9	Ackerbau möglich
Klasse IV	7163439	9,4	Ackerbau möglich
Total (I+II+III+IV)	26374593	34,6	Ackerbau möglich
Klasse V	165076	0,2	nur als Wiesen oder Wald geeignet
Klasse VI	10189857	13,4	nur als Wiesen oder Wald geeignet
Klasse VII	36232151	47,6	nur als Wiesen oder Wald geeignet
Total (V+VI+VII)	49750738	65,4	nur als Wiesen oder Wald geeignet
Sonstige Flächen	3163654	4,2	Keine Nutzung möglich
Gesamtfläche	76125331	100,0	

Etwa 34,6 % der türkischen Böden sind für den Ackerbau geeignet, während mehr als die Hälfte der türkischen Böden (65,4 %) für Ackerbau ungeeignet sind (Tab. 4). Dies zeigt, dass die Böden in der Türkei doch nicht so gut für den Ackerbau geeignet sind, wie oftmals behauptet wird (DINC et al., 2001). In der Türkei ist weder ein regionaler noch ein genereller Bodennutzungsplan vorhanden. Die Böden werden nicht angemessen bearbeitet und so wird das Bodenerosionsrisiko durch falsche Bodennutzung erhöht (GÜNAY, 1997).

Erosionsschutzmaßnahmen

Anfang der 80 er Jahre wurde der Bodenschutz in Deutschland verstärkt thematisiert. Im Jahre 1985 beschloss die Bundesregierung die Bodenschutzkonzeption (BFLR, 1985).

In vielen Regionen Deutschlands werden heute Erosionsschutzmaßnahmen wie z.B. schonende Bodenbearbeitung oder Erhaltung der schützenden Bodenbedeckung durchgeführt (BMVEL, 2001). Um angemessene Bodenpflege- und Bodenschutz-Maßnahmen sind in Deutschland die geologischen Landesämter, die Landwirtschafts- und Forstverwaltungen, die Ministerien und die Umlegungsbehörden bemüht (MÜLLER, 1969). 1999 traten in Deutschland das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und die Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) in Kraft (KÖNIG, 2001). Laut § 17 BBodSchG sind die landwirtschaftlichen Beratungsstellen beauftragt, den Landwirten die entsprechenden Grundsätze der guten fachlichen Praxis zu vermitteln und ihnen die Gefahr einer unangepassten Bodennutzung zu verdeutlichen (BMVEL, 2001).

In einigen Bundesländern bestehen Förderprogramme zum Erosionsschutz, so z.B. in Sachsen, wo die pfluglose Bearbeitung gefördert wird (SCHMITT, 1989)

Zum Erosionsschutz in der Türkei empfohlen AKALAN (1968) und weitere Autoren (DINC et al., 1980; DOGAN, 1987; DINC et al., 2001) folgende Maßnahmen:

1. Durchführung von Bodenuntersuchungen
2. Landklassifikation nach ihrer Nutzbarkeit
 - a) Bodenschutzmaßnahmen
 - b) Verbesserung der steinigten und felsigen Gelände
3. Maßnahmen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit
 - a) Bewässerung
 - b) Düngung
 - c) geeignete Bewirtschaftungsmethoden

Die ersten Maßnahmen gegen die Bodenerosion wurden in der Türkei erst in den sechziger Jahren ergriffen. Die Kartierung der Bodenerosion im Maßstab 1 : 25.000 wurde durch TOPRAKSU zwischen Jahren 1966 und 1970 durchgeführt. Später wurden die Böden nach ihrer Nutzbarkeit und Erosionsgefährdungsstärke klassifiziert und Verbesserungsvorschläge erarbeitet (GÜNAY, 1997; DINC et al., 2001). Diese kamen jedoch bis heute noch nicht zur Anwendung (GÜNAY, 1997).

Nach KURON (1953) sind generell folgende Maßnahmen erforderlich, um Erosionsschäden entgegenzuwirken

- a) Die Einsickerung der Niederschlagswässer sollte gefördert werden, so dass der oberirdische Abfluss abnimmt.
- b) Das Saatbett sollte auf hängigen Flächen nicht zu fein sein, sondern gröbere Bodenklumpen in erträglicher Anzahl und Größe auf der Bodenoberfläche belassen bleiben. Somit wird die Oberfläche aufgeraut, was eine Verzögerung des Abflusses und eine Verminderung des Bodenabtrages bewirkt.
- c) Die Bodennutzung ist so weit wie möglich den Geländeverhältnissen anzupassen. Ackerbau soll auf Flächen mit starkem Gefälle vermieden werden. Hier wäre Grünlandnutzung besser geeignet. Des Weiteren sollten weite Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil mehrjähriger Futterpflanzen angebaut werden. Klee, Klee gras, Luzerne usw. bewirken einen vortrefflichen Bodenschutz und fördern die Neubildung einer verlorengegangenen Gare.
- d) Obstpflanzungen sollten in geeigneten Lagen mit Gras unterbaut werden.

- e) Eine der wichtigsten und wirksamsten Maßnahmen zum Schutz vor Erosion ist eine zweckmäßige Einteilung der Felder. Eine erhebliche Minderung des oberirdischen Wasserabflusses und des Bodenabtrags wird durch die Bearbeitung und Bestellung quer zum Gefälle gewährleistet.
- f) Bei der Unterteilung von Schlägen sind die neuen Grenzen den Höhenlinien anzupassen und zu grasbewachsenen Rainen auszubilden. Die Schläge sollten nicht breiter als 30 m sein.
- g) Das Tageswasser sollte an geeigneten Stellen des Geländes zum Stehen gebracht werden. So z.B. in waagerechten, grasbewachsenen Fanggräben und Mulden, die ins Ackerland eingeschaltet werden. Solche Anlagen können durch Dränagen ergänzt besonders in Weinbergen umgesetzt werden.
- h) Bei gefährdeten Flächen sollte dafür gesorgt werden, dass das Wasser, das nicht zum Versickern gebracht werden kann, abgefangen und gefahrlos abgeleitet wird. Es sollte ein ausreichendes und auch ständig unterhaltenes System von Fanggräben bestehen, aus dem der Wasserüberschuss in besonders befestigten und mit sog. Überfällen versehenen Gräben zu Tal geführt wird. Wo damit nicht gerechnet werden kann, dass waagerechte Fanggräben an den Hängen alles Tagewasser fassen und zur Versickerung bringen, sind sie mit geringem Gefälle (0,2-0,3 %) an die Vorfluter anzuschließen. Schlammfänge müssen zur Festhaltung mitgeführter Bodenmaßen eingeschaltet sein.
- i) An quer zum Hang verlaufenden Wegen sollte ein bergseitiger Graben das überschüssige Wasser auffangen und abführen.
- j) Gehölze an Hängen, die der Aufnahme oder gefahrlosen Ableitung von überschüssigen Tagewässern dienen können, sind möglichst zu schonen. Das gleiche gilt für solche Bestände an den oberen Hangteilen und auf Rücken und Kuppen.
- k) Grundsätzlich muss bei der Durchführung von Bodenschutzmaßnahmen stets das gesamte Einzugsgebiet erfasst werden. Besitz und Gemeindegrenzen dürfen hier kein Hindernis sein.

Vom Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung in Müncheberg (ZALF) wurde folgendes, mehrstufiges Konzept zur Erosionsminderung durch Wind entwickelt:

- a) Indikation des Zustandes und der Belastbarkeit von Böden.
- b) Bewertung der Windoffenheit der Landschaft, Wirksamkeit vorhandener Windschutzhecken

- c) Indikation der langfristigen Wirkung der Landnutzung auf die Erosionsgefährdung.
- d) Indikation der mittelfristigen Wirkung der agrarischen Landnutzung (Indikator Bodenbedeckung).
- e) Bewertung der mittelfristigen tatsächlichen Wassererosionsgefährdung.
- f) Kartierung und Bewertung von Flurgehölzen hinsichtlich ihrer Bremswirkung.
- g) Ableitung der Maßnahmen der guten fachlichen Praxis (Betrieb) (BMVEL, 2001).

Vom BMVEL (2001) wurden folgende allgemeine Erosionsschutzmaßnahmen beschrieben:

Allgemeine acker- und pflanzenbauliche Erosionsschutzmaßnahmen:

1. Minimierung der Zeitspannen ohne Bodenbedeckung, u.a. durch Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfrüchte, Untersaaten und Strohmulch.
2. Vermeidung hangabwärts gerichteter Fahrspuren.
3. Vermeidung bzw. Beseitigung infiltrationshemmender Bodenverdichtungen.
4. Aufbau und Erhalt verschlammungsmindernder stabiler Bodenaggregate durch Förderung der biologischen Aktivität sowie durch Kalkung u.ä..

Erosionsmindernde Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren:

1. Mulchsaat möglichst ohne Saatbettbereitung im Sinne des Belassens einer bodenschützenden Mulchauflage sowie des Erhalts stabiler Bodenaggregate.
2. Konservierende Bodenbearbeitung mit Mulchsaat möglichst im gesamten Fruchtfolgeverlauf anstreben, mindestens jedoch zu einzelnen, von Erosion besonders betroffenen Fruchtarten im Sinne eines flächenhaft wirkenden Schutzes

Erosionsmindernde Flurgestaltung:

1. Anlage paralleler Streifen quer zum Gefälle und Hauptwindrichtung mit Wechsel der Fruchtart oder Einsaat abflussbremsender Grasstreifen.
2. Schlagunterteilung durch Anlage von Erosionsschutzstreifen (z.B. Gehölze, Feldraine), Wege mit Gräben bzw. Anlage von Windschutzstreifen quer zum Gefälle bzw. zur Hauptwindrichtung.

3. Untersuchungsgebiete

3.1 Untersuchungsgebiete in Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien

Nachfolgend werden die naturräumlichen Grundlagen der Hauptuntersuchungsgebiete Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien dargestellt.

Die Untersuchungsgebiete von Rheinland-Pfalz liegen in drei verschiedenen naturräumlichen Einheiten und unterscheiden sich hinsichtlich ihres Ausgangsgesteins somit auch ihrer Böden und hinsichtlich der Vegetation und der klimatischen Gegebenheiten.

3.1.1. Lage und naturräumliche Gliederung

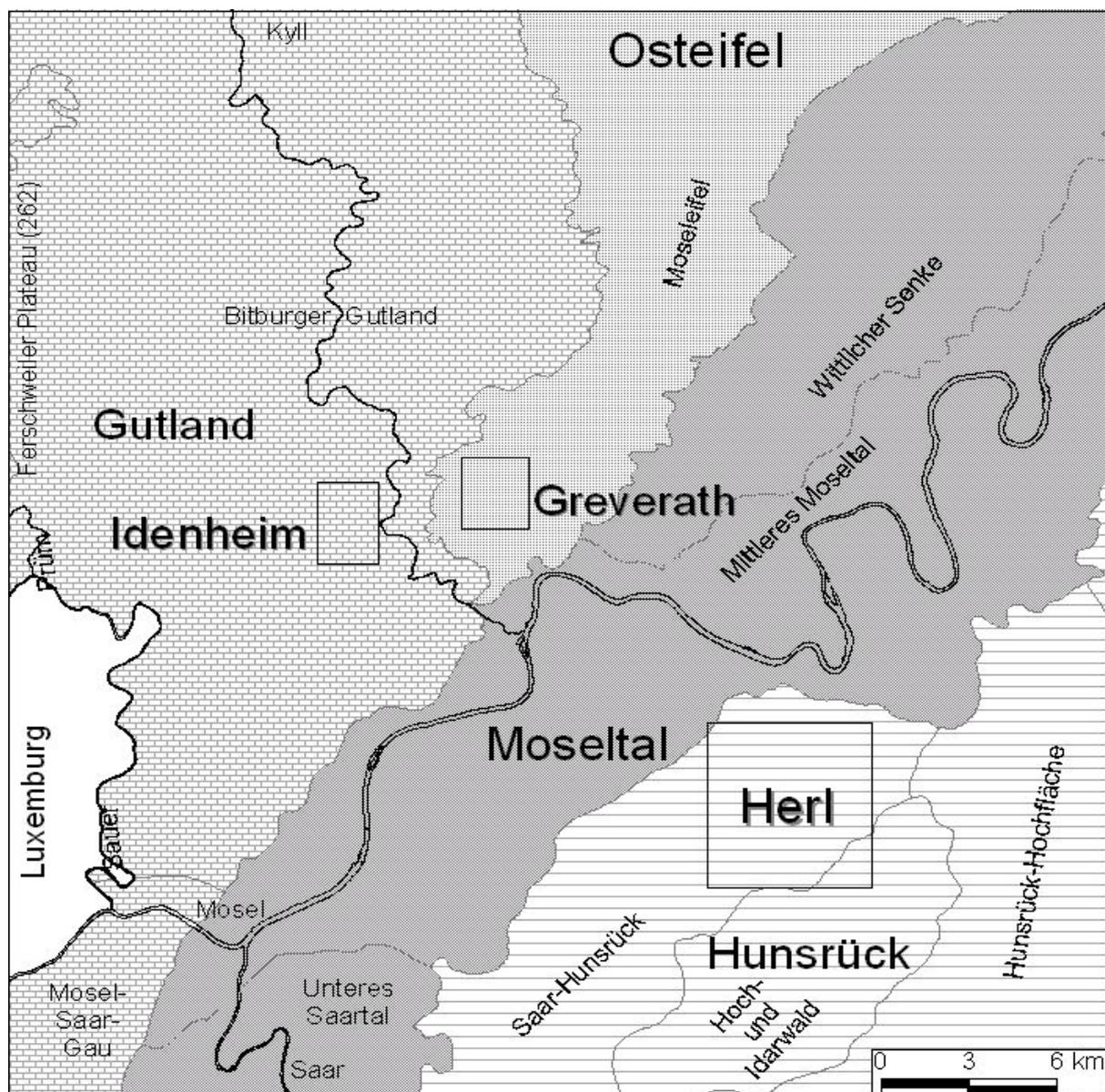


Abb. 1: Naturräumliche Einheiten und Lage der Untersuchungsgebiete in Rheinland-Pfalz (eigener Entwurf unter Verwendung von Daten aus der Landschaftsrahmenplanung Region Trier. Copyright © Land Rheinland-Pfalz, SGD Nord (Obere Landespflegebehörde))

Rheinland-Pfalz

Die Untersuchungsgebiete in Rheinland-Pfalz gliedern sich in die drei naturräumlichen Einheiten Moseleifel, Hunsrück und Bitburger Gutland (Abb. 1).

Das Untersuchungsgebiet **Greverath** liegt ca. 50 km nordöstlich von Trier, auf dem Kartenblatt TK25 6006 Landscheid. Naturräumlich ist es der Arenrather Hochfläche in der Moseleifel zuzuordnen.

Das Untersuchungsgebiet **Idenheim** befindet sich etwa 30 km nördlich von Trier, auf dem Kartenblatt TK25 6105 Welschbillig. Naturräumlich zählt das Gebiet zum Bitburger Gutland, nur der westlichste Rand hat Anteil an der Einheit der Gilzemer Hochfläche.

Der **Hunsrück** wird naturräumlich in den Saar-Hunsrück, den Hoch- und Idarwald, die Hunsrück-Hochfläche und den sich nordöstlich an die Hunsrück-Hochfläche anschließenden Moselhunsrück unterteilt. Die Untersuchungsflächen Herl, Thomm, Fell und Fellerhof liegen überwiegend im Saar-Hunsrück und teilweise im Hoch- und Idarwald (Abb. 1).

Der **Saar-Hunsrück** ist der südwestliche Außensaum des Hochlandes und fällt in einer Flächentreppe mit Hochflächen um 500 und 400 m NN zum Talvorland ab. Zahlreiche Täler wie das des Feller Bachs haben die 500-m-Rumpffläche in Rumpfriedel zerschnitten. Bei einem Höhenunterschied von 350 bis 380 m zwischen der Mosel und der oberen Fläche ist die Reliefenergie beträchtlich (MEYNEN et al. 1962).

Mittelanatolien

Das Untersuchungsgebiet in **Mittelanatolien** wird durch Randgebirge abgeschlossen und von feuchten Meereswinden weitgehend abgesperrt. Dieses Hochland wird von zwei Landschaftstypen gekennzeichnet: Tafelartige, neogene Becken (Ovas), die durch flache Schwellen oder Bruchstufen voneinander getrennt sind, und hügelig-bergige Randbereiche, die zu den nördlich und südlich anschließenden Faltengebirgen überleiten. Am Südrand überragen einige gewaltige Vulkane wie Hasan Berg (3269 m), Melendiz Berg (2963 m) und Erciyes Berg (3917 m) dieses Hochland und zeugen mit ihren ausgedehnten Lavafeldern und Tuffmassen von einem intensiven Vulkanismus, der bis in die historische Zeit angehalten hat. Die Tuffe sind bei Nevşehir- Ürgüp in bizarre Kegel, Pyramiden, Säulen und Steilhänge zerschnitten (Tufflandschaft um Göreme)

Die Untersuchungsstandorte in Mittelanatolien sind auf der Karte in Abb. 2 eingetragen. Der Standort **Nallıhan** befindet sich in der geologischen Einheit Eozän, der Standort **Beypazarı** in der geologischen Einheit Miozän, der Standort **Çubuk** in der geologischen Einheit Quartär und **Çankırı** liegt in der geologischen Einheit des Oligomiozän.

Das Untersuchungsgebiet **Südostanatolien** umfasst eine tiefliegende Hügel- und Plateaulandschaft. Diese Region ist im Norden durch den östlichen Taurusbogen abgeschirmt und bildet einen iraniden Ast des Taurus, der im Südosten ins Zagrosgebirge des Iran übergeht. Nach Süden öffnen sich die westliche und östliche Subregionen dieses semiariden bis ariden Landschaftsraumes **Südostanatiens** nahtlos zur irakisch-syrischen Steppen- und Wüstenlandschaft.

In Abbildung 2 sind die Standorte Nallıhan, Beypazarı, Çubuk und Çankırı ausgewiesen.

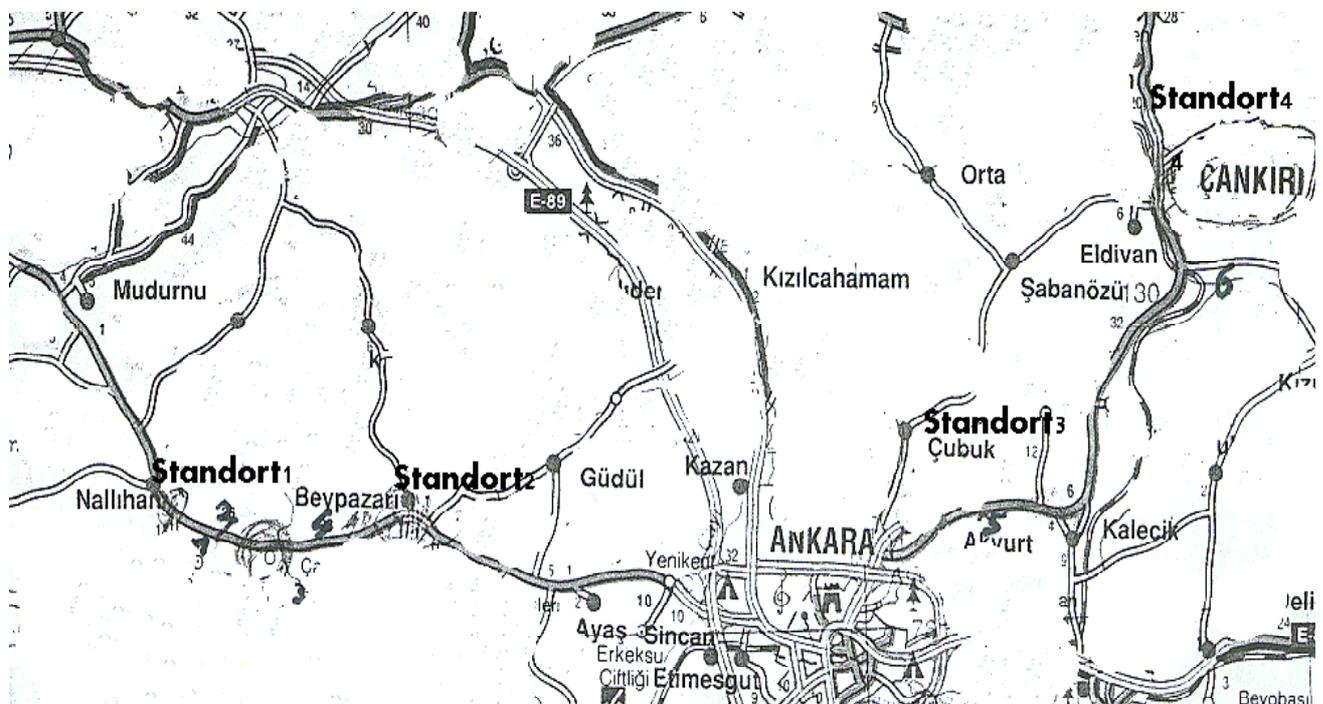


Abb. 2: Untersuchungsstandorte in Mittelanatolien (aus der Touristischen Karte der Türkei, 1998, verändert)

3.1.2. Geologie und Geomorphologie

Rheinland-Pfalz

Ein Untersuchungsgebiet in Rheinland-Pfalz liegt z.T. im Hunsrück, der den südlichsten Teil des Rheinischen-Schiefergebirges markiert.

Der Saar-Hunsrück ist aus unterdevonischen Tonschiefern der Zerfer und Kauber Schichten (Ulmen-Unterstufe) aufgebaut, die gelegentlich von Quarzitrippen der Dhrontal-Schichten durchzogen werden. Bei den Hunsrücksschiefern der Ulmen-Unterstufe handelt es sich um

reine bis schwach sandige Tonschiefer, die z. T. Dachschiefercharakter besitzen. Grauwackenschiefer können eingeschaltet sein. Während der variszischen Orogenese wurden diese Gesteinsschichten in NE-SW streichende Sättel und Mulden gefaltet und verschuppt. In der nachfolgenden Zeit unterlagen die Sättel der Abtragung und im Mesozoikum bildete sich eine hochgelegene, flachwellige Rumpflandschaft, die nur noch von den verwitterungsresistenten Quarzitrücken überragt wurde (MEYNEN et al. 1962, WAGNER 1983,1984; WERLE 1979).

Das von SW nach NE streichende Moseltal bildet die geologische Grenze zwischen der Eifel im NW und dem Hunsrück im SE. Die Talfüllungen der Trierer Talweite werden maßgeblich durch die geologischen Verhältnisse der Einzugsgebiete der Mosel bestimmt.

Oberhalb der Einmündung der Saar verläuft die Mosel durch das Schichtstufenland der Trierer-Luxemburger Bucht. Von der Saarmündung bis Schweich fließt die Mosel am Nordrand der SW-NE-streichenden unterdevonischen Hunsrücksschiefer, die durchschnittlich 100 – 150 m hohe Steilhänge bilden. Auf der Nordseite stehen die braunroten Sandsteine und Konglomerate des Mittleren Buntsandsteins an, die aufgrund der größeren Standfestigkeit noch steilwandiger sind als die Schieferhänge und eine Höhe von bis zu 230 m erreichen. Der Mittlere Buntsandstein lagert z. T. auf den Kreuznacher Schichten des Oberrotliegenden, das nach SW unter das Mesozoikum abtaucht und die unmittelbare südwestliche Fortsetzung der Wittlicher Senke darstellt. Im Raum Ruwer-Kenn reicht das Oberrotliegende auch auf die südliche Moselseite hinüber. Bei Schweich verläßt die Mosel die Randzone der Trierer-Bitburger-Mulde und wendet sich nach OSE in das variszisch gefaltete Devon hinein, das sie bis zur Mündung in den Rhein durchschneidet (MEYNEN et al. 1962, MÜLLER 1976).

Zwei der Untersuchungsräume (Idenheim und Greverath) liegen im Bitburger Gutland.

In seinem tektonischen Aufbau und in seiner großräumigen Oberflächenformung ist das **Bitburger Gutland** ein Teil des Rheinischen Schiefergebirges. Es liegt in der Trierer-Bitburger Mulde, im SW-Bereich der Eifeler N-S-Zone und ist aus Schichten der Trias (Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein), die sich im Germanischen Triasbecken bildeten, und des unteren Juras (Lias) aufgebaut. Die mesozoischen Schichten bilden das Deckgebirge über dem devonischen Unterbau (MEYNEN et al. 1962, NEGENDANK 1983, WAGNER 1983). Das Bitburger Gutland ist durch zahlreiche Verwerfungen in einzelne Schollen zerbrochen.

Der **Untersuchungsraum Idenheim** im Bitburger Gutland wird aus dem Unteren (mu) und Mittleren (mm) Muschelkalk aufgebaut. Der Untere Muschelkalk (mu) besteht aus einer Wechselfolge von Tonen und Mergeln mit hellgrauen-grüngrauen, feinkörnigen, dolomitischen, glimmerreichen, manganfleckigen Sandsteinen, in die zum Teil an der Basis eigelbe, sandige Dolomitbänke eingeschaltet sind. Der obere Teil des so genannten Muschelsandsteins besteht aus graugrünen, feinkörnig-schluffigen Sandsteinen mit Mergelzwischenlagen. Der Untere Muschelkalk (mu) ist eine flachmarine Ablagerung mit zum Teil typischen Formen einer Wattsedimentation. Der Mittlere Muschelkalk (mm) wird in den Gipsmergel (mm1), einer Wechselfolge von rötlich, grau-grünlich, gelblich, blaugrau gefärbten Tonen und Mergeln und den Lingula-Dolomit (mm2), einem grau-gelben Dolomit zweigegliedert. Die Abfolge des mm repräsentiert eine Sedimentation in einer Lagune (NEGENDANK 1983; WAGNER 1984; MEYER 1988).

Das die Kyll begleitende Hochflächenrelief in Höhenlagen zwischen 330 und 380 m ü. NN im Untersuchungsraum Idenheim ist durch sanftwellige Formen gekennzeichnet. Während der Ostrand durch wenige kurze, tief eingekerbte Seitentäler der Kyll gegliedert ist, leiten die weitgespannten Quellmulden des westlichen Teils zum zentralen Teil des Bitburger Gutlandes über (WERLE 1979).

Im Untersuchungsraum Greverath steht nach NEGENDANK & WAGNER (1989) als geologisches Ausgangssubstrat der Mittlere Buntsandstein (sm3) an. Der sm3 ist überwiegend als horizontal feingeschichteter Sandstein ausgebildet, der bis auf wenige Konglomeratbereich geröllfrei ist. Die schichtgebundenen, roten, gelben und weiß gebänderten Sandsteine sind aus Grob-, Mittel- und Feinsandlagen aufgebaut, in die zentimeterdünne Siltstreifen und Feinkieslagen aus meist kantigen Milchquarzen eingeschaltet sind, selten treten Geröllschnüre auf (NEGENDANK, 1983). Die Ansammlung mächtiger äolischer Sedimente in den weiten, oftmals trockenfallenden Überflutungsebenen wurde durch episodisch stärkere Anlieferung von grobklastischem Detritus und höhere Strömungsintensitäten in den Fließkanälen unterbrochen. Hier bildeten sich Komplexe aufeinanderfolgender Rinnensedimente, die Felszonen. In weiten Senken im distalen Teil der Überflutungsebenen oder in Depressionen ausgedehnter Dünengebiete entstanden in stagnierenden Gewässern lakustrische Sedimente. Das Relief im Untersuchungsraum Greverath wird durch mäßig geneigte, niedrige Rücken und muldenförmige, bisweilen stark vernässte Bachtäler bestimmt, die eine kleingekammerte Landschaft in Höhenlagen zwischen 280 und 350 m ü. NN schaffen (WERLE, 1979).

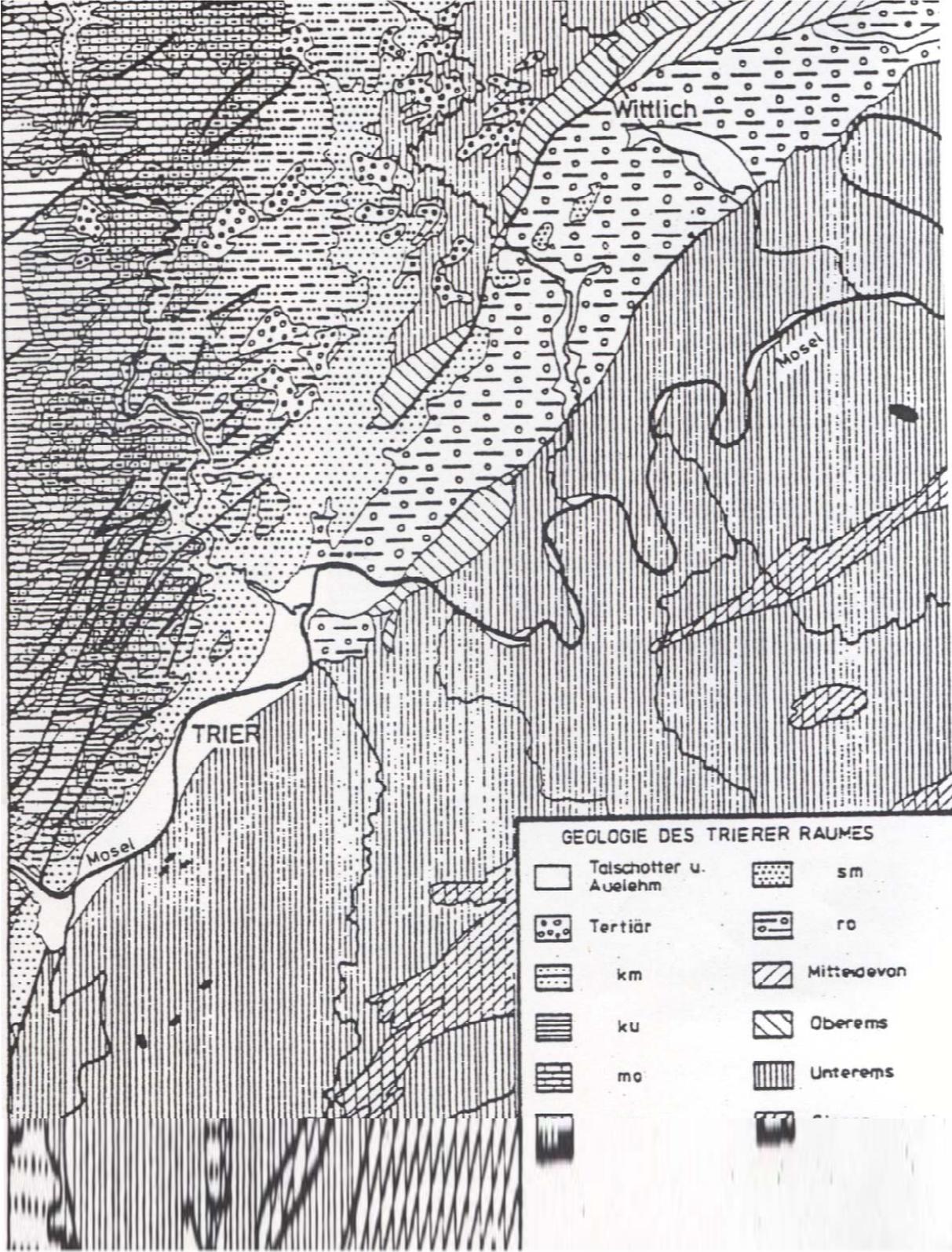


Abb. 3: Geologie des Trierer Raumes (MÜLLER, 1979)

Türkei

Das Untersuchungsgebiet **Türkei** liegt zwischen 36° und 42° nördlicher Breite und 26° und 45° östlicher Länge, so dass sie zum solaren Subtropengürtel gehört (ZECH und CEPEL 1977). Ihre gesamte Größe beträgt 814.578 km². Die Türkei gehört geographisch sowohl zu Asien als auch zu Europa und fungiert als Brücke zwischen beiden Kontinenten (ATALAY, 1997). Das asiatische Gebiet nennt sich Anatolien und beträgt 755.688 km² während der europäische Teil deutlich kleiner ist und „Thrakien“ heißt.

Die Türkei wird landschaftlich in acht Regionen gegliedert. Thrakien, die Region in Europa besteht aus dem Istrancagebirge, Hügelländern und Küstenebenen. Die anderen sieben Regionen bilden die Halbinsel Anatolien. Ein großer Teil Mittelanatoliens zeigt eine geomorphologisch und auch tektonisch recht einheitliche Entwicklung (IZBIRAK, 1962).

Anatolien ist ein gebirgiges Hochland, das in Bergketten und Becken gegliedert ist. Es wird in vier Regionen unterteilt: West-, Zentral-, Ost-, und Südostanatolien (HÖHFELD, 1995). Da die Gebirgszüge im Westen mit Ausnahme des Menderes-Massives senkrecht auf das Ägäische Meer stoßen, bildeten sich dort durch tektonische Gräben langgestreckte Tallandschaften. Alle Gebirgssysteme entstanden während der alpidischen Faltung. Infolge der nicht abgeschlossenen tektonischen Vorgänge ist der größte Teil des Landes stark erdbebengefährdet (HÖHFELD, 1995). Der zentrale Teil der Türkei, Mittelanatolien, wird von im Norden vom Pontischen Gebirge (nordanatolische Gebirgsschwelle und Zigana Gebirge), im Süden vom Taurus, im Westen durch die Westanatolische Gebirgsschwelle und im Osten durch das Ostanatolische Hochland (Abb. 4) begrenzt (LOUIS, 1943; ATALAY, 1997). Im Südosten reicht Anatolien bis an die Grenze des Syrisch-Mesopotamischen Tieflandes (ZECH und CEPEL, 1977).

Zentralanatolien besteht aus einer Reihe von Beckenlandschaften und Ebenen. Diese werden durch einzelne Hügelketten und Vulkanmassive voneinander getrennt (KÜRSCHNER, 1983; EROL, 1983). Die großen Flächen **Mittelanatoliens** bestehen aus leicht erodierbaren, carbonatreichen tertiären Mergeln (BRINKMANN, 1976). Dagegen besteht das nordanatolische Kettengebirge meist aus kreidezeitlichen Vulkaniten (Basalt, Dazit, Andesit), Sedimentgesteinen (Kalkmergel, Kalk) und paläozoischen, härteren Schichten. Eozäne Granite, Diorite und Granidiorite kommen noch hinzu (ATALAY, 1997). In Südanatolien herrschen die karbonatreichen Gesteine mesozoischen und tertiären Alters vor (ZECH und CEPEL, 1977). In Westanatolien sind wiederum tertiäre, mergelige Substrate neben Vulkaniten und Metamorphiten verbreitet. In Ostanatolien kommen meist Vulkanite vor.



Abb. 4: Geographisch-morphologische Gliederung der Türkei (MAYER & AKSOY, 1986)

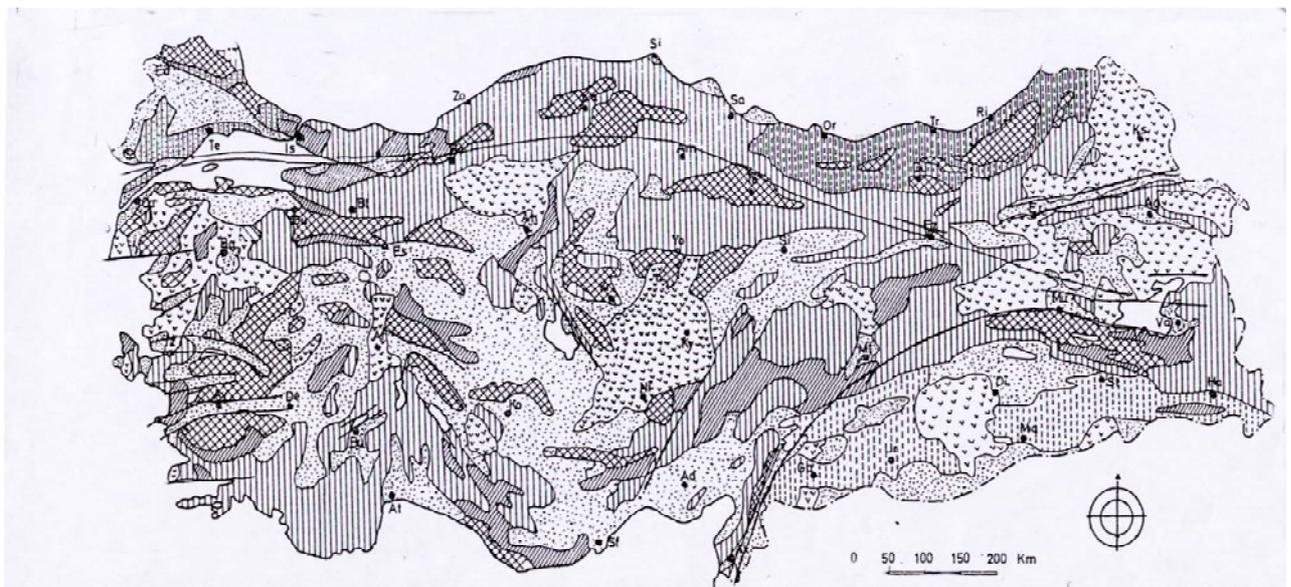


Abb. 5: Geologie der Türkei (ATALAY, 1997, S.11)

-  Metamorphe und plutonische Gesteine
-  Paleozoikum
-  Mesozoikum u. Eozän
-  Nordanatolische Eozän u. obere krater Vulkane Fazies
-  Trachien Becken Eozän
-  Mesozoische u. Eozäne orogene Fazies
-  Pleistozäne u. Neogene Vulkanische Decken
-  Wichtige Pleistozäne-Neogen-Oligozän Orte u. Becken

3.1.4. Klima und Hydrographie

Rheinland-Pfalz

Die Region Trier liegt im Bereich der gemäßigten Westwindzone und die klimatische Situation wird sowohl durch den Atlantischen Ozean wie auch durch die kontinentalen Landmassen Eurasiens beeinflusst. Der ozeanische Einfluss bewirkt, dass der Median des kältesten Monats (Januar) selten unter 0°C und die Mittelwerte des wärmsten Monats (Juli) selten über 18°C liegen. Je nach topographischer Lage und lokalbedingten Besonderheiten unterscheidet sich das Klima in der Region Trier jedoch beträchtlich. So macht sich der mildernde Einfluss der Mosel in den Tallagen im Vergleich zu den kühleren Höhenlagen von Eifel und Hunsrück in Bezug auf die Jahresmitteltemperatur (Trier-Stadt, 144 m, $9,7^{\circ}\text{C}$; Halsdorf, 300 m, $8,4^{\circ}\text{C}$ und Deuselbach, 479 m, $7,9^{\circ}\text{C}$) und die Frosttage (Trier-Stadt 95; Halsdorf 112 und Deuselbach ???) bemerkbar (CLOSS, 1979).

Aufgrund der Luvlage von Westeifel und westlichem Hunsrück sind die jährlichen Niederschlagssummen mit über 800 mm recht hoch. Die Monate des häufigsten Niederschlags sind Juli/August und Dezember/Januar (CLOSS 1979).

Klimatisch ist für das Bitburger Gutland seine Übergangstellung zwischen der warmen Moseltalweitung im Süden und der kalten Schneeeifel im Norden hervorzuheben. Die Luvlage zum Hunsrück und zur Westeifel bedingen mit 750 bis 850 mm hohe Jahresniederschlagssummen. Eine Klimadifferenzierung von SW nach NO zeigt sich in geringeren Jahressummen der Moseleifel zwischen 700 und 800 mm durch ihre Lage im Lee und eine geringere Höhenlage. Die Jahresmitteltemperaturen liegen zwischen 7° und 8°C . Die Niederschlagsmaxima werden in den Sommermonaten Juli und August vielfach als konvektive Starkniederschlagsereignisse und in den Wintermonaten Dezember und Januar als advective Niederschläge der durchziehenden Frontalzyklonen erreicht (CLOOS 1978).

Alle größeren Flüsse des Bitburger Gutlandes folgen in ihrem Verlauf der allgemeinen Abdachung und queren die geologische Mulde unabhängig vom Streichen und Fallen der Gesteine.

Der Untersuchungsraum um Idenheim entwässert in die nahegelegene Kyll. In großer Zahl haben die von Norden kommenden Bäche und Flösschen die Troglächen der Moseleifel in enge und relativ schmalsohlige Täler mit stark geböschten Hängen und in eine Vielzahl oft schmaler Riedel zergliedert. Der Untersuchungsraum Greverath entwässert über den Gladbach in die Salm.

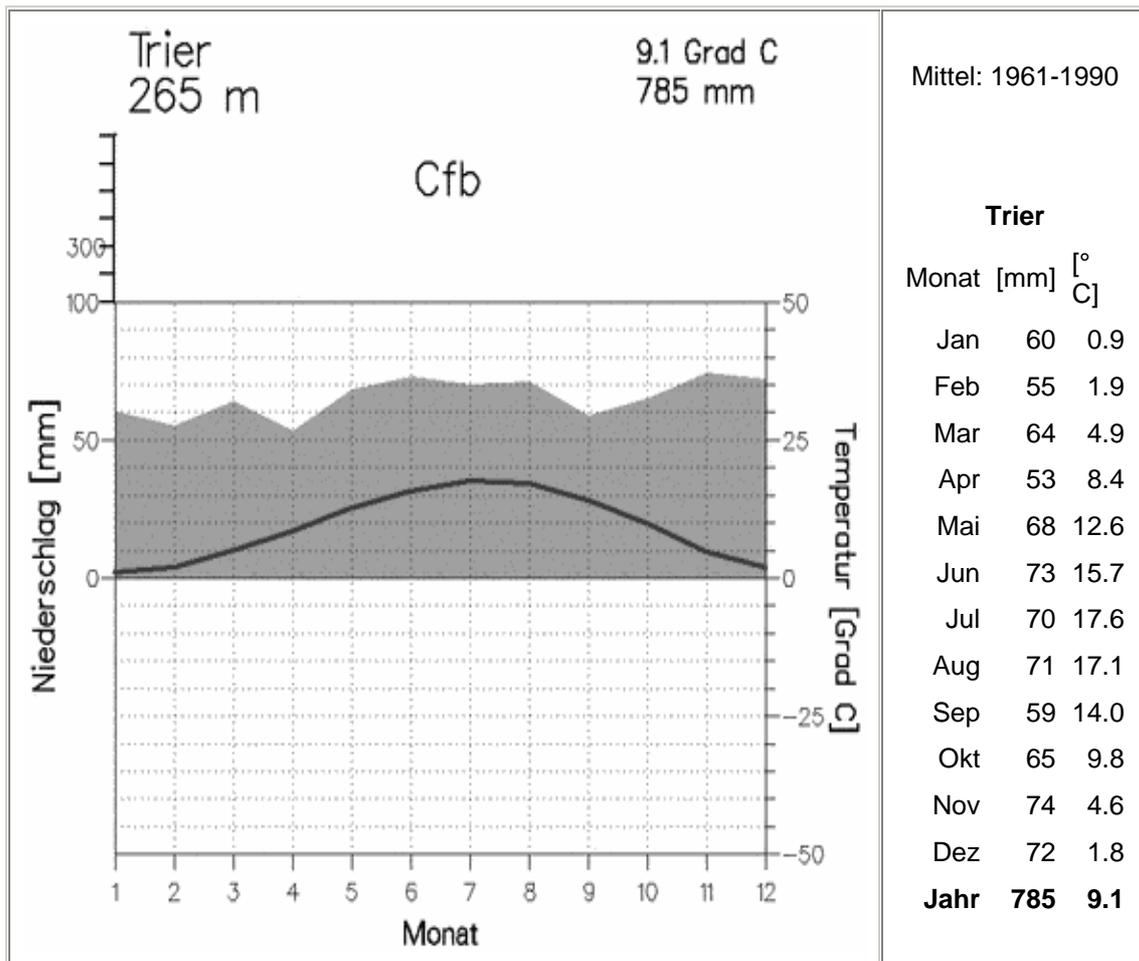


Abb.6: Klimadiagramme Trier- Petrisberg (MÜHR, 2002)

Türkei

Die **Türkei** ist eine Halbinsel, die durch das Schwarze Meer im Norden, das Mittelmeer im Süden und durch das Ägäische Meer im Westen begrenzt ist. Nach den gängigen Klimaklassifikationen würde man ein subtropisches Klima erwarten. Aber durch die Exposition, große Höhenlage des Landes und die Lage zu den Meeren ist das Klima kühler und feuchter (ATALAY, 1997). Die Türkei wird klimatisch durch mediterranes Klima gekennzeichnet, das durch die vorhandenen Oberflächenformen der Gebirge und Ebenen in unterschiedlicher Prägung und Abstufung auftritt (Abb.7).

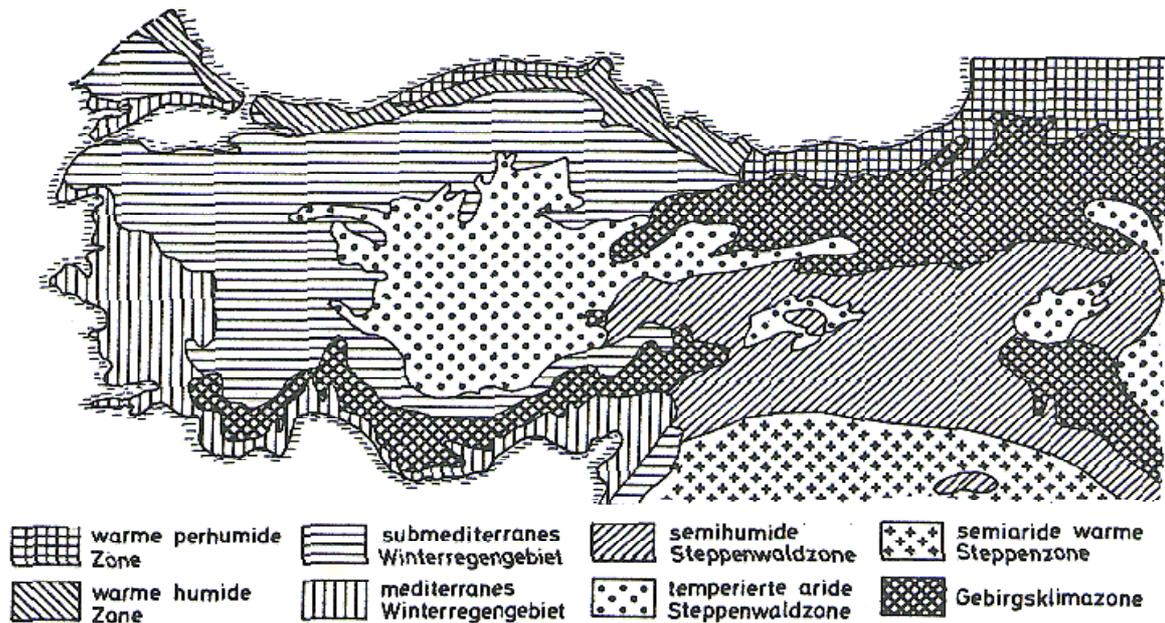


Abb. 7: Klimatypen der Türkei (MAYER & AKSOY, 1986, S. 18)

Im Inneren Anatoliens liegt ein ausgeprägtes Kontinentalklima mit trockenen, heißen Sommern und kalten Wintern mit sehr geringen Niederschlägen vor (HÖHFELD, 1995). Von den Küsten zum Landsinneren nimmt die Temperatur ab (ATALAY, 1997). Sie ist vor allem von der Höhenlage abhängig. Mittelanatolien ist im Sommer unangenehm trocken-heiß, im Winter kalt. Nahe der Nordküste sind die Landschaften freundlicher und empfangen häufige Regenfälle. Die Südküste Anatoliens ist sehr sommerheiß und hier zeigen sich Übergänge zum Klima der syrischen Wüste, zum arabischen Klima (KRÜGER, 1963; GÜLDALI, 1979).

Der Juli ist der heißeste Monat mit einer Monatsmitteltemperatur z.B. im Südosten Anatoliens 30-35°C; im Ägäischen Meer und der Mittelmeerküsten 25-30°C (ATALAY, 1997). Kennzeichnend sind die starken Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter (39,0° -17,5°C, Ankara-Ayaş Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Das türkische meteorologische Generaldirektorium 1929-1990). Die Anzahl der Frosttage nimmt mit der Entfernung von den Küsten, mit zunehmender Höhenlage und von West nach Ost zu (HÖHFELD 1995). Die Regionen um die Ägäis und das Mittelmeer sind durch heiße und trockene Sommer und milde Winter mit Niederschlägen gekennzeichnet. Dagegen unterscheiden sich die Gebiete am Schwarzen Meer mit etwa ganzjährigem Niederschlag von den semiariden bis humiden Mittelmeerregionen, die im Sommer trocken sind und ihre höchsten Niederschläge im Winter haben.

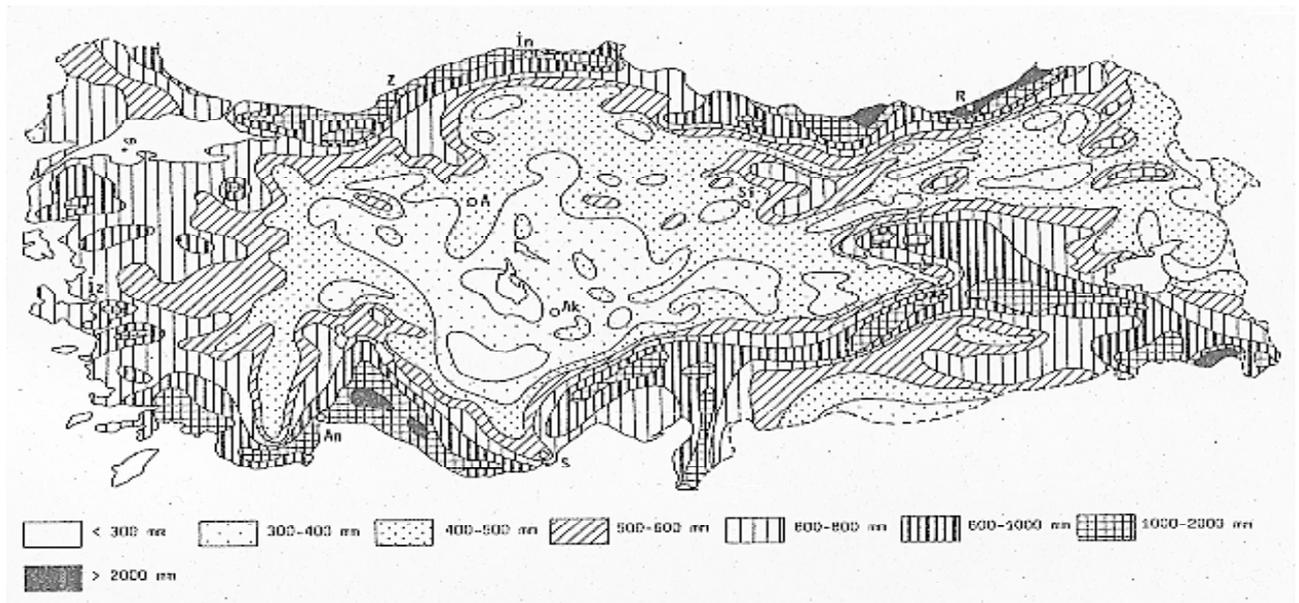


Abb. 8: Niederschlagsverteilung der Türkei (ALEX, 1984 aus: KÜRSCHNER et al., 1997)

Der mittlere jährliche Niederschlag in der gesamten Türkei beträgt ca. 600 mm. Es besteht aber ein Niederschlagsgefälle von den Küsten zum Landsinneren. Darüber hinaus nimmt der Niederschlag mit zunehmender Höhe zu. Die geringsten Niederschläge fallen in Zentral- und Südostanatolien. Hier beträgt der durchschnittliche Jahresniederschlag weniger als 300 mm. Die nordöstlichen und südwestlichen Küstengebiete sind mit mehr als 2000 mm Niederschlag sehr niederschlagsreich (ATALAY, 1997). An der Küste des Schwarzes Meeres ist es sehr feucht, weil die potentielle Verdunstung geringer ist als die Niederschlagsmenge. Gleiches gilt für das Taurusgebirge. Da die durchschnittliche Verdunstung in den restlichen Gebieten höher ist als der durchschnittliche Niederschlag, sind diese Gebiete trocken und leiden unter Wassermangel. So hat z.B. Südostanatolien sechs trockene Monate im Jahr, und Mittelanatolien drei bis vier (ATALAY, 1997). Die Niederschläge erreichen im Frühjahr ihr Maximum (KÜRSCHNER et al., 1995).

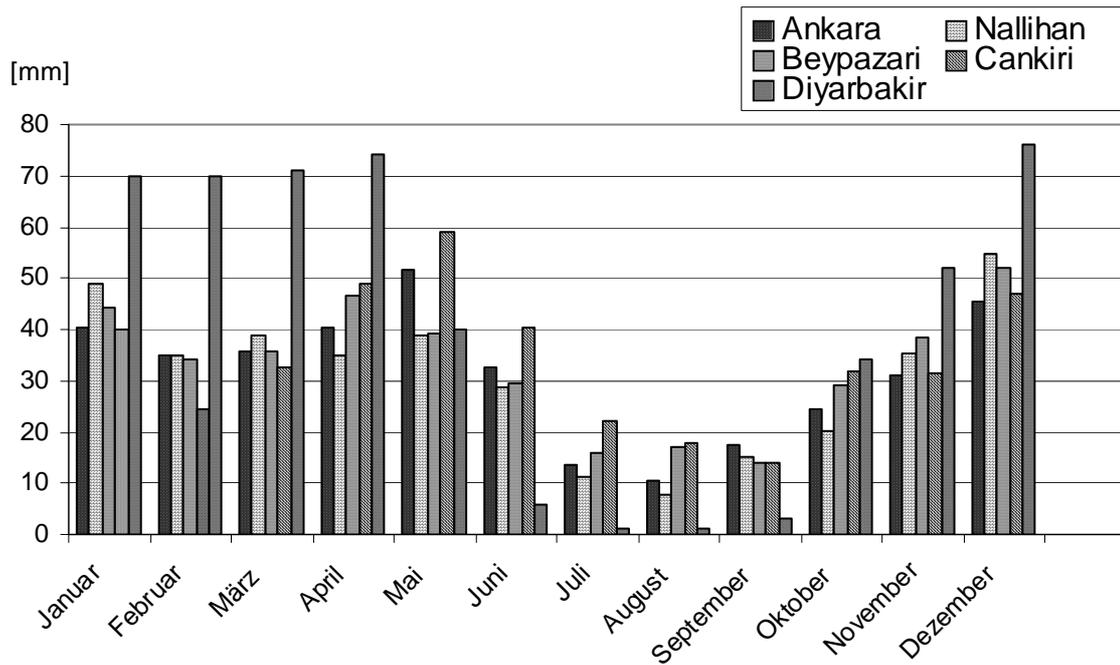


Abb. 9: Jahresniederschlagsverteilung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten

Mittelanatoliens und Südostanatoliens (Eigener Entwurf unter Verwendung der Daten von Devlet Meteo.Gen. Müd.: Türkisches Meteorologische Generaldirektorium 1929-1990)

Die Abbildung 9 zeigt, dass in den ausgewählten Untersuchungsgebieten Mittelanatoliens die intensivsten Niederschläge in den Monaten Dezember-Mai fallen. Im Dezember fallen die Niederschläge überwiegend als Schnee und im April und Mai als Starkregen.

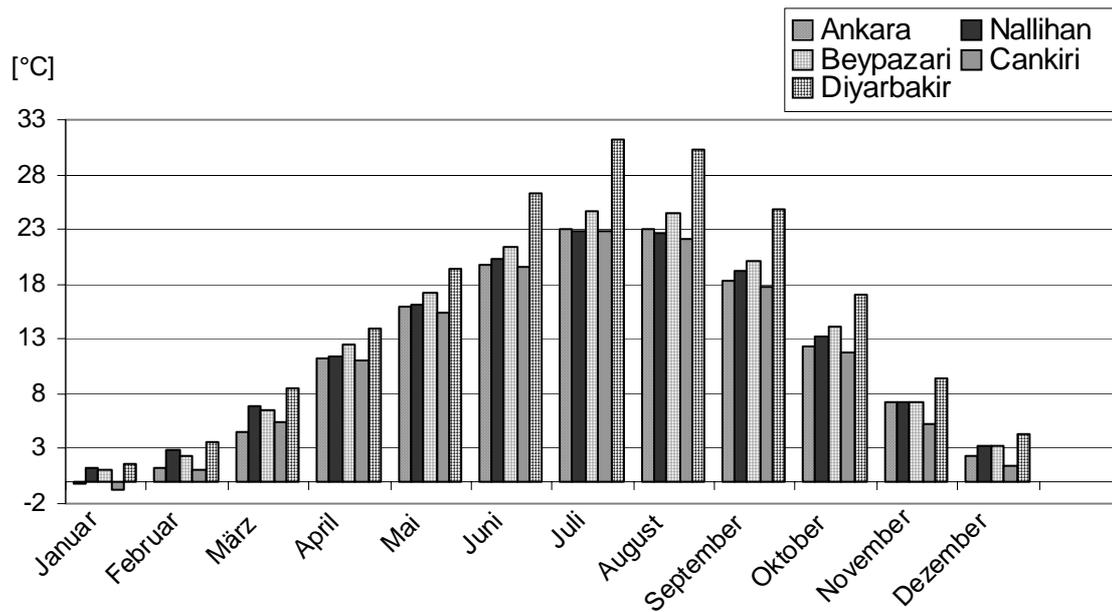


Abb.10: Jahrestemperaturverteilung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten

Mittelanatoliens und Südostanatoliens (Eigener Entwurf unter Verwendung der Daten von Devlet Meteo.Gen.Müd.: Türkisches Meteorologische Generaldirektorium 1929-1990)

Wie die Abbildung 10 zeigt, sind im Untersuchungsgebiet Mittelanatolien die Monate Juni-Juli und August die wärmsten Monate. Die kältesten Monate sind Dezember-März (GÜLDALI, 1979).

3.1.4. Vegetation und Landnutzung

Rheinland-Pfalz

Der Raum Trier hat aufgrund seines häufig kleinräumig wechselnden geologischen Untergrundes und des daraus geformten, vielgestaltigen Reliefs ursprünglich eine relativ abwechslungsreiche Walddecke getragen. Darunter dürften Buchenwälder in ihrer ganzen Ausprägungsfülle von flachgründigen Orchideen – Kalkbuchenwäldern über geophytenreiche Waldmeister- bis hin zu artenarmen Hainsimsen- Buchenwälder die größte Rolle gespielt haben. Daneben werden in den tiefer eingeschnittenen Tälern der größeren Flüsse Eichen in den Wäldern vorgekommen sein. Warm- trockene, steile Kalkhänge dürften wärmeliebende Eichenmischwälder getragen haben (RUTHSATZ & ZOLDAN, 1983).

Die **Tonschiefer des Saar-Hunsrücks** haben extrem arme Hainsimsen-Buchenwälder getragen (RUTHSATZ & ZOLDAN, 1983). Diese ursprüngliche Waldbedeckung ist infolge der mittelalterlichen Rodung stark zurückgegangen, so dass heute Forste aus Eichen-, Buchen- und Fichtenmischwald, die im 19. Jahrhundert angelegt wurden, dominieren. Niederwald überzieht die steilen Hänge. Von der landwirtschaftlich genutzten Fläche überwiegt der Anteil des Ackerlandes gegenüber dem Grünland (MEYNEN et al., 1962, WERLE, 1979).

Die Muschelkalkgebiete im Gutland dürften arten- und krautreiche Buchenwälder getragen haben. In den mit Lösslehm überdeckten Ebenen waren wohl vor allem frische bis feuchte Waldmeister-Buchenwälder verbreitet, während auf flachgründigen Kuppen Orchideen-Buchenwälder und an steinigten Oberhängen Kalkbuchenwälder verbreitet waren. Da die meisten Waldmeister-Buchenwälder gute Ackerstandorte darstellen, sind nur noch wenige Waldinseln verblieben. Es sind meist eichenreiche Buchenwälder. Die staunassen Böden des Keupers dürften nässeerträgliche Waldmeister-Buchenwälder oder sogar feuchte Eichen-Hainbuchenwälder getragen haben (RUTHSATZ & ZOLDAN, 1983).

Wegen seiner gegenüber dem Schiefergebirge günstigeren Naturraumausstattung zählt das **Bitburger Gutland** zu den Altsiedellandschaften, so dass die ursprüngliche Waldlandschaft vermutlich schon seit der frühen Bronzezeit dem menschlichen Einfluss unterliegt. Die ersten Siedler folgten zunächst den Waldlichtungen des Muschelkalkes, aber erst mit den Römern begann die wirkliche Erschließung der Region. Durch den Bau der Römerstraße von Trier über Bitburg nach Köln setzte ein intensiver Ausbau der alten Siedlungsinseln ein. Fränkische Bauern und Mönche aus den neu gegründeten Klöstern setzten die Rodungstätigkeit während des Mittelalters fort, die ihren Höhepunkt im 12./13. Jahrhundert erreichte. Die unter der preußischen Forstverwaltung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhundert vorangetriebene

Aufforstung devastierter Landschaften erreichte im Bitburger Gutland jedoch nicht die Größe der ausgedehnten Aufforstungen der Hocheifel (MEYNEN, 1967; RENN, 1995). Durch Weidewirtschaft, Holznutzung, Eichenlohegewinnung und Ackerbau wurde somit eine Kulturlandschaft geschaffen, in der nur wenige naturnahe Waldinseln erhalten geblieben sind (RUTHSATZ & ZOLDAN, 1983).

Der durch den Buntsandstein aufgebaute Rand der Trier- Bitburger Mulde wird aufgrund der Nährstoffarmut der sandig-lehmigen Substrate vorwiegend durch Wald genutzt und ist vergleichsweise spät besiedelt worden. Buche, Fichte und Kiefer dominieren die Mischwälder, deren Unterwuchs oft aus Heidelbeere und Erika gebildet wird. Große Anteile der landwirtschaftlichen Flächen werden von Grünland eingenommen, das durch intensive Düngung in Fettwiesen und Weiden umgewandelt worden ist (WERLE, 1974; RUTHSATZ & ZOLDAN, 1983).

Der im zentralen Gutland gelegene Untersuchungsraum Idenheim stellt auch heute noch ein Gebiet intensiver landwirtschaftlicher Nutzung mit sehr hohem Weizenanteil dar; dazu kommen Mais und Feldfutter. In Ortsnähe ist Grünland vorhanden, das ausgedehnte Streuobsthaine trägt. Die Waldinseln aus eichenreichen Buchen- bzw. Eichen-Hainbuchenwäldern, deren Zusammensetzung noch heute durch die frühere Mittelwaldnutzung geprägt ist, werden heute durch forstliche Eingriffe schrittweise in Buchenwälder umgewandelt (WERLE, 1978).

Türkei

Aufgrund der enormen Vielfaltigkeit wird die **Vegetation der Türkei** florenogenetisch (mediterrane, euro-sibirische, irano-turanische, euxinische Geoelemente), floristisch und physiognomisch gegliedert (KÜRSCHNER et al., 1995).

Regional gliedert sich die Vegetation der Türkei wie folgt. In der Region am Schwarzen Meer kommen vorwiegend pontische Buchen-, Tannen-, Kiefern-, und Fichtenwälder vor (siehe Abb.11). In der Küstenregion des Mittelmeers und Ägäischen Meeres dominieren degradierte Macchien und Kulturland, mediterrane Hartlaubwälder, Pinus brutia- Wälder, submediterrane Schwarzkiefer-, Wacholder- und Eichenwälder. In Mittelanatolischen Becklandschaften dominieren gehölzfreie Artemisia santonicum-Steppen (PAROLLY, 1995). In Zentralanatolien kommen vor allem xeromorphe offene Zwerggesträuch-Dornpolster-Mischformationen (primäre Artemisia-Steppen, Federgrassteppen und degradierte Artemisia-Steppen) vor. Primäre Artemisia-Steppen finden sich in Südost und Ostanatolien. Hier dominieren jedoch Mischformationen aus kältekahlen montanen offenen Laubwäldern und

xeromorphe offene Zwerggestrauch- Dornpolster-Mischformationen. In einigen Regionen wie z.B. Südwest- und Nordostanatolien kommen selten Pflanzenformationen der subalpinen und alpinen Stufe vor (KÜRSCHNER et. al, 1995)

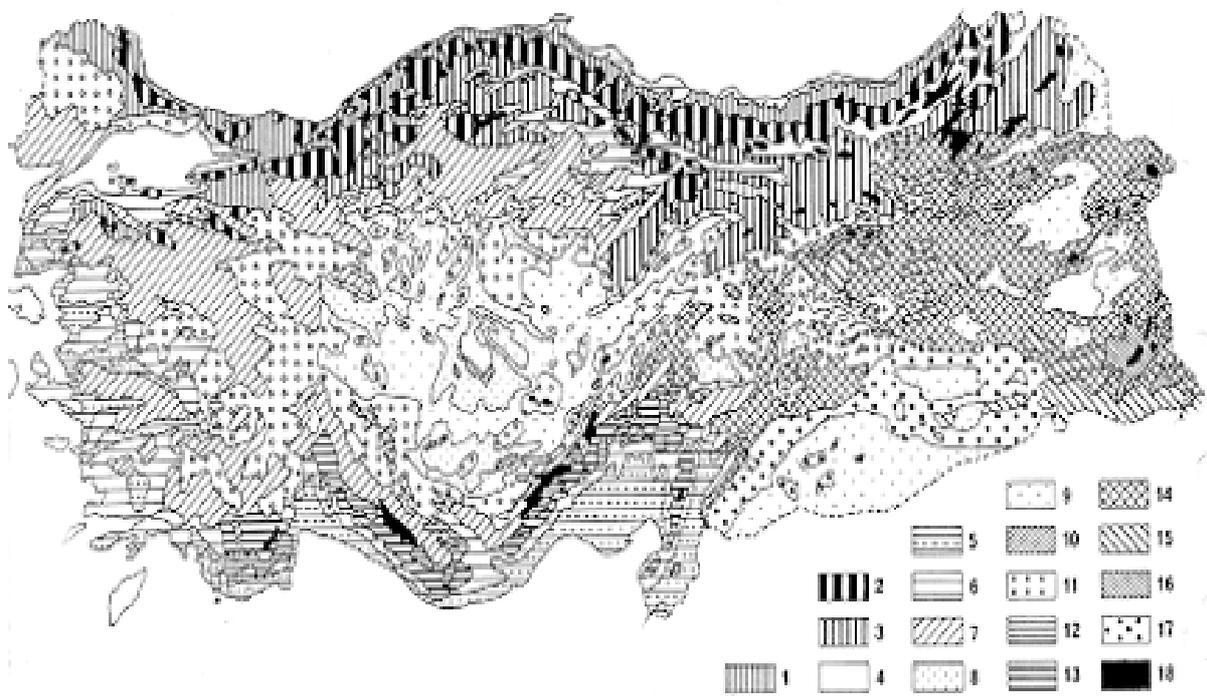


Abb. 11: Vegetation der Türkei (KÜRSCHNER, 1989, S. 18)

1. Pontische Buchenwälder; **2.** Pontische Buchen-, Tannen -, Fichtenwälder; **3.** Pontische Kiefern- und Fichtenwälder; **4.** Grasflur mit Zwergsträuchern, **5.** Immergrüne Laubgebüsche, **6.** Immergrüne Laub- und Nadelmischwälder, **7.** Submediterrane Schwarzkiefer-, Wacholder- und Eichenwälder, **8.** Primäre Artemisia-Steppen, **9.** Federgrassteppen und degradierte Artemisia-Steppen, **10.** Halophytenfluren, **11.** Kältekahl-immergrüne Gebüsche, **12.** Südanatolische Tannen- und Zedernwälder, **13.** Kälteharter immergrüner offener Nadelwald, **14.** Mischformationen aus Kältekahlen montanen offenen Laubwäldern und Xeromorphen offenen Zwerggesträuch-Dornpolster-Mischformationen, **15.** Kälteharter montaner offener Laubwald, **16.** Xeromorphe offene Zwerggesträuch-Dornpolster-Mischformationen, **17.** Degradierte Kältekahler montane offene Laubwälder und Kulturland, **18.** Pflanzenformationen der subalpinen und alpinen Stufe

Seit der Antike wurde das **zentralanatolische Hochland** als kleinasiatische Getreidekammer bezeichnet. Wegen der geringeren Niederschläge sind die Erträge meist gering (HÖHFELD, 1995). Die Böden sind kalkreich, leiden aber unter Phosphor- und Humusmangel, so dass die Erträge im internationalen Vergleich auch aus diesem Grund gering sind. Damit sich die Böden regenerieren und genügend Bodenwasser speichern,

praktizieren Landwirte verbreitet Schwarz –oder Stoppelbrache. Mehr als ein Drittel der Ackerflächen liegen brach (HÖHFELD, 1995). Die aktuelle Landnutzung der Türkei kann regional wie folgt beschrieben werden. In den Regionen Ägäisches Meer und Thrakien kommt bewässerter- und unbewässerter Feldbau mit geringem Anteil an Dauerkulturen und mit hoher weidewirtschaftlicher Komponente vor. In der Zentral und Südostanatolischen Steppe wird Feldbau und Weidewirtschaft betrieben. Für die Regionen am Schwarzen Meer und zum Teil am Mittelmeer ist Gebirgsregenfeldbau mit Bewässerungsinseln in Tälern oder Becken besonders typisch. In Ostanatolien kommt Gebirgsweideland oft mit Gehölzen vor (HÖHFELD, 1995). Das Staatsgebiet der Türkei beträgt ungefähr 780.000 km², davon werden 35,7 % (27,7 Mio. ha) Flächen als intensiv landwirtschaftlich genutzt, 27,9 % (21,8 Mio. ha) als Gras- und Weideland und 30,2 % (23,7 Mio. ha) als Wälder und Steppen (DOGAN, 1993).

Das staatliche statistische Institut der Türkei hat festgestellt, dass die gesamte Landfläche in der Türkei 668.781.782 Mio. ha beträgt und davon nur 33,13 % als landwirtschaftliche Nutzfläche bearbeitet wurden. Dies entspricht 221.562.345 Mio. ha. Nach den Angaben des staatlichen statistischen Instituts der Türkei hat sich die Art der Landnutzung in der Türkei innerhalb von 10 Jahren nicht wesentlich verändert. Von der bearbeiteten landwirtschaftliche Nutzfläche wird 68,77 % als Ackerland, 16,91 % als Brache, 11,67 % zum Obstanbau und zum Anbau anderer Dauerkulturen und 2,65 % als Gemüse und Blumengarten genutzt (Devlet İstatistik Entitüsü, 2001: Staatliches Statistisches Institut).

Im Untersuchungsgebiet Mittelanatolien wird neben Feldbau und Weidewirtschaft auch mit Hilfe von Bewässerungssystemen in den Räumen Beypazarı und Ayaş Obst -und Gemüseanbau betrieben.

3.1.5. Böden

Rheinland-Pfalz

Klimatisch gesehen gehören die Böden der Region Trier in die Zone der braunen Böden (MEYENEN, 1967). Die Bodenbildung und –entwicklung wurde im Trierer Raum neben den Bodenbildungsfaktoren Relief, Schwerkraft, Flora, Fauna, Grund-, Flusswasser und Mensch in hohem Maße vom Ausgangsgestein beeinflusst (SCHRÖDER, 1983).

Auf den Untersuchungsflächen im **Saar-Hunsrück** sind vor allem Ranker und saure Braunerden verbreitet. Sie haben sich, nachdem die tertiären Verwitterungsdecken durch pleistozäne Abtragungsprozesse abgeräumt wurden, entweder direkt auf dem anstehenden Schiefer oder auf Schuttdecken bzw. skeletthaltigen Fließerden gebildet. Der **Schiefer** ist im

oberen Teil durch Frostdynamik vorgelockert, wodurch die Verwitterung gefördert wird. Dennoch sind diese Böden sehr flachgründig und aufgrund des hohen Skelettgehaltes ist die Wasserkapazität sehr gering. Verbreiteter und wesentlich tiefgründiger sind saure Braunerden auf Schutt, der sich durch Frostverwitterung, Kryoturbation und Solifluktion gebildet hat. Der anstehende Schiefer ist gelegentlich von Quarzitrippen durchzogen, was sich durch den hohen Anteil unverwitterter Milchquarze auf den Äckern bemerkbar macht. Im hängigen Gelände sind die Böden besonders in den oberen Hangteilen infolge der Erosion häufig zu extrem flachgründigen Rankern degradiert, die Grenzertragsböden darstellen. In Akkumulationslagen finden sich dagegen Kolluvien. Lokal haben sich auf Verebnungen und an Mittel- bis Unterhängen Lösslehmdecken oder in Fließerden eingearbeiteter Lösslehm erhalten. Hierauf sind ertragreiche, tiefgründige Braunerden entstanden. Außerhalb des Untersuchungsgebietes finden sich im Hunsrück noch Reliktböden aus Graulehm, die größtenteils solifluidal umgelagert, generell dicht, undurchlässig und sauer sind (SCHRÖDER, 1983).

Im Gebiet des **Oberen Muschelkalks** sind in den ebenen bis welligen Lagen, wo der Abtrag nicht so hoch war wie bei den Bruchstufen um Trier, noch Reste von Braunlehm-(Terra Fusca) und Lösslehmdecken erhalten geblieben. Diese Reste haben sich bei der pleistozänen Solifluktion mit dem dolomitischen Ausgangsgestein vermischt, woraus sich überwiegend hell- bis dunkelbraun gefärbte lehmig-tonige Rendzinen und Braunerden entwickelten. Diese Böden sind meist kalkreich, wasserdurchlässig, unschwer zu bearbeiten, durch Winterweizenanbau gekennzeichnet und gelten als die besten Böden des Bitburger Landes. Seit der Beackerung wurden diese Böden durch Erosion lokal nochmals mehr oder weniger umgelagert. In den Senken haben sich Kolluvien entwickelt und an den Hängen sind die Böden oft flachgründig und weisen einen hohen Skelettgehalt auf, der den Anbau erschwert. Der Anbau ist ebenfalls auf Terra Fusca ohne Lössbedeckung erschwert, da diese schweren zur Pseudovergleyung neigenden Böden schwer zu bearbeiten sind (MEYNEN, 1967; SCHRÖDER, 1983).

Die Böden des **Unteren Muschelkalks** sind sandiger als die des Oberen Muschelkalks. Die des Mittleren Muschelkalks sind toniger. Im Unteren und Mittleren Muschelkalk bildeten sich überwiegend Rendzinen. Im Mittleren Muschelkalk auch Rendzina-Pelosole und bei Lössüberdeckung Parabraunerden und Pseudogleye. Der Keuper ist vorwiegend aus schwer durchlässigen Mergel-Schichten aufgebaut, so dass hier vor allem kalkhaltige Pelosole aber auch Rendzinen und Braunerden ausgebildet sind. Auf sanften Abhängen sind die tonreichen, gering durchlässigen Böden wegen der lateralen Entwässerung und des relativ guten Gefüges

das auf dem hohen Kalkgehalt beruht, nicht weniger fruchtbar als die Muschelkalkböden. In Mulden und ebenen Lagen leidet der Keuperböden jedoch an Nässe und bei Trockenheit trocknet er schnell aus und wird sehr hart und rissig, wodurch sich die Bearbeitung erschwert (MEYNEN, 1967, SCHRÖDER, 1983).

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 Staunnässe 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, auf Unterhängen und in Mulden mit Kolluvisolen.

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 geringer Wasserspeicherkapazität werden die Böden überwiegend forstlich genutzt. Insbesondere unter Nadelwald, oft mit Zwergsträuchern im Unterwuchs, haben sich überwiegend podsolige Braunerden entwickelt.

Türkei

Die Bodenbildung in der **Türkei** ist aufgrund klimatischer und geologischer Unterschiede sehr vielfältig. Die Türkei lässt sich in **drei Gruppen von Bodentypen** gliedern (OAKES, 1957, KANTARCI, 1972, ZOHARY, 1973, ZECH-CEPEL, 1977).

1. Humide bis subhumide Bodentypen: Hierunter zählen braune Waldböden, bodensaure (kalkfreie) Braunerden, Rendzinen in höheren Lagen und aluviale Initialböden in Tälern und entlang von Flüssen.

Der braune Waldboden entspricht mitteleuropäischen Braunerden und kommt unter gemäßigt warmen humiden Klimabedingungen vor. Dieser Bodentyp tritt häufig in humiden und subhumiden montanen Laub- und Nadelwäldern der Bergwaldstufe mit Rankern-, Pseudogleyen- und Gleyen auf.

Die kalkfreie Braunerde kommt in Thrakien oft auf skelettreichen sandig-tonigen mio- und pliozänen Ablagerungen vor. Hier herrscht ein zonales und auch subhumides mediterranes Klima.

In höheren Lagen Nordanatolien und Thrakiens sind Rendzinen auf Kalkstein, Dolomit, Mergel verbreitet.

Aus unterschiedlichem Ausgangsmaterial entstehen sehr fruchtbare aluviale Initialböden. Sie kommen in Tälern und entlang von Flüssen vor. Die Auenwälder wurden meistens gerodet und die Böden sind teilweise vergleht. Häufig kommen im ariden **Zentralanatolien** Salzanreicherungen vor.

2. Semiaride Bodentypen: Darunter sind semiaride Braunerden, rötliche Braunerden kastanienfarbige Böden, rötliche kastanienbraune Böden, braune Steppenwaldböden, Grumusole sowie graue Syrosemböden und Solontchake zu zählen.

Die semiariden Böden sind auf dem **mittelanatolischen Plateau** verbreitet. Sie sind aus kalkreichem Lehm hervorgegangen und auf ihnen wächst eine grasreiche Steppenwaldvegetation.

Die rötlichen Braunerden sind zonale Böden mit Kalk-Akkumulation im Unterboden. Diese Böden sind im Südosten und südlichen Hochplateau verbreitet und werden vor allem als Getreideböden genutzt. Sie sind aus carbonatreichem sandig-tonigem Substrat (neogene Mergel) entstanden.

Im trockenen Klima **Ostanatoliens** kommen auf lehmreichen Gesteinen kastanienfarbige Böden aus vulkanischem Material vor.

In **Südwestanatolien** treten in Tälern, an Unterhängen und bei feuchtem subhumidem Klima auf Ton, Mergel, Kalkstein vorkommende rötliche kastanienbraune Böden auf. Sie zeigen im Unterboden eine Karbonat-Akkumulation.

Braune Steppenwaldböden bestehen aus karbonatreichem, **sandig-tonigem Mergel** und kommen in Grassteppen und Steppenwäldern vor.

Vertisole sind in den Steppenwäldern und Steppenwäldergebüsch Zentralthrakiens auf Tonmergeln verbreitet. Ihr Charakteristikum ist ein mächtiger, tiefhumoser, tonreicher, prismatisch strukturierter Ah- Horizont, der durch starkes Quellen und Schrumpfen und Peloturbation entstanden ist. Diese Böden sind stark erosionsgefährdet.

Neben Salzböden in Zentralanatolien kommen im ariden Steppengebiet graue Syrosem vor.

3. Mediterrane Bodentypen: Diese Bodentypen werden in Roterden (Terra-rossa), graue kalkreiche Regosole und rötliche Phäozeme sowie Sanddünen-Böden eingeteilt.

Roterden sind typisch für Hartlaubwaldvegetation oder immergrüne Macchie. Sie sind flachgründig und sehr skelettreich. In Südwestanatolien, im semiariden-subhumiden Klima sind graue kalkreiche Regosole und azonale Sand-Lehm-(Löß-) Böden verbreitet.

Durch pleistozäne Ablagerungen entstanden im Südwesten der Türkei rötliche Phäozeme. Sie können bei guter Drainage hohe Erträge aufweisen. Die Sanddünen-Böden kommen oft in Verbindung mit Alluvialböden vor.

DINC et al. (2001) haben jüngst die Böden der Türkei nach der amerikanischen Soil-Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975) in folgende 10 Ordnungen gegliedert: Fluvente, Orthente, Inceptisole, Vertisole, Alfisole, Mollisole, Aridisole, Ultisole, Histisole sowie Spodosole (Abb. 12).

Nach DINC et al. (2001) kommen im Untersuchungsgebiet Mittelanatolien vornehmlich Inceptisole, Orthente und Aridisole vor.

Inceptisole (St) = Cambisols (FAO) = Braunerden (DBG) kommen in Mittelanatolien auf den pleistozänen Sedimenten vor und sind relativ schwach verwittert und besitzen ein AbwC-Profil. Inceptisole sind in Mittelanatolien mit Regosolen, Calcisolen oder Durisolen vergesellschaftet. Ihre Horizontgrenzen sind bezüglich Farbe, Bodenart und Gefüge fließend.

Aridisole: Syroseme: In der Türkei kommen mit Ortenten vergesellschaftete Aridisole aus neogenen Ton-Kalkgesteinen, mio-pliozänen und plio-pleistozänen Mergeln vor. Sie besitzen einen hohen Tongehalte und wegen der trockenen ariden Klimabedingungen wenig organische Substanz. Hier haben sie überwiegend keine B-Horizonte. Karbonatanreicherung und -gehalt sind hoch. Deswegen wachsen auf diesen Böden die Kalkpflanzen, wie *Artemisia* sp., *Bromus* sp, *Astragalus*, *Euphorbia*, *Trifolium* usw. Die häufigsten Tonmineralien sind Smectit, Kaolinit und Vermikulit.

Orthente (St): Leptosols (FAO): Ranker, Rendzina, Pararendzina (DBG): Sie sind mit Inceptisolen und Mollisolen vergesellschaftet und kommen auf mittel bis hoch gelegenen Standorten vor, häufig an Hängen mit anhaltender Erosion. Sie sind schwach entwickelte und flachgründige, meist skelettreiche Böden. Sie repräsentieren Initialphasen der Bodenbildung oder erosionsbedingte Degradationsstadien. Die Oberböden haben ein ochric Epipedon und sind humusarm. Sie haben eine A(B)C oder meist A(B)R Horizontfolge. Wegen Kalkchlorose sterben die Pflanzen an Fe-/Mn-Mangel ab.

In Mittelanatolien kommen auch teilweise Vertisole (St) = Vertisol (FAO) = Pelosol (DBG) vor. Sie sind sehr tonreich und ihr diagnostisches Merkmal ist der vertic Horizont. Trotz seiner dunklen Farbe ist der vertic Horizont relativ humusarm. Durch seinen hohen Gehalt an quellfähigen Smectiten entwickeln sich während der regenarmen Zeit tiefe Trockenrisse.

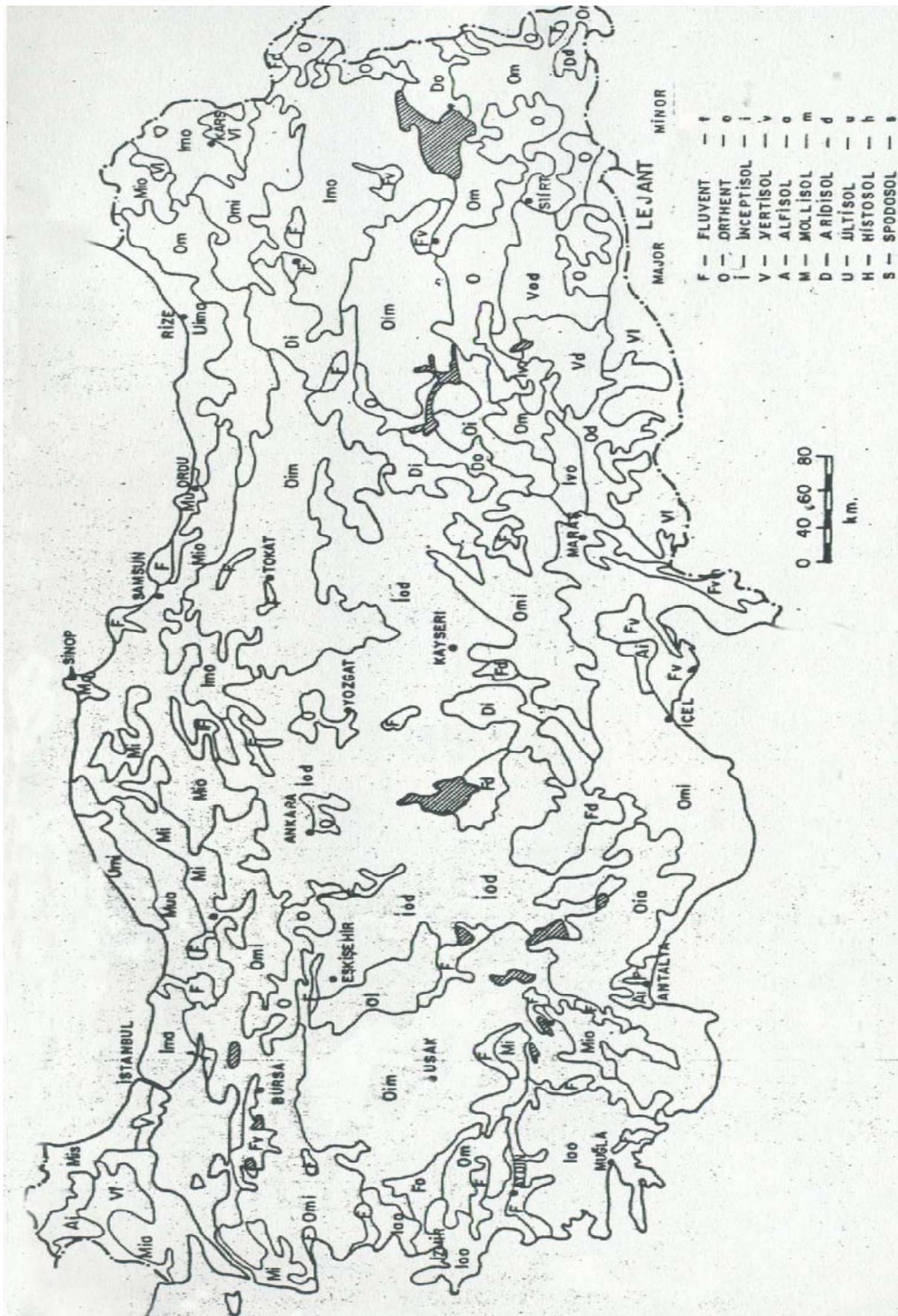


Abb. 12: Böden der Türkei (DINC et al., 2001, S.97)

4. Methoden

4.1. Feldbodenkundliche Ansprache

In den jeweiligen Untersuchungsgebieten wurden mehrere Parallelen der Leitböden ausgewählt, nach AG Bodenkunde (1994) charakterisiert und beprobt. Die deutschen Böden wurden im Wesentlichen im Frühjahr 1999 beprobt, die türkischen im Frühjahr 2002.

4.2. Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden

4.2.1. Korngrößenverteilung

Die Bestimmung der Korngrößenanteile des Grob-, Mittel-, Feinschluffs und Tons (Korngrößenanteile $< 63 \mu\text{m}$) erfolgte mittels der Pipettmethode nach KÖHN (1929). Der Grob-, Mittel- und Feinsandanteil (Korngrößenanteile $> 63 \mu\text{m}$) wurde mit Hilfe einer Siebanalyse ermittelt. Luftgetrockneter Boden wurde auf $< 2 \text{ mm}$ abgesiebt. Die Humuszerstörung erfolgte mit 10-30 % igem H_2O_2 und die Karbonatzerstörung wurde mit 10 % iger HCl durchgeführt. Für die vollständige Dispergierung wurde Natriumpyrophosphat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) zugesetzt und die Proben über Nacht auf den Überkopf-Schüttler gebracht und danach im Ultraschallbad behandelt (HARTGE u. HORN, 1989; SCHLICHTING u. BLUME, 1966). Korngrößenanalysen ohne Vorbehandlung erfolgten nach SCHMIDT (1996).

4.2.2. Porengrößenverteilung

Die Bestimmung der Porengrößenverteilung erfolgte an 100 cm^3 - Stechzylinderproben nach dem Prinzip der Überdruckmethode nach RICHARDS & FIREMAN (1943).

4.2.3. Permeabilität

- Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Die Durchlässigkeit der Böden für Wasser wurde nach dem Messprinzip für die gesättigte Wasserleitfähigkeit nach der Methode von HANUS & KMOCH (1965) ermittelt.

- Luftleitfähigkeit (k_a)

Die Ermittlung der Luftleitfähigkeit (k_a) erfolgte nach der Methode von HANUS und KMOCH (1965) nach einer Vorentwässerung auf pF 2,5.

4.2.4. Aggregatstabilität

Die Ermittlung der Aggregatstabilität erfolgte durch die Methode der Tauchsiebung (ΔGMD) nach DE LEENHERR & DE BOODT (1954) und die Perkolationsmethode nach BECHER und KAINZ (1983).

4.3. Bodenchemische Untersuchungsmethoden

4.3.1. Organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff und Carbonatgehalt

Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t) wurden mittels trockener Veraschung im Sauerstoffstrom amLECO CHN-1000 bestimmt. Für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes (C_{org}) wurde gemörserter Feinboden in Porzellan-Schiffchen eingewogen und im Sauerstoffstrom (LECO RC-412 bei $550^\circ C$) verbrannt. Das gebildete CO_2 wurde infrarotspektroskopisch gemessen. Der Gehalt des anorganischen Kohlenstoffs als Calciumcarbonat-Äquivalent ergab sich aus der Differenz von Gesamt- und organischem Kohlenstoff durch Multiplikation mit dem Faktor 5.

4.3.2. Heißwasserlöslicher Kohlenstoff

Die Bestimmung des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs erfolgte nach KÖRSCHENS et al (1990). Es wurden 10 g feldfrischer Boden mit 50 ml destilliertem Wasser eine Stunde unter Rückfluss gekocht. Der Extrakt wurde bei 3.000 Upm in einer HERAEUS Cryofuge 5000 eine halbe Stunde zentrifugiert und der Kohlenstoffgehalt im Extrakt mit einem TOC-Analysator 190 von DOHRMANN bestimmt.

4.3.3. Carbonatgehalte und pH-Wert

Die Ermittlung des pH-Wertes erfolgte nach KRETZSCHMAR (1984): Es wurden 10 g gesiebter und lufttrockener Feinboden in ein Becherglas eingewogen und mit 25 ml $CaCl_2$ -Lösung 2 Stunden unter gelegentlichem Schwenken stehen gelassen. Dann wurden die Proben mit dem geeichten pH-Meter gemessen. Carbonatgehalte wurden nach der Scheibler Methode ermittelt.

4.3.4. Pflanzenverfügbare P- und K-Gehalt

Die Probenahme wurde jeweils im Frühjahr 2000-2002 durchgeführt. Dabei wurden 15 bis 25 Einstiche zu einer Mischprobe vereinigt. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit wurden alle Ackerböden zwischen 0-30 cm beprobt. Nach der Bodenprobenentnahme wurden die Proben luftgetrocknet und auf 2 mm gesiebt.

Die Ermittlung von Phosphor und Kalium erfolgte mit der CAL-Methode nach SCHÜLLER (1969). Hierbei wurden 5 g luftgetrockneter Boden in 250 ml Polyflaschen gefüllt (jeweils mit 2 Parallelen), dann mit 100 ml Calcium-Acetat-Lactat-Gebrauchslösung versetzt und 2 Stunde über Kopf geschüttelt. Mittels der Molybdän-Blau-Methode wurden die extrahierten Phosphorverbindungen angefärbt und bei 710 nm photometrisch gemessen. Kalium wurde gegen den Blindwert am AAS (Atomabsorbstionsspektrometer) ermittelt.

4.3.4. Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit der deutschen und türkischen Böden wurde nach KRETZSCHMAR (1984) ermittelt. 20 g luftgetrockneter Feinboden wurde zuerst in ein 200 ml fassendes Becherglas eingewogen. Zur Herstellung eines 1:5- Extraktes wurde 100 ml Wasser dazu gegeben. Die Suspension wurde kräftig mit einem Glasstab umgerührt, etwa 2 Stunden stehen gelassen und während dieser Zeit mehrmals kräftig aufgewirbelt. Nach dem letzten Absitzenlassen wurde die Suspension durch ein Faltenfilter filtriert und in der klaren Lösung die elektrische Leitfähigkeit gemessen.

4.4. Bodenbiologische Untersuchungsmethoden

Die Probennahme für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen erfolgte jeweils im Frühjahr der Jahre 1999 bis 2002. Die Proben wurden aus 0-15 cm Tiefe entnommen, auf 2 mm gesiebt und bei Zimmertemperatur in Plastiktüten unter Luftkontakt ca. 1 Woche inkubiert, wobei sie durch nasse Watte vor Austrocknung geschützt wurden. In dieser Angleichzeit sollen die leicht verfügbaren Kohlenstoffquellen im Boden abgebaut werden. Bis zur Analyse wurden die Proben bei ca. 4 °C im Kühlschrank gelagert.

4.4.1. Mikrobielle Biomasse

Die Ermittlung der mikrobiellen Biomasse erfolgte anhand der Chloroform-Fumigations-Extraktions- (CFE) Methode nach VANCE et al.(1987), modifiziert nach JÖRGENSEN (1995). Hier wurde für die unfumigierten Proben Feuchtboden entsprechend 25 g Trockensubstanz in Polyflaschen eingewogen und mit 100 ml 0,01 M CaCl₂ versetzt. Diese Proben wurden eine halbe Stunde geschüttelt und anschließend filtriert. Der C-Gehalt wurde am Total Organic Carbon (TOC)- Gerät DC-190 (Fa. Dohrmann) ermittelt. Für die fumigierte Proben wurde 25 g Trockensubstanz entsprechender Feuchtboden in Bechergläser eingewogen, im Eksikator mit ethanolfreiem Chloroform fumigiert, und für 24 Stunden bei 25° C unter Vacuum inkubiert. Das Chloroform wurde durch wiederholtes Evakuieren entfernt.

Danach wurden zwei Parallelen pro Wiederholung am TOC-Gerät untersucht und der C_{mik} - Gehalt Hilfe eines Korrekturfaktors (k_{EC}-Faktor) von 0,45 berechnet:

$C_{\text{mik}} = E_C / k_{\text{EC}}$ mit $E_C = \text{DOC (extrahiert aus begasten Proben)} - \text{DOC (extrahiert aus unbegasten Proben)} * 100 / 25$, wobei $k_{\text{EC}} = 0,45$.

4.4.2. Mikrobielle Aktivität

Die mikrobielle Aktivität wurde durch die Basalatmung ermittelt. Die Bestimmung der Basalatmung erfolgte am Infrarot-Gasanalysator (IRGA) nach HEINEMEYER et al. (1989). Die Arcylzylinder der Apparatur wurden mit Boden befüllt und mit CO₂-haltiger Luft unter thermokonstanten Bedingungen (22° C) und einer Durchflussrate von ca. 200 ml/min durchströmt. Hier wurde Feuchtboden entsprechend 30 g Trockensubstanz in die Probengefäße gefüllt und über einen Zeitraum von mindestens 48 Stunden untersucht. Die Basalatmung ($\mu\text{gCO}_2\text{gTS}^{-1}\text{h}^{-1}$) wurde als Mittelwert aus den Daten der letzten fünf bis zehn Stunden erfasst.

4.5. Beurteilung der Erosivität anhand der „Universalen Bodenverlustgleichung“

(USLE = ABAG)

Die Bodenerosion ist nicht nur in den USA sondern auch in vielen anderen Ländern aufgrund ihrer ökologischen und wirtschaftlichen Bedeutung seit über 60 Jahren ein intensives Forschungsgebiet. Bei der Entwicklung und praktischen Umsetzung geeigneter Erosionsvermeidungsstrategien kamen bisher empirisch entwickelte Erosionsprognosemodelle wie die USLE oder ABAG zur Anwendung. Zudem erfolgt heute die Simulation erosiver Einzelereignisse. Davon sind das „Water Erosion Prediction Project“ (= WEPP; NEARING et al., 1989, LAFLEN et al., 1991) des USDA (United States Department of Agriculture), das auf der Strömungskraft beruhende Modell von HAIRSINE & ROSE (1992a, b), der „Rain Induced Flow Transport“ von KINNEL (1988 und 1991) und das Modell „Erosion 2D/3D“ von J. SCHMIDT (1997) als einige Beispiele zusehen.

In den USA wurde die Universale Bodenverlustgleichung (Universal Soil Loss Equation = USLE) in Zusammenarbeit vieler Wissenschaftlern entwickelt. WISCHMEYER und SMITH haben in den Jahren 1930 bis 1952 an zahlreichen Orten der USA auf standardisierten Parzellen (22 m lang, 9 % Gefälle) den langjährigen Bodenabtrag gemessen (SCHÄFER, 1981). Der Bodenabtrag war mit einer großen Zahl von Eigenschaften dieser Standorte korreliert, von denen 6 Parameter den gemessenen Abtrag genau erklärten und danach auch zu einer Vorausschätzung verwendet werden konnten. Die wichtigsten erosionsbedingenden Faktoren sind die Charakteristik des Regengeschehens, die Eigenschaften des Bodens, die Länge des Hanges, die Neigung des Hanges, die Bedeckung und Bearbeitung des Bodens und die Art der Erosionsschutzmaßnahmen. Auf dieser Basis wurde die Beziehung des gemessenen Bodenabtrages zu einer Abtragungsgleichung zusammengefasst (USLE). USLE ermöglicht bei Kenntnis der Einflusskomplexe den langjährigen durchschnittlichen Bodenabtrag (A) in t/ha und Jahr nach folgender Formel zu errechnen:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

wobei

A: Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha*a als zu errechnende Größe.

K: Bodenerodierbarkeitsfaktor: Er stellt den jährlichen Abtrag eines bestimmten Bodens pro R-Einheit auf dem Standardhang (22 m Länge, 9 % Gefälle, dauernde Schwarzbrache) dar.

R: Regen- und Oberflächenabflussfaktor: Er ist ein Maß für die gebietspezifische Erosionskraft (Erosivität) der Niederschläge und wird aus der kinetischen Energie und der Niederschlagintensität aller erosionswirksamen Einzelregen während des Jahres berechnet.

L: Hanglängenfaktor: Er gibt das Verhältnis des Bodenabtrages eines Hanges beliebiger Länge zu dem des Standardhanges (22 m Länge) unter sonst gleichen Bedingungen an.

S: Hangneigungsfaktor: Er gibt das Verhältnis des Bodenabtrages eines Hanges beliebiger Neigung zum Standardhang (9 % Gefälle) unter sonst gleichen Bedingungen an.

C: Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor: Er gibt das Verhältnis des Bodenabtrages eines Hanges mit beliebiger Bewirtschaftung (Kulturpflanze, Bedeckungsgrad, Bearbeitungsverfahren etc.) zu Schwarzbrache an.

P: Erosionsschutzfaktor: Er gibt das Verhältnis des Bodenabtrages mit beliebigen Erosionsschutzmaßnahmen wie Kontournutzung, Streifenutzung, Terrassierung usw. zu dem bei der Bearbeitung in Gefällerrichtung und ohne Schutzmaßnahmen an (SCHWERTMANN et al., 1987).

Die Erodierbarkeit des Bodens (K-Faktor)

Der K-Faktor ist ein Maß für die Erodibilität eines Bodens und wird von einer Reihe von Bodeneigenschaften bestimmt.

Er ist ein Verhältniswert, der empirisch ermittelt wird und die Gesamtwirksamkeit der Bodeneigenschaften repräsentiert. Nach WISCHMEIER und SMITH lässt sich der K-Faktor aus 5 Bodeneigenschaften errechnen. Diese 5 Eigenschaften des Bodens sind: Gehalt an Schluff und Feinsand 2-100 µm, Sand 100- 2000 µm (erhöht den Wert des K-Faktors), 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 Aggregierung in der Ackerkrume von 1 bis 4 eingestuft (Tabelle nach AG Bodenkunde 1994, S.306, siehe im Anhang).

D= Durchlässigkeitsklasse wurde nach Kartieranleitung (1982) mittels im Labor ermittelter Wasserleitfähigkeit (cm/d) bestimmt (Die Tabelle nach AG Bodenkunde 1982, S.119, siehe im Anhang).

Der K-Faktor für die deutschen und türkischen Böden wurde nach WISCHMEIER und SMITH (1971) wie oben beschrieben, errechnet.

Schätzverfahren zur Erosivität für die deutschen und türkischen Böden

Als Schätzverfahren zur Berechnung der Erosivität für deutsche und türkische Böden wurde die Universale Bodenverlustgleichung (USLE = ABAG) gewählt. Eine von SCHWERTMANN et al. (1987) für deutsche Verhältnisse angepasste Variante wird allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) genannt.

Der große Vorteil der ABAG ist ihre hohe Flexibilität. Durch die ABAG wird sowohl der mittlere jährliche Abtrag berechnet als auch die abtragsmindernde und abtragssteigernde Wirkung unter veränderten Bedingungen vorhergesagt.

Darstellung der einzelnen Faktoren für die deutschen und türkischen Böden

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 hieraus der R-Faktor=54,6 resultiert.

Die von DOGAN (1987) ermittelten R-Faktoren in den Untersuchungsgebiet Mittelanatolien und Südostanatolien wurden für die ABAG-Schätzung übernommen und liegen bei 27,7 für Cankiri, 40.7 für Ankara und 27.3 für Diyarbakir in Südostanatolien.

Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor): Die Ermittlung des K-Faktors für die deutschen und türkischen Böden erfolgte durch oben beschriebene Gleichung nach SCHWERTMANN et al.(1987). 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 von 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 22 m und 100 m standardisiert.

Hangneigungsfaktor (S): Die Hangneigung von deutschen und türkischen Flächen wurden ebenso wie die Hanglänge auf 8° und 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 DOGAN (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 einheitlich nach SCHWERTMANN et al. (1987) der P-Wert=1 angegeben.

5. Ergebnisse

5.1. Feldbodenkundliche Befunde

Bevor die Eigenschaften der ausgewählten Profile dargestellt und diskutiert werden, sollen die jeweiligen Bodengesellschaften der Untersuchungsräume und die Leitböden charakterisiert werden.

5.1.1. Bodenvergesellschaftung der Untersuchungsgebiete

Rheinland-Pfalz

In Verebnungspositionen des Untersuchungsgebietes „Hunsrückschiefer“ 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 3-7 dm.

Über der Mittellage liegt die Hauptlage. Sie ist überwiegend in der jüngeren Tundrenzeit durch Staublehmeinwehung entstanden und daher schluffreich. Ihre Mächtigkeit beträgt unter Wald 3-5 dm. 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.

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 Beypazarı und Nallıhan. (Abb. 2)

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 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 Metern 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 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.

5.1.2. Charakteristik der Untersuchungsstandorte

In jedem Untersuchungsgebiet wurden zur statistischen Absicherung der Befunde mehrere Parallelen des jeweiligen Leitbodens untersucht. Im folgenden wird je Untersuchungsgebiet einer dieser Leitböden feldbodenkundlich näher gekennzeichnet. Für die Bodenregion Schieferverwitterungsböden des Hunsrücks wurde das Profil Herl 1 gewählt.

ORT: Herl1

TOP.KARTE: 1:25.000. 6206 Trier-Pfalzel)

LAGE IM RELIEF: Oberhang

KULTURART: Getreide, (AG)

NUTZUNG: Ackerland

AUSGANGSGESTEIN: Devonschiefer, Haupt -und Basislage

BODENTYP: Mittelgründige saure Braunerde, FAO: Dystric Cambisol

HUMUSGEHALT: mittel humos (h3)

PROFILBAUFBAU:

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-24	Schwach toniger Lehm, Farbe:10 YR 3/3 zahlreiche Wurmgänge, Krümel- bis Subpolyedergefüge
Bv	24-45	Schwach toniger Lehm, Farbe:10YR 5/6 zahlreiche Wurmgänge, Subpolyedergefüge
II Cv	45-80	Schwach toniger Lehm, Farbe:2,5YR 6/4 Subpolyedergefüge

Chemische Bodenkenndaten:

Tiefe (cm)	pH	CaCO ₃ (%)	N(%)	Corg(%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O(mg/100g)
0-35	6,1	0	0,13	1,84	13,2	36,4

Mittlerer Buntsandstein:**ORT:** Greverath Acker 2**TOP.KARTE:** 1:25.000, 6006 Landscheid**LAGE IM RELIEF:** Mittelhang**KULTURART:** Getreide, Streuwiese (AG, G S)**NUTZUNG:** Ackerland**AUSGANGSGESTEIN:** Mittlerer Buntsandstein**BODENTYP:** Braunerde aus schuttführendem Sand (aus Sandsteinen und Lößlehm)

FAO: Dysric Cambisol

HUMUSGEHALT: mittel humos (h3)**PROFILBAUFBAU:**

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-35	Schwach lehmiger Sand, Farbe: 7.5YR3/4; zahlreiche Wurmgänge, Subpolyedergefüge
Bv	35-45	Schwach lehmiger Sand, Farbe: 7.5YR3/4 zahlreiche Wurmgänge, Einzelkorngefüge bis Subpolyedergefüge
Bv+II ICv1	45-60	Schwach lehmiger Sand, Farbe: 7.5YR3/4 Subpolyedergefüge bis Einzelkorngefüge, keine Wurmgänge
II ICv1	60-80	feinsandiger Mittelsand, Farbe: 10YR4/6 Einzelkorngefüge, wenige Wurmgänge
II ICvI	80-100	schwach toniger Sand, Farbe: 5YR4/6 Einzelkorngefüge, keine Wurmgänge

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-35	4,9	0	0,19	1,46	17,8	2,17

Unterer Muschelkalk:**ORT:** Idenheim Acker 3**TOP.KARTE:** 1:25.000, 6105 Welschbillig**LAGE IM RELIEF:** Mittelhang**KULTURART:** Getreide, Winterweizen (AG, WZ)**NUTZUNG:** Ackerland**AUSGANGSGESTEIN:** Unterer Muschelkalk**BODENTYP:** Hangpseudogley- Braunerde, FAO: Plagnic Cambisol**HUMUSGEHALT:** mittel humos (h3)**PROFILBAUFBAU:**

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-25	Schwach tonige Lehm, Farbe: 10YR6/6 zahlreiche Wurmgänge, Subpolyedergefüge bis Gefügefragmente
Bv	25-40	Schwach tonige Lehm, Farbe: YR5/6 zahlreiche Wurmgänge, Subpolyedergefüge bis Gefügefragmente
II ICv1-Sw	40-85	Mittel tonige Lehm, Farbe: 10YR5/3 zahlreiche Wurmgänge, Polyedergefüge,
II ICv1-Sd	85-100	mittel schluffige Ton, Farbe: 2.5Y6/3 Kohärentgefüge, zahlreiche Wurmgänge

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-25	5,5	0	0,18	1,76	17,2	2,3

Die eozänen Böden Mittelanatoliens wurden durch das Profil Nallihan1 repräsentiert:

ORT: Nallihan1

TOP.KARTE: 1:25.000, Bolu, K816

LAGE IM RELIEF: Höhenrücken,

KULTURART: Getreide, Winterweizen

NUTZUNG: Ackerland

AUSGANGSGESTEIN: Eozen Mergel

BODENTYP: Kalkhaltiger Pelosol (DBG); Calcic Vertisol (FAO)

HUMUSGEHALT: schwach humos (h2)

PROFILBAUFBAU:

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-25	Mittel schluffiger Ton, Farbe:10YR 6/4 Polydergefüge bis Subpolydergefüge
Bv	25-45	Mittel schluffiger Ton, Farbe: 10YR 6/4 Poledergefüge bis Subpolydergefüge

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-25	8,59	16,29	0,206	0,55	3,7	11,14



Bild 1: Untersuchungsstandort Nallıhan1/ Türkei

Miozäne Böden Mittelanatoliens:

ORT: Beypazarı1

TOP.KARTE: 1:25.000, Bolu,K816

LAGE IM RELIEF: Höhenrücken, großflächige Verebnung

KULTURART: Getreide, (AG)

NUTZUNG: Ackerland

AUSGANGSGESTEIN: Miozäne Mergel

BODENTYP: Typische Rendzina, Rendzina (DBG); Rendzic Leptosol (FAO)

HUMUSGEHALT: schwach humos (h2)

PROFILBAUFBAU:

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-25	Schwach toniger Schluff, Farbe: 10YR 6/2 Feinsubpolyedergefüge
Bv	25-45	Schwach toniger Schluff, Farbe:10YR 6/2 Feinsubpolyedergefüge
C	45+	Kalkmergel

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-25	8,2	9,45	0,1	0,84	17,2	25,5



Bild 2: Beypazarı1

Quartäre Böden Mittelanatoliens:**ORT:** Çubuk**TOP.KARTE:** 1:25.000, Çankırı,K816**LAGE IM RELIEF:** Mittelhang**KULTURART:** Kümmel,**NUTZUNG:** Ackerland**AUSGANGSGESTEIN:** Quartäre Mergel**BODENTYP:** Kalkbraunerde (DBG); Calceric Cambisol (FAO)**HUMUSGEHALT:** schwach humos (h2)



Bild 3: Çubuk

PROFILBAUFBAU:

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-25	Schwach toniger Lehm, Farbe:10YR 6/4 Grobpolyedergefüge,
Bv	25-45	Schwach toniger Lehm, Farbe:10YR 6/4 Grobpolyedergefüge, sehr stark carbonathaltig

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-25	8,29	5,6	0,13	0,74	14,5	10,15

Oligo-Miozäne-Böden:**ORT:** Çankırı 1**TOP.KARTE:** 1:25.000, Çankırı ,K816**LAGE IM RELIEF:** Höhenrücken, ebene Fläche**KULTURART:** Getreide, (AG)**NUTZUNG:** Ackerland**AUSGANGSGESTEIN:** Oligo- miozäne Mergel**BODENTYP:** Typische Rendzina, Rendzina (DBG); Rendzic Leptosol (FAO)**HUMUSGEHALT:** schwach humos (h2)**PROFILBAUFBAU:**

Horizont	Tiefe (cm)	Eigenschaften
Ap	0-25	Sandig lehmiger Schluff, Farbe:2,5YR 6/4 Feinsubpolyedergefüge
Bv	25-45	Sandig lehmiger Schluff, Farbe:2,5YR 6/4 Feinsubpolyedergefüge

Chemische Bodenkenndaten

Tiefe (cm)	pH	CaCO₃(%)	N(%)	Corg(%)	P₂O₅(mg/100g)	K₂O(mg/100g)
0-25	8,1	10,25	0,09	0,74	8,1	6,75



Bild 4: Çankırı 1 /Türkei

5.2. Bodenphysikalische Eigenschaften

In der folgenden Tabelle werden die Anzahl (n) der Parallelen für die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen zusammengestellt.

Tab. 5: Anzahl der Parallelen für die verschiedenen bodenphysikalischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate

Substrate	Korngrößenanalyse		Porengrößen- verteilung	Tauch- Siebung	Perko- lation
	ohne Vorbehandlung	mit Vorbehandlung			
Deutsche Standorte	$\Sigma n=7$	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=18$	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=13$
Schiefer	n=7	n=7	n=5	n=7	n=7
Buntsandstein	-	n=3	n=3	n=3	n=3
Muschelkalk	-	n=3	n=3	n=3	n=3
Löß	-	n=7	n=7	n=7	-
Türkische Standorte	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=6$	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=20$
Eozän	n=9	n=9	n=2	n=9	n=9
Miozän	n=2	n=2	n=2	n=2	n=2
Quartär	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1
Oligo/miozän	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1
Pleistozän	n=5	n=5	-	n=5	n=5
Flysch	n=2	n=2	-	n=2	n=2

5.2.1 Korngrößenverteilung

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

Wird die Bodenart nach Humus- und Carbonaterstörung sowie Dispergierung mit Natriumpyrophosphat bestimmt, sind die Partikel in ihre feinsten Teilchen zerlegt. Der Tongehalt in tonreichen Böden ist dann hoch. Ein dispergierter Boden entspricht aber nicht mehr den natürlichen Verhältnissen. Dies 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. 13 sind die Ergebnisse mit Vorbehandlung dargestellt.

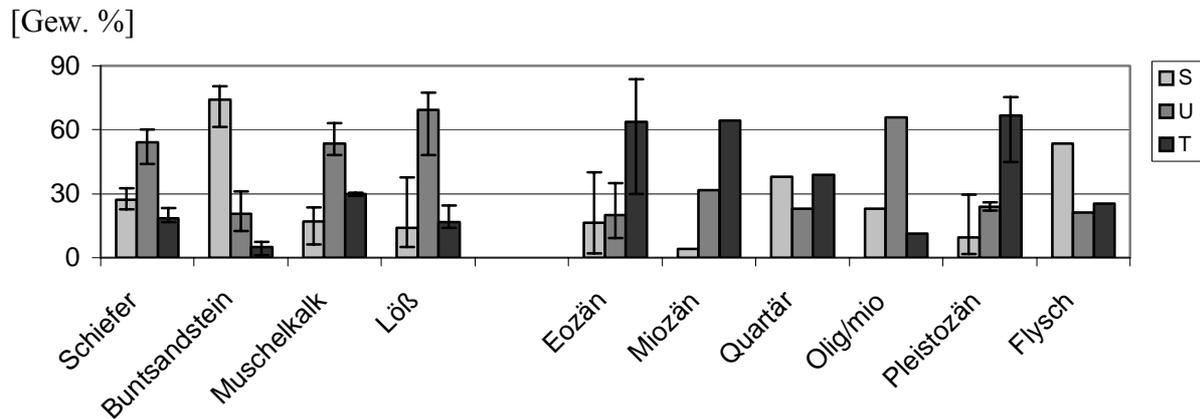


Abb. 13 Korngrößenverteilung in den Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max) (mit Dispergierung, Carbonat und Humuszerstörung)

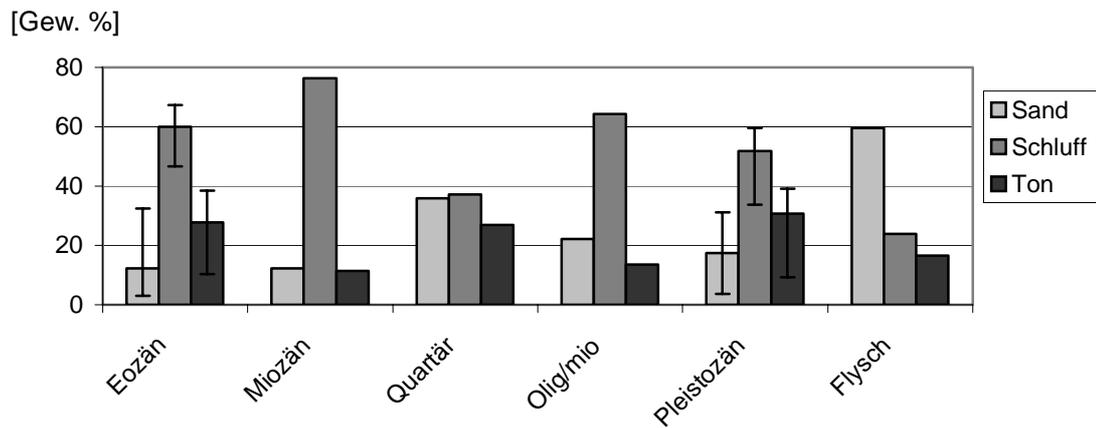


Abb. 14: Korngrößenverteilung in den Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Anatolien ohne Vorbehandlung (ohne Dispergierung, Carbonat und Humuszerstörung) (Mittelwerte, Min und Max)

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.

Da die Korngrößenanalysen der türkischen Böden mit Vorbehandlung von der Feldansprache abweichen, wurden auch Analysen ohne Vorbehandlung vorgenommen. Der Vergleich von Abb. 13 und 14 zeigt, dass die Tongehalte durch den Verzicht auf die Vorbehandlung deutlich niedriger ausfallen und die Schluffgehalte deutlich steigen. 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.

5.2.2 Porenverteilung

5.2.2.1 Gesamtporenvolumen

Für das Erosionsgeschehen ist die Beschaffenheit des Oberbodens wie des Unterbodens gleichermaßen bedeutsam. Der Oberboden muss, um Starkregen aufnehmen zu können, gut strukturiert und durchlässig sein, kontinuierliche Grobporen aufweisen und vor allem resistent gegenüber Verschlammung sein. Der Unterboden muss in der Lage sein, das Sickerwasser aus dem Ap- Horizont in den Hintergrund abzuleiten. Oftmals wird dieser Prozess durch Unterbodenverdichtungen, insbesondere durch Pflugsohlen, gestört. Daher sind zur Beurteilung der Erosionsdisposition sowohl die Oberböden wie die Unterböden feldbodenkundlich und analytisch zu untersuchen. Dies ist für die deutschen Standorte umfassend geschehen.

Die türkischen Standorte konnten aus verschiedenen Gründen nur während kurzer Rundfahrten unter Mithilfe von ortskundigen Kollegen angesprochen und beprobt (überwiegend im Frühjahr 2002) werden. Da die Kapazität für bodenphysikalische Untersuchungen sehr begrenzt war, wurden in den Ap-Horizonten, in denen die bodenphysikalischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Entnahmezeitpunkt, der Kultur und Bearbeitung stark variieren, keine Stechringe entnommen. Vielmehr wurden nur in der zweiten Tiefe, etwa 25-40 cm, Stechringproben entnommen. Im Anhang werden tabellarisch sämtliche verfügbaren bodenphysikalischen Eigenschaften der deutschen und türkischen Böden dargestellt. Nachfolgend werden hingegen die bodenphysikalischen Eigenschaften der deutschen und türkischen Böden im zweiten Horizont (25-40 cm) wiedergegeben

Die Betrachtung der Gesamtporenvolumina in den Anhangtabellen A1-A5 zeigt, dass das Gesamtporenvolumen in den untersuchten deutschen Böden in den Ap- Horizonten deutlich höher ist als in den tieferen Horizonten. Das dürfte in den türkischen Böden ähnlich sein und

entspricht allgemeiner Erfahrung. Verantwortlich hierfür sind vor allem die höheren Humusgehalte und die höhere Aggregatstabilität und vielfach auch die Bearbeitung. Unterschiede zwischen den Substraten sind aber gering. Die Gesamtporenvolumina in den Ap-Horizonten fallen von den Muschelkalkböden über die Schieferböden zu den Buntsandsteinböden ab. Dies ist vor allem mit den entsprechenden Tongehalten zu erklären. Zum Unterboden nehmen die Porenvolumen in allen Böden ab.

In der zweiten Tiefe (unter dem Ap-Horizonte) sind die Porenvolumina der deutschen Böden mit ca. 42% relativ ähnlich (Abb.15). Die Porenvolumina der türkischen Böden liegen mit etwa 50 bis 60 Prozent deutlich darüber.

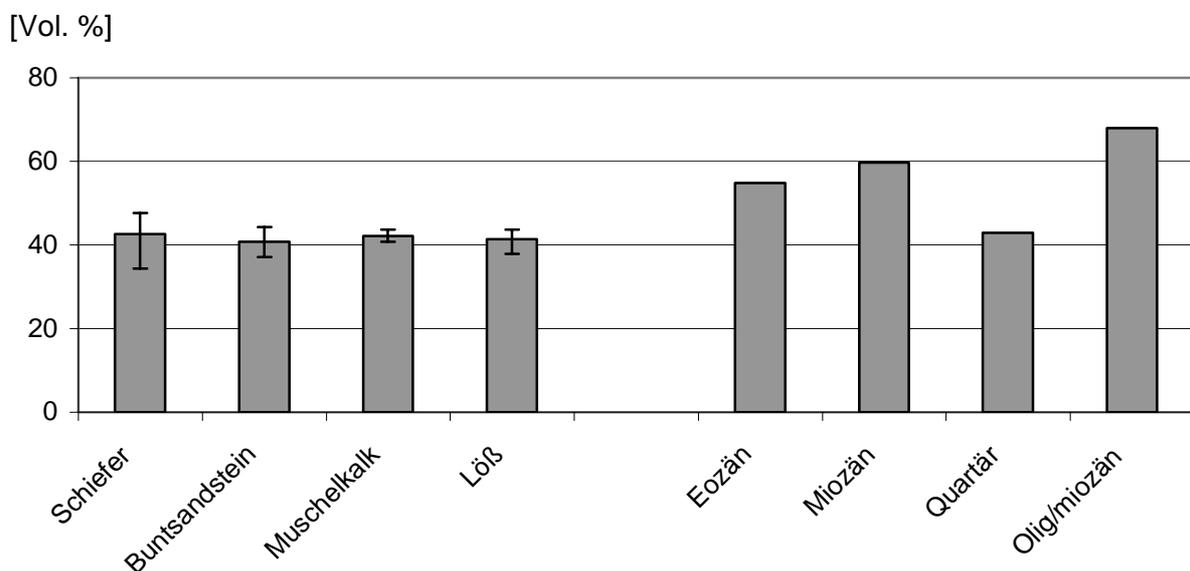


Abb. 15: Gesamtporenvolumina in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.2.2 Grobporen

Die Porengehalte der Poren $> 50 \mu\text{m}$ nehmen ebenfalls von den Ap- Horizonten zu den darunterliegenden deutlich ab. Dies wird insbesondere bei den Böden aus Muschelkalk und Löss sichtbar (Tabelle A1-A5 im Anhang), während die Anteile in Buntsandstein wie Schieferböden sehr hoch sind. In der Tiefe unterhalb der Ap- Horizonte erreichen die Werte in Schiefer -und Buntsandsteinböden sehr hohe Niveaus, in Muschelkalk- und Lössböden niedrigere Niveaus (Abb. 16).

In den türkischen Böden sind sie wegen höherer Tongehalte gering. Die Porenklasse $50-10 \mu\text{m}$ ist in den türkischen Böden aufgrund der langsameren Entwässerbarkeit schwerer Böden etwas stärker vertreten (Abb. 17).

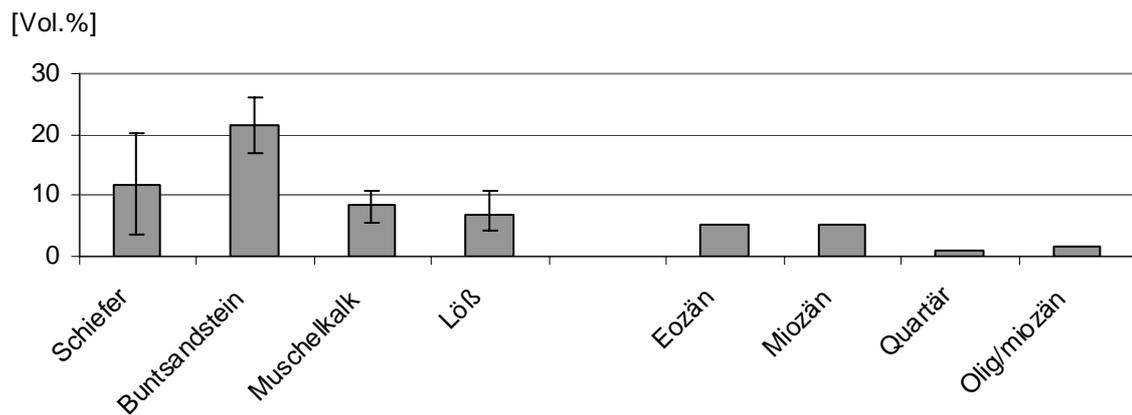


Abb. 16: Poren >50 µm in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

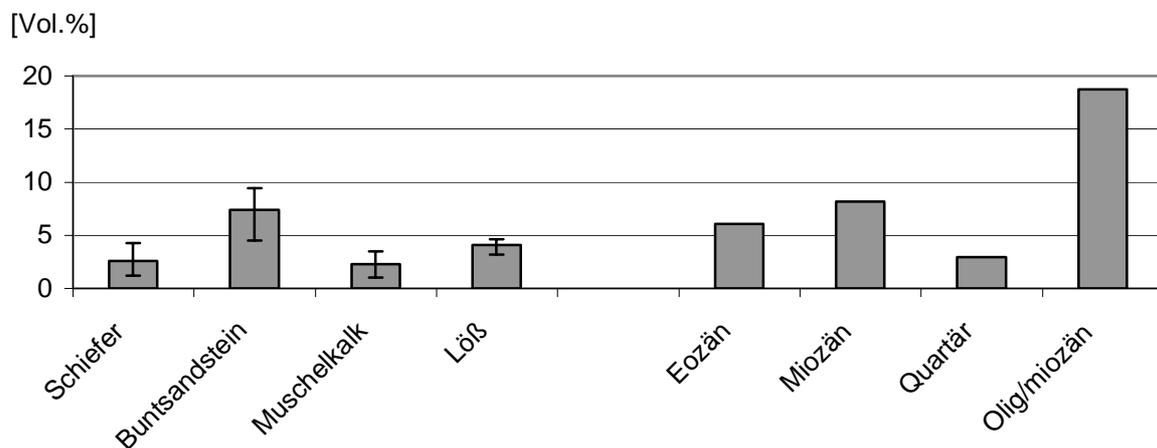


Abb. 17: Poren 50-10 µm in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.2.3 Mittelporen

Auch die Volumina an Poren 10-0,2 µm, haben im Allgemeinen die höchsten Werte im Ap-Horizont (Tabelle A1-A5 im Anhang). In den Böden aus Löss sind sie am höchsten, in denen aus Buntsandstein und Schiefer am niedrigsten.

Unterhalb des Ap- Horizontes (Abb. 18) sind sie in den türkischen Böden deutlich höher als in den deutschen. Auch dies spricht dafür, dass die Böden sich nicht wie extreme Tonböden verhalten. Das absolute Niveau liegt noch über dem der Tonböden und zeigt, dass diese Standorte den Wassermangel im Frühsommer über längere Phasen abpuffern können.

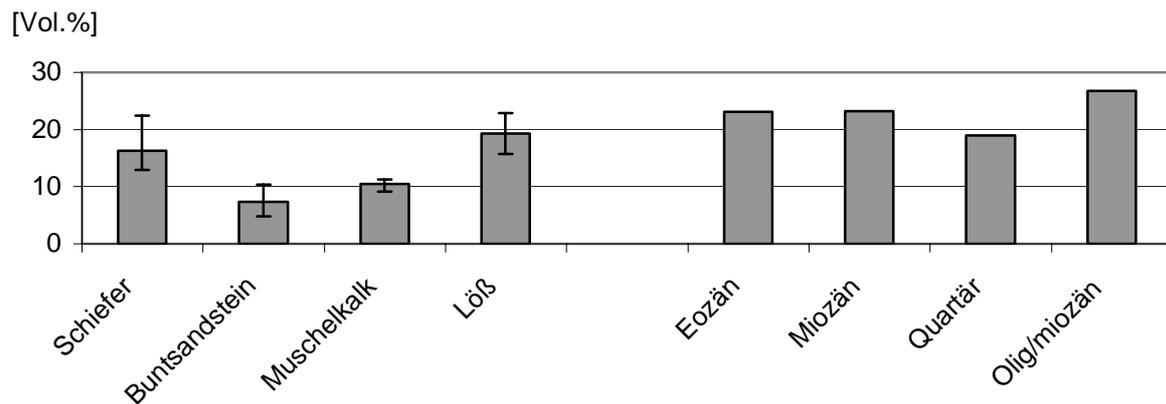


Abb. 18: Poren 10-0,2 μm in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.2.4 Feinporen

Die Poren $<0,2 \mu\text{m}$ korrelieren sehr eng mit dem Tongehalt. Unter den deutschen Böden erreichen sie die höchsten Werte in den Muschelkalkböden und die niedrigsten in den Buntsandsteinböden. Die Unterschiede zwischen Oberböden und Unterböden sind in der Regel nicht gravierend (Tabelle A1- A5 im Anhang).

In der zweiten Tiefe ragen die türkischen Böden wieder mit hohen Werten heraus. Das unterstreicht ihre relativ hohen Tongehalte. Allerdings erreichen sie das Niveau von schluffig tonigen Böden und nicht das von Tonböden. Auch dieser Befund bestätigt nochmals, dass ihre Bodenart der nach Fingerprobe und ohne Vorbehandlung ermittelten Bodenart entspricht und nicht der mit Vorbehandlung.

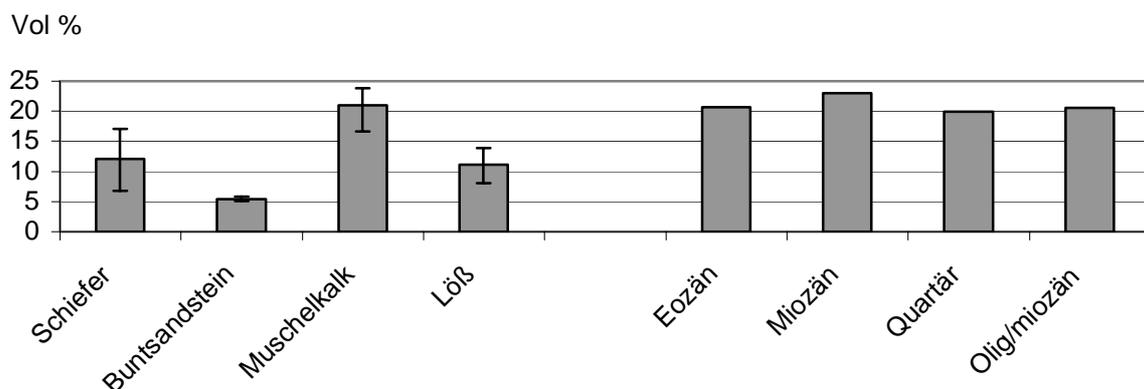


Abb. 19: Poren $<0,2 \mu\text{m}$ in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.3. Permeabilität

Häufig, aber keineswegs regelmäßig sind die ermittelten k_f -Werte im Oberboden höher als in tieferliegenden Horizonten. Oft stören Krumenverdichtungen die Versickerung (Tabelle A1-A5 im Anhang).

Im ganzen aber sind die k_f -Werte der deutschen Böden relativ hoch, mit Ausnahme der Lößböden. 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 (Abb. 20).

Im Großen und Ganzen spiegeln die Werte der Luftdurchlässigkeit die der Wasserdurchlässigkeit wider (Abb. 21).

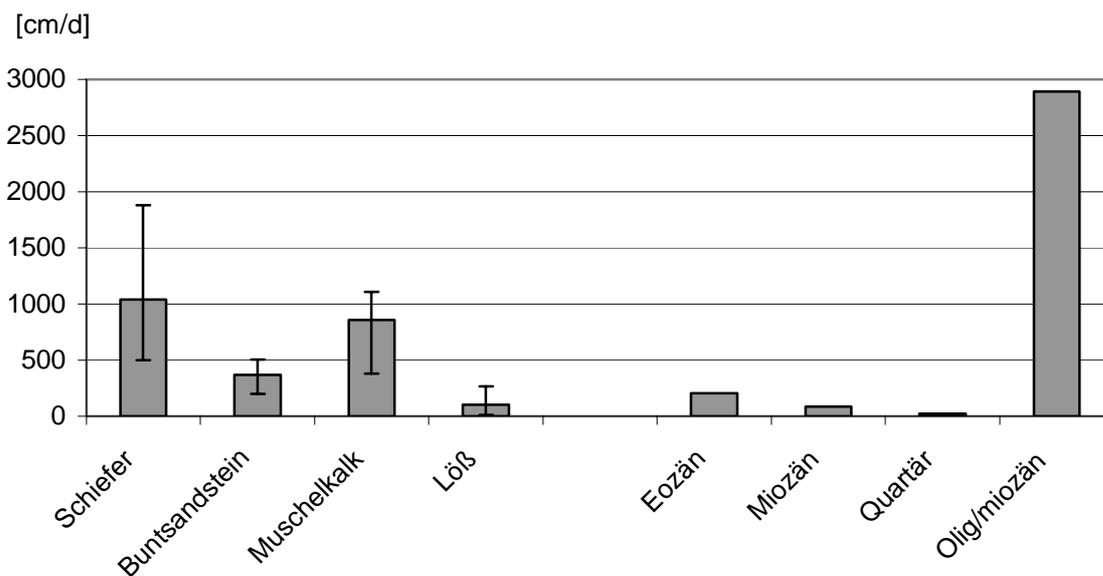


Abb. 20: Gesättigte Wasserdurchlässigkeit in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

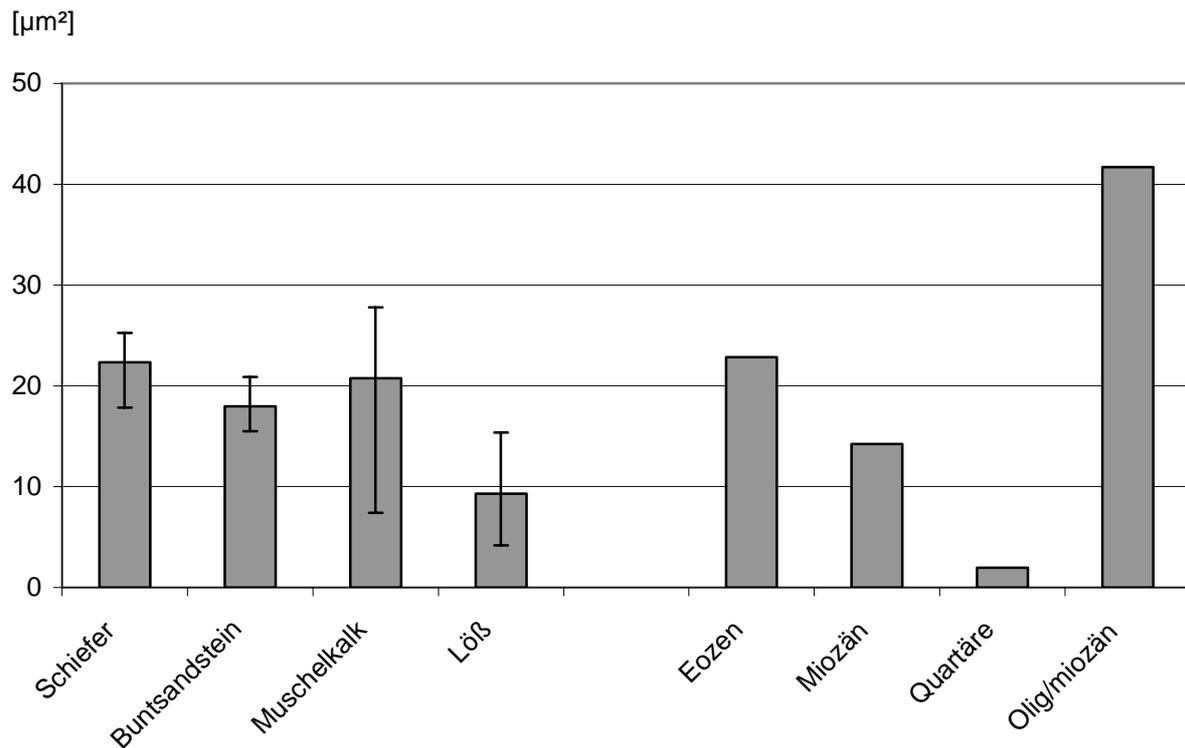


Abb. 21: Luftdurchlässigkeit in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.4. Eindringwiderstand (EW)

Die im Stechring bei 300 mbar Vorentwässerung gemessenen Eindringwiderstände spiegeln die mechanische Festigkeit wider. Sie ist in Oberböden durchweg niedriger als in Unterböden. In den Unterböden ist sie in den türkischen Böden etwas niedriger als in den deutschen. Überall liegt die Festigkeit der Böden in einem mittleren Bereich (Abb. 22).

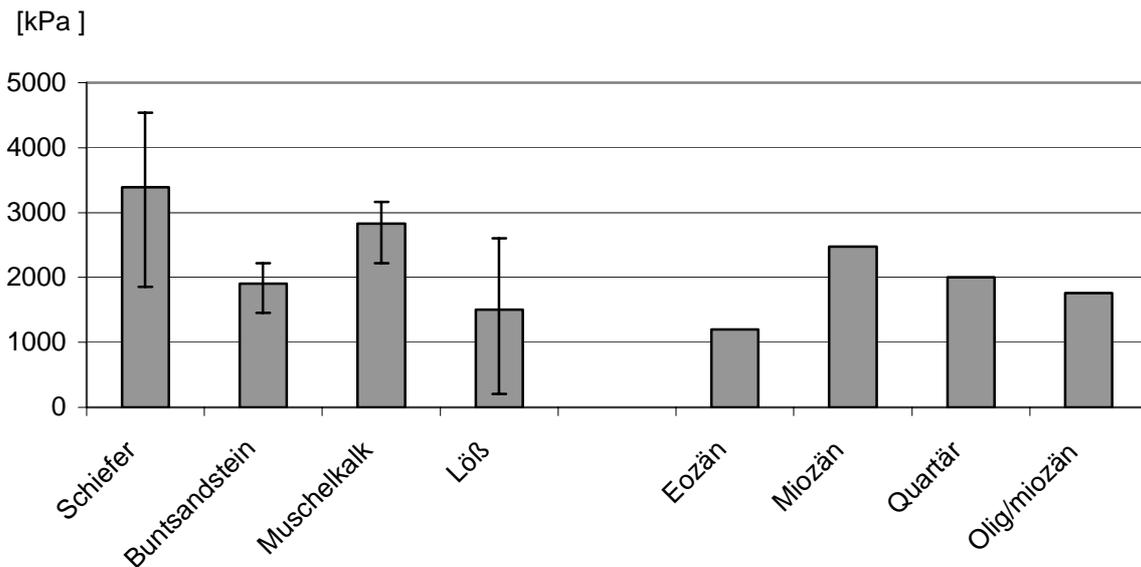


Abb. 22: Eindringwiderstand in 25-40 cm Tiefe der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.2.5. Aggregatstabilität

Das Erosionsgeschehen wird sehr 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 kann mit mehreren indirekten Methoden ermittelt werden. In Abb. 23 sind die Ergebnisse der Tauchsiebung als Veränderung des Anteils der Aggregatgrößenfraktionen dargestellt (ΔGMD). Kleine Veränderungen bedeuten hohe Aggregatstabilität und somit geringe Abtrags- und Verschlammungsneigung. Diese Eigenschaft wurde in den Ap- Horizonten an ungestörten Proben ermittelt.

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 höheren Na-Sättigungen. Unter den deutschen Böden haben erwartungsgemäß die Böden aus Löss aufgrund ihres hohen Schluffgehaltes die geringste Aggregatstabilität.

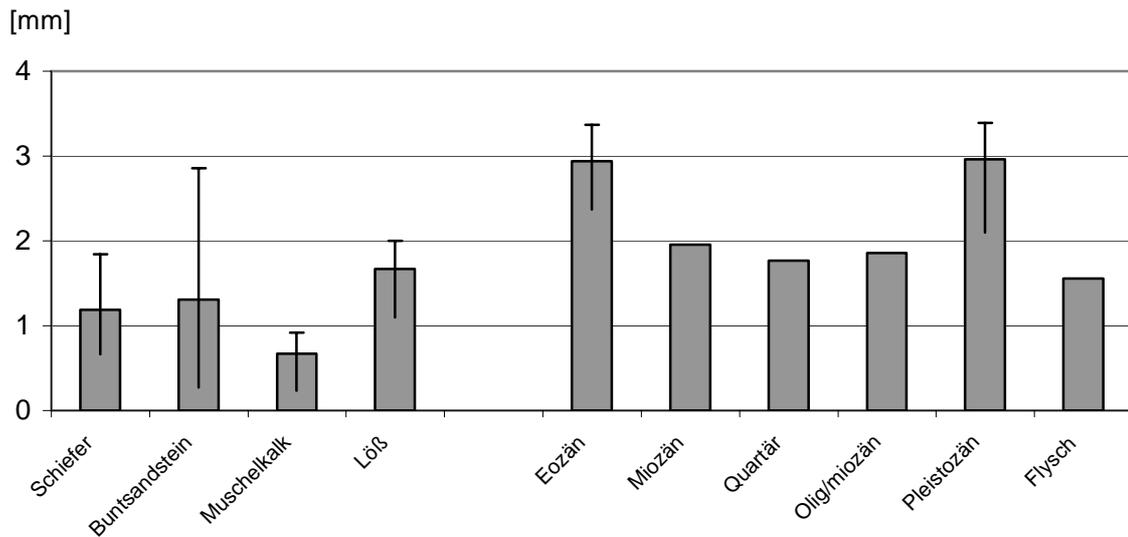


Abb. 23. Aggregatsstabilität in 0-25 cm nach Nasssiegung von Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

Ein weiteres indirektes Maß für die Aggregatstabilität ist die Wasserperkolationsrate. Bei stabilen Aggregaten bleibt die Durchflussrate im Laufe der Perkolationsrate hoch, bei instabilen Aggregaten fällt die Probe zusammen und mindert die Durchflussrate.

Hier bestätigen sich die Befunde der Tauchsiebung. Aufgrund ihrer geringeren Aggregatstabilität haben die türkischen Böden geringere Durchflussraten.

Unter den deutschen Böden hat der Buntsandstein die höchsten Durchflussraten, was größtenteils auf die grobkörnige Textur zurückzuführen ist.

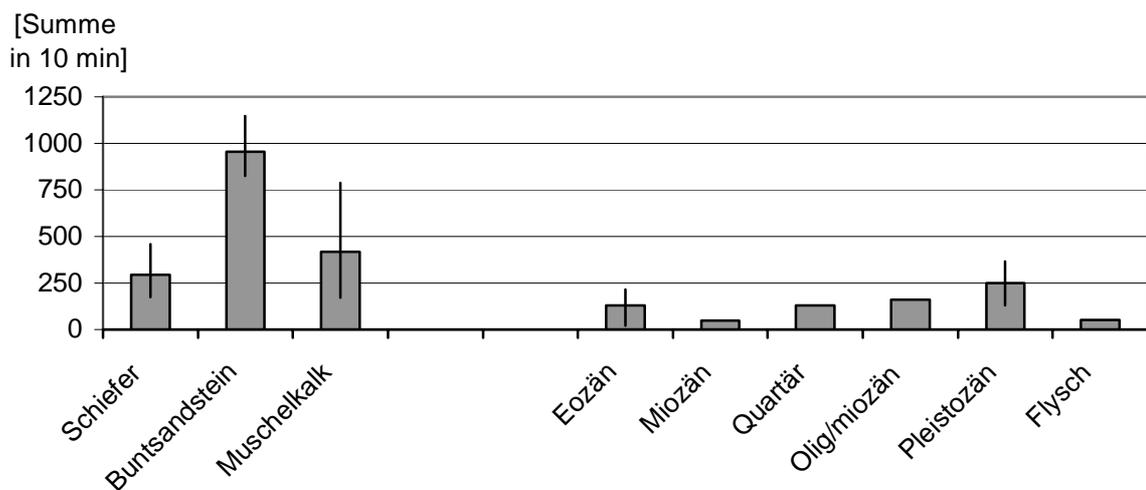


Abb. 24. Mittelwerte für die Aggregatsstabilität nach der Perkolationsmethode in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.3. Bodenchemische Eigenschaften

In der folgenden Tabelle werden die Anzahl (n) der Parallelen für die Ergebnisse der bodenchemischen Untersuchungen zusammengestellt.

Tab. 6: Anzahl der Parallelen für die verschiedenen bodenchemischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate

Substrate	C _{org} -Gehalt	C/N-Verhältnis	C _{hwl}	CaCO ₃ & pH	P- & K-Gehalte
Deutsche Standorte	∑n=24	∑n=20	∑n=13	∑n=24	∑n=20
Schiefer	n=11	n=7	n=3	n=11	n=7
Buntsandstein	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Muschelkalk	n=3	n=3	n=3	n=3	n=3
Löß	n=7	n=7	n=4	n=7	n=7
Türkische Standorte	∑n=20	∑n=20	∑n=6	∑n=20	∑n=20
Eozän	n=9	n=9	n=9	n=9	n=9
Miozän	n=2	n=2	n=2	n=2	n=2
Quartär	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1
Oligo/miozän	n=1	n=1	n=1	n=1	n=1
Pleistozän	n=5	n=5	n=5	n=5	n=5
Flysch	n=2	n=2	n=2	n=2	n=2

5.3.1. Gehalt an organischem C- und Gesamt -N-Gehalte sowie C/N-Verhältnis

Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte sind von der Bodenart, der Nutzung und dem Klima abhängig. Die C-Gehalte steigen mit dem Tongehalt, sind im Steppenklima höher als im Waldklima und bei guter organischer Düngung höher als bei geringer.

Böden mit höheren Humusgehalten besitzen unter sonst gleichen Bedingungen eine geringere Erosionsneigung.

Die C_{org}-Gehalte der deutschen Böden waren mit Ausnahme der Lößböden relativ hoch, die der türkischen Böden insbesondere in Bezug zu den hohen Tongehalten und dem steppenartigen Klima sehr niedrig (Abb. 25). Hierfür kann nur die Nutzung verantwortlich sein.

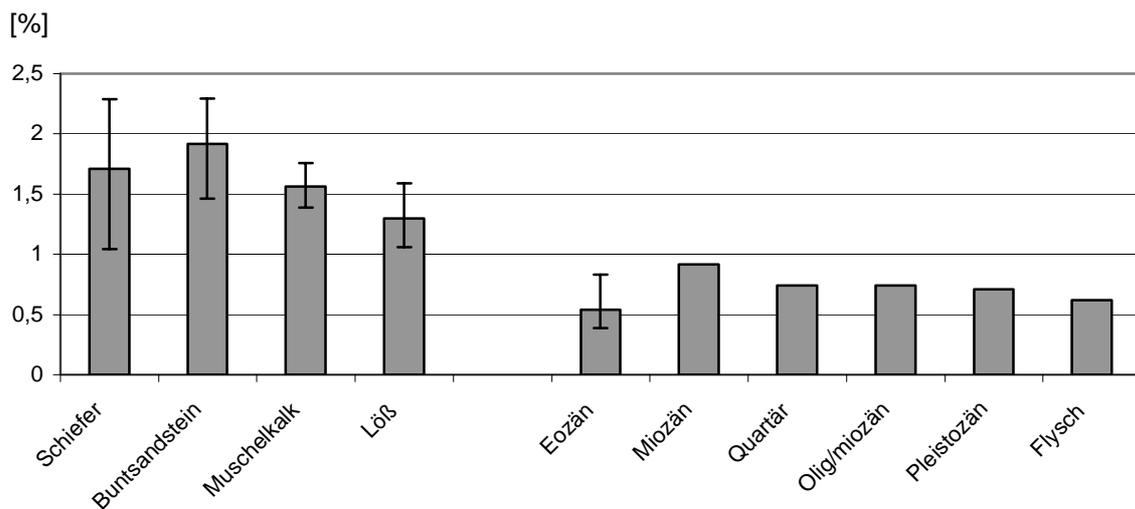


Abb. 25: Organischer Kohlenstoffgehalt in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

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 Strohs verbrannt.

Die C/N Verhältnisse sind in den türkischen Böden aufgrund der niedrigen C-Gehalte im Allgemeinen eng. Ob sich darin aber eine gute Humusqualität oder lediglich ein C-Mangel ausdrückt, kann nicht entschieden werden.

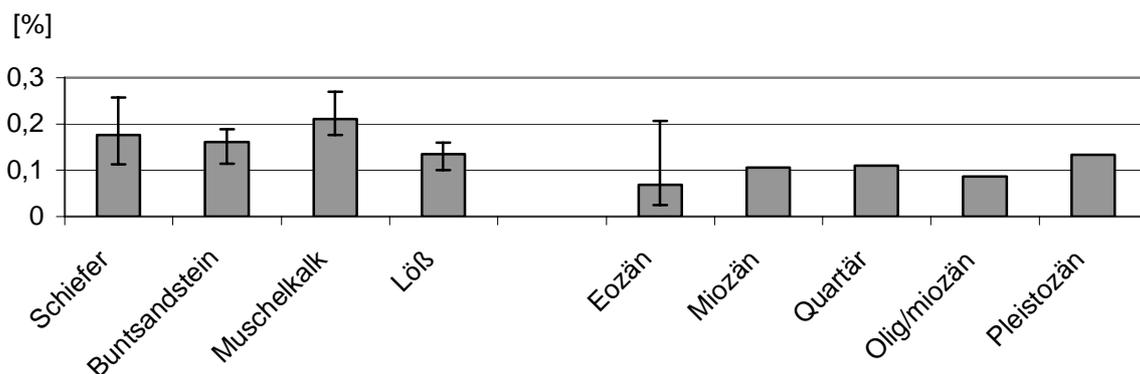


Abb. 26: N-Gehalte in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

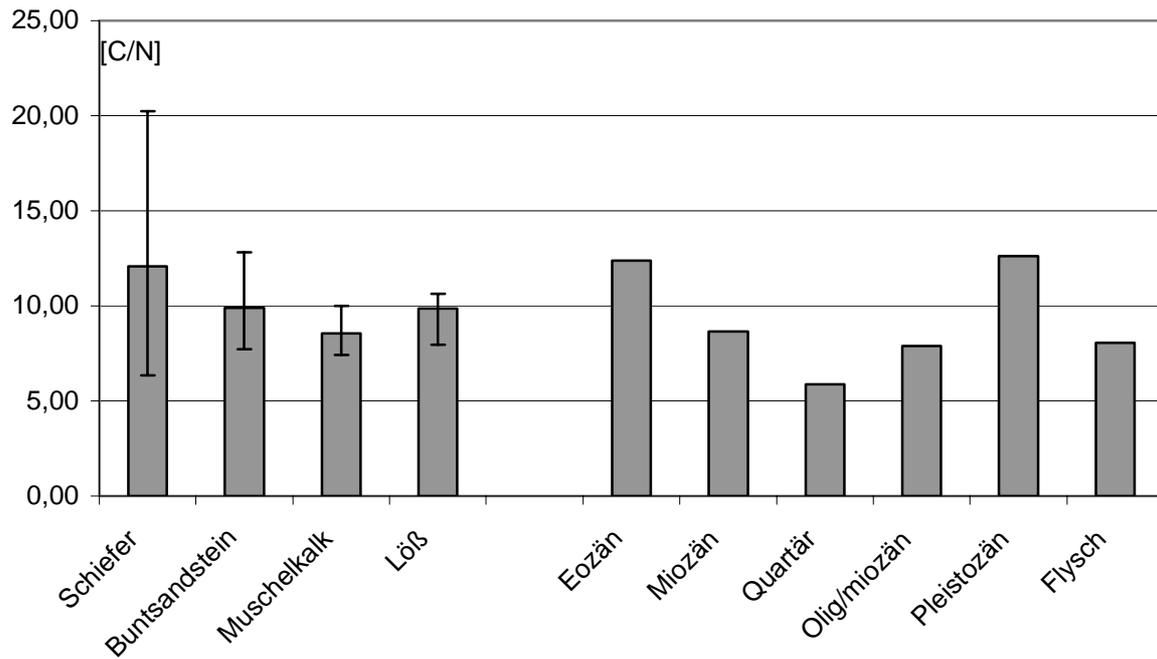


Abb. 27: C/N-Verhältnis in Ap- Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.3.2. Heißwasserlöslicher Kohlenstoff

Unter dem heißwasserlöslichen Kohlenstoff versteht man nach der Definition von KÖRSCHENS et al. (1990) alle leicht verfügbaren Kohlenstoffverbindungen und den mikrobiell gebundenen Kohlenstoff in Böden. Deswegen ist der heißwasserlösliche Kohlenstoff als die am leichtesten lösliche Fraktion der gesamten organischen Substanz anzusehen.

Die absoluten Mengen des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs (Abb. 28) der untersuchten deutschen und türkischen Böden verhielten sich ähnlich wie die Gesamtgehalte an organischer Substanz. Die deutschen Böden aus Muschelkalk zeigten die höchsten Gehalte an heißwasserlöslichem Kohlenstoff. Das Niveau in den türkischen Böden lag deutlich darunter.

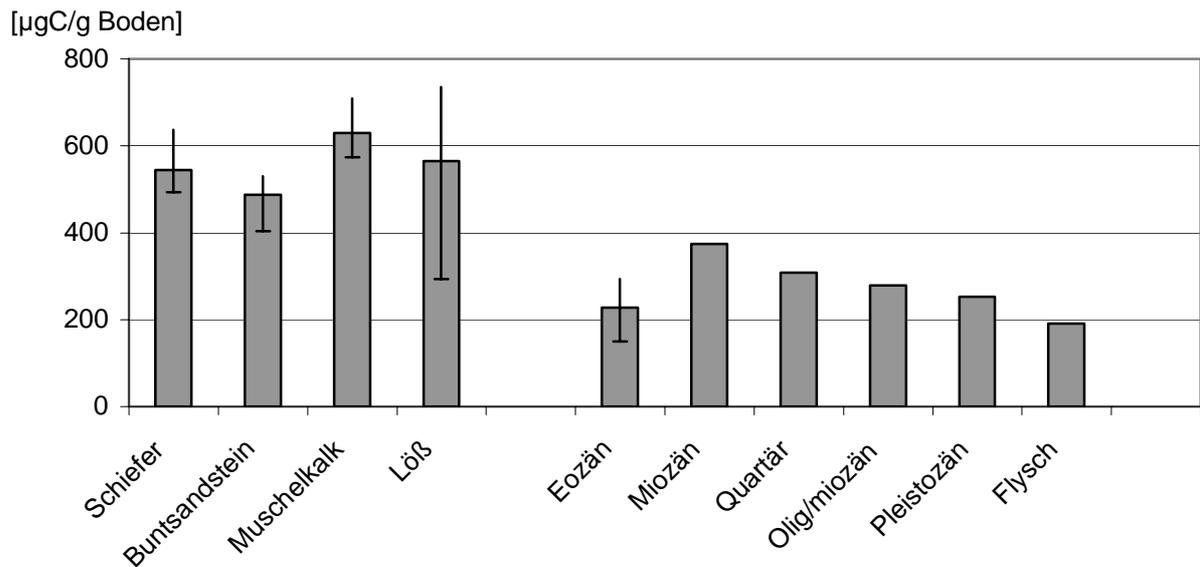


Abb. 28: Heißwasserlöslicher Kohlenstoffgehalt in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.3.3. Carbonatgehalte und pH-Werte

Die deutschen Böden waren bis auf die Muschelkalkböden carbonatfrei und wiesen entsprechende pH-Werte im schwach sauren Bereich (Abb. 29 und 30) auf.

Die türkischen Tonmergelböden waren sämtlich carbonathaltig. Die pH-Werte lagen folglich in am alkalischen Bereich. Die pH-Wert aller Böden lassen also eine gute Aggregation zu. Die hohen Carbonatgehalte türkischer Böden bewirken eine starke Aggregation, so dass ein Großteil der Tonminerale in der Schluffkornfraktionen vorliegt.

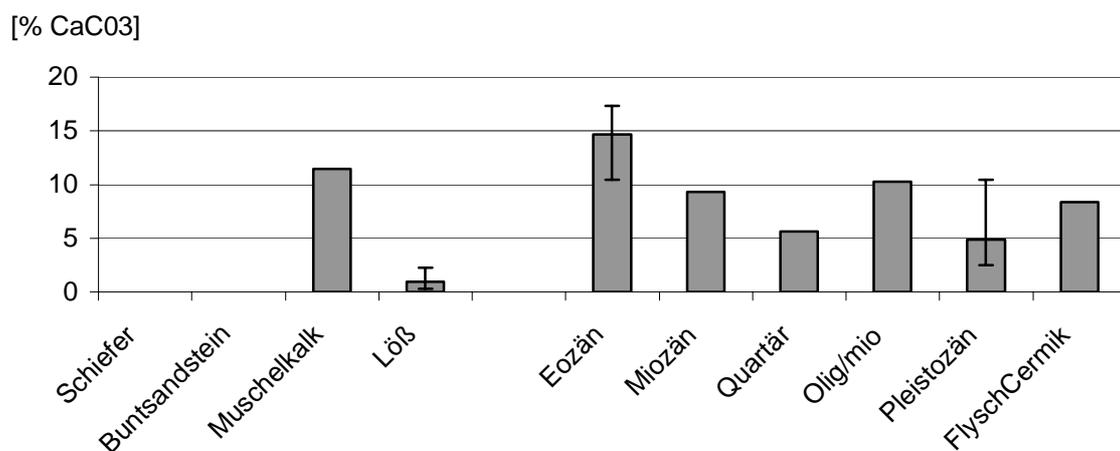


Abb. 29: Carbonatgehalte in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

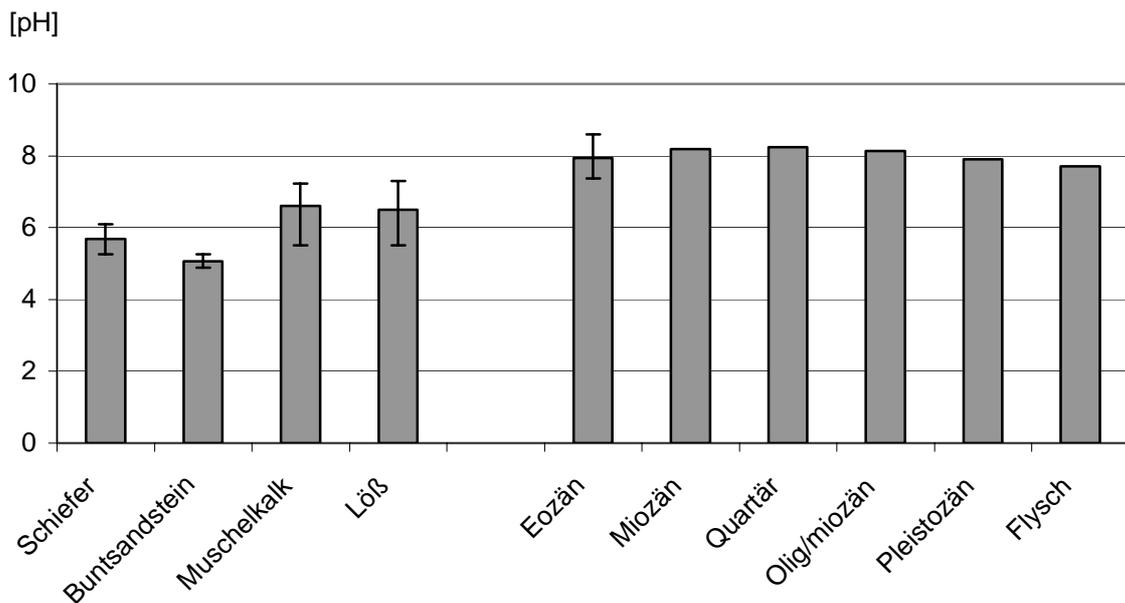


Abb. 30: pH-Werte in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.3.4. P- und K-Gehalte

Die P- und K Gehalte der deutschen Böden lagen im anzustrebenden Bereich guter Versorgung. Die türkischen Böden sind hingegen, insbesondere beim Phosphat, mit Ausnahme der Miozän -und Quartärstandorte unterversorgt (Abb. 31).

Das heißt, dass die Phosphatdüngung erhöht werden muss. Dies käme auch der biologischen Aktivität zugute und würde den Erosionswiderstand erhöhen.

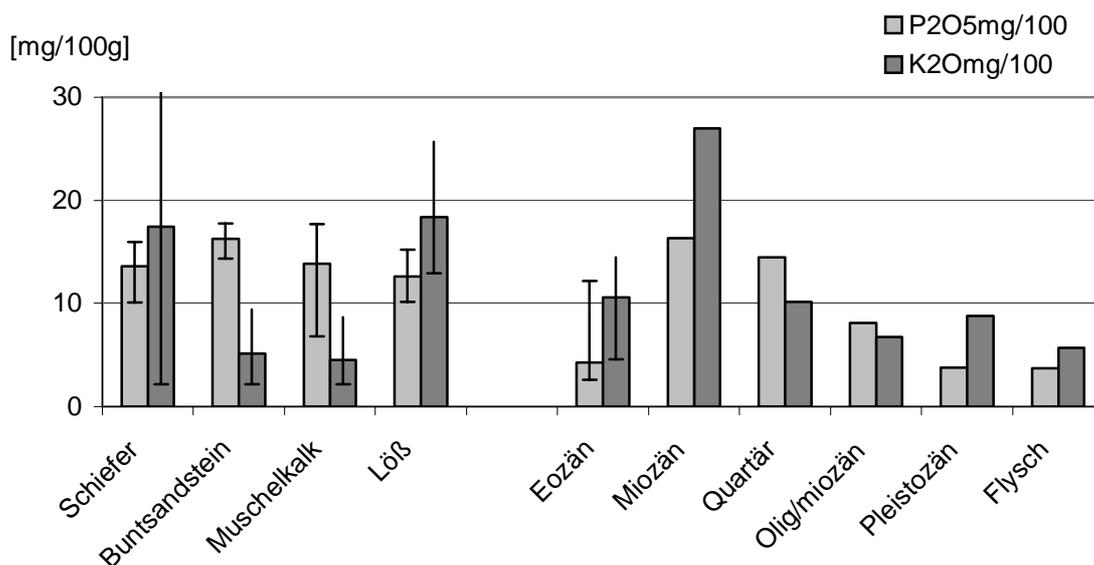


Abb. 31: P- und K- Gehalte in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.3.5. Elektrische Leitfähigkeit

Durch Auerswald et al. (1996) wurde ermittelt, dass hohe Kalium-Versorgung zu hoher Erosionsdisposition führt. In der türkischen Literatur wird darauf verwiesen (ATALAY, 1997), dass erhöhte Salzgehalte die Verschlammung und Dispergierung der Aggregate fördern und damit die Erosion begünstigen. Da die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität und Salzgehalte nicht möglich war, wurde die elektrische Leitfähigkeit ermittelt. In deutschen Böden war sie gering. In türkischen deuteten sich erhöhte Salzgehalte an, die dem trockenen Klima und den marinen Mergeln entsprechen. Insbesondere in den Gipsmergeln des Oligo-Miozäns traten so hohe Werte auf, dass eine Versalzungstendenz bestätigt werden kann. Ob hier und in den übrigen Mergeln besonders hohe Na und Mg-Sättigungen, die zur Dispergierung führen, vorliegen, konnte nicht ermittelt werden.

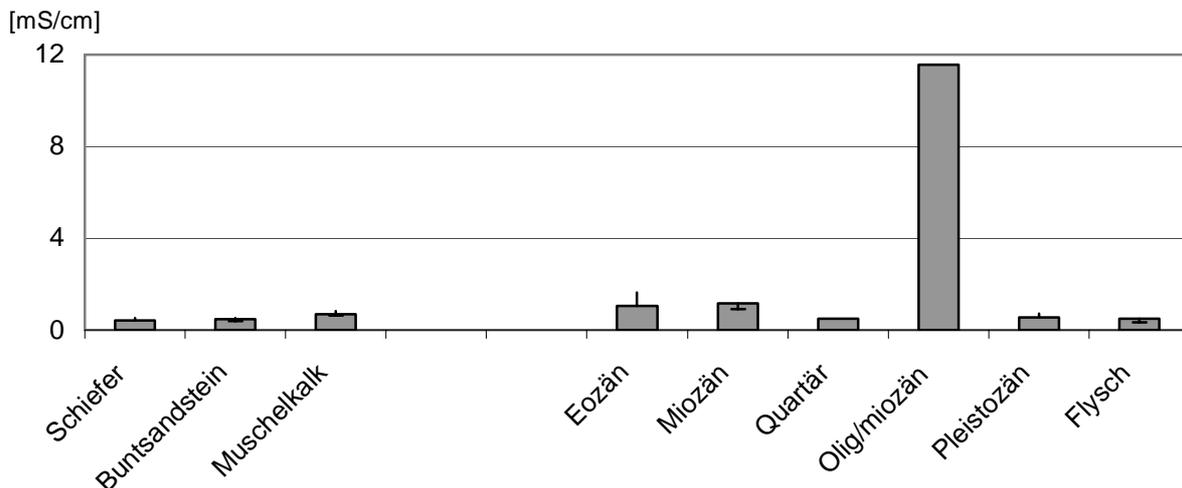


Abb. 32: Elektrische Leitfähigkeit in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.4. Bodenbiologische Eigenschaften

In der folgenden Tabelle werden die Anzahl (n) der Parallelen für die Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen zusammengestellt.

Tab. 7: Anzahl (n) der Parallelen für die verschiedenen bodenbiologischen Eigenschaften der jeweiligen Substrate

Substrate	Mikrobielle Biomasse	Mikrobiologische Aktivität	Cmik –Corg Verhältnis
Deutsche Standorte	$\Sigma n=21$	$\Sigma n=21$	$\Sigma n=21$
Schiefer	n=8	n=8	n=8
Buntsandstein	n=3	n=3	n=3
Muschelkalk	n=3	n=3	n=3
Löß	n=7	n=7	n=7
Türkische Standorte	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=20$	$\Sigma n=15$
Eozän	n=9	n=9	n=4
Miozän	n=2	n=2	n=2
Quartäre	n=1	n=1	n=1
Oligo/miozän	n=1	n=1	n=1
Pleistozän	n=5	n=5	n=5
Flysch	n=2	n=2	n=2

5.4.1. Mikrobielle Biomasse

Die Stabilität von Bodenaggregaten ist auch von der bodenbiologischen Aktivität abhängig, denn Bodenorganismen stabilisieren durch Schleimstoffe und Pilzhyphen die Aggregate. Daher wurde auch untersucht, wie hoch die Werte der biologischen Aktivität sind und wie sie mit anderen Eigenschaften korrelieren.

In Abb. 33 sind die Werte der mikrobiellen Biomasse dargestellt.

Unter den deutschen Böden wiesen die Schieferböden die höchsten Werte auf.

Die niedrigsten Werte fanden sich in sandigen Böden aus Buntsandstein. Böden aus Muschelkalk und Löß erreichten ein mittleres Niveau, wie bei türkischen Böden aus Eozän.

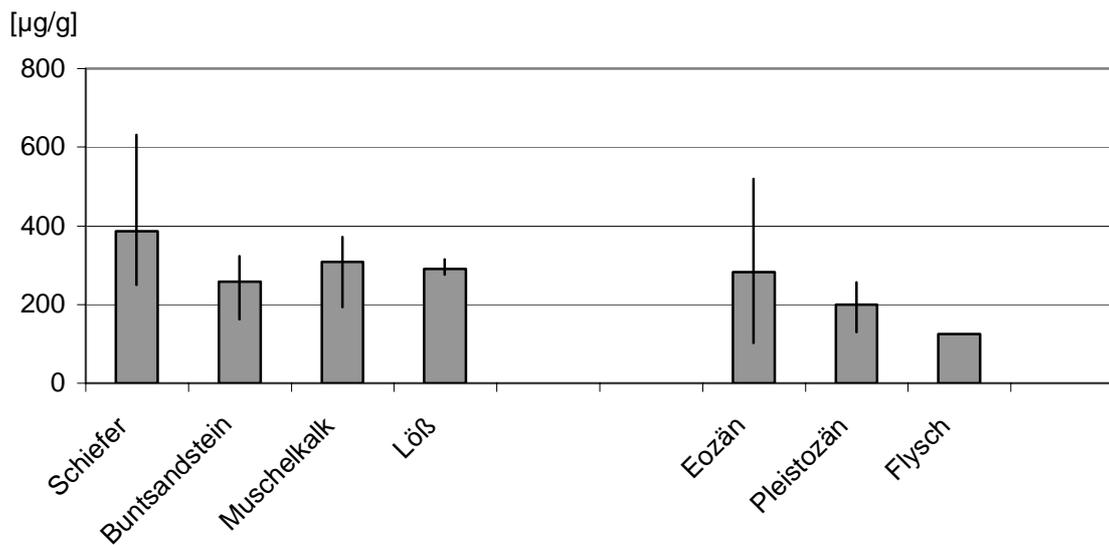


Abb. 33: Cmik –Gehalte in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.4.2. Mikrobiologische Aktivität

Die Werte für die Basalatmung waren insgesamt ausgeglichen und zeichneten die Tendenz der mikrobiellen Biomasse nach. Die tonreichen deutschen und türkischen Böden erreichten die höchsten Werte. Dies kann teilweise damit begründet werden, dass durch die Bodenzerkleinerung Oberflächen geschaffen werden, die zuvor für die Umsetzung von organischer Masse nicht zugänglich waren.

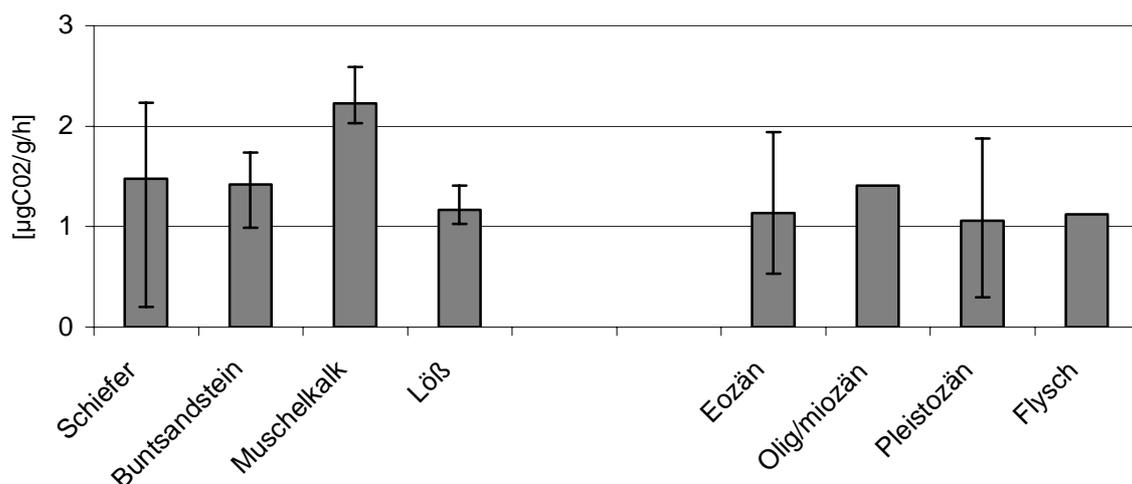


Abb. 34: Basalatmung in Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Anatolien (Mittelwerte, Min und Max)

Das Niveau lag für die türkischen Böden etwas niedriger als für die deutschen, weil sie weniger Kohlenstoff enthalten, also auch weniger für die Atmung zur Verfügung steht. Und auch der jährliche Abbau an organischer Substanz ist wegen der niedrigen Erträge geringer.

5.4.3 Cmik–Corg Verhältnis

Mit dem Bezug des mikrobiellen Kohlenstoffs auf den organischen Kohlenstoff wird ausgedrückt, wie hoch der aktive, gut umsetzbare Anteil des Kohlenstoffes ist. Es zeigte sich, dass in den türkischen und deutschen Böden ein ähnliches Niveau besteht.

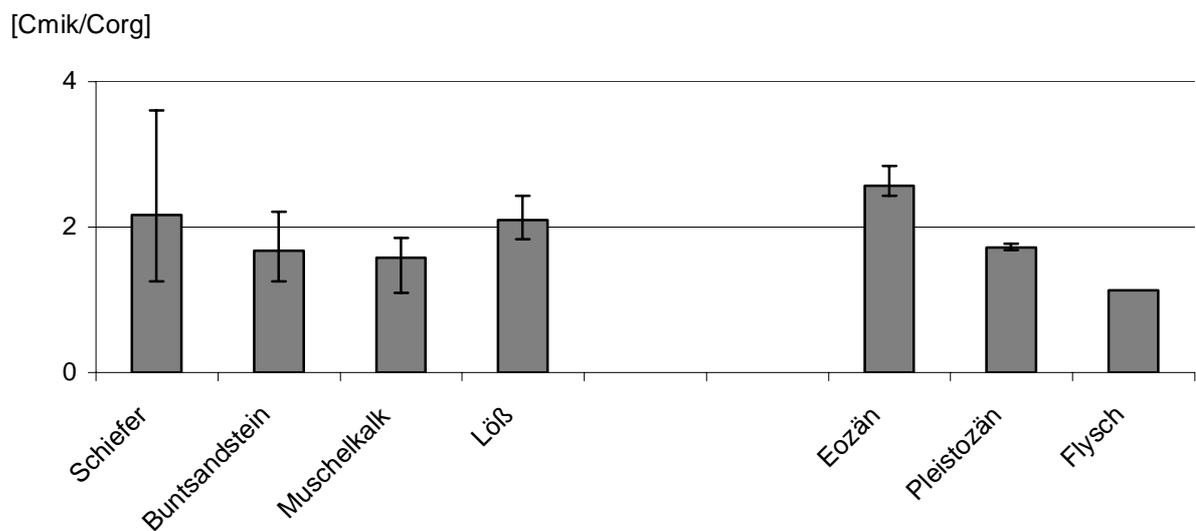


Abb. 35: Cmik-Corg Verhältnis in den Ap-Horizonten (0-25 cm) der Böden aus Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien (Mittelwerte, Min und Max)

5.5 Beurteilung der Erodibilität

5.5.1. Die Erodierbarkeit der Böden (K-Faktor)

Um die Erodibilität der deutschen und türkischen Böden zu bestimmen, wurden zunächst die für den K-Faktor (Bodenerodierbarkeitsfaktor) entscheidenden Bodeneigenschaften ermittelt. In der Tab. 8 werden diese Eigenschaften dargestellt. Die Tab. 8 zeigt, dass der K-Faktor ein Verhältniswert ist und die Gesamtwirksamkeit der Bodeneigenschaften repräsentiert.

Tab. 8: 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 n=7	52	77	3980	3,15	6	3	0,288
Buntsandstein n=3	31	81	2540	2,81	6	4	0,214
Muschelkalk n=3	58	55	3215	3,04	6	3	0,224
Löß n=7	70	73	5082	2,3	4	4	0,537
Böden aus Mittelanatolien							
Eozän n=2	63	66	4158	0,82	5	5	0,424
Miozän n=2	81	79	6414	1,57	3	3	0,708
Quarter n=1	40	71	2805	1,3	3	3	0,329
Oligo/miozän n=1	67	82	5471	1,3	3	3	0,703

Nach der Formel nach SCHWERTMANN et al. (1987)

$$K=2,77*10^{-6}*M^{1,14}*(12-OS)+0,043*(A-2)+0,033(4-D)$$

$$M=(\% \text{ Schluff} + \text{ Feinstsand}) * (\% \text{ Schluff} + \% \text{ Sand (ohne Feinstsand)})$$

OS= % organische Substanz

A= Aggregatklasse

D= Durchlässigkeitsklasse

Aus der oben beschriebenen Gleichung ist zu ersehen, dass ein Boden umso erosionsanfälliger ist;

- je höher Gehalt an Schluff und Feinstsand sind
- je geringer der Ton-Gehalt T ist
- je geringer der Gehalt an organische Substanz OS ist
- je größer die Aggregatklasse A ist
- je geringer die Durchlässigkeit D ist.

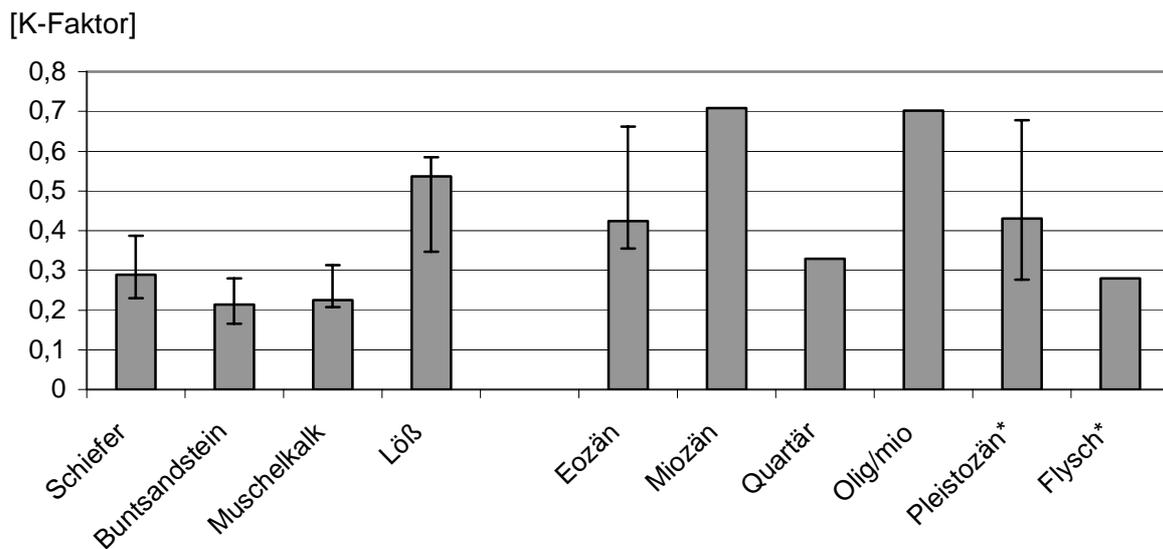


Abb. 36: K-Faktor in Ap-Horizonten der Böden aus Rheinland-Pfalz (mit Vorbehandlung) und Mittelanatolien (ohne Vorbehandlung, Dispergierung und Carbonatzerstörung) (Mittelwerte, Min und Max) (K- Vorwert *anhand der Schluff -und Feinstsandgehalte, Sandgehalte und organischer Substanz aus dem Nomogram nach Schwertmann et al., 1987 abgelesen).

Vergleicht man daraufhin die Rheinland-Pfälzische und die Mittelanatolische Böden so zeigt sich, dass die Mittelanatolische 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.

In Abb. 36 sind die K-Werte graphisch dargestellt. Es zeigt sich, dass mit Ausnahme der Lößstandorte alle Anatolischen Böden höhere K-Werte haben als die Rheinland-Pfälzischer Böden.

5.5.2. Schätzverfahren zur Erosivität (ABAG)

Um den potentiellen mittleren jährlichen Bodenabtrag ($t/ha \cdot a$) der deutschen und türkischen Böden zu berechnen, wurden zunächst die für die ABAG (allgemeine Bodenabtragungsgleichung) entscheidenden Faktoren ermittelt. In der Tabelle 9 und 10 werden diese Faktoren dargestellt.

Hierbei wurde der **R-Faktor** für die jeweiligen deutschen Standorte (Trier und Köln) nach SCHWERTMANN et al. (1987) aus den Sommer-Niederschlägen von 1. Mai –31. Oktober (MÜLLER, 1983) mit Hilfe der folgenden Formel berechnet:

$R=0,141 \cdot N_s - 1,48 = 54,6$ (N_s = Sommer Niederschläge von 1. Mai –31. Oktober)

$R=0,141 \cdot 398 - 1,48 = 54,6$ (Trier für Schiefer-, Buntsandstein-, Muschelkalkböden)

$R=0,141 \cdot 408 - 1,48 = 56,1$ (Köln für Lößböden).

Der **R-Faktor** und **C-Faktor** für die türkischen Standorte wurde von DOĞAN (1987) übernommen.

LS-Faktor wurde für 8°Neigung und 20 m Hanglänge bzw. 16°-100m standardisiert und vom LS-Nomogram (SCHWERTMANN et al. 1987) abgelesen.

Der **C-Faktor** für die deutschen Böden wurde nach SCHWERTMANN et al. (1987) für Winterweizen mit 0,100 übernommen.

Der P-Faktor wurde mit 1 angesetzt (SCHWERTMANN et al. 1987).

Der K-Faktor wurde wie in Kap.5.5.1 dargestellt, für die jeweiligen deutschen und türkischen Böden ermittelt.

Aus Tab. 9 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. Der LS- Faktor konnte nicht gebietstypisch ermittelt werden, sondern wurde standardisiert. Die S-Faktoren unterscheiden sich wesentlich. Im 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 geschützte Bracheanteil beträgt etwa 20 %. 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 dieser Konstellation ergibt sich für die Rheinland-Pfälzische Standorte ein relativ geringer Abtrag vom wenigen Tonnen je ha und Jahr (Abb. 37). Für einige mittelanatolische Standorte werden aber höhere Abträge errechnet.

Diese Ergebnisse stimmen mit Geländebefunden gut überein.

Tab. 9: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=20 m; S=8°)

	R-Faktor	K-Faktor	LS-Faktor (8%, 20m)	C-Faktor	P-Faktor	ABAG (t/ha*a)
Schiefer n=7	54,6	0,33	0,8	0,1	1	1,4
Buntsandstein n=3	54,6	0,23	0,8	0,1	1	1
Muschelkalk n=3	54,6	0,25	0,8	0,1	1	1,1
Löß n=7	56,1	0,52	0,8	0,1	1	2,3
Deutschland n=20						
Eozän n=2	40,7	0,48	0,8	0,24	1	3,8
Miozän n=2	40,7	0,7	0,8	0,24	1	5,5
Quartär n=1	27,7	0,33	0,8	0,24	1	1,8
Oligo/miozän n=1	27,7	0,54	0,8	0,24	1	2,9
Pleistozän n=5	27,3	0,4	0,8	0,24	1	2,1
Flysch n=2	27,3	0,28	0,8	0,24	1	1,5
Türkei n=11						

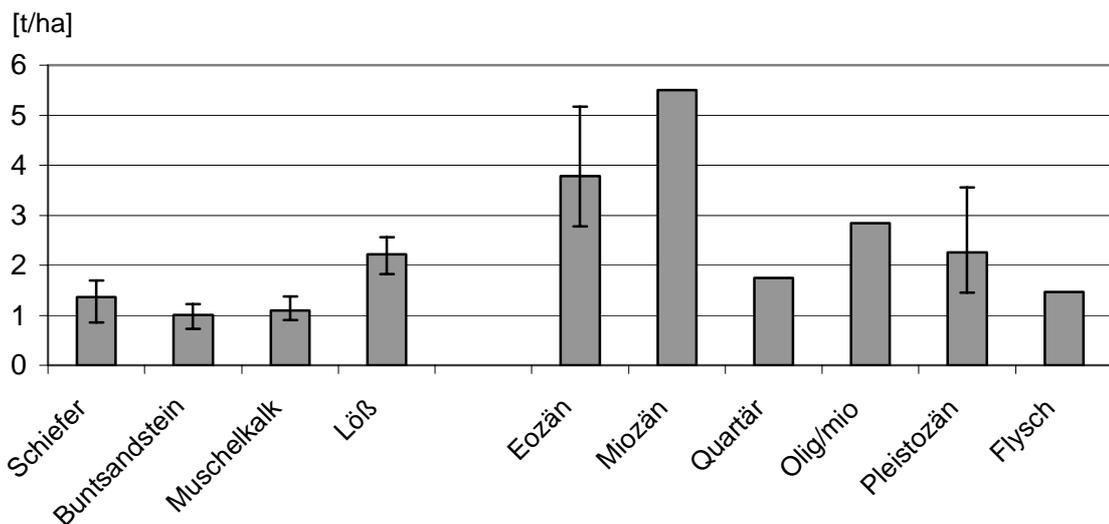


Abb. 37: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=20 m; S=8°) (Mittelwerte, Min und Max)

Legt man für den LS-Faktor jedoch eine Hanglänge von 100 m (was den Gegebenheiten nahe kommt) zugrunde und für die Hangneigung 16° (nicht sehr verbreitet) dann steigt der LS-

Faktor auf 5 an und der Abtrag nimmt um ein Vielfaches zu. Er erreicht dann in Rheinland-Pfalz und Mittelanatolien nicht tolerierbare Werte (Tab.10, Abb. 38).

Tab. 10: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag 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	0,3	5	0,1	1	8,2
Buntsandstein n=3	54,6	0,2	5	0,1	1	5,46
Muschelkalk n=3	54,6	0,3	5	0,1	1	8,49
Löß n=7	56,1	0,5	5	0,1	1	14,03
Deutschland n=20						
Eozän n=2	40,7	0,5	5	0,24	1	20,35
Miozän n=2	40,7	0,7	5	0,24	1	28,49
Quartär n=1	27,7	0,3	5	0,24	1	8,31
Oligo/miozän n=1	27,7	0,5	5	0,24	1	13,85
Pleistozän n=5	27,3	0,4	5	0,24	1	13
Flysch n=2	27,3	0,28	5	0,24	1	9,17
Türkei n=11						

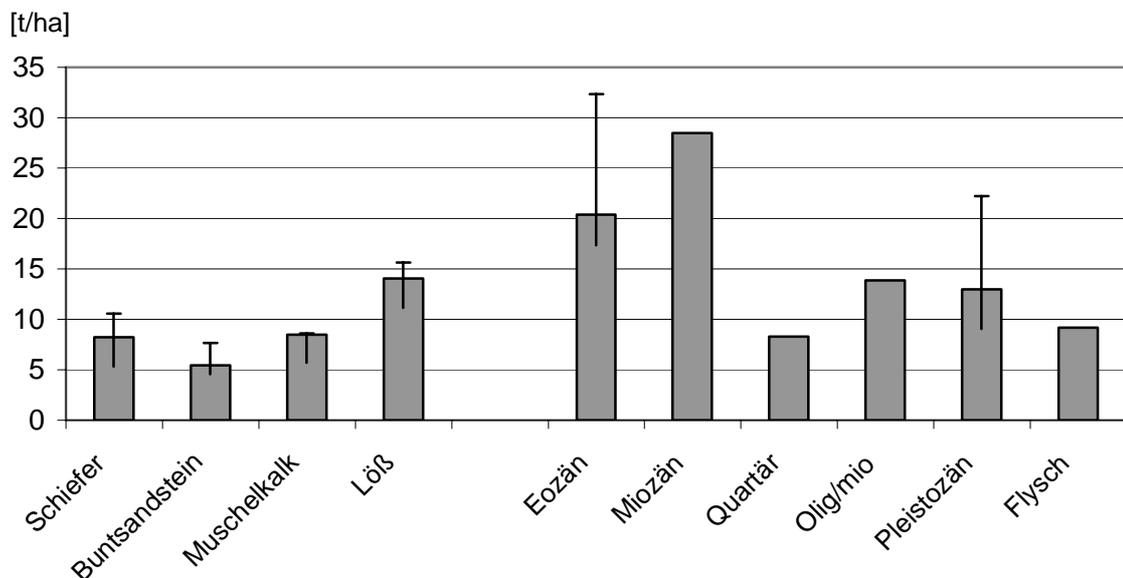


Abb. 38: Potentieller mittlerer jährlicher Bodenabtrag der deutschen und türkischen Böden nach ABAG (L=100; S=16°) (Mittelwerte, Min und Max)

6. Diskussion

6.1 Vergleichende Betrachtung der Eigenschaften deutscher und türkischer Böden

In dieser Arbeit wurde durch bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter deutscher und türkischer Böden aus verschiedenen Substraten das Ausmaß des potenziellen Bodenabtrages ermittelt. Die Untersuchungen haben gezeigt, wie die deutschen Standorte aus Schiefer, Buntsandstein, Muschelkalk und Löß sich von den türkischen Böden aus tertiären Mergeln unterscheiden.

Anhand der bodenphysikalischen, -chemischen sowie -biologischen Daten konnte gezeigt werden, dass die potenzielle Bodenerosion der untersuchten türkischen Standorte größer ist, als die der deutschen.

6.1.1 Bewertung der bodenphysikalischen Eigenschaften der deutschen und türkischen Böden

Korngrößenverteilung

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. Da die Ergebnisse der Korngrößenanalysen der türkischen Böden von der Feldansprache abwichen, wurde die Korngrößenanalyse mit Vorbehandlung (Dispergierung, Carbonat- und Humuszerstörung) nach HARTGE & HORN (1989) und SCHLICHTING & BLUME (1966), sowie ohne Vorbehandlung (lediglich Ultraschallbad und Schüttlung) durchgeführt (SCHMIDT 1996). Der Vergleich von Abb. 13 -und 14 in Kap. 6.2.1 zeigt den Unterschied der Korngrößenzusammensetzung zwischen diesen beiden Analysen. 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 (1996) verwendet 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 (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. MÜLLER (2002) hatte für die Braunerden des Moselhunsrücks mit hohem Schieferanteil einen Unterschied in der Tonfraktion von durchschnittlich 300 % gemessen. Ähnlich groß war auch der Unterschied bei den türkischen Böden in dieser Arbeit.

Porenverteilung

Für das Erosionsgeschehen ist die Beschaffenheit des Oberbodens ebenso bedeutsam, wie die des Unterbodens. Der Oberboden muss, um Starkregen aufnehmen zu können, gut strukturiert und durchlässig sein, kontinuierliche Grobporen aufzuweisen und vor allem resistent gegen Verschlammung sein. Der Unterboden muss in der Lage sein, das Sickerwasser aus dem Ap-Horizont in den Hintergrund abzuleiten. Oftmals wird dieser Prozess durch Unterbodenverdichtungen, insbesondere in den Pflugsohlen, gestört (vgl. FRICK et al. 2000).

In der zweiten Tiefe (unter dem Ap-Horizont) sind die **Gesamtporenvolumen** der deutschen Böden mit ca. 42% relativ ähnlich. Die Porenvolumina der türkischen Böden liegen mit etwa 50 bis 60 Prozent deutlich darüber.

In den türkischen Böden sind aber die Volumina an **Grobporen** wegen höherer Tongehalte gering. Dies führt selbst in dem Trockengebiet gelegentlich zu Infiltrationshemmungen. Durch eine bessere Bewirtschaftung (mehr organische Düngung, keine Brache, keine Strohverbrennung) wäre eine Erhöhung erreichbar und erforderlich, denn bei Starkregen kann dieser Horizont keine großen Niederschlagsmengen in den Unterboden leiten.

Der Anteil an **Mittelporen** ist in den türkischen Böden deutlich höher als in den deutschen. Auch dies spricht dafür, dass die Böden sich nicht wie extreme Tonböden verhalten. Das absolute Niveau liegt über dem der Tonböden und zeigt, dass diese Standorte den Wassermangel im Frühsommer über längere Phasen abpuffern können.

Die **Feinporen** korrelieren sehr eng mit dem Tongehalt. Unter den deutschen Böden erreichen sie die höchsten Werte in den Muschelkalkböden und die niedrigsten in den Bundsandsteinböden. In der zweiten Tiefe ragen die türkischen Böden wieder mit hohen Werten heraus. Das unterstreicht ihre relativ hohen Tongehalte. Allerdings erreichen sie das Niveau von schluffig tonigen Böden und nicht das von Tonböden. Auch dieser Befund bestätigt nochmals, dass ihre Bodenart der nach

Fingerprobe und ohne Vorbehandlung ermittelten Bodenart entspricht und nicht der mit Vorbehandlung.

Permeabilität

Insgesamt gesehen sind die Kf-Werte der deutschen Böden relativ hoch, mit Ausnahme der Lößböden. 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, wegen ihrer hohen Sandgehalte, eine hohe Permeabilität. Im Großen und Ganzen spiegeln die Werte der Luftdurchlässigkeit die der Wasserdurchlässigkeit wider.

Bei den türkischen Böden kann wegen schlechter Luftdurchlässigkeit weniger Wasser versickern.

Aggregatstabilität

Die **Aggregatstabilität** in den deutschen Böden ist höher als in den türkischen. Hier ist der geringe Humusgehalt türkischer Böden verantwortlich; möglicherweise auch eine starke Dispergierungsneigung aufgrund von höheren Na-Sättigungen. Unter den deutschen Böden haben erwartungsgemäß die Böden aus Löß aufgrund ihres hohen Schluffgehaltes die geringste Aggregatstabilität.

Die niedrigere **Aggregatstabilität** bei türkischen Böden ist als Folge der geringeren Gehalte an organischer Substanz (OS zwischen 0,7 und 1,7) anzusehen. Die deutschen Böden haben dagegen ca. doppelt so hohe Gehalte an organischer Substanz mit Werten zwischen 2 und 4 %. Dies ist für die Ermittlung des K-Faktors -und der ABAG-Berechnung sehr entscheidend.

Die Untersuchungen von BORNEMANN und AHRENS (1994) in der Türkei haben gezeigt, dass die Aggregatstabilität der Oberkrume mit den mikrobiologischen und chemischen Parametern parallel verläuft, was in dieser Arbeit auch bestätigt wurde. Die Aggregatstabilität wird durch die mikrobiologische Aktivität und den Humusgehalt bedingt. Die Autoren (BORNEMANN und AHRENS, 1994) betonen, dass nichtwendende Bearbeitungsverfahren und Bewuchs im Vergleich zu Brache erosionsmindernd wirken.

Insgesamt bringen die Befunde zum Ausdruck, dass die türkischen tertiären Mergel aufgrund ihres hohen Schluffgehaltes zu geringer Aggregatstabilität und zur Verschlammung neigen, sowie eine geringe Permeabilität im Unterboden besitzen. Sie sind damit erosionsanfälliger als die Rheinland-Pfälzischen Böden.

6.1.2 Bewertung der Bodenchemischen Eigenschaften der deutschen und türkischen Böden

C_{org}-Gehalt und C/N Verhältnis

Die organische Substanz spielt für die Bodenfruchtbarkeit eine wichtige Rolle, weil sie einerseits für die Nachlieferung von Pflanzennährstoffen bereitsteht und andererseits wichtig für die Aggregation und damit die Strukturbildung von Böden ist (ASMUS, 1993; SAUERBECK, 1993; VAN CLEVE & POWERS, 1995; DELSCHEN, 1998).

Der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff ist ein entscheidender erosionsmindernder Faktor. Die organische Substanz hält die Aggregate im Boden zusammen und vermindert so den Bodenabtragung (SUNKEL & DELSCHEN, 1995). Die Aggregatstabilität nimmt tendenziell mit steigenden C_{org}-Gehalten der Substrate zu (KEHL, 1997). Die Gehalte waren bei den türkischen Böden relativ niedriger als bei den deutschen Böden. Hierfür kann auch die Nutzung verantwortlich sein. 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 Strohes verbrannt und es wird kaum organisch gedüngt. Zudem wird tief gepflügt, was die Lebensbedingungen der Bodenorganismen negativ beeinflussen kann. Deswegen ist eine erhöhte Zufuhr an organischer Substanz bei den türkischen Böden dringend notwendig.

Die deutschen Böden werden überwiegend mit Getreide und Raps bestellt und stark mit organischen Düngern gedüngt. Daher sind auch ihre Humusgehalte hoch.

Nach FRIELINGHAUS (1990) besteht zwischen Körnung, organischer Bodensubstanz und Aggregatstabilität ein enger Zusammenhang: Die Regressionsanalysen zur Bestätigung kausaler Zusammenhänge zeigten, dass etwa 50 % der Verkrustungsneigung vom Feinteilgehalt (Teilchen < 0.0063 mm Durchmesser) bestimmt wurden. Bei Hinzugabe des Kohlenstoffgehaltes wurden 65 % der Variabilität bestimmt. Bei den türkischen Böden war allerdings die Aggregatstabilität trotz der hohen Tongehalte niedrig.

Die C/N-Verhältnisse waren in den türkischen Böden aufgrund der niedrigen C-Gehalte im Allgemeinen eng. Ob sich darin aber eine gute Humusqualität oder lediglich ein C-Mangel ausdrückt, kann nicht entschieden werden.

Heißwasserlöslicher Kohlenstoff

Unter dem heißwasserlöslichen Kohlenstoff versteht man nach der Definition von KÖRSCHENS et al. (1990) alle leicht verfügbaren Kohlenstoffverbindungen und den mikrobiell gebundenen Kohlenstoff in Böden. Die absoluten Mengen des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs der

untersuchten deutschen und türkischen Böden verhielten sich ähnlich wie die Gesamtgehalte an organischer Substanz. Die deutschen Böden aus Muschelkalk zeigten die höchsten Gehalte an heißwasserlöslichem Kohlenstoff. Das Niveau in den türkischen Böden lag deutlich darunter, was auch durch die niedrigeren Gehalte an organischer Substanz bestätigt wird.

Carbonat und pH-Wert

Die deutschen Böden waren bis auf die Muschelkalkböden carbonatfrei und zeigen einen angemessenen pH-Werte im schwach sauren Bereich. Im Gegensatz zu den deutschen Böden waren die türkischen Böden sämtlich carbonathaltig und weisen pH-Werte im alkalischen Bereich auf. Die hohen Carbonatgehalte türkischer Böden können eine starke Aggregation bewirken, so dass ein Großteil der Tonminerale in der Schluffkornfraktionen vorliegt.

P- und K-Gehalte

Die Versorgung der deutschen Untersuchungsflächen mit pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium liegt überwiegend im anzustrebenden Bereich (Versorgungsstufe C). Die türkischen Böden waren dagegen insbesondere mit Phosphor unterversorgt. Dies wurde auch von BORNEMANN & AHRENS (1994) bestätigt. Eine Ausnahme stellten die Miozän -und Quartärstandorte dar. Erhöhte Bodenerosion führt neben dem Verlust an Boden auch zu dem Verlust von wichtigen Pflanzennährstoffen. PFEFFER et al (1997) haben durch ihre Untersuchungen bei Vertic Cambisol Böden in Nicaragua eine Beziehung zwischen ereignisbezogenem Bodenabtrag und der ausgetragenen Nährstoffmenge aufgestellt. Für Phosphor und Kalium ergab sich eine lineare Beziehung mit einer sehr engen Korrelation ($r = 0.85$ bzw. $r = 0.99$). Dies galt ebenso für Stickstoff und Corg. Um einen sicheren Ertrag zu erzielen, sollten die türkischen Böden mineralisch und organisch gedüngt werden. Dies käme auch der biologischen Aktivität zugute und würde den Erosionswiderstand erhöhen.

Im Gegensatz zum pflanzenverfügbaren Phosphor war der Kaliumgehalt der türkischen Böden höher als der der deutschen Böden. Erhöhte Kaliumgehalte verschlechtern die Strukturstabilität des Bodens, so dass dieser schneller verschlämmt, was wiederum die Bodenerosion fördert (AUERSWALD, 1993, AUERSWALD et al.1996). Auf der anderen Seite aggregieren die Mg- und Ca-Ionen die Tonminerale der Böden Mittelanatoliens, so dass sich stabile Komplexe bilden (ATALAY, 1997).

Elektrische Leitfähigkeit

Die Böden des Untersuchungsgebietes in Mittelanatolien sind aufgrund des Muttergesteins stark erosionsgefährdet. Die Böden dieses Gebiets weisen sehr hohe Schluffgehalte auf und eine höhere elektrische Leitfähigkeiten, die mit der Erodierbarkeit des Bodens signifikant positiv korreliert sind (BALCI, 1971). Auch in dieser Arbeit wiesen die türkischen Böden höhere elektrische Leitfähigkeiten als die deutschen Böden auf. In türkischen Böden deuten sich erhöhte Salzgehalte an, die dem trockenen Klima und den marinen Mergeln entsprechen. Insbesondere in den Gipsmergeln des Oligo-Miozäns treten so hohe Werte auf, dass eine Versalzungstendenz bestätigt werden kann. Ob hier und in den übrigen Mergeln besonders hohe Na und Mg-Sättigungen, die zur Dispergierung führen, vorliegen, konnte nicht ermittelt werden. Einige chemische Eigenschaften der türkischen Böden, wie die hohe Kaliumversorgung und hohe Leitfähigkeit, die vermutlich mit einer relativ hohen Natriumsättigung einhergehen, begünstigen die Erosionsneigung. Die gilt auch für die geringen Kohlenstoffgehalte, so dass neben den physikalischen Eigenschaften auch die chemischen eine erhöhte Erosionsdisposition anzeigen.

6.1.3 Bewertung der Bodenbiologische Eigenschaften der deutschen und türkischen Böden Mikrobiologische Biomasse und mikrobiologische Aktivität

In der Regel besteht ein enger Zusammenhang zwischen Tongehalt und mikrobiologischer Aktivität. Nach FILIP (1975) wird die Beziehung zwischen Tonmineralen und Mikroorganismen durch zahlreiche Eigenschaften des Mineralsorbenten, seine Konzentration, die Teilchengröße, die Art der anwesenden Austauschkationen und Mikroorganismen sowie physikalisch, chemischer Eigenschaften des Milieus gesteuert. Eine weitere enge Beziehung besteht nach KÖRSCHENS (1997) zwischen der Bodenart und dem Gehalt an organischer Substanz. Auch BECK et al. (1995) haben die Differenzierungen von bodenmikrobiologischen Parametern in Abhängigkeit von der Bodenart durch ihre Untersuchungen bestätigt. Aufgrund der hohen Tongehalte erwartet man bei den türkischen Böden eine hohe mikrobiologische Aktivität und auch einen hohen Gehalt an organischer Substanz. Wie die Abb. 34 zeigte, wiesen die türkischen Böden jedoch eine geringe biologische Aktivität aufgrund des sehr niedrigen Gehaltes an organischer Substanz auf.

Die Stabilität von Bodenaggregaten ist außer von bodenphysikalischen -und chemischen Eigenschaften der Böden auch von der bodenbiologischen Aktivität abhängig, denn Bodenorganismen stabilisieren durch Schleimstoffe und Pilzhyphen die Aggregate. In dieser Arbeit wurde versucht, durch die mikrobielle Biomasse und Aktivität die Erosionsanfälligkeit der deutschen und türkischen Böden einzuschätzen.

In Kap.6.4 wurden als wichtige bodenmikrobiologische Summenparameter die mikrobielle Biomasse (C_{mik}) und die Basalatmung deutscher und türkischer Böden als Mittelwerte ausführlich betrachtet.

Nach ANDERSON (1991) sind die Mikroorganismen das biologische Bindeglied zwischen den im Boden ablaufenden physikalisch-chemischen Aufbau -und Abbauprozessen. Sie beteiligen direkt an der Strukturentwicklung von Böden durch ihre metabolische Aktivität und ihre mechanischen Bindungskräfte. Nach ALEF (1991) umfasst die mikrobielle Biomasse innerhalb der gesamten organischen Substanz den Anteil der lebenden, aktiven Mikroorganismen. Diese wird als Einheit bei der Bestimmung der mikrobiellen Biomasse eingegeben. In der vorliegenden Arbeit wiesen unter den deutschen Böden die Schieferböden die höchsten Werte auf. Sie haben hohe Humusgehalte und werden stark organisch gedüngt. Sandige Böden aus Bundsandstein hatten die niedrigsten Werte an mikrobieller Biomasse. Böden aus Muschelkalk und Löß erreichten ein mittleres Niveau.

Im Gegensatz zu deutschen Böden zeigten die türkischen eine geringere mikrobielle Biomasse, was dem geringen Gehalt an organischer Substanz entspricht.

Bei den deutschen Böden waren die gemessenen mikrobiellen Aktivitäten höher im Vergleich zu den türkischen Böden. Dies wurde auch durch den höheren Humusgehalt bestätigt.

$C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Verhältnis

Das $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Verhältnis wird als Quotient von mikrobieller Biomasse und organischem Kohlenstoffgehalt berechnet. Nach ANDERSON & DOMSCH (1989) besteht im Boden ein starker Zusammenhang zwischen mikrobieller Biomasse und dem C_{org} -Gehalt als der Nahrungsquelle der heterotrophen Bodenorganismen. Daher ist das Verhältnis von mikrobiellem Kohlenstoff zum organischen Kohlenstoff ein Indikator für die relative Verfügbarkeit von Substraten und damit für die Verwertung durch die Mikroorganismen (INSAM & DOMSCH, 1988; ANDERSON & JÖRGENSEN, 1997) und bekräftigt damit eine Aussage hinsichtlich der Qualität der organischen Substanz. Nach POWLSON & ANDERSON (1994) steigt unter Stress die Respiration und steht weniger Kohlenstoff für die Produktion der mikrobiellen Biomasse zur Verfügung, so dass dann das $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Verhältnis abnimmt.

In der vorliegenden Arbeit war das $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Verhältnis der türkischen und deutschen Böden vergleichbar und variierte zwischen 1-2 %. Dies bedeutet, dass der Anteil der Biomasse von Mikroorganismen lediglich 1-2 % der organischen Substanz ausmacht. Absolut in dies ein typisches Niveau von landwirtschaftlich genutzten Böden. Lediglich unter langjähriger Aufbringung von organischen Düngern ließe sich der $C_{\text{mik}}/C_{\text{org}}$ -Gehalt in Ackerböden auf 2-3 %

steigern (ANDERSON&DOMSCH, 1990). Wie schon einige bodenphysikalische und bodenchemische Eigenschaften, so deuten auch die niedrigen bodenbiologischen Aktivitäten und Biomassen der türkischen Böden auf eine erhöhte Erosionsgefährdung hin.

6.2 Bewertung der Erodierbarkeit (K-Faktor) und des Bodenabtrags (der ABAG) deutscher und türkischer Böden

Aufgrund der diskutierten Bodeneigenschaften ist zu erkennen, dass die türkischen Böden eines höheren Erosionsrisiko ausgesetzt sind als die deutschen. Insbesondere ihre hohen Schluffgehalte, Na-Sättigung sowie ihre geringe Aggregatstabilität und Permeabilität, die erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten, geringe Humusgehalte und geringe bodenbiologische Aktivität und Biomasse machen die erhöhte Erosionsgefährdung deutlich. Um sie zu quantifizieren, wurden standardisierte quantitative Schätzverfahren angewandt. Für die Erodibilität des Bodens war dies die Ermittlung der K-Faktoren.

Die Berechnung der K-Faktoren erbrachte 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 Trockensteppenklima mit kaltem Winter und Dürre im Sommer vor. Durch die hohe Erodibilität der Böden können aber selbst geringe Niederschlagssummen hoch erosiv wirken (SAURNBORN, P. ; BALLISOY, N.; SKOWRONEK, A., 1997). Deswegen hat DOGAN (1987) sogar alle Niederschläge $> 1,27$ mm (innerhalb 25 Jahren) bei der R-Faktor-Berechnung berücksichtigt (DOĞAN, 1987, S.10).

Die R-Faktoren für die türkischen Böden sind deutlich niedriger als für deutschen Böden. Dies liegt daran, dass die Niederschläge in Mittelanatolien größtenteils 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 (vgl. SCHWERTMANN et al., 1987).

Der wichtigste Grund für ihre hohe Erosionsgefährdung 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 Stauseen ist dafür ein markantes Beispiel. Sowohl wegen der on-site- als auch der off-site- Schäden sind also wirksame Erosionsschutzmaßnahmen zu treffen.

Um den potentiellen mittleren jährlichen Bodenabtrag (t/ha.a) der deutschen und türkischen Böden zu berechnen, wurden zunächst die für die ABAG (Allgemeine Bodenabtrag-Gleichung) entscheidenden Faktoren ermittelt. In der Tab.9 –und 10 werden diese Faktoren dargestellt.

Hierbei wurde der **R-Faktor** für die jeweiligen deutschen Standorte (Trier und Köln) nach SCHWERTMANN et al. (1987) aus den Sommer-Niederschlägen von 1. Mai –31. Oktober (MÜLLER, 1983) mit Hilfe der folgenden Formel berechnet.

$$R=0,141 \cdot N_s - 1,48 = 54,6 \quad (N_s = \text{Sommer Niederschläge von 1. Mai –31. Oktober})$$

$$R=0,141 \cdot 398 - 1,48 = 54,6 \quad (\text{Trier für Schiefer-, Buntsandstein-, Muschelkalkböden})$$

$$R=0,141 \cdot 408 - 1,48 = 56,1 \quad (\text{Köln für Lößböden}).$$

Der **R-Faktor** und **C-Faktor** für die türkischen Standorte wurde von DOĞAN (1987) übernommen.

LS-Faktor wurde für 8° Neigung und 20 m Hanglänge bzw. 16°-100m standardisiert und vom LS-Nomogram (SCHWERTMANN et al. 1987) abgelesen.

Der **C-Faktor** für die deutschen Böden wurde nach SCHWERTMANN et al. (1987) für Winterweizen mit 0,100 übernommen.

Der P-Faktor wurde mit 1 angesetzt (SCHWERTMANN et al. 1987), weil weder bei den deutschen noch bei den türkischen Untersuchungsstandorten Erosionsschutzmaßnahmen vorhanden sind.

Der K-Faktor wurde wie in Kap.5.5.1 dargestellt, für die jeweiligen deutschen und türkischen Böden ermittelt.

Aus Tab. 9 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. Der LS- Faktor konnte nicht gebietstypisch ermittelt werden, sondern wurde standardisiert. 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.

Da weder in Rheinland-Pfalz noch in Mittelanatolien nennenswerte Erosionsschutzmaßnahmen betrieben werden, wurde der P-Faktor mit 1 festgelegt.

Aus dieser Konstellation ergibt sich für die Rheinland-Pfälzische Standorte ein relativ geringer Abtrag von wenigen Tonnen je ha und Jahr (Abb. 37). Für einige Mittelanatolische Standorte werden aber höhere Abträge errechnet. Diese Ergebnisse stimmen mit Geländebefunden gut überein.

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). Wenn der LS-Faktor mit 0,8 (Hanglänge 20 m; Hangneigung 8°) eingesetzt wird, bleibt der Abtrag der deutschen Böden unter der Toleranzgrenze. Die türkischen Böden liegen zwischen der Toleranzgrenzen. 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 5,5 t/ha und 8,5 t/ha), überschreitet aber in türkischen Böden außer bei Quartär und Flysch-Standorten die tolerierbare Werte (zwischen 8,3 t/ha und 28,5 t/ha) sehr stark.

6.3 Maßnahmen zum Erosionsschutz und zu angemessener Landnutzung in Deutschland und in der Türkei

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Erosionsgefahr der Mittelanatolischen Böden aufgrund von sensibleren Bodeneigenschaften, erosionsfördernder Schwarzbrache, unzureichendem Humusersatz, ausgeprägter Hangneigung, erosionsfördernder Pflugarbeit, fehlender Schutzmaßnahmen und unzulänglicher Beratung und administrativer Einwirkung größer ist als in Rheinland-Pfalz.

Da das Schadmaß erheblich ist, sind Gegen- und Schutzmaßnahmen vorzusehen. Viele Schutzmaßnahmen sind universal anwendbar, d.h. in Mittelanatolien ebenso wie in Rheinland-Pfalz.

Bedeutung und Wirkung der Maßnahmen sind jedoch verschieden.

In Rheinland-Pfalz erreicht die Erosion, von wenigen Standorten abgesehen, kein katastrophales Ausmaß. Mögliche Schutzmaßnahmen sind allgemein bekannt. (SCHRÖDER, 1997) Wenn sie

dennoch nicht hinreichend genutzt werden, hat dies ökonomische Gründe. D.h., die Schutzmaßnahmen kosten Geld oder führen zu Mindereinnahmen, so dass sie unterbleiben. Hiergegen helfen nur Anreize oder Sanktionen. Dies ist von der Administration erkannt worden, so dass für den Erosionsschutz in einigen Bundesländern Fördermittel bereitgestellt werden. Das Bundes-Bodenschutzgesetz und seine Verordnungen legen fest, dass Erosion zu vermeiden ist. Allerdings ist der Vollzug unzugänglich, so dass nach wie vor Erosion stattfindet, obwohl sie vermeidbar wäre. Der Vollzug des Gesetzes ist also zu verbessern.

In Mittelanatolien ist der Kenntnisstand zur Erosionsvermeidung bei den Bewirtschaftern bisher unzureichend. Deshalb ist es geboten, durch Informationsschriften und gezielte Beratung auf die Möglichkeit des Erosionsschutzes hinzuweisen. Besonders wichtig wären Demonstrationsversuche. In dieser Arbeit wurden die besonderen Gefahrenherde aufgezeigt. In Demonstrationsversuchen müsste eine optimale Variante der herkömmlichen gegenübergestellt werden. Optimiert werden müssen vor allem folgende Faktoren

1. Humuswirtschaft
2. Fruchtfolge/ Brache
3. Bodenbearbeitung
4. Technischer Erosionsschutz

Zu 1: Humuswirtschaft/ Bodenbiologische Aktivität

Zur Erhöhung der Humusgehalte und zur Förderung der mikrobiologischen Eigenschaften sollte eine verstärkte organische Düngung angestrebt werden. Hierbei sind als Möglichkeiten das Belassen der Ernterückstände auf der Ackerfläche (kein Stroh verbrennen), die Applikation von organischen Düngern (VETTERLEIN et al., 1997) und von Biokomposten dringend zu empfehlen. Nach DICK (1992) führen die organische und mineralische Düngung über lange Zeiträume zu einer Erhöhung der Gehalte an organischer Substanz im Boden, SCHAFFER et al. (1980) fanden nach intensiver Düngung und Einsaat von Gras und Leguminosen in Kippböden in Montana eine rasche Akkumulation von organischer Substanz. THUM et al. (1990) beschrieben ähnliche Befunde. SIEWERT (2001) hat durch die thermogravimetrische Bodenanalyse bestätigt, dass der C_{org} -Gehalt von der Menge und Art der angewandten organischen Dünger abhängig ist.

KANDELER & EDER (1990) haben ebenfalls auf die Wichtigkeit der organischen Düngung hingedeutet. Mineralische Düngung bei Dauerbrache führt zu einer Erniedrigung bodenmikrobiologischer Prozesse und der Aggregatstabilität. Im Gegensatz dazu führt aber organische Düngung zu einer Erhöhung der bodenmikrobiologischen Prozesse und der

Aggregatstabilität. Auch BECK et al. (1990) haben zwischen Aggregatstabilität und mikrobieller Biomasse bei Lössböden eine Korrelation (mit $r = 0,81$) ermittelt.

Die Wirkung der organischen Düngung auf die biologische Aktivität und Aggregatstabilität sowie viele andere Bodeneigenschaften und letztlich den Erosionswiderstand ist mit den zitierten und zahlreichen weiteren Quellen gut zu belegen.

Es muss also alles unternommen werden, um den geringen Humusgehalt der türkischen Böden anzuheben. Da der Zwischenfruchtanbau aufgrund der Sommertrockenheit nicht möglich ist, kommt vor allem der Strohdüngung größte Bedeutung zu.

Soweit das Stroh nicht in der Viehhaltung benötigt wird, ist es beim Drusch zu häckseln und auf dem Acker zu belassen. Bei hinreichender Bodenfeuchte ist es nach der Ernte mit Grubber oder Scheibenegge flach einzuarbeiten, ansonsten nach dem ersten Regen. Das an der Bodenoberfläche verbleibende Stroh schützt zugleich vor weiterer Austrocknung.

Neben der Strohdüngung ist auch eine planmäßige Stallmist –und Kompostdüngung vorzusehen. Tierische (und menschliche Ausscheidungen) sind dem Acker zuzuführen. Sie können auch zur Biogaserzeugung genutzt und danach zur Düngung verwendet werden. Auch sämtliche organischen Abfälle können durch Kompostierung oder Vergärung dem Boden zugeführt werden.

All diese Maßnahmen sind geeignet, die Humusgehalte anzuheben. Da aber aufgrund des trockenen Klimas die Produktion an organischer Masse nur begrenzt gesteigert werden kann, müssen weitere Maßnahmen zum Erosionsschutz ergriffen werden.

Zu 2 Fruchtfolge/ Brache

Der Anbau in Mittelanatolien ist in historischen Zeiten entwickelt und weiterentwickelt worden. Er stellt eine Anpassung an das Steppenklima und die teilweise schwierige Bearbeitbarkeit schluffig-toniger Böden dar. Ein Ergebnis dieser Anpassung ist die Brache. Da die Niederschläge für den jährlichen Anbau knapp sind, das Pflügen der ausgetrockneten Stoppelfelder schwierig ist, der Aufgang der Herbst-Saat in frisch gepflügtem grobscholligem Boden bei unzulänglichen Niederschlägen im September/Oktober unsicher ist und Frühjahrssaat von Sommergetreide aufgrund der Sommertrockenheit nicht in Frage kommt, wird verbreitet ein Brachejahr eingeschoben. D.h., die Stoppeln werden oft erst im Spätfrühling gepflügt, der Boden wird im Sommer bearbeitet und im Herbst bestellt.

Hiermit ist jedoch ein erheblicher Humusschwund verbunden, einmal, weil im Brachejahr keine organische Substanz produziert wird und zum anderen, weil durch die Bearbeitung Humus aufgezehrt wird.

Es ist also zu prüfen, ob unter den Bedingungen moderner Bodenbearbeitungstechnik und chemischer Unkrautbekämpfung ein permanenter Anbau möglich ist.

Anstelle der Brache müsste, auch um die Fruchtfolge zu optimieren, eine Blattfrucht treten. Sie muss die Winterfeuchte bestmöglich ausnutzen. Vermutlich kann der Winterraps dieser Anforderung gerecht werden, zumindest auf den tiefgründigen schwereren Böden. Erucasäurefreie, kurzstrohige, trockenheitsresistente Sorten wären zu bevorzugen.

Sollte der Winterraps mit den in Mittelanatolien fallenden Niederschlägen auskommen, wäre eine Fruchtfolge: 1. Winterraps 2. Winterweizen; 3. Sommerung/ (Kümmel, Leguminosen, Gemüse, Futterpflanzen usw.) 4. Wintergerste denkbar.

Durch Rapsanbau würde ein deutlicher Anstieg der Biomasse, der Nitrifikation und zahlreicher Enzyme des C-, N- und P-Kreislauf eintreten (vgl. KANDELER & EDER, 1990).

Untersuchungen der Technischen Universität Karadeniz haben gezeigt, dass Mittelanatolien und Übergangsgebiete für den Sommerraps zwar nicht geeignet sind, aber Winterrapsanbau möglich ist. Ein günstiger Saattermin wäre vom 15. September bis 20. Oktober (Türktarım Dergisi, 2002).

Nach deutschen Erfahrungen müsste der Termin vorerlegt werden, wenn genügend Niederschlag zur Keimung der Saat fällt. Die Erweiterung der Fruchtfolge hat auch weitere günstige Effekte: Sie fördert Mikroorganismen und Bodenfruchtbarkeit. Die erweiterte Fruchtfolge hat auch einen positiven Einfluss auf den Gehalt an mikrobieller Biomasse (KEISER & HEINEMEYER, 1990).

Auf die Lebensbedingungen für die Regenwürmer im Boden muss besonders geachtet werden, weil die Regenwürmer beim Aufbau organisch-mineralischer Komplexe und bei der Aggregatbildung eine sehr wichtige Rolle spielen (vgl. ZIEGLER, 1990; SCHÄFER et al., 1990; KRÜCK et al., 2001). Wenn die Böden also mit organischen Düngern oder Stallmist gedüngt würden, würde auch gleichzeitig die Besiedlung mit Regenwürmern zunehmen, so dass durch diese Organismen die Streu und das organische Material schneller zu organisch-mineralischen Komplexen umgewandelt wird und eine verstärkte Aggregatbildung stattfindet. Nach ZIEGLER (1990) verlief der Aufbau von organisch-mineralischen Komplexen in Gegenwart von Regenwürmern 2-5 mal intensiver als bei ihrer Abwesenheit. Regenwürmer schaffen zudem kontinuierliche Grobporen, die die Infiltration erhöhen und den Oberflächenabfluss mindern (ALTMEIER, 2003).

Zu 3 Bodenbearbeitung

Die Art der Bodenbearbeitung spielt eine entscheidende Rolle beim Erosionsschutz.

NITZSCHE et al (2000) haben bei verschiedener Art der Bodenbearbeitung das Erosionsausmaß im Sächsischen Lößhügelland gemessen. Bei Direktsaat waren neben der höchsten Aggregatstabilität und Infiltrationsrate der Abtrag und der Abfluss am niedrigsten, im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung.

Der Mulchbedeckungsgrad spielt beim Erosionsschutz eine wichtige Rolle (Tab.11). Wie aus Tab.11 ersichtlich ist, zählt die konservierende Bodenbearbeitung zur wirksamsten Maßnahme zum flächendeckenden Schutz des Bodens vor Erosion.

Durch diese Art der Bodenbearbeitung wird auch der Humusgehalt des Bodens erhöht, was besonders bei türkischen Böden notwendig ist.

Tab. 11: Bodenabtrag, Wasserabfluss/-infiltration in Abhängigkeit von Aggregatstabilität, Humusgehalt und Mulchbedeckungsgrad nach konventioneller bzw. konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat (Beregnungsversuch mit 42 mm/h, Messfläche: 1 m², Bodenart Ut 4, Zuckerrübenfläche (3-Blattstadium) Sächsisches Lößhügelland NITZSCHE et al., 2000 S.180)

	Bodenbearbeitung		
	Konventionell	Konservierend	Direktsaat
Bodenabtrag [g]	317,7 (=100 %)	137,5 (=43,3 %)	25,7 (=8,1 %)
Abfluss [l]	21,2	12,2	3,2
Infiltrationsrate [%]	49,4	70,9	92,4
Aggregatstabilität nach MURER [%]	30,1	43,1	48,7
Humusgehalt (Boden, 0-5 cm) [%]	2,0	2,6	2,5
Mulchbedeckungsgrad [%]	1	30	70

Durch den Verzicht auf die Bodenbearbeitung und den Einsatz von Direktsaat-Mulchsystemen kann der Bodenabtrag auf eine Mindestmaß reduziert werden. Direktsaat ist also ein mögliches Anbausystem im Ackerbau. Dadurch wird eine ganzjährige Bodenbedeckung ermöglicht. Um eine gute Bodenbedeckung zu erreichen, sollte eine Trockenmasseproduktion von mindestens 6 t pro ha erreicht werden (DERPSCH et al., 1988).

Die Aggregatstabilität kann auch durch den Verzicht auf den Pflug erhöht werden. Dies führt zur Humusanreicherung in der oberen Bodenschicht und erhöht gleichzeitig den Regenwurmbesatz. Beides wirkt erosionsmindernd. BORNEMANN & AHRENS (1993) haben durch ihre Untersuchungen in Menemen/ Westtürkei festgestellt, dass die Art der Bodenbearbeitung Auswirkungen auf die mikrobiologischen Aktivitäten hat. Die ungepflügten Varianten zeigten in allen Fällen in der Oberkrume höhere Aktivitätswerte und Humusgehalte und dementsprechend verhielt sich die Aggregatstabilität.

ELLMER et al. (2000) haben festgestellt, dass dauerhaft verminderte Pflugtiefe zur Humus- und Phosphoranreicherung in der bearbeiteten Krume geführt hat und dass bei flacher Bodenbearbeitung im Mittel tendenziell höhere Erträge erzielt wurden.

Die Bodenbearbeitung mit dem Pflug ist in der Türkei wie in Deutschland die traditionelle Variante. Sie ermöglicht, die Erntereste unterzupflügen, eine gute Bekämpfung von Unkräutern, eine Saatbettbereitung und Saat. Der Pflug raubt aber die schützende Mulchdecke, schädigt Bodentiere und mindert damit die Infiltration, führt durch starke Belüftung zum Humusabbau, mindert durch „Vergraben“ der organischen Substanz die Humusgehalte an der Bodenoberfläche und verursacht starke Wassererosion.

Der Pflug ist also nicht das ideale Bodenbearbeitungsgerät, vor allem nicht für Trockengebiete. Moderne Geräte und chemische Bekämpfungsmöglichkeiten für Unkräuter machen seinen Einsatz weitgehend entbehrlich. Es ist allerdings durch Versuche zu klären, ob für die Mittelanatolischen Standorte eine Mulchwirtschaft, also ein flaches Einarbeiten der organischen Substanz günstiger ist oder eine Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung. Auf den Pflug sollte in jeden Fall so weit wie möglich verzichtet werden. Falls eine Krumpfenverdichtung eintreten sollte, wäre gelegentliches Auflockern (ohne zu wenden) vorzunehmen.

Durch den Verzicht auf das Pflügen würde die organische Substanz oberflächennah verbleiben und damit eine stabile Aggregation geschaffen; zudem würde der Besatz an Regenwürmern u.a. Tieren steigen, so dass die Infiltration zunehmen würde. Geeignete Bodenbearbeitungsgeräte, Direktsaatmaschinen (Abb. 39) und geeignete Herbizide zur angemessenen Unkrautbekämpfung stehen zur Verfügung.

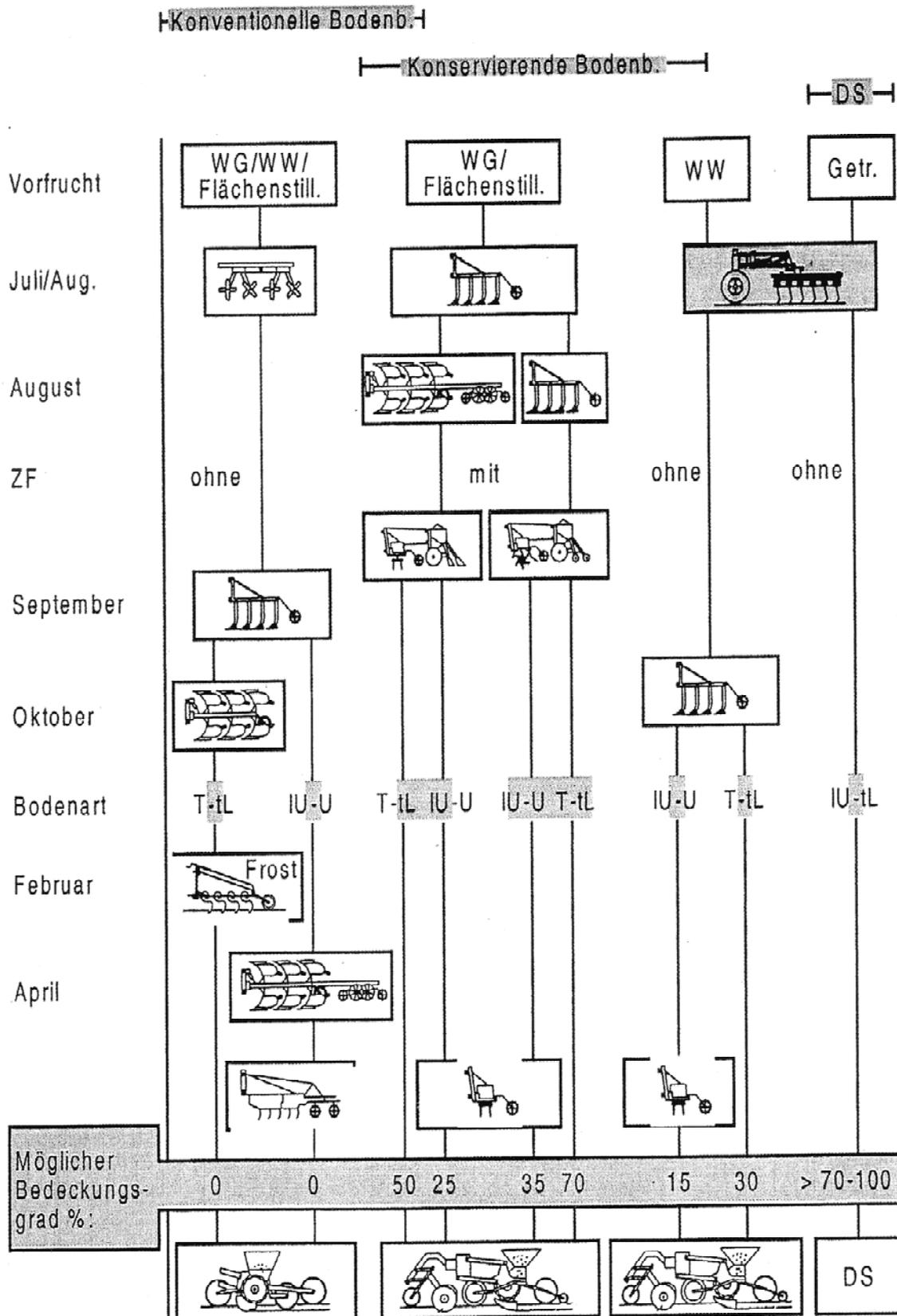


Abb. 39: Geräteinsatz bei konventioneller und konservierender Bodenbearbeitung (aus: BMVEL, 2001, S.77)

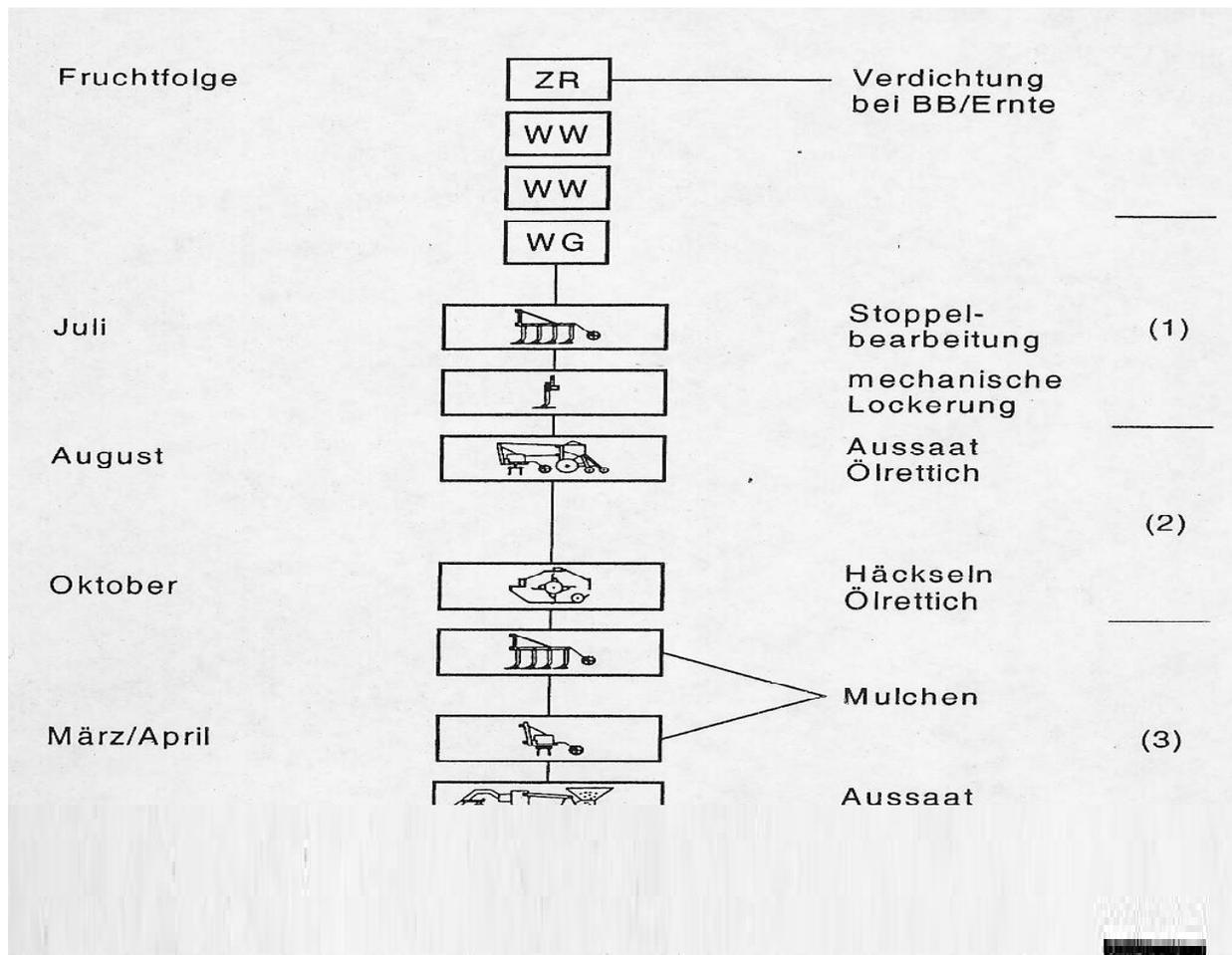


Abb. 40: Maßnahmen zur Bodenlockerung und Gefügestabilisierung (BMVEL, 2001, S.33)

Da in der Türkei noch verbreitet kleinbäuerliche Strukturen bestehen, ist allerdings der Aufbau von Maschinenringen zu gemeinsamer Nutzung von Spezialmaschinen zu fördern.

Wirksame Erosionsbekämpfung ist also durch jede der gesamten Einzelmaßnahmen möglich (organische Düngung, geeignete Fruchtfolge statt Brache, Umstellung auf pfluglose Bodenbearbeitung).

Der größte Effekt ist aber zu erreichen, wenn alle drei Maßnahmen Humusversorgung, Fruchtfolge reduzierte Bodenbearbeitung wie folgt kombiniert werden:

Nach dem Anbau von Raps folgt der Weizen. Der Anbau von Weizen nach Raps ist unproblematisch. Raps hinterlässt einen garen Boden, der durch flache Bodenbearbeitung saarfertig gemacht werden kann. Nach Weizen erfolgt eine Einsaat erst im Frühjahr, so dass das Stroh schon teilweise zersetzt ist. Es können nach flacher Bearbeitung oder ohne Bearbeitung im Frühjahr Leguminosen, Gemüse, Futterpflanzen usw. angebaut werden. Nach diesen Blattfrüchten ist der Anbau von Wintergerste ebenfalls ohne zu pflügen möglich. Sofern das Gerstenstroh für den Viehstall geborgen wird, kann auch der Raps ohne zu pflügen, lediglich mit flacher Bearbeitung

bestellt werden. Bei kurzer Häckselung des Strohs ist mit modernen Direktsaatmaschinen aber auch eine Bestellung in den Strohmulch möglich.

Durch die Mulchbodenwirtschaft wird der Boden nach einigen Jahren so gar und krümelig, dass die Einsaat (mit modernen Maschinen) erleichtert und der Aufgang verbessert werden. Es genügen dann schon kleine Niederschlagsmengen, um die Keimung im September (Raps) und Weizen und Gerste (September/Okttober) zu sichern.

Die Erosionsgefahr tendiert dann gegen Null. Es sind dann nur noch geringe Aufwendungen für den technischen Erosionsschutz erforderlich.

Zu 4 technischer Erosionsschutz

Der technische Erosionsschutz kann sich beschränken auf die Sicherung von Tiefenlinien durch Graswege. Auf ihnen kann Wasser abfließen, ohne Erosion zu verursachen. Wichtig ist aber, dass der Zufluss von Fremdwasser auf die Ackerflächen verhindert wird. In gefährdeten Gebieten sind u.U. kleine Rückhaltepolder zu erreichen. Darüber hinaus ist aber eine Überbeweidung zu verhindern, die eine wichtige Ursache für Abflüsse von Weiden und Hutungen sind. Die Besatzstärke ist also der Produktionskapazität der Flächen anzupassen. In erosionsgefährdeten Lagen sind zudem soweit wie möglich Aufforstungen vorzunehmen und schließlich sind auch gesetzgeberische Schritte zum Schutz vor Erosion und zum Bodenschutz generell einzuleiten und ihr Vollzug sicherzustellen.

Durch all diese Maßnahmen kann auch in einem erosionsgefährdeten Gebiet wie Mittelanatolien die Erosion auf ein tolerierbares Maß gesenkt werden, insbesondere da katastrophale Niederschlagsereignisse die Ausnahme sind und gegen mittlere Niederschläge die empfohlenen Maßnahmen sehr wirksam sind.

Darüber hinaus wird aber ganz grundsätzlich die Bodenfruchtbarkeit gefördert, so dass trotz geringer Niederschläge akzeptable Ernteerträge erreicht werden können (vgl. TEHRANI, 1977).

Die empfohlenen Schutzmaßnahmen sind preiswert, erprobt und bewährt. Für ihre Umsetzung ist aber eine Anpassung an die Region durch komplexe Versuche erforderlich und eine gut organisierte Beratung der Landwirte.

Zusammenfassung

Die Bodenerosion durch Wasser ist weltweit verbreitet und derzeit die bedeutsamste Schadursache der Böden. Ursachen und Ausmaß sind in den jeweiligen Regionen sehr verschieden.

Die Möglichkeiten des Erosionsschutzes sind überall gegeben, werden jedoch nicht hinreichend genutzt.

Um den Erosionsschutz zu verbessern, wurden in dieser Arbeit die erosionsbestimmenden Faktoren am Beispiel einer Region mit geringer Erosion (Rheinland-Pfalz) und einer Region mit starker Erosion (Mittelanatolien) untersucht.

Die Untersuchungen erstreckten sich im Wesentlichen auf die Substrate Schiefer, Buntsandstein Muschelkalk und Löss in der Region Rheinland-Pfalz und auf verschiedene tertiäre Mergel in Mittelanatolien unter ackerbaulicher Nutzung und wurden mit verschiedenen bodenphysikalischen, bodenchemischen und bodenbiologischen Methoden vorgenommen. Daneben fanden die übrigen erosionsbestimmenden Faktoren wie Klima, Nutzung, Hangneigung/-länge Berücksichtigung.

Schließlich wurde mit Hilfe der Allgemeinen Boden-Abtragungsgleichung eine Abschätzung der Erosionsgefährdung der Untersuchungsgebiete vorgenommen.

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen;

1. Die Bodenartenansprache nach der Fingerprobe stimmte für die rheinland-pfälzischen Böden gut mit der Korngrößenanalyse nach Carbonat- und Humuszerstörung sowie Dispergierung überein. Für die mittelanatolischen carbonatreichen Böden wurden durch die Vorbehandlung jedoch extrem hohe Tongehalte ermittelt, die den feldbodenkundlichen Charakter nicht widerspiegeln. Daher wurde für die Berechnung der K-Faktoren und der Allgemeinen Bodenabtrag Gleichung die ohne Vorbehandlung ermittelten Werte zugrunde gelegt.
2. Aufgrund der höheren Tongehalte besitzen die mittelanatolischen Böden geringere Grobporenvolumina als die rheinland-pfälzischen Böden.
3. Die deutschen Böden sind bis auf die Muschelkalkböden carbonatfrei, haben aber einen angemessenen pH-Werte (5,1-6,2) im schwach sauren Bereich. Im Gegensatz zu den deutschen Böden sind die türkischen Böden sämtlich carbonathaltig und weisen alkalische pH-Werte (7,1-8,3) auf.

4. Durch die Entstehung aus marinen Mergeln und durch das Trockenklima weisen die Mittelanatolischen Böden im Vergleich zu den rheinland-pfälzischen Böden erhöhte Salzgehalte und elektrische Leitfähigkeiten auf, die zu verminderter Aggregatstabilität bei der Tauchsiebung, reduzierter Durchflussrate im Perkolationsversuch und damit zu merklicher Oberflächenverschlämmung führen.
5. Die Gehalte an pflanzenverfügbarem P und K reichen in den mittelanatolischen Böden für die Erziehung hoher Erträge nicht aus.
6. Die Gehalte an organischem Kohlenstoff sind in den mittelanatolischen Böden vor allem wegen häufiger Schwarzbrache, häufigem Verbrennen von Stroh und geringer Viehbesatzdichte deutlich geringer als die der rheinland-pfälzischen Böden, obwohl sie aufgrund des herrschenden Steppenklimas höher sein sollten.
7. Aufgrund der geringen Humusgehalte in mittelanatolischen Böden sind auch die mikrobielle Biomasse und mikrobielle Aktivität geringer als in Rheinland-Pfälzischen Böden. Hierin ist ein weiterer Grund für die hohe Verschlammungsneigung zu sehen.
8. Insgesamt sind also die mittelanatolischen Böden deutlich erosionsanfälliger als die rheinland-pfälzischen Böden. Dies kommt auch im K-Faktor (Erodibilitätsfaktor) zum Ausdruck.
9. Aufgrund der längeren Brachephasen in Mittelanatolien ist bei sonst ähnlicher Nutzung (überwiegend Getreide) wie in Rheinland-Pfalz auch der C-Faktor höher.
10. Daher ist der nach der ABAG berechnete Bodenabtrag trotz geringer Niederschlagsintensität (R-Faktor) in Mittelanatolien höher als in Rheinland-Pfalz.
11. Um die nach wie vor starke Erosion in Mittelanatolien zu mindern, ist die traditionelle Landnutzung an die Erfordernisse des Erosionsschutzes anzupassen.
Hierzu zählen insbesondere:
 - die Nutzung aller Möglichkeiten zur Düngung mit organischen Stoffen oder Abfallstoffen
 - die Vermeidung des Verbrennens von Stroh
 - die Umstellung vom regelmäßigen Pflügen auf die reduzierte Bodenbearbeitung bis hin zur Mulchwirtschaft und Direktsaat
 - die Einschränkung der Brache zu Gunsten einer langfristig geschlossenen Vegetationsdecke, möglicherweise der Anbau von Raps anstelle der Brache.
 - die Anlage von Graswegen in Tiefenlinien zur schadlosen Abfuhr von Oberflächenabfluss
 - die Vermeidung von Fremdwasserzufuhr zu Ackerflächen.

7. Literaturverzeichnis

- 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.
- AKALAN, I. (1968): Erosion in der Türkei und die Probleme des Bodenschutzes. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd.8, S.291-292
- ALEF, K. (1991): Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie; Aktivitäten, Biomasse, Differenzierung; ecomed- Verlag, Landsberg
- ALTMEIER, J. (2003): Bedeutung von biogenen Makroporen sowie der Regenwurmbesiedlung für Infiltrations- und Abflussprozesse in Böden bei verschiedener Landnutzung und unterschiedlichen Substraten. Diplomarbeit-Universität Trier, unveröffentlicht
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. (1989): Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 21, 471-479
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. (1990): Application of ecophysiological quotients (qCO₂ and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biology & Biochemistry* 22, 251-255.
- ANDERSON, T.H. & JÖRGENSEN, R.G. (1997): Relationship between SIR and FE estimates of microbial biomass C in deciduous forest soils at different pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 1033-1042.
- ANDERSON, T.H. (1991): Bedeutung der Mikroorganismen für die Bildung von Aggregaten im Boden. *Zeitschriften für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. Band. 154 – Heft 1.S.409-416
- ANDERSON, T.H. (1994): Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations, pp.67-76. – In: Ritz, K.; Dighton, J.; Giller, K.E. (Eds.):

- Beyond the biomass. Compositional and functional analysis of soil microbial communities. John Wiley & Sons, Chichester.
- Ankara Research Institute of Rural Services (1999): Summaries of final reports and activities. –Turkey, Press: Ankara Research Institute of Rural Services. –Ankara.
- ASMUS, F. (1993): Einfluss organischer Düngung auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. – In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd.4 Humushaushalt, Parey –Verlag, Hamburg.
- ATALAY, I (1994): Türkiye Vejetasyon Coğrafyası. (Vegetation Geography of Turkey.) Ege Üniversitesi Basımevi Bornova, – Izmir.
- ATALAY, I (1997): Türkiye Coğrafyası. Ege Üniversitesi Basımevi Bornova,. Izmir
- AUERSWALD, K. & SCHRÖDER, R.. (2001): Simulation von verschlammungsgesteuertem Abfluss heterogen genutzter Einzugsgebiete- Modelin crust-induced runoff in small heterogeneous catchments- Wasser & Boden, 53/10. S.17-20 Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.
- AUERSWALD, K. (1993): Realisierung durch die Landwirtschaft – Gewässerschutz durch Bodenschutz. In: Dachverband Agrarforschung (Hrsg.) (1993): Belastungen der Oberflächengewässer aus der Landwirtschaft - gemeinsame Lösungsansätze zum Gewässerschutz. Schriftenreihe Agrarspektrum Band 21 S. 150-160. Frankfurt am Main.
- AUERSWALD, K. et al. (1996): Influence of exchangeable potassium on soil erodibility. In: Soil Use and Management 12, S.117-121.
- AUERSWALD, K. (2002): Schätzung des C-Faktors aus Fruchtartenstatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen (Kurzmitteilung).-Estimating the C-Factor of the Universal Soil Loss Equation from Cropping statistics for Sites with Sub-Continental to Sub-Atlantic Climate North of the Alps (Short note)- Landnutzung und Landentwicklung, 43, Heft 6 S.1-5, Blackwells-Verlag, Berlin.

- BALCI, A.N. (1971): Influence of Parent Material and Slope Exposure on Properties of Soils Related to Erodibility in North Central Anatolia. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, Bd.131, Heft 1, S.42-55
- BECK, T et al. (1995): Die mikrobielle Biomasse in landwirtschaftlich genutzten Böden. *Agrobiological Research* 48, 74-81.
- BECK, T. (1984a): Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden. – 1. Mitteilung: Die Ermittlung einer bodenmikrobiologischen Kennzahl. –*Z.f. Pflanzenernähr. Bodenk.* 147, 467-475.
- BECK, T. et al (1990): Beziehungen zwischen Aggregatstabilität, mikrobieller Biomasse und einer aliphatischen Fraktion der organischen Substanz von landwirtschaftlich genutzten Böden. - *Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. Bd. 62, S.15-18.
- BFLR (Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung) (1985): Konzeptionen zum Bodenschutz. –*Informationen zur Raumentwicklung*, Heft ½. Bonn..
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2001): Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. BMVEL –Bonn
- BOARDMAN, J. et al. (1990): Soil Erosion on agricultural land. 4. Series
- BÖHM, P. & GEROLD, G. (1995): Historische und aktuelle Bodenerosion in Anatolien. In: - *Geographische Rundschau*. 47: S.720-725.
- BORNEMANN, H.& AHRENS, E. (1994): Beziehungen zwischen physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Bodenparametern bei einem Bearbeitungs- und einem Erosionsversuch in der West-Türkei *VDLUFA- Schriftenreihe* 38, – Kongress Band, Hamburg
- BORNEMANN, H.; AHRENS, E (1993): Die mikrobiologische Status bei verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren im Zweitfruchtbau der Türkei, *VDLUFA- Schriftenreihe* 37, – Kongress Band, Hamburg
- BOSCH, M. und AMBERGER, A. (1983): Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf pH-Wert, Humusfraktionen, biologische Aktivität und

- Stickstoffdynamik einer Acker- Braunerde Z. Pflanzenernährung. Bodenkunde. 146, 714-724.
- BRINGGS, M. H. et al. (1965) : Soil enzymes.- Science Progress, London 51, 217- 225
- CANPOLAT, O. (1981): Türkiye Topraklarının Tarıma Uygunluk Bakımından İncelenmesi. DSİ. Toprak ve Su Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri, Cilt 1- Ankara
- CAPELLE, A. & LÜDERS, R. (1985): Die potentielle Erosionsgefährdung der Boden in Niedersachsen, Göttinger Bodenkundliche Berichte 83 S.107-127 Im Selbstverlag der Anstalten für Bodenkunde der Universität Göttingen, (Hrsg.): Meyer B. und Ulrich, B.
- CEPEL, N. (1997): Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, Dizgi – Baskı Matbaa Teknisyenleri Kollektif Şirketi, – İstanbul
- CHEPIL, W.S: (1945): Dynamics of wind erosion. I. Nature of movement of soil by wind. – Soil Sci., 60: p.305-320.
- CLOSS, H.-M. (1979): Die Klimasituation im Regierungsbezirk Trier. In: FRIEDRICH, L., LAUFNER, R., ROTHENBERGER, K.-H., SCHUHN, W. & WERLE, O. (Hrsg.) (1979): Beiträge zur Trierischen Landeskunde. Unterrichtsmaterialien für Geschichte und Geographie. S. 362 – 380. Trier
- DE LEENHEER, L. & 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.
- DELSCHEN, T. (1998): Entwicklung des humusgehaltes in Landwirtschaftlich genutzten Rekultivierungsböden – Ergebnisse langjähriger Dauerversuche. – In: PFLUG, W. (ed) (1998): Braunkohlebergbau und Rekultivierung; Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz, Springer Verlag, Berlin.
- DERPSCH, R. et al. (1988): Erosionsbekämpfung in Paraná, Brasilien: Mulchsysteme, Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitung. Schriftenreihe der GTZ, Nr.205-Eschborn
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1957): Klima Atlas von Rheinland-Pfalz, Bad Kissingen.

- DICK, R.P. (1992): A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 40, 25-36
- DINÇ, U.; ŞENOL, S.; KAPUR, S.; CANGİR, C.; ATALAY, İ. (2001): TÜRKİYE TOPRAKLARI (BÖDEN DER TÜRKEI), C.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 (Hrsg) – Ankara
- DULEY, F. L. (1939): Surface factors affecting the rate of intake of water by soils, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4, 60-65
- DUTZLER-FRANZ, G. (1977a): Der Einfluss einiger chemischer und physikalischer Bodenmerkmale auf die Enzymaktivität verschiedener Bodentypen. -In: *Z. f. Pflanzenernähr. Bodenk.* –140, 329-350
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1990): Die Arbeiten des Fachausschusses 4.5 „Bodenerosion“ 1936 bis 1990, Grundlagen für die Wasserwirtschaft Forschungs- und Untersuchungsbedarf. (Hrsg): DVWK Bonn.
- ELLMER, F. et al. (2000) : Tillage and fertilizing effects on sandy soil.-Review and selected results of long-term experiments at Humboldt-University Berlin- In: *Festschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* Vol. 163-No:3 S.267-272
- EROL, O. (1983): Die naturräumliche Gliederung der Türkei. Beihefte zum Tübinger Atlas des vorderen Orients Reihe A (Naturwissenschaften) Nr. 13. Dr. Ludwig Reichert Verlag Wiesbaden.
- FLEGEL, R.(1958): Die Verbreitung der Bodenerosion in der Deutschen Demokratischen Republik. –Leipzig: Bibliogr. Inst., (Bodenkunde und Bodenkultur, 6).
- FRANZ, G. (1973): Vergleichende Untersuchungen über die Enzymaktivität einiger Böden aus Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. – *Pedobiologia* 13, 423-436.
- FREILINGSHAUS, M. (1990): Beziehungen zwischen Körnung, organischer Bodensubstanz und Aggregatstabilität auf einem heterogenen Jungmöränenstandort.- *Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* . Bd. 62, S.35-38.

- FREILINGSHAUS, M. et al. (1993): Quantifizierung der Bodenerosion durch Wind II. Zwischenbericht des „BMFT-Verbundvorhabens“.
- GLAMP (Geologisches Landesamt Mecklenburg- Vorpommern) (1998): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg- Vorpommern, Bodenerosion. GLA
- GRÖBE, B. (1953): Untersuchungen über die Winderosion in Niedersachsen. Bremen. In: Bodenabtrag und Bodenschutz -Beiträge zum Problem der Bodenerosion für landwirtschaftliche Beratung und Umlegung- S.137-145.Bad Godesberg.
- GÜLDALI, N. (1979): Geomorphologie der Türkei- Erläuterungen zur geomorphologischen Übersichtskarte der Türkei 1:2000000, Dr. Ludwig Reichert Verlag. Wiesbaden
- GÜNAY, T. (1997): Orman Ormansızlaşma Toprak Erozyon., TEMA, Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları 1. – İstanbul
- HAIRSINE P:B:& ROSE C.W. (1992a): Modeling water erosion due to overland flow using physical principles, 2. Rill flow.- Water Resour. Res. 28, 245-250.
- HAIRSINE P:B:& ROSE C.W. (1992b): Modeling water erosion due to overland flow using physical principles, 1. Sheet flow.- Water Resour. Res. 28, 237-243.
- HANUS, H. & KMOCH, H.G. (1965): Beitrag zur Methodik der Wasserpermeabilitätsmessung an ungestörten Bodenproben. - Zeitschrift für die Pflanzenernährung und Bodenkunde. 155. S. 185-190
- HARTGE, K. & R. HORN (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart
- HARTMANN, A. & SIMETH, I. (1990): Einfluss des Bodenwasserpotentials auf die Lokalisation mikrobieller Aktivitäten in Bodenaggregaten eines ariden Sandlößbodens.- Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Bd. 62, S.39-42.
- HEINEMEYER, O. et al. (1989):Soil microbial biomas and respiration measurements : an automated tecnique based on infra-red das analysis. Plant and Soil 116, 191-195
- HUDSON, N. (1971): Soil conservation, 2. Aufl., 1977, Cornell Univ. Press, Ithaca.
- HÜTTEROTH, W.D. & HÖHFELD, V. (2002): Türkei. –Wissenschaftliche Länderkunden - Darmstadt.

- HÜTTEROTH, W.D. (1982): Türkei. –Wissenschaftliche Länderkunden 21,S.88 ff - Darmstadt.
- INSAM, H.. & DOMSCH, K.H.(1988):Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology 15, 177-188.
- IŞIK, K,(1999):Çevre Sorunları Biyolojik Çeşitlilik ve Orman Gen Kaynaklarımız. TEMA, Turkey Erosion Muscatel, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı Yayınları 25,– İstanbul.
- İZBIRAK, R. (1962): Geomorphologische Beobachtungen im Oberen Kızılırmak- und Zamantı- Gebiet (östliches Mittelanatolien). Münchener Geographische Hefte: 22 (Hrsg) HARTKE, W. & LOUIS H im Verlag Michael Lassleben Kallmünz/ Regensburg
- JÖRGENSEN, R.G. (1995): Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions- Methode; Göttinger Bodenkundliche Berichte 104, Göttingen.
- KAINZ, M.; WEIß, A. (1988): Eignung verschiedener Aggregatstabilitätsmethoden zur Charakterisierung der Erosionsanfälligkeit.- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 56, 81-84.
- KANDELER, E. & EDER, G. (1990): Bodenmikrobiologische Prozesse und Aggregatstabilität einer 25-jährigen Dauerbrachefläche mit unterschiedlicher mineralischer und organischer Düngung. -Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 62, 63-66.
- KEHL, M. (1997): Experimenteller Laboruntersuchungen zur Dynamik der Wassererosion verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfallens- Bonner Bodenkundliche Abhandlungen Band 21, Bonn.
- KHGM (1996): Köy Hizmetleri Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Rehberi. T.C Basbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Araştırma Planlama ve Koordinasyon Dairesi Başkanlığı yayın No:90, Ankara

- KINNEL, P.I.A. (1988): The influence of flowdischarge on sediment concentrations in raindrop induced flow transport. –Aus. J. Soil Res. 26, 375-382.
- KINNEL, P.I.A. (1991): The effect of flow depth on sediment transport induced by raindrops impacting shallow by flows. –Trans. ASAE 34, 161-168.
- KÖHN, M. (1929): Korngrößenbestimmung vermittels Pipettenanalyse. Tonindustrie-Zeitung, 55, 729-731.
- KÖNIG, W. (2001): Praxiserfahrungen zur Anwendung des Bodenschutzes. Abgrenzungsfragen, ergänzende Regelungen, Fallbeispiele -BVB Materialien Bd.8. Berlin.
- KÖRSCHENS, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluss auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Arch. Acker-Pfl. Boden. 41, 435-463
- KÖRSCHENS, M., SCHULZ, E., BREHM, R. (1990): Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen; Zentralblatt für Mikrobiologie 145, 305-311
- KRETZSCHMAR, R. (1984): Kulturtechnisch- Bodenkundliches Praktikum, Ausgewählte Laboratoriumsmethoden. Eine Einleitung zum selbständigen Arbeiten an Böden.
- KRÜCK, S. et al. (2001): Regenwürmern vermindern Erosionsgefahr. Landwirtschaft ohne Pflug, 1/2001, S. 18-21
- KRÜGER, K. (1963): Die Neue Türkei- mit 32 Photos auf Tafeln und 1 Farbkarte im Safari-Verlag, Berlin.
- KURON, H. (1953): Berücksichtigung des Bodenschutzes bei Beratung und Umlegung. Gießen. In: Bodenabtrag und Bodenschutz -Beiträge zum Problem der Bodenerosion für landwirtschaftliche Beratung und Umlegung- Bad Godesberg.S.1-14
- KÜRSCHNER, H (1983): Vegetationsanalytische Untersuchungen an Halophytenfluren Zentralanatoliens (Türkei). Beihefte zum Tübinger Atlas des vorderen Orients Reihe A (Naturwissenschaften) Nr. 11. Dr. Ludwig Reichert Verlag Wiesbaden.

- KÜRSCHNER, H., RAUS, T., VENTER, J. (1995): Pflanzen der Türkei, Ägäis –Taurus-
Inneranatolien, Quelle & Meyer Verlag 1. Auflage. -Wiesbaden
- KÜRSCHNER, H., RAUS, T., VENTER, J. (1997): Pflanzen der Türkei, Ägäis –Taurus-
Inneranatolien, Quelle & Meyer Verlag 2. Auflage. -Wiesbaden.
- LAFLEN J.M. et al. (1991): WEPP- Soil erodibility experiments for rangeland and cropland
soils. – J. Soil Water Conservation 49, 36-42.
- LIEBEROTH, I. (1982): Bodenkunde. – Berlin
- LOUIS, H. (1985): Landeskunde der Türkei. Stuttgart.
- MAYER, H. & HÜSEYIN, A. (1986): Wälder der Türkei. –Stuttgart
- MC. INTYRE, D. S. (1958): Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop
impact, Soil Sci., 85, 261- 266
- MEYER, W. (1988): Geologie der Eifel. Stuttgart
- MEYNEN, E. (1967): Das Bitburger Land. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Band
XXVI. Heft 3. Bad Godesberg
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J., GELLERT, J., NEEF, E., MÜLLER-MINY, H. &
SCHULTZE, J.H. (Hrsg.) (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung
Deutschlands. Band I, Bad Godesberg.
- MOLLENHAUER, K.; TAYSUN, A.; UYSAL, H.; FRITZ, E.M (1999): Die Saisonalität der
Erodierbarkeit von Böden, dargestellt am Beispiel von sandgeprägten Standorten im
westlichen Anatolien, In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 162,
S.631-636. Weinheim.
- MORGAN, R.P.C. (1986): Soil Erosion and Conservation, Longman Group UK Limited,
Printed in Hong Kong.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1976): Bisherige Untersuchungen über den Bodenabtrag in
Deutschland und anderen Europäischen und Außereuropäischen Ländern. S.26-33 In:
Wege der Forschung Band CCCXXX. Boden Erosion in Mitteleuropa. Darmstadt.

- MÜHR, B. (2002): Klimadiagramme Trier- Petrisberg
- MÜLLER, J.M. (1979): Die Reliefentwicklung in Raum Trier – In: Friedrich, L. et al. (1979): Beiträge zur Trierischen Landeskunde, 345-352, Trier.
- MÜLLER, J.M. (1983): Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde- Trier
- MÜLLER, M.J. (1976): Untersuchungen zur pleistozänen Entwicklungsgeschichte des Trierer Moseltals und der „Wittlicher Senke“. Forschung zur Deutschen Landeskunde, Band 207. Trier
- MÜLLER, M.J. (1976): Untersuchungen zur pleistozänen Entwicklungsgeschichte des Trierer Moseltals und der „Wittlicher Senke“. Forschung zur Deutschen Landeskunde, Band 207. Trier
- NEARING, M.A et al. (1989): A process-based soil erosion model for USDA- Water Erosion Prediction Project technology. –Trans. ASAE 32, 1587-1593.
- NEGENDANK, J. F.W. (1983): Trier und Umgebung. Sammlung Geologischer Führer, Band 60. Berlin/Stuttgart.
- NIEBES, D. (2003): Abschlussverhalten und Erosionsanfälligkeit unterschiedlicher Landnutzungssysteme bei Starkregen im Mittelgebirgsraum des Saar-Ruwer-Mosel-Hunsrück.- Dissertation, Universität Trier, unveröffentlicht
- NILL, D. (1998): Bodenschutzprobleme in Entwicklungsländer. In: Bodenerosion, Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. RICHTER, G (Hrsg.) Wissenschaftliche Buchgesellschaft. S.222-231
- NITZSCHE, O. et al (2000): Minderung des P-Abtrags von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung. -Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 92, S. 178-181
- OLDEMAN, L.R. et al. (1991) : Global Assessment of Soil Degradation – GLASOD. World map of the status of human- induced soil degradation. - 2.Aufl. ISRIC Wageningen und UNEP Nairobi.
- ONOFIOK, O. & SINGER, M. J. (1984): Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 1137-1143

- PAROLLY, G. (1995): Die Steinschuttfluren (Heldreichietea) des Westlichen und Mittleren Taurus (Türkei), Pflanzensoziologische, floristische und ökologische Untersuchungen – DISSERTATIONES BOTANICÆ Band 247, J.CRAMER in der Gebrüder Bornträger Verlagsbuchhandlung Berlin. Stuttgart
- PFEFFER, M.; MENTILER, A.; STRAUSS, P. (1997): Bodenabtrag und Nährstoffverluste unter einem typischen Fruchtfolgesystem Mittelamerikas, am Beispiel eines dreijährigen Parzellenversuches in Managua/ Nicaragua. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85, III, 1457-1460
- POWLSON, D.S. (1994): The soil microbial biomass: Before, beyond and back, pp.3-20. In: Ritz, K.; Dighton, J.; Giller, K.E. (Eds): Beyond the biomass. Compositional and functional analysis of soil microbial communities. John Wiley & Sons, Chichester.
- QUIRIN, M. (2003): Nährstoffbilanzen und Energiekenngrößen konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandschläge in einem Mittelgebirgsraum (Region Trier) Dissertationsarbeit- Universität Trier
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M. (1943): Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils.- Soil Sci. 56, 395-404
- RICHTER, G. (1976): Bodenerosion in Mitteleuropa., -Wege der Forschung Band CCCCXXX. Darmstadt
- RICHTER, G. (1979): Bodenerosion in Reblagen des Moselgebietes, Ergebnisse quantitativer Untersuchungen 1974-1977, Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier-Mertesdorf (Ruwertal), Heft 3, -Trier
- RICHTER, G. (1980): Über das Bodenerosionsproblem in Mitteleuropa. Berichte zur dt. Landeskunde, Bd. 54, S. 1-37. Trier
- RICHTER, G. (1983): Bodenerosionsmessungen und ihre geoökologische Auswertung. - Geomethodica, Vol. 8, S. 23-50.
- RICHTER, G. (1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

- ROHR, W. (1990): Bodenerosionsschäden auf Ackerflächen: Schadenkartierung und Materialfangkästen - eine kombinierte Methode. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 61, S.43-46. Göttingen
- RUTHSATZ, B. & ZOLDAN, J. (1983): Vegetation. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 37. Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1983 in Trier, S. 137 – 152. Münster
- SAUERBECK, D. (1993): Funktionen und Bedeutung der organischen Substanzen für die Bodenfruchtbarkeit –ein Überblick-, Berichte über Landwirtschaft; . – In: Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Bd.4 Humushaushalt, Paul Parey –Verlag, Hamburg.
- SAUERNBORN, P.; BALLISOY, N.; SKOWRONEK, A. (1997): Die Erosivität der Niederschläge in der Türkei. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 85.III, S.1461-1464
- SCHÄFER, R.(1981): Möglichkeiten der Bilanzierung und Minderung der Bodenerosion und der Oberflächenabflüsse von Landwirtschaftlichen Nutzflächen-Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
- SCHÄFER, W. et al. (1990): Bildung und Stabilität von Aggregaten in Sandböden.. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 62, S.83-86.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl. Stuttgart.
- SCHLICHTING, E. & BLUME, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg. Berlin
- SCHMIDT J.(1991): Anwendung eines theoretischen Modells zur Langfristsimulation von Erosions- und Akkumulationsprozessen an Hängen. –Freiburger Geogr. H. 33, 145-165.
- SCHMITT, J. (1989): Computergestützte Simulation der Regenwassererosion an landwirtschaftlichen Nutzflächen. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd.59/II, S.973-976. Göttingen.

- SCHNEIDER, R. (1992): Gefügeentwicklung in Neulandböden aus Löß und Hafenschlick und deren Auswirkung auf Bodenphysikalische und- mechanische Parameter. Diss. Universität Trier
- SCHRÖDER, D. (1981): Ertragsminderung durch Bodenerosion in Lößlandschaften. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 30, 343-354.
- SCHRÖDER, D. (1983): Bodenerosionsmessungen auf 6 Standorten im Trierer Raum- II. Bodenerosion und Bodeneigenschaften. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 38, 703-708.
- SCHRÖDER, D. et al. (1987): Veränderungen von Bodeneigenschaften und Erträgen durch Bodenabtrag bei verschiedenen Ausgangsgesteinen im Raume Trier. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 55/II, 879-884.
- SCHRÖDER, D. (1997): Konzeption einer verlust- und schadstoffarmen Rückführung von menschlichen Ausscheidungen in den Nährstoffkreislauf. Ökosystemanalyse und Umweltforschung Bd.4, S.274-286 Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz
- SCHRÖDER, D. et al. (1998): Abschlußbericht von Projektnummer/ Förderkennzeichen 0339669: Eigenschaften, Funktionen und Entwicklung von Kippböden und Möglichkeiten zur Optimierung von Rekultivierung, Melioration, Nutzung und Bewirtschaftung (unveröffentlicht) S.15 und f.
- SCHÜLLER, H. (1969): Die CAL-Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden; Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 123, 48-63
- SCHWERTMANN, U.; VOGL, W. und KAINZ, M. unter Mitarbeit von AUERSWALD, K. und MARTIN, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. Stuttgart.
- SIEWERT, C. (2001): Untersuchungen zur thermischen und biologischen Stabilität der organischen Bodensubstanz. Habilitationsschrift. Berlin.
- SUNKEL, R. & DELSCHEN, T. (1995): Langfristige Entwicklung der Aggregatstabilität in einem rekultivierten Boden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 76, 65-68

- TARCHITZKY, J. et al. (1984): Nature, formation and effects of soil crusts formed by water drop impact, *Geoderma*, 33, 135- 155.
- TEHRANI, M. A. (1977): Einfluss von Bodenveränderungen durch Bodenerosion auf den Erntertrag Untersucht auf vier Löß-Standorten, Gießen.
- THUM, J. et al. (1990): Zur Humusbildung auf Kipplehm bei Ackernutzung. *Archiv für Acker-, Pflanzenbau und Bodenkunde* 31, 855-864.
- TÜRK TARIM DERGISI (2002): Alternatif Bir Yağ Bitkisi KANOLA. *Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Türk Tarım Dergisi Sayı:147*
- VAN CLEVE, K. & POWERS, R.F. (1995): Soil carbon, soil Formation and ecosystem development. – In: McFEE, W.W.; KELLY, J.M. (ed.): *Carbonforms and functions in forest soils*; 155-200; Soil Science Society of America; Medison Wisconsin
- VETTERLEIN, D. et al. , (1997): Initiale Prozesse der Stoffumsetzung aus reststoffmeliorierten Kippstandorten- a. Zielsetzung des Gesamtprojekts, Hypothesen, Standorte, Versuchsanlage. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 83, 223-226
- WAGNER, W. (1983): Geologie. In: *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 37. Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1983 in Trier, S. 90 – 121. Münster
- WAGNER, W. (1984): Die Geologie der Trier-Bitburger Triasbucht und der Prümer Kalkmulde. In: JÄTZOLD, R. (Hrsg.) (1984): *Der Trierer Raum und seine Nachbargebiete – Exkursionsführer anlässlich des 19. Deutschen Schulgeographentages Trier 1984*. Trierer Geographische Studien, Sonderheft 6, S. 29 – 35. Trier
- WEBER, H. (1953): Maßnahmen zur Bekämpfung und Verhütung der Bodenerosion durch Wasser. Giessen In: *Bodenabtrag und Bodenschutz -Beiträge zum Problem der Bodenerosion für landwirtschaftliche Beratung und Umlegung-* S.33-51.Bad Godesberg.

- WERLE, O. (1978): Die naturräumliche Gliederung des Trierer Raumes. In: WERLE, O. (1978): Trier und Umgebung. Sammlung Geographischer Führer, Band 11. S. 4 – 9. Berlin/Stuttgart
- WERLE, O. (1979): Die naturräumliche Gliederung des Trierer Raumes. In: FRIEDRICH, L., LAUFNER, R., ROTHENBERGER, K.-H., SCHUHN, W. & WERLE, O. (Hrsg.) (1979): Beiträge zur Trierischen Landeskunde. Unterrichtsmaterialien für Geschichte und Geographie. S. 339 – 344. Trier
- WERNER, K. (1982): Maßnahmen zum Erosionsschutz. – Leipzig: Landwirtschaftsausstellung der DDR.
- WICHMEYER, W.H./ SMITH, D.D. (1965): Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. – Agr. Handbook 282 (USDA). Washington
- ZECH, W.; CEPPEL, N. (1977): Anatolien – ein bodengeographischer Streifzug. // Sonderdruck aus den Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München. Band 62.
- ZIEGLER, F. (1990): Aufbau organo- mineralischer Komplexe und Aggregatbildung durch Regenwürmer. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd.62, S.95-98

Tab. A1: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Schiefer*

	Substr	Ort	Horz.	Tf cm	GPV %	P>50 %	50-10 %	10 - 0,2 %	< 0,2 %	P<50 %	ka (µm²)	kf cm/d	Ew (kPa)	Rt(g/cm³)
E156	Schief.	Herl 1	Ah	10	52,56	17,25	3,41	18,8	13,1	35,31	42,29	1565,7	2788,5	1,26
E156	Schief	Herl 1	Bv	30	42,01	3,61	4,24	17,07	17,09	38,04	4,6	30,03	4275,7	1,54
E156	Schief	Herl 1	ICv	60	39,25	5,69	2,96	14,12	16,49	33,56	13,35	368,94	4652,8	1,61
E154	Schief	Herl 2	Ap	15	50,22	18,67	3,42	17,61	10,53	31,56	11,38	498,91	2948,3	1,32
E154	Schief	Herl 2	Bv	30	47,69	20,2	1,19	15,7	10,72	27,61	23,81	500,54	2651,6	1,39
E154	Schief	Herl 2	Bv2	45	46,46	16,51	1,12	17,7	11,25	30,08	23,17	584,42	2945,9	1,42
E154	Schief	Herl 2	ICv	65	35	10,91	1,31	13,01	9,77	24,09	6,29	778,79	3236,5	1,72
To	Schief	Tho.1	Ah		46,5	8,93	3,11	20,77	13,68	37,57	112,3	1398,4	2482,7	1,42
To	Schief	Tho.1	ICv-Bv		34,29	7,18	1,5	12,92	12,69	27,11	25,27	646,88	4538,8	1,74
M34	Schief	Herl 3	Ah	10	49,97	13,74	5,62	16,01	14,6	36,24	41,54	1784,6	1891	1,33
M35	Schief	Herl 4	Ap	15	49,99	17,72	4,84	17,21	10,22	32,27	42,47	1117,7	1888,7	1,33
M35	Schief	Herl 4	Bv	35	43,45	19,94	3,18	13,52	6,82	23,51	86,48	1879,5	1860,7	1,5
M35	Schief	Herl 4	Bv2	55	37,4	13,67	2,32	13,89	7,51	23,72	38,93	2322,4	3036,9	1,66
M35	Schief	Herl 4	Cv	80	30,08	5,6	2,72	13,37	8,39	24,48	2,03	83,33	3775,9	1,85
P1	Schief	Fell 1	Ah		48,39	13,98	3,27	17,98	13,16	34,41	40,31	1280	2710,8	1,37
Tu	Schief	Tho.1	Ah	10	49,84	14,56	2,89	18,09	14,31	35,28	120	2896,8	2379,4	1,33
Tu	Schief	Tho.1	Bv	30	45,21	7	2,8	22,46	12,95	38,21	17,87	1124,6	3630,4	1,45
Tu	Schief	Tho.1	ICv-Bv	55	46,55	11,91	2,49	21,01	11,14	34,63	44,33	1202,4	2734,1	1,42
Tu	Schief	Tho.1	ICv	90	35,74	5,5	1,21	20,89	8,14	30,24	15,27	731,16	4760,5	1,7

*Datenquelle: NIEBES Diss.(unveröffentlicht) und MÜLLER Dip., 2002 (unveröffentlicht)

Tab. A2: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Buntsandstein (Grewerath*)

Substr	Ort	Horz.	Tf cm	GPV %	P>50 %	P50-10 %	P10-0,2 %	P< 0,2 %	ka (µm²)	kf cm/d	Ew (kPa)	Rt (g/cm³)
Bunts.	Gr.1	Ap	0-15	41,8	19,6	5	11,6	5,6	49,9	359,3	1410	1,54
Bunts.	Gr.1	Ap	15-35	42,2	19,9	5,2	11,5	5,6	29,4	378,3	1550	1,54
Bunts.	Gr.1	Bv	35-45	37,1	16,9	4,5	10,4	5,3	15,5	401,1	2220	1,67
Bunts.	Gr.1	Bv	45-60	38	20,7	4,1	8,7	4,5	22	452,5	1710	1,64
Bunts.	Gr.1	II ICvI	60-80	43,8	33,7	5	3,6	1,5	63	900,8	350	1,49
Bunts.	Gr.1	II ICv2	80-100	34,2	16,6	4,3	11,1	2,2	18	595,4	3540	1,72
Bunts.	Gr.2	Ap	0-15	50,6	27,2	8,3	10,2	4,9	49,3	533,7	710	1,31
Bunts.	Gr.2	Ap	15-30	48,5	26,7	7,2	9,8	4,8	19,8	423,1	930	1,36
Bunts.	Gr.2	Bv	30-45	44,3	26,2	8,2	4,8	5,1	20,9	503,5	1450	1,48
Bunts.	Gr.2	Bv	45-60	32,3	12,7	2,5	15,5	1,6	40,5	342,6	550	1,79
Bunts.	Gr.2	II ICvI	60-80	40,4	24,5	5,9	6,1	3,9	21,1	359,5	1740	1,58
Bunts.	Gr.2	II ICv2	80-100	33,2	13,4	2,8	7,1	9,9	9,6	432,9	3890	1,77
Bunts.	Gr.3	Ap	0-15	44,6	17,3	5	15,9	6,4	28,7	248,8	1720	1,48
Bunts.	Gr.3	Ap	15-30	44,9	19,4	4,3	14,5	6,7	6,6	74,4	1940	1,46
Bunts.	Gr.3	M	30-45	40,7	18,6	9,4	6,9	5,8	17,5	199,7	2060	1,57
Bunts.	Gr.3	M	45-90	43	24	6,4	7,7	4,9	47,8	307,6	1320	1,51

*Datenquelle: SCHOBEL Diss.(unveröffentlicht)

Anhang

Tab. A3: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Muschelkalk(Idenheim*)

Substr	Ort	Horz.	Tf. cm	GPV %	P>50 %	50-10 %	10-0,2 %	< 0,2 %	ka μm^2	kf cm/d	Ew (kPa)	Rt (g/cm ³)
Muschk.	Id.1	Ap	0-15	49,3	7,4	1,9	20,5	19,5	6,2	485	950	1340
Muschk.	Id.1	Ap	15-30	49,1	6,2	2,4	21,8	18,7	11,6	450	710	1310
Muschk.	Id.1	M	30-50	43,7	8,9	1	11,3	22,5	27,8	1109	3110	1510
Muschk.	Id.1	M-Sw	50-70	44,8	8,6	1	13,2	22	22,2	1129	3290	1480
Muschk.	Id.1	M-Sw	70-85	42,3	6,3	1,2	12	22,8	21,3	495	3370	1530
Muschk.	Id.1	llclCv-Sd	85-100	41,2	1,7	0,6	12,4	26,5	1,2	15	2640	1570
Muschk.	Id.2	Ap	0-15	48,5	12	2,2	14,7	19,6	37,1	819	1350	1360
Muschk.	Id.2	Ap	15-25	45,7	6,8	2	15,7	21,2	5,4	218	1800	1470
Muschk.	Id.2	Bv	25-45	40,8	5,6	2,3	9,1	23,8	7,4	382	2220	1570
Muschk.	Id.2	Bv-Sw	45-60	46	6,5	3,6	14,2	21,7	5,8	465	2240	1440
Muschk.	Id.2	Cv	60-100	33,7	3	2,1	5,3	23,3	5	87	4150	1800
Muschk.	Id.3	Ap	0-25	45	11,1	5,5	14,5	13,9	42	390	2540	1440
Muschk.	Id.3	Bv	25-55	42,1	10,8	3,5	11,2	16,6	27	1079	3160	1550
Muschk.	Id.3	llclCv-Sw	55-85	45,6	2,2	2,5	10,7	30,2	5,6	190	2420	1490
Muschk.	Id.3	llclCv-Sd	85-100	34,8	1,2	2,6	7,6	23,4	1	4	7600	1680

*Datenquelle: SCHOBEL Diss.(unveröffentlicht)

Tab. A4: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Löß (Köln Altland*)

	Substr	Ort	Horz.	GPV %	P>50 %	50-10 %	10-0,2 %	P<0,2 %	ka μm^2	Kf cm/d	Ew. kPa	Rt g/cm ³
K21	Löß	Köln.AI	Ap	51,3	14,2	3,6	19,2	14,3	16,2	1080	150	1,29
K21	Löß	Köln.AI	Al	43,6	4,8	4,2	22,9	11,7	5,7	9,5	260	1,5
K21	Löß	Köln.AI	AlBt	44,8	7,9	3	19,5	14,4	4,5	92,4	240	1,48
K21	Löß	Köln.AI	Bt	41,9	5,2	1,4	19,4	15,9	7,3	23,7	430	1,55
K22	Löß	Köln.AI	Ap	43,8	8,3	2,9	18	14,6	14,3	80,5	270	1,49
K22	Löß	Köln.AI	Al	43,1	4,3	4,6	20,3	13,9	4,2	16,3	290	1,52
K22	Löß	Köln.AI	AlBt	44	6,7	3,6	17,3	16,4	7,4	40,4	320	1,5
K22	Löß	Köln.AI	Bt	41,2	2,6	2,5	18,6	17,5	5,8		370	1,57
K23	Löß	Köln.AI	Ap	42,4	5,1	4,4	20,9	12	12,4	14,7	220	1,52
K23	Löß	Köln.AI	AlBt	42,6	5,9	4,3	19,7	12,7	9,6	20,7	210	1,52
K23	Löß	Köln.AI	Bt	39,5	1,5	2,1	15,4	20,5	3,7	21,6	340	1,61
K23	Löß	Köln.AI	Cv	40,2	3,5	1,6	19,3	15,8	3,6		380	1,59

*Datenquelle: SCHNEIDER Diss.(1992)

Anhang

Tab. A5: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Löß (Böden Mitteldeutschland*)

Subst	Horiz.	GPV %	P>50 %	50-10 %	10 - 0,2 %	< 0,2 %	<50 %	ka μm^2	kf cm/d	Ew (kPa)	Rt- g/cm ³
LL1	0-30	49,4	20,9	4,8	15,1	8,5	19,9	31,6	806	1046,6	1,34
LL1	30-50	37,8	9,3	3,2	16,1	9,2	19,3	14,4	208,2	2233,6	1,65
LL1	50-70	39,3	13,9	3,3	11,4	10,8	14,7	42,8	218,2	1819,5	1,61
LL1	70-100	32,5	8,7	2,7	5,7	15,5	8,3	8	68,7	2638,7	1,79
LL2	0-30	45,5	15,1	6,3	14,9	9,2	21,2	10,1	102,6	1869,2	1,45
LL2	30-50	39,7	10,6	4,3	15,7	9,1	20	15,4	268,2	2606,2	1,6
LL2	50-70	38,2	12,4	3,1	9,6	13,1	12,7	19,6	543,4	2215	1,64
LL2	70-100	33,7	9,3	3,4	7,5	13,5	10,9	11,6	253,1	2807	1,76
LL3	0-30	43,7	9,5	4,3	18,5	11,4	22,7	5,4	30,3	2901	1,5
LL3	30-50	40	5,2	3,8	17,5	13,4	21,3	5,5	58,3	2499,7	1,6
LL3	50-70	42,7	8,5	2,9	20,3	10,9	23,3	10,1	87,1	2165,5	1,53
LL3	70-100	31,5	9,8	3,3	1	17,4	4,3	6,8	65,1	2768,5	1,83
LL4	0-30	43,5	7,8	4,8	20,8	10	25,7	2,6	26,4	1929,3	1,5
LL4	30-50	42,5	7,5	4,3	22,6	8	26,9	10,2	131,4	2433,3	1,52
LL4	50-70	46,1	10,8	3,2	16,4	15,8	19,5	19,6	448,5	1654,4	1,43
LL4	70-100	30,7	8,3	3,3	4,8	14,4	8	2,9	22,2	3573,8	1,84

*Datenquelle: HÜBL Diss.(2000)

Tab. A6: Bodenphysikalische Eigenschaften der Böden aus Mittelanatolien

Substr.	Ort	Horiz.	Tf.	GPV%	P>50 %	50-10 %	10 - 0,2 %	< 0,2 %	ka (μm^2)	kf cm/d	Ew (kPa)	Rt (g/cm ³)
Eozän	Nall.	Bv	25-40	55,27	0	4,29	25,67	25,4	24,17	270	1444,3	1,19
Eozän	Nall.	Bv	25-40	54,45	10,34	7,82	20,47	15,82	21,47	141	958,13	1,21
Miozän	Bexp.	Bv	25-40	59,89	5,22	8,39	22,83	23,46	5,7	55,97	2884,7	1,06
Miozän	Bexp.	Bv	25-40	59,39	5,32	7,98	23,48	22,61	22,72	112	2068,8	1,08
Quartär	Cub.	Bv	25-40	42,9	1,09	2,92	18,94	19,95	0,93	12,29	1897	1,51
Oligo- miozän	Cank.	Bv	25-40	67,88	1,79	18,72	26,82	20,54	15,31	41	1761,4	0,85

Tab. A7: Korngrößenverteilung, C_{org}- Gehalte, Aggregat- und Durchlässigkeitsklassen

der Böden aus Schiefer

	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	% C _{org}	A	D	M	OS	K-Faktor
H.1	7	5	10	22	25	12	17	1,84	3	6	5040	3,2	0,38
H.2	9	7	11	21	23	12	18	1,959	3	6	4689	3,4	0,34
Tho.	17	16	23	21	15	2	18	1,633	3	6	3845	2,8	0,29
H3	9	5	10	23	24	12	17	1,75	3	6	5003	3	0,39
H.4	10	6	11	24	21	12	17	1,86	3	6	4803	3,2	0,36
Fell1	18	25	21	17	9	3	21	1,997	3	6	2989	3,4	0,19
Fell3	20	18	20	20	11	2	23	1,997	3	6	3420	3,4	0,23
Thu.	13	19	25	22	15	1	18	1,632	3	6	3937	2,8	0,3

Tab. A8: Korngrößenverteilung*, C_{org}- Gehalte, Aggregat- und Durchlässigkeitsklassen der Böden aus Buntsandstein

	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	% C _{org}	A	D	M	OS	K-Faktor
Gr.1	1	39	41	5	5	3	7	1,0	4	6	1810	1,8	0,17
Gr.2	1	35	25	17	10	4	7	1,5	4	6	3193	2,5	0,28
Gr.3	1	36	24	19	10	4	1	2,3	4	6	3231	3,9	0,24

*Datenquelle: TRESSEL Diss.(2000)

Anhang

Tab. A9: Korngrößenverteilung, Corg- Gehalte, Aggregat- und Durchlässigkeitsklassen der Böden aus Muschelkalk

	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	% C _{org}	A	D	M	OS	K-Faktor
Id.1	1	2	4	23	25	15	31	2,01	3	6	4396	3	0,31
Id.2	2	1	11	26	14	9	30	1,54	3	6	3156	2	0,23
Id.3	3	2	11	27	12	8	29	1,76	3	6	3018	3	0,21

Tab. A10: Korngrößenverteilung, Corg- Gehalte, Aggregat- und Durchlässigkeitsklassen der Böden aus Löß (Köln Altland* und Böden aus Mitteldeutschland**)

	gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	% C _{org}	A	D	M	OS	K-Faktor
K21	4	6	7	46	17	5	15	1,39	3	6	5844	2,4	0,5
K22	1	5	8	48	18	4	17	1,17	3	4	5814	2	0,58
K23	1	3	2	52	15	4	24	1,06	3	3	5293	1,8	0,57
LL1	4	19	14	23	20	5	14	1,3	3	6	4252	2,2	0,35
LL2	1	2	3	43	28	7	18	1,2	3	5	6336	2,1	0,6
LL3	2	5	4	42	26	8	14	1,6	3	3	6484	2,8	0,64
LL4	2	2	4	41	28	8	15	1,5	3	3	6610	2,6	0,67

*Datenquelle: SCHNEIDER Diss.(1992); **Datenquelle: HÜBL Diss.(2000)

Tab. A11: Korngrößenverteilung(mit und ohne Vorbehandlung), Corg- Gehalte, Aggregat- und Durchlässigkeitsklassen türkischer Böden

Türkei		gS	mS	fS	gU	mU	fU	T	% C _{org}	A	D	M	OS	K-Faktor
O.V	Nallihan1OV	1,46	1,14	0,6	12	20	26	T	0,55	3	5	3585	0,9	0,36
M.V	Nallihan1OV	1,65	13,5	21	12	7,1	4,2	67	0,4	3	5	1563	0,7	0,15
O.V	Nallihan2	1,99	9,13	11	22,4	19	17	38	0,4	3	5	4728	0,7	0,49
M.V	Nallihan2	1,9	0,61	2,2	16,4	12	12	41	0,84	3	4	1812	1,4	0,19
O.V	Beypazari1	2,23	1,78	4	48,9	21	12	19	0,84	3	5	7455	1,4	0,77
M.V	Beypazari1	0,2	0,67	2,7	7,52	7,5	8,2	55	0,99	3	5	622,5	1,7	0,05
O.V	Beypazari2	0,99	3,11	13	41	19	11	9	0,99	3	5	6149	1,7	0,6
M.V	Beypazari2	10,8	17,8	9,3	11,8	7,9	3,4	73	0,74	3	3	1509	1,3	0,2
O.V	Cubuk	18,1	12,2	5,6	8,59	12	17	13	0,74	3	3	2805	1,3	0,33
M.V	Cubuk	0,3	18,6	4	25,5	40	0,5	38	0,74	3	6	5842	1,3	0,56
O.V	Cankiri	3,4	13	5,7	21,5	42	0,6	26	0,74	3	6	5618	1,3	0,54
M.V	Cankiri	0,83	1,21	0,8	2,31	3,2	7,9	11	0,83	3	4	218	1,4	0,06
O.V	Cayirhan1	0,88	1,64	1,6	21,8	25	17	13	0,83	3	4	4331	1,4	0,45
M.V	Cayirhan1	0,49	1,01	0,7	0,98	5,9	7,8	83	0,63	3	4	246,2	1,1	0,06
O.V	Cayirhan2	1,94	1,27	0,8	6,57	16	45	32	0,63	3	4	4789	1,1	0,52
M.V	Cayirhan2	0,3	1,06	0,7	3,41	7,8	9,2	83	0,57	3	4	458,9	1	0,08
O.V	Cayirhan3	1,28	0,95	0,7	22,1	20	23	28	0,57	3	4	4378	1	0,48
M.V	Cayirhan3	0,49	1,41	0,8	1,98	5,5	8,4	77	0,44	3	4	295,4	0,8	0,06
O.V	Cayirhan4	1,41	1,06	0,7	15,9	22	24	32	0,44	3	4	4051	0,8	0,45
M.V	Cayirhan4	0,54	2,21	1,3	1,47	6,8	9,3	81	0,62	3	4	385,4	1,1	0,07
O.V	Cayirhan5	1,14	2,17	2	23,4	19	20	34	0,62	3	4	4211	1,1	0,45
M.V	Cayirhan5	4,59	4,72	1,5	7,04	10	6,5	78	0,69	3	3	836	1,2	0,14
O.V	Dül	4,55	3,5	1,7	11,2	26	22	32	0,69	3	3	4159	1,2	0,48
M.V	Dül	0,28	1,08	28	5,91	13	6,9	65	0,727	4	3	1610	1,3	0,25
O.V	Dü2	0,89	1,8	29	30,2	20	9,8	30	0,727	4	3	5610	1,3	0,68
M.V	Dü2	16,1	16,8	6,2	11,5	7,5	7,5	44	0,555	3	3	1803	1	0,23
O.V	Cermik1	26,9	11,5	4,4	12,5	11	11	9	0,555	3	3	2797	1	0,34
M.V	Cermik1	32,9	29	5,9	5,27	4,7	5,8	34	0,679	4	3	1340	1,2	0,23
O.V	Cermik2	61,9	11,3	2,9	1,98	5,5	5,5	22	0,679	4	3	1288	1,2	0,22
M.V	Cermik2	9,14	19,9	11	14,5	8,5	7,3	16	0,42	4	3	2234	0,7	0,32
O.V	ver. Bauer	3,76	18,1	11	21,5	14	11	10	0,42	4	3	3786	0,7	0,49
M.V	ver Bauer	4,02	19,5	11	19,3	9,7	6	29	0,385	4	3	2538	0,7	0,36
O.V	Bauer VW	6,02	17	9,4	18,9	14	24	20	0,385	4	3	5214	0,7	0,66
M.V	Bauer VW	0,43	0,57	1,9	5,79	8,2	8,2	30	1,34	3	3	557,2	2,3	0,11
O.V	Dv1	1,6	3,15	7,4	19,2	15	16	10	1,34	3	3	3073	2,3	0,33
M.V	Dv1	0,51	0,75	0,5	8,18	9,1	8,7	74	0,774	3	3	718,3	1,3	0,13
O.V	Dv2	5,9	10,8	14	14,1	9,5	10	38	0,774	3	3	2296	1,3	0,28
M.V	Dv2	0,55	1,08	0,5	3,51	11	8,5	72	0,903	3	3	556	1,6	0,11
O.V	Dv3	1,11	0,94	1,7	21,4	19	16	35	0,903	3	3	3469	1,6	0,39

Tab. A12 : Bodenchemische –und biologische Eigenschaften der Böden aus Schiefer

	Subst.	Ort	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g	pH	CaCO3 %	%C	%N	C/N	BA. g µg CO2/g/h	Cmik µg/g	C _{hwl} µg C / g Boden
E156	Schief.	H.1	13,2	36,4	6,1	0	1,91	0,13	14,15	1,9	334,73	
E154	Schief.	H.2	10,1	28,3	5,8	0	1,82	0,16	12,25	1,96	323,6	
To	Schief.	Tho.1	15,93	2,17	5,88	0	2,052	0,257		1,73	500,1	636,6
M34	Schief.	H.3			5,63	0				1,33	631,5	
M35	Schief.	H.4			5,61	0				0,2	290,53	
P1013	Schief.	Fell 3			6,41	0				1,24	250,6	
P171	Schief.	Fell 5			6,4	0				0,995	733	
Tu	Schief.	Tho.2	14,36	7,95	5,26	0	1,629	0,221	7,38	2,23	510,6	493,86
KE	Schief.	H.5	14,36	12,3	5,37	0	2,286	0,113	20,23	1,49	336,2	501,5

Tab. A13: Bodenchemische –und biologische Eigenschaften der Böden aus Buntsandstein

Subst.	Ort	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g	pH	CaCO3 %	%C	%N	C/N	BA µg CO2/g/h	Cmik µg/g	C _{hwl} µg C/g Boden
Bunts.	Gr.1	14,36	9,4	5,06	0	1,044	0,11	9,15	0,99	161,96	403,2
Bunts.	Gr. 2	17,76	2,17	4,88	0	1,46	0,189	7,7	1,53	322,8	530,5
Bunts.	G. 3	16,63	3,85	5,25	0	2,293	0,179	12,8	1,74	287,43	527,01

Tab. A14: Bodenchemische –und biologische Eigenschaften der Böden aus Muschelkalk

Subst.	Ort	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g	pH	CaCO3 %	%C	%N	C/N	BA µg CO2/g/h	Cmik µg/g	C _{hwl} µg C / g Boden
Muschk.	ld.1	6,78	2,17	7,23	4,46	2,9	0,27	7,4	2,59	371,24	607,3
Muschk.	ld.2	17,67	8,67	7,08	18,5	5,3	0,187	8,2	2,05	360,12	709,5
Muschk.	ld.3	17,15	2,65	5,51	n.n.	1,8	0,176	9,9	2,03	192,41	573,8

Tab. A15: Bodenchemische –und biologische Eigenschaften der Böden aus Löß*

Subst.	Ort	P2O5 mg/100g	K2O mg/100g	pH	CaCO3 %	%N	C/N	BA. µg CO2/g/h	Cmik µg/g	C _{hwl} µg C / g Boden
K21	Köln* Al.			6,9	0,4	0,14	9,9		430	
K22	Köln* Al.			7,1	0,4	0,11	10,6		397	
K23	Köln* Al.			5,8	0,1	0,1	10,6		341	
										735
LL1	Mit.Dt	14,21	20,04	5,5	1,27	0,16	7,9375	1,07	282,72	
LL2	Mit.Dt	10,93	12,91	6,1	1,21	0,13	9,3	1,03	291,14	610
LL3	Mit.Dt	15,23	25,65	6,8	1,59	0,16	3,6	1,41	314,37	625
LL4	Mit.Dt	10,13	14,94	7,3	1,49	0,14	10,6	1,15	275,1	293

*Datenquelle: Schneider Diss. (1992), **Datenquelle: HÜBL Diss.(2000)

Tab.A17: Bodenchemische –und biologische Eigenschaften der Böden aus Mittelanatolien

Subst.	Ort	P2O5 mg/100	K2O mg/100g	pH	CaCO3 %	%C	%N	C/N	BA µg CO2/g/h	Cmik ug/g	C _{hwl} µg C / gBoden
Eozän	Nallihan1	3,73	11,14	8,59	16,29	3,81	0,206	2,66	1,07	518,67	193,6
Eozän	Nallihan2	12,18	7,709	8,27	10,44	2,49	0,054	7,40	0,53	285,3	237,5
Eozän	ver Bauer	4	8,2	7,7	13,34	3,056	0,025	15,4	1,04	109,6	149,4
Eozän	Bauer VW	3,7	4,6	7,94	15,47	3,516	0,036	11,6	0,82	102,13	226,9
Eozän	Cayirhan1	2,9	14,46	7,38	11,12	3,056	0,025	33,	1,28	203,26	293,4
Eozän	Cayirhan2	3,65	11,32	7,75	15,78	3,785	0,056	11,1	1,31	198,2	291,7
Eozän	Cayirhan3	2,6	11,81	7,9	17,3	4,036	0,098	5,8	1,94	454,71	239,3
Eozän	Cayirhan4	3,35	13,73	7,95	16,31	3,7	0,084	5,18	1,36	349,38	201,3
Eozän	Cayirhan5	2,87	12,05	7,97	16,07	3,838	0,033	18,8	0,87	320,19	210,7
Miozän	Bey pazari1	17,15	25,538	8,23	9,45	2,731	0,102	8,2	1,54	620,98	344,5
Miozän	Bey pazari2	15,5	28,429	8,14	9,17	2,826	0,109	9,08	1,53	687,44	405,0
Quartär	Cubuk	14,5	10,119	8,25	5,61	1,862	0,126	5,87	1,53	622,46	308,1
Olig/miozän	Cankiri	8,09	6,75	8,14	10,25	2,792	0,094	7,87	1,41	411,58	278,2
Pleistozän	DBDicle1	2,25	11,56	7,92	2,47	1,183	0,138	4,99	1,88	245,8	244,2
Pleistozän	DBDicle2	5,3	6,02	7,9	10,47	2,822	0,036	20,2	1,59	241,17	261,3
Pleistozän	DBDeve1			6,73					0,92	256,5	
Pleistozän	DBDeve2			6,67					0,3	130,3	
Pleistozän	DBDeve3			6,61					0,7	159,7	
Pleistozän	DBDeve4			7,02					0,95	159,4	
Flysch											
Flysch	Cermik1	5,3	7,47	7,89	8,71	2,298	0,069	8,04	1,32	172,28	236,3
Flysch	Cermik2	2,2	3,85	7,53	8,05	2,291	0,199	3,41	0,93	77,17	145,4

Tab. A18: Einstufung der Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (nach AG Bodenkunde 1982,S.153 verändert)

kf-Werte (cm/d)	Bezeichnung	Kurzzeichen
<1	Sehr gering	kf1
1-10	gering	kf2
10-40	mittel	kf3
40-100	hoch	kf4
100-300	sehr hoch	kf5
>300	äußerst hoch	kf6

Tab.A19: Einstufung der Aggregatgröße nach KA (1982, S.119)

Länge der Querachse der Gefügeelemente bzw. Dicke der Schicht/Platte in mm	Bezeichnung	Kennziffer (dem Kurzzeichen der Gefügeform nachgestellt)
Makro grobgefüge >200	grob	4
200-100	mittel	3
<100*	fein	2
Makro feingefüge >50**	sehr grob	5
50-20	grob	4
5-2	mittel	3
<2	fein	2
	sehr fein	1

*Nur wenn kein Makro feingefüge vorhanden ist; **nur in Verbindung mit Formen des Makro grobgefüges

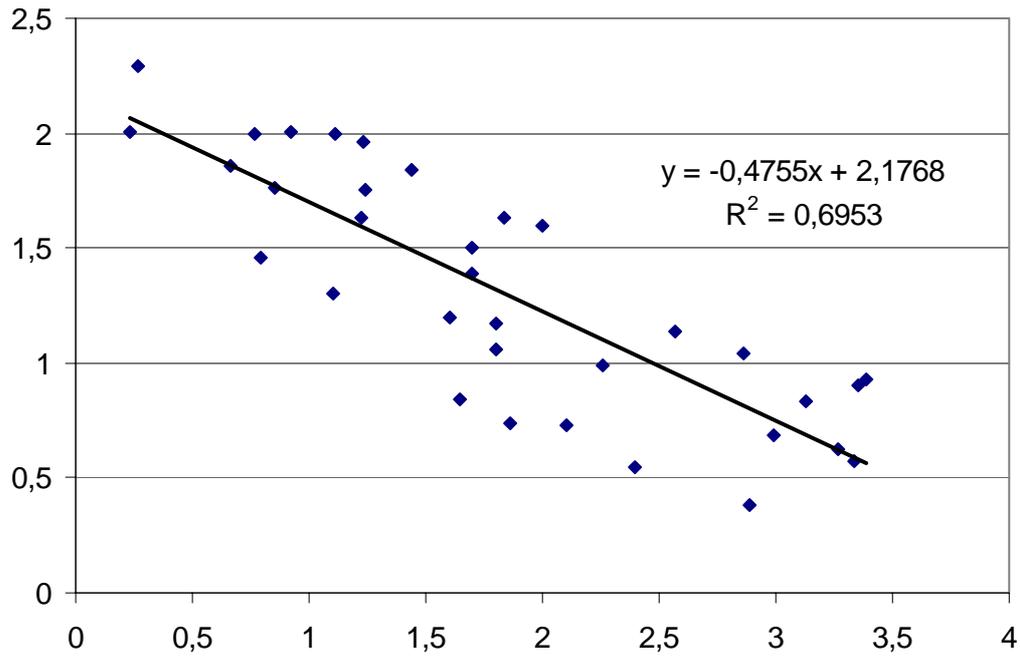


Abb. A1. Zusammenhang zwischen Corg- Gehalte und Aggregatstabilität deutscher und türkischer Böden

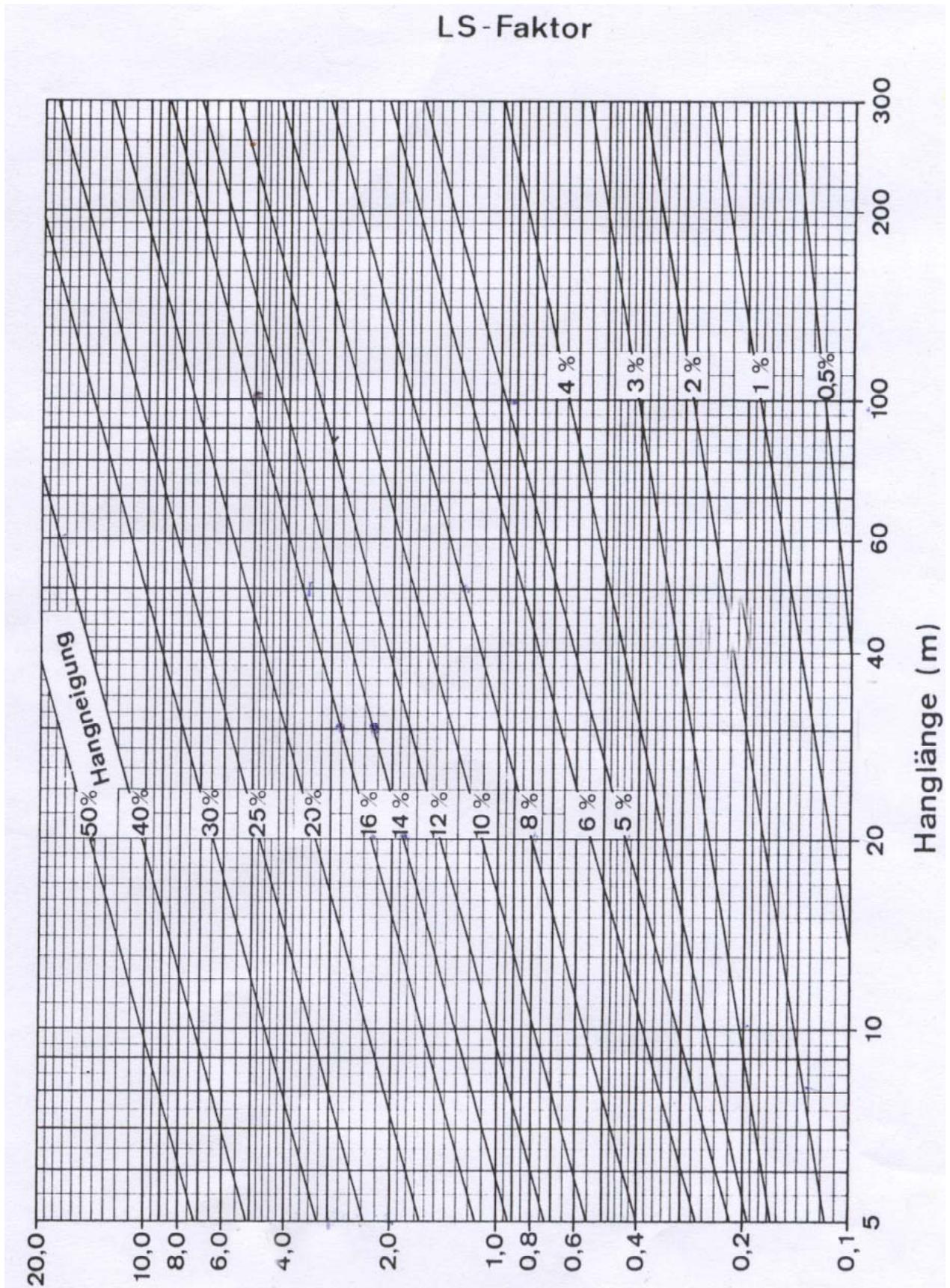


Abb. A2: LS- Nomogram aus SCHWERTMANN et al.(1987)

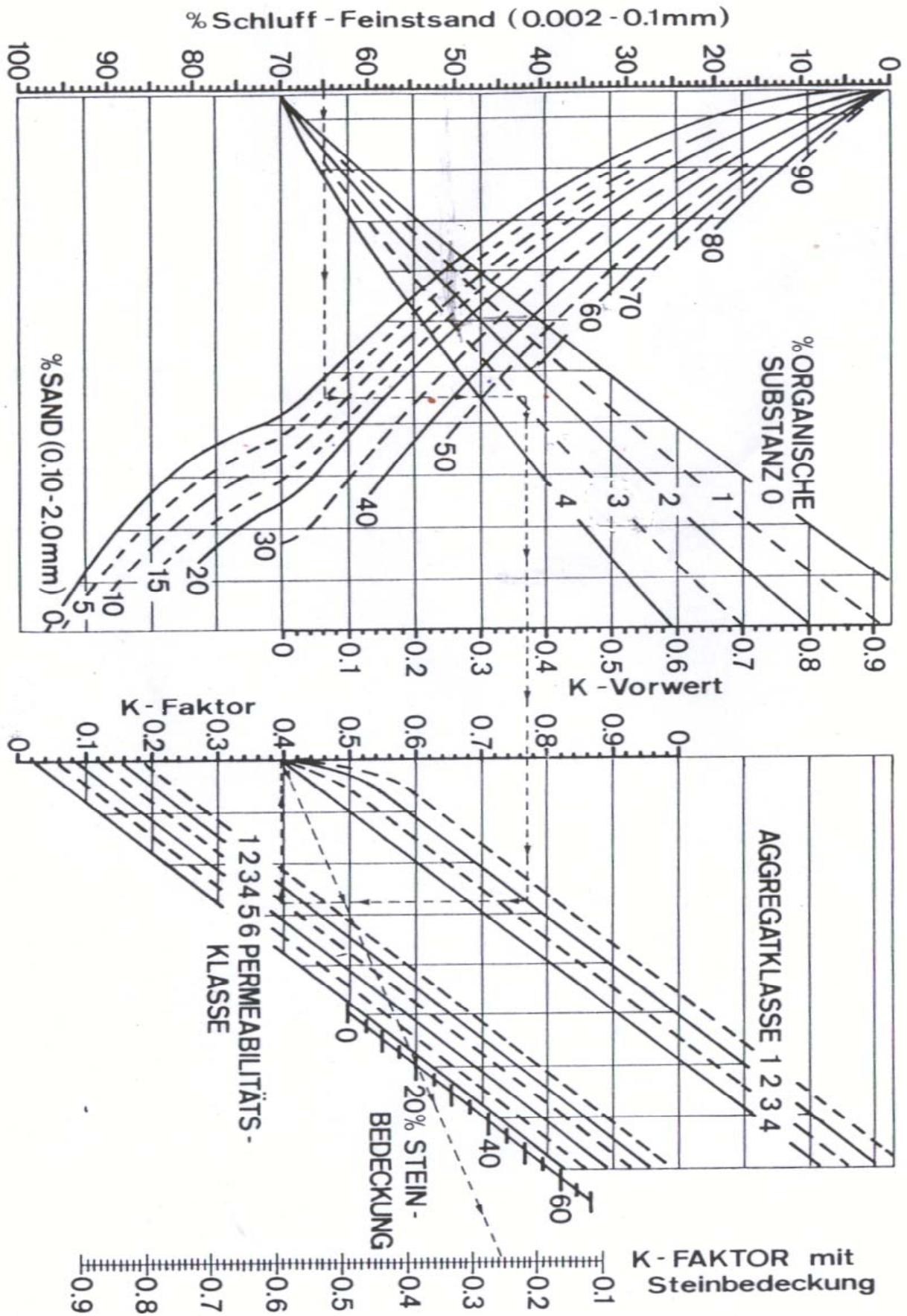


Abb. A3: K-Faktor Nomogramm (SCHWERTMANN et al.,1987)

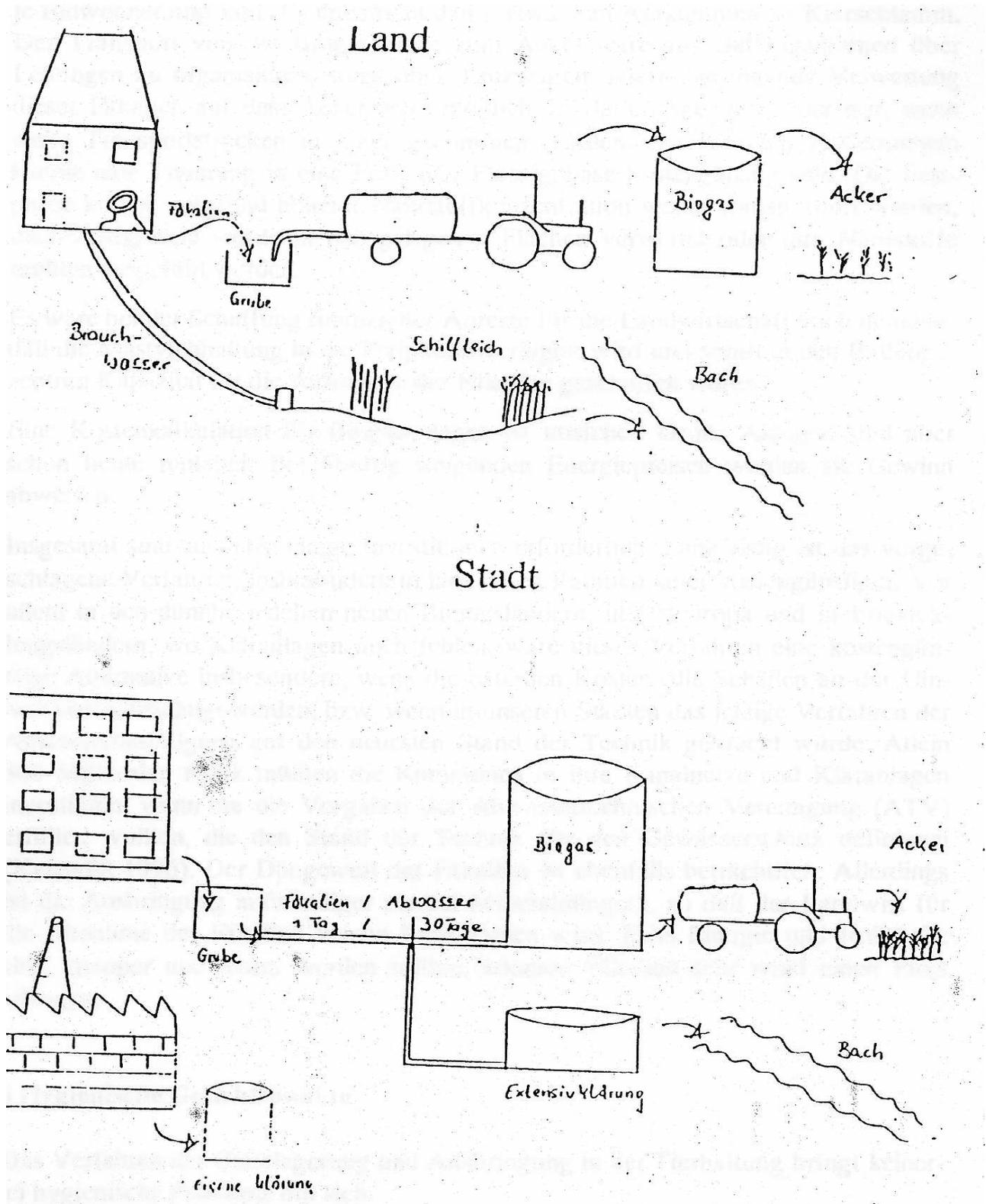


Abb. A4: Sammlung der Fäkalien und Klärung der restlichen Abwässer

LEBENS LAUF

Name: Tunç
Vorname: Erdihan
Geboren: am 01.04.1974 in Mardin in der Türkei
Familienstand: verheiratet, ein Kind

Anhang

Schulbildung

- 1981-1988 Grundschule und Mittelschule in Nusaybin / Mardin-Türkei.
1988-1992 Gymnasium in Adana Türkei.

Studium

- 1992-1997 Biologiestudium (in Deutsch) an der Universität Hacettepe in Ankara.
1997 Ablegung der Deutschen Sprachprüfung für den Hochschulzugang der
 Ausländischen Studienbewerber (DSH)
1997 Abschluss des Biologie Studiums an der Universität Hacettepe in Ankara.
1997-1999 Angewandte Umweltwissenschaften an der Universität Trier
1999 Vordiplomprüfungen in der Fachrichtung Angewandte Umweltwissenschaften
 an der Universität Trier

Promotion

- seit 1999 Promotionsstudium an der Universität Trier im FB VI, Abteilung Bodenkunde
07.2002-
08.2003 Promotionsstipendium durch den DAAD an der Universität Trier.

Berufstätigkeit

- 1998-1999 Wissenschaftliche Hilfskraft in der Abteilung Hydrologie
2000-2001 Lehrerin in der Grundschule Çermik in der Provinz Diyarbakir- Türkei
2001- 2002 Lehrerin in der Grundschule Çayırhan in der Provinz Ankara- Türkei