

BERLINER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

Herausgegeben von Gerhard Stäblein und Wilhelm Wöhlke

Schriftleitung: Dieter Jäkel

Heft 34

Kirsten Gehrenkemper

Rezenter Hangabtrag und geoökologische Faktoren in den Montes de Toledo Zentralspanien

39 Abbildungen, 13 Tabellen, 24 Photos, 4 Karten

1981

Im Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der Freien Universität Berlin

ISBN 3-88009-032-5

Kirsten Gehrenkemper

**Rezenter Hangabtrag und geökologische Faktoren
in den Montes de Toledo – Zentralspanien**

Herausgegeben von Gerhard Stäblein und Wilhelm Wöhlke

Schriftleitung: Dieter Jäkel

Heft 34

Kirsten Gehrenkemper

Rezenter Hangabtrag und geoökologische Faktoren in den Montes de Toledo Zentralspanien

39 Abbildungen, 13 Tabellen, 24 Photos, 4 Karten

1981

Im Selbstverlag des Institutes für Physische Geographie der Freien Universität Berlin

ISBN 3-88009-032-5

Vorwort

Die Anregung zur vorliegenden Arbeit erhielt ich von Herrn Prof. Dr. G. STABLEIN, dem ich für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung danke.

Die Felduntersuchungen wurden in sechs mehrwöchigen Aufenthalten in den Montes de Toledo in den Jahren 1975, 1976, 1977 und 1979 durchgeführt. Neben den Geländearbeiten war ein intensives Literaturstudium und die Beschaffung von Datenmaterial vor allem bei staatlichen Behörden notwendig. Für die Hilfsbereitschaft, die mir in Spanien zuteil wurde, sei hier stellvertretend Herrn F. BAQUERRO vom Instituto Nacional para Conservación de la Naturaleza (ICONA) gedankt, der mich an zahlreichen Geländetagen begleitete und mich über den Stand und die Planung der Aufforstungsmaßnahmen im Gebiet der Sierra de Guadalupe informierte.

Bei den Programmierarbeiten für die statistische Auswertung der Klimadaten konnte ich auf die Hilfe von Herrn G. BRAUN vom Institut für Physische Geographie der FU Berlin zurückgreifen. Die Grundkarte für die Kartenbeilagen wurde von Herrn Ing. grad. J. SCHULZ gezeichnet. Auch ihnen sei gedankt.

Meinen besonderen Dank möchte ich meinem Mann aussprechen, der mich nicht nur bei der Laborarbeit und bei der Reinzeichnung der Abbildungen unterstützte, sondern mir auch bei vielen technischen Problemen im Gelände tatkräftig zur Seite stand.

In den Jahren 1975 und 1976 wurde die Arbeit finanziell durch ein Stipendium nach dem Bundes-Graduiertenförderungsgesetz von der Philipps-Universität Marburg unterstützt.

Berlin, im April 1980

Kirsten Gehrenkemper

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abbildungsverzeichnis	06
Tabellenverzeichnis	07
Verzeichnis der Photos	07
1. EINFÜHRUNG	08
1.1 Allgemeine Problemstellung und Zielsetzung	08
1.2 Untersuchungsmethoden	09
1.2.1 Begriff „Bodenerosion“	09
1.2.2 Bodenerosionsforschung	10
1.2.3 Beschreibung der Meßverfahren	11
2. DIE ARBEITSGEBIETE	14
2.1 Abgrenzung der Arbeitsgebiete	14
2.2 Auswahlkriterien für die Arbeitsgebiete	14
2.2.1 Geologie	14
2.2.2 Hangneigung	15
2.2.3 Niederschlag	16
2.3 Das Klima	16
2.3.1 Die Niederschläge	17
2.3.2 Die Temperaturen	19
2.3.3 Die Wetterlagen	19
2.3.4 Die Niederschlagsintensität	20
2.3.5 Die Trockenheit	22
2.3.6 Weitere Niederschlagsarten	23
2.4 Die Meßreihen in der Sierra de Guadalupe	23
2.4.1 Die Meßreihe A	24
2.4.2 Die Meßreihe B	26
2.4.3 Die Meßreihe C	28
2.4.4 Die Meßreihe D	30
2.4.5 Die Meßreihe E	32
2.4.6 Die Meßreihe F	34
2.4.7 Die Meßreihe G	37
2.4.8 Die Meßreihe H	39
2.5 Die Meßreihen am Rio Guajaraz	40
2.5.1 Die Meßreihe I	41
2.5.2 Die Meßreihe J	45
3. AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE	46
3.1 Auswertung der Abtragungsmessungen	46
3.2 Auswertung der Parameter am Hang	47
3.3 Auswertung der bodenstrukturellen Eigenschaften	48
3.4 Auswertung der Niederschlagsmessungen	50
3.5 Auswertung der Abflußmessungen	51

4.	DIE VEGETATIONSVERTEILUNG ALS FAKTOR DER ABTRAGUNG	53
4.1	Die Waldformationen	54
4.1.1	Der Monte-bajo	54
4.1.2	Die staatlichen Aufforstungen	55
4.2	Der Ackerbau	58
4.2.1	Aufteilung der Wirtschaftsfläche	58
4.2.1.1	Die Wirtschaftsfläche der Kleinbetriebe	59
4.2.1.2	Die Wirtschaftsfläche der Großbetriebe	60
4.3	Areale der Abtragsgefährdung	61
5.	ZUSAMMENFASSUNG	63
6.	SUMMARY	64
7.	RÉSUMÉ	65
8.	RESUMEN	66
9.	LITERATURVERZEICHNIS	67
10.	KARTENVERZEICHNIS	70

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Vegetationskarte	Beilage
Abb. 2:	Vergleich von Niederschlag und Temperatur der Klimastationen Cañamero und Navahermosa	12
Abb. 3:	Vergleich von Abfluß und Niederschlag der Abflußstationen am Cedena und Guadارانque	13
Abb. 4:	Hangneigungskarte	Beilage
Abb. 5:	Übersichtskarte	Beilage
Abb. 6:	Schwankung der Niederschlagssummen im Juli	19
Abb. 7:	Anteil der verschiedenen Niederschlagsarten für die Klimastation Navahermosa	21
Abb. 8:	Anteil der verschiedenen Niederschlagsarten für die Klimastation Cañamero	21
Abb. 9:	Karte des Arbeitsgebietes im südlichen Vorland der Montes de Toledo	23
Abb. 10:	Geologische Übersichtskarte des südlichen Vorlandes der Sierra de Guadalupe	24
Abb. 11:	Profil der Meßreihe A	25
Abb. 12:	Granulogramme der Meßreihe A	25
Abb. 13:	Profil der Meßreihe B	27
Abb. 14:	Granulogramme der Meßreihe B	28
Abb. 15:	Profil der Meßreihe C	29
Abb. 16:	Granulogramme der Meßreihe C	30
Abb. 17:	Profil der Meßreihe D	31
Abb. 18:	Granulogramme der Meßreihe D	32
Abb. 19:	Profil der Meßreihe E	33
Abb. 20:	Granulogramme der Meßreihe E	33
Abb. 21:	Profil der Meßreihe F	35
Abb. 22:	Laufzeitdiagramm und Auswertung der seismischen Messungen im Sattel zwischen den Meßreihen F und H	35
Abb. 23:	Mächtigkeit und Gliederung der Hangschuttdecke in der Meßreihe H	36
Abb. 24:	Granulogramme der Meßreihe F	36
Abb. 25:	Infiltrationskurve in der Meßreihe F	37
Abb. 26:	Profil der Meßreihe G	37
Abb. 27:	Granulogramme der Meßreihe G	38
Abb. 28:	Profil der Meßreihe H	39
Abb. 29:	Granulogramme der Meßreihe H	40
Abb. 30:	Laufzeitdiagramm und Auswertung der Refraktionsseismik auf Granit	41

Abb. 31: Karte des Arbeitsgebietes am Guajaraz	42
Abb. 32: Profil der Meßreihe I	43
Abb. 33: Granulogramme der Meßreihe I	44
Abb. 34: Infiltrationskurve in der Meßreihe I	44
Abb. 35: Profil der Meßreihe J	45
Abb. 36: Granulogramme der Meßreihe J	46
Abb. 37: Beziehung zwischen Bodenabtrag und Hangneigung	47
Abb. 38: Vergleich von Abfluß und Niederschlag einiger Flüsse im Arbeitsgebiet	52
Abb. 39: Abtragsgefährdungskarte	Beilage

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittlere monatliche Niederschläge	17
Tab. 2: Mittlere monatliche Temperaturen	18
Tab. 3: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR A im Valle de Alberquillas	25
Tab. 4: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR B im Valle de Alberquillas	27
Tab. 5: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR C im Valle de Valdeazores	29
Tab. 6: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR D im Valle de Valdeazores	31
Tab. 7: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR E im Valle de Valdeazores	32
Tab. 8: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR F am Collado Martin Blasco	34
Tab. 9: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR G am Collado Martin Blasco	38
Tab. 10: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR H am Collado Martin Blasco	39
Tab. 11: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR I am Rio Guajaraz	43
Tab. 12: Meßreihe zur Hangabtragungsmessung MR J am Rio Guajaraz	45
Tab. 13: Verteilung der Nutzflächen	59

Verzeichnis der Photos

Photo 1: Meßpegelanordnung in den Meßreihen A–J	71
Photo 2: Erosionsgeschädigter Hang im Ackerland	71
Photo 3: Brandschutzstreifen in junger Aufforstung	71
Photo 4: Eukalyptusstreifen auf den Rañas	72
Photo 5: Cistus ladanifer-Bestand	72
Photo 6: Ringinfiltrrometer	72
Photo 7: Abrißnischen und Hangversteilung	72
Photo 8: Unterschneidungskante des Arroyo de Alberquillas	73
Photo 9: Oberflächenbedeckung der Meßreihe B	73
Photo 10: Brandschneise der Meßreihe C	73
Photo 11: Typische Rañabedeckung	74
Photo 12: Linienhafte Erosion in der Meßreihe C	74
Photo 13: Kanalisierter Oberflächenabfluß in der Meßreihe D	75
Photo 14: Akkumulationsbereich am Unterhang	75
Photo 15: Pflanzterrassen in einer Aufforstung	76
Photo 16: Feinerdeakkumulation und Durchfeuchtung in Pflanzfurchen	76
Photo 17: Blick von den Meßreihen F und G auf die Meßreihe H	76
Photo 18: Blick vom Oberhang der Meßreihe I ins Tal des Guajaraz	77
Photo 19: Linienhafte Erosion nach einer Felsplatte	77
Photo 20: Oberflächenbedeckung in der Meßreihe J	77
Photo 21: Massendefizit unterhalb eines Olivenbaumes	77
Photo 22: Bodenprofil einer meridionalen Braunerde	78
Photo 23: Nicht instandgehaltene Hangterrassierung	78
Photo 24: Akkumulation hinter einer Feldbegrenzungsmauer	78

1. Einführung

1.1 Allgemeine Problemstellung und Zielsetzung

Den *Oberflächenabtrag* an Hängen in Zentralspanien bei unterschiedlicher Bodennutzung quantitativ zu erfassen, ist Ziel der Untersuchung. Dabei werden folgende *Bodennutzungsarten* unterschieden:

- Ackerland und vegetationsfreie Brandschneisen,
- Waldland mit verschiedenen Formationen,
- Weide- und Grasland.

Der für den Hangabtrag in diesem Klimabereich wesentliche Formungsprozeß ist die Materialverlagerung durch fließendes Wasser. Dabei wird die Hangoberfläche durch Denudation und Erosion tiefer gelegt bzw. durch Akkumulation erhöht. Da im Untersuchungsgebiet nur wenige und leichte Fröste auftreten, sind kryogene Verlagerungen ohne Bedeutung. Die Veränderung der Hangoberfläche wurde mit Hilfe von *Meßpegeln* zur Bestimmung des Abtrages bzw. der Akkumulation für einzelne Standorte in verschiedenen Hangprofilen gemessen (vgl. Kapitel 1.2.3). Als ursächliche Faktoren für den Hangabtrag werden dabei berücksichtigt:

- das Klima,
- das Relief und der oberflächennahe Untergrund, sowie
- die Vegetation.

Der *Vegetation*, insbesondere dem Gegensatz von Ackerland und Brandschneisen einerseits zur Strauch- bzw. Monte-bajo-Formation und Wald andererseits kommt eine große Bedeutung zu. Diese unterschiedlichen Nutzungsarten wurden im einzelnen nach ihrem Artenbestand in den Meßprofilen differenziert betrachtet. Mit in die Untersuchung einbezogen wurde die räumliche und zeitliche Differenzierung der Niederschlagsverteilung im Verhältnis zur Wachstumsperiode der Vegetation (vgl. Kapitel 2.2.3).

Um die Ergebnisse der lokalen Untersuchungen in den Meßprofilen zu erweitern, wurden die Werte der Abflußmessungen in den Vorflutern ausgewertet und in Beziehung gesetzt zur Größe und Eigenart der *Einzugsgebiete* unter Berücksichtigung der geologischen Struktur und der Vegetationsverteilung (vgl. Kapitel 3.5).

Wichtige Kriterien bei der Auswahl der Geländeausschnitte für die Meßprofile und für die Verteilung der Meßpegel in den Meßprofilen waren außer *Vegetation* und *Bodennutzung* die *Hangneigungen* als steuernder Faktor der Abspülung, sowie das oberflächennahe *Substrat*, differenziert nach Geologischer Situation und Bodenart.

Die Effektivität der jeweiligen Werte der Klimaelemente auf den Hangabtrag hängt wesentlich von den hygrischen Eigenschaften der oberen Bodenschicht ab. Sie sind für das Verhältnis von Infiltration und Oberflächenabfluß entscheidend. Erste Anhaltspunkte dafür bietet die geologische Karte. Die Verwitterungsdecken und die Sedimentdecken wurden durch granulometrische Analysen einer vergleichenden Untersuchung unterzogen, da die Kohäsion der Bodenbestandteile und das Porenvolumen für die Infiltrationsgeschwindigkeit und die Wasserkapazität entscheidend sind. Messungen der Infiltrationsraten und der *k_f*-Werte (= Wasserleitfähigkeitskoeffizient) ergaben weitere Anhaltspunkte für die *bodenphysikalischen Eigenschaften*. Diese Größen wurden einem Vergleich unterzogen, um daraus Ursachen für das unterschiedliche Ausmaß des Bodenabtrags ableiten zu können.

Für die meisten Länder im Mittelmeerraum ist die „*Bodenerosion*“ zum Hauptproblem bei Rekultivierungsarbeiten geworden. Die geomorphologischen, pflanzensoziologischen und naturräumlichen Gegebenheiten sowohl im nördlichen wie auch im südlichen Mittelmeergebiet lassen eine Reihe verwandter Merkmale erkennen. Als Ursache für die Bodenerosion können häufig kulturgeographische Übereinstimmungen festgestellt werden, die z. B. in weitflächiger Waldvernichtung und in einer ökologisch unbedachten Wirtschaftsweise zu finden sind. Denn ist in semiariden und auch in ariden Klimabereichen die natürliche Vegetationsdecke erst einmal vernichtet, dann ist dies auch immer gleichbedeutend mit einer fast völligen Zerstörung des Bodens.

Weiterhin muß betont werden, daß der Landschaftshaushalt im Mittelmeerraum von Natur aus labiler als in den gemäßigten Klimazonen ist. Die Winter sind zwar mild und vielfach frostfrei, doch kommt der Trockenheit des Sommers eine entscheidende Bedeutung zu. Das Wasser wird in der Regel, abgesehen von seltenen Hochwasserkatastrophen (z. B. 1973 und 1979), zum Minimumfaktor für den

Naturhaushalt. Daher können auch schon kleine Eingriffe in den Wasserkreislauf irreversible Folgen für das gesamte Ökosystem haben. Besonders intensiv sind solche anthropogen bedingten Folgeerscheinungen auf der Iberischen Halbinsel sichtbar, wo im Zusammenhang mit einer frühzeitigen Besiedlung der ehemalige Steineichenwald und verwandte Waldgesellschaften entweder ganz gerodet oder zu immergrüner Buschvegetation „*monte bajo*“ degradiert wurde. Dies wird für das Arbeitsgebiet an der rezenten Verteilung von Ackerland, forst- und weidewirtschaftlich genutzten Arealen deutlich (Abb. 1: Kartenbeilage). Der häufige Holzeinschlag, Brände und ausgedehnte Weidewirtschaft haben zur weiteren Zerstörung der Vegetationsdecke und damit auch zu erheblichen Bodenzerstörungen geführt.

In Spanien hat der *Abbau des Waldes* schon mit den Phöniziern, also etwa 1100 v. Chr., und den Karthagern, ca. 500 bis 250 v. Chr., begonnen, die das Holz zum Bau ihrer Schiffe benötigten (LAUTENSACH 1964). Das lokale und teils auch das regionale Klima, der Wasserhaushalt und der Boden wurden beeinträchtigt. So kann man in Spanien heute etwa die Hälfte des Bodens als nicht mehr anbauwürdig bezeichnen (OLSCHOWY 1963). Der Anteil des Waldes ist auf 10 % der Gesamtfläche zusammengeschrumpft (WINDHORST 1978), und hierbei handelt es sich durchaus nicht nur um Bestände eines mehrstufigen naturgemäßen Wirtschaftswaldes, sondern zum Teil um degradierten Busch- und Niederwald.

Art und Ausmaß der Bodenerosion hauptsächlich durch Oberflächenwasser stehen in ursächlichem Zusammenhang mit den geologisch-pedologischen und topographischen Gegebenheiten sowie dem Klima (vornehmlich den Niederschlagsverhältnissen) und der Vegetation. Diese Faktoren beeinflussen den Grad des rezenten Bodenabtrages.

Entscheidend bleibt jedoch auch – besonders für den hier in Betracht kommenden Klimabereich – das Verhalten des Menschen und seine Art der Bodennutzung. Werden dabei die oben genannten Faktoren außer acht gelassen, so wird die Bodenerosion ausgelöst und, durch die natürlichen Gegebenheiten begünstigt, kann sie schließlich zur Zerstörung weiter Landschaftsteile führen.

Erst in den letzten Jahrzehnten wurde man sich in Spanien der Fehler der Vergangenheit bewußt und umfangreiche Aufforstungsmaßnahmen mit Rekultivierungsleistungen von jährlich ca. 16 000 ha (BARNER 1978) wurden in Angriff genommen.

Die Bodenzerstörung und Bodenerosion als Folge von *Überweidung* oder unvorsichtiger *ackerbaulicher Nutzung* ist als weltweites Problem erkannt worden und wird in den verschiedensten Ländern mit den unterschiedlichsten Methoden untersucht. Dabei interessiert nicht nur Art und Ausmaß der Zerstörung, sondern auch die Frage, wie durch den Eingriff des Menschen das physiogeographische Kräftespiel verändert worden ist und welche Formen dadurch entstanden sind und noch entstehen.

Dieser Frage ist unter anderem auch MÜLLER-HOHENSTEIN (1972) nachgegangen, indem er die Aufforstungen im westlichen Mittelmeerraum im Hinblick auf ihre ökologischen Aspekte untersucht hat. Ebenso hat sich WEITZENBERG (1973) mit der Bodenerosion in den Landbau- und Weidegebieten semiarider bis arider Gebiete beschäftigt. USLU (1970) hat Untersuchungen über den Einfluß des Wald- und Olivenanbaus auf die Bodenzerstörung im Einzugsgebiet Edremit-Güre in der Türkei angestellt. Für das Gebiet der Karpaten beschreibt FIGULA (1976) ein umfassendes Programm des Erosionsschutzes, und speziell den Aufforstungsproblemen in Spanien sind BAUER (1963, 1965) und BERNATZKY (1961) nachgegangen.

Übereinstimmend kann aus diesen Arbeiten festgestellt werden, daß bei geplanten *Erosionsschutzmaßnahmen* ein den lokalen Verhältnissen angepaßtes Bodennutzungssystem stehen muß. Denn jede Art der Vegetationsbedeckung besitzt unterschiedliche hydrologische Eigenschaften, die durch die Versickerungsraten, die Wasserkapazität und durch die Rauheit der Oberfläche beeinflußt werden. Diese Bodeneigenschaften modifizieren die Geschwindigkeit und die Menge des Oberflächenabflusses.

1.2 Untersuchungsmethoden

1.2.1 Begriff „Bodenerosion“

Zur Klärung des Begriffes „*Bodenerosion*“ soll im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr auf die mehrere Jahre andauernde allgemeine Diskussion eingegangen werden. Es sei auf BENNET (1939) hingewiesen, der den durch den Menschen verursachten und beschleunigten Abtrag als „*soil erosion*“ oder auch als „*accelerated erosion*“ bezeichnet. Im deutschen Sprachgebrauch wurde zunächst noch nicht von Bodenerosion gesprochen, sondern WEIGT (1950) verwendete den Begriff der „*Bodenzerstörung*“, KAYSER (1952) stellte dann die „*Bodenverheerung*“ oder den „*anthropogenen Bodenabtrag*“ dem Begriff „*Normalabtrag*“ gegenüber.

MORTENSEN (1954/55) spricht von der „*quasinatürlichen Oberflächenformung*“. SCHULTZE (1952) und RICHTER (1965) sprechen schließlich von „Bodenerosion“; RICHTER (1965) mit der Einschränkung, daß der Bodenabtrag stärker sein muß als die Regeneration des Bodens.

In dieser Arbeit werden die Begriffe „Bodenerosion“, „Bodenzerstörung“, „Hangabtrag“ und „Hangabspülung“ synonym gebraucht und beziehen sich auf die gemessenen Materialumlagerungen der oberflächennahen Schicht, ungeachtet der Tatsache, ob es sich dabei um einen Boden, eine Verwitterungsdecke oder eine Hangschuttauflage handelt.

1.2.2 Bodenerosionsforschung

Die Bodenerosionsforschung hat in den letzten dreißig Jahren ein verstärktes Interesse innerhalb der Geographie erlangt. Für Mitteleuropa sollen kurz stellvertretend für eine Vielzahl von Untersuchungen einige grundlegende Arbeiten genannt werden.

So hat sich BARGON (1962) mit der räumlichen Verbreitung von Erosionsschäden, Erkennungsmerkmalen und ihre kartographische Darstellung beschäftigt. Ebenso mit der Kartierung von Bodenerosion befassen sich die Arbeiten von GROSSE (1950, 1970). Über Bodenumlagerungsprozesse an Knicklandschaften in Schleswig-Holstein liegen zwei ausführliche Arbeiten von HASSENPFUG (1968, 1969) vor. HEMPEL (1951, 1966, 1968, 1971) hat sowohl zahlreiche Untersuchungen zur Meßbarkeit wie auch zur Kartierung von Bodenerosion vorgelegt, die sich nicht nur regional auf Nordwestdeutschland und Süddeutschland beschränken, sondern allgemein auch die Entwicklung einer „anthropogen bedingten Reliefformung in den Ackerländereien Europas“ aufzeigen. ILLNER (1955, 1957) stellt neben der Frage der Meßbarkeit von Bodenabtrag vor allem dessen landwirtschaftliche Bedeutung und den Einfluß der Vegetation in den Vordergrund. Bodenerosion und ihre Bekämpfung ist Hauptgegenstand der Arbeiten von JUNG (1955, 1960). Die Erodierbarkeit verschiedener Böden, die Umwandlung im Nährstoffprofil und Beobachtungen von Schäden nach Unwettern beschreibt KURON (1953, 1956 a, b) in seinen Aufsätzen. Als grundlegend und zusammenfassend kann dann in diesem Zeitraum für Mitteleuropa die Arbeit von RICHTER (1965) angesehen werden. Er setzt sich zunächst mit dem Begriff Bodenerosion auseinander, beschreibt ihren Vorgang und ihre Formen, untersucht die Faktoren, die diese Prozesse steuern und gibt Methoden

ihrer Darstellung an. In einem regionalen Teil werden dann in gefährdeten Gebieten der Bundesrepublik Deutschland die Auswirkungen der Bodenerosion auf die Landwirtschaft geschildert.

In all diesen Arbeiten geht es fast ausschließlich um Untersuchungen zur Bodenerosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Lediglich WANDEL (1949), MORTENSEN (1964) und TOLDRIAN (1974) stellen vergleichende Untersuchungen über den Wasserabfluß und Bodenabtrag an bewaldeten Hangflächen an.

Eine für diese Arbeit im Ansatz aufgegriffene Untersuchung liegt von BARTHEL u. a. (1973) aus dem Einzugsgebiet der Flöha im Erzgebirge vor. Hier werden Flächen gleicher Abflußbereitschaft bei sommerlichen Starkregen ausgewiesen, wobei entsprechend den in der Landschaftsökologie bewährten Methoden die Komplexgröße *Abflußbereitschaft* durch die mehr oder weniger stabilen Haupteinflußgrößen Bodennutzung, Hangneigungen und Böden definiert wird. Bei der Bodennutzung werden neben den Siedlungsflächen die Hauptnutzungsformen Wald, Acker und Grünland ausgewiesen. Bei den Hangneigungen wird in diesem Aufsatz auf die einschlägige Literatur zurückgegriffen (z. B. KUGLER 1965) und vier Hangneigungsklassen ausgeschieden, die vornehmlich unter dem landbaulichen Aspekt im Mittelgebirgsraum gewonnen wurden. Die Böden wurden vorwiegend auf ihre Körnung sowie die Ausbildung und Mächtigkeit der Lockermaterialdecken untersucht. Die Bildung von Kombinationstypen aus diesen vorliegenden Befunden von Bodennutzung, Hangneigung und Bodenform stellt somit methodisch die Ausscheidung von Kartierungseinheiten mit funktional definierter Potential eigenschaft (Abflußverhalten bei sommerlichen Starkregen) dar.

Speziell mit der Bodenerosion in Spanien haben sich bislang nur recht wenige Arbeiten beschäftigt. BENNET (1960) berichtet über agrartechnische Maßnahmen zur Bekämpfung des Bodenabtrages und deren Probleme durch Kleinparzellierung der Nutzfläche. HEMPEL (1971) hat Messungen unter mediterranem Wald durchgeführt, indem er Abfluß und Schuttanfall in gemauerten Wasserbassins aufgefangen hat. Der Gesamtabtrag, den er dabei messen konnte, lag bei durchschnittlich 3 mm 1957 und bei 3,7 mm 1959. Einzelniederschläge hatten einen durchschnittlichen Abtrag von 0,1 mm. Alle diese Aussagen beziehen sich auf ein Gebiet von 10 km² Größe. Leider wurden keine weiteren Angaben zur Beschaffenheit der Hänge gemacht. Trotzdem konnten diese Ergebnisse zum Vergleich herangezogen werden (vgl. Kapitel 3.1).

Weitere Abtragsmessungen hat HEMPEL (1978) auf Fuerte Ventura durchgeführt. Im Zusammenhang mit Abtragsvorgängen von Schuttdecken und der Bildung bzw. Zerstörung von Kalkkrusten wurden dort die hydrographischen Zustände in landschaftlich typischen Gebieten der Insel untersucht. Die Ergebnisse zeigten, daß bei durchschnittlich 100 mm Jahresniederschlag die Abfluß- und Versickerungsraten vom Porenvolumen der Verwitterungsdecke abhängig sind. Es ergab sich eine Abfolge vom hochdurchlässigen Basaltgrus über Lehme des Basalts bis zum Ton und Lehm der Roterde auf Kalkstein.

Weitere quantitative Arbeiten aus diesem Raum sind zur Zeit nicht bekannt, doch sei an dieser Stelle noch einmal auf die ökologischen und forstwirtschaftlichen Arbeiten von BERNATZKY (1961), BAUER (1963, 1965), GIESSNER (1971) und MÜLLER-HOHENSTEIN (1972) hingewiesen.

1.2.3 Beschreibung der Meßverfahren

Um die typischen Umlagerungsprozesse auf Hängen im Bereich der Montes de Toledo nach Form und Intensität quantitativ erfassen zu können, wurde der Versuch unternommen, an für das Arbeitsgebiet charakteristischen Meßprofilen die für den Bodenabtrag wichtigsten Charakteristika des Hanges, nämlich *Hangneigung, Hanglänge, Bodenart, Vegetationsbedeckung* und *Niederschlagsintensität* zu ermitteln und regionale Unterschiede herauszuarbeiten.

Als direkte Meßanordnungen wurden an den Hängen unter verschiedenen Bedingungen, d. h. auf unterschiedlichen *Ausgangsgesteinen* (Granit, Quarzit, Rañadecken) in verschiedenen *Expositionen* (W, E) und unter unterschiedlichen *Bodennutzungsarten* (Wald, Monte bajo und Freiland) Kanthölzer von 3 x 3 cm Kantenlänge und 35 cm Gesamtlänge als *Meßpegel* der Oberflächenänderung eingeschlagen, eine Methode, die auch in der Wald- und Forstwirtschaft (BARNER 1978: 61) üblich ist (vgl. auch SCHUMM 1967; NOVAK 1971; LEOPOLD & EMMETT 1972; KIRKBY & KIRKBY 1974 und BUNZA & PORZELT 1977) (Photo 1). Um das umliegende Bodengefüge möglichst zu erhalten, wurde zunächst mit dem Pürckhauer-Bohrstock ein entsprechendes Loch vorgebohrt. Die Meßpegel wurden in eingemessenem Abstand den ganzen Hang hinunter eingesetzt.

Die *Meßreihen* wurden im Frühjahr 1975 angelegt und vor den Herbstregen im September 1975 und nach den winterlichen Starkregen im Frühjahr 1976

ein erstes und ein zweites Mal abgelesen. Die dritten und vierten Messungen erfolgten im Frühjahr und im Sommer 1977, die fünften Messungen im Sommer 1979. Das *Meßverfahren* ist nach der Art eines Pegels angelegt. Die Veränderung der Bodenoberfläche kann durch Messen des Abstandes von einer Markierung des Pegels bis zur Bodenoberfläche abgelesen werden. Abtrag und Ablagerung sind so in beliebigen Zeitintervallen feststellbar (Photo 1).

Die *Vegetation* wirkt auf das Abflußverhalten und auch auf die oberflächliche Abspülung entscheidend ein. Einmal ist die Vegetation durch ihre größere Oberfläche in der Lage, einen Teil der Niederschläge in Form von Interzeption zu speichern und wieder zu verdunsten, zum anderen wirkt die Vegetation schützend für den Boden, da die Prallenergie (*splash-Wirkung*) der einzelnen Regentropfen abgeschwächt wird. Die Vegetation verbessert durch ihre Wurzelaktivitäten die Infiltrationskapazität. Die Vegetation als Einflußgröße für den Bodenabtrag genauer quantitativ zu erfassen, war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, da nicht nur die oberflächliche Vegetationsbedeckung, sondern auch Länge und Dichte des Wurzelwerkes von entscheidender Bedeutung sind. So konnten für die Vegetation nur Relativwerte angegeben werden. Es wurden dabei drei Klassen unterschieden:

– *Freiland* mit vegetationslosem, ungebundenem Oberboden. Als Meßhänge wurden dafür Ackerland und Brandschneisen ausgewählt (MR: C, D, F, H; Photo 2 und 3).

– *lichter Bestand* mit lückenhaft bedecktem Oberboden. Hierunter wurden die Formationen eingeordnet, die zum großen Teil Monokulturen oder Degradationsformen darstellen und keine natürlichen Vergesellschaftungen aufweisen (MR: A, I, J; Photo 4).

– *dichter Bestand* mit geschlossener Oberbodenbedeckung. Dazu wurden die natürlichen Busch- und Niederwaldformationen (Monte bajo, Matorall) wie auch die Aufforstungen mit zum Teil dichter Erica- und Hartgrasvegetation gerechnet. Dabei kann man noch zwischen den stark überweideten, degradierten Beständen und den noch quasi-natürlichen Beständen unterscheiden (MR: B, E, G; Photo 5).

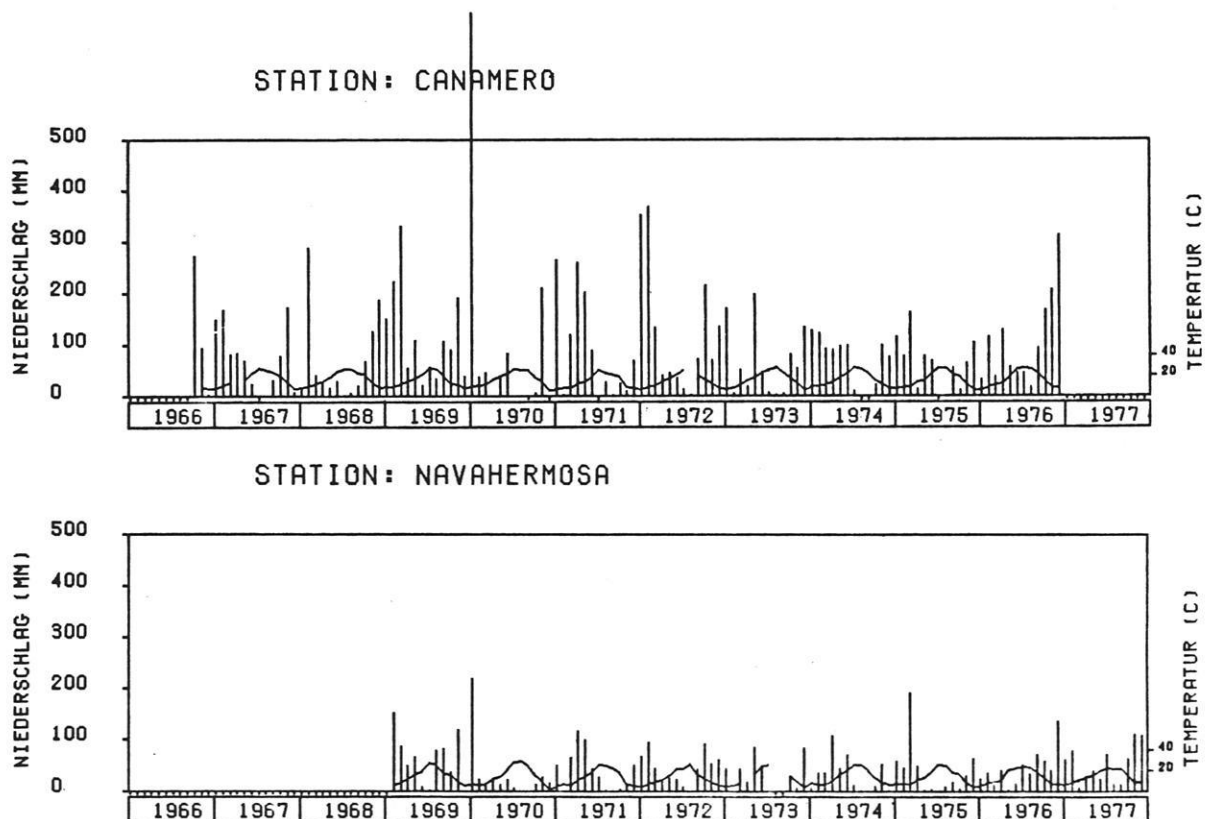


Abb. 2: Vergleich von Niederschlag und Temperatur der Klimastationen Cañamero und Navahermosa (Skalierung nach WALTHER & LIETH 1960, Daten nach Angaben des Meteorologischen Instituts der Univ. Madrid). Es treten deutlich Niederschlagsmaxima in den Wintermonaten auf, die Sommermonate sind arid.

Zur Erfassung des Klimas als auslösender Faktor des Abtrages standen für das Arbeitsgebiet Daten von 20 Klimameßstationen zur Verfügung, an denen monatlich der Gesamtniederschlag, das Niederschlagsmaximum in 24 Stunden mit Datum und die Anzahl der Gewitterregentage registriert wurden. An 10 Stationen wurde außerdem die Temperatur gemessen, wobei das monatliche Mittel, das absolute Maximum und das absolute Minimum (jeweils mit Datumsangabe) angegeben wurde (Abb. 2, 7, 8).

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Untersuchung des flächenhaften Abtrages an Hängen ist die *Infiltration* für das Lockermaterial und das darunter befindliche Gestein. Es wurde die *Wasserführung in den Vorflutern* untersucht und in Beziehung zur Größe des Einzugsgebietes, der geologischen Struktur und der Vegetation gesetzt. Hierzu standen Abflußmessungen der Haupteinzugsgebiete des Tajo und des Guadiana zur Verfügung. An diesen Stationen werden die täglichen Wasserstände in Metern und die täglichen Abflußmengen (\bar{Q} in m^3/s) registriert (Abb. 3).

Messungen der *Infiltrationsrate* der oberflächennahen Schichten wurde mit einem Überstauinfiltrometer durchgeführt. Es wurde dabei der Typ des Doppelringinfiltrometers verwendet (BRECHTEL 1974). Es besteht aus zwei Metallringen, einem kleineren Innenring und einem größeren Außenring (Photo 6). Diese beiden Ringe werden 5 bis 10 cm in den Boden eingelassen und mit Wasser gefüllt. Gemessen wird die Geschwindigkeit des absinkenden Wasserspiegels von der Oberkante des Innenringes in cm/s . Der Außenring dient lediglich zur Dämmung der lateralen Wasserbewegung aus dem Innenring.

Im Zusammenhang mit den Infiltrationsmessungen wurde auch die Wasserleitfähigkeit der Böden bestimmt. Dabei wurden an 100 cm^3 Stechzylinderproben der *kf*-Wert (*Durchlässigkeitsbeiwert* oder *Wasserleitfähigkeitskoeffizient*) aus der DARCY-Gleichung (KELLER 1969)

$$Q = kf \cdot \frac{dh}{dl} \cdot F = kf \cdot i \cdot F$$

im Labor nach der Apparatur von DE BOODT und DE LEEHNER (HARTGE 1971) ermittelt. Dabei bedeutet Q die Durchflußmenge pro Zeiteinheit, $\frac{dh}{dl}$ den hydraulischen Gradienten, d. h. Druckhöhendifferenz pro Längeneinheit in der Fließrichtung, und F die Durchflußfläche. Die Messungen wurden im wassergesättigten Zustand durchgeführt.

Die Erodierbarkeit eines Bodens hängt nicht nur von Vegetationsbedeckung und Menge und Intensität des Niederschlags ab, sondern neben den hygrischen Eigenschaften (Infiltrationskapazität) ist auch die *Korngrößenzusammensetzung* (Bodenart)

des Oberbodens von Bedeutung. Grobe Korngrößen, etwa Sandkörner, neigen zu starker Erosionsanfälligkeit, sie haben eine schwache Aggregatbildung und somit eine geringe Gefügestabilität. Dafür ist aber aufgrund ihrer zahlreichen Grobporen die Einsickerungsgeschwindigkeit sehr hoch, was wiederum keinen oder nur mäßigen Oberflächenabfluß bedingen kann. Kleinere Korngrößen dagegen sind zunächst gut transportierbar, doch haften die Einzelkörner aufgrund ihrer geringeren Größe stärker durch Kohäsion zusammen und bilden somit Aggregate von hoher Gefügestabilität (z. B. Tonböden). Das bedingt nur eine beschränkte

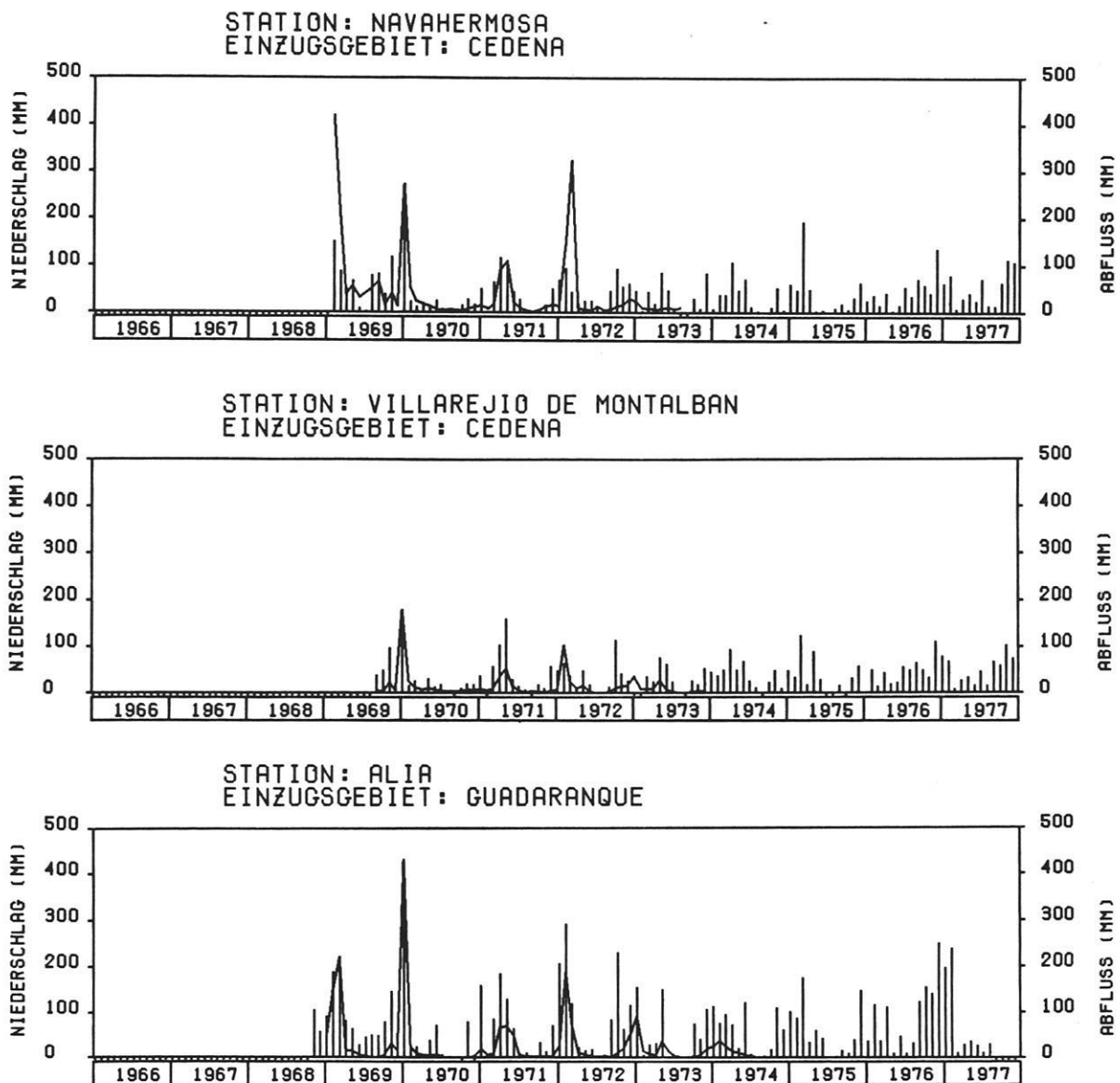


Abb. 3: Vergleich von Abfluß und Niederschlag der Stationen am Cedena und Guadارانque (Niederschlag nach Angaben des Meteorologischen Instituts der Univ. Madrid, Abfluß nach Aforos 4 Cuenca del Guadiana 1966-1974, Aforos 3 Cuenca del Tajo 1966-1974).

Permeabilität und dadurch einen verstärkten Oberflächenabfluß. Das *Korngrößenspektrum* wurde nach verschiedenen Methoden bestimmt. Die Fraktionen kleiner 0,063 mm wurden mit Hilfe der Schlämmanalyse und die Fraktionen größer 0,063 mm durch Siebanalyse getrennt.

Das Relief als Parameter der Abtragung wird vor allem durch die Neigung, die Länge und die Form der Hänge bestimmt. Dabei wird im allgemeinen der *Hangneigung* die größte Bedeutung zugeschrieben (RICHTER 1965). Die Neignungsverhältnisse in den Meßprofilen wurden mit einem Klinometer gemessen und in der Übersichtskartierung aus dem

Isohypsenbild der topographischen Karten gewonnen. Die Hangneigungsklassen wurden auf der Grundlage der Richtlinien für die geomorphologische Detailkartierung in Mitteleuropa (LESER & STÄBLEIN 1975) gewählt und den semiariden Klimaverhältnissen angepaßt (Abb. 4: Kartenbeilage).

Die *Mächtigkeit der Verwitterungs- und Sedimentdecken* auf Hängen wurde mit Hilfe der Refraktionsseismik (Hammerschlagseismik) ermittelt. Es stand dazu ein tragbares Einkanalgerät (Bison Signal-Enhancement Seismograph Modell 1570 C) zur Verfügung (vgl. J. GEHRENKEMPER 1978: 71).

2. Die Arbeitsgebiete

2.1 Abgrenzung der Arbeitsgebiete

Die *Montes de Toledo* im weiteren Sinn (nach LAUTENSACH 1964) reichen von der Westgrenze der Mancha etwa 350 km weit nach Westen bis an die portugiesische Grenze, die hier von Erjes und Tajo gebildet wird. Im Norden grenzen sie an den Tajo und im Süden an das Guadianabecken. Sie haben eine Breite von 30 bis 100 km und gehören zu den Provinzen Toledo, Cáceres, Badajoz und Ciudad Real.

Die hier für eine exemplarische Bearbeitung ausgewählten Gebiete liegen zwischen dem Rio Tajo im Norden, dem Rio Guadiana im Süden, der Verbindung Toledo–Malagon im Osten und der Linie Navamorale de la Mata–Logrosan–Orellana la Vieja im Westen (Abb. 5: Kartenbeilage).

Da für das Gebiet der *Montes de Toledo* keine detaillierten Untersuchungen über Bodenerosion und Bodengefährdung vorliegen, waren Feldmessungen der wesentliche Bestandteil der Arbeit.

Als regionale geomorphologische Untersuchungen standen Veröffentlichungen von OEHME (1936, 1942), sowie neuere Arbeiten von FISCHER (1974, 1977), WENZENS (1977), STÄBLEIN & J. GEHRENKEMPER (1977) und J. GEHRENKEMPER (1978) zur Verfügung. Weiter lagen einige spanische, vorwiegend geologische Untersuchungen aus diesem Raum vor (M. ALIA 1944, 1947; A. APARICIO YAGUE 1971; FUSTER 1970; HERNANDEZ-PACHECO 1929; REY PASTOR 1929).

Als Kartenmaterial konnten die „mapa militar de España“ 1:200 000 und 1:50 000, sowie die „mapa geológico de España 1:200 000“, die „mapa forestal de España 1:400 000“ und die „mapa de suelos de España 1:1 000 000“ benutzt werden. Zur Luftbildanalyse standen Luftbilder im Maßstab 1:30 000 zur Verfügung.

2.2 Auswahlkriterien für die Arbeitsgebiete

2.2.1 Geologie

Bei der genauen Erfassung des *Geokomplexes* (im Sinne von KLINK 1972) steht die Kenntnis der Reliefstruktur bei der Beschreibung und Charakterisierung des gesamten Wirkungsgefüges an übergeordneter Stelle. Da sich das Relief in seinen Großformen an die geologischen und auch tektonischen Verhältnisse anlehnt, wurde bei der Auswahl der Untersuchungsgebiete zunächst die Geologie als erstes Auswahlkriterium zur Hilfe genommen. Es sollte festgestellt werden, ob sich aufgrund der verschiedenen geologischen Verhältnisse, die nicht nur eine geomorphologisch unterschiedliche Ausprägung bewirken, sondern sich auch im Hinblick auf die bodenchemischen und bodenphysikalischen Eigenschaften und somit auf die Vegetation, die Anbauformen und die Wirtschaftsweise auswirken, auch Differenzierungen bei den rezenten Verlagerungsprozessen am Hang ergeben.

Die *Montes de Toledo* gehören zum östlichen Randgebiet der spanischen Meseta. Sie sind ein vom

Grundgebirgsmassiv nach Osten vorspringender Sporn (LOTZE 1945) und verdanken ihren tektonischen Charakter orogenen Ereignissen, die quer zum Rande der Nord-Süd gestreckten Meseta verlaufen. LOTZE (1945) gliedert den Komplex der Meseta nach dem Alter der Faltung, nach dem Anteil verschiedener Gesteine (Intrusiva, Metamorphite, Sedimente) am Aufbau und nach der Struktur in mehrere Großzonen. Hiernach gehören die Montes de Toledo der ostlusitanischen-alcudischen Zone an, die von Aveiro-Caria zu den Montes de Toledo zieht. Die gesamte Zone wird vorwiegend vom Altpaläozoikum begrenzt. Sie gehört zum Innenvarisikum und damit dürften die Montes de Toledo innerhalb der variskischen Orogenese bereits früh gefaltet und konsolidiert worden sein. Ihre spätere tektonische Geschichte läßt sich im Einzelnen nicht direkt ablesen. Jedenfalls war die Meseta später Vorland für die alpidische Orogenese, in der sie nicht mehr alpidisch gefaltet, sondern lediglich germanotyp disloziert worden ist (WEGGEN 1955).

Granite und Gneise bauen die Gebiete im Osten westlich der Linie Toledo–Malagon auf. Nach FUSTER (1970) ist der größte Teil dieser plutonischen Gesteine, die sich wie ein großes Band von Osten nach Westen ausbreiten, ein intrusiver Granit mit Kontaktmetamorphose in den Grenzgebieten und sehr homogen bezüglich seiner Zusammensetzung (Quarz, Feldspat, Biotit), jedoch heterogen im Hinblick auf seine Korngrößenverteilung.

Im Westen bauen kambrische und silurische Gesteine die Landschaft der mittleren Extremadura und die Sierra de Guadalupe auf. In erster Linie sind Schiefer zu nennen, dann folgen nach räumlicher Ausdehnung Quarzite, Grauwacken und Sandsteine. Mit einigen unbedeutenden Devonvorkommen schließen die paläozoischen Sedimente ab.

Am Nordrand der Montes de Toledo dominieren die durchlässigen Fazien der *miozänen* Becken, gegen Westen vollzieht sich dann der Übergang zu den charakteristischen Quarzitkämmen der umgrenzten Sierras. Pliozäne und pleistozäne Ablagerungen finden sich in den Terrassen wieder. Das Gebirge trug im Pleistozän wahrscheinlich keine Vergletscherung, denn Vergletscherungsspuren sind bis jetzt noch nicht nachgewiesen (FRÄNZLE 1978). Die eiszeitliche Schneegrenze ist für diese Region bei 1900 m anzunehmen (OBERMAIER 1921), und das Gebirge erreicht im äußersten Westen, in der Sierra de la Villuerca, maximal 1730 m ü. M.

Das *Holozän* beschränkt sich auf jüngste Anschwemmungen in den Flußauen und in kleinen Mulden. Es handelt sich vorwiegend um rezente alluviale Sedimente von feiner Korngröße, im allgemeinen sind sie sehr tonig und sandig mit organischem Material.

Von geomorphologischer Wichtigkeit sind die *Rañas* der Sierrenvorländer. Sie sind in der Literatur vor allem für die Extremadura, aus den Schiefergebieten mit Quarzithärtlingen beschrieben. Nach OEHME (1937) sind es Schwemmschuttfächer, die an die Quarzitzüge gebunden sind und deren Verwitterungsdetritus sie darstellen. Die *Rañas* bilden eine fast ebene Fläche, die sich aus mäßig abgerollten Quarziten oder quarzitischen Sandsteinen und einer tonig-lehmigen Matrix zusammensetzen. Die Mächtigkeiten dieser Auflagerungen schwanken zwischen einigen Dezimetern bis zu 17 Metern. Während OEHME (1942) die *Rañas*sedimente noch ins terrestrische Miozän setzt, datieren neuere Arbeiten (FISCHER 1974, 1977; WENZENS 1977; STABLEIN & J. GEHRENKEMPER 1977; J. GEHRENKEMPER 1978) sie als Ende Pliozän bzw. Villafranchien.

Nach J. GEHRENKEMPER (1978) ist der *Bildungsprozeß der Rañas* nicht einheitlich verlaufen, sondern fand in mehreren Phasen statt. Die Entstehung einer Basisfläche mit tiefgründiger tropoider Verwitterung und die Heraushebung des Gebirges sind im Tertiär vorausgegangen. Danach wurde in einem trockenheißen Klimaabschnitt durch mechanische Verwitterung zahlreicher Quarzitschutt aufbereitet. Eine Klimaänderung an der Wende zum Quartär verstärkte dann die Transportleistungen in den Abflußsystemen und führte zu diesen erheblichen Vorlandverschüttungen. Da diese Flächen vorwiegend eine Akkumulation aus Schutt, Geröll und Sanden sind, neigen sie bei starker Durchfeuchtung auf den miozänen Lehmen und tonigen Sanden zu starken Hangrutschungen, was für die rezente Geomorphodynamik im Bereich der Montes de Toledo von Bedeutung ist.

2.2.2 Hangneigung

Ein zweites Kriterium für die Auswahl der Untersuchungsgebiete war die Verteilung der Hangneigungen und die Reliefenergie (Abb. 4: Kartenbeilage), da die Beziehung des Bodenabtrages zu den Hangneigungen auf der Zunahme der *Fließgeschwindigkeit* des oberflächlich abfließenden Niederschlagswassers mit zunehmendem Neigungswinkel beruht (RICHTER 1965: 65). Weil die

kinetische Energie mit dem Quadrat der Fließgeschwindigkeit zunimmt,

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

resultiert aus jeder Hangversteilung eine erhöhte Schleppkraft. Dies ist der Teil der kinetischen Energie, der Bodenteilchen hangabwärts transportiert und so eine erhöhte Abtragsleistung verursacht.

Ziel der Arbeit war die *anthropogene Beeinflussung* der Hangabtragung bei unterschiedlichen Bodennutzungsarten zu untersuchen. Deshalb wurden im Rahmen dieser Arbeit nur die Hangneigungen von 0° bis 30° betrachtet, weil aus agrartechnischer Sicht hier ein Schwellenwert besteht, bis zu dem im äußersten Fall noch bebaut werden kann (KUGLER 1964).

Nach diesen Kriterien fielen zunächst die scharf-tigen Gipfelregionen der Sierrenketten heraus. Es blieben für die Quarzitgebiete die unteren Hangabschnitte mit ihren mächtigen Quarzitschuttdecken. Von den Granitgebieten wurden sowohl die Blockgärten (OEHME 1942) als auch die Cerros- oder Felsburgenlandschaften nicht in die Betrachtung einbezogen, sondern nur die Felsplattenareale mit ihren tiefgründigen Verwitterungszonen. Von den tertiären und quartären Sedimenten waren die Rañas mit ihrer eigenständigen rezenten Dynamik von Interesse.

In diesen drei geologisch unterschiedlichen Gebieten sollten jeweils Meßreihen bei verschiedenen Bodennutzungsarten angelegt werden.

2.2.3 Niederschlag

Ein dritter und ebenfalls wichtiger Gesichtspunkt bei der Auswahl der Meßhänge war die unterschiedliche Niederschlagsverteilung im Arbeitsgebiet. Bei der Betrachtung des Niederschlags als Parameter des Bodenabtrages spielt neben der Energie der einzelnen Regentropfen auch die Niederschlagsmenge, die Niederschlagsverteilung und Niederschlagsdauer eine Rolle. Diese Größen beeinflussen Auslösung und Höhe des Oberflächenabflusses und Oberflächenabtrages.

Dauerregen sind nach HEYER (1972) anhaltende Regenfälle von mehr als sechs Stunden Dauer, deren Intensität mindestens 0,5 mm/h erreichen muß. Diese verhältnismäßig geringe Intensität führt aber nur bei besonders langer Niederschlagsdauer

oder verstärkter Intensität zu merklichem Abfluß oder Bodenabtrag. Unter normalen Umständen kann der Boden das Wasser sofort aufnehmen und versickern lassen.

Wesentlich mehr Bedeutung kommt den schweren *Landregen* und häufig auch mit Gewittern verbundenen Intensiv- oder *Starkregen* zu. Ausgedehnte schwere Landregen sind nach MASUCH (1958) Niederschläge mit einer gleichmäßigen Verteilung und mit Tagessummen von wenigstens 35 mm. Als Intensivregen bezeichnet sie Niederschläge mit relativ geringer Ausdehnung des Niederschlagsgebietes bzw. großer Schwankung der Regenmengen in ausgedehnten Gebieten. Untere Grenze der Tagessumme ist dabei 20 mm. Bei diesen Niederschlagsarten mit relativ hoher Intensität kann das Wasser nicht wie bei den Dauerregen kontinuierlich in den Boden einsickern, sondern es kann der Fall eintreten, daß die Regenmenge die Infiltrationskapazität des Bodens und die Verdunstung übersteigt, das überschüssige Wasser oberflächlich abfließt und einen Teil der kinetischen Energie nutzt, um das Bodengefüge aufzureißen und Bodenteilchen zu lösen und wegzuschwemmen. Ein Einsetzen des oberflächlichen Abflusses ist aber nicht nur gleichzusetzen mit einer vollständigen Wassersättigung des Bodens, sondern hier spielt zusätzlich auch die höhere Energie der Prallwirkung der einzelnen Tropfen eine Rolle (vgl. Kapitel 3).

2.3 Das Klima

Da neuere Arbeiten speziell über das Klima in den Montes de Toledo nicht vorhanden sind, soll an dieser Stelle auf das Klima näher eingegangen werden.

LAUTENSACH (1964) stellte noch fest: „Meteorologische Stationen fehlen in diesem Gebirge nahezu völlig. Die klimatischen Eigenschaften können daher größtenteils nur indirekt erschlossen werden.“ Und auch MÜLLER (1933), der sich mit dem Klima Neukastiliens aufgrund spanischer Wetterbeobachtungen von 1906 bis 1925 befaßte, schreibt: „Im Westen endlich schieben sich die Montes de Toledo weit in das Gebiet hinein vor. Der Verlauf der Isohyeten konnte hier nur rein deduktiv gezogen werden, da im ganzen Gebiet jegliche Station fehlt.“

Für den Untersuchungszeitraum war ein Netz von *Klimastationen* vorhanden, jedoch war das vorliegende Material unvollständig. So kamen schließlich von 34 Stationen, die in dem Zeitraum von 1960

Tabelle 1: Mittlere monatliche Niederschläge (1966-1977) (mm)

Stationen	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Embalse de Garcia de Sola	95,0	87,2	61,4	57,6	51,6	38,4	16,5	22,9	43,2	42,8	57,9	80,7	655,2
Herrera del Duque	93,5	103,4	62,1	59,1	55,0	39,0	11,0	5,3	31,0	53,8	50,2	81,5	644,9
Orellana la Vieja	65,3	58,5	51,5	53,6	51,3	39,6	6,7	11,8	30,4	45,5	41,9	67,5	523,6
Villanueva de la Serena	65,6	65,5	51,0	48,3	40,2	33,3	7,6	8,5	22,4	47,8	41,1	64,0	495,3
Alia	132,2	123,3	79,2	69,1	56,0	43,4	6,1	11,4	40,9	88,3	74,4	113,7	838,0
Cañamero	184,4	147,0	95,5	84,1	96,9	56,4	16,8	12,1	45,3	95,5	71,3	131,2	1036,5
El Pinar	127,2	127,1	84,0	75,8	75,2	60,5	9,0	13,9	51,6	76,6	71,0	117,0	888,9
Logrosan	153,5	136,4	79,3	81,8	78,4	43,2	14,6	14,2	46,6	88,5	81,6	119,2	937,3
El Molinillo	74,4	80,5	53,5	56,6	66,8	44,8	17,6	12,7	43,5	55,6	47,8	73,6	627,4
Embalse de Torre de Abraham	78,1	77,5	58,1	49,0	59,5	43,1	14,1	13,9	35,5	47,0	44,4	63,2	583,4
Cristo de Espiritu Santo	61,3	56,2	66,4	37,4	53,9	19,9	16,1	16,7	42,9	49,5	30,1	63,9	514,3
Luciana	60,4	53,0	66,4	57,2	60,5	26,4	14,8	9,4	38,0	52,1	38,9	61,1	538,2
Malagon	43,6	43,8	40,8	48,9	45,7	25,7	13,7	14,5	32,7	47,4	31,5	38,9	427,2
Piedrabuena	63,4	67,6	51,4	37,7	63,2	37,9	15,7	13,7	26,9	50,9	33,1	31,4	492,9
La Puebla de Montalban	33,7	34,3	37,1	48,8	49,6	28,3	14,1	16,9	29,7	37,8	41,3	48,1	419,7
Talavera de la Reina	77,5	80,9	61,1	52,5	64,7	27,9	10,8	10,6	35,6	53,6	75,0	83,7	633,5
Villarejo de Montalban	37,8	40,4	43,4	43,8	56,2	28,0	21,1	12,4	26,2	41,3	42,9	46,8	440,4
Navahermosa	45,8	51,0	59,9	54,9	48,5	27,3	21,4	12,3	22,8	42,0	50,4	65,3	501,6

(Auswertung nach Angaben des Meteorologischen Instituts der Univ. Madrid)

bis 1977 ausgewertet werden sollten, vergleichbare und vollständige Daten von nur noch 18 Stationen für einen Zeitraum von 1966 bis 1977 in Frage (Tab. 1). In der Zeit davor waren ein Teil der Meßstellen noch nicht errichtet oder wurden nicht ganzjährig geführt, und für den Zeitraum danach waren die meisten Daten noch nicht erreichbar.

Ein zusätzlicher Mangel an den Stationen war, daß nur 10 der Meßstellen auch die Temperatur registrierten (Tab. 2), da die meisten Anlagen nur zur Aufzeichnung der Niederschlagsmenge eingerichtet sind. Diese Information war und ist für die spanischen Planungsbehörden bei der Anlage von Stauseen von Bedeutung, um daraus Rückschlüsse auf die mögliche abfließende Wassermenge zu ziehen. Für die Problematik des Bodenabtrags ist dagegen die Intensität und der zeitliche Gang des Niederschlags wesentlich.

2.3.1 Die Niederschläge

Nach LAUTENSACH (1951) hat das Untersuchungsgebiet Anteil an dem „sommertrockenen Iberien“,

das räumlich etwa die Hälfte der Halbinsel einnimmt, wobei LAUTENSACH aus pflanzen- und agrargeographischer Sicht einen Monat als Trockenmonat bezeichnet, wenn dessen mittlerer Niederschlagswert 30 mm nicht übersteigt. Während die peripheren Landschaften durch ihre Gebirge einen engräumigen Charakter erhalten, überwiegt in den Zentrallandschaften die riesige Hochfläche der Meseta, über die nur vereinzelt die Kämme eines Gebirges aufragen. Diese Gebirge zusammen mit den Randgebirgen bilden eine Barriere für die feuchten maritimen Luftmassen. Das Mittelmeerklima erhält dadurch ausgesprochen kontinentale Züge.

Schon bei der Übersicht der Klimadaten (Tab. 1 und 2) fällt die für dieses Gebiet charakteristische Verteilung des Jahresniederschlags auf (Abb. 2). Zwischen dem besonders regenreichen Frühling und Herbst schiebt sich eine äußerst trockene Zeit. Die wenigsten Niederschläge fallen durchweg in den beiden Sommermonaten Juli und August. Die absoluten Regenhöhen in dieser Zeit sind außer-

ordentlich gering. So ist z. B. im Juli 1967 an keiner der 18 Stationen Niederschlag gemessen worden und auch im August des gleichen Jahres lag das Mittel für sämtliche Messungen nur bei 0,7 mm. Im einzelnen blieben diese Regenfälle jedoch auf kleinere Räume beschränkt. Nur wenige Stationen registrierten einen Niederschlag und führten zu dem Mittelwert von 0,7 mm: Cañamero 1,9 mm, Logrosan 2,0 mm, La Puebla de Montalban 2,5 mm, Talavera de la Reina 1,3 mm, die anderen Gebiete waren vollständig trocken. Wenn nun auch die sommerliche Trockenheit nicht überall derart intensiv ausgebildet ist, so liegen dennoch die Beträge für den Juli und den August innerhalb des ganzen Gebietes durchweg unter 30 mm. Ob vollständige Regenlosigkeit während eines dieser beiden Monate oder gar in beiden an gewissen Stellen jedes Jahres regelmäßig wiederkehrt, ist schwer zu entscheiden. Es ist leicht möglich, daß die absolute Trockenheit nur in diesem kurzen Beobachtungszeitraum aufgetreten ist.

Mit dem Übergang vom August zum September steigt die Regenhöhe an einigen Stationen bereits um ein Beträchtliches an: El Pinar erreicht hier mit 51,6 mm im zehnjährigen Mittel den höchsten Wert, wogegen Piedrabuena mit 26,9 mm, La Puebla de Montalban mit 29,7 mm, Villarejo de Montalban mit 26,2 mm und Navahermosa mit 22,8 mm noch zu den Trockenmonaten nach dem Grenzwert von LAUTENSACH & MAYER (1960: 256) zählen.

In den Monaten Oktober und November zeigt sich nun eine deutliche regionale Differenzierung. In der regenbegünstigten Region der Sierra de Guadalupe liegen die Werte der Stationen Alia (88,3 mm), Cañamero (95,5 mm), El Pinar (76,6 mm) und Logrosan (88,5 mm) im Mittel für den Oktober weit über den Bilanzwerten etwa der Stationen im östlichen Teil der Montes de Toledo wie La Puebla de Montalban (37,8 mm) und Navahermosa (42,0 mm) oder der Stationen im Gudianbecken wie z. B. Orellana la Vieja (45,5 mm), die über den gleichen Zeitraum gemessen wurden.

Recht auffällig ist an einigen Stationen die relative Trockenheit der Monate November und Dezember. Stellenweise ist dieses sekundäre Minimum in einigen Jahren so deutlich ausgebildet, daß die Niederschlagshöhen des Juli kaum überschritten werden. So wurde im Beobachtungszeitraum an den Stationen Cristo de Espiritu Santo, Luciana und Piedrabuena die 30-mm-Trockengrenze im Durchschnitt nur um ein wenig überschritten, in einzelnen Jahren lagen jedoch die Werte oft erheblich darunter. An den meisten Stationen steigen die Niederschläge im Dezember jedoch wieder an und können wie in Cañamero bis 131,2 mm im Durchschnitt erreichen. Im Januar und auch im Februar sind im ganzen Gebiet die höchsten Niederschläge zu erwarten. Im Februar 1968 fielen in Cañamero 360,7 mm und im Januar 1970 797,0 mm Niederschlag.

Tabelle 2: Mittlere monatliche Temperaturen (1966-1977) (° C)

Stationen	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Herrera de Duque	7,6	9,1	10,8	14,0	17,8	22,8	26,8	25,4	22,9	17,8	11,5	7,7
Orellana la Vieja	7,4	8,5	10,3	11,5	17,2	22,2	26,2	25,1	21,0	16,8	10,7	7,4
Villanueva de la Serena	8,3	9,9	11,6	14,6	18,4	23,2	26,3	26,6	22,6	17,6	12,0	7,0
El Molinillo	3,5	5,2	7,1	8,7	13,4	19,4	24,0	22,8	18,3	13,9	9,7	4,4
Embalse de Torre de Abraham	3,7	4,5	5,6	8,0	12,7	16,9	23,2	23,5	17,9	13,1	6,6	1,8
Malagon	6,0	7,9	10,0	12,3	17,8	22,1	25,5	25,9	20,8	14,8	8,6	5,7
La Puebla de Montalban	5,0	7,7	10,3	12,2	16,8	20,8	26,9	25,6	23,6	15,6	8,5	4,8
Navahermosa	6,2	7,3	8,8	11,6	16,3	21,1	25,7	24,8	20,0	14,9	8,8	6,2
Talavera de la Reina	6,2	7,9	9,5	12,8	16,4	21,0	24,3	23,7	20,1	15,2	9,5	6,9
Villarejo de Montalban	4,4	6,3	7,6	11,8	15,7	20,5	25,0	24,5	18,7	13,6	7,6	4,2

(Nach Angaben des Meteorologischen Instituts der Univ. Madrid)

In den Monaten März, April, Mai und Juni sinken die Regenhöhen dann kontinuierlich ab, so daß der Juni an den Stationen Cristo de Espiritu Santo, Luciana, Malagon, La Puebla de Montalban, Talavera de la Reina, Villarejo de Montalban und Navahermosa schon zu den Trockenmonaten gezählt werden kann (Tab. 1).

2.3.2 Die Temperaturen

Der jährliche Temperaturgang ist im Gegensatz zu dem der Niederschläge innerhalb des ganzen Gebietes sowohl zeitlich als auch räumlich gleichmäßiger. Es treten jeweils nur ein Minimum im Winter und ein Maximum in den Sommermonaten auf. Fast ausschließlich liegen die tiefsten Temperaturen im Dezember und Januar. Eine Auswertung der Wetterkarten für diesen Zeitraum zeigt eine sehr geringe oder gar fehlende Wolkendecke. Dies begünstigt die nächtliche Wärmeabstrahlung von der Erdoberfläche. Tagsüber kann dieser Energieverlust aufgrund des Sonnenstandes dann nicht wieder vollständig ausgeglichen werden.

Das Maximum der Temperaturen liegt meist im Juli und August. La Puebla de Montalban ist mit einer mittleren Julitemperatur von 26,9° C (Tab. 2) und einer mittleren Maximaltemperatur von 36,3° die heißeste Station im Arbeitsgebiet während des Beobachtungszeitraums. Die absolut höchsten Werte wurden während dieser Zeit in Navahermosa am 21. Juli und 28. Juli 1967 mit 46,0° C gemessen. Die niedrigsten Werte dagegen hat die Meßstelle am Embalse de Torre de Abraham mit einem Julidurchschnitt von 23,2° C aufzuweisen (Maximales Julimittel 31,9° C).

2.3.3 Die Wetterlagen

Es sind also vor allem der Juli und der August, die sich im jährlichen Ablauf der Witterung aus der Reihe der übrigen Monate mit extrem hohen Temperaturen und äußerster Trockenheit herausheben. Diese beiden Hochsommermonate sind durch einige Wetterlagen charakterisiert, die sich durch außerordentliche Stabilität auszeichnen. Für gewöhnlich ist zu dieser Zeit das Innere der Halbinsel stark erhitzt und von kühleren Luftmassen umgeben. Aus diesem Grund liegt über dem Festland ein Tiefdruckgebiet; über den Azoren lagert zu dieser Zeit das sogenannte Azoren-Hoch. So kommt es zwischen der Gegend der Azoren und dem Zentrum der Halbinsel zu einem Luftdruckgefälle von Westen nach Osten. Die in dieser Wetterlage entstehenden Winde treffen vorwiegend aus nordwest

licher bis nordnordwestlicher Richtung auf die Westküste auf. Infolge des über dem Zentrum des Landes stark ausgebildeten Tiefdruckgebietes werden aber die Winde umsomehr aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, je weiter sie in das Innere vordringen. So kommt es, daß dann über dem ganzen Gebiet Winde aus westlicher bis südwestlicher Richtung wehen, die sich durch große Trockenheit auszeichnen.

Die äußerst geringen Niederschläge, die zudem noch von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterliegen (Abb. 6), sind fast immer auf den Einfluß von auftretenden Zyklonen zurückzuführen, die nördlich des Untersuchungsgebietes vorüberziehen; deshalb werden die Regen meist auch immer von Winden aus südwestlicher Richtung gebracht. Häufig äußert sich diese Wetterlage während der Sommermonate nur in einer Bewölkung.

Wie schon erwähnt, zeigt sich im September ein starkes Anwachsen der Niederschläge (Tab. 1). Die Zahl der Regentage steigt örtlich bis auf zehn an, und die Regenintensität, d. h. die Niederschlagshöhe pro Niederschlagstag, ist oft beträchtlich (Cañamero am 24. 9. 1965: 89 mm). An anderen Stationen, in Navahermosa z. B. kann der September mit 22,8 mm im Monatsmittel noch zu den Trockenmonaten gerechnet werden.

Die mittlere Monatstemperatur sinkt im September bis auf durchschnittlich 20,6° C ab (La Puebla de Montalban: 23,6° C, Embalse de Torre de Abraham: 17,9° C). Die mittleren Maximaltemperaturen erreichen jedoch in den meisten Fällen noch zwischen 25,0° C bis 30,0° C und teilweise sogar darüber.

Es ist verständlich, daß infolge der Temperaturunterschiede über dem Land und über dem Meer die Ausbildung des zentraliberischen Tiefs langsam

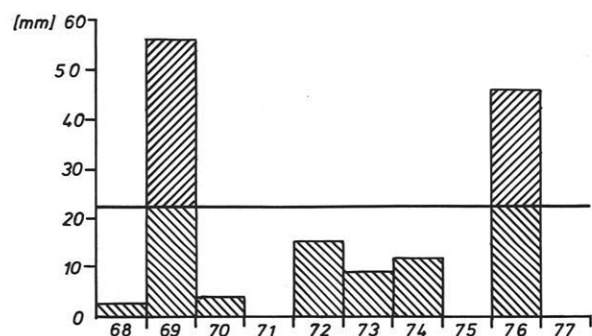


Abb. 6: Schwankung der Niederschlagssumme im Juli von 1968-1977 für die Klimastation Cañamero.

wieder an Stabilität verliert. Im großen und ganzen trifft man aber im September noch dieselben Wetterlagen an, wie sie bereits für die beiden Hochsommermonate als charakteristisch dargestellt wurden. Es besteht aber vor allem der Unterschied, daß Strahlungswetterlagen häufiger von Bewölkung und Niederschlägen abgelöst werden.

Fast im ganzen Gebiet ist im Oktober eine weitere Zunahme der Niederschläge zu verzeichnen. Das Mittel für diesen Monat liegt an der Station Cañamero bei 95,5 mm und in der Gegend von Navahermosa bei 42,0 mm (Tab. 1). Vereinzelt steigt das Thermometer noch einmal auf 30,0° C und darüber (Herrera del Duque: 4. 10. 1968: 34,2° C). Als mittlere Monatstemperatur für die gesamte Region konnten jedoch für den Zeitraum von 1966 bis 1977 nur 15,3° C berechnet werden.

Wie schon erwähnt, gehen im Dezember an einigen Stationen kaum mehr als 30 mm Regen nieder (Tab. 1). Die Erklärung dieser Niederschlagsarmut ist in folgendem zu sehen: Häufiger als in den anderen Monaten lagert über dem erkalteten Land ein Hochdruckgebiet. Teils breitet es sich isoliert über den in der Mitte gelegenen Hochflächen aus, teils steht es mit dem Azorenhoch in Verbindung, auch eine Verschmelzung des zentraliberischen Hochs mit einem über den Alpen lagernden ist nicht selten. In ihren Auswirkungen gleichen sich alle drei Modifikationen darin, daß sie sämtlich schöne, meist wolkenlose Tage mit sich bringen. Als wichtigste regenbringende Lage kommt im Januar diejenige in Betracht, bei der nördlich der Halbinsel oder über dem Nordrand selbst ein Tief vorüberzieht. Es entsteht so ein Luftdruckgefälle von Süden nach Norden und die daraus entspringenden Südwestwinde bringen bei bedecktem Himmel Niederschläge und im Verhältnis zum Dezember etwas höhere Temperaturen. Ebenso wie im Januar zeigt auch der Februar fast im ganzen Gebiet ein rasches Anwachsen der Niederschlagshöhen. Zwar lagert jetzt noch in den meisten Fällen ein Hochdruckgebiet über der Halbinsel, wie das für die Wintermonate so charakteristisch ist, aber seine Stabilität hat doch zu den beiden vorangegangenen Monaten im Vergleich an Einfluß verloren. Im März ist die Erwärmung des Festlandes schon weiter fortgeschritten. Es kann daher von einer Stabilität eines Hochs über der Halbinsel nicht mehr gesprochen werden. Zwar reicht das Azorenhoch gelegentlich noch weit in das Land hinein, aber wesentlich öfter als in den Wintermonaten wird diese Lage von anderen abgelöst. Infolge der Instabilität dieses Hochs einerseits und der doch noch niedrigen Temperatur des

Festlandes zum Meer andererseits sind sowohl die Niederschlagshöhen als auch die Regenhäufigkeit und der Bewölkungsgrad noch relativ hoch.

Charakteristisch für den April ist vor allem das nun recht häufige Auftreten zahlreicher kleiner Tiefdruckwirbel. Zum Teil verdanken sie ihre Entstehung thermischen Einflüssen über dem Land selbst. Das deutet darauf hin, daß jetzt das Festland schon recht stark erwärmt wird. So steigt die mittlere Monatstemperatur in Villanueva de la Serena auf 14,6° C (Tab. 2). Als regenbringende Wetterlagen kommen vor allem die nordatlantischen und die Gibraltargolfzyklonen in Betracht.

Im Mai und Juni zeigen sämtliche klimatologischen Elemente in ihren Werten deutlich den Übergang zu den beiden Hochsommermonaten an. In einigen Jahren sinken die Niederschläge schon im Mai unter 30 mm ab. Auch die durchschnittlichen Monatstemperaturen nehmen jetzt deutlich zu (Tab. 2).

Mit Beginn des Juni setzt auch mehr oder weniger der Übergang von den instabilen Wetterlagen des Frühjahrs zu den stabilen Wetterlagen des Hochsommers ein. Zu dieser Zeit hat das Land allgemein eine höhere Temperatur als die angrenzenden Meere erreicht, und deshalb liefern auch die von westlichen und östlichen Winden mitgebrachten Feuchtigkeitsmengen nur noch wenig ergiebigen Regen.

Faßt man die Ergebnisse noch einmal zusammen, so geht klar hervor, in welchem starkem Maß das Klima im Arbeitsgebiet von einigen wenigen Faktoren abhängig ist: Es sind einmal, besonders in den extremen Monaten, die Temperatur- und Luftdruckunterschiede zwischen dem Festland und den umgebenden Meeren; andererseits sind es das Azorenhoch im Westen und das Balearentief im Osten sowie Zyklonen, die teils im Norden, teils im Süden des Landes vorüberziehen. Dazu kommen noch aufgrund lokaler unterschiedlicher Einstrahlung Luftdruckunterschiede auf dem Festland selbst zur Wirkung. Inwieweit diese zeitliche und räumliche Variation der Klimaelemente auf den rezenten Bodenabtrag einwirkt, soll im folgenden (Kapitel 3) näher diskutiert werden.

2.3.4 Die Niederschlagsintensität

Wesentlich für die Morphodynamik ist neben der Menge auch die Art und Intensität der Niederschläge, worüber bei der Monatsmittlung kaum

etwas ausgesagt wird. So wurde aus dem vorliegenden Material die vermutlich *bodenschädigenden Niederschläge* nach den Kriterien von MASUCH (1958) ausgewählt, die sich aus den anhaltenden *schweren Landregen* (>35 mm) und den häufig mit Gewittern verbundenen *Intensivregen* (>20 mm) zusammensetzen. Diese Abgrenzung wurde deshalb für die vorliegende Arbeit zur Grundlage genommen, weil sie keine Definition für Stark- und Schwachregen im klimatologischen Sinn gibt, sondern Erfahrungswerte für die bodenschädigenden Niederschläge beinhaltet. So wurden nach diesen Kriterien, die sich für Mitteleuropa als sinnvolle Grenzwerte bei der Bodenerosionsforschung herausgestellt haben, Abgrenzungen unter semi-ariden Bedingungen vorgenommen, denn einschränkend muß gesagt werden, daß in diesem Klimabereich schon weniger starke und weniger intensive Niederschläge zu schädigenden Auswirkungen führen können. Denn die Bodengefährdung ist jahreszeitlich verschieden und hängt davon ab, in welchem Grad die Böden aufgrund ihrer Bearbeitung verändert wurden und dadurch angreifbar sind. Daneben treten Schadensfälle meist erst dann ein, wenn der Boden die anfallenden Wassermassen nicht mehr imstande ist aufzunehmen und sie nicht mehr über den Sickerwasserkörper geleitet werden können. Das geschieht, abgesehen von der natürlichen, je nach Korngröße verschiedenen Aufnahmekapazität der Böden, wenn der Boden schon vorher mit Wasser übersättigt war oder wenn die Bodenoberfläche durch Austrocknung, mangelnde Bearbeitung oder aufschlagende Regentropfen ver-

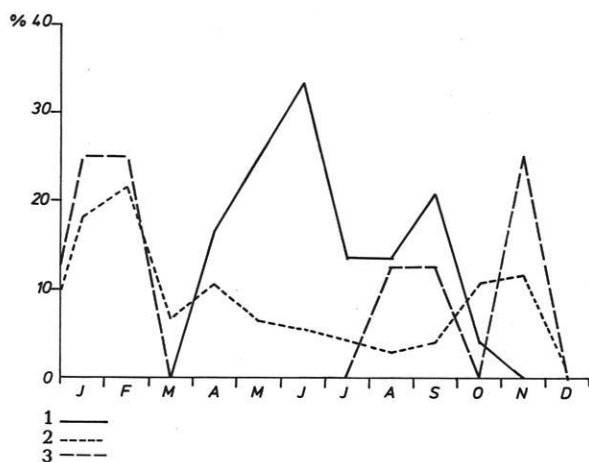


Abb. 7: Anteil der verschiedenen Niederschlagsarten für die Klimastation Navahermosa. – 1 = Anteil der Gewitterregentage im Monat, 2 = Anteil der Intensivregentage (>10 mm) im Monat, 3 = Anteil der Landregentage (>30 mm) im Monat.

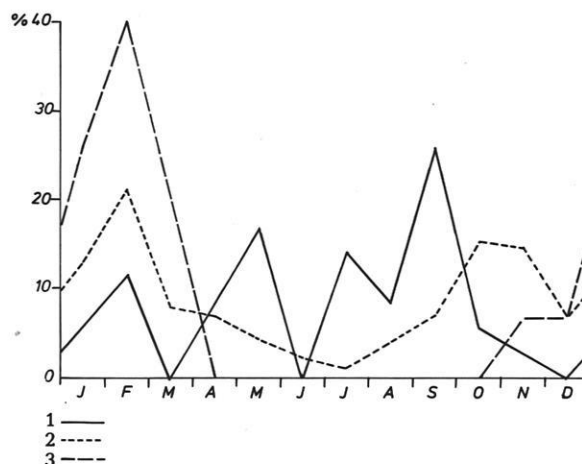


Abb. 8: Anteil der verschiedenen Niederschlagsarten für die Klimastation Cañamero. – 1 = Anteil der Gewitterregentage im Monat, 2 = Anteil der Intensivregentage (>10 mm) im Monat, 3 = Anteil der Landregentage (>30 mm) im Monat.

dichtet ist, dann ist die Aufnahmefähigkeit so gering, daß bei den Niederschlägen, die kurzfristig große Wassermengen liefern, diese zum großen Teil oberflächlich abfließen müssen.

Die Niederschlagstage mit schweren, anhaltenden Landregen (hier: >30 mm/Tag) sind in den nur in 24stündigem Abstand gemessenen Niederschlagssummen enthalten. Diese Niederschläge sind durch ihre große Ausdehnung und eine verhältnismäßig gleichmäßige Regenmenge charakterisiert. Die unmittelbare Erfassung der kurzen Intensivregen wäre nur unter Verwendung selbstschreibender Regenschreiber möglich gewesen. Solche Meßgeräte standen jedoch nicht zur Verfügung, so daß auch hier die täglichen Niederschlagstabellen herangezogen werden mußten. Dabei konnten nur die Niederschlagswerte >10 mm/Tag aufgezeichnet werden (Abb. 7 und 8). Die aktuelle Bodengefährdung ist jedoch bei gleichen Tagessummen beider Regenarten recht unterschiedlich. Ein einstündiger Gewitterregen von 20 mm kann z. B. verheerendere Folgen haben als ein gleichmäßiger über 24 Stunden verteilter Regen in gleicher Höhe. Deshalb wurde hier der Verlauf der Gewittertätigkeit an den Stationen Navahermosa und Cañamero im Jahresgang aufgezeichnet (Abb. 7 und 8).

Die absolut geringste Gewittertätigkeit ist an beiden Stationen im März und Dezember zu erwarten, in Navahermosa ebenso im Januar, Februar und November. Einen steilen Anstieg erfährt die Kurve dann im April (Navahermosa), Mai (Cañamero) und im Juni (Navahermosa), wenn intensive Besonnung

den Boden lokal erwärmt, so daß durch Konvektion der erhitzten Luft über dem Land Wärmegewitter entstehen. Im Juli und August fällt die Kurve geringfügig, um dann im September noch einmal auf 25,7 % in Cañamero und 20,8 % in Navahermosa anzusteigen (Abb. 7 und 8).

Die schweren Landregen konzentrieren sich in Cañamero deutlich auf die fünf Wintermonate (Abb. 8), wobei im Februar 40 % der gesamten schweren Regenfälle (>30 mm) im Jahr zu verzeichnen sind. Auch in Navahermosa (Abb. 7) fallen auf den November, Januar und Februar gleichmäßig verteilt 75 % aller Landregentage pro Jahr. Hier zeigt sich noch eine sekundäre Konzentration im August und September. Doch da in diesen beiden Monaten auch die Gewittertätigkeit sehr hoch ist, resultieren diese hohen Niederschlagswerte pro Tag aus der Gewittertätigkeit.

Die Regentage mit mehr als 10 mm Niederschlag (Abb. 7 und 8) gipfeln in beiden Regionen in den Monaten Januar, Februar und März, fallen dann bis Juli (Cañamero: Abb. 8), August (Navahermosa: Abb. 7) ab, um dann in den Monaten Oktober, November ein zweites Maximum zu erreichen. D. h. die Monate Januar, Februar und März können mit relativ hohen Niederschlagssummen, einer hohen Intensität an Niederschlägen >10 mm und aufgrund ihrer schweren Landregen als besonders bodengefährdet angesehen werden. Die weniger niederschlagsreichen Monate Mai/Juni und selbst die Trockenmonate Juli/August sind durch einen relativ hohen Prozentsatz an Gewitterregentagen im Jahr gekennzeichnet, d. h. auch jetzt muß bei allen Niederschlägen mit einer verstärkten oberflächlichen Abspülung gerechnet werden. Im September fallen dann erhöhte Niederschlagssummen, ein Anstieg der Regentage >10 mm und ein Maximum an Gewitterregentagen auf einen nach den Sommermonaten vollkommen ausgetrockneten Oberboden, so daß für diesen Monat eine akute Bodenerosionsgefahr besteht. Im November wird der Bodenabtrag weitgehend wieder von den starken Landregen beschleunigt. In Cañamero zeichnet sich auch der Dezember in anhaltend hohen Niederschlägen aus.

So kann man anhand dieser Daten vermuten, daß wahrscheinlich über das ganze Jahr hinweg eine mehr oder weniger akute Bodenerosionsgefahr infolge der Verteilung der Niederschläge zu erwarten ist. Inwieweit sich dieser Jahresgang der Niederschläge quantitativ auf den Bodenabtrag auswirkt, soll in Kapitel 3 diskutiert werden.

2.3.5 Die Trockenheit

Die bisherige Erörterung der einzelnen klimatischen Elemente im Arbeitsgebiet hat gezeigt, welche ausschlaggebende Rolle dem Phänomen der Trockenheit zukommt. Die effektive Verdunstungsmenge wird in erster Linie durch die Niederschlagsmenge bestimmt. Erhebliche Bedeutung hat auch je nach ihrer Geschlossenheit die Vegetationsdecke. Die *Verdunstungsrate* hängt darüber hinaus weiter von der Temperatur, der Vegetation und dem daraus resultierenden Dampfsättigungsdefizit der bodennahen Luftschicht ab.

Nun interessiert als Parameter der Abtragung nicht die Verdunstung als solche, sondern das Verhältnis potentieller Evapotranspiration zum Niederschlag und dem daraus entstehenden möglichen oberirdischen Abfluß. Es bieten sich mehrere Möglichkeiten, die Aridität räumlich und zeitlich abzugrenzen (vgl. LAUTENSACH & MAYER 1960).

Die *pluviometrische Indizierung*, die besonders von LAUTENSACH (1951) für die Iberische Halbinsel differenziert durchgeführt worden ist, wurde auch für die Auswertung dieser Arbeit herangezogen. Dabei sind die Grenzwerte der *Trockenmonate* nach LAUTENSACH (1951) im klimastatistischen Sinn für das südliche Frankreich mit 25 mm, für die Tropen mit 50 mm und für die iberische Halbinsel mit 30 mm Monatsdurchschnitt angenommen worden, da nämlich die Nordgrenze der künstlichen Feldbewässerung in etwa der Linie entlang verläuft, an welcher der Durchschnittsniederschlag des Juli wie der des August diesen Wert nach Süden hin zu unterschreiten beginnt.

So praktisch diese Trockenheitsbestimmung mit zonalen Grenzwerten der monatlichen Niederschlagshöhen auch zu handhaben ist, ergeben sich bei diesem Verfahren grundlegend gewisse Schwierigkeiten. Danach kann man nämlich jeden Monat mit weniger als 30 mm Niederschlag als Trockenmonat bezeichnen, einerlei, um welchen Monat des Jahres und um welche iberische Station es sich handelt. So sollte man doch eine begriffliche Trennung zwischen den sommerlichen Trockenmonaten mit hoher Verdunstung und den winterlichen niederschlagsarmen Monaten treffen.

Eine zweite Einschränkung muß man auch in der meridionalen Richtung sehen. Bei einer bedeutenden Nord-Süd-Erstreckung, die im Beobachtungsgebiet zwar nicht vorliegt, aber auf einen Raum, wie den der Iberischen Halbinsel zutrifft, kann eine Ver-

dunstungswirkung der Temperatur, die sich mit den Breitengraden ändert, nicht genügend, vor allem nicht kontinuierlich erfaßt werden. Damit eignet sich dieses Verfahren eigentlich nur für Gebiete mit zonaler Erstreckung (wie der Beobachtungsraum), weniger für großräumig meridionale Gebiete.

2.3.6 Weitere Niederschlagsarten

Tage mit *Schneefall* sind im Arbeitsgebiet selten und der Schnee bleibt selbst in den Gebirgslagen oft nur Stunden liegen. Bei längerwährenden winterlichen Kälteeinbrüchen im Nordwesten des Gebietes ist jedoch auch zeitweise eine durchgehende dünne Schneedecke möglich. So schreibt PRILL (1955: 23): „Die Neukastilische Hochfläche erhält hauptsächlich 2 bis 5 Schneefalltage im Jahr. Toledo wird ebenso häufig wie Ciudad Real von Schneefällen betroffen, nämlich 3 bis 4 Tage im Jahr. In den höheren Teilen der Montes de Toledo und in der Sierra de Guadalupe dürften 10 bis 15 mal Schneefälle eintreten.“

Die Tage mit *Reif*, *Hagel* und *Graupel* wurden quantitativ nicht erfaßt. Sie sind in diesem Gebiet

ebenso wie die Schneedecken und die Schneeschmelze morphodynamisch unwirksame, ephemäre Erscheinungen und für den rezenten Bodenabtrag in diesem Gebiet nicht weiter von Bedeutung.

2.4 Die Meßreihen in der Sierra de Guadalupe

Nach den Kriterien für die Auswahl der Arbeitsgebiete lassen sich die Montes de Toledo geologisch und klimatisch in zwei große Teilräume gliedern. Einmal in den westlichen Bereich, der die Sierra de Guadalupe mit ihren SO-NW-streichenden Gebirgsketten der Sierra de la Villuerca, der Sierra de la Palomera und der Sierra de Altamira umfaßt, und in den Bereich der Montes de Toledo im engeren Sinn (nach LAUTENSACH 1964), der das Gebiet östlich des Puerto de San Vicente bis zur Mancha hin einnimmt (Abb. 5: Kartenbeilage).

Das Arbeitsgebiet im Westen ist morphologisch gekennzeichnet durch die markant hervortretenden Gebirgsketten des mächtigen amorikanischen Quarzits des Ordoviziums, der durch den Abtrag der weicherer Gesteine wie Schiefer und Sandsteine

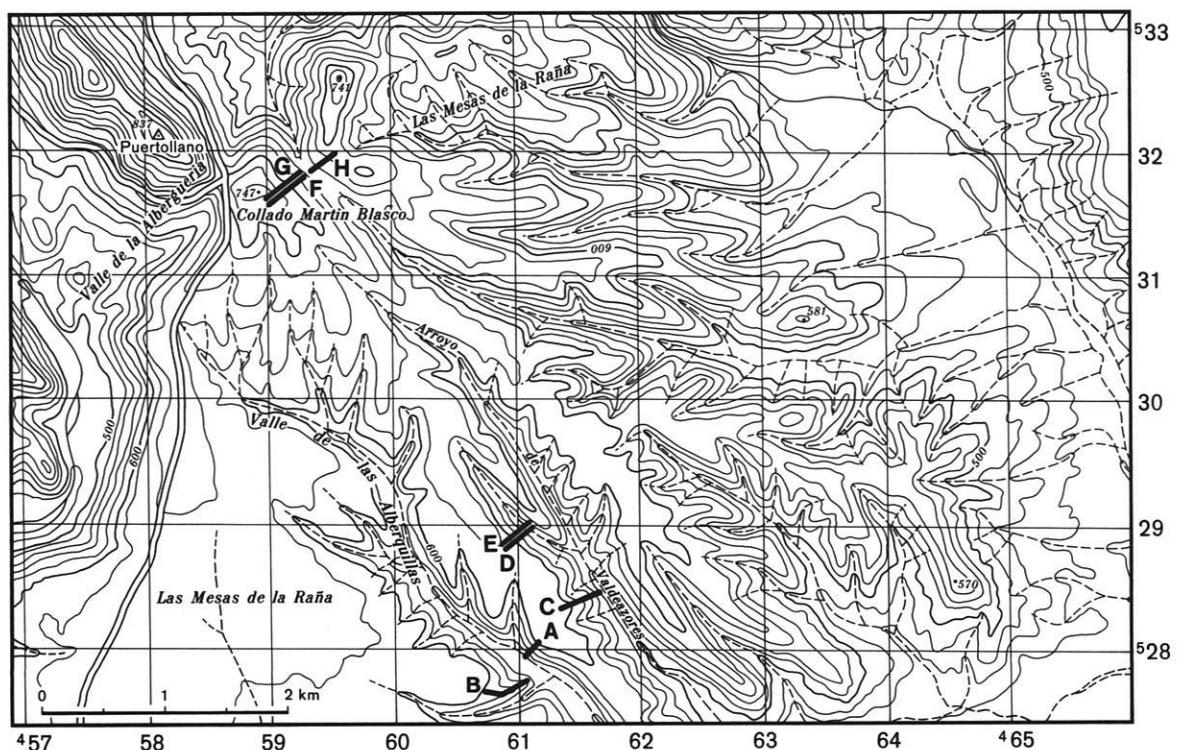


Abb. 9: Karte des Arbeitsgebietes im südlichen Vorland der Montes de Toledo mit Lage der Meßprofile (Ausschnitte aus der TK 1:50 000 Logrosan 707).

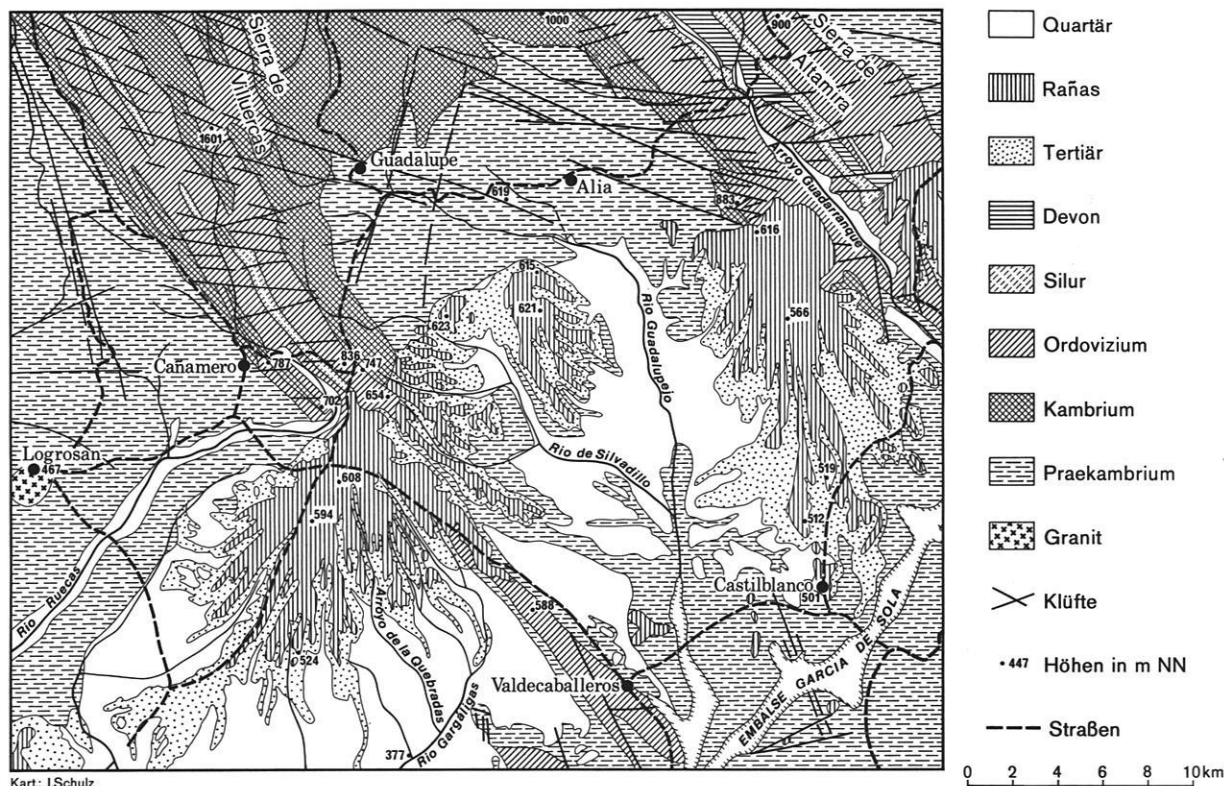


Abb. 10: Geologische Übersichtskarte des südlichen Vorlandes der Sierra de Guadalupe (aus J. GEHRENKEMPER 1978).

herauspräpariert wurde, und durch die jüngeren Sedimente des Tertiärs und des Quartärs, die sich vom Fuß der Sierren in die Ausraumzone des Guadiana erstrecken.

Klimatisch liegt es in der regenbegünstigten Region um Cañamero, die bereits im Klimakapitel mit 1036,5 mm im Jahresdurchschnitt als die niederschlagsreichste Station im gesamten Untersuchungsgebiet herausgestellt wurde.

In diesem Gebiet östlich Cañamero und südöstlich Guadalupe wurden Meßpegel an Hängen unterschiedlicher Neigung, Exposition, Bewuchs und Nutzung eingeschlagen und die Standortbedingungen aufgenommen (Abb. 9).

Die Meßreihen A bis E sind an den Hängen von Rañariedeln angelegt, die für weite Bereiche im südlichen Vorland der Montes de Toledo charakteristisch sind (Abb. 10). Die typischen Raña-Fanger liegen hier mit einer Mächtigkeit von 4 bis 6 m und einer maximalen Tiefe von 12 m, wie seismische Feldmessungen gezeigt haben, auf tiefgründigen Verwitterungsdecken oder auf tertiären (miozänen) Sedimenten, die heute durch die Flüsse Silvadillo, Guadalupejo, Gargaliga und Rucas in einzelne Riedel aufgelöst sind. Die Hänge zeigen heute an

verschiedenen Stellen unterschiedliche Neigungsverhältnisse, Vegetationsbedeckung und Nutzungsmuster. Um hier den Bodenabtrag zu erfassen, wurden in den Rañas mehrere Meßprofile mit Meßpegeln angelegt.

2.4.1 Die Meßreihe A

Die Meßreihe A liegt auf dem Rañariedel, der im Vorfeld des Rucas-Tales vom Collado Martin Blasco aus nach Süden verlaufend vom Arroyo de Alberquillas im Westen und dem Arroyo de Valdeazores im Osten zerschnitten wird (Abb. 9).

Der Hang ist direkt nach Westen exponiert. Das Gebiet gehört zum Weideland der Finca El Pinar. Doch aufgrund der Vegetationsbedeckung, sie wird von der einartigen Monte-bajo-Formation des schwarzgrünen Ladanstrauches (*Cistus ladanifer*, spanisch: „jara“) bestimmt, zeigt der Hang keine Überweidungsspuren, denn wegen der Aussonderung von ätherischen Ölen wird der Ladan vom Weidevieh verschont. Auch ein Abbrennen oder Abholzen der Sträucher war während des gesamten Beobachtungszeitraums nicht zu erkennen. Am Oberhang bis etwa zum Meßpegel 4 (Abb. 11) stehen die einzelnen Ladansträucher licht, der Oberboden ist sehr steinig mit einer darunterliegen-

Tabelle 3: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: A
 HW 5280, RW 4611
 Exposition: W

Geologie: Quarzitverwitterung mit Rañasediment
 Vegetation: Monte bajo (jara), Erica scoparia
 Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm
 Gebiet: im Valle de Alberquillas

Meßpegel	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Hangneigung	25,5°	26,0°	26,0°	31,5°	26,0°	25,0°	23,0°	21,0°	18,0°	14,0°	11,5°	0,9°	
Hangprofil	konkav kv		1	1	konkav kv		1	1	1	1	1	konvex kv	konvex kv
Vegetationsbedeckung	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	50 %	50 %	50 %	50 %	
Bodenart					stL				sT				
Entnahmetiefe					2-4 cm				2-4 cm				
Leitwert (Zyl.)					4,5 · 10 ⁻⁴ 4,8 · 10 ⁻⁴ 5,3 · 10 ⁻⁴				1,4 · 10 ⁻⁵ 0,8 · 10 ⁻⁵ 1,2 · 10 ⁻⁵				
Leitwert (Inf.)									1,9 · 10 ⁻⁵				
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm													
Meßzeitraum													
3. 75 - 9. 75	-0,4	-0,6	+1,1	-0,7	-0,4	-1,0	-0,3	-0,4	-0,2	-0,2	-0,1	0,0	
3. 75 - 3. 76	-1,1	-1,5	+2,4	-1,8	-0,8	-1,8	-0,5	-0,8	-0,7	-0,5	-0,4	0,0	
3. 75 - 3. 77	-3,2	-2,3	+3,3	-3,4	-1,3	-2,3	-1,5	-2,1	verloren	-0,9	-0,6	beackert	
3. 75 - 8. 77	-3,4	-2,5	+4,2	-3,9	-1,5	-2,3	-1,7	-2,0	verloren	-1,0	-0,6	beackert	
3. 75 - 8. 79	-3,4	-4,2	+5,9	-5,7	-4,0	-3,1	-2,8	-2,5	verloren	-1,8	-2,1	beackert	

den flachgründigen meridionalen (nach KUBIENA 1953) Braunerde. Ab Meßpegel 5 beginnen zunehmend Ericabüschel (*Erica scoparia*), so kann man hier von einer nahezu dichten Bodenbedeckung sprechen. Etwa an der gleichen Stelle befindet sich auch der Übergang des Rañasediments zu einer mehrere Meter mächtigen Quarzitverwitterung. Ebenfalls an dieser Grenze setzt aufgrund von

Quellhorizonten eine ausgeprägte rezente Dynamik ein. Entlang dieser Linie treten am gesamten Hang Abrißnischen und Versteilungen auf, die schluchtenartig erodiert sind und bis zu 20 m Länge und 10 m Tiefe einnehmen können (Photo 7).

Am Unterhang hat sich eine etwa 60 bis 90 cm hohe rezente Unterschneidungskante gebildet (Photo 8).

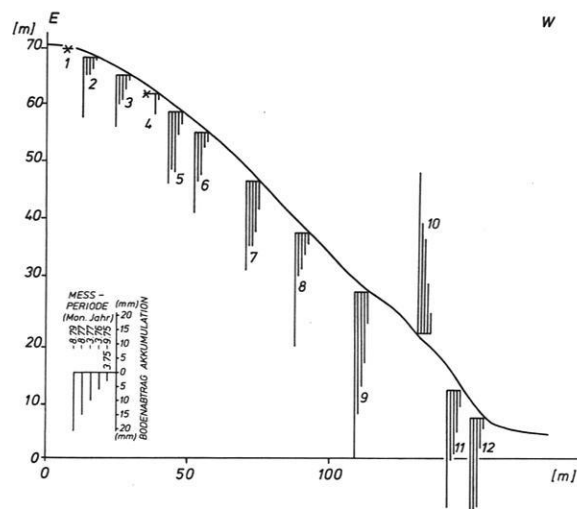


Abb. 11: Profil der Meßreihe A mit Diagramm der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

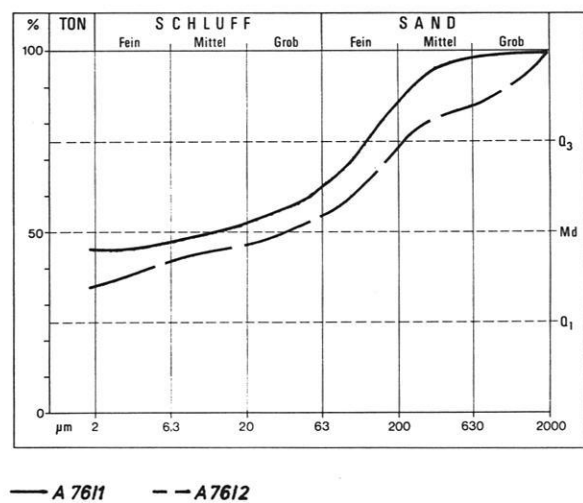


Abb. 12: Granulogramme der Meßreihe A. - A 76/1 (Pegel 2: 2-4 cm Tiefe): sandiger Ton (sT)/Rañamatrix, A 76/2 (Pegel 8: 2-4 cm Tiefe): sandig-toniger Lehm (stL).

Die gesamte Dynamik des Hanges ist hier vorwiegend durch den Arroyo de Alberquillas gesteuert, der durch Mäandrieren und Anastomisieren die Hänge unterschneidet. Die Grenzlinie Rañasediment-Quarzitverwitterung wird aber nicht nur durch die Vegetation und durch die rezente Zerschneidung gekennzeichnet, sondern sie wird auch im Bodengefüge deutlich. An den Meßpegeln in den Rañas finden wir von der Bodenart fast ausschließlich einen sandigen Ton (Abb. 12: A 76/1). Die Stechzylinderproben, die am Pegel 2 genommen wurden, ergaben kf-Werte von $1,4 \cdot 10^{-5}$ cm/s, $0,8 \cdot 10^{-5}$ cm/s und $1,2 \cdot 10^{-5}$ cm/s und für das Doppelringinfiltrometer Infiltrationsraten von $1,9 \cdot 10^{-5}$ cm/s. Diese Werte kann man nach der Beurteilung der Durchlässigkeit nach KOHL (1971) als sehr gering bezeichnen.

Innerhalb des Meßprofils wird eine Änderung des Untergrundes etwa zwischen dem Pegel 4 und dem Pegel 5 sichtbar. So wurden weitere Proben am Pegel 8 genommen. Hier konnten für den Oberboden aus einer Entnahmetiefe von 2 bis 4 cm ein sandig-toniger Lehm (Abb. 12: A 76/2) bestimmt werden. Die kf-Werte der Stechzylinderproben betragen $4,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $4,8 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $5,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s, was einer hohen Durchlässigkeit entspricht.

Obwohl sich mit dem Wechsel im Untergrund auch ein Wechsel in der Bodenart und in der Vegetationsbedeckung vollzogen hat, sind in diesem unteren Hangabschnitt die Abtragsbeträge deutlich höher als am Oberhang (Abb. 11), wo aufgrund des hohen Tongehaltes (vgl. Pegel 2) und der niedrigen Infiltrationsraten eine schlechtere Gefügestabilität und damit zur Folge ein erhöhter Oberflächenabfluß zu erwarten wäre. Doch wird unterhalb dieser Grenzlinie die Hangneigung entscheiden, denn während die Meßpegel 1 bis 4 mit maximal 18° Neigung unter einem Grenzwert von 20° bleiben, liegt der Pegel 7 bereits bei 25° und der Pegel 9 bei $31,5^\circ$. So ist zu erklären, daß die Abtragsbeträge am Oberhang in den Rañas trotz der für den Oberflächenabtrag günstigeren Bodeneigenschaften und einer etwas lichter Vegetation in ihren Erosionsbeträgen bei nur durchschnittlich 2,0 cm für den gesamten Beobachtungszeitraum von viereinhalb Jahren liegen. Die Abtragsraten am Mittel- und Unterhang beginnen bei 2,5 cm am Pegel 5 und haben bei Pegel 9 bei $31,5^\circ$ einen Gesamtabtrag von 5,7 cm. Eine Ausnahme bildet der Pegel 10, der bei 26° Neigung eine Akkumulation von 5,9 cm im Beobachtungszeitraum aufweist, er steht auf einer Hangverflachung vor einem Ericastrauch. Und auch

der relativ geringe Abtrag am Pegel 12 seit dem März 1977 von 3,2 cm zu 3,4 im August 1979 ist durch einen Stau vor einem dicken Stein zu erklären, der nach der Ableseung im Frühjahr 1977 dort freigespült wurde.

2.4.2 Die Meßreihe B

Die Meßreihe B liegt ebenfalls im Valle de Alberquillas am gegenüberliegenden Hang der Meßreihe A. Die Meßreihe B ist ESE exponiert und beginnt mit der Meßpegelzählung am unteren Hang (Abb. 13). Auch dieses Gebiet gehört zum Weideland der Finca El Pinar. Doch zeigt es von der Vegetation und von der Hangformung ein ganz anderes Bild. Der Ladan fehlt hier ganz, dafür finden sich vereinzelt Ginsterbüsche (*Genista hispanica*). Die Erica steht dichter und es handelt sich dabei um deutlich kleinere jüngere Pflanzen als am Meßprofil A. Am Unterhang bis etwa zum Meßpegel 7 sind schon beim Anlegen der Meßreihe im März 1975 Brandspuren zu erkennen gewesen, der Ginster fehlt hier und im Oberboden kommen deutlich große Steine zum Vorschein. Diese Grenze der Brandspuren blieb über den gesamten Beobachtungszeitraum erkennbar (Photo 9).

Das Abbrennen, das jedes Jahr gegen Ende der Trockenzeit von den Hirten durchgeführt wird, soll die verholzten Monte-bajo-Bestände, die als Schaf- und Ziegenweide ungeeignet sind, zerstören und einem frischen Neuausschlag Platz machen. Obwohl man versucht hat, diesem unkontrollierten Abbrennen in den Monte bajo und in die Wälder hinein durch gesetzliche Verordnungen weitgehend Einhalt zu gebieten, konnten diese alten Gewohnheiten der Hirtenbevölkerung aber generell nicht unterbunden werden. So war auch beim Anlegen dieser Meßreihe, trotz eingehender Unterrichtung des zuständigen Verwalters und einiger Hirten, zu erwarten, daß auch die Meßpegel dieser Sitte zum Opfer fallen würden, doch es haben sich während der gesamten Beobachtungszeit keine neuen Brandspuren gezeigt.

Das Bodenprofil in dieser Meßreihe ist mächtiger als am gegenüberliegenden Hang. Es handelt sich wiederum um eine meridionale Braunerde mit einer etwa 20 cm mächtigen Verbraunung, wobei der A_h -Horizont durch Einwaschung von Asche dunkelgrau bis schwarz gefärbt ist.

Probenentnahmen am Meßpegel 3 ergaben für die Bodenart einen sandigen Lehm (Abb. 14: B 76/1) und kf-Werte von $5,7 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $6,0 \cdot 10^{-4}$ cm/s und

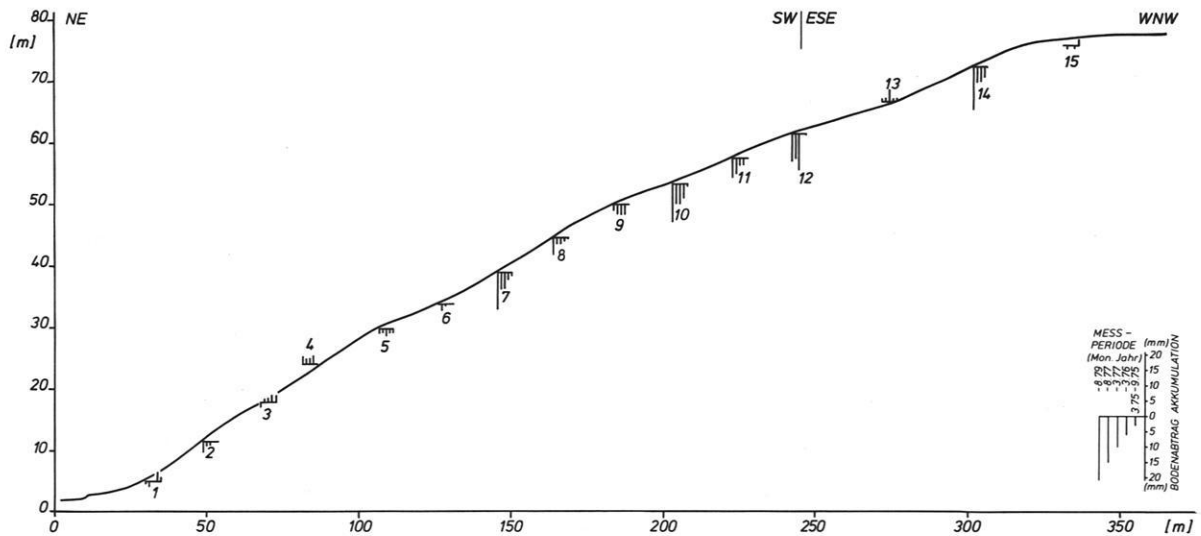


Abb. 13: Profil der Meßreihe B mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Tabelle 4: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: B
 HW 5277, RW 4610
 Exposition: ESE

Geologie: Quarzitverwitterung
 Vegetation: Erica scoparia, genista hispanica
 Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm
 Gebiet: im Valle de Alberquillas

Meßpegel	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	7,0°	13,5°	9,5°	10,0°	11,0°	13,0°	14,0°	14,5°	16,0°	15,0°	14,5°	15,5°	19,5°	19,5°	15,5°
Hangprofil	kx	1	kv	kx	1	1	kx	kx	1	1	kx	1	kv	kx	kv
Vegetation															
Dichte	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
Bodenart										IS					sL
Entnahmetiefe										2-4 cm					2-4 cm
Leitwert (Zyl.)										6,8 · 10 ⁻⁴					5,7 · 10 ⁻⁴
										7,2 · 10 ⁻⁴					6,0 · 10 ⁻⁴
										7,1 · 10 ⁻⁴					5,9 · 10 ⁻⁴
Leitwert (Inf.)															
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm															
Meßzeitraum															
3. 75 - 9. 75	+0,2	0,0	+0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	+0,1
3. 75 - 3. 76	+0,1	-0,3	+0,1	0,0	-0,1	-0,5	-0,3	-0,1	-0,2	0,0	-0,1	+0,3	+0,2	0,0	+0,3
3. 75 - 3. 77	0,0	-0,5	+0,3	-1,2	-0,1	-0,7	-0,3	-0,2	-0,5	-0,1	-0,2	+0,2	+0,1	-0,1	0,0
3. 75 - 8. 77	-0,1	-0,5	+0,1	-0,8	-0,5	-0,7	-0,3	-0,2	-0,5	-0,2	-0,1	+0,2	+0,1	-0,1	-0,2
3. 75 - 8. 79	0,0	-1,4	+0,1	-0,9	-0,7	-1,3	-0,2	-0,5	-1,2	0,0	-0,1	+0,3	-0,1	-0,3	-0,1

5,9 · 10⁻⁴ cm/s. Ähnliche Ergebnisse waren am Pegel 8 zu verzeichnen. Die Korngrößenanalysen ergaben einen lehmigen Sand (Abb. 14: B 76/2) und Stechzylinderproben eine Durchlässigkeit mit kf-Werten von 6,8 · 10⁻⁴ cm/s, 7,2 · 10⁻⁴ cm/s und 7,1 · 10⁻⁴ cm/s. Die durchschnittliche Hangneigung in diesem Meßprofil betrug 13,75°. Da das Rañasediment hier fehlt, traten rezente Zerschneidungen oder deutliche Ab-

tragungserscheinungen wie im Meßprofil A nicht auf, selbst die Bilanz der Materialverlagerung war an einigen Meßpegeln stabil, denn Fehlbeträge von ±0,1 cm müssen bei der Art der Messung bei einer vegetationsbedeckten Oberfläche einberechnet werden, da hierbei die Meßplatte teils auf die Vegetation gelegt werden muß und je nach Druck mehr oder weniger nachgibt.

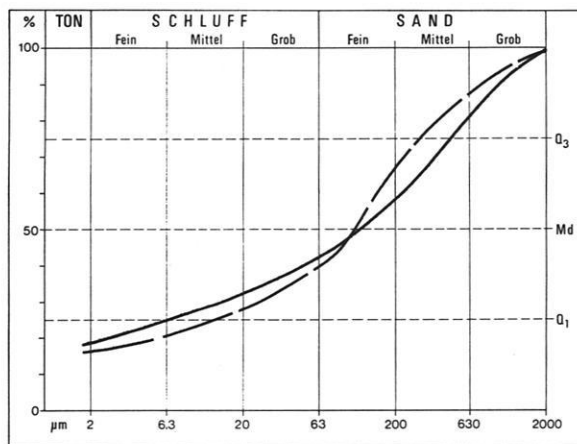


Abb. 14: Granulogramme der Meßreihe B. – B 76/1 (Pegel 3: 2-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung, B 76/2 (Pegel 8: 2-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/Quarzitverwitterung.

Es ist jedoch festzustellen, daß bei der lichterem Oberflächenbedeckung nach dem Pegel 7 die Abtragungsraten höher liegen. Während die ersten sechs Pegel am Unterhang bei Hangneigungen zwischen 14,5° und 19,5° nur einen durchschnittlichen Abtrag von 0,05 cm in der gesamten Beobachtungszeit aufweisen, ein Wert, der sicher innerhalb der Fehlergrenze liegt, beträgt der mittlere Abtrag am oberen Teil des Hanges bei Neigungen zwischen 7,0° und 14,5° 0,7 cm für den gleichen Zeitraum. Hier zeigt sich ein deutlicher Einfluß der Vegetation auf den Oberflächenabtrag.

2.4.3 Die Meßreihe C

Die Meßreihe C wurde auf dem selben Rañariedel angelegt wie die Meßreihe A. Sie ist nach Osten exponiert und läuft in das Valle de Valdeazores aus (Photo 10). Dieses Gebiet gehört zum Staatsforst und wird von dem *Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza* (ICONA) verwaltet und bewirtschaftet.

Eine geordnete Forstwirtschaft gibt es in Spanien erst seit Ende des 19. Jahrhunderts. Damals versuchte die spanische Regierung durch das Forstgesetz von 1877 eine Organisation in die hoffnungslosen Waldverhältnisse zu bringen. 1935 noch vor dem Ausbruch des Bürgerkrieges wurde das „*Patriomonium Forestal des Estado*“ gegründet, das etwa einer Forstverwaltung entspricht. Sofort nach Beendigung der Kämpfe 1939 bestätigte Franco das Gesetz und übertrug dieser Organisation den gesamten forstlichen Wiederaufbau des Landes. Sinn dieser Maßnahme war und ist die Wiederherstel-

lung eines „gesunden Forstes“ zur Holzherzeugung, die Erosionsverhütung und die Schaffung eines Bauernwaldes zur Deckung des Eigenbedarfs. Das Ziel ist die Wiederbewaldung von ca. 5 Mill. Hektar (= 50 % der Gebirgsländereien) in hundert Jahren (ICONA 1975). Das bedeutet eine Verdoppelung der heute bestehenden Waldfläche. Wiederaufgeforstet wurden seit 1939 rund 2,4 Mill. Hektar (MÜLLER-HOHENSTEIN 1973), die über das gesamte Land verstreut sind.

Fast alle Aufforstungen sind Monokulturen. Sie bringen somit auch alle Nachteile mit sich, die Monokulturen betreffen, wie Bodenverschlechterung, große Anfälligkeit gegenüber Schädlingsbefall und bei Nadelhölzern während der Trockenheit erhöhte Brandgefahr, denn trotz der erheblichen Vorsorge durch die Anlage von Brandschutzstreifen und Brandwachen durch das ICONA sind z. B. 1962 in Spanien ca. 50 000 Hektar Wald (MÜLLER-HOHENSTEIN 1973) abgebrannt.

In einem solchen Brandschutzstreifen wurde die Meßreihe C angelegt (Photo 10). Sie war im März 1975 erneut durch Planierarbeiten freigeschoben worden und somit vegetationslos. Laut Aussagen eines zuständigen „Guardia Forestal“, einem Forstbeamten des ICONA, sollen diese Brandschutzstreifen alle drei bis vier Jahre planiert werden, doch konnten im gesamten Beobachtungszeitraum solche Arbeiten nicht mehr festgestellt werden.

Die Meßreihe C beginnt auf den Rañas in einer lichten Eukalyptus-Aufforstung (*Eukalyptus globulus*) (Photo 4, Abb. 15). Das Bodenprofil, eine meridionale Braunerde, ist hier am Oberhang mit 50 bis 75 cm Mächtigkeit noch vollständig ausgebildet. Die Bodenart an den ersten drei Meßpegeln in den Rañas ergab einen lehmigen Sand (Abb. 16: C 79/1) oder schluffigen Sand (Abb. 16: C 79/2) am Pegel 3. Die Durchlässigkeit in diesem Hangabschnitt war sehr hoch; die kf-Werte betragen für die Stechzylinderproben $2,4 \cdot 10^{-3}$ cm/s, $2,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s und $3,1 \cdot 10^{-3}$ cm/s und die Werte beim Ringinfiltrometer ergaben eine Infiltrationsrate von $3,5 \cdot 10^{-3}$ cm/s.

Der Wechsel im Untergrund wird auch hier wie in der Meßreihe A im Hangprofil deutlich. Während in den Rañas die Hangneigung 1,5° nicht übersteigt, liegt der Pegel 4 bereits bei 12°. Auch die Proben, die bei Pegel 6, 7 und 8 genommen wurden, zeigten deutlich andere Werte auf. Es war ein sandig-toniger Lehm (Abb. 16: C 79/3) und ein sandig-schluffiger Lehm (Abb. 16: C 79/4) mit einer dem-

entsprechend geringen Durchlässigkeit (s. Tab. MR: C). In diesem Hangabschnitt finden wir eine ausgeprägte Quarzitverwitterung mit einigen Rotlehmrelikten unter einer geringen rezenten Bodenbildung, einer meridionalen Braunerde, die trotz der Planierung noch einen schwachen A_h-Horizont erkennen ließ.

men, das Anstehende konnte mit der Refraktionsseismik nicht ermittelt werden.

Die Abtragsraten in den Rañas waren äußerst gering. Der lockere Boden im oberen Teil der Rañas (lehmgiger Sand, schluffiger Sand, Abb. 16) besitzt aufgrund seiner hohen Schluff- und Feinsandanteile eine ausreichende bis gute Gefügestabilität und aufgrund dieser Textur weisen die Böden hohe Infiltrationsraten auf, Eigenschaften, die einem ver-

Der Unterhang etwa von Pegel 9 an wird von einer über 6 m mächtigen Solifluktsdecke eingenom-

Tabelle 5: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages

Profil: MR: C

HW 5286, RW 4614

Exposition: E

Geologie: Quarzitverwitterung mit Rañasediment

Vegetation: Freiland (Brandschneise)

Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm

Gebiet: im Valle de Valdeazores

Meßpegel	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	4,8°	18,0°	16,0°	17,0°	14,0°	12,5°	10,0°	12,0°	1,5°	1,0°	0,8°
Hangprofil	kv	kx	l	l	l	kx	kv	kx	kx	l	l
Vegetation Dichte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/2	1/2
Bodenart	ulS			suL	stL				uS/IS		IS
Entnahmetiefe	2-4 cm			2-4 cm	2-4 cm	5-10 cm			0-2 cm	5-10 cm	0-2 cm
Leitwert (Zyl.)						$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$		$2,4 \cdot 10^{-3}$		
						$1,3 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$		$2,2 \cdot 10^{-3}$		
						$1,0 \cdot 10^{-5}$			$3,1 \cdot 10^{-3}$		
Leitwert (Inf.)									$3,5 \cdot 10^{-3}$		
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm											
Meßzeitraum											
3. 75 - 9. 75	+1,8	-0,8	-0,6	-1,3	-1,2	-0,4	-0,4	-0,6	-0,2	0,0	0,0
3. 75 - 3. 76	+3,2	-1,9	-1,8	-2,4	-2,8	-1,2	verloren	-1,2	-0,5	-0,2	+0,1
3. 75 - 3. 77	+5,7	-2,9	-2,9	-5,2	-4,1	-2,0	verloren	-2,3	-0,8	-0,3	+0,3
3. 75 - 8. 77	+5,6	-3,2	-3,2	-5,1	-4,5	-2,0	verloren	-2,6	-0,8	-0,3	+0,3
3. 75 - 8. 79	+6,3	-6,4	-6,0	-8,9	-8,2	-4,1	verloren	-4,3	-1,2	-0,6	gerodet

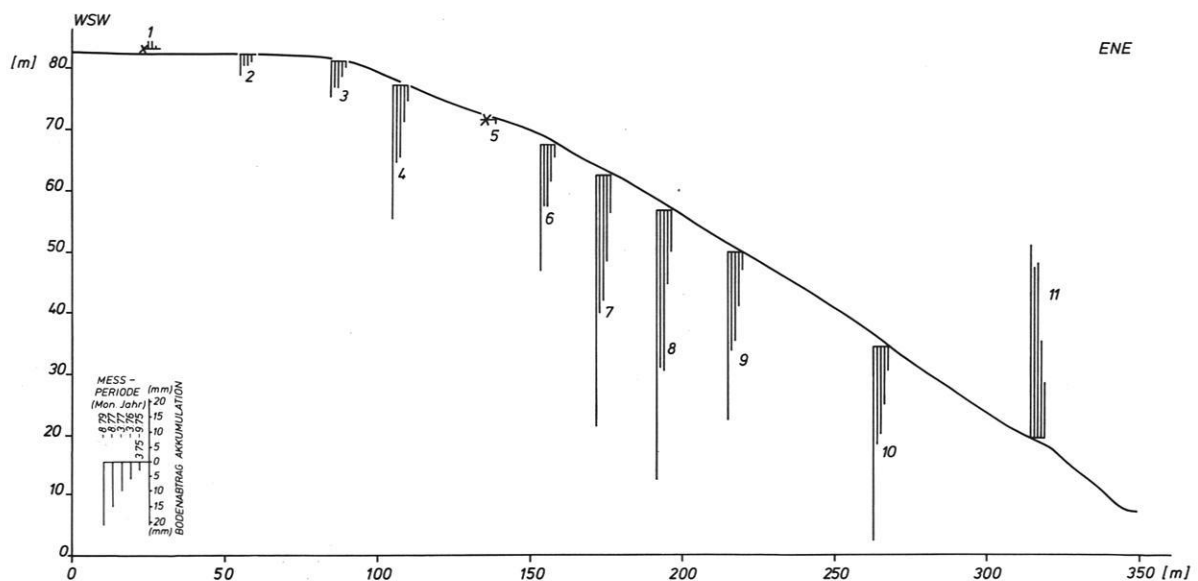


Abb. 15: Profil der Meßreihe C mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

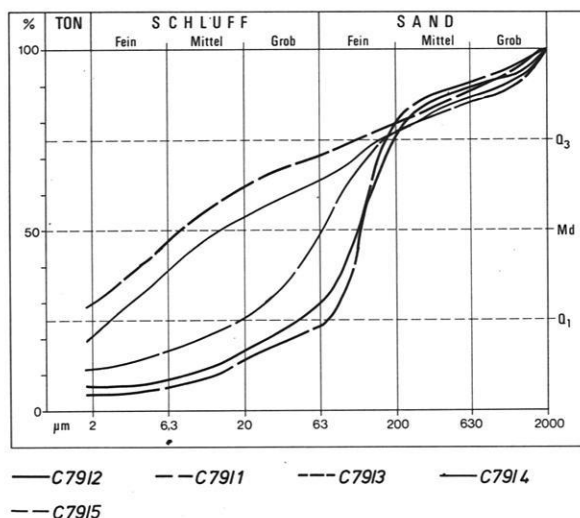


Abb. 16: Granulogramme der Meßreihe C. – C 79/1 (Pegel 13: 0-2 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Rañamatrix, C 79/2 (Pegel 3: 5-10 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/Rañamatrix, C 79/3 (Pegel 7: 2-4 cm Tiefe): sandig-toniger Lehm (stL)/Quarzitverwitterung, C 79/4 (Pegel 8: 2-4 cm Tiefe): sandig-schluffiger Lehm (suL)/Quarzitverwitterung, C 79/5 (Pegel 11: 2-4 cm Tiefe): schluffig-lehmiger Sand (ulS)/Quarzitverwitterung.

stärkten Oberflächenabfluß entgegnetreten. Auch die Hangneigungen liegen mit $0,8^\circ$ bis $1,5^\circ$ in einem Bereich, der für den Bodenabtrag noch nicht von Bedeutung ist. Zusätzlich ist hier der Oberboden mit der typischen Raña-Bedeckung angereichert (Photo 11), kleine Gerölle bis zu 30 mm Durchmesser, die eine dunkelbraune Eisen-Mangan-Kruste tragen (J. GEHRENKEMPER 1978: 37). Sie wurden durch Auswaschung selektiv angereichert und bilden heute an vielen Stellen ein dichtes Pflaster, das die *Splash*-Wirkung herabsetzt und durch seine Speicherkapazität den Oberflächenabfluß reduziert.

Die Pegel 2 und 3 weisen Abtragsraten von 0,6 cm und 1,2 cm im gesamten Beobachtungszeitraum auf, was einen durchschnittlichen Abtrag von 0,2 cm im Jahr entspricht.

Die Abtragungsbeträge des Mittelhanges im Verwitterungsmaterial und auch am Unterhang in der Solifluktsdecke liegen wesentlich höher. Bei Hangneigungen bis zu 17° , einem sandig-tonigen Lehm und einer sehr geringen Infiltration werden Abtragsraten bis zu 8,9 cm am Pegel 8 in vier Jahren gemessen. Dabei war festzustellen, daß die Pegel, die in einem Bereich standen, wo die Solifluktsdecke angeschnitten war, wesentlich stärker ero-

dierten als die Pegel, die durch Grobschutt geschützt waren (Pegel 4 und 6). Teilweise wie bei Pegel 7 und 8 kam es sogar zu einer linienhaften Erosion (Photo 12). Diese linienhafte Zerschneidung ist an vielen Stellen des Hanges festzustellen, sie konnte sich aber in den meisten Fällen nicht den ganzen Hang hinunter entwickeln, weil im Laufe der Zeit entweder ein größerer Stein freigespült wurde und als Hemmnis wirkte oder die mit den Jahren vereinzelt wieder aufgekommene Vegetation, meist kleine degradierte Erica-Büsche, einen Stau verursachten. Der Pegel 11 befindet sich am Ende einer solchen Erosionsrinne im Stau vor einem Erica-Busch, der von der Planierung im Frühjahr 1975 verschont geblieben ist.

2.4.4 Die Meßreihe D

Die Meßreihe D ist etwa 800 m weiter nördlich der Meßreihe C auf dem gleichen Rañariedel zum Valle de Valdeazores ebenfalls in einer *Brandschneise* angelegt. Die Rañagrenze verläuft hier etwa zwischen dem Pegel 3 und 4 (Abb. 17). Wie im Meßprofil C finden wir auch hier in den Rañas eine etwa 50 bis 60 cm mächtige meridionale Braunerde mit einem gut ausgebildeten A_h -Horizont und den typischen Raña-Geröllen (Photo 11) an der Oberfläche.

Bodenproben, die am Pegel 2 genommen wurden, zeigten ein ähnliches Korngrößenspektrum wie in der Meßreihe C. Es handelte sich um einen lehmigen Sand (Abb. 18: D 77/1) mit kf-Werten von $6,6 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $6,9 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $7,9 \cdot 10^{-4}$ cm/s, also einer hohen Durchlässigkeit. Dementsprechend gering sind auch die Abtragsraten an den Pegeln 3 und 4 mit 0,1 cm und 1,8 cm in vier Jahren, das entspricht ebenfalls, wie am Oberhang der Meßreihe C, einem Jahresdurchschnitt von 0,2 cm. Der Pegel 2 stand am Fußpunkt eines schmalen Grabenaushubes und wurde so mit dem Feinmaterial dieses Auswurfes aufsedimentiert. Der Pegel 1 ging bei einer Wegverbreiterung im Frühjahr 1976 verloren.

Die Gefällszunahme in diesem Meßprofil ist im Mittelhang geringer als in der Meßreihe C. Bei $5,5^\circ$ und bei $9,0^\circ$ Neigung liegen die Erosionsbeträge bei etwa 0,9 cm pro Jahr. Deutlich höher wird der Abtrag bei Pegel 8, bei 16° Hangneigung, in einem sandig-tonigen Lehm (Abb. 18: D 77/2) und bei sehr geringer bis geringer Durchlässigkeit – die kf-Werte betragen für die Stechzylinderproben $5,2 \cdot 10^{-5}$ cm/s, $4,9 \cdot 10^{-5}$ cm/s, $6,5 \cdot 10^{-5}$ cm/s und für die Infiltrationsrate $2,6 \cdot 10^{-4}$ cm/s – lag der Abtrag bei 7,5 cm für den gesamten Beobachtungszeitraum.

Tabelle 6: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages

Profil: MR: D

HW 5290, RW 4610

Exposition: E

Geologie: Quarzitverwitterung mit Rañasediment

Vegetation: Freiland (Brandschneisen)

Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm

Gebiet: im Valle de Valdeazores

Meßpegel	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	4,0°	23,0°	19,5°	18,0°	16,0°	12,0°	9,0°	5,5°	3,0°	1,5°	1,5°	0,5°
Hangprofil	kv	l	kx	kx	kx	kx	kx	kx	l	l	l	l
Vegetation Dichte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/2
Bodenart				sL	stL							lS
Entnahmetiefe				2-4 cm	2-4 cm							2-4 cm
Leitwert (Zyl.)				$1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$							$6,6 \cdot 10^{-4}$
				$2,1 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$							$6,9 \cdot 10^{-4}$
				$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$							$7,2 \cdot 10^{-4}$
Leitwert (Inf.)				$2,6 \cdot 10^{-4}$								
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm												
Meßzeitraum												
3.75 - 9.75	0,0	0,0	-0,6	-0,1	-0,5	↓	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	+0,2	+0,3
3.75 - 3.76	+0,2	-0,7	-2,1	-0,9	-2,3	↓	-1,7	-1,4	-0,7	-0,3	+0,2	-
3.75 - 3.77	+0,1	-1,5	-3,7	-2,1	-4,9	↓	-2,4	-2,1	-0,9	-0,2	+0,1	-
3.75 - 8.77	+1,4	-1,9	-3,9	-2,4	-4,9	↓	-2,7	-2,0	-1,0	-0,3	+0,1	-
3.75 - 8.79	+1,7	-2,1	-4,1	-3,1	-7,5	↓	-3,9	-3,2	-1,8	-0,1	+0,2	-

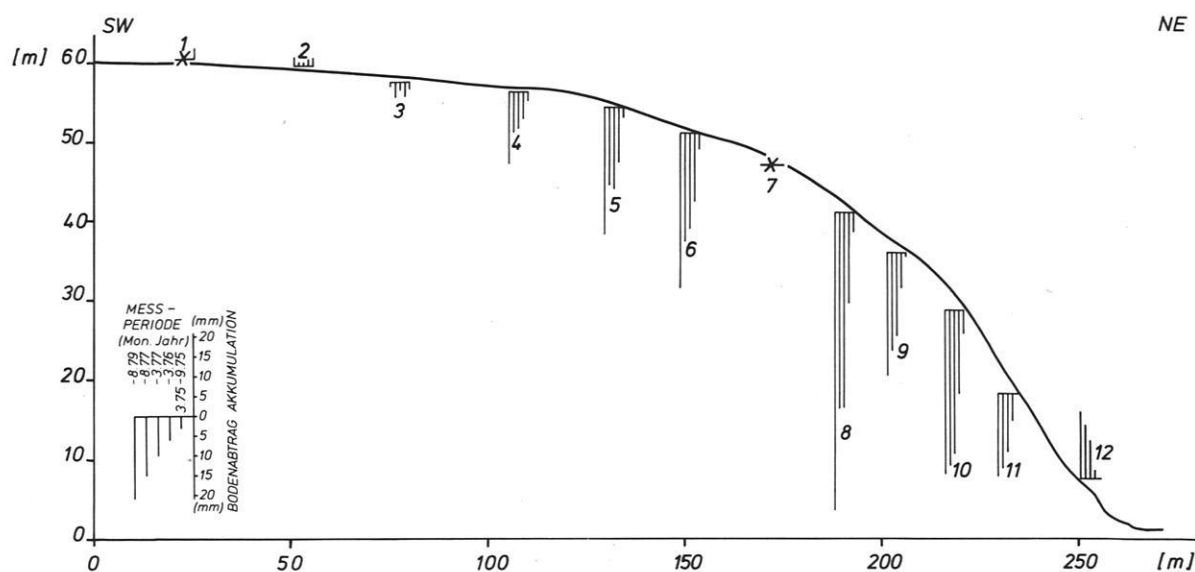
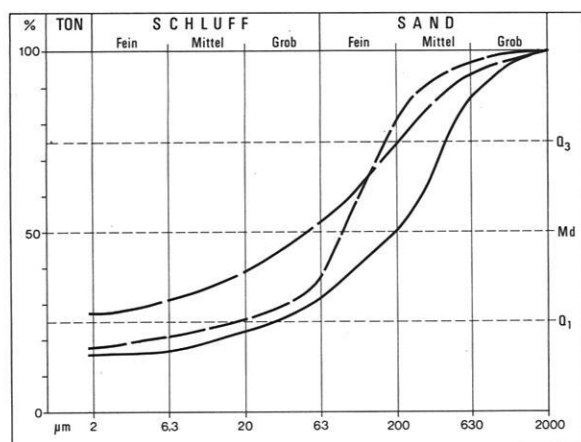


Abb. 17: Profil der Meßreihe D mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Unterhalb des Pegels 8 beginnen Wasserrisse. Aufgrund dieser Tatsache wird der Oberflächenabfluß verstärkt kanalisiert (Photo 13). Pegel 9 liegt neben einem solchen Wasserriß, was zur Folge hat, daß das abfließende Wasser diesen Leitlinien folgt und am Pegel 9 trotz einer Hangneigung von 18° und den gleichen bodenphysikalischen Eigenschaften wie

am Pegel 8 mit 3,1 cm wesentlich weniger abgetragen wurde. Das Gleiche gilt auch für die beiden folgenden Meßpegel. Pegel 10 und 11 liegen jeweils zwischen zwei Wasserrissen. Der Pegel 12 steht am Ende eines solchen Wasserrisses im Akkumulationsbereich einer schmalen Hangstufe (Photo 14).



—D77/1 - - -D77/2 . . .D77/3

Abb. 18: Granulogramme der Meßreihe D. – D77/1 (Pegel 2: 2-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (IS)/Rañamatrix, D77/2 (Pegel 8: 2-4 cm Tiefe): sandig-toniger Lehm (stL)/Quarzitverwitterung, D77/3 (Pegel 9: 2-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung.

2.4.5 Die Meßreihe E

Die Meßreihe E liegt direkt neben der Meßreihe D in einer Sternkiefer-Aufforstung (*Pinus pinaster*). Die Meßpegelzählung beginnt in diesem Profil unten am Hang (Abb. 19). Die beiden Hangprofile entsprechen sich in etwa, doch kann man sie nicht un-

mittelbar miteinander vergleichen. Während die Brandschneisen planiert sind, wurden entlang der aufgeförfsteten Teile des Hanges Pflanzfurchen gezogen (Photo 3 und 15). Vor der Aufförfstung werden die Hänge mit Schäl- und Tiefpflügen bearbeitet, so daß zum Hang geneigte Pflanzterrassen entstehen. Dabei werden heute zum Teil moderne Motormaschinen eingesetzt, die Furchen sind dann je nach Größe der Maschinen dementsprechend breiter. Noch vor einigen Jahren war es üblich, daß Esel- oder Ochsen gespanne diese parallel zu den Höhenlinien verlaufenden Furchen zogen, in die dann mit der Hand oder auch mit einfachen Pflanzmaschinen die zwei- bis dreijährigen Pflanzen eingesetzt wurden. Nicht flächenbedeckende Terrassen, d. h. Terrassen, die nicht durchgehend entlang der Isohypsen angelegt sind, sondern die z. B. durch kürzere oder längere umbaute Strecken oder tief den Hang querende Erosionsschluchten unterbrochen werden, nennt man im Sprachgebrauch des internationalen Rekultivierungswesens „Piezzole“ (BARNER 1978: 65). Der Begriff für die vollkommen flächendeckenden Terrassenbänke „Gradoni“ (BARNER 1978: 65), die durchgehend entlang der Höhengichtlinien ziehen, wurde ebenfalls aus der italienischen Kulturtechnik übernommen. Durch diese mehr oder weniger breite Terrassierung soll der Oberflächenabfluß in seiner erodierenden Kraft

Tabelle 7: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages

Profil: MR: E

HW 5290, RW 4610

Exposition: E

Geologie: Quarzitverwitterung mit Rañasediment

Vegetation: *Pinus pinaster* Aufförfstung, *erica scoparia*

Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm

Gebiet: im Valle de Valdeazores

Meßpegel	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	1,5°	1,5°	3,0°	5,5°	9,0°	12,0°	16,0°	18,0°	19,5°	23,0°	4,0°
Hangprofil	1	1	kx	kx	kx	kx	kx	1	1	1	1
Vegetation											
Dichte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bodenart				sL			sL				
Entnahmetiefe				2-4 cm			2-4 cm				
Leitwert (Zyl.)							$6,5 \cdot 10^{-4}$				
							$3,2 \cdot 10^{-4}$				
							$5,7 \cdot 10^{-4}$				
Leitwert (Inf.)		$1,3 \cdot 10^{-3}$					$5,2 \cdot 10^{-4}$				
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm											
Meßzeitraum											
3.75 – 9.75	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0		0,0	+0,1	0,0
3.75 – 3.76	+0,1	+0,1	0,0	+0,1	verloren	-0,2	-0,1	verloren	-0,2	+0,1	-0,1
3.75 – 3.77	+0,3	0,0	+0,2	+0,3		-0,6	-0,2		-0,4	+0,3	-0,1
3.75 – 8.77	+0,3	+0,3	+0,1	+0,3		-0,6	-0,4		-0,5	+0,5	0,0
3.75 – 8.79	+0,4	+0,2	0,0	+0,5		-0,5	-0,9		-0,7	+1,2	0,0

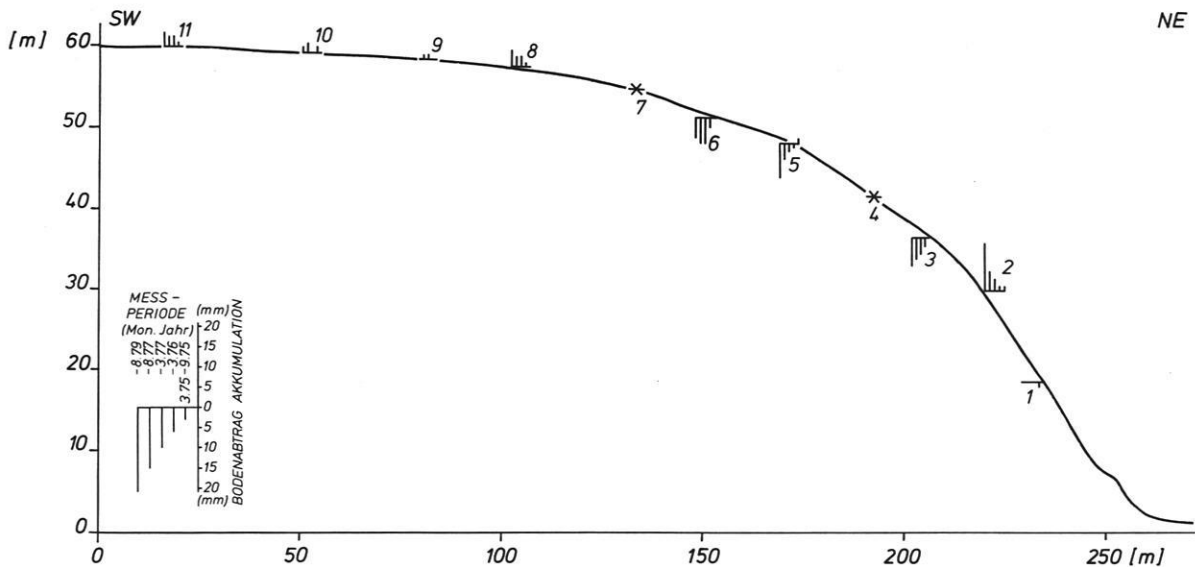


Abb. 19: Profil der Meßreihe E mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

gehemmt und die Versickerung erhöht werden. Das ist umso wirkungsvoller, wenn die Terrassenbänke oder -rillen nicht waagrecht verlaufen, sondern eine leicht zum Hang geneigte Richtung haben (Photo 16). Diese Neigung dient nicht allein dem Erosionsschutz, sondern auch einer erhöhten Feuchtigkeitzufuhr, denn die Pflanzen werden in die Rinne gesetzt, in der sich die Fläche der geneigten Stufe und die Hangoberfläche im Winkel schneiden und wo sich somit das Niederschlagswasser am stärksten sammeln kann. Beim Anlegen dieser Aufforstungen wurden zum verstärkten Bodenschutz kleinstämmige Erica-Arten mit angepflanzt, die schneller eine Oberbodenbindung herstellen können als die jungen Kiefern.

Die ehemaligen Pflanzterrassen werden heute im Meßprofil E nur noch in Bodenwellen deutlich, die durch die fast dichte Bodenbedeckung, vorwiegend *Erica scoparia*, noch abgeschwächt werden.

Das Bodenprofil ist am ganzen Hang gut ausgebildet. So konnte am Pegel 5 bei 16° Hangneigung eine etwa 35 bis 40 cm mächtige meridionale Braunerde festgestellt werden. Bodenproben an diesem Punkt ergaben einen sandigen Lehm (Abb. 20: E 77/1). Die kf-Werte für die Stechzylinderproben betragen $6,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $3,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $5,7 \cdot 10^{-4}$ cm/s und die Infiltrationsrate $5,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s. Weitere Untersuchungen der Bodenart am Pegel 10 in den Rañas wiesen ebenfalls einen sandigen Lehm aus (Abb. 20: E 77/2), doch die Werte der Durchlässigkeit lagen mit $1,3 \cdot 10^{-3}$ cm/s wesentlich höher.

Die Abtragsraten in diesem Meßprofil sind insgesamt sehr gering. Die dichte Vegetation und die abtragungshemmende Terrassierung lassen selbst am Mittelhang bei Hangneigungen zwischen 12° und 23° einen Abtrag von etwa 0,2 cm im Jahr zu. Die Differenzierung in Ober-, Mittel- und Unterhang, die trotzdem zum Ausdruck kommt, mag mit durch die zufällige Lage der einzelnen Meßpegel bedingt sein. So ist der Oberhang in den Rañas bei den Pegeln 9, 10 und 11 noch nicht terrassiert, hier finden wir auch noch keine Sternkiefernauflistung mit dichtem Erica-Unterbewuchs, sondern eine

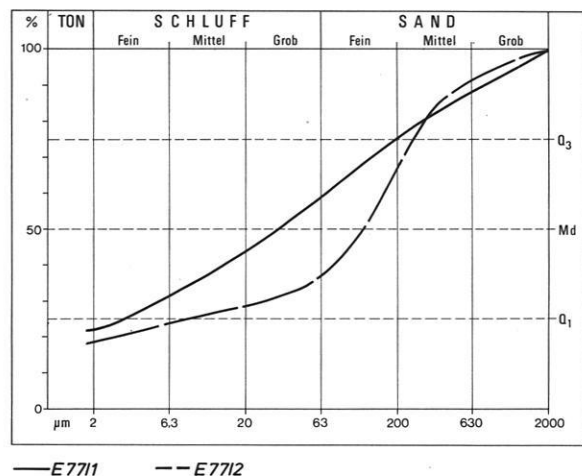


Abb. 20: Granulogramme der Meßreihe E. — E 77/1 (Pegel 5: 2-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung, E 77/2 (Pegel 8: 2-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung.

lichte Eukalyptusanpflanzung (Photo 4). Während der Oberboden am Oberhang der Brandschneisen C und D noch völlig unbearbeitet und mit der typischen Rañabedeckung (Photo 11) angereichert war, waren im Oberboden der Eukalyptusaufforstung im März 1975 noch deutlich grobe Pflugschollen zu erkennen. Diese Pflugschollen sind im Laufe des Beobachtungszeitraumes zerfallen und wurden eingeebnet, was die Aufsedimentierung der Pegel 9, 10 und 11 erklärt. Im Sommer 1979, als die Infiltrationsmessungen gemacht wurden, war dieser Hangabschnitt mit zahlreichen kleinen Trockenrissen durchzogen, die eine sehr hohe Durchlässigkeit bewirkten. Die Akkumulation am Pegel 8 ist daraus zu erklären, daß er in der ersten Pflanzrinne der Sternkieferaufforstung steht und dort bei sehr starken Niederschlägen Feinmaterial des Oberbodens aus dem oberhalb liegenden Eukalyptusstreifen zugeführt wird.

Die Abtragsraten an den Meßpegeln 3, 5 und 6 kommen durch ihre exponierte Lage zustande. Da diese relativ alten Pflanzterrassen noch sehr schmal sind und im hangnahen Teil bereits fast ausgewachsene Sternkiefern stehen, wurden die Pegel ziemlich nah an die ehemalige Stufenkante, die heute nur noch als Bodenwellenknicke erkennbar ist, eingeschlagen. An diesen extremen Standorten

findet heute selbst bei dichter Vegetation noch ein geringer Abtrag statt. Es kommt dabei aber nicht zu einer durchgehenden Abtragung, sondern das Feinmaterial wird in der nächsten Pflanzrinne wieder aufgefangen (Photo 16). Ein Beispiel dafür bietet der Meßpegel 2, der in der Pflanzrinne dicht am Hang neben einem Kiefernstamm eingeschlagen wurde. Dort wurden im Beobachtungszeitraum insgesamt 1,2 cm aufsedimentiert.

2.4.6 Die Meßreihe F

Die Meßreihen F, G und H liegen im Bereich des *Collado Martin Blasco*, der mit 747 m Höhe aus dem Niveau der Rañas herausragt (Abb. 9). Sie befinden sich an den südlichsten Ausläufern der Sierra de la Villuerca, denn von dieser Stelle tauchen die Quarzitkuppen unter die Rañadecke ab. Während die anderen Meßreihen fast ausschließlich an den Hängen der Rañas oder den darunter befindlichen Verwitterungsdecken angelegt wurden, sollte hier an zwei Bergkuppen, die über das umliegende Gelände hinausragen, in unterschiedlicher Exposition der Bodenabtrag auf geringer mächtigen Hangschutdecken der Quarzit-Sierren erfaßt werden. Wie die Seismik jedoch zeigte, wird durch den rezenten Bodenabtrag der anstehende Fels an keiner Stelle in diesen Meßfeldern freigelegt.

Tabelle 8: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: F
 HW 5318, RW 4590
 Exposition: ESE

Geologie: Quarzitverwitterung
 Vegetation: Freiland (Brandschneise)
 Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm
 Gebiet: am Collado Martin Blasco

Meßpegel	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	7,5°	7,0°	10,0°	11,5°	13,0°	13,0°	13,5°	11,5°	11,0°	5,0°
Hangprofil	kx	l	l	kx	l	kv	l	kx	kv	kv
Vegetation										
Dichte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	½
Bodenart	suL	sL					ulS	lS		
Entnahmetiefe	0-4 cm	0-4 cm					2-4 cm	2-4 cm		
							5,7 · 10 ⁻⁴			
	2,7 · 10 ⁻⁴	2,5 · 10 ⁻⁴					5,3 · 10 ⁻⁴	1,10 · 10 ⁻³		
Leitwert (Zyl.)	2,3 · 10 ⁻⁴	1,9 · 10 ⁻⁴					5,1 · 10 ⁻⁴	1,06 · 10 ⁻³		
	2,5 · 10 ⁻⁴	2,8 · 10 ⁻⁴					4,7 · 10 ⁻⁴	1,01 · 10 ⁻³		
Leitwert (Inf.)		1,5 · 10 ⁻⁴					1,3 · 10 ⁻⁴	1,6 · 10 ⁻³		
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm										
Meßzeitraum										
3. 75 - 9. 75	-0,8	-1,7	+2,3	-2,0	-1,4	-1,6	-1,0	-1,3	-1,4	+0,1
3. 75 - 3. 76	-1,4	-2,4	+3,5	-3,3	-2,4	-2,5	-1,8	-2,5	-2,8	+1,3
3. 75 - 3. 77	-1,4	-3,4	+4,6	-4,7	-4,3	-3,8	-2,9	-3,4	-4,6	+3,0
3. 75 - 8. 77	-1,5	-3,5	+4,3	-5,4	-4,1	-4,1	-3,2	-3,7	-4,8	+3,8
3. 75 - 8. 79	-3,2	-4,2	+6,5	-7,2	-5,5	-5,0	-4,5	-4,5	-5,9	+5,3

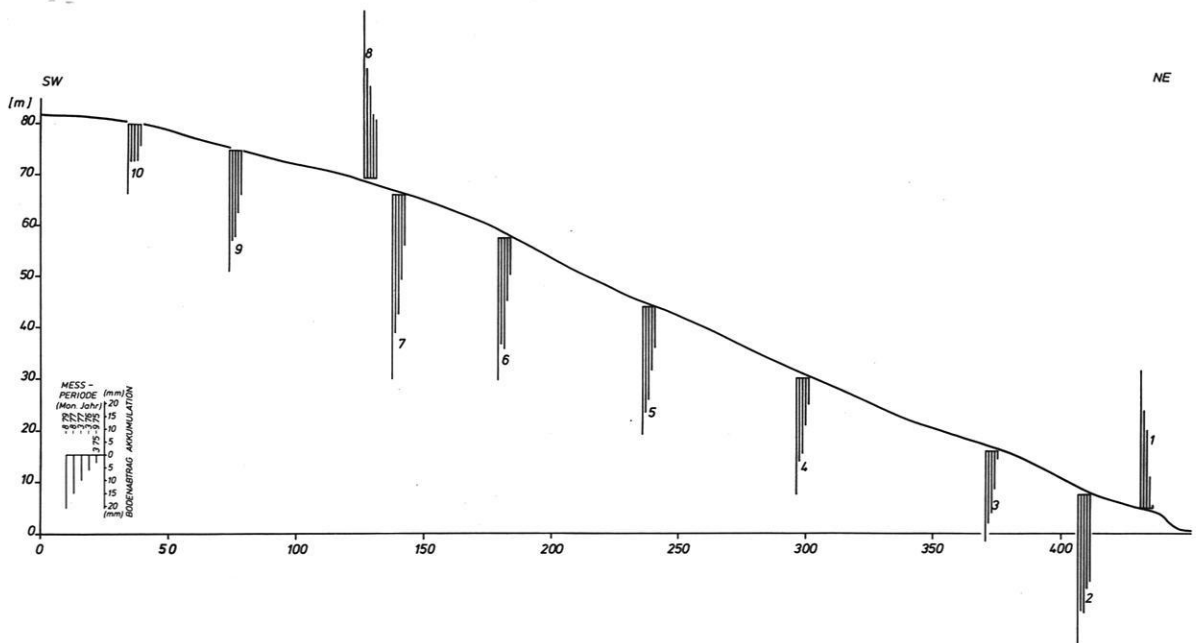


Abb. 21: Profil der Meßreihe F mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Wie auf der Karte zu sehen ist (Abb. 9), gehen die beiden untersuchten Brandschutzstreifen von einem Sattel zwischen dem Collado Martin Blasco und der Höhe 741 hangaufwärts (Photo 17). Im unteren Teil der beiden Hangprofile, die in diesem Abschnitt jeweils eine Verflachung zeigen (Abb. 21), wurde eine Tiefe von 15 m bis zum anstehenden Fels gemessen (Abb. 22). Die Geschwindigkeit der seismischen Wellen liegt hier für den Quarzit bei maximal 2600 bis 2700 m/s. Diese für den Quarzit recht niedrigen Werte sind darauf zurückzuführen, daß das Gestein nicht homogen ist, sondern Wechselagerungen von weichen und harten Quarzitbänken die P-Wellen dämpfen. Je nach Struktur des Gesteins schwanken in diesem Gebiet die Geschwindigkeiten für das Anstehende zwischen 2000 und 2700 m/s.

In allen drei Meßprofilen ergab die Seismik eine Ausdünnung der Verwitterungsdecke im mittleren Hangbereich (Abb. 23). Obwohl hier die Oberfläche von sehr großen Blöcken gebildet wird, befinden sie sich nicht im Verbund mit dem Anstehenden, sondern sind in einer Feinmatrix eingebettet. Die seismischen Messungen erbrachten hier Tiefen von maximal vier Meter bis zum Anstehenden.

Diese Ergebnisse der Seismik müssen mit sehr großer Vorsicht interpretiert werden, da durch die Inhomogenität des Refraktors, wie die Laufzeitkurve ergibt, die Geschwindigkeiten der p-Wellen

nur näherungsweise bestimmt werden konnten. Vergleiche an benachbarten Aufschlüssen, ehemalige Kampfstellungen aus dem spanischen Bürgerkrieg, zeigten, daß auch hier das Anstehende von einer mindestens 2 bis 2,5 m mächtigen Verwitterungsdecke überlagert ist.

Während diese Verwitterungsdecke zur Höhe des Collado Martin Blasco zwischen zwei und vier Meter variiert, konnte auf dem Profil H im oberen Teil die Verwitterungsbasis bei zehn Meter Tiefe

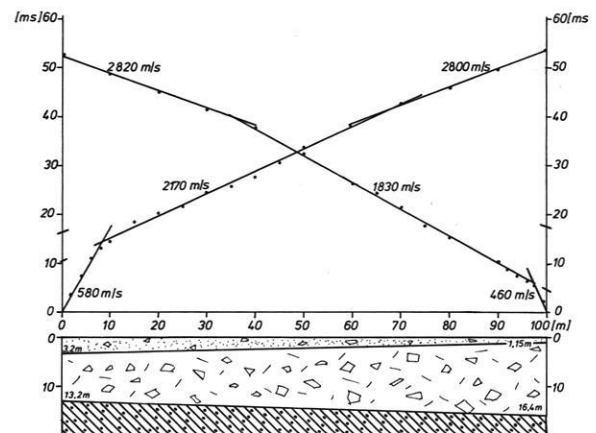


Abb. 22: Laufzeitdiagramm und Auswertung der seismischen Messungen im Sattel zwischen den Meßreihen F und H am Collado Martin Blasco. Die Geschwindigkeit der p-Wellen ist mit 2800 m/s für unverwitterten Quarzit niedrig. Grund dafür ist die Struktur des Gesteins mit einem Wechsel von weichen und harten Bänken.

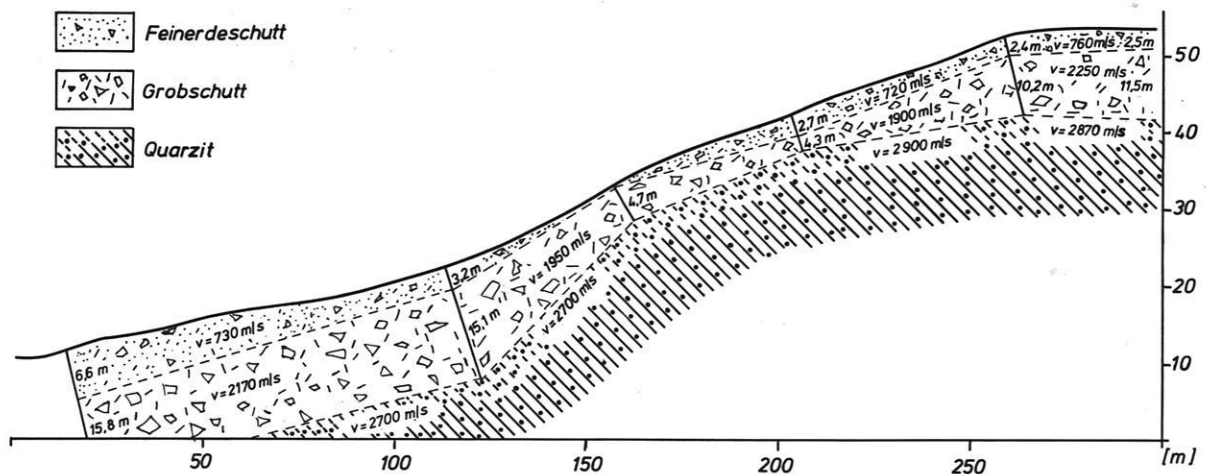


Abb. 23: Mächtigkeit und Gliederung der Hangschuttdecken in der Meßreihe H (Abb. 28), ermittelt mit Hilfe der Refraktionsseismik. Aufgrund der deutlichen Knickpunkte in den Laufzeitkurven wurden die Tiefen mit Hilfe der Interzeptzeitformel berechnet. Es zeigt sich eine Zweigliederung der Hangschuttdecke, die im konvexen Hangbereich ausdünnert.

festgestellt werden (Abb. 23). Offenbar hat hier eine harte Bank im Mittelhang den Abtrag vom Oberhang gemindert.

Die Meßreihe F liegt, wie schon erwähnt, in einer *Brandschneise* der staatlichen Aufforstungen am Collado Martin Blasco. Sie ist nach Nordost exponiert, die Meßpegelzählung beginnt unten am Hang (Abb. 21). Insgesamt weisen diese Profile wesentlich geringere Hangneigungen auf als die Meßreihen unterhalb der Rañas, mit durchschnittlich $10,3^\circ$ haben sie ein fast gleichsinniges Gefälle.

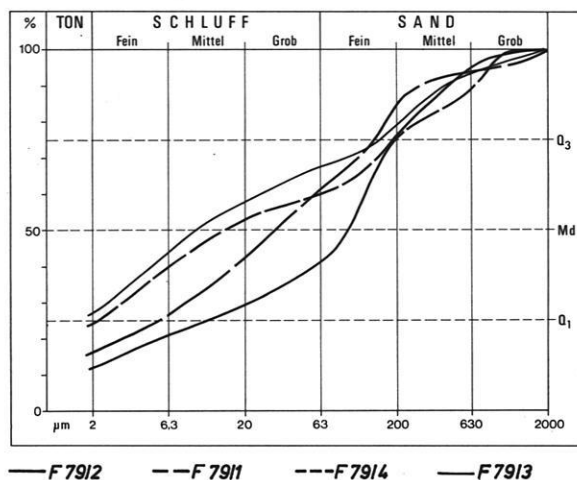


Abb. 24: Granulogramme der Meßreihe F. — F 79/1 (Pegel 3: 2-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/Quarzitverwitterung, F 79/2 (Pegel 4: 2-4 cm Tiefe): schluffig-lehmiger Sand (ulS)/Quarzitverwitterung, F 79/3 (Pegel 10: 0-4 cm): sandig-schluffiger Lehm (suL)/Quarzitverwitterung, F 79/4 (Pegel 9: 0-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung.

Die unterschiedliche Mächtigkeit der Verwitterungsdecken, bis zu 15 m im Unterhang und zwischen 2 und 4 m im Mittel- und Oberhang scheint sich in Bezug auf den rezenten Bodenabtrag nicht auszuwirken. Die Abtragsraten können hier fast ausschließlich mit Hilfe der Vegetationslosigkeit und der Hangneigungen erklärt werden, denn ebenso gleichsinnig wie das Gefälle verhalten sich die Abtragsbeträge. Vom Pegel 2 bis zum Pegel 6 bei Hangneigungen zwischen 11° und 13° schwankt der Abtrag zwischen 4,5 cm und 5,9 cm im Beobachtungszeitraum. Der Pegel 7 bei $11,5^\circ$ bildet mit 7,2 cm Abtrag eine Ausnahme, die dadurch zu erklären ist, daß der Pegel neben einem dicken Stein in einer linienhaften Abflußbahn liegt. Der Pegel 8 steht auf einer kleinen Verflachung unmittelbar vor einem Gesteinsblock und hat somit bis zu 6,5 cm aufsedimentiert. Bei Pegel 9 und 10 lagen die Abtragsbeträge entsprechend der Hangneigung von 7° und $7,5^\circ$ mit 4,2 cm und 3,2 cm etwas niedriger als am Mittelhang.

Das Bodenprofil weist auch an diesem Hang noch eine mehr oder weniger mächtige Braunerde auf, die an vielen Stellen durch das Einplanieren der Vegetation gekappt wurde und wo nur noch eine gering mächtige Verbraunungszone nachweisbar ist. Am Top 10 konnte ein A_h -Horizont von etwa 10 cm aufgedigelt werden. Die Bodenart wechselt stark zwischen lehmigem Sand, schluffig-lehmigem Sand, sandigem Lehm und sandig-schluffigem Lehm (Abb. 24).

Die kf-Werte beim Pegel 4 im schluffig-lehmigen Sand waren hoch, während die Infiltrationsrate, ge-

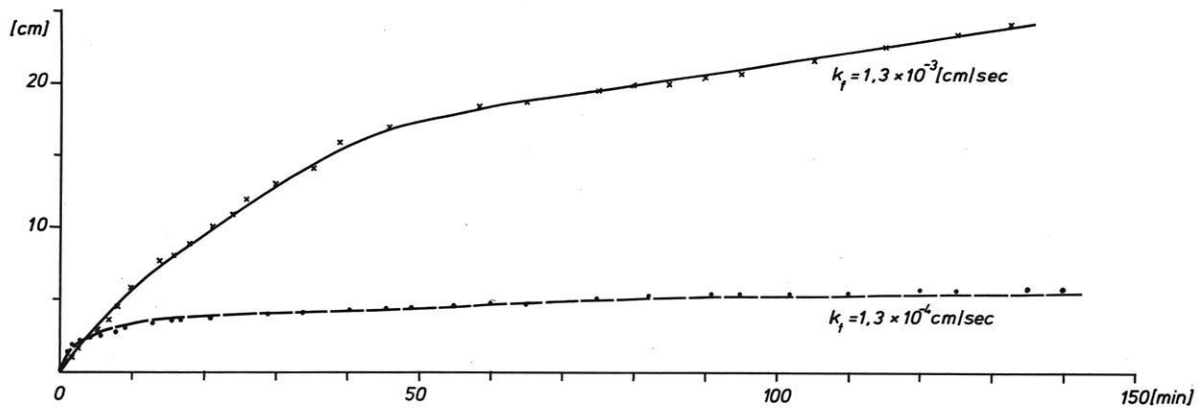


Abb. 25: Infiltrationskurve der Messung mit dem Ringinfiltrometer nach BRECHTEL in der Meßreihe F am Collado Martin Blasco (Abb. 21). Am Pegel 4 (untere Kurve) tritt aufgrund des hohen Tongehaltes zunächst hohe Infiltration durch Trockenrisse ein. Nach ca. 100 Minuten bleibt die Infiltration konstant. Am Pegel 3 (obere Kurve) ist der Boden skelett-reich, hier tritt schon nach 45 Minuten konstante Infiltration ein.

messen mit dem Doppelringinfiltrometer, $1,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s (Abb. 25) nur geringen Wert aufwies. Auch die Messungen am Pegel 9 im sandigen Lehm und bei Pegel 10 im sandig-schluffigen Lehm zeigten mit einem durchschnittlichen k_f -Wert von $2,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s und einer Infiltrationsrate von $1,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s eine geringe bis mittlere Durchlässigkeit. Die Ergebnisse am Pegel 3 im schluffig-lehmigen Sand fielen dagegen mit k_f -Werten von $1,1 \cdot 10^{-3}$ cm/s, $1,06 \cdot 10^{-3}$ cm/s, $1,01 \cdot 10^{-3}$ cm/s und einer Infiltrationsrate von $1,6 \cdot 10^{-3}$ cm/s (Abb. 25) sehr hoch aus. Das mag daran liegen, daß der Grobschuttanteil an diesem Punkt besonders groß war. Das Doppelringinfiltrometer konnte kaum in den Boden eingeschlagen werden, sondern mußte auf die Oberfläche gesetzt und zusätzlich mit Ton verschmiert und abgedichtet werden. Aufgrund dieser Tatsache und des darunter befindlichen stark verbackenen Materials konnte der Infiltrationskegel nicht aufgegeben werden, so

daß anzunehmen ist, daß das Wasser unter dem Infiltrometer in Trockenrissen oder Gesteinsklüften abgeflossen ist.

2.4.7 Die Meßreihe G

Ebenfalls am Hang des Collado Martin Blasco wurde die Meßreihe G angelegt, um parallel zur Meßreihe F in gleicher Situation den Bodenabtrag unter dichter Vegetation zu messen (Abb. 26). Die Hangprofile entsprechen sich also, die Meßpegelzählung beginnt ebenfalls unten am Hang. Die Sternkiefernaufforstung (*Pinus pinaster*) ist hier etwa 10 Jahre alt, der Oberboden ist wie in der Meßreihe E mit einer dichten *Erica-Polstervegetation* bedeckt. Auch die Hangbearbeitung erfolgte wie in der Meßreihe E in hangparallelen *Terrassenstreifen*. Das Bodenprofil ist hier durch die Anlage der Pflanzrillen und Pflanzterrassen stark gestört. An

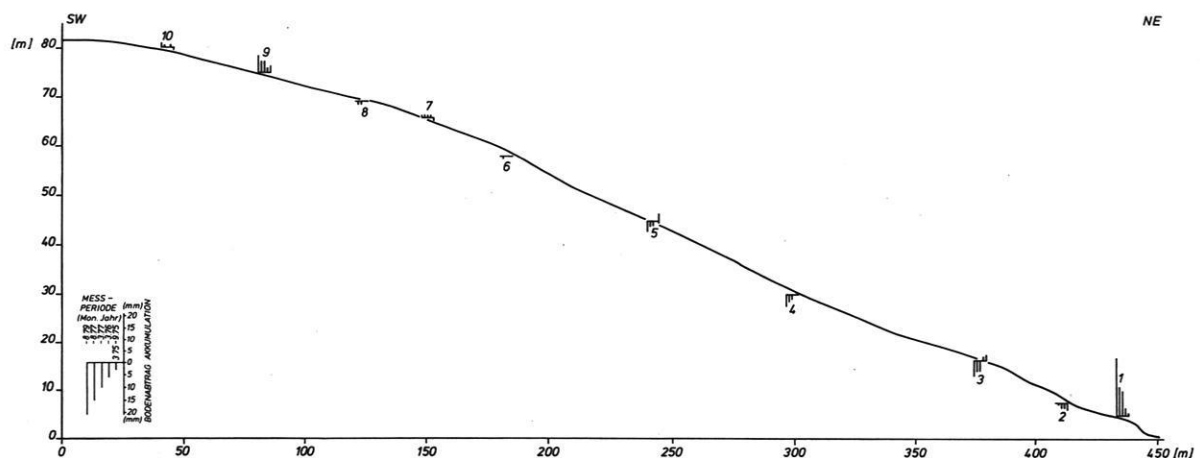


Abb. 26: Profil der Meßreihe G mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Tabelle 9: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: G
 HW 5318, RW 4590
 Exposition: ESE

Geologie: Quarzitverwitterung
 Vegetation: Pinus pinaster Aufforstung, erica scoparia
 Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm
 Gebiet: am Collado Martin Blasco

Meßpegel	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Hangneigung	7,5°	7,0°	10,0°	11,5°	13,0°	13,0°	13,5°	11,5°	11,0°	5,0°	
Hangprofil	kx	1	1	kx	1	kv	1	kx	kv	kv	
Vegetation Dichte	1	1	1	1	1	1	1	1	1	½	
Bodenart	sL				sL				IS		
Entnahmetiefe	0-4 cm			0-4 cm			0-4 cm				
Leitwert (Zyl.)									5,7 · 10 ⁻⁴	5,3 · 10 ⁻⁴	5,1 · 10 ⁻⁴
Leitwert (Inf.)									3,5 · 10 ⁻⁴		
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm											
Meßzeitraum											
3. 75 - 9. 75	-0,1	+0,3	0,0	-0,1	0,0	+0,3	0,0	+0,3	-0,3	+0,1	
3. 75 - 3. 76	+0,1	+0,2	0,0	+0,1	0,0	0,0	0,0	+0,2	-0,2	+0,3	
3. 75 - 3. 77	0,0	+0,5	-0,1	+0,1	0,0	-0,2	-0,2	-0,4	-0,2	+1,0	
3. 75 - 8. 77	+0,1	+0,5	-0,1	+1,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,1	+1,1	
3. 75 - 8. 79	+0,2	+0,7	0,0	+0,1	0,0	-0,4	-0,5	-0,6	0,0	-2,3	

den Stellen, wo keine Bearbeitung vorgenommen wurde, konnte eine ungestörte meridionale Braunerde bis zu 90 cm Entwicklungstiefe erhoben werden.

Korngrößenanalysen am Pegel 2 ergaben einen lehmigen Sand (Abb. 27: G 79/1), die kf-Werte von $5,7 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $5,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $5,1 \cdot 10^{-4}$ cm/s zeigen eine hohe Durchlässigkeit. Messungen der Infiltrationsrate mit dem Doppelringinfiltrometer weisen mit $3,5 \cdot 10^{-4}$ cm/s auf eine mittlere Durchlässigkeit hin. Hangaufwärts konnte am Pegel 6 und am Pegel 10 ein sandiger Lehm festgestellt werden (Abb. 27: G 79/2 und 3). Die Abtragungswerte in diesem Profil sind äußerst gering. Es wurden lediglich an drei Pegeln (3, 4 und 5) Abtragungsbeträge gemessen, die aber durchschnittlich nicht mehr als 0,13 cm betragen.

Da die Terrassenstufen an diesen Hängen am Collado Martin Blasco etwa 1,50 m, also ca. 50 cm breiter sind als in der Meßreihe E, bestand hier nicht die Notwendigkeit, die Meßpegel direkt an den Stufenknick zu setzen, so daß der Abtrag der Pegel 3, 4 und 5 nicht auf die exponierte Lage zurückgeführt werden kann. Die Auffüllung am Pegel 9 dagegen ist sichtlich wieder durch die Lage in der Pflanzrille bedingt, die, wie in der Meßreihe E beschrieben

(Photo 16), den geringen Abtrag von der darüberliegenden Terrassenkante auffängt. Die deutliche Akkumulation am Pegel 1 ergibt sich durch eine Verflachung am nicht mehr terrassierten Unterhang. Der Oberboden ist hier auch nicht mehr mit einem dichten Erica-Polster bedeckt, so daß es auf

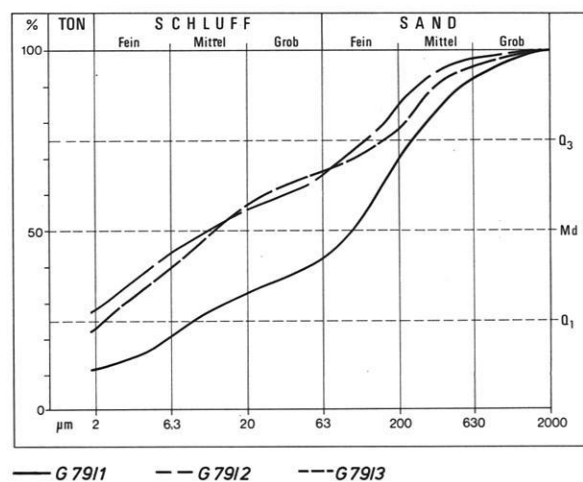


Abb. 27: Granulogramme der Meßreihe G. — G 79/1 (Pegel 2: 0-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (IS)/Quarzitverwitterung, G 79/2 (Pegel 6: 0-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung, G 79/3 (Pegel 10: 0-4 cm Tiefe): sandiger Lehm (sL)/Quarzitverwitterung.

Tabelle 10: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: H
 HW 5320, RW 4596
 Exposition: W

Geologie: Quarzitverwitterung
 Vegetation: Freiland (Brandschneise)
 Niederschlag: 900 mm bis 1100 mm
 Gebiet: am Collado Martin Blasco

Meßpegel	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	0,5°	7,0°	9,5°	10,0°	12,0°	10,0°	6,2°	5,0°	6,0°
Hangprofil	1	kx	1	1	kx	kv	kv	1	1
Vegetation Dichte	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bodenart		uS IS			uS uS		tU	uS uS	
Entnahmetiefe		0-2 cm 10-15 cm			0-2 cm 10-15 cm		2-4 cm	0-4 cm 10-15 cm	
Leitwert (Zyl.)		$3,2 \cdot 10^{-4}$ $3,3 \cdot 10^{-4}$			$1,36 \cdot 10^{-4}$ $1,4 \cdot 10^{-4}$ $1,08 \cdot 10^{-4}$			$8,3 \cdot 10^{-4}$ $8,8 \cdot 10^{-4}$ $8,1 \cdot 10^{-4}$	
Leitwert (Inf.)					$1,9 \cdot 10^{-3}$				
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm									
Meßzeitraum									
3. 75 - 9. 75	-0,4	-1,4	-1,2	-1,0	-1,1	+0,6	+2,8	+2,1	-1,1
3. 75 - 3. 76	-0,9	-2,9	-2,3	-2,4	-3,6	+0,8	+6,3	+5,3	-3,3
3. 75 - 3. 77	-2,3	-3,3	-3,3	-3,7	-4,6	+1,4	+7,7	+7,1	-5,4
3. 75 - 8. 77	-2,6	-3,6	-3,5	-3,9	-4,6	+1,0	zusedi-	zusedi-	ver-
3. 75 - 8. 79	-4,2	-5,2	-5,7	-5,3	-6,2	+1,0	mentiert	mentiert	loren

ca. 20 m Länge im Unterhangbereich zu einer Oberflächenspülung kommen kann, die durch eine etwas dichtere Vegetation am Pegel 1 gehemmt wird und so vor allem die mitgeführte gröbere Fraktion in der Gras- und Erica-Vegetation aufsedimentiert wird.

und beginnt mit der Meßpegelzählung unten am Hang (Abb. 28).

Die seismischen Messungen in diesem Profil ergaben wie für F und G eine Mächtigkeit der Verwitterungsdecke am Unterhang bis zu 15 m und eine Ausdünnung im mittleren Hangbereich bis auf 4 m, dann aber im Oberhang wieder eine Zunahme bis zu 10 m Verwitterungsmaterial (Abb. 23). Der Akkumulationsbereich reicht bis zum Meßpegel 4, umfaßt also den ganzen Unterhang.

2.4.8 Die Meßreihe H

Die Meßreihe H liegt in einem Brandschutzstreifen am gegenüberliegenden Hang der Meßreihen F und G (Photo 17). Sie ist nach Südwesten exponiert

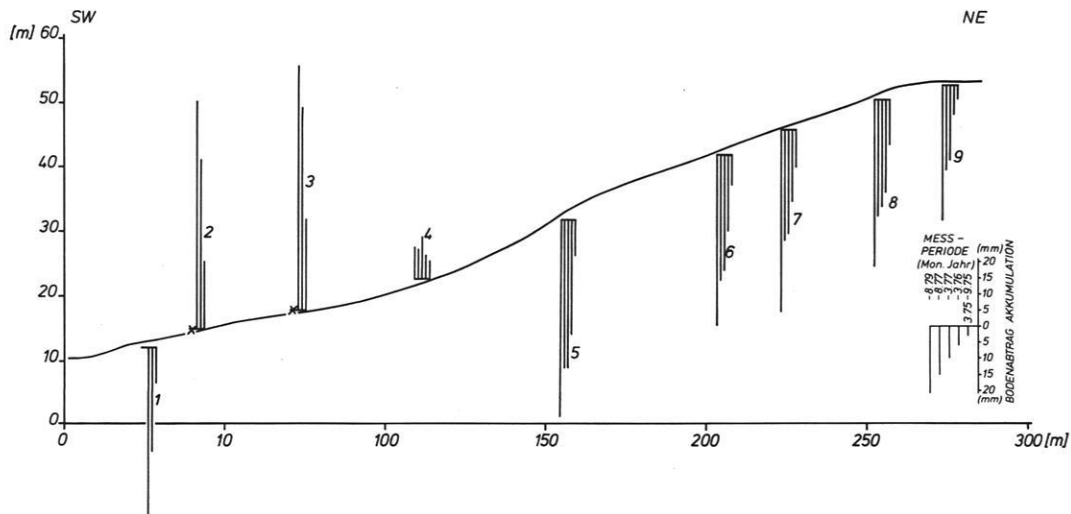


Abb. 28: Profil der Meßreihe H mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Während der Meßpegel 1 noch in einer Abflußbahn des quer zum Hang verlaufenden Weges stand und nach 2 Jahren, im März 1977, hier bereits 5,4 cm abgetragen war, wurde an den Pegeln 2 und 3 im gleichen Zeitraum 7,1 cm und 7,7 cm akkumuliert. Im August 1977 waren beide Pegel zusedimentiert. Selbst der Pegel 4 bei 10° Hangneigung lag bis zum März 1977 noch deutlich im Akkumulationsbereich, dann wurde bis zum August 1977 0,4 cm abgetragen. Ob dann ein Stabilitätszustand erreicht wurde oder ob er weiterhin im Schwankungsbereich liegt und die Akkumulation von 1,0 cm im August 1977 und im August 1979 nur zufällig sind, konnte nicht festgestellt werden.

Korngrößenanalysen am Pegel 2 ergaben einen schluffigen Sand (Abb. 29: H 79/1 und 2) mit mittleren kf-Werten der Stechzylinderproben von $8,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $8,8 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $8,1 \cdot 10^{-4}$ cm/s.

Die Abtragungsraten am Mittel- und Oberhang sind dann erheblich. Sie liegen mit maximal 6,2 cm am Pegel 5 und minimal 4,2 cm am Pegel 9, bei durchschnittlich 1,3 cm pro Jahr, bei einer Hangneigung, die 12° nicht übersteigt. Die Bodenarten, die in diesem Bereich aufgenommen wurden, ergaben am Pegel 5 sowohl an der Oberfläche bis 2 cm Tiefe wie auch in 10 bis 15 cm einen schluffig-lehmigen Sand (Abb. 29: H 76/4). Die kf-Werte dazu lagen mit rund

$1,4 \cdot 10^{-3}$ cm/s für die Stechzylinderproben ähnlich wie auch die Infiltrationsrate mit $1,9 \cdot 10^{-3}$ cm/s sehr hoch. Der Grund dafür könnte ähnlich wie in der Meßreihe F darin liegen, daß in dem skelettreichen Oberboden das Wasser seitlich aus dem Infiltrationsmeter ausgetreten ist. Den allgemeinen Erfahrungswerten besser entsprechende Ergebnisse wurden am Oberhang erzielt. Bei einem schluffigen Sand in 0 bis 2 cm Tiefe und einem lehmigen Sand in 10 bis 15 cm Tiefe (Abb. 29: H 76/1 und 2) ergaben die kf-Wertbestimmungen für die Stechzylinderproben mit $3,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $3,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s eine mittlere Durchlässigkeit am Pegel 8.

Wie die Messungen am Collado Martin Blasco zeigen, ist der Bodenabtrag selbst bei Hangneigungen unter 15° ohne Vegetationsbedeckung noch erheblich. Daß trotzdem auf den Hängen an vielen Stellen noch eine so mächtige Verwitterungsdecke liegt, hat folgende Gründe. Eine so tiefgründige Verwitterung ist unter heutigen Klimaten kaum noch zu erwarten. Wie die Genese der Rañas für diesen Raum gezeigt hat (J. GEHRENKEMPER 1978), reicht sie wahrscheinlich bis ins Tertiär zurück. Die Höhe der Meßreihen liegt zwischen 651 und 795 bzw. 730 m ü. NN. In 640 bis 650 m Höhe liegen im Vorland die Rañas. Am Collado Martin Blasco erfolgte aufgrund des geringen Gefälles nur ein Durchtransport der Raña-Massen aus dem Hinterland der Sierra de la Villuerca. Aufgrund dieser Sattellage hat auch die pleistozäne Taleintiefung die Verwitterungsdecken an den Standorten der Meßreihen F, G und H nicht abtragen können. Wie die Abtragungsmessungen im Vergleich der Meßreihe F und G zeigen, sind diese Hänge, mit groben Blöcken bedeckt, auch heute noch abtragsresistent, wenn sie durch Vegetation geschützt sind. Dies müssen sie umso mehr gewesen sein zu Zeiten einer geschlossenen Vegetationsdecke im Postglazial.

2.5 Die Meßreihen am Rio Guajaraz

Im Untersuchungsgebiet südlich Toledo (Abb. 5: Kartenbeilage) können neben dem Quarzit und den Schiefen zwei Granite, die sich hinsichtlich ihres Alters, ihres Gefüges und ihrer petrographischen Zusammensetzung unterscheiden, ausgewiesen werden. Sie sind durch eine Zone kambrischer und silurischer Sedimentgesteine, der „*alineación de Nambroca*“ – genannt nach der Sierra de Nambroca – voneinander getrennt. Der nördliche Granitkörper, zugleich der ältere, läßt sich nach Westen bis in die Sierra de San Cristobal verfolgen und nach Osten geht er bis zum Algodor, wo er vom Tertiär der Mancha bedeckt wird, weit über das Arbeitsgebiet hinaus.

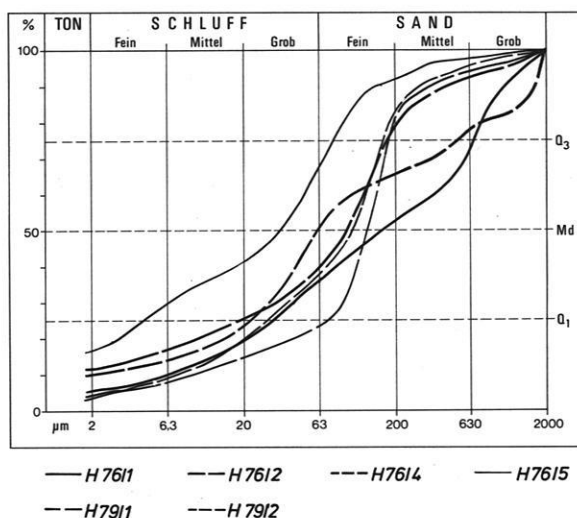


Abb. 29: Granulogramme der Meßreihe H. – H 76/1 (Pegel 8: 0-2 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Quarzitverwitterung, H 76/2 (Pegel 8: 10-15 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/Quarzitverwitterung, H 76/4 (Pegel 5: 10-15 cm Tiefe): schluffig-lehmiger Sand (uL)/Quarzitverwitterung, H 76/5 (Pegel 3: 2-4 cm Tiefe): toniger Schluff (tU)/Akkumulationsbereich, H 79/1 (Pegel 2: 0-2 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Akkumulationsbereich, H 79/2 (Pegel 2: 10-15 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Akkumulationsbereich.

Ein deutliches Parallelgefüge unterscheidet den älteren Granit, einen Gneisgranit, von dem jüngeren, einem Pluton, der südlich der Kambrium-Silur-Zone liegt. Seine Struktur und Lagerungsverhältnisse lassen erkennen, daß er jünger ist als der im Norden auftretende Gneisgranit. Das Gestein hat eine weißbläuliche Farbe. Die einzelnen Mineralien sind gleichkörnig und regellos eingelagert (MERTEN 1955).

Beide Granite sind im anstehenden Gestein nur bedingt durchlässig und wenig verwitterungsresistent, wie deutliche Tafonibildungen zeigen. Doch sind diese Granitgebiete zum großen Teil stark vergurzt, so daß in beiden Teilräumen in den Vergurzungsbereichen eine hohe Durchlässigkeit festgestellt werden konnte. Diese Region am Guajaraz gehört zu den niederschlagsärmsten Gebieten in den gesamten Montes de Toledo. Mit 501,6 mm durchschnittlichem Jahresniederschlag gehört Navahermosa zu den wenigen Stationen, die vier Trockenmonate aufweisen (Tab. 1).

2.5.1 Die Meßreihe I

Neben den geringeren Niederschlägen im nördlichen Vorland der Montes de Toledo bei Nava-

hermosa und La Puebla de Montalban (Abb. 2) unterscheiden sich die Randbedingungen der Meßprofile im Einzugsgebiet des Rio Guajaraz vor allem durch den geologischen Untergrund von den übrigen Meßreihen südlich der Sierra de Guadalupe. Im Einzugsgebiet des Guajaraz treten die Gesteine des Gebirgssockels in Form eines Gneisgranites an die Oberfläche. Bereits an der Gestalt der Hänge wird die ungleichmäßige Tiefenverwitterung des Gesteins deutlich.

Es wechseln Felsburgen mit flachen von Grus gebildeten Hangpartien ab, ein typisches Merkmal der Tiefenverwitterung. Diese Beobachtung wurde auch durch refraktionsseismische Messungen am Hang bestätigt. Im Gegensatz zu den Untersuchungen an den Hängen im Quarzitgestein, wo die Verwitterungsdecken gleichmäßig in konvexen Hangteilen ausdünnen oder in den konkaven Abschnitten mächtiger wurden, zeigten hier die seismischen Laufzeitkurven ein regelloses Bild. Voraussetzung für den eindeutigen Nachweis einer Grenzschicht zwischen zwei Medien unterschiedlicher Leitfähigkeit für seismische Wellen ist, daß der Refraktor in seiner Leitfähigkeit für p-Wellen homogen ist. Dies

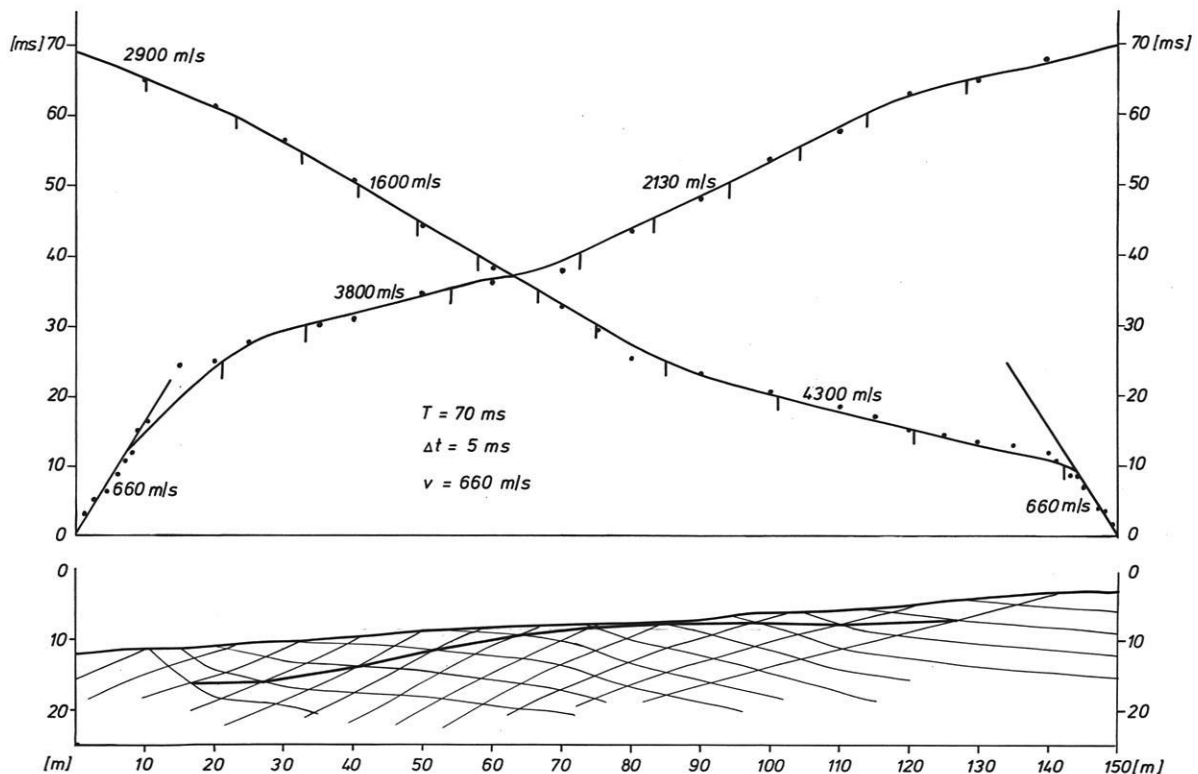


Abb. 30: Laufzeitdiagramm und Auswertung einer refraktionsseismischen Messung bei unterschiedlich mächtiger Verwitterungsdecke auf Granit im Gebiet der Meßreihe I. Aufgrund der horizontalen Inhomogenität des Refraktors nimmt im mittleren Teil des seismischen Profils die Geschwindigkeit der p-Wellen ab. Die Auswertung mit dem Wellenfrontverfahren zeigt, daß der unverwitterte Granit ($v_p = 4300$ m/s) im mittleren Teil dicht an die Oberfläche tritt.

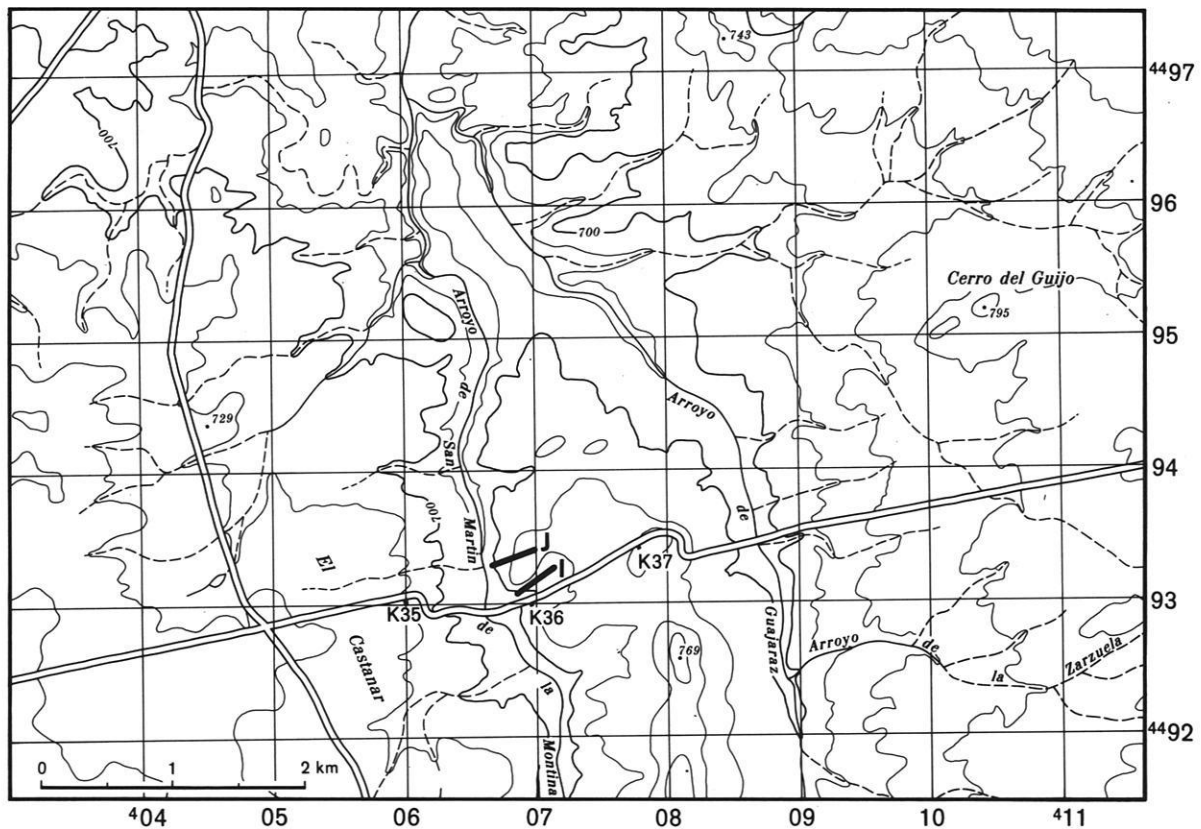


Abb. 31: Karte des Arbeitsgebietes am Guajaraz mit Lage der Meßprofile (Ausschnitt aus der TK 1:50 000 Sonseca 657).

traf in den vorliegenden Fällen nur sehr selten zu. Die gemessenen Laufzeiten variierten je nach Lage zum Geophon nicht regelhaft. So kann die Laufzeit bei zunehmender Entfernung vom Geophon wieder abnehmen, weil die Geschwindigkeit der seismischen Wellen beim Passieren eines unverwitterten Granitblockes, der bis an die Oberfläche reicht, wieder zunimmt. Dadurch ist eine Auswertung mit der Interceptzeit- oder Knickpunktformel nicht möglich. Wenn die Streuung der Laufzeiten nicht zu groß war, konnte näherungsweise eine Berechnung der ungleichförmigen Grenzfläche mit dem Wellenfrontverfahren durchgeführt werden (Abb. 30). Dies zeigt, daß die heutige Mächtigkeit der Verwitterungsdecken primär von der Gestalt der Verwitterungsbasis abhängt. An den Stellen, wo das unverwitterte Gestein an die Oberfläche tritt, wirkt es steuernd auf den rezenten Bodenabtrag, da Abfließbahnen des Niederschlages und die fehlende Versickerung auf Festgestein zu einer differenzierten Abspülung führen. So werden oberhalb von Felsbuckeln tiefe Verwitterungsdecken konserviert,

während an anderer Stelle linienhafte Abfließbahnen zu intensiver Erosion führen können.

Die Meßreihe I (Abb. 32) wurde am südwest exponierten Hang des Rio Guajaraz an der Straße Cuerva–Sonseca bei km 36 angelegt (Abb. 31). Dieses Gebiet ist Ödland in Privatbesitz und wird extensiv als Weideland genutzt. Die hier typische lichte Monte-bajo-Vegetation setzt sich aus degradierten Steineichen (*Quercus ilex*), Erica-Polstern und Hartgrasbüscheln zusammen (Photo 18). An der Galerie des Flusses sind einige bis zu 15 m hohe Weiden (*Salix alba*) und eine ausgeprägte Schilfvegetation zu finden. Der Oberhang geht in eine mit Raña-Fangern bedeckte Fläche um $0,8^\circ$ bis $1,0^\circ$ Neigung über, die beackert wird und vereinzelt mit Schattenbäumen (*Quercus ilex*) bestanden ist.

Das Bodenprofil, wie auf der „*mapa de suelos de España*“ ausgewiesen, eine meridionale Braunerde, zeigt hier sehr unterschiedliche Mächtigkeiten. Trotz gleichen Ausgangssubstrates variiert die

Tabelle 11: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages
 Profil: MR: I
 HW 43 931, RW 4068
 Exposition: SW

Geologie: Granit, Granitverwitterung
 Vegetation: Quercus ilex (degradiert), Erica-Arten
 Niederschlag: 400 mm bis 500 mm
 Gebiet: am Rio Guajaraz

Meßpegel	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	1,0°	6,0°	10,0°	14,0°	10,0°	9,5°	5,8°	6,5°	5,5°	3,5°	3,0°	2,5°
Hangprofil	kx	kx	kx	kx	l	l	kv	l	l	kx	l	kv
Vegetation Dichte	½	½	½	½	½	½	½	½	½	½	½	½
Bodenart		uS					uS			suL		lS
Entnahmetiefe		0-4 cm					0-4 cm			0-4 cm		0-4 cm
Leitwert (Zyl.)										$8,4 \cdot 10^{-4}$		$2,2 \cdot 10^{-3}$
										$6,9 \cdot 10^{-4}$		$1,6 \cdot 10^{-3}$
										$6,2 \cdot 10^{-4}$		$2,2 \cdot 10^{-3}$
Leitwert (Inf.)										$1,2 \cdot 10^{-3}$		$6 \cdot 10^{-3}$
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm												
Meßzeitraum												
3. 75 - 9.75	0,0	0,0	-0,3	-0,6	-0,1	0,0		+0,2		0,0	0,0	+0,5
3. 75 - 3. 76	-0,4	-1,5	-0,7	-2,1	-0,2	+1,3	verloren	+1,3	verloren	-1,2	+0,2	+1,5
3. 75 - 3. 77	-0,7	-2,5	-1,5	-4,5	-1,0	+1,4	verloren	+2,3	verloren	-2,2	+0,4	+1,7
3. 75 - 8. 77	-1,0	-2,9	-1,5	-4,7	-1,2	+1,7	verloren	+2,4	verloren	-2,3	+0,3	+1,7
3. 75 - 8. 79	-1,5	-3,0	-1,9	-4,9	-1,4	+2,1		+3,7		-3,0	+0,6	+2,1

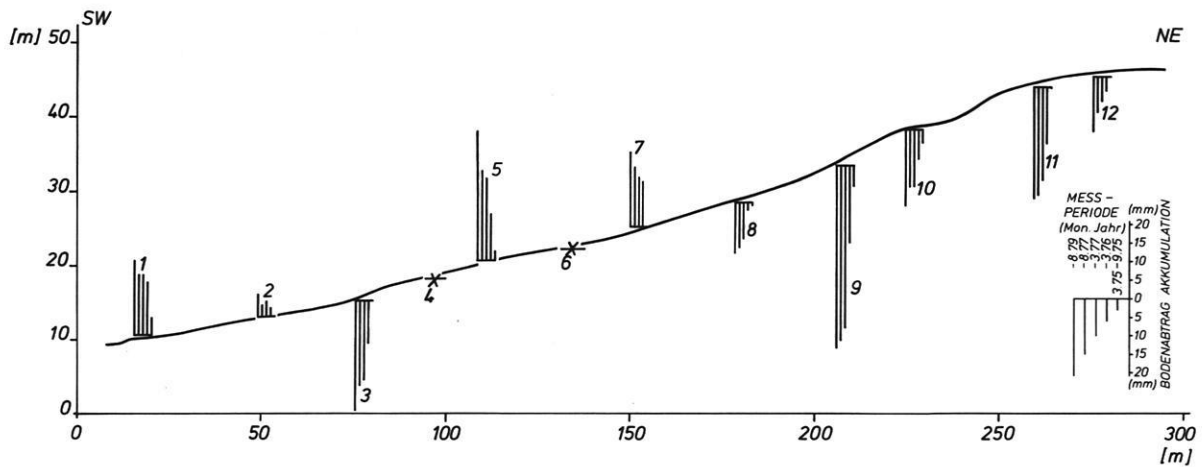


Abb. 32: Profil der Meßreihe I mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.

Bodenart des Oberbodens am Hang in der Sandfraktion vom lehmigen Sand, schluffigen Sand bis sandig-schluffigen Lehm (Abb. 33). Dies ist nicht auf unterschiedliche Verwitterungsintensität oder Verwitterungsdauer zurückzuführen, sondern auf eine selektive Anreicherung durch aquatische Prozesse. Diese bewirken eine kleinräumige Verlagerung und einen Wechsel von Abtrag und Akkumulation am Hang, was durch die kleinräumige Variabilität der Vegetation und der Hangneigung in der Nähe von Felsbuckeln oder größeren Steinen gesteuert wird. Dies zeigen auch die Infiltrationsmes-

sungen und die Veränderungen der Oberfläche im Bereich der Meßpegel.

Die Durchlässigkeit war in allen Bereichen sowohl für die Stechzylinderproben mit $2,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s, $1,6 \cdot 10^{-3}$ cm/s und $2,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s am Pegel 1 und $8,4 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $6,9 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $6,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s wie auch für die Infiltrationsraten der Doppelringinfiltrationsmessungen mit $6 \cdot 10^{-3}$ cm/s und $1,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s (Abb. 34) sehr hoch bis hoch. Ebenfalls differenziert verhielten sich auch die Abtragungswerte. Durch den häufigen Wechsel von Felsplatten und

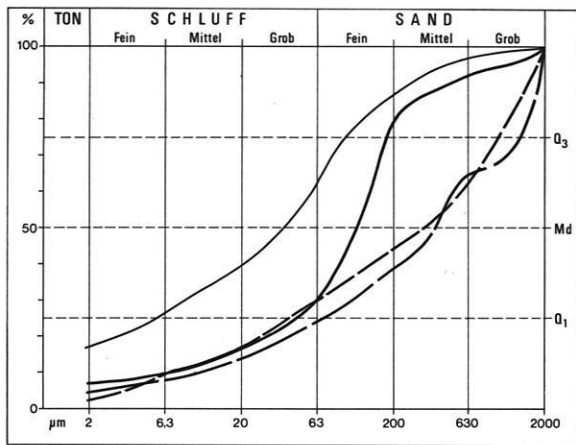


Abb. 33: Granulogramme der Meßreihe I. – I 76/1 (Pegel 1: 0-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/Granitverwitterung, I 76/2 (Pegel 7: 0-4 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Granitverwitterung, I 76/3 (Pegel 11: 0-4 cm Tiefe): schluffiger Sand (uS)/Granitverwitterung, I 76/4 (Pegel 3: 0-4 cm Tiefe): sandig-schluffiger Lehm (suL)/Granitverwitterung.

Vergrusungszonen standen die Meßpegel entweder im Stau vor einem Granitblock wie Pegel 5 und 7 oder sie befanden sich in der Abflußbahn hinter einer solchen Platte wie die Pegel 3, 9 und 11 (Photo 19). Die Akkumulation der Pegel 1 und 2 ist bei 1 durch die Hangverflachung im Talbereich und bei 2 durch den Staueffekt eines Erica-Polsters zu erklären. Die Abtragungsbeträge der übrigen Pegel 8, 10 und 12 lagen mit 1,4 cm, 1,9 cm und 1,5 cm im ge-

samten Beobachtungszeitraum bei durchschnittlich 0,4 cm pro Jahr. Die unterschiedlichen Hangneigungen an diesen drei Punkten, 10° bei Pegel 8 und 10 und 1° bei Pegel 12, und die trotzdem fast gleichen Abtragungshöhen zeigen, daß hier die Hangneigung eine untergeordnete Rolle spielt. Auch der Einfluß der Vegetation kann hier nicht geltend gemacht werden, da alle drei Pegel in einer mehr oder weniger vegetationslosen Umgebung stehen. Gewiß mag der geringeren Niederschlagshöhe im Vergleich zum Gebiet in der Sierra de Guadalupe bei relativ geringen Abtragungswerten dabei einige Bedeutung zukommen, doch ist die Heftigkeit der auftretenden Gewitter und Landregen hier genauso stark (Abb. 7 und 8), nur fehlen hier die langanhaltenden Niederschläge mit sehr hohen Niederschlagssummen. Wahrscheinlich ist, daß hier der vergrusste Untergrund und die hohen Infiltrationsraten entscheidend den Abtrag hemmen. Die dennoch zustande gekommenen Abtragungsbeträge können hier hauptsächlich mit Hilfe der mechanischen Aufprallwirkung des einzelnen Regentropfens (*splash*) erklärt werden. Dabei werden feine Teilchen des lockeren vergrusteten Bodenmaterials in die Höhe gespritzt und über kürzere Entfernungen transportiert. Erst wenn die Wassermenge die Infiltrationskapazität des Bodens übersteigt, wie z. B. unterhalb einer Felsplatte, fließt das überschüssige Wasser flächenhaft oder sogar linienhaft ab. Diese Erosionsbahnen können wie beim Pegel 9 über kurze Distanzen Ausmaße bis zu 70 cm Breite und 20 cm Tiefe erreichen.

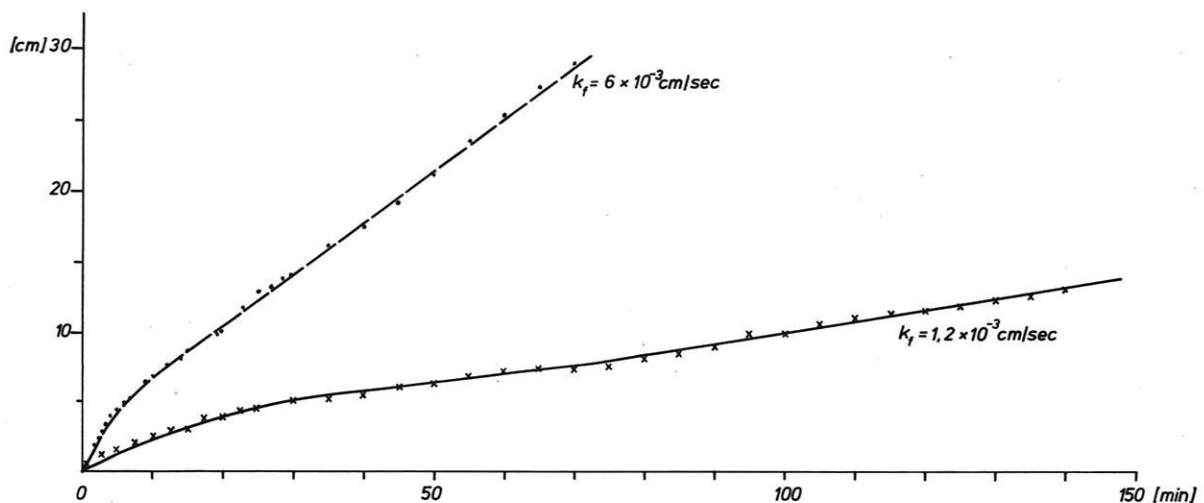


Abb. 34: Infiltrationskurve der Messung mit dem Ringinfiltrometer nach BRECHTEL in der Meßreihe I. Hier variiert im Verwitterungsgrad des Granits die Infiltration von $6 \cdot 10^{-3}$ cm/s (Pegel 1) bis zu $1,2 \cdot 10^{-3}$ cm/s (Pegel 3), je nach abschlämmbarem Anteil im Boden.

Tabelle 12: Bodenerosion in Zentralspanien

Kenngrößen des Hangabtrages

Profil: MR: J

HW 43 934, RW 4067

Exposition: W

Geologie: Granit, Granitverwitterung

Vegetation: Quercus ilex (degradiert), Erica-Arten

Niederschlag: 400 mm bis 500 mm

Gebiet: am Rio Guajaraz

Meßpegel	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Hangneigung	6,5°	9,0°	10,5°	11,5°	11,5°	11,5°	11,5°	11,5°	6,5°	0,8°
Hangprofil	kv	l	kv	kv	l	l	l	l	l	kx
Vegetation										
Dichte	½	½	½	½	½	¼	¼	¼	¼	¼
Bodenart					suL				ls	
Entnahmetiefe					0-4 cm				0-4 cm	
Leitwert (Zyl.)					6,9 · 10 ⁻⁴	6,3 · 10 ⁻⁴	7,2 · 10 ⁻⁴			
Leitwert (Inf.)					4,6 · 10 ⁻³					
Akkumulationsbetrag (+) / Erosionsbetrag (-) in cm										
Meßzeitraum										
3. 75 - 9. 75	+0,2	-0,2		+0,1	-0,3	-0,2			-1,0	0,0
3. 75 - 3. 76	+1,2	-0,5	verloren	+1,2	-0,8	-0,2	verloren	verloren	-2,5	-0,4
3. 75 - 3. 77	+1,8	-0,8	verloren	+2,4	-1,5	-1,1	verloren	verloren	-2,9	-0,7
3. 75 - 8. 77	+1,7	-1,0	verloren	+2,3	-1,4	-1,2	verloren	verloren	-2,8	-1,0
3. 75 - 8. 79	+2,4	-1,9		+3,5	-1,7	-2,0			-3,1	-1,5

2.5.2 Die Meßreihe J

Der Habitus der Meßreihe J ist ähnlich dem der Meßreihe I. Sie liegt etwa 200 m nördlich am gleichen Hang und ist direkt nach Westen exponiert. Die Meßpegelzählung beginnt hier oben am Hang (Abb. 35). Am Pegel 1 finden wir hochgewachsene Steineichen (*Quercus ilex*) als Galeriewald an der Begrenzung einer Ackerfläche. Darunter beginnt

die typische *Monte-bajo-Formation*, die zunächst bis zum Pegel 5 aus degradierten Steineichenbüschen besteht und sich dann zunehmend mit Erica-Polstern anreichert. Zwischen dem Pegel 7 und 8 kommen mächtige Granitblöcke in Form einer Wollsackverwitterung an die Oberfläche. Hinter dieser Felsburg nehmen die Steineichensträucher ab und Erica-Stauden mit Hartgrasbüscheln treten in den Vordergrund (Photo 20). In der Tiefenlinie

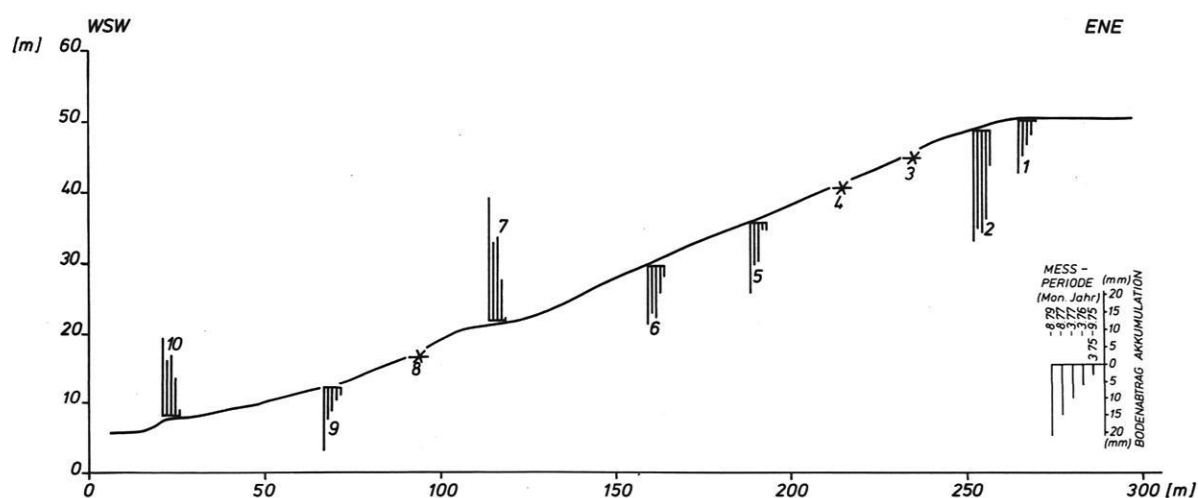
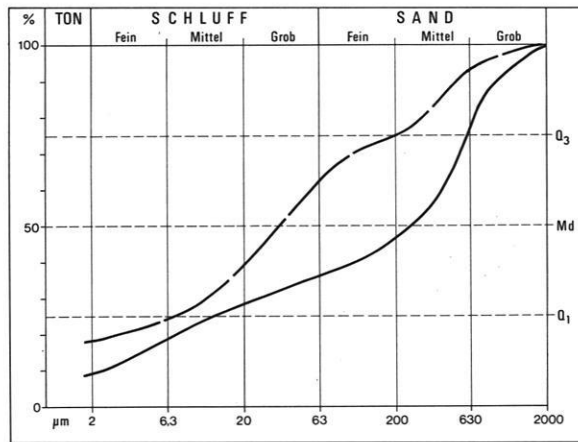


Abb. 35: Profil der Meßreihe J mit Diagrammen der aufsummierten Abtragungsbeträge bzw. Akkumulationsbeträge.



— J 76/1 - - - J 76/2

Abb. 36: Granulogramme der Meßreihe J. – J 76/1 (Pegel 2: 0-4 cm Tiefe): lehmiger Sand (lS)/ Granitverwitterung, J 76/2 (Pegel 6: 0-4 cm Tiefe): sandig-schluffiger Lehm (suL)/Granitverwitterung.

des Guajaraz herrscht die gleiche Vegetation wie in der Meßreihe I.

Bodenproben aus 0 bis 4 cm Tiefe ergaben einen lehmigen Sand (Abb. 36: J 76/1) und am Pegel 6 einen sandig-schluffigen Lehm (Abb. 36: J 76/2). Die k_f -Werte und Infiltrationsraten sind mit $6,9 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $6,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s, $7,2 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $4,6 \cdot 10^{-3}$ cm/s ähnlich hoch wie in der Meßreihe I. Auch die Mächtigkeit des Bodenprofils verhält sich nach dem gleichen Verteilungsmuster wie in dem benachbarten Profil. Im Stau bei Pegel 7 war ein deutlicher Kolluvialhorizont im Bodenprofil erkennbar, in einer Abflußbahn dagegen wie beim Pegel 2 Bodenabtrag und ein kaum noch feststellbarer A_h -Horizont. Die übrigen Pegel 1, 5, 6 und 9 mit 1,5 cm, 2,0 cm, 1,7 cm und 1,9 cm Abtrag im Beobachtungszeitraum weisen ebenfalls mit durchschnittlich 0,4 cm pro Jahr die gleichen Abtragungswerte auf wie in der Meßreihe I und bestätigen somit die dort gemessenen Ergebnisse.

3. Auswertung der Meßergebnisse

3.1 Auswertung der Abtragungsmessungen

Die Analyse der Abtragungsmessungen zeigt eine deutliche Abhängigkeit zwischen Vegetationsart, Vegetationsdichte und Bodenabtrag trotz unterschiedlicher Bodenarten, Neigungsverhältnisse und geologischem Untergrund (MR: A–H und MR: I und J). Die Hangneigungen spielen bei geschlossener Vegetationsdecke oder bei stark durchlässigem Untergrund (MR: I und J) bis zu einem bestimmten Grenzwinkel von etwa 20° (Unterhang MR: B) nur eine untergeordnete Rolle. Bei ungebundener Oberfläche (MR: C, D, F und H) jedoch oder bei Neigungswinkeln über 20° (Unterhang MR: A) steigt der Abtrag mit dem Neigungsgrad an. Die Vegetation hält selbst im lichten Verbund, wie am Oberhang der Meßreihen A und B, bei Hangneigungen unter 20° einen durchschnittlichen Abtrag von 0,3 cm pro Jahr. Das entspricht der Menge, die HEMPEL (1971) 1957 (0,3 cm) und 1959 (0,37 cm) unter mediterranem Wald bei San Juan de Vilasar bei Barcelona gemessen hat. Leider fehlen zu diesen Messungen genauere Angaben zur Beschaffenheit des Oberbodens und der Hangneigungen, doch kann man im Hinblick auf die maritimen Klimaeinflüsse sagen, daß in Bezug auf die Niederschlagsverteilung andere Bedingungen vorgelegen haben als im kontinentaleren Zentralspanien.

Ähnliche Werte konnten auch für Mitteleuropa unter Wald bei jedoch wesentlich höheren Hangneigungen und einem unterschiedlichen Jahresgang der Niederschläge festgestellt werden. So errechnete MORTENSEN (1964) aus dem Massendefizit dicht unterhalb altersmäßig bekannter Baumstämme jährliche Abtragungsraten von 0,2 cm bei 20° , 0,3 cm und 0,5 cm bei 30° Hangneigung. Eine Methode, die auch im Arbeitsgebiet neben den Messungen an den Hangprofilen durchgeführt wurde (Photo 21). So konnten in den Doppelkulturen der Olivenhaine im Granitgebiet bei Toledo bei ca. 5° Hangneigung ein Bodenverlust von etwa 20 cm festgestellt werden. Eine Auszählung der Jahresringe an einem gefälltten Olivenbaum in diesem Bestand ergab ein Alter von ungefähr 60 bis 65 Jahren. Daraus ergibt sich ebenfalls ein durchschnittlicher Abtrag von 0,3 cm pro Jahr. Gleiche Untersuchungen an Olivenbeständen in dem bis etwa 12° geneigten Fußbereich der Quarzitketten in der Sierra de Guadalupe zeigten Abtragungswerte bis zu 40 cm für rund 75 bis 80 Jahre alte Bäume, was einen jährlichen Erosionsbetrag von ca. 0,5 cm bedeutet.

Leider konnten keine eigenen Messungen im lichten Vegetationsbestand bei Hangneigungen über 20° durchgeführt werden. Doch beschreiben LEOPOLD & EMMETT (1972) Abtragungsraten, die ebenfalls

mit Hilfe der Erosionsstabmethode gewonnen wurden. So konnte bei Santa Fe im ariden New Mexiko bei 25° Hangneigung in einem lichten Waldbestand bei 7jähriger Beobachtungszeit ein durchschnittlicher Erosionsbetrag von 1,17 cm gemessen werden.

In den Meßreihen mit einer *dichten Vegetationsbedeckung* wie am Unterhang der Meßreihe B und in den Meßreihen E und G konnte bei Grenzwinkeln unter 20° aus der 4jährigen Beobachtungszeit ein durchschnittlicher Abtrag von nur 0,14 cm im Jahr berechnet werden. Das ist selbst für mitteleuropäische Verhältnisse sehr gering. So gibt NOWAK (1971) aus seinen Untersuchungen, die er mit Abtragspegeln im Weinviertel im nördlichen Niederösterreich in verschiedenen Nutzungssystemen gemacht hat, allgemeine Schwellenwerte für den gemessenen Bodenabtrag. Dabei lagen die Ergebnisse bei Böschungswinkeln unter 6° bei 0,25 cm, bis 11° bei 0,5 cm, bis 16° zwischen 0,5 cm und 1,0 cm und über 16° Hangneigung wurden Werte über 1,0 cm pro Jahr gemessen.

LEOPOLD & EMMETT (1972: 28) dagegen konnten im semiariden Wyoming (ca. 400 mm Jahresniederschlag) an einem 18° geneigten Hang mit einer dichten Hartgrasvegetation in 2 Jahren keinen und bei 16° Hangneigung und 5 Jahren Beobachtungszeit 0,13 cm Abtrag pro Jahr feststellen.

3.2 Auswertung der Parameter am Hang

In den Meßprofilen nimmt bei *Neigungswinkeln* über 20° der Bodenabtrag sprunghaft zu. So konnten für das Gebiet der Montes de Toledo im semiariden Spanien bei Hangneigungen zwischen 20° und 31° an einem nicht terrasierten Hang mit einer dichten Oberflächenbedeckung Abtragsraten von rund 0,9 cm pro Jahr gemessen werden, während der Erosionsbetrag an den flacheren Hangabschnitten zwischen 14,5° und 19,5° Neigung bei gleicher Vegetationsdichte im Durchschnitt 0,1 cm im Jahr nicht überschritt. Ein ähnlicher kritischer Winkel hat sich auch in den Untersuchungen von LEOPOLD & EMMETT (1972) ergeben. Sie haben an einem Hang im Schiefertone in Wyoming mit einer dichten Kraut- und Hartgrasvegetation bei Hangneigungen um 20° einen jährlichen Abtrag von 0,13 cm gemessen, der sich an den steileren Hangpartien bei gleicher Oberflächenbedeckung bis etwa 35° Neigung auf 0,8 cm im Jahr sprunghaft erhöht.

Wie stark der Bodenabtrag bei nicht gebundener Oberfläche von den Hangneigungen abhängig ist,

zeigen die Erosionsbeträge in den Profilen C, D, F und H. Hier nehmen die Abtragsraten kontinuierlich mit den Hangneigungen zu. So konnten in den Neigungsklassen 1° bis 5° rund 0,4 cm pro Jahr abgetragen werden, bei 5° bis 10° waren es 1,0 cm, bei 10° bis 15° 1,3 cm und bei 15° bis 20° 1,8 cm, die im Jahr durchschnittlich gemessen wurden.

Aufgrund der Abhängigkeit der *kinetischen Energie* vom Quadrat der Fließgeschwindigkeit ist die Korrelation zwischen Bodenabtrag und Hangneigung nicht direkt proportional, sondern stellt sich mathematisch als Funktion mit einem Exponenten >1 dar

$$A = f(S^k) \text{ nach RICHTER (1965: 65),}$$

wobei A den Bodenabtrag in t pro acre und S die Hangneigung in Prozent darstellt. Für dieses Verhältnis wurden im Laufe der Zeit durch Labor- und Felduntersuchungen konkrete Zahlen eingesetzt. ZINGG (1940) hat das Verhältnis in der Funktion

$$A = 0,22 S^{1,4}$$

angegeben. Das bedeutet, daß der Bodenverlust je Prozent Hangneigung in der 1,4ten Potenz ansteigt. Aufgrund eigener Messungen fügten SMITH und WHITT (1947) dieser Gleichung eine additive Konstante zu

$$A = 0,1 + 0,21 S^{1,33}$$

und verfeinerten SMITH und WISCHMEIER (1957) das Verhältnis Bodenabtrag zu Hangneigung mit der Funktion

$$A = 0,43 + 0,3 S + 0,043 S^2.$$

Die drei Gleichungen, die sich im Prinzip nur geringfügig unterscheiden, machen aber alle drei die Abhängigkeit des Bodenabtrages von der Hangneigung deutlich. Außerdem lassen auch die drei graphischen Darstellungen dieser Kurven (Abb. 37) erkennen, daß die Beziehung nicht linear, sondern

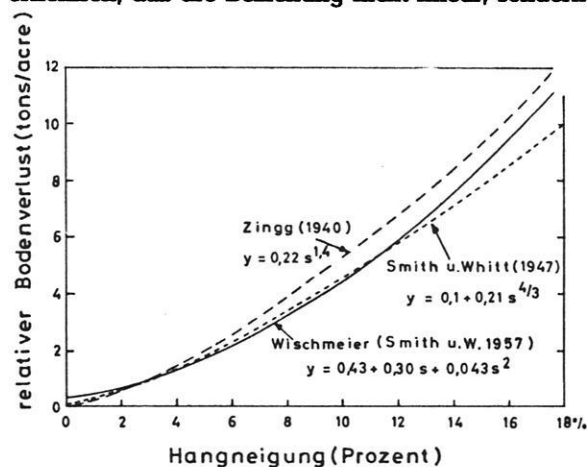


Abb. 37: Die Beziehung zwischen Hangneigung und Bodenabtrag nach verschiedenen amerikanischen Autoren (SMITH 1958: 100, aus: RICHTER 1965).

wie auch die Ergebnisse in den Meßreihen zeigten, von einem kritischen Neigungswinkel an verstärkt zunimmt. Dieser kritische Hangwinkel ist nicht wie bei SCHULTZE (1952) der kleinste Winkel bei dem die Bodenerosion einsetzt, sondern ein *Grenzwinkel* – der für jeden Hang einen anderen Schwellenwert annehmen kann – bei dem der Bodenabtrag sprunghaft ansteigt.

Eine Beziehung zwischen Bodenabtrag und *Hanglänge* konnte in den Untersuchungsgebieten nicht festgestellt werden. Die diesbezüglich in der Fachliteratur veröffentlichten Ergebnisse (RICHTER, 1965: 66), daß ein langer Hang erosionsgefährdeter ist als ein kurzer, da sich mit zunehmender Hanglänge Einzugsgebiet und Wasserabflußmenge vergrößern, sollen dadurch nicht bestritten werden, sondern es konnte bei der Beschreibung der einzelnen Meßreihen gezeigt werden, daß örtliche Faktoren diese allgemeine Tendenz aufhoben. So wurde bei häufig auftretenden kleinen Verflachungen am Hang, vor einem größeren Stein oder vor einem Vegetationsbüschel ein Stauereffekt erzielt, der eine Akkumulation des oberhalb des Pegels abgespülten Materials bewirkte. Ebenso hemmend gegen einen Durchtransport über die gesamte Hanglänge wirkten die Terrassierungen.

Ein drittes Beispiel dafür, daß lange Hänge teilweise weniger geschädigt sind als kurze, bietet die Meßreihe D, wo sich vor allem am Mittel- und Unterhang Wasserrisse bilden, die das Wasser linienhaft abführen, in den Wasserablaufbahnen wird dann zwar verstärkt erodiert, die Hangteile daneben und dazwischen erhalten somit aber weniger Wasser vom Oberhang und sind dadurch auch weniger gefährdet. Die linienhafte Abführung des Wassers und des Bodens führt natürlich zu einer weitaus stärkeren Zerschneidung des Hanges und zu einem größeren Materialdefizit in konzentrierten Bahnen, die dann meist bis an den Vorfluter reichen und eine Zwischenablagerung kaum noch möglich ist. Durch diese kleinräumige Betrachtung zerfällt der Hang in mehrere nebeneinander aber auch übereinander liegende Akkumulations- und Erosionsbereiche, die einen Durchtransport über die gesamte Hanglänge verhindern. So kann bei diesen Untersuchungen festgestellt werden, daß die Lage des Pegels am Hang und seine nähere Umgebung einen stärkeren Einfluß auf seinen Materialhaushalt haben als die Hanglänge.

Auch der Faktor *Hangform* in Bezug auf den Bodenabtrag wurde in den meisten Fällen durch die in-

dividuelle Lage des einzelnen Pegels am Hang aufgehoben. Nur in den vegetationslosen Brand-schneisen gibt es Meßreihen, die dem Modellverhalten eines Hangtypes entsprechen wie z. B. die Meßreihe D. So ist der konvexe Hang durch ein ständiges Ansteigen der Hangneigungswinkel hangabwärts gekennzeichnet. Der steilste Punkt liegt nahe dem Hangfuß. Der Übergang vom steilen Hangbereich zum Hangfuß erfolgt daher in einem scharfen Gefällsknick. Infolge dieser Form können Zwischenablagerungen am Hang kaum erfolgen. Der ständig ansteigende Hangneigungswinkel bewirkt eine laufende Vergrößerung der Schleppekraft des Hangwassers, so daß der größte Teil des Hanges bis zum steilsten Punkt unter Erosion steht. Andererseits bringt das rasche Absinken des Hangneigungswinkels am Hangfuß mit sich, daß dort die Erosion plötzlich in Akkumulation umschlägt (RICHTER 1965: 73) (s. MR: D).

Eine kausale Abhängigkeit des Bodenabtrages von der *Exposition* des Hanges und damit zur vorherrschenden Wind- und Niederschlagsrichtung konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar zeigt die Vegetation an einigen Lokalitäten eine deutliche Anpassung an die Hauptwindrichtung wie z. B. der Eukalyptusbestand auf den Rañas südöstlich des Collado Martin Blasco (Photo 4), der Einfluß auf den Bodenabtrag war jedoch in dem Beobachtungszeitraum nicht festzustellen. Der Faktor *Exposition* wird von den übrigen Parametern der Bodenerosion wahrscheinlich überlagert.

3.3 Auswertung der bodenstrukturellen Eigenschaften

Neben der Vegetation und den Hangneigungen konnten bodenstrukturelle Merkmale als differenzierende Parameter bei dem rezenten Hangabtrag festgestellt werden. Da das Untersuchungsgebiet heute dem zentralmediterranen Klimagang unterliegt, stellt es zonal gesehen einen einheitlich steuernden Komplex für die Pedogenese dar. Unterschiedliche Niederschlagshöhen bewirken nur graduelle Unterschiede. Die Bodenbildungsprozesse unterliegen mit dem Wechsel von ariden und humiden Jahreszeiten einem extremen Durchfeuchtungswechsel. Die Böden sind daher primär durch das Substrat und die geomorphologischen Verhältnisse differenziert, die die Verteilung und Intensität der Durchfeuchtung entscheidend beeinflussen.

Die *Bodentypen* im Arbeitsgebiet – vor allem auf den mäßig bis stark geneigten Hängen – sind teil-

weise gekappt und vom Bodenskelett stark durchsetzt. An vielen Stellen, auf Talflanken und auf Rücken, wo die Abspülung besonders wirksam ist oder eine etwas widerständigere Gesteinsbank ansteht, tritt der Fels in Form von Platten oder kleinen Rippen an die Oberfläche (MR: I u. J). In der Regel findet man an den Hängen eine meridionale Braunerde mit flachgründigen $A_h B_v C$ -Profilen, mit häufig fehlenden oder flachen humusarmen A_h -Horizonten. Zwischen diesem und dem C-Horizont zeigt sich meist ein gutausgebildeter B_v -Horizont (Photo 22).

Als Ausgangsmaterial sind im Arbeitsgebiet südlich Guadalupe vor allem Quarzite und Schiefer zu nennen, deren abschlämmbarer Anteil der feinen Kornfraktion in den Verwitterungsprodukten reichlich vorhanden sind. Im Gebiet von Sonseca dagegen sind es die grobkörnigen Granite und Granodiorite, die durch Verwitterung und Pedogenese zu einem sandig-grusigen Substrat mit wenig Ton aufbereitet werden.

Da in allen Meßprofilen eine mehr oder weniger mächtige meridionale Braunerde zu finden war, konnten vom Bodentyp her keine Unterschiede in Bezug auf den rezenten Hangabtrag festgestellt werden. Doch ist als primärer Faktor der Boden-erosion nicht die Abfolge des Bodenprofils entscheidend, sondern seine *Korngrößenverteilung* und seine *Gefügestabilität*. Dabei lassen sich drei Hauptarten unterscheiden. Die lockeren, meist *Sandböden*, besitzen aufgrund ihres Einzelkorngefüges keine gute Strukturstabilität und sind somit primär erosionsanfälliger als gefügestabilere Böden, die aufgrund der stärkeren Kohäsion der Erosion Widerstand leisten. Doch infolge ihrer hohen Wasserdurchlässigkeit wird bis zu einer bestimmten Niederschlagsmenge ein Ausgleich geschaffen, der abtragshemmend wirkt. Wird so ein Boden jedoch überflutet, tritt die lockere Bindung der Einzelkornstruktur wieder in den Vordergrund und es kommt zu stark erhöhten Abtragsbeträgen (MR: I u. J).

Den sandigen Böden gegenüber stehen die kompakten *tonreichen Böden*, sie haben einen höheren Kolloidanteil und somit ein stabileres Aggregatgefüge, das aber aufgrund seiner geringen Infiltrationsraten zu einem verstärkten Oberflächenabfluß neigt und bei starker Durchfeuchtung zur Verschlammung führt (Oberhang MR: A). Besonders erosionsanfällig sind Böden mit einem sehr hohen *Schluffanteil*. Sie besitzen eine schlechtere Strukturstabilität als die Tonböden und eine höhere

Beweglichkeit als die Sandböden. Ihre Wasseraufnahmefähigkeit ist bis zu einem gewissen Sättigungsgrad sehr hoch, sie neigen dann aber plötzlich zu starker Verschlammung und zu einer erhöhten Abtragsbereitschaft.

Diese Merkmale der einzelnen Bodenarten können aber durch Bodenverdichtungen wie z. B. eine undurchlässige Schicht im Bodenprofil noch verstärkt werden oder wenn der Oberboden mit einem hohen Skelettanteil angereichert ist und so eine hohe Durchlässigkeit bewirkt (MR: F u. H). Ebenso verschieben sich die bodenstrukturellen Merkmale auch bei Einflüssen anderer Art. Zahlreiche *Trockenrisse* in den tonig-lehmigen Substraten erhöhten natürlich während der Sommermonate die kurzfristige Wasseraufnahmefähigkeit erheblich (MR: C u. E).

Die hier gemessene große Variabilität der Infiltrationsraten macht es notwendig, einige grundsätzliche Bemerkungen zur Aussagekraft des k_f -Wertes und der Genauigkeit der Meßmethode zu machen.

Die Infiltration von Wasser in den Boden wird bestimmt durch den Eintritt des Wassers in den Boden, dem Transport im Kapillarraum und durch die Speicherkapazität. Um bei den Messungen möglichst natürliche Bedingungen beizubehalten, wurde die Oberfläche bei Einsatz des Doppelringinfiltrometers unversehrt gelassen, gleich, ob sie verdichtet, durch Vegetation gebunden oder aufgelockert war. Um ein Verspülen der Oberfläche zu verhindern, wurde der Boden bei Einfüllen des Wassers mit einem Tuch abgedeckt. Trotzdem war in einigen Fällen nicht zu vermeiden, daß die feinen Schrumpfrisse und Kapillaren mit Feinsubstrat zugeschlämmt wurden, ein Vorgang, der bei natürlichem Oberflächenabfluß sicher nicht in dem Maße auftritt. Dieser Fehler der geringeren Infiltration mit dem Überstauinfiltrometer durch Verschlammungen wird jedoch in den meisten Fällen durch feine Trockenrisse im Oberboden kompensiert, die zu einer erhöhten Infiltration zu Beginn des Versuches vor allem bei Tonböden geführt haben (Abb. 25). Bei diesen tonreichen Böden treten zu Beginn sehr hohe Infiltrationsraten durch Versickerung in Trockenrisse auf. Erst nach Quellung der Tone wird die Infiltrationsrate von $1,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s erreicht.

Die Strömungsvorgänge des Wassers im Boden bei Überstauen an der Oberfläche verlaufen bei geringer Druckhöhendifferenz wie beim Doppelring-

filtrimeter im Bereich zwischen der Feldkapazität und weitgehender Wassersättigung. Dabei ist die Leitfähigkeit im ungesättigten Boden niedriger als im gesättigten Bereich. Da eine weitgehende Wassersättigung bei geringen Druckdifferenzen erst sehr spät eintritt, wurden die Versuchsreihen mehrere Stunden beobachtet, bis eine genügend große Zone voller Sättigung mit positivem Wasserdruck und ein stationärer Strömungszustand erreicht wurde.

Um den Fehler, der durch Sättigungsdefizit entsteht, auszuschalten, wurden parallel zu den Infiltrationsmessungen an 100 cm³-Stechzylinderproben kf-Wertbestimmungen im Labor nach der Methode von HARTGE (1971: 110) durchgeführt. Von einem Standort wurden jeweils drei Proben analysiert, um bei den kleinen Stechzylindern Fehler durch Bodeninhomogenitäten, Wurzelröhren oder Wurmgänge möglichst auszuschließen. Die Stechzylinderproben wurden über mehrere Tage kapillar gesättigt, eingestaut und dann mehrfach gemessen. Die Werte zeigen eine relativ große Streuung, ein Ergebnis, das auch BAUMGART (1965) bereits feststellte. Vergleicht man die Meßwerte mit Untersuchungen auf ähnlichen Bodenarten in Mitteleuropa (PREUSS 1976; BAUMGART 1965), so zeigen die Messungen auf den trockenen Böden im Untersuchungsgebiet geringfügig höhere Infiltrationswerte. Dafür lassen sich verschiedene Gründe anführen wie unterschiedliche Durchfeuchtung bei Versuchsbeginn, Durchwurzelung u. a. Auch ein Vergleich mit Beregnungsversuchen, wie sie LUSBY (1977) im semiariden bis ariden Colorado (USA) durchgeführt hat, ist nur sehr begrenzt möglich, da z. B. die Hangneigungen bei Infiltrationsmessungen außer acht bleiben müssen.

Ein solcher Vergleich sollte jedoch nicht angestrebt werden. Ziel dieser Infiltrationsmessungen war es, relative Kenngrößen für den Oberflächenabfluß zu ermitteln und so den Kausalzusammenhang für einen differenzierten Bodenabtrag auf unterschiedlichen Bodenarten herzustellen. Dazu wurden in den Meßprofilen typische Standorte ausgewählt, um Vergleichsgrößen für die verschiedenen Hänge zu erhalten. Und hier zeigen sich in Abhängigkeit von der Bodenart und der Vegetation deutliche Unterschiede, wie ein Vergleich der Infiltrationskurven zeigt, die auf dem sandig-grusigen Verwitterungsdetritus des Granits der Meßreihe I aufgenommen wurde (Abb. 34) und der Infiltration auf dem tonigen Substrat der Meßreihe F (Abb. 25).

3.4 Auswertung der Niederschlagsmessungen

Neben den genannten Ursachen kann auch die Art der Niederschläge die Eigenschaften der Bodenstruktur beeinflussen. Bei Niederschlagsarten mit hoher Intensität kann das Wasser nicht kontinuierlich in den Boden einsickern, sondern die groben mit Luft gefüllten Poren im Bodenaggregat werden durch den Aufprall verstopft und zugeschlämmt, so daß die Wasseraufnahmefähigkeit erheblich verringert, wenn nicht sogar ganz ausgeschaltet wird. Eine solche Beobachtung war bei den Infiltrationsmessungen mit dem Doppelringfiltrimeter bei fehlerhafter Meßdurchführung festzustellen. Wurde das Wasser ohne Schutz der Oberfläche in den Ring eingefüllt, so wurden Silt und Ton aufgewirbelt, sedimentierten nach kurzer Zeit und verstopften die Porenräume, so daß die natürliche Infiltration gehemmt bzw. unterbunden wurde.

Auch die *Energie des einzelnen Regentropfens* spielt bei der Verlagerung der Bodenteilchen am Hang eine Rolle (MR: I u. J). LEHMANN (1931) vertritt in seiner Arbeit „Über die Bewegungsenergie des Regenwassers“ zwar noch die Meinung, daß die Energie der Regenfälle unwichtig für die erodierende Kraft des oberflächlich abfließenden Wassers sei. Neuere Arbeiten jedoch (SMITH & WISCHMEIER 1962) können zwar mit Versuchen belegen, daß die mechanische Wirkung des Tropfenaufpralls (*splash*) auf trockenen bis geringfeuchten umgelockerten Böden meist nur eine geringe Lockerung der Bodenaggregate und somit eine ebenso geringe Verfrachtung der feineren Bodenteilchen zur Folge hat. Bei einem lockeren Boden dagegen ist eine unmittelbare Zerstörung und Verschlämzung der Bodenaggregate sichtbar, und es findet eine direkte Verlagerung unterschiedlicher Korngrößen statt. Dabei werden feinere Teilchen durch den Aufprall des hochspritzenden Wassers nur über kurze Distanzen transportiert, während gröbere Bestandteile durch den Tropfenaufprall mit einem mechanischen Impuls hangabwärts bewegt werden.

Eine Differenzierung der Abtragsraten in den beiden Untersuchungsgebieten anhand der unterschiedlichen durchschnittlichen Jahresniederschläge konnte nicht festgestellt werden. Das mag aber eher an der geringen Anzahl der Meßreihen am Guajaraz liegen als an der Bedeutung dieses Parameters für den Bodenabtrag. Doch vier weitere Meßreihen, die im Tal des Rio Cedena angelegt wurden, sind im Laufe des Sommers 1976 bei Be-

bauungsmaßnahmen verlorengegangen, ebenso wie zwei Meßreihen im Ackerland am Rio Guajaraz. Es ist jedoch anzunehmen, daß die lang anhaltenden Starkregen, die im Januar und Februar im Arbeitsgebiet bei Cañamero bis zu 797 mm im Januar 1970 und 360,7 mm im Februar 1968 erreichen können, einen hohen Oberflächenabfluß zur Folge haben.

Entscheidend für die erosionsschädigende Wirkung der Niederschläge ist aber nicht nur die absolute Menge, sondern auch ihr *Jahresgang*. Denn die Bodengefährdung ist jahreszeitlich verschieden und hängt davon ab, in welchem Grad der Oberboden mit Vegetation gebunden ist oder inwieweit er durch Bearbeitung verändert wurde. So konnte in Kapitel 2.3.4 festgestellt werden, daß im gesamten Arbeitsgebiet die Monate Januar, Februar und März aufgrund ihrer anhaltenden schweren Landregen als bodengefährdet angesehen werden können. Mit verstärktem Oberflächenabfluß ist auch im Mai, Juni, Juli und August aufgrund eines hohen Prozentsatzes an Gewitterregentagen zu rechnen. Akute Erosionsgefährdung besteht danach im September, wenn erhöhte Niederschlagssummen mit einem Maximum an Gewittertagen auf einen vollkommen ausgetrockneten Boden fallen. Auch nimmt die erosionsschädigende Wirkung während der Monate November und Dezember infolge sich häufender Landregen weiterhin zu (Abb. 7 und 8).

So konnte bei einer Auswertung der Transportraten der fünf Meßperioden in den Meßprofilen festgestellt werden, daß im ersten Beobachtungszeitraum, d. h. von März 1975 bis September 1975, im Durchschnitt 10 % weniger bewegt wurden als in der zweiten Meßperiode von Oktober 1975 bis März 1976. Die absolut gefallen Niederschläge betragen für die Region um Cañamero für das erste Intervall 224,6 mm, während im zweiten insgesamt 376,2 mm Niederschlag gemessen wurden.

Die Differenzbeträge der Transportraten verhalten sich jedoch nicht in allen Meßreihen gleich, so konnte in der Meßreihe A z. B. eine Transportrate von 13,3 % im ersten und 18 % im zweiten Beobachtungszeitraum festgestellt werden, während die Unterschiede in der Meßreihe D mit 6,1 % zu 20 % oder in der Meßreihe E mit 1,7 % zu 16 % wesentlich deutlicher waren. Erstaunlich ist, daß nur die Meßreihen am Collado Martin Blasco in diesen beiden Meßperioden ein anderes Verhalten zeigten. Ihre Transportraten betragen für die Meßreihe F 26 % zu 20,8 %, für die Meßreihe G 19 % zu 15 % und für die Meßreihe H 20,2 % zu 26 % von der

gesamten Transportrate. Da diese Reihen in unterschiedlichen Vegetationsformationen (MR: F und H im Freiland und MR: G im dichten Bestand) angelegt wurden, kann die Gebundenheit des Oberbodens nicht der Grund sein, sondern es müssen andere Faktoren eine Rolle spielen.

Die Niederschlagssummen in dem Gebiet am Guajaraz lagen in den selben Beobachtungszeiträumen mit 128,8 mm und 264,7 mm merklich unter denen in der Sierra de Guadalupe. Hier konnten in der ersten Meßperiode im Profil I 7 % und im zweiten Intervall 36 % der gesamten Transportraten im beobachteten Zeitraum gemessen werden. Die Meßreihe J verhielt sich mit 12 % zu 28 % weniger differenziert.

Ein Jahresgang der Abtrags- oder Akkumulationsraten infolge der Verteilung der Niederschläge konnte in den Meßperioden 3 und 5 nicht festgestellt werden, da diese jeweils über ein ganzes Jahr bzw. über zwei Jahre angelegt waren, lag hier der Gesamtanteil dementsprechend höher.

Vergleichbare Werte lieferte noch das Sommerhalbjahr 1977, bei dem sowohl der regenreiche März wie auch die verstärkt auftretenden Gewittertage im September, die im ersten Beobachtungszeitraum mit 13 % der Gesamttransportrate eingeschlossen waren, nicht mitgemessen wurden. Hier lag die Bewegung am Hang mit 8 % im Durchschnitt am niedrigsten.

Aus dieser Analyse der gesamten Transportraten in verschiedenen Zeitintervallen kann noch einmal festgestellt werden, daß in diesem Klimabereich wahrscheinlich jeder Niederschlag eine abtragende, schädigende Wirkung hat, die jedoch nach Art und Intensität modifiziert werden kann. So entfallen auf ein Sommerhalbjahr (April bis September) etwa durchschnittlich 32 % des jährlichen Transports am Hang, der bei den relativ geringen Niederschlagssummen auf die Gewittertätigkeit und den durch Vegetation nur schlecht gebundenen Oberboden zurückzuführen ist. Die restlichen 68 % entfallen auf die Monate Oktober bis März, wo zunehmende Niederschlagssummen, meist in Form von anhaltenden Land- oder Starkregen, fallen, deren Wirkung selbst durch eine Vegetationsbedeckung in diesen Monaten kaum verhindert werden kann.

3.5 Auswertung der Abflußmessungen

Um die Auswirkung des unterschiedlichen geologischen Untergrundes auf den Oberflächenabfluß zu untersuchen, wurden die Abflußwerte der Flüsse

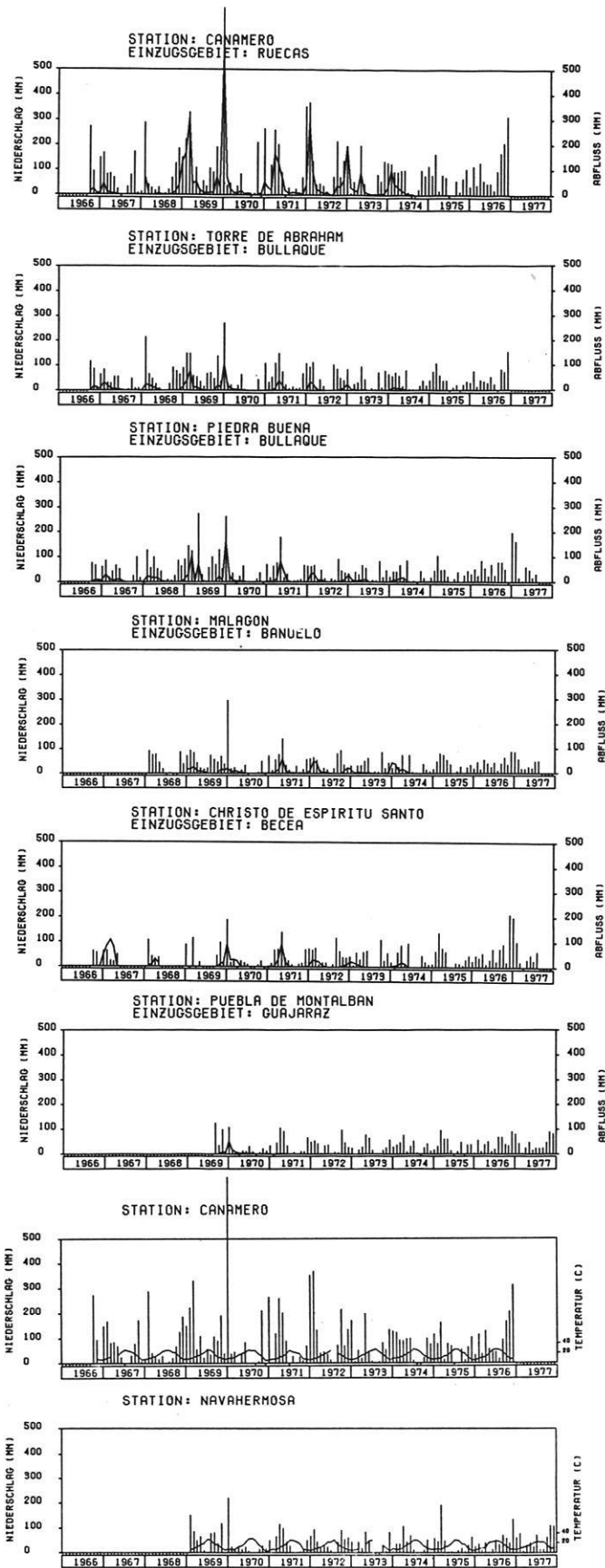


Abb. 38: Vergleich von Abfluß und Niederschlag einiger Flüsse im Arbeitsgebiet.

statistisch ausgewertet. Dabei zeigten sich jedoch für die gewünschten Aussagen Mängel im Datenmaterial. Es handelt sich dabei, ebenso wie bei den Niederschlagsmessungen, um Monatswerte. Da die Phasenverschiebung von Niederschlag und Abfluß der verschiedenen Einzugsgebiete meistens in der Größenordnung von Stunden bis Tagen liegt, war es nicht möglich, charakteristische hydrologische Kenngrößen aus den Monatswerten des Abflusses und Niederschlags zu ermitteln. Eine Zeitverzögerung von Niederschlagsereignis zu Abflußspitze wird bei den Monatswerten nur dann erfaßt, wenn der Regen am Monatsende fällt und der Abfluß im nächsten Monat registriert wird.

Da bei den Niederschlags- und Abflußdaten jeweils die Maximalwerte eines Monats mit Datum angegeben waren, erschien eine Analyse der Zeitverschiebung von Niederschlagsmaximum und Abflußmaximum als sinnvoll. Zwar zeigten diese Werte eine Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes, doch war hier ein deutlicher Einfluß in der Durchlässigkeit des Gesteins zu erkennen. So traten beim Rio Rucas mit einem Einzugsgebiet von undurchlässigen Zonen präkambrischer Gesteine Phasenverschiebungen von Niederschlag und Abfluß von 0 Tagen in 50 %, von einem Tag in 20 %, von zwei Tagen in 3 % und keine Änderung im Abfluß in 26 % der Fälle auf.

Am Rio Bullaque, der überwiegend in alluvialen Ablagerungen, in Rañas und in Sandsteinen fließt, wirkte sich in 50 % der Fälle ein Niederschlagsmaximum im Abflußgang nicht aus. Bei 17 % der Messungen trat eine Verschiebung um zwei Tage

auf und bei 33 % lag das Abflußmaximum einen Tag nach dem Niederschlagsmaximum. Um das Verhältnis von Abfluß und Niederschlag und von Versickerung und Verdunstung näher zu untersuchen, wurden die Abflußmengen, die in m^3/s angegeben sind, in mm auf die Fläche des Einzugsgebietes umgerechnet und graphisch dargestellt (Abb. 38). Hier bestätigten sich die erwähnten Beobachtungen.

So zeigt die Abflußganglinie des Rucas, daß über 75 % der Niederschlagsmaxima über den Fluß wieder abgeleitet werden. Im Einzugsgebiet des Bullaque dagegen stehen in den meisten Fällen weniger als 50 % der Niederschläge für den Abfluß zur Verfügung. Auffallend ist, daß die Maxima der Niederschläge in den Monaten Oktober bis Dezember sich an den meisten Stationen kaum im Abflußgang bemerkbar machen. Lediglich in Gebieten mit hohen Gesamtniederschlägen wie etwa beim Rio Rucas in Cañamero treten gleichzeitig erhöhte Abflüsse auf.

Dies zeigt, daß neben den geologischen und bodenstrukturellen Eigenschaften zahlreiche andere Faktoren vor allem die Evapotranspiration für den hydrologischen Haushalt von Bedeutung sind. Da die Verdunstung jedoch aus den vorhandenen Daten nicht faßbar ist, ist es auch schwer, den hydrologischen Haushalt der Einzugsgebiete in Zentralspanien annähernd in seinen Teilgrößen zu erfassen. Deshalb war es nur möglich, den Abfluß- und Niederschlagsgang zu beschreiben, ohne eine eindeutige Funktion dafür angeben zu können.

4. Die Vegetationsverteilung als Faktor der Abtragung

Aus einer Vielzahl von Untersuchungen in verschiedenen Naturräumen über das Abflußverhalten und über die Bewegungsvorgänge unter einer mit Vegetation bedeckten Oberfläche läßt sich im wesentlichen stets der gleiche Sachverhalt erkennen: Vegetationsflächen haben eine dämpfende Wirkung auf den Oberflächenabfluß vor allem bei sommerlichen Niederschlägen. Natürlich sind diese Auswirkungen der Vegetation im einzelnen abhängig von Alter, Art, Höhe, Bestandsdichte usw., so daß sich eine hohe Bandbreite der Effekte ergibt. Für den mitteleuropäischen Bereich liegen dazu Einzeluntersuchungen von MORTENSEN (1964),

STREIT (1974), TOLDRIAN (1974) und GÖBEL (1977) vor. Aus dem englischsprachigen Raum sind dazu die Arbeiten von CAMPBELL (1970), DYRNESS (1975) und STOCKING & ELWELL (1976) zu nennen. Diese Untersuchungen zeigten ebenfalls, daß die Vegetation und ihr Zustand auf den Oberflächenabfluß, den Bodenwasserhaushalt und auf den Bodenabtrag wesentlichen Einfluß hat. Denn man kann die Wälder als „maritim getönte Klimainsel“ (BARNER 1978) auffassen, in denen im Gegensatz zum offenen Gelände kühlere Temperaturen und höhere Luftfeuchtigkeit vorherrschen, außerdem wirken die Wälder als Wind- und Schattenkulisse. Diese

mikroklimatischen Verhältnisse innerhalb des Waldes kommen auch im Mesoklima des angrenzenden Freigeländes zum Ausdruck. Die Intensität der Strahlung wird herabgesetzt, was eine Verringerung der Verdunstung zur Folge hat, so daß sich eine vermehrte Bodenfeuchtigkeits- und Grundwasseranreicherung bilden kann. Weiterhin wird mit herabgesetzter Strahlung die Taupunkttemperatur häufiger erreicht.

Abgesehen von diesen wasserspeichernden Eigenschaften übt der Wald zusätzlich einen sicheren Wind- und Wassererosionsschutz aus, so daß einmal der Boden im Wald stabilisiert wird und zum anderen verhindert wird, daß landwirtschaftlich genutzte Flächen zusedimentiert werden. Diese unmittelbar positiven Einwirkungen des Waldes auch auf den Boden der Freilandflächen führen zu einer besseren Nutzbarkeit der Böden, die wiederum eine wichtige Voraussetzung für die Fruchtbarkeit des kultivierten Geländes darstellt.

So soll im folgenden der Zustand der Vegetationsbedeckung in den Montes de Toledo als Parameter der Abtragung dargestellt werden.

Wie aus der Vegetationskarte (Abb. 1: Kartenbeilage) deutlich zu sehen ist, unterscheiden sich die beiden Arbeitsgebiete auch in diesem Punkt deutlich voneinander. Während im Westen in der Sierra de Guadalupe vorwiegend *Monte-bajo-Bestände*, staatliche Aufforstungen und weiter im Süden ins Gadian-Becken hinein großflächige Steineichen- (*Quercus ilex*) *dehesas* das Landschaftsbild bestimmen, treten im ganzen nördlichen Vorland ackerbaulich genutzte Flächen in den Vordergrund. Infolge dieser Verteilung soll zunächst ein Überblick über die wald- und forstwirtschaftlichen Bedingungen und Probleme im Hinblick auf eine Maßnahme gegen die fortschreitende Bodenerosion gegeben werden.

4.1 Die Waldformation

Wie jüngere Untersuchungen zeigen (MÜLLER-HOHENSTEIN 1973), muß angenommen werden, daß der Wald in den Mittelmeerländern immer eine weitgehende lichte Formation gewesen ist, die örtlich bei entsprechenden kleinklimatischen, edaphischen und hydrogeologischen Voraussetzungen, auch Steppen oder immergrünen Strauchgesellschaften, natürlichen Macchien, Raum gab. Nach jüngeren paläoklimatischen, bodenkundlichen und pollenanalytischen Befunden (KUBIENA 1962; BEUG 1968; ROHDENBURG & SABELBERG 1969) muß die oft

zitierte wärmzeitliche Waldverbreitung im Mittelmeerraum (BÜDEL 1949) einige Korrekturen erfahren.

So ist das Mittelmeerklima zwar kein ausgesprochenes Waldklima wie das mitteleuropäische; der Wald steht hier unter anderen Bedingungen und muß vor allem die sommerliche Trockenheit jährlich überdauern. Daher kommt der vertikalen Zonierung weit stärkere Bedeutung zu als bei uns. Für viele steppenartige Landschaften lassen sich jedoch waldgeschichtliche Angaben über frühere Walddichte und Baumartenzusammensetzung machen. Oft läßt sich sogar die Zeit der Waldzerstörung und die Gründe dafür, die zumeist Kriege, Raubbau, Waldbrände und Überweidung waren, nachweisen. Als Folge traten dann Bodenerosion und teilweise auch Verkarstung, die sich nicht mehr aufhalten ließen, in Erscheinung.

Offiziell besitzt Spanien heute noch ca. 15 800 000 ha Wald, jedoch können davon nur etwa 4 500 000 ha als gut bestockter Wald angesprochen werden. Der Rest besteht aus heruntergewirtschafteten Wäldern, Niederwald, Monte-bajo (*macchie*), Matorral (*garigue*) und Grasland (FAO 1965).

Der *Niederwald* ist infolge der Viehweide, Übernutzung und der mangelnden Pflege kaum noch als Wald anzusprechen. Die entwaldeten Flächen, die vorwiegend von „*matorrales*“ eingenommen werden, bieten ein Bild der reinen Waldverwüstung. Wo die Weide bis zum Exzeß betrieben wird, fehlt auch der Zwergstrauch- und Krautbewuchs; hier haben Denudation und Erosion freie Bahn.

Auch *Hoch- und Mittelwald* werden auf dem überwiegenden Teil beweidet und sind im Vergleich zu Mitteleuropa meist außerordentlich licht. Nur auf etwa der Hälfte der Fläche, im Staatsforst und dort, wo sie genossenschaftlich genutzt werden, kann man sie als wirksamen Schutz betrachten.

4.1.1 Der Monte-bajo

Der Monte-bajo mit seinen degenerierten Unterarten nimmt etwa 10,5 % der Gesamtfläche im Arbeitsgebiet ein (Abb. 1: Kartenbeilage). Er ist in reiner Ausprägung eine vorwiegend immergrüne Gebüschformation von ca. 1 bis 2 Meter Höhe, die im natürlichen Zustand so dicht stehen kann, daß sich auf dem Boden Thero- und Geophyten nicht mehr entwickeln können und bietet somit einen idealen Erosionsschutz. Nur auf steinigigen und sandigen Böden kommt es zu einer Auflockerung

des Bestandes. Doch diese Zwergstrauchformationen unterliegen ebenso wie die Wälder mannigfachen menschlichen Einwirkungen. Einerseits finden sie als Brennholz Verwendung, andererseits dienen sie zur Herstellung von Holzkohle, die für Zentralspanien noch heute einen wichtigen Gebrauchsartikel und damit für die ärmere Bevölkerung eine zusätzliche Einnahmequelle darstellt. Beide Nutzungen bedingen jedoch ein periodisches Abholzen der Hartlaubgehölze, die sich dann durch den Stockausschlag und Wurzelbrut erneuern.

Noch häufiger ist aber die sogenannte Brandkultur (vgl. MR: B), der jedes Jahr hauptsächlich gegen Ende der Trockenzeit große Monte-bajo-Bestände zum Opfer fallen. Obwohl man versucht hat, diesem unkontrollierten Abbrennen gesetzlich entgegenzutreten, konnte aber die unregelmäßige und intensive Beweidung der Wälder kaum eingeschränkt werden. Nach BAUER (1965) werden noch heute in Spanien ca. 69 % aller Waldflächen beweidet.

Die meisten Monte-bajo-Sträucher besitzen jedoch ein großes und rasches Ausschlagvermögen, so daß sie schon kurze Zeit nach dem Verbiß oder nach dem Brand kräftige Erneuerungssprosse treiben, die dem Vieh erneut als Futter dienen.

Sehr häufig sieht man den Monte-bajo als Unterholz lichter Wälder von Kork- und Steineichen, Aleppokiefern oder Pinien. Wird das bestandbildende Oberholz abgeschlagen, so bleibt nur noch das Unterholz übrig. Ein ähnliches Ergebnis bewirken oft auch die Waldbrände. Ihnen fällt zwar auch der Monte-bajo zum Opfer, aber bei seinem raschen Regenerationsvermögen und intensiven Wachstum werden die jungen Keime der Waldbäume in der Regel unterdrückt und das Resultat ist ein typischer Monte-bajo an Stelle eines früheren Waldes. Es kann daher kein Zweifel daran bestehen, daß ein großer Teil der Monte-bajo-Bestände im Arbeitsgebiet das verbliebene Unterholz früherer Waldungen ist.

Unter den einartigen Formationen tritt vor allem der schwarzgrüne Ladanstrauch (*Cistus ladanifer*, vgl. MR: A) auf. Er nimmt auf den rotverwitterten Ton-schieferböden im Südwesten des Arbeitsgebietes einen großen Teil der Fläche ein. Nach dem Abholzen kommt auch der Ladan, der wegen seiner Aussonderung von ätherischen Ölen vom Weidevieh verschont bleibt, immer schnell wieder hoch.

Bei zu intensiver Nutzung durch den Menschen und seine Weidewirtschaft entartet der Monte-bajo zum *matorral* oder *tomillares*. Dieser besteht aus einer weitständigen Strauchformation mit einer sehr lichten Oberflächenbedeckung. Seine Sträucher stehen in größeren Abständen als im Monte-bajo und bleiben im allgemeinen wesentlich niedriger. Zwischen den einzelnen Sträuchern ist aufgrund hoher Abtragsraten oft nur noch die steinige Verwitterungsrinde zu sehen. Der *matorral* stellt an die Bodenbeschaffenheit geringere Ansprüche als der Monte-bajo, man findet ihn daher besonders häufig auf Rohböden. Auf vorwiegend sandigen Verwitterungsböden der kristallinen Gesteine tritt nicht selten die Labiatengarrigue (*tomillo* – *Thymus vulgaris*) auf. Sie besteht aus Thymian-, Lavendel- oder Salbeibüschen. Neben den einartigen Garriguetypen, die meist nur durch eine einzige Hauptleitpflanze charakterisiert werden, kommen vorwiegend auf den meridionalen Braunerden der kristallinen Gesteine Ginstergarriquen (*retamares*) vor, die gleichzeitig aus *Genista cytisus*- und *Retama*-arten bestehen.

4.1.2 Die staatlichen Aufforstungen

Wie in Kapitel 2 erwähnt, sind die Bestrebungen einer organisierten Forstwirtschaft mit Rekultivierungsleistungen von jährlich ca. 16 000 ha (BARNER 1978) erst nach 1939 in Kraft getreten.

Zur Überwindung der klimatischen Schwierigkeiten beim Aufforsten nicht ansässiger Arten hat das Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) überall im Land Baumschulen eingerichtet. Angepflanzt werden meistens „verschulte“ Pflanzen und zwar in der Reihenfolge ihrer zahlenmäßigen Verwendung: Aleppokiefer (*Pinus halpensis*), See- oder Sternkiefer (*Pinus pinaster*), Waldkiefer (*Pinus silvestris*), Schwarzkiefer (*Pinus laricio*) und Pinien (*Pinus pinea*), ferner Eukalyptus (*Eukalyptus globulus*), Steineiche (*Quercus ilex*) und Korkeiche (*Quercus suber*), weiterhin an hierfür günstigen Standorten Erlen, Zedern, Lebensbaum (*Thuja*), Lärchen und Tannen (*Abies pinsapo* und *pectinata*) (ICONA 1975).

Den Hauptanteil der Nadelhölzer in Gesamtspanien stellen die Aleppokiefer und die Sternkiefer, die sehr anspruchslos gegenüber Boden und Niederschlag sind. Unter den Laubbäumen steht der Eukalyptus an erster Stelle. Er wird vor allem wegen

seiner enormen Wuchsleistungen und seiner kurzen Umtriebszeit von 10 bis 15 Jahren angepflanzt. Allerdings ist der Anbau aufgrund seiner Frostempfindlichkeit nur in geschützten Lagen möglich. Daher gibt es im Arbeitsgebiet planmäßig angelegte Eukalyptusbestände auch nur im klimabegünstigten Südwesten, ihr Anteil an der Gesamtfläche macht etwa 0,05 % aus. Ansonsten findet man den Eukalyptus jedoch häufig als Alleebäume an Straßen und Flüssen über das ganze Gebiet verteilt.

Hauptaufforstungsarten in dem etwa 4,4 % der Gesamtfläche einnehmenden Staatsforst im Arbeitsgebiet sind die beiden Pinienarten *Pinus pinaster* mit 2 % und *pinus pinea* mit 0,7 %.

In den Aufforstungen werden mit Hilfe moderner kulturtechnischer Maßnahmen einzelne Standortbedingungen bis zu einem gewissen Grad beeinflusst. Nur so ist es zu erklären, daß die Pinie (*Pinus pinea*), eine bisher auf die Küstenlandschaft beschränkte Art, heute in den unteren Hanglagen der zentraliberischen Gebirge, sowohl in der Sierra de Guadarrama als auch in den Montes de Toledo große Flächen einnimmt (Abb. 1: Kartenbeilage).

Die Sternkiefer (*Pinus pinaster*) ist deshalb so bevorzugt, weil sie sich gut an die Rauheit des kontinentalen Klimas der inneren Halbinsel anpaßt, sie ist sowohl in klimatischer wie auch in edaphologischer Hinsicht von einer gewissen ökologischen Breite. Sie braucht etwa 10° C im Jahresmittel und kann durchaus Winterminima bis zu -15° C aushalten, ebenso intensive heiße Sommer mit Maxima bis zu 40° C. Ihr Verhalten ist praktisch nur von einem Punkt abhängig, nämlich von einer gewissen Feuchtigkeit während der Vegetationsperiode, doch kommt sie auch in diesem Zeitraum mit einem Durchschnitt von 150 bis 200 mm Niederschlag aus. Bezüglich der Böden zeichnet sie sich, trotz ihrer Vorliebe für Silikatböden, durch eine Toleranz gegenüber dem Kalk aus, so findet man auch auf Kalkböden Sternkiefern dieser Art. In günstigen Lagen kann sie bis zu 1600 m ü. M. und darüber angepflanzt werden.

Die Pinie (*Pinus pinea*) ist ein ausgesprochener Lichtbaum. Ihre schirmförmige Gestalt ist praktisch ein Spiegelbild ihres großen Lichtbedürfnisses. Die unten stark beschatteten Triebe sterben jeweils ab und werden mit der Zeit abgestoßen; die übrigen Teile streben dem Licht zu. Dadurch wird die Krone

abgeflacht und immer breiter. An Boden und Klima stellt die Pinie im Gegensatz zur Sternkiefer ziemlich hohe Ansprüche. Die Pinie bevorzugt tiefgründige Sandböden auf Silikatgestein, pliozänen Sanden und gut gelockerten Tonen; sie ist sehr kalk- und kälteempfindlich. Sie braucht ein Jahresmittel von mindestens 12° C bis 14° C und während der Vegetationsperiode sogar 16° C bis 18° C. Dies ist wohl auch die Erklärung dafür, daß sie im Arbeitsgebiet bis auf wenige Ausnahmen in der günstigen Beckenlage des Guadianas und sonst nur sehr vereinzelt in geschützter Lage in den unteren Bergstufen der Sierras angepflanzt wird. Ihr Niederschlagsminimum liegt im Jahresdurchschnitt bei etwa 300 mm und während der Vegetationszeit sogar nur zwischen 130 und 150 mm. Als Aufforstungskultur wird sie meist nur bis zu einer Höhe von maximal 700 m ü. M. angesetzt, als Einzelbaum kann man sie jedoch bei entsprechenden Standortbedingungen bis zu 1000 m ü. M. finden.

Obwohl bei RIKLI (1948) die Edelkastanie (*Castanea sativa*) noch als „Symbol des Südens“ beschrieben wird, ist sie im Untersuchungsgelände mit 30,2 km² oder 0,2 % der Gesamtfläche nur recht spärlich vertreten. Das mag daran liegen, daß sie eine sehr wärmeliebende und mäßig winterharte Art ist, die eine lange Vegetationszeit mit Mindestdurchschnittstemperaturen von 16° C bis 18° C und einen warmen Herbst benötigt; daneben erhebt sie ziemlich hohe Ansprüche an die Luftfeuchtigkeit und Wasserökonomie – bis zu 1000 mm Jahresniederschlag. Diese Anforderungen und ihre geringe Dürrebeständigkeit sind es wohl auch, die die Kastanie von den extremen Trockengebieten im Arbeitsgebiet ausschließen. Sie ist in konzentrierter Form nur an den Hängen der Sierra de Guadalupe und in der Sierra de la Villuerca zu finden, wo reichliche Niederschläge zur Verfügung stehen und häufig Nebel wenigstens für hohe Luftfeuchtigkeit sorgen. Die Kastanie bevorzugt wie die Pinie tiefgründige Silikatböden, akzeptiert aber in begrenztem Maß auch Kalk. Unter günstigen Bedingungen tritt sie bis zu 1200 m ü. NN auf, im allgemeinen jedoch wird sie zwischen 500 bis 700 m zu finden sein.

Den weitaus größten Teil der Waldfläche mit 30,7 % an der Gesamtfläche nimmt die Steineiche (*Quercus ilex*) ein. Sie ist zugleich aufgrund ihrer hervorragenden Anpassungsfähigkeit auch die meist verbreitetste Eiche im Mittelmeerraum. Da diese immergrüne Quercusart extreme Temperaturminima und Temperaturmaxima durchaus vertragen kann, kommt es vor, daß sie fast in allen Höhen-

lagen bis über 2000 m ü. M. angetroffen wird. Ihr Wasserbedarf reicht von weniger als 300 mm bis zu über 1500 mm Niederschlag im Jahresdurchschnitt und auch in Bezug auf die Böden kann sie als sehr bescheiden bezeichnet werden. Obwohl sie ohne Zweifel tiefgründige satte Böden vorzieht, gedeiht sie aber auch auf mittelmäßigen und sogar nährstoffarmen Böden. Sie kommt sowohl auf Kalk wie auf Silikatgesteinen vor.

Die Nährstoffarmut mancher Böden, die geringen Niederschläge, vor allem aber die allgemein stark ausgeprägte Dürreperiode stehen in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes einer intensiven Bodennutzung immer noch im Wege. Das mag wohl auch ein Grund dafür sein, daß sich hier die auch bei uns im Mittelalter weitverbreitete Nutzungsform der Waldweide und Eichelmast bis in die Gegenwart halten können. Hierzu wird mit weitem Abstand die Steineiche rein, aber auch gelegentlich gemischt mit Korkeiche, genutzt. Diese Weidewälder sind zum großen Teil privat oder genossenschaftlich verwaltet; sie werden ständig von ihrem strauchigen Unterholz freigehalten, um somit Platz für Gräser und Kräuter zu schaffen. Das Ergebnis sind die sogenannten „dehesas“, lichte Parkwälder, deren Struktur und Nutzungsweise einem Obsthain ähnlich ist. Wenn die Steineiche ihres besseren Eichelertrages wegen meist von den Viehzüchtern bevorzugt wird, wirft doch andererseits die Korkeiche, die etwa alle 7 bis 10 Jahre geschält wird, einen zusätzlichen Ertrag ab, denn Kork bildet auch heute noch als internationale Handelsware ein wertvolles Exportprodukt für Spanien. Da üblicherweise aber keine Bäume angepflanzt werden, sondern weitgehend auf die natürliche Verjüngung des Baumbestandes abgestellt wird, spiegelt die Verteilung der beiden Eichelarten auch heute noch nicht unbedingt den erwarteten Nutzen, sondern vor allen Dingen die Standortbedingungen wieder.

Die ökologischen Bedingungen der Korkeiche (*Quercus suber*) – ebenfalls mit Dauerbelaubung – sind in erster Linie durch ihre Forderung nach Licht, ihre Kalkfeindlichkeit, ihre geringe Widerstandsfähigkeit gegen Kälte und durch einen gewissen Anspruch an Feuchtigkeit gegeben. Sie beansprucht im allgemeinen eine mittlere Jahrestemperatur von 14° C bis 17° C und Niederschläge zwischen 600 und 1000 mm und während der Vegetationsperiode müssen 20° C und 200 mm im Durchschnitt erreicht werden. An recht günstigen Standorten kann man sie bis zu 1000 m ü. NN finden, doch im allgemeinen wird die 600 bis 700 m Grenze nicht über-

sritten. Doch der edaphische Faktor ist wohl der entscheidendste für die verhältnismäßig geringe Verteilung – 1,2 % von der Gesamtfläche – der Korkeiche als geschlossene Waldformation (wie schon erwähnt, gemischt mit der Steineiche ist sie in den Weidewäldern häufiger zu finden), denn sie ist absolut kalkfeindlich und bevorzugt Silikatböden in den verschiedensten Varianten.

Die lusitanische Eiche (*Quercus lusitanica*) bildet mit 1,5 % den Übergang zu den sommergrünen Eichen, indem ihre unterseits feinfilzigen Blätter zwar überwintern, aber mit der Entwicklung der neuen Blattgeneration abgestoßen werden. Ihr Charakter ist kontinental und bergfreundlich, so daß man eine große Schwankungsbreite sowohl in der Höhe als auch bei den Temperaturen verzeichnen kann. Gelegentlich wird sie bis 1800 m ü. NN zu finden sein, doch liegt ihre durchschnittliche Höhe bei 500 bis 1000 m. Bezüglich der Feuchtigkeit kann sie als xerophil bezeichnet werden. Sie kommt mit 400 mm im Jahresdurchschnitt und 200 mm während der Vegetationsperiode aus. Und auch im Hinblick auf die Temperatur ist sie nicht sehr anspruchsvoll. 10° C bis 12° C im Jahresmittel und 14° C bis 16° C während der Vegetationszeit sind für ihren Bestand hinreichend. Nicht selten hilft auch ihre leichte Anpassungsfähigkeit an Böden verschiedenster Art bei der Ausbreitung dieser Eiche. Sie steht zwar vornehmlich auf Silikatböden, ist aber auch sehr tolerant gegenüber dem Kalk. Sie wird im Arbeitsgebiet nicht zur Aufforstung verwendet, so daß ihre jetzigen Bestände die natürlichen Standortbedingungen widerspiegeln.

Ebenfalls mit 1,5 % an der Gesamtfläche ist die *Quercus toza* beteiligt. Ihre hauptsächliche Verbreitung auf den Kuppen und an den Berghängen der Sierren zeigt eine montane Beziehung und läßt die Verträglichkeit eines kontinentalen Klimas erkennen. Sie ist bis zu einer Höhe von 1500 bis 1700 m ü. M. anzutreffen. Die Möglichkeiten der Adaption an das typisch kontinentale Klima hat ihre Ursache in der Breite ihrer meteorologischen Variabilität, denn sie kann sowohl absolute Minima von -25° C wie auch absolute Maxima bis zu 45° C ertragen. Im Jahresdurchschnitt benötigt sie etwa 8° C bis 10° C und selbst in der Vegetationszeit kommt sie mit einem Mittel zwischen 13° C und 15° C aus. Ihre fast ungewöhnliche Kälteresistenz hängt zum großen Teil von ihrer späten Vegetationsphase ab. Der Blattansatz erfolgt erst spät im Frühjahr und ebenso spät erfolgt auch der Laubabfall, so daß es an den Standorten mit mildem Klima zu einer Dauerbelau-

bung kommen kann. Was die Feuchtigkeit anbetrifft, so benötigt sie etwa 400 bis 600 mm im Jahresdurchschnitt und mindestens 200 mm während der Vegetationsperiode. Eines ihrer charakteristischen Merkmale ist wieder die Abneigung gegenüber dem Kalk. Sie ist an Silikatböden gewöhnt und kommt da auf den verschiedensten geologischen Formationen vor, z. B. Quarzit, mehr oder weniger tonige Sande, Schiefer usw.

Sieht man sich nun einmal die quantitative Verteilung der einzelnen Forstarten auf der Karte an, so spiegelt die Art mit der größten Adaptionfähigkeit (*Quercus ilex*) auch die weiteste Verbreitung und die heterogensten Standortbedingungen wider. Zur Verbreitung der Steineiche muß allerdings erklärend hinzugefügt werden, daß hier die gesamten weitflächigen Waldweiden mit kartiert wurden, während bei sämtlichen anderen Arten – aufgrund des Maßstabes 1:400 000 – nur geschlossene Waldbestände und nicht deren einzelnes Auftreten aufgenommen werden konnte, so daß aus dieser Karte keine Information über die Vorkommen wie z. B. die Alleebaumreihen von Eukalyptus und Kastanie oder die Verquickung von Kork- und Steineiche in einigen Waldweiden zu entnehmen ist. Doch sollte die Behandlung der einzelnen Baumarten noch einmal die Probleme bei der Aufforstung deutlich machen und zeigen, daß die genaue Kenntnis der geökologischen Standortbedingungen, wie Niederschlags- und Temperaturverteilung, Reliefenergie und die Analyse des Substrates notwendig sind, um sinnvoll Erosionsschutzmaßnahmen einleiten zu können.

4.2 Der Ackerbau

Wie bereits festgestellt wurde, ist der wirtschaftende Mensch oft der eigentliche Auslöser der schädigenden Abtragungsprozesse. Durch die Veränderung oder Beseitigung der natürlichen Vegetationsdecke schafft er die Voraussetzung dafür, daß die latente Gefahr einer beschleunigten Abspülung und Auswehung von Boden zu einer akuten Gefahr wird. Mitverantwortlich für diese anthropogenen Folgeerscheinungen bezüglich der rezenten Morphodynamik muß dabei auch die heutige Wirtschaftsweise gemacht werden. Denn im ackerbaulich genutzten Gebiet erreicht der anthropogene Einfluß auf die Abtragung ein erhebliches Ausmaß. Entsprechend den Maßnahmen, die der Mensch gegen die *Erosion* unternimmt, ist das Formenbild sehr verschieden. So ist z. B. zunächst alles nahezu geeignete Gelände durch die Umwandlung in terrasiertes Ackerland seinem natürlichen Formungsprozeß entzogen worden. Insbesondere wurde dadurch

der Abtransport des Verwitterungsmaterials größtenteils verhindert. Es akkumulierte hinter den Wällen der einzelnen Trockenfeldterrassen und durch das Pflügen der Felder kann das Regenwasser besser einsickern, was ebenfalls zur Herabsetzung der oberflächlichen Abschwemmung führt.

Zweifellos hat aber auch der Mensch damit an anderer Stelle den Bodenabtrag verstärkt, nämlich dort, wo besonders in jüngerer Zeit diese Trockenfeldterrassen nicht mehr bewirtschaftet werden. Die Außenkanten der Terrassen stellen kleine Gefällsbrüche dar, an diesen Kanten, die nun nicht mehr vom Menschen instand gehalten werden, setzt bei Starkregen der Abtrag bevorzugt an, und in wenigen Jahren können diese Terrassen metertief zerschnitten werden (Photo 23).

Aber auch die bewirtschafteten Terrassen können nach Starkregen zum Teil erheblich erodieren. Diese Schäden werden aber meist umgehend wieder ausgebessert. Geschieht das nicht, so schreitet die Zerstörung in den vorgezeichneten Bahnen beim nächsten Starkregen mit erhöhter Geschwindigkeit weiter.

Am eindrucksvollsten sind diese Kerben an den ackerbaulich genutzten Hängen, die nicht terrasiert sind (Photo 2), wo die Abtragung also ungehindert wirken kann. Allem Anschein nach sind sie von Anfang an schon so tief ausgebildet worden, daß ein Zupflügen nicht mehr möglich war. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Feld zur Zeit der Abtragung gepflügt ist oder brach liegt; entscheidend ist nur, daß es vegetationslos ist und daß die Spuren anschließend nicht durch menschliches Einwirken behoben werden.

Die Menge des anfallenden Lockermaterials, das auf diese Art und Weise in die Talbetten gelangt, ist schwer abzuschätzen. Auf jeden Fall sind es nur feinere Komponenten, d. h. vorzugsweise Boden, der abgespült wird. Das kann an Hängen deutlich gemacht werden, die teils ackerbaulich genutzt werden und teils mit Wald bestanden sind. Beim ackerbaulich genutzten Hang liegen vor den Einmündungen der Bodenerosionsformen in das Trokental Schwemmfächer, die vorwiegend aus Sandfraktionen gebildet werden.

4.2.1 Aufteilung der Wirtschaftsfläche

Der Feldbau im semiariden Spanien muß sich ebenso wie die Vegetation den klimatischen Bedingun-

Tabelle 13: Verteilung der Nutzungsfläche

Provinz:	Badajoz	Caceres	Cuidad Real	Toledo
Gesamtfläche:	21 657 km ²	19 945 km ²	19 749 km ²	15 368 km ²
Kulturland	42,5 %	34,9 %	52,9 %	63,8 %
davon:				
– cultivo de secano	94,6 %	99,7 %	99,1 %	98,0 %
davon:				
Ackernutzung mit Wechselfruchtbau	75,7 %	86,2 %	65,1 %	76,1 %
Dauerkulturen	24,4 %	13,8 %	34,9 %	23,9 %
davon:				
– Obst	2,1 %	14,7 %	1,0 %	1,2 %
– Wein	17,6 %	8,5 %	64,4 %	52,4 %
– Oliven	80,3 %	76,8 %	34,6 %	46,4 %
– cultivo de regadio	5,4 %	0,3 %	0,9 %	2,0 %
Waldland	28,5 %	34,9 %	14,6 %	12,3 %
davon:				
– Staatsforst	1,6 %	0,8 %	7,3 %	8,0 %
– dehesas	76,8 %	31,7 %	59,9 %	13,3 %
– genossenschaftlich und kommunal genutzte Waldflächen	21,6 %	67,5 %	32,8 %	78,7 %
Öd- und Weideland	29,0 %	30,2 %	32,5 %	23,9 %

(Berechnet aus dem „anuario Estadístico 1975“)

gen anpassen. Neben den geringen Niederschlagsmengen in den Sommermonaten kommt noch die Unsicherheit ausreichender Niederschläge zu den Regenzeiten (aperiodische Schwankungen) hinzu.

Die Wirtschaftsfläche im Arbeitsgebiet kann zu über 90 % dem Trockenfeldbau (*campo secano*) zugerechnet werden. Die größte Fläche nimmt dabei das Ackerwechselland ein, auf dem hauptsächlich Weizen und Gerste angebaut wird. Die klimatischen Verhältnisse lassen jedoch nicht jedes Jahr eine Ernte zu, so daß der Anbau in Feldbrachewirtschaften (*cultivo año y vez*) erfolgen muß. Neben dem Ackerwechselland sind Dauerkulturen wie Wein und Oliven ein Hauptanbauprodukt der Agrarlandschaft.

Einen wesentlichen Flächenanteil nimmt auch das Öd- und Weideland ein. Dagegen ist die Anbaufläche im Bewässerungsfeldbau (*campo regadio*) sehr gering, sie hat am Wirtschaftsareal im Arbeitsgebiet einen Prozentanteil von kaum 5 % (Tab. 13).

4.2.1.1 Die Wirtschaftsfläche der Kleinbetriebe

Im Trockenfeldbau der „*minifundistas*“ treten zu den genannten Getreidearten in beschränktem Maß Leguminosen (Kichererbsen, Erbsen, Bohnen, Linsen) und zum Teil auch Kartoffeln. Wegen der

großen Sommertrockenheit werden fast alle Getreidearten als Winterfrüchte angebaut, da sie sonst nicht mehr zur Reife gelangen würden, was eine stärkere Oberbodenbindung während der regenreichen Wintermonate bedeutet.

Die Felder der Kleinbauern legen sich ringförmig um die Ortschaft und sind unregelmäßig parzelliert. Deutlich lassen sie einen schmalen Innenring mit Gärten und kleine intensiv bebaute und gedüngte Felder unterscheiden. Die Zahl der Nutzungsarten (*Fruchtfolgesystem*) im Innenfeld beschränkt sich im wesentlichen auf die Zweifelderwirtschaft (*cultivo año y vez*). Bei diesem Rotationssystem wird das Feld nicht sofort nach der Ernte umgebrochen, bis zum nächsten Jahr dient das Stoppelfeld (*rastrajera*) als Schaf- und Ziegenweide. Erst danach beginnen die Arbeiten auf dem Brachfeld (*barbecho*) für die nächste Aussaat. Eine Bearbeitung der Brache ist also vorhanden, sie ist jedoch wenig intensiv. Um die Ackerflächen von ihren an die Oberfläche tretenden Gesteinsbrocken zu befreien, werden Lesesteinmauern aufgeschichtet, die neben einer Feld- und Weidebegrenzung auch einen brauchbaren Erosionsschutz schaffen (Photo 24). In Ortsnähe stellt man auch häufig eine *regadio-Fruchtfolge* fest. Diese Parzellen sind meist vom Typ der mediterranen Polykultur, wo unter Fruchtbäumen Gemüse verschiedenster Art gezogen wird und zwischen den Stämmen unter Umständen noch Reben gespannt

sind. Natürlich ist diese Bewirtschaftung sehr arbeitsaufwendig und praktisch nur im Kleinbetrieb zu bewältigen.

Diese althergebrachte Wirtschaftsweise mit Kleinparzellierung und gelegentlichem Stockwerkanbau tritt einer umgreifenden Erosionsgefahr weitgehend entgegen. Denn die mediterrane Polykultur bietet ein ökologisches Gleichgewicht des Bodenhaushaltes, wobei Ober- und Unterkulturen sich wechselseitig unterstützen. Die Feuchtspeicherung im Boden kann infolge tiefgründiger Verwurzelung optimal sein und auch die Ausnutzung der Bodenfeuchte und Bodennährstoffe erstreckt sich über verschiedene Tiefen, so daß die Bodenbildung und damit die Bodenfruchtbarkeit günstig beeinflusst werden und es nicht zu so starken Degradierungsformen kommt wie bei den reinen Monokulturen.

Das weitaus größere Außenfeld dagegen ist offenes, extensiv bewirtschaftetes Land. Der Anteil der Brachfläche übersteigt den der bestellten Fläche um ein Vielfaches. Die Bauern lassen das Außenfeld nach der Ernte teils drei bis fünf Jahre brachliegen (BRÜSER 1977) oder nutzen es als Weideland bis wieder genügend Nährstoffe im Boden gesammelt sind, um einen Getreideanbau zu ermöglichen. Diese Art der Bewirtschaftung kann gegenüber eintretender Erosion meist nicht standhalten. Selbst bei Terrassierung der Außenfelder treten während der Nichtinstandhaltung der Brachejahre und durch die Überweidung gravierende Schäden auf. Die Mechanisierung der Landwirtschaft erfuhr in den letzten Jahren in den beiden Untersuchungsgebieten eine unterschiedliche Entwicklung. Während im Westen die Kleinparzellierung der Betriebsgrößen und die Terrassierung der Hänge noch weitgehend unverändert beibehalten werden, gewinnt im östlichen Teil der Montes de Toledo die großflächige Bewirtschaftung immer mehr den Vorrang. Das aber fördert die Bodenerosion. Die Terrassenkulturen werden dabei notwendigerweise vernachlässigt oder ganz aufgegeben, denn erst so wird eine Bearbeitung mit Großmaschinen möglich. So ist auch zu erklären, daß trotz der geringen Reliefenergie im Arbeitsgebiet am Guajaraz wesentlich mehr von Erosionskerben und -schluchten durchzogene Ackerflächen festgestellt werden konnten als in dem Raum um Cañamero.

Bei der Bewirtschaftung spielt aber nicht nur die Flächengröße sondern auch die Richtung der Bearbeitung eine wichtige Rolle. Sie ist mit ein Faktor, warum im Arbeitsgebiet am Guajaraz das Ausmaß der Erosion so gravierend zugenommen hat. Hier

konnte häufig bei stark geschädigten Hängen eine Bearbeitung senkrecht zum Hang beobachtet werden. So kann das hangabwärtsfließende Wasser in den Pflugfurchen ungehindert Bodenmaterial abtransportieren und tiefgreifend erodieren.

Leitlinien für den Abfluß sind oft auch die Furchen zwischen den Äckern oder die Mittelfurchen; das tritt auch dann ein, wenn sie nicht senkrecht zum Hang verlaufen. Diese Mittel- und Seitenfurchen begünstigen mehr als die gewöhnlichen Pflugfurchen einen schnellen Abfluß, weil sie besonders tief ausgepflügt sind und ihre Sohle häufig durch die Oberfläche der Pflugsohle – einer Verdichtungszone im Untergrund des Ackers – gebildet wird. Unter den anderen Pflugfurchen eines Feldes liegt dagegen noch eine Schicht lockeren Bodenmaterials, die eine größere Wassermenge aufnehmen kann, bevor es zu einem oberflächlichen Abfluß kommt (RICHTER 1965). Die Hänge, an denen die Fluren liegen, haben eine Neigung bis zu 20°. Die Äcker an schwächer geneigten Hängen sind im allgemeinen weniger zerstört als die an steileren Hängen. Bei gleichen Bedingungen steigt also auch hier der Zerstörungsgrad mit dem Neigungswinkel, wie es in den Meßreihen festgestellt wurde.

4.2.1.2 Die Wirtschaftsfläche der Großbetriebe

Das Land der Großbetriebe ist in etwa mit der Verbreitung der *dehesas* identisch. Eine einheitliche Wirtschaftsform dieser meist aus Stein- oder Kork-eichen bestehenden Formationen ist nicht zu erkennen. Ihr wichtigster Betriebszweig ist wohl die Viehwirtschaft, die jedoch im Hinblick auf die sommerliche Trockenheit stark eingeschränkt ist, denn die Zahl und Größe der Wasserstellen in den *dehesas* reicht längst nicht aus, um alles Vieh, das im Winter gehalten wird, auch im Sommer mit Wasser zu versorgen. So ist der Oberboden in dieser Zeit von Juni bis etwa Oktober total ausgetrocknet und durch den Viehtritt stark verdichtet. Von November bis Mai dagegen wird der Boden durch eine relativ geschlossene Grünfutterdecke gehalten.

Ein zweiter Betriebszweig auf diesen „*Latifundien*“ ist der Getreideanbau, doch macht er nur knapp ein zehntel dieser gesamten Betriebsfläche aus. Die bestellten Parzellen bilden innerhalb der Eichenhaine große zusammenhängende Stücke und wie auf dem Außenfeld der Kleinbetriebe findet man hier ein *Trockenfeldbausystem* mit Brachzeiten von teilweise 10 Jahren und mehr vor (BRÜSER 1977). Während dieser Brachzeit kommt es aber meist zu einer

gut ausgebildeten Strauch- und Grasvegetation, die eine geschlossene Oberflächenbedeckung auch während der Sommermonate zuläßt. Erst ein oder zwei Jahre vor der Neubestellung wird dieses Land zur Düngung als Schaf- und Ziegenweide benutzt. Die Bearbeitung dieser Felder kann maschinell vorgenommen werden. So kann für diese Wirtschaftsfläche festgestellt werden, daß sie als Weideland genutzt, kaum einen Schutz gegen jegliche Art von Erosionserscheinungen bietet, selbst die relativ geschlossene Grünfutterdecke in den Wintermonaten wird durch die starke Überweidung wieder weitgehend zerstört. Eine wesentlich bessere Konservierung erhält der Oberboden auf den langjährigen Brachfeldern des Getreidetrockenfeldbaus. Hier kann sich im Laufe der Zeit eine fast geschlossene Oberflächenbedeckung bilden, die erst nach Jahren durch Viehverbiß und Viehtritt und anschließende Bearbeitung zerstört wird.

Neben dem campo secano gibt es auf den Latifundien im Arbeitsgebiet gelegentlich auch einen Anbau im *campo regadio*. Die Ausdehnung dieses Bewässerungslandes ist aber gering und vornehmlich durch die Reliefenergie, die Bodenqualität und das Vorhandensein von Flußwasser bestimmt. So finden wir bewässertes Land nur dort, wo Ebenen oder schwach geneigtes Gelände von größeren Bächen oder Flüssen durchzogen werden und wo sich fruchtbare Alluvialböden ausbreiten. Hier werden dann Gemüse, Tomaten, Tabak, Baumwolle und Viehfutter angebaut. Im Latifundiengebiet der Provinz Toledo wurde in der Gemarkung des Dorfes Pueblanueva (15 km östlich von Talavera de la Reina) eine Schwarmsiedlung errichtet, um Landarbeitern eine zusätzliche Erwerbsmöglichkeit zu bieten. Ehemals wurde dieses Gebiet mit Getreide, Olivenbäumen und Weinstöcken bebaut. Bewässerungsfeldbau war minimal.

Elektrische Pumpen heben heute Wasser aus dem Tajo und leiten es durch Wasserzuführungsgräben auf die Felder. Entwässerungsgräben leiten das Wasser wieder dem Tajo zu. Diese „*huertos familiares*“ müssen vom Wirtschaftssystem aber eher den Kleinbetrieben zugerechnet werden, denn sie werden von den Landarbeitern nur saisonweise bewohnt, wenn auf den Latifundien die Arbeit ruht. Dementsprechend muß auch die Fruchtfolge gewählt sein, daß sich die Arbeit auf den „*huertos familiares*“ nicht mit denen auf dem Großgrundbesitz überschneidet. Diese Felder sind aufgrund ihrer Lage in den Flußniederungen und durch die intensive Bearbeitung und Instandsetzung heute

noch weitgehend keiner Bodenzerstörung ausgesetzt.

Zusammenfassend kann noch einmal festgestellt werden: Erosionsschäden kommen auf fast allen Betriebsflächen im ackerbaulich genutzten Teil der Montes de Toledo vor. Doch bestimmt die Art der Bewirtschaftung den Grad der Degradierung. So können Kleinparzellierungen mit mediterraner Polykultur und Terrassierung der Getreidefelder eine wirksame Schutzmaßnahme darstellen, auch langjährige ungestörte Brachzeiten tragen zu einer Bodenerhaltung bei. Ebenso konnte festgestellt werden, daß Getreide- und Grünfutterfelder besser geschützt waren als Flächen mit Leguminosen und Kartoffeln. Häufig kann auch die Richtung der Bearbeitung als Maßnahme gegen die Zerstörung herangezogen werden, denn isohypsenparallele Pflugfurchen zeigen ähnliche Wirkungen wie die Hangterrassierung. Dagegen sind fast alle großflächig bearbeiteten oder stark überweideten Hangabschnitte einer verstärkten Denudation wie auch Erosion ausgesetzt.

4.3 Areale der Abtragsgefährdung

Um die in den Meßfeldern gewonnenen Abtragswerte auf die Montes de Toledo zu extrapolieren, wurden zwei der wesentlichen Faktoren der Boden-erosion, die Hangneigung und die Vegetationsbedeckung herangezogen, um daraus eine *Karte der Abtragsgefährdung* zu entwickeln.

Auf der Grundlage der Isohypsen der topographischen Karte 1:200 000 wurde eine Hangneigungskarte mit den Neigungsklassen 0° bis 4°, 4° bis 8°, 8° bis 20° und >20° erstellt (Abb. 4: Kartenbeilage). Diese Grenzwerte haben sich bei den Messungen als bedeutend für den Abtrag herausgestellt.

In einem Flächenraster von 1 x 1 cm (2 x 2 km) wurde dann ein Neigungsfaktor ermittelt, indem für jede Fläche der Anteil der verschiedenen Neigungsklassen ausplanimetriert wurde. Entsprechend den Ergebnissen der Abtragsmessungen (Kapitel 3.1) wurden die verschiedenen Klassen gewichtet. Die Neigungsstufe >20° erhielt den Faktor 100, die Klasse von 8° bis 20° den Faktor 50, von 4° bis 8° den Faktor 20 und die Klasse von 0° bis 4° den Wert 10. Aus den prozentualen Anteilen der Fläche an einem Quadratcentimeter der Karte wurde durch Bildung des arithmetischen Mittels ein Neigungsfaktor (N) ermittelt.

Aus der *Vegetationskarte* (Abb. 1: Kartenbeilage) wurde die Vegetation entsprechend der Differenzierung für die Meßreihen in Kulturland, lichten Bestand und dichten Bestand eingeteilt. Dabei zählte zu dichtem Bestand der Monte-bajo und die Aufforstungsgebiete mit *Pinus pinaster* und *Pinus pinea*. Da diese Areale mit 1 mm/Jahr im Mittel den geringsten Abtrag aufwiesen, erhielten sie den Faktor 0,1. Kulturland mit bis zu 11 mm Abtrag/Jahr dagegen wurde mit dem Faktor 1,1 belegt. Zu den lichten Beständen mit durchschnittlich 4 bis 5 mm Abtrag zählen die *dehesas* mit den verschiedenen Eichen-Arten, die Kastanien und die Aufforstungen mit *Eukalyptus globulus*, die weitgehend von Unterwuchs frei sind. Entsprechend den mittleren Abtragsraten wurde der lichte Bestand mit dem Wert 0,5 belegt. Durch Ausplanimetrieren und Mittelbildung wurde dann ebenfalls für jedes Rasterfeld (1 x 1 cm) ein Vegetationsfaktor (V) zwischen 0,1 und 1,1 ermittelt.

Das Produkt aus dem Vegetationsfaktor (V) und dem Neigungsfaktor (N) ergibt den *Faktor der Abtragsgefährdung* (E)

$$E = V \cdot N.$$

Die Spannweite von E variiert von 110 bei vegetationsfreien Hängen $>20^\circ$ ($E = V \cdot N = 1,1 \cdot 100 = 110$) bis zu 1 bei flachen Geländeauschnitten unter 4° Neigung mit dichter Vegetation ($E = V \cdot N = 0,1 \cdot 10 = 1$).

Diese Werte wurden in vier *Gefährdungsstufen* der Abtragung eingeteilt:

- E = 1 bis 5 nicht bis leicht abtragsgefährdet
- E = 5 bis 20 abtragsgefährdet
- E = 20 bis 55 stark abtragsgefährdet
- E = 55 bis 100 akut abtragsgefährdet

Diese Grenzwerte der Abtragsgefährdungsstufen wurden wiederum aus den Meßergebnissen abgeleitet. So sind Flächen zwischen 0° bis 4° Neigung (N = 10) mit einem dichten (V = 0,1) bis lichten (V = 0,5) Bestand nicht bis leicht abtragsanfällig (E = 1 bis 5).

Als abtragsgefährdet müssen die Vegetationsformation Kulturland (V = 1,1) und lichter Bestand (V = 0,5) bei Hangneigungen zwischen 4° und 8° (N = 20) angesehen werden. ($E \approx 20$).

Eine mehr oder weniger starke Abtragsgefährdung ist dann bei Neigungen über 8° (N = 50) sowohl in den lichten Beständen wie auch im Kulturland zu erwarten (E = 55).

Eine akute Gefahr von Abtragsschäden tritt in den Vegetationsstufen licht und frei mit Neigungswinkeln über 20° auf (E = 110), doch auch die dichten Bestände sind bei Hangneigungen über 20° verstärkt abtragsgefährdet (s. Kapitel 3.2).

Die Gefährdungsstufe E = 55–110 konnte im Arbeitsgebiet nicht ausgewiesen werden, da die steilen Hangneigungen meist mit einer dichten Monte-bajo-Vegetation bestanden sind. Im Kulturland werden Hangneigungen bis zu 20° nur selten erreicht. Die auftretenden vegetationslosen Gebiete wie z. B. die Brandschneisen sind in ihrem Flächenanteil zu gering, um in den Rasterfeldern von 2 x 2 km (1 x 1 cm auf der Karte) zum Ausdruck zu kommen.

Die Gefährdungsstufe E = 5–20 ist am häufigsten vertreten. Hier werden sowohl die Gebiete mit einer geringen Hangneigung und vorwiegendem Kulturland, wie im nördlichen Vorland der Montes Toledo, wie auch steilere Hangabschnitte mit einer lichten bis dichten Vegetationsbedeckung zusammengefaßt. Beide Areale sind, wie bereits aus den Meßergebnissen hervorging, durch rezente Abtragung gefährdet (Abb. 39: Kartenbeilage).

Geschlossene Gebiete mit keiner bis geringer Abtragsgefährdung mit E = 1–5 sind vorwiegend im Südwesten des Arbeitsgebietes zu finden, wo einmal durch eine dichte Monte-bajo-Bedeckung die Hänge geschützt werden, wie z. B. im Bereich der Sierra de Palomera, oder wo weit auslaufende Flächen durch lichte bis dichte Vegetation gehalten werden, wie im Gebiet zwischen dem Rio Rucas und dem Rio Gargaligas (Abb. 39: Kartenbeilage).

Deutlich hervortreten die Sierrenketten mit ihren steilen Hangabschnitten, die meist mit lichten Quercus-Formationen bestanden sind. Sie bilden die abtragsgefährdetsten Areale mit E = 20–55 im Arbeitsgebiet (Abb. 39: Kartenbeilage).

5. Zusammenfassung

Wie die Untersuchungen in den Randgebieten der Montes de Toledo gezeigt haben, sind die Vegetation, das Klima, die Reliefenergie, bodenphysikalische Eigenschaften und die anthropogenen Aktivitäten, die für den *Bodenabtrag bestimmenden Faktoren*.

Um das Problem der „Bodenerosion“ in Zentralspanien in seinen Ursachen und Auswirkungen zu analysieren, wurden die *Klimadaten*, insbesondere Niederschlag und Temperatur, für diesen Raum ausgewertet, wobei besonderes Augenmerk auf Starkregen und Gewitter gelegt wurde.

Die *Reliefenergie* als zweiter wesentlicher Faktor der Bodenabspülung wurde durch Aufnahme der Neigungen im Gebiet der Meßreihen berücksichtigt und die Meßergebnisse mit Hilfe einer Hangneigungskartierung auf das Gebiet der Montes de Toledo extrapoliert.

Auf der Basis der „mapa forestal de España 1:400 000“ wurden die *Vegetationsformationen* der verschiedenen Teilräume aufgenommen und als abtragungshemmender Faktor ausgewiesen.

Wesentlich für die Abtragungsgefährdung sind die *bodenphysikalischen Eigenschaften* der Bindigkeit, der Infiltrationskapazität und der Wasserdurchlässigkeit, die durch Korngrößenanalysen, kf-Wert-Bestimmungen und Infiltrationsmessungen erfaßt wurden.

Ein Vergleich dieser Meßdaten auf der Basis der Abtragungspegelmessungen ergab, daß durch Vegetation gebundene Oberflächen den wirksamsten *Erosionsschutz* bilden. Die *Hangneigungen* spielen bei geschlossener Vegetationsdecke bis zu einem bestimmten Grenzwinkel, der für das Untersuchungsgebiet bei 20° liegt, nur eine untergeordnete Rolle. Hier werden *Abtragungsraten* von durchschnittlich 0,1 cm im Jahr nicht überschritten. Bei nur lichter Vegetation steigen die Werte auf 0,3 cm im Jahr an, und bei völlig ungebundener Oberfläche lagen die Abtragsbeträge bis zu 5°

Hangneigung bereits bei 0,4 cm, bis 10° bei 1 cm, bis 15° bei 1,3 cm und bis 20° bei 1,8 cm im Jahresdurchschnitt. Bei Hangneigungen über 20° konnten selbst bei einer dichten Oberflächenbedeckung der Vegetation bis zu 0,9 cm Bodenabtrag im Jahr gemessen werden. Die Einflüsse der Hanglänge und der Hangform auf den Bodenabtrag wurden durch die individuelle Lage und lokale Bedingungen der einzelnen Meßpegel am Hang überlagert.

Neben der Vegetation und den Hangneigungen konnten *bodenstrukturelle Merkmale* als differenzierende Parameter beim rezenten Hangabtrag festgestellt werden. Vergleichsmessungen der kf-Werte von Proben des sandig-grusigen Verwitterungsdetritus des Granits, den zum Teil lehmig-tonigen Substraten der Rañas und der Verwitterungsdecken im Quarzit zeigten Unterschiede in der Wasseraufnahmefähigkeit von $1,2 \times 10^{-3}$ cm/s zu $1,3 \times 10^{-4}$ cm/s.

Die *Auswertung der Niederschlagsmessungen* zeigte, daß in diesem Klimabereich jeder Niederschlag eine abtragende, schädigende Wirkung hat, die jedoch nach Art und Intensität unterschiedlich ist. So konnte festgestellt werden, daß auf ein Sommerhalbjahr (April bis September) etwa ein Drittel der jährlichen Transportbilanz (Abtrag bzw. Akkumulation) am Hang entfallen, was auf verstärkte Gewittertätigkeit und einen schlechten Vegetationsschutz des Oberbodens im Sommer zurückzuführen ist. Zwei Drittel der gesamten Transportbilanz entfallen auf das Winterhalbjahr (Oktober bis März), wenn höhere Niederschlagssummen in Form von anhaltenden Land- und Starkregen fallen.

Als Ursache für einen verstärkten Bodenabtrag konnten *anthropogene Einflüsse* festgestellt werden. Großflächig bearbeitete und stark überweidete Hangabschnitte zeigten deutliche Erosions- und Denudationserscheinungen. Während Kleinparzellierung und Terrassierung der Hänge sowie eine isohypsenparallele Bearbeitung als Maßnahmen gegen eine weitgehende Zerstörung angesehen werden können.

6. Summary

As studies in the area bordering the Montes de Toledo have shown, the factors influencing soil erosion are vegetation, climate, relief intensity, soil-physical characteristics and human activity.

In order to analyse in detail the causes and effects of soil erosion in Central Spain, climatic data (rainfall and temperature) of the area were evaluated and special attention was paid to extreme data such as rain storms.

Relief intensity, the second important factor determining soil erosion, was extrapolated by measuring slope steepness in the study area and extending these results with the help of the slope steepness map to cover the Montes de Toledo area.

On the basis of the "mapa forestal de España 1:400 000" the vegetation type of the various sub-areas was established and proved to be a factor impeding erosion.

The extent of erosion risk depends on soil-physical characteristics such as cohesion, infiltration capacity and permeability, which are determined by means of soil particle size analysis and the measurement of hydraulic conductivity and infiltration. A comparison of these data with erosion gauge measurements produced the following results:

Surfaces with vegetation cover provide the most effective check to erosion.

Given a dense plant cover, slope steepness plays only a minor role up to a certain critical angle, which is 20° in the study area; the maximum rate of erosion here averages (-0.1) cm per year. Given sparse plant cover, the values rise to (-0.3) cm per year; given a completely bare surface, erosion reaches an annual average of (-0.4) cm at up to 5° slope steepness, (-1.0) cm at up to 10°, (-1.3) cm at 15°

and (-1.8) cm at 20°. On slopes with an inclination over 20°, up to (-0.9) cm of soil erosion per year were measured, even when the vegetative cover was dense.

The relations soil erosion – slope length and soil erosion – slope form are modified according to the situation of individual gauges on the slopes.

As well as vegetation and slope steepness, soil structure was shown to be a differentiating parameter in recent slope erosion. Comparative measurements of K-values on sandy-gritty weathered detritus of granite and on the partly loamy-clayey substrata of the ranas and the weathering mantles in quartzite showed differences in the capacity to absorb water ranging from 1.2×10^{-3} cm/sec to 1.3×10^{-4} cm/sec.

The evaluation of the precipitation data showed that, in this climatic area, each rainfall is an erosion hazard, varying, however, according to type and intensity. It was shown that roughly a third of the annual slope movements take place in the summer half-year (April – September). These are caused by an increase in thunderstorms and a loose ground cover. Two-thirds of the entire movements occur during the winter half-year (October – March), when precipitation in the form of continuous steady and storm rainfall increases.

A further cause of increased soil erosion is the human factor. Slope sections that have undergone large-scale cultivation and overgrazing show clear evidence of erosion and denudation. On the other hand, the farming of small units of land, the construction of terraces on the slopes and cultivation on the contour represent effective measures against widespread erosion.

Translated by A. Beck

7. Résumé

Les recherches à la bordure des Montes de Toledo ont démontré que les facteurs qui déterminent l'érosion du sol sont la végétation, le climat, le relief, les qualités physiques du sol et les activités humaines.

Pour mieux analyser les causes et les conséquences de l'érosion du sol en Espagne central on a interprété les données climatiques, les précipitations et la température. Pour cette interprétation on a surtout tenu compte des données météorologiques comme par exemple des pluies d'orages. Comme le relief est le deuxième facteur essentiel de l'érosion du sol on a mesuré l'inclinaison des pentes dans la région de recherche, et, par extension des résultats des mesurages à l'aide d'une carte d'inclinaison des pentes, on les a extrapolés pour toute la région des Montes de Toledo.

La «mapa forestal de España 1:400 000» a donné l'information sur les types de végétation qui ont un effet ralentissant sur l'érosion dans les régions partielles différentes.

Le risque d'érosion dépend essentiellement des qualités physiques du sol comme la cohésion, la capacité d'infiltration et la perméabilité constatées par des analyses granulométriques, la conductivité hydrologique et des mesurages d'infiltration. Une comparaison de ces résultats à la base de mesurages de l'érosion sur les pentes a montré que la végétation donne la meilleure protection au sol contre l'érosion: L'inclinaison de la pente joue un rôle peu important dans cette région si la végétation couvre complètement le sol et l'inclinaison a moins de 20°, l'érosion surmonte pas 0,1 cm/a en moyenne. Si la végétation est clairsemée, les valeurs atteignant 0,3 cm/a et, si le sol est découvert, l'érosion monte sur une pente jusqu'à 5° à 0,4 cm/a, sur une pente jusqu'à 10° à 1,0 cm/a, jusqu'à 15° à 1,3 cm/a et jusqu'à 20° à 1,8 cm/a en moyenne. Si l'inclinaison

de la pente a plus de 20°, même la végétation n'évite pas l'érosion du sol jusqu'à 0,9 cm/a.

Les relations entre l'érosion du sol et la longueur de la pente ainsi qu'entre l'érosion et la forme de la pente ne pouvaient pas être toujours constatées à cause des positions individuelles des jalons aux pentes.

Ce ne sont pas seulement la végétation et l'inclinaison des pentes qui influencent l'érosion, mais c'est aussi la structure du sol qui a une grande influence sur l'érosion actuelle. On a comparé des mesurages de la conductivité hydrologique d'échantillons pris de matériel détritique sableur du granite, de matériel parfois limoneux – argileux des rañas et de matériel décomposé des quartzites; les capacités d'infiltration différaient de $1,2 \times 10^{-3}$ cm/s. à $1,3 \times 10^{-4}$ cm/s.

L'interprétation des mesurages des précipitations a montré que, dans cette région climatique toute sorte de précipitations provoque l'érosion, mais la manière et l'intensité sont différentes. On pouvait constater qu'au semestre d'été (avril – septembre) un tiers des mouvements sur la pente se déroulent, provoqué par l'augmentation des pluies d'orages et un sol mal fixé par la végétation. Deux tiers des mouvements ont lieu pendant le semestre d'hiver (octobre – mars) quand les précipitations tombent sous forme de pluies continues et pluies forte.

Des influences humaines donnent des cause additionnelle pour l'érosion renforcée. Si de grandes parties de la pente sont trop exploitées par l'agriculture ou le pâturage, on constate des traces distinctes d'érosion et de dénudation. Au contraire, de petites parcelles et des terrasses ainsi qu'une culture parallèle aux isohypes évitent la destruction rapide de la pente.

Übersetzt von Dr. M. Böse

7. Resumen

Las investigaciones en los alrededores de los Montes de Toledo demuestran que los factores que determinan la erosión son la vegetación, el clima, el relieve, las propiedades físicas del suelo y las actividades antropógenas.

Para analizar de cerca los problemas de la erosión del suelo en el centro de España en sus causas y efectos, se examinaron los datos climatológicos «precipitaciones y temperatura» atendiendo especialmente a los datos meteorológicos extremos como p. e. lluvias tormentosas.

Como el relieve es el segundo factor de la erosión del suelo, se midió la inclinación de las pendientes cerca de los puntos de investigación.

Para hallar los resultados de la región entera de los Montes de Toledo se calcularon las inclinaciones de las pendientes con ayuda de mapas topográficos.

Cogiendo como base «el mapa forestal de España 1:400 000» se cartografiaron en las partes diferentes de la región las formaciones de la vegetación, demostrando que es un factor que detiene la erosión.

El riesgo de la erosión depende esencialmente de las propiedades físicas del suelo como cohesión, capacidad de infiltración y permeabilidad registrado a través del análisis granulométrico y de las mediciones de la conductividad hidráulica y de la infiltración.

Una comparación de estos datos con los de las mediciones hecha con la marca de nivel de la erosión dió el siguiente resultado: Las superficies ligadas por la vegetación son la protección más eficaz de la erosión.

Cubriendo la vegetación la totalidad del suelo de la pendiente, las inclinaciones ocupan un lugar secundario hasta un ángulo que en la región investigada es menor de 20° por término medio, aquí la erosión no sobrepasa la cantidad de 0,1 cm al año.

Si la vegetación cubre ligeramente el suelo de la superficie de la pendiente aumentan los valores de la erosión hasta 0,3 cm al año. Estando la pendiente

totalmente descubierta llegan las cuotas de la erosión por término medio cerca de 0,4 cm cuando la inclinación es de 5°, cerca de 1,0 cm cuando es de 10°, cerca de 1,3 cm cuando es de 15°, cerca de 1,8 cm cuando es de 20°. Si las inclinaciones son mayores de 20° se puede medir hasta 0,9 cm al año cuando las superficies están cubiertas de vegetación densa.

Las relaciones entre la erosión del suelo y la longitud de la pendiente y entre la erosión y la forma de la pendiente están superpuestas por la situación individual de la posición de las marcas de nivel de erosión en las pendientes.

Se comprobó que además de la vegetación y de inclinación de las pendientes, influyen sobre la erosión reciente las características de la estructura del suelo. Comparando las mediciones de la conductividad hidráulica hechas en el material de desintegración arenoso del granito y en las sustancias arcillosas barrosas de las rañas y en las capas de desintegración del cuarzo mostraban diferencias en la capacidad de infiltración de $1,2 \times 10^{-3}$ cm/s a $1,3 \times 10^{-4}$ cm/s.

El examen de las medidas de las precipitaciones muestran que en esa región climática cada precipitación provoca efectos erosivos, los cuales hay que modificar según su modo e intensidad. Un tercio de los movimientos del suelo se produce durante el semestre veraniego (abril – septiembre), los cuales son provocados por el aumento de las lluvias tormentosas y una superficie mal ligada por la vegetación. Dos tercios del movimiento se producen en el semestre invernal (octubre – marzo) cuando las precipitaciones caen en forma de lluvias incesantes y lluvias torrenciales.

Se averiguó que las influencias antropógenas son unas de las causas del aumento de la erosión.

Las pendientes que están cultivadas en grandes parcelas o donde padece un número excesivo de granadas muestran signos claros de erosión. Una cultivación en parcelas pequeñas y en forma de terrazas o una cultivación paralela a las isohipsas evitan la destrucción desmesurada de la pendiente.

Übersetzt von Th. Brettschneider

Literaturverzeichnis

- AFOROS 4 CUENCA DEL GUADIANA 1966-1974: Hrsg.: Ministerio de Obras publicas, Madrid.
- AFOROS 3 CUENCA DEL TAJO 1966-1974: Hrsg.: Ministerio de Obras publicas, Madrid.
- ALIA MEDINA, M. 1944: Datos morfologicos y estratigraficos de los alrededores de Toledo. – Bol. R. Soc. Hist. Nat. 42: 613-614, Madrid.
- ALIA MEDINA, M. 1947: Datos geomorfologicos de la region toledana: el curso inferior de rio Algodor y el principio de la Mancha. – Estudios Geogr. 8: 313-340, Madrid.
- ANDERSON, E. W. & FINLAYSON, B. 1975: Instruments for measuring soil creep. – Techn. Bull. Brit. Geom. Res. Group 16: 1-51, Norwich.
- ARNOLDUS, H. M. 1977: Predicting soil losses to sheet and rill erosion. – FAO Conservation Guide 1: 99-124, Rom.
- ANUARIO ESTADISTICO DE ESPAÑA 1975: Hrsg.: Ministerio del desarrollo, Instituto nacional de estadistica: 1-775, Madrid.
- APARICIO YAGUE, A. 1971: Estudio geologico del macizo cristalino de Toledo. – Estudios Geol. 27: 369-414, Madrid.
- BARGON, E. 1962: Bodenerosion, ihr Auftreten, ihre Erkennung und Darstellung. – Geol. Jahrbuch 79: 479-492, Hannover.
- BARNER, J. 1978: Rekultivierung zerstörter Landschaften. – 1-220, Stuttgart.
- BARTHEL, H. & MANSFELD, K. & SANDNER, E. 1973: Flächen gleicher Abflußbereitschaft bei sommerlichen Starkregen. – Pet. Mitt. 117: 107-116, Gotha.
- BARSCHE, D. & FRÄNZLE, O. & LESER, H. & LIEDTKE, H. & STABLEIN, G. 1978: Das GMK 25 Musterblatt für das Schwerpunktprogramm Geomorphologische Detailkartierung in der Bundesrepublik Deutschland. – Berliner Geogr. Abh. 30: 7-19, Berlin.
- BAUER, E. 1963: Die Wiederaufforstung der verkarsteten Gebirge Spaniens als wirksame Maßnahme zum Eindämmen von Erosion und Überschwemmungen. – Dt. Gewässerkd. Mitt. 7 (4): 77-83, Koblenz.
- BAUER, E. 1965: Die Aufforstungen in Spanien – Entwicklung, Grundlagen und Erfahrungen. – Forstarchiv 36 (1): 1-8, Hannover.
- BAUMGART, H. 1965: Begriffserklärungen und theoretische Überlegungen im Zusammenhang mit Versickerungsmessungen in Zylinderinfiltrometer. – Wasser u. Boden 8: 274-277, Hamburg.
- BECHTLE, W. 1974: Oberflächenabfluß, Bodenabtrag und Nährstoffauswaschungen in steilen Hanglagen – Erosionsversuche Eßlingen-Mettingen. – Wasser u. Boden 26 (1): 1-4, Hamburg.
- BENNET, H. H. 1939: Soil Conservation. – 1-993, New York-London
- BENNET, H. H. 1960: Soil erosion in Spain. – The Geogr. Review 50: 52-72, New York.
- BERNATZKY, A. 1961: 20 Jahre Wiederaufforstung in Spanien. – Umschau in Wissens. u. Technik 3: 76-78, Frankfurt a. M.
- BEUG, H. J. 1968: Probleme der Vegetationsgeschichte in Südeuropa. – Ber. Dt. Botan. Ges. 80: 682-689, Berlin.
- BRECHTEL, R. 1970: Der Einfluß der Bodenerosion auf die Böden des Medjerda Tales und seine Randgebiete. – 1-102, Gießen.
- BRECHTEL, H. M. & DÖRING, K. W. 1974: Die Steuerung des Schneewasserreservoirs durch forstliche Maßnahmen. – Wald u. Wasser 49: 1099-1102, München.
- BRÜSER, G. 1977: Die Landwirtschaftsformation in Alta Extremadura. – 1-129, Saarbrücken.
- BRYAN, R. B. 1974: A simulated rainfall test for the prediction of soil erodibility. – Z. Geomorph. N. F. Supp. Bd. 21: 138-150, Berlin-Stuttgart.
- BRYAN, R. B. 1974: Water erosion by splash and wash and the erodibility of Albertan soils. – Geogr. Annaler Vol. 56 (3/4): 159-181, Stockholm.
- BRYAN, R. B. 1976: Consideration on soil erodibility indices and sheet wash. – Catena 3 (1): 99-111, Gießen.
- BUDEL, J. 1949: Die räumliche und zeitliche Gliederung des Eiszeitklimas. – Naturwissensch. 4/5: 105-112, 133-139, Berlin.
- BUNZA, G. & PORZELT, M. 1977: Erosionsstäbe für die Messungen des natürlichen Bodenauftrages in Ackerflächen. – Wasser u. Boden 29 (4): 100-102, Hamburg.
- CAMPELL, I. A. 1970: Micro-relief measurements on unvegetated shale slopes. – Prof. Geogr. 22: 215-220, Washington.
- CAMPELL, I. A. 1974: Measurements of erosion on badlands surfaces. – Z. Geomorph. Suppl. Bd. 21: 122-137, Berlin-Stuttgart.
- CORBEL, J. 1964: L'érosion terrestre, étude quantitative méthodes-techniques-résultats. – Ann. d. Geogr. 73 (398): 385-412, Paris.
- CULLING, W. E. H. 1963: Soil creep and the development of hillside slopes. – J. Geology 71: 127-161, Chicago.
- CURTIS, L. F. & TRUDGILL, S. 1975: The measurement of soil moisture. – Techn. Bull. Brit. Geom. Res. Group 13: 1-70, Norwich.
- DYRNESS, T. 1975: Grass-legume mixtures for erosion control along forest roads in western Oregon. – Journ. of Soil a. Water Conserv. 30 (4): 169-173, Baltimore.
- ERIKSEN, W. 1971: Die Häufigkeit meteorologischer Fronten über Europa und ihre Bedeutung für die klimatische Gliederung des Kontinents. – Erdkunde, 25: 163-177, Bonn.
- ERN, H. 1966: Die dreidimensionale Anordnung der Gebirgsvegetation auf der Iberischen Halbinsel. – Bonn. Geogr. Abh. 37: 1-136, Bonn.
- FAO 1965: Soil erosion by water, some measures for its control on cultivated lands. – FAO Agricult. Developm. Paper 81: 1-284, Rom.
- FERRER GRANDA, J. 1968: Nuestros arboles forestales. – Hrsg.: Min. d. Agric.: 1-127, Madrid.
- FIGULA, K. 1976: Planung und Maßnahmen eines komplexen Erosionsschutzes für das Karpatengebiet. – Wege d. Forsch. 430: 451-469, Darmstadt.
- FINLAYSON, B. L. & OSMOSTON, H. A. 1977: An instrument system for measuring soil movement. – Techn. Bull. Brit. Geom. Res. Group 19: 1-32, Norwich.
- FISCHER, K. 1974: Die Pedimente im Bereich der Montes de Toledo – Zentralspanien. – Erdkunde 28 (1): 5-13, Bonn.
- FISCHER, K. 1977: Reliefgenerationen im Gebiet der Montes de Toledo – Zentralspanien. – Würzbg. geogr. Arb. 45: 69-87, Würzburg.

- FRANZLE, O. 1978: Formaciones glaciares y periglaciares en el sector oriental de sistema central. – *Estudios Geogr.* 39 (151): 203-231, Madrid.
- FUSTER, F. 1970: Memoria para la hoja 53 Esc. 1:200 000 (Toledo) PNIM (Particular).
- GANSSEN, R. 1968: Trockengebiete: Böden, Bodennutzung, Bodenkultivierung, Bodengefährdung. – 1-186: Mannheim-Zürich.
- GEHRENKEMPER, J. 1978: Rañas und Reliefgenerationen der Montes de Toledo in Zentralspanien. – *Berliner Geogr. Abh.* 30: 1-81, Berlin.
- GIESSNER, K. 1971: Der mediterrane Wald im Maghreb. – *Geogr. Rundschau* 23: 390-401, Bonn.
- GIESSNER, K. 1977: Hydrometrische Erosionsbestimmungen und morphodynamische Prozeßanalyse in Nordafrika. – *Mitt. Baseler Afrika Bibl.* 19: 46-80, Basel.
- GLADFELTER, B. G. 1971: Meseta and campiña landforms in Central Spain. – *Univ. of Chicago, Dept. of Geogr., Res. Paper* 130: 1-204, Chicago.
- GÖBEL, P. 1977: Vorläufige Ergebnisse der Messungen gravitativer Bodenbewegungen auf bewaldeten Hängen im Taunus. – *Catena* 3 (3/4): 387-398, Gießen.
- GRACANI, Z. 1973: Bodenerhaltung als Teil des Umweltschutzes im Bereich der mediterranen Macchie. – *Allgem. Forst- und Jagdzeitung* 144 (9/10): 197-203, Frankfurt a. M.
- GROSSE, B. 1950: Die Bodenerosion in Deutschland und ihre Kartierung als Grundlage für eine systematische Bekämpfung. – *Z. f. Raumforsch. u. Raumordnung* 1/2: 40-51, Bonn, Bad Godesberg.
- GROSSE, B. 1970: Die beschleunigte Bodenabtragung als ein anthropogen beeinflusster Teilprozeß der Erosion und Denudation. – *Z. Dt. Geol. Ges.* 122: 11-21, Hannover.
- HADLEY, R. F. 1977: Some concepts of erosional processes and sediment yield in a semiarid environment. – *GEO books: Erosion*, Hrsg.: T. J. TOY: 73-82, Norwich.
- HARTGE, K.-H. 1971: Die physikalische Untersuchung von Böden. – 1-168, Stuttgart.
- HASSENPFUG, W. 1968: Studien zur rezenten Hangüberformung in der Knick-Landschaft Schleswig-Holsteins. – *Diss. Univ. Kiel*: 1-267, Kiel.
- HASSENPFUG, W. 1969: Messungen zur Bodenumlagerung in der Knick-Landschaft Schleswig-Holsteins. – *Schr. Naturw. Ver. Schleswig-Holst.* 39: 29-39, Kiel.
- HEMPEL, L. 1951: Über die Meßbarkeit von Bodenerosion. – *Z. f. Pflanzenern., Düng. und Bodenk.* 100: 106-110, Berlin.
- HEMPEL, L. 1966: Bodenerosion in landeskundlicher Sicht. – *Neues Archiv f. Ndrs.* 15 (4): 292-296, Göttingen.
- HEMPEL, L. 1968: Bodenerosion in Süddeutschland – Erläuterungen zu Karten von Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinlandpfalz und Saarland. – *Forsch. z. Dt. Landesk. d.* 179: 1-12, Bad Godesberg.
- HEMPEL, L. Die Tendenzen anthropogen bedingter Relief- formung in den Ackerländereien Europas. – *Z. Geomorph. N. F.* 15: 312-329, Berlin-Stuttgart.
- HEMPEL, L. 1978: Physiogeographische Studien auf der Insel Fuerteventura (Kanarische Insel). – *Münst. Geogr. Arb.* 3: 52-103, Paderborn.
- HERNANDEZ-PACHECO, E. 1929: Datos geologicos de la meseta toledana-cacereña y de la fosa del Tajo. – *Mem. Real. Soc. Esp. Hist. Nat.* 15: 183-202, Madrid.
- HERRMANN, R. 1971: Die zeitliche Änderung der Wasserbindung im Boden unter verschiedenen Vegetationsformen der Höhenstufen eines tropischen Hochgebirges (Sierra Nevada De St. Marta/Kolumbien). – *Erdkunde* 25: 90-102, Bonn.
- HEYER, E. 1972: Witterung und Klima. – 2. Aufl.: 1-406, Leipzig.
- HILLS, R. C. 1970: The Determination of the infiltration capacity of field soils using the cylinder infiltrometer. – *Techn. Bull. Brit. Geom. Res. Group* 3: 1-25, Norwich.
- HUDSON, N. 1971: Soil Conservation. – 1-32, Ithaka-New York.
- ILLNER, K. 1955: Über den Einfluß der Vegetation auf die Bodenerosion. – *D. Dt. Landw.* 6 (12): 603-606, Berlin.
- ILLNER, K. 1957: Zur landwirtschaftlichen Bedeutung der Bodenerosion durch Wasser. – *D. Dt. Landw.* 8 (11): 534-537, Berlin.
- JOHN, A. & CIELINSKA, M. 1973: The rate of soil movement in the Sudety mountains. – *Abh. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Phys. Kl.* 3, 29: 86-101, Göttingen.
- JUNG, L. 1955: Anlage zur Messung von Abfluß und Abtrag auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. – *Wasser u. Boden* 7, (6): 196-198, Hamburg.
- JUNG, L. 1960: Über Veränderungen der Bodenoberfläche durch abfließende Niederschlagswässer. – *Wasser u. Boden* 12, (1): 10-13, Hamburg.
- KAYSER, K. 1952: Soil erosion (Bodenverheerung) und Normalabtrag. – *Dt. Geogr. Tag Frankfurt a. M. 1951, Tagungsber. u. Wiss. Abh.* 28: 189-192, Remagen.
- KELLER, G. 1969: Angewandte Hydrologie. – 1-411, Hamburg.
- KEULEN, VAN H. 1975: Simulation of water use and herbage growth in arid regions. – 1-175, Wageningen.
- KIRKBY, M. J. 1967: Measurements and theory of soil creep. – *J. Geology* 75: 359-378, Chicago.
- KIRKBY, A. & KIRKBY, M. J. 1974: Surface wash at the semi-arid break in slope. – *Z. Geomorph. N. F. Supp.* 21: 151 bis 176, Berlin-Stuttgart.
- KLINK, H.-J. 1972: Geoökologie und naturräumliche Gliederung – Grundlagen der Umweltforschung. – *Geogr. Rundschau* 24, (1): 1-19, Braunschweig.
- KNAPP, B. J. 1973: A system for the field measurement of soil water movement. – *Techn. Bull. Brit. Geom. Res. Group* 9: 1-26, Norwich.
- KOHL, F. 1971: Kartieranleitung. – *Arb. Gem. Bodenk.*: 1 bis 169, Hannover.
- KUBIENA, W. L. 1953: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. – 1-392, Stuttgart.
- KUBIENA, W. L. 1954: Über Reliktböden in Spanien. – *Veröff. Kärntner Landesinst. f. angew. Pflanzens.* 1, Festschrift Aichinger: 213-224, Klagenfurt.
- KUBIENA, W. L. 1956: Kurze Übersicht über die wichtigsten Böden, Formen der Bodenbildung in Spanien. – *Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich* 31: 23-31, Bern.
- KUBIENA, W. L. 1962: Die Böden des mediterranen Raumes. – *Intern. Kongr. über Kali/Athen* 1. – 4. 5. 1962: 167 bis 190, Bern.
- KUGLER, H. 1964: Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäbiger geomorphologischer Kartierung. – *Wiss. Veröff. Dt. Inst. Länderkunde, N. F.* 21/22: 541-655, Leipzig.
- KUGLER, H. 1965: Aufgabe, Grundsätze und methodische Wege für großmaßstäbiges geomorphologisches Kartieren. – *Pet. Mitt.* 109: 241-257, Gotha.
- KURON, H. 1953: Bodenerosion und Nährstoffprofil. – *Mitt. Inst. f. Raumforsch. Bonn* 20: 73-91, Bad Godesberg.

- KURON, H. 1956: Ergebnisse von 15jährigen Untersuchungen über Bodenerosion durch Wasser in Deutschland. – Dt. Ber. z. Intern. Hydrol. Tagung in Rom 1954: 7-14, Bonn.
- KURON, H. 1956: Beobachtungen über Bodenerosion nach einem Unwetter im Odenwald. – Mitt. Inst. f. Raumforsch. Bonn 20: 147-164, Bad Godesberg.
- KWAAD, F. J. P. M. 1977: Measurements of rainsplash erosion and the formation of colluvium beneath deciduous woodland in the Luxembourg Ardennes. – Earth Surface Processes 2: 161-173, London-New York-Sydney-Toronto.
- LAUER, W. 1964: Formen des Feldbaus im semiariden Spanien – dargestellt am Beispiel der Mancha. – Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel 15: 1-76, Kiel.
- LAUTENSACH, H. 1951: Die Niederschlagshöhen auf der Iberischen Halbinsel. – Pet. Mitt. 95: 145-160, Gotha.
- LAUTENSACH, H. & MAYER, E. 1960: Humidität und Aridität, insbesondere auf der Iberischen Halbinsel. – Pet. Mitt. 104: 249-270, Gotha.
- LAUTENSACH, H. 1964: Iberische Halbinsel. – 2. Aufl.: 1-700, München.
- LEHMANN, O. 1931: Über die Bewegungsenergie des Regenwassers. – Z. Geomorph. 6: 233-254, Berlin-Stuttgart.
- LEOPOLD, L. B. & EMMETT, W. W. & MYRICH, R. W. 1966: Channel and hillslope processes in semi-arid area, New Mexiko. – US Geol. Surv. Prof. Paper 352 – G: 193-253, Washington.
- LEOPOLD, L. B. 1970: Reviews of studies of hillslopes – USA. – Z. Geomorph. Suppl. Bd. 9: 57-66, Berlin-Stuttgart.
- LEOPOLD, L. B. 1976: Reversal of erosion cycle and climatic change. – Dep. Geol. a. Geophys., Univ. California: 557-562, Berkley.
- LEOPOLD, L. B. & EMMETT, W. W. 1972: Some rates of geomorphological Processes. – Geographica polonica 23: 27-35, Warschau.
- LESER, H. 1976: Landschaftsökologie. – 1-432, Stuttgart.
- LESER, H. & STABLEIN, G. (Hrsg.) 1975: Geomorphologische Kartierung, Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25 000. – Berliner Geogr. Abh., Sonderheft: 1-39, Berlin.
- LOTZE, F. 1945: Einige Probleme der Iberischen Meseta. – Geotekt. Forsch. 6: 1-12, 78-92, Berlin.
- LÜDI, W. (Hrsg.) 1956: Die Pflanzenwelt Spaniens. – Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich 31: 1-298, Bern.
- LUSBY, G. C. 1977: Determination of runoff and sediment yield by rainfall simulation. – GEO books: Erosion. Hrsg.: T. J. TOY: 19-30, Norwich.
- MASUCH, K. 1958: Häufigkeit und Verteilung bodengefährdender sommerlicher Niederschläge im Bereich der DDR. – Acta Hydrophysica 4. (3): 111-137, Berlin.
- MASUCH, K. 1970: Häufigkeit und Verteilung bodengefährdender sommerlicher Niederschläge in Westdeutschland nördlich des Mains zwischen Weser und Rhein. – Forsch. z. Dt. Landesk. 181: 1-23, Bad Godesberg.
- MERTEN, R. 1955: Stratigraphie und Tektonik der nordöstlichen Montes de Toledo (Spanien). – Diss. Univ. Münster: 1-103, Münster.
- MOEYERSONS, J. & PLOEY, J. DE 1976: Quantitative data on splash erosion, simulated on unvegetated slopes. – Z. Geomorph. Suppl. Bd. 25: 120-131 Berlin-Stuttgart.
- MORGAN, R. P. C. 1979: Soil Erosion. – Top. Appl. Geogr.: 1-113, New York.
- MORTENSEN, H. 1954/1955: Die „quasinatürliche“ Oberflächenformung als Forschungsproblem. – Wiss. Ztschr. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald 4: 625-628, Greifswald.
- MORTENSEN, H. 1964: Eine einfache Methode der Hangabtragung unter Wald und einige bisher damit gewonnene Ergebnisse. – Z. Geomorph. N. F. 8: 213-222, Berlin-Stuttgart.
- MÜLLER, K. 1933: Das Klima Neukastiliens auf Grund spanischer Wetterbeobachtungen 1906-1925. – Diss. Univ. Gießen: 1-145, Gießen.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1972: Ökologische Aspekte der Aufforstung im westlichen Mittelmeerraum. – Biogeographica 1: 97-117, Den Haag.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1973: Die anthropogene Beeinflussung der Wälder im westlichen Mittelmeerraum unter besonderer Berücksichtigung der Aufforstung. – Erdkunde 27: 55-68, Bonn.
- MÜLLER-HOHENSTEIN, K. 1979: Die Landschaftsgürtel der Erde. – Teubner-Studienbücher-Geographie: 1-204, Stuttgart.
- NEEF, E. 1968: Der Physiotyp als Zentralbegriff der Komplexen Physischen Geographie. – Pet. Mitt. 112: 15-33, Gotha.
- NOWAK, H. 1971: Untersuchungen und Methoden zur quantitativen Erfassung von Erosionsschäden im nördlichen Niederösterreich. – Geogr. Jahresber. Österr. 33: 120-137, Wien.
- OBERMAIER, H. 1921: Die eiszeitliche Vergletscherung Spaniens. – Pet. Mitt. 67: 158-162, Gotha.
- OEHME, R. 1936: Die Rañas, eine spanische Schuttlandschaft. – Z. Geomorph. 9: 25-42, Berlin.
- OEHME, R. 1942: Beiträge zur Morphologie des mittleren Extremadura – Spanien. – Ber. Ges. Freibg. i. Br. 38: 27-108, Freiburg.
- OLSCHOWY, G. 1963: Bodenerosion und Bodenschutz auf tertiären Tonböden. – Beitr. Landespl. (Festschr. Wiepking): 151-169, Stuttgart.
- OLSCHOWY, G. 1976: Natur- und Umweltschutz in fünf Kontinenten. – 1-246, Hamburg-Berlin.
- POLUNIN, O. 1971: Pflanzen Europas. – 2. Aufl.: 1-554, München.
- PREUSS, E. 1976: Ermittlung der Grundwasserneubildung in Schleswig-Holsteinischen Naturräumen mit Hilfe des Usdahl-Modell. – Diss. Univ. Kiel: 1-208, Kiel.
- PRILL, F. 1955: Schneefall und Schneedecke auf der Iberischen Halbinsel. – Diss. Univ. Stuttgart: 1-92, Stuttgart.
- RICHTER, G. 1965: Bodenerosion: Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. – Forsch. z. Dt. Landesk. 152: 1-592, Bad Godesberg.
- RICHTER, G. 1973: Schutz vor Bodenerosion – ein wichtiger Bestandteil des Umweltschutzes. – Geogr. Rundschau 25, (1): 377-386, Braunschweig.
- RICHTER, G. 1974: Zur Erfassung und Messung des Prozeßgefüges der Bodenabspülung im Kulturland Mitteleuropas. – Abh. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Phys. Kl. 3, 29: 372-385, Göttingen.
- RICHTER, G. (Hrsg.) 1976: Bodenerosion in Mitteleuropa. – Wege d. Forsch. 430: 1-559, Darmstadt.
- RICHTER, G. & NEGENDANK, J. 1977: Soil erosion processes and their measurement in the german area of the Moselle River. – Earth Surface Processes 2: 261-278, London-New York-Sydney-Toronto.
- RÜKLI, M. 1943-1948: Das Pflanzenkleid der Mittelmeergebiete. – 3 Bände, Bern.

- REY PASTOR, A. 1929: Acerca de bosquejo geomorfológico del peñón toledano. – Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. 29: 1-196, Madrid.
- ROHDENBURG, H. & SABELBERG, U. 1969: Zur landschafts-ökologisch-bodengeographischen und klimagenetisch-geomorphologischen Stellung des westlichen Mediterrangebietes. – Göttinger Bodenkd. Ber. 7: 27-47, Göttingen.
- SCHMIDT, R.-G. 1979: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. – Phytogeographica 1: 1-240, Maulburg.
- SCHULTZE, J.-H. 1951/52: Über das Verhältnis zwischen Denudation und Bodenerosion. – Die Erde: 220-232, Berlin.
- SCHUMM, S. A. 1967: Erosion measured by stakes. – Rev. Géom. Dyn. 17: 161-162, Strasbourg.
- SCHWERTMANN, U. 1977: Bodenerosion. – Geol. Rundschau 66: 770-782, Stuttgart.
- SMITH, D. D. & WHITT, D. M. 1947: Estimating soil loss from field areas of claypan soils. – Soil Science Soc. Amer. Proc. 12: 485-490, Baltimore.
- SMITH, D. D. & WISCHMEIER, W. H. 1957: Factors affecting sheet and rill erosion. – Trans. Amer. Geophys. Union 38: 889-896, Washington.
- SMITH, D. D. & WISCHMEIER, W. H. 1962: Rainfall erosion. Advances in agronomy. – Acad. Press, Inc. 14: 109-148, New York.
- STABLEIN, G. 1973: Rezente und fossile Spuren der Morphodynamik in Gebirgsrandzonen des Kastilischen Scheidegebirges. – Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd. 17: 177-194, Berlin-Stuttgart.
- STABLEIN, G. & GEHRENKEMPER, J. 1977: Rañas der Sierra de Guadalupe, Untersuchungen zu Gebirgsrandformationen. – Z. Geomorph. N. F. 21: 411-430, Berlin-Stuttgart.
- STOCKING, M. & ELWELL, H. 1976: Vegetation and erosion: A review. – Scott. Geogr. Mag. 92: 4-16, Edinburgh.
- STREIT, U. 1974: Der Einfluß der Oberflächenbedeckung auf den Direktabfluß. – Catena 1 (3/4): 203-234, Gießen.
- TÖDTEN, H. 1976: A mathematical model to describe surface erosion caused by overland flow. – Z. Geomorph. Suppl. Bd. 25: 89-105, Berlin-Stuttgart.
- TOLDRIAN, H. 1974: Wasserabfluß und Bodenabtrag in verschiedenen Waldbeständen. – Allgem. Forstzeitschr. 29: 1107-1109, München.
- TROFIMOV, A. M. & MOSKOVKIN, V. M. 1976: Some problems of the theory of moving water along a slope. – Z. Geomorph. Suppl. Bd. 25: 106-109, Berlin-Stuttgart.
- USLU, S. 1970: Untersuchungen über den Einfluß des Wald- und Olivenbaues auf die Bodenzerstörung im Einzugsgebiet Edremit-Güre (Türkei). – Der Tropenlandwirt 71: 137-161, Witzhausen.
- VEDEL, H. 1978: Bäume und Sträucher im Mittelmeerraum. – Kosmos-Feldführer: 1-128, Stuttgart.
- WALTHER, H. & LIETH, H. 1960: Klimadiagramm-Weltatlas. – Jena
- WANDEL, G. 1949: Neue vergleichende Untersuchungen über den Bodenabtrag an bewaldeten Hangflächen in Nordrheinland. – Geol. Jahrbuch 65: 510-519, Hannover.
- WEGGEN, K. 1955: Stratigraphie und Tektonik der südlichen Montes de Toledo. – Diss. Univ. Münster: 1-98, Münster.
- WEIGT, E. 1950: Bodenzerstörung – Ein weltweites Phänomen. – Z. f. Raumforsch. 6/7: 245-249, Bonn, Bad Godesberg.
- WEIZENBERG, H. 1973: Praktischer Umweltschutz, zur Kontrolle der Bodenerosion in den Landbau- und Weidegebieten der tropischen und subtropischen Zonen. – Der Tropenlandwirt 74: 169-180, Witzhausen.
- WENZENS, G. 1977: Zur Flächengenese auf der Iberischen Halbinsel. – Karlsru. Geogr. H. 8: 68-86, Karlsruhe.
- WINDHORST, H.-W. 1972: Die Nutzung der Bewirtschaftung der Wälder der Erde. – Fragenkreis: 1-32, Blütenburg-München.
- WINDHORST, H.-W. 1978: Geographie der Wald- und Forstwirtschaft. – Teubner-Studienbücher-Geographie: 1-204, Stuttgart.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. 1958: Rainfall energy and its relationship to soil loss. – Trans. Amer. Geophys. Union 39: 285-291, Washington.
- YAIR, A. & KLEIN, M. 1973: The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area. – Catena 1 (1): 1-18, Gießen.
- YOUNG, A. 1960: Soil movement by denudational processes on slopes. – Nature 188: 120-122, London.
- YOUNG, A. 1963: Soil movement on slopes. – Nature 200: 129-130, London.
- YOUNG, A. 1974: The rate of slope retreat. – Spec. Pub. Inst. Brit. Geogr. 7: 65-78, London.
- ZELLER, W. 1968: Die Landschaft der immergrünen Weidewälder der Extremadura. – Geogr. Helv. 23: 126-128, Zürich.

Kartenverzeichnis

- MAPA DE SUELOS DE ESPAÑA 1:1 000 000, Hrsg.: Consejo Superior de Investigaciones científicas, Instituto Nacional de edafología y agrobiológica, Madrid 1968.
- MAPA FORESTAL DE ESPAÑA 1:400 000, Hrsg.: Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Madrid 1970, Hoja: Nr. 10.
- MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA 1:200 000, Hrsg.: Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
Hoja: Nr. 52 Talavera de la Reina (1970)
Hoja: Nr. 53 Toledo (1970)
Hoja: Nr. 60 Villanueva de la Serena (1970)
Hoja: Nr. 61 Ciudad Real (1970).
- MAPA MILITAR DE ESPAÑA 1:200 000, Hrsg.: Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
Hoja: 4-7 Talavera de la Reina
Hoja: 4-8 Villanueva de la Serena
Hoja: 5-7 Toledo
Hoja: 5-8 Ciudad Real.
- MAPA MILITAR DE ESPAÑA 1:50 000, Hrsg.: Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
Hoja: 657 Sonseca
Hoja: 707 Logrosan.



Photo 2: Erosionsgeschädigter Hang im Ackerland.
Lokalität: Pico de Noez (HW 4400/RW 3972).



Photo 1: Meßpegelanordnung in den Meßreihen A-J,
Meßpegel: 3 x 3 cm Kantenlänge, 35 cm Gesamtlänge.
Lokalität: Meßreihe B (HW 5277/RW 4610).



Photo 3: Brandschutzstreifen
in junger Pinus-pinaster-Aufforstung.
Lokalität: Collado Martin Blasco (HW 5318/RW 4590).



Photo 4: Eukalyptusstreifen auf den Rañas.
Lokalität: Oberhang der Meßreihe E (HW 5290/RW 4590).



Photo 5: *Cistus ladanifer*-Bestand
(span. „jara“ = einartiger Monte-bajo).
Lokalität: Mesas de la Raña (HW 5283/RW 4612).

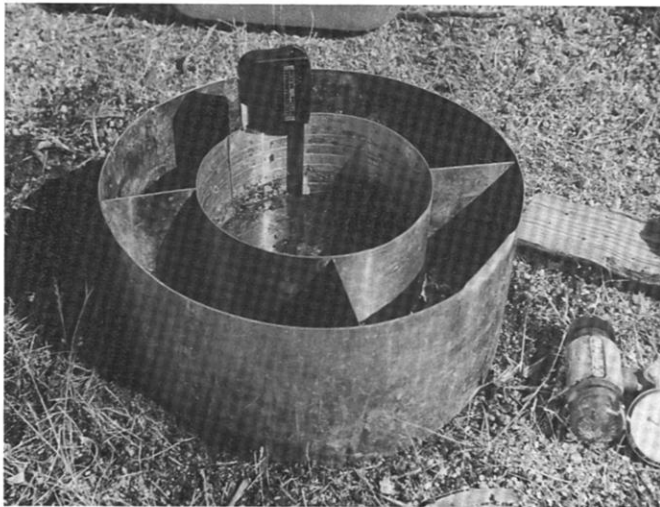


Photo 6: Ringinfiltrimeter nach BRECHTEL (1971); Innenringdurchmesser 18 cm, Außenringdurchmesser 36 cm.
Lokalität: Meßreihe I (HW 4393/RW 4068).

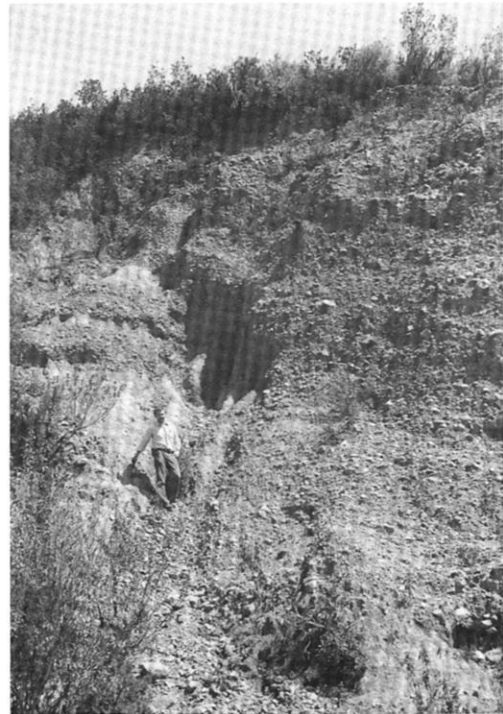


Photo 7: Abrißnischen und Versteilung aufgrund von Quellhorizonten an der Grenzlinie zwischen Rañasediment und Quarzverwitterung.
Lokalität: Hang der Meßreihe A (HW 5281/RW 4611).



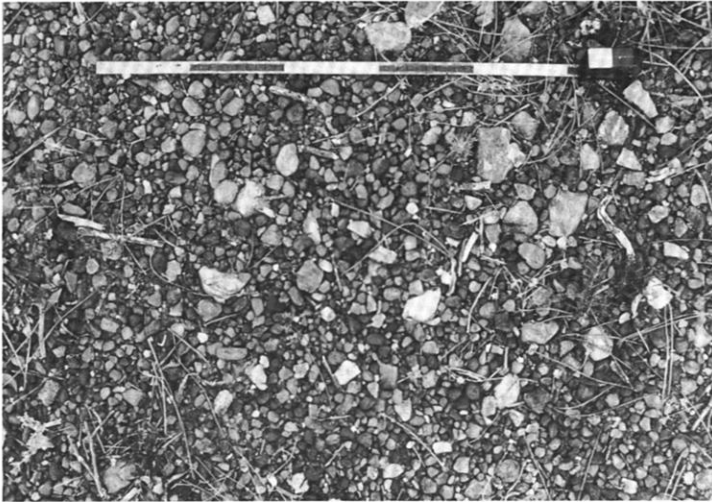
**Photo 8: Unterschneidungskante
des Arroyo de Alberquillas.
Lokalität: Fußpunkt der Meßreihe A (HW 5280/RW 4611).**



**Photo 9: Oberflächenbedeckung der Meßreihe B,
Brandspuren nach dem Pegel 7.
Lokalität: Oberhang der Meßreihe B (HW 5277/RW 4610).**



**Photo 10: Brandschneise zum Valle de Valdeazores.
Lokalität: Meßreihe C (HW 5286/RW 4614).**



**Photo 11: Typische Rañabedeckung, kleine Gerölle, die eine dunkelbraune Eisenmangan-Kruste tragen.
Lokalität: Oberhang der Meßreihe C (HW 5286/RW 4614).**



**Photo 12: Linienhafte Erosion am Mittel- bis Unterhang.
Lokalität: Meßreihe C (HW 5286/RW 4614).**



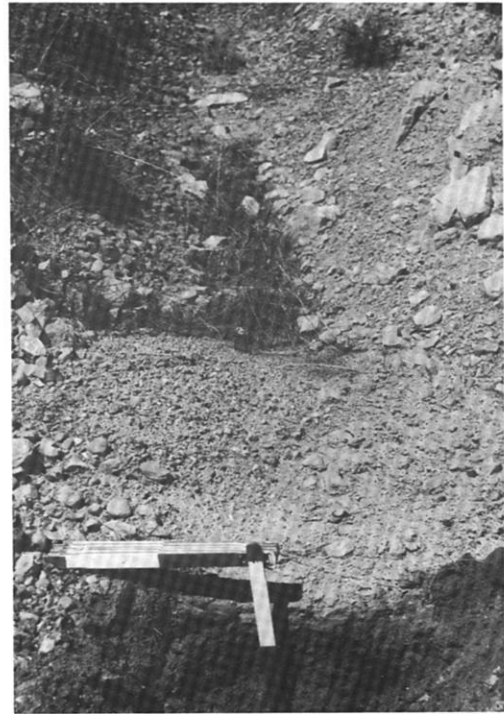
**Photo 13: Kanalisierter Oberflächenabfluß
am Mittel- bis Unterhang.
Lokalität: Meßreihe D (HW 5290/RW 4610).**



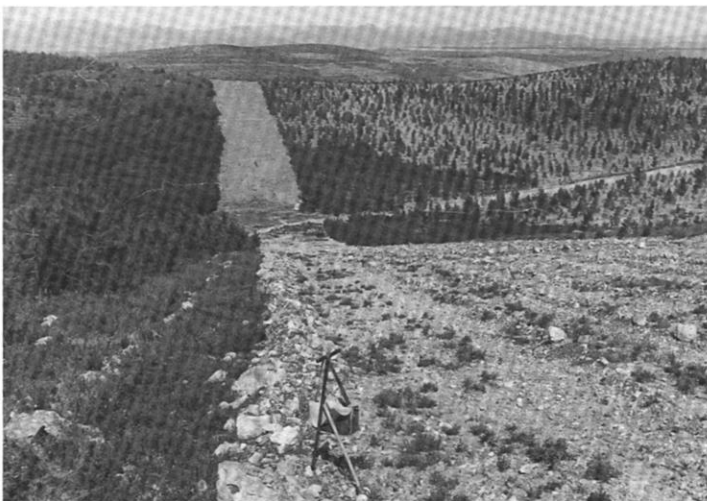
**Photo 14: Akkumulationsbereich am Unterhang.
Lokalität: Fußpunkt der Meßreihe D (HW 5290/RW 4610).**



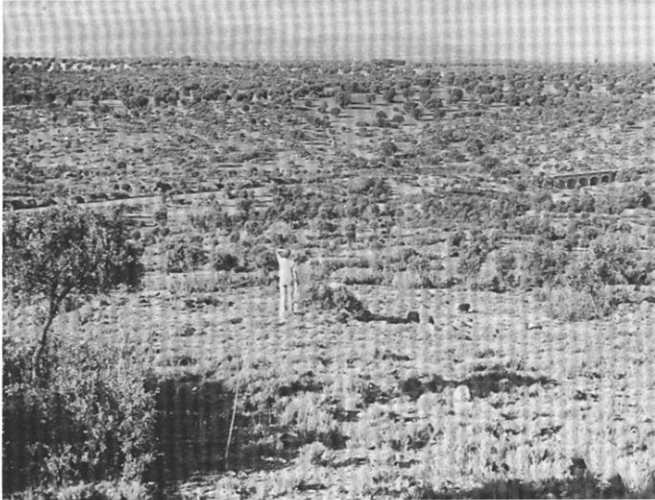
**Photo 15: Pflanzenterrassen
in den aufgeförfsteten Hangabschnitten.
Lokalität: Meßreihe E (HW 5290/RW 4610).**



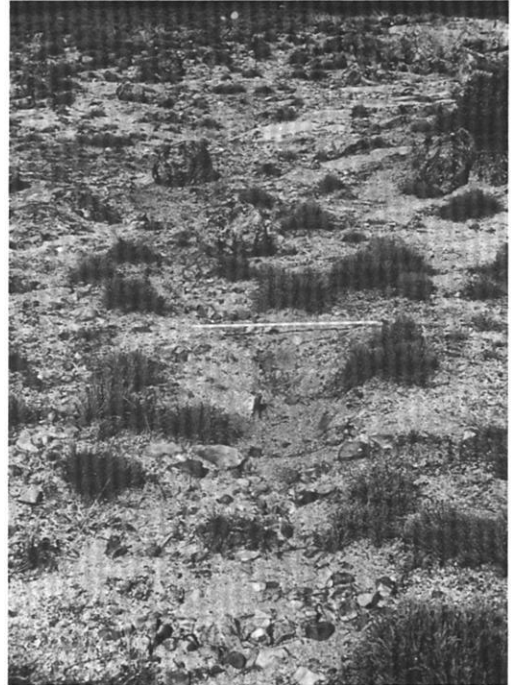
**Photo 16: Zum Hang geneigte Pflanzfurchen,
Feinerdeakkumulation und stärkere Durchfeuchtung.
Lokalität: Junge Aufförfstung am Collado Martin Blasco
(HW 5318/RW 4590).**



**Photo 17: Blick von den Meßreihen F und G
auf die Meßreihe H.
Lokalität: Collado Martin Blasco (HW 5318/RW 4590).**



**Photo 18: Blick vom Oberhang der Meßreihe I ins Tal des Guajaraz; Oberflächenbedeckung: degradierte Steineichenbüsche, Erica-Polster und Hartgras.
Lokalität: Meßreihe I (HW 4393/RW 4068).**



**Photo 19: Linienhafte Erosion nach einer Felsplatte.
Lokalität: Pegel 9 der Meßreihe I (HW 4393/RW 4068).**



**Photo 20: Oberflächenbedeckung in der Meßreihe J
Hartgrasbüschel und Erica-Polster.
Lokalität: Meßreihe J (HW 4393/RW 4067).**



**Photo 21: Massendefizit unterhalb eines Olivenbaumes.
Lokalität: bei Navahermosa (HW 4403/RW 3595).**



**Photo 22: Bodenprofil einer meridionalen Braunerde mit gut ausgebildetem B_v-Horizont.
Lokalität: Collado Martin Blasco (HW 5318/RW 4590).**



**Photo 23: Nicht instand gehaltene Hangterrassierung.
Lokalität: an der Straße von Toledo nach Navahermosa.**



**Photo 24: Akkumulation hinter einer Mauer als Feldbegrenzung.
Lokalität: nordwestlich Cuerva (HW 4392/RW 3963).**

Berliner Geographische Abhandlungen

Im Selbstverlag des Instituts für Physische Geographie der Freien Universität Berlin
Altensteinstraße 19, D-1000 Berlin 33

- Heft 1: HIERSEMENZEL, Sigrid-Elisabeth
Britische Agrarlandschaften im Rhythmus des landwirtschaftlichen Arbeitsjahres,
untersucht an 7 Einzelbeispielen.
(1964). 46 S., 7 Ktn., 10 Diagramme im Anhang
Preis: DM 5,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-000-9
- Heft 2: ERGENZINGER, Peter
Morphologische Untersuchungen im Einzugsgebiet der Ilz (Bayerischer Wald)
(1965). 48 S., 62 Abb.
ISBN 3-88009-001-7 Vergriffen
- Heft 3: ABDUL-SALAM, Adel
Morphologische Studien in der Syrischen Wüste und dem Antilibanon.
(1966). 52 S., 27 Abb. im Text, 4 Skizzen, 2 Profile, 2 Karten, 36 Bilder im Anhang.
ISBN 3-88009-002-5 Vergriffen
- Heft 4: PACHUR, Hans-Joachim
Untersuchungen zur morphoskopischen Sandanalyse.
(1966). 35 S., 37 Diagr., 2 Tab., 21 Abb.
Preis: DM 5,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-003-3
- Heft 5: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
I. Feldarbeiten 1964/65.
(1967). 65 S., 34 Abb., 1 Kte.
ISBN 3-88009-004-1 Vergriffen
- Heft 6: ROSTANKOWSKI, Peter
Siedlungsentwicklung und Siedlungsformen
in den Ländern der russischen Kosakenheere.
(1969). 84 S., 15 Abb., 16 Bilder, 2 Karten.
Preis: DM 15,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-005-X
- Heft 7: SCHULZ, Georg
Versuch einer optimalen geographischen Inhaltsgestaltung
der topographischen Karte 1:25 000 am Beispiel eines Kartenausschnitts.
(1969). 28 S., 6 Abb. im Text, 1 Kte. im Anhang.
Preis: DM 10,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-006-8
- Heft 8: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
II. Feldarbeiten 1965/66.
(1969). 82 S., 15 Abb., 27 Fig., 13 Taf., 11 Karten.
Preis: DM 15,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-007-6
- Heft 9: JANNSEN, Gert
Morphologische Untersuchungen im nördlichen Tarso Voon (Zentrales Tibesti).
(1970). 66 S., 12 S. Abb., 41 Bilder, 3 Karten.
Preis: DM 15,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-008-4
- Heft 10: JÄKEL, Dieter
Erosion und Akkumulation im Enneri Bardagué-Arayé des Tibesti-Gebirges
(zentrale Sahara) während des Pleistozäns und Holozäns.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1971). 55 S., 13 Abb., 54 Bilder, 3 Tabellen, 1 Nivellement (4 Teile),
60 Profile, 3 Karten (6 Teile).
Preis: DM 20,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-009-2

- Heft 11: MÜLLER, Konrad
Arbeitsaufwand und Arbeitsrhythmus in den Agrarlandschaften
Süd- und Südostfrankreichs: Les Dombes bis Bouches-du-Rhone.
(1971). 64 S., 18 Karten, 26 Diagramme, 10 Figuren, zahlreiche Tabellen.
Preis: DM 25,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-010-6
- Heft 12: OBENAUF, K. Peter
Die Enneris Gonoa, Toudoufou, Oudingueur und Nemağayesko
im nordwestlichen Tibesti.
Beobachtungen zu Formen und zur Formung in den Tälern eines ariden Gebirges.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1971). 70 S., 6 Abb., 10 Tab., 21 Photos, 34 Querprofile, 1 Längsprofil, 9 Karten.
Preis: DM 20,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-011-4
- Heft 13: MOLLE, Hans-Georg
Gliederung und Aufbau fluviatiler Terrassenakkumulation
im Gebiet des Enneri Zoumri (Tibesti-Gebirge).
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1971). 53 S., 26 Photos, 28 Fig., 11 Profile, 5 Tab., 2 Karten.
Preis: DM 10,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-012-2
- Heft 14: STOCK, Peter
Photogeologische und tektonische Untersuchungen am Nordrand
des Tibesti-Gebirges, Zentral-Sahara, Tchad.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1972). 73 S., 47 Abb., 4 Karten.
Preis: DM 15,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-013-0
- Heft 15: BIEWALD, Dieter
Die Bestimmungen eiszeitlicher Meeresoberflächentemperaturen
mit der Ansatztiefe typischer Korallenriffe.
(1973). 40 S., 16 Abb., 26 Seiten Figuren und Karten.
Preis: DM 10,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-015-7
- Heft 16: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
III. Feldarbeiten 1966/67.
(1972). 156 S., 133 Abb., 41 Figuren, 34 Tab., 1 Karte.
Preis: DM 45,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-014-9
- Heft 17: PACHUR, Hans-Joachim
Geomorphologische Untersuchungen im Raum der Serir Tibesti (Zentralsahara).
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1973). 58 S., 39 Photos, 16 Figuren und Profile, 9 Tabellen, 1 Karte.
Preis: DM 25,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-016-5
- Heft 18: BUSCHE, Detlef
Die Entstehung von Pedimenten und ihre Überformung,
untersucht an Beispielen aus dem Tibesti-Gebirge, République du Tchad.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1973). 130 S., 57 Abb., 22 Fig., 1 Tab., 6 Karten.
Preis: DM 40,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-017-3
- Heft 19: ROLAND, Norbert W.
Anwendung der Photointerpretation zur Lösung stratigraphischer und tektonischer
Probleme im Bereich von Bardai und Aozou (Tibesti-Gebirge, Zentral-Sahara).
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1973). 48 S., 35 Abb., 10 Fig., 4 Tab., 2 Karten.
Preis: DM 20,- zuzüglich Versandkosten
ISBN 3-88009-018-1

- Heft 20: SCHULZ, Georg
Die Atlaskartographie in Vergangenheit und Gegenwart
und die darauf aufbauende Entwicklung eines neuen Erdatlas.
(1974). 59 S., 3 Abb., 8 Fig., 23 Tab., 8 Karten.
Preis: DM 35,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-019-X
- Heft 21: HABERLAND, Wolfram
Untersuchungen an Krusten, Wüstenlacken und Polituren auf Gesteinsoberflächen
der nördlichen und mittleren Sahara (Libyen und Tschad).
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1975). 71 S., 62 Abb., 24 Fig., 10 Tab.
Preis: DM 50,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-020-3
- Heft 22: GRUNERT, Jörg
Beiträge zum Problem der Talbildung in ariden Gebieten,
am Beispiel des zentralen Tibesti-Gebirges (Rép. du Tchad).
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1975). 96 S., 3 Tab., 6 Figuren, 58 Profile, 41 Abbildungen, 2 Karten.
Preis: DM 35,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-021-1
- Heft 23: ERGENZINGER, Peter Jürgen
Das Gebiet des Enneri Misky im Tibesti-Gebirge, République du Tchad –
Erläuterungen zu einer geomorphologischen Karte 1:200 000.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1978). 60 S., 6 Tabellen, 24 Figuren, 24 Photos, 2 Karten.
Preis: DM 40,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-022-X
- Heft 24 : Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
IV. Feldarbeiten 1967/68, 1969/70, 1974.
Reese, D. & Okrusch, M. & Kaiser, K.; Roland, N. W.; Briem, E.;
Jäkel, D. & Dronia, H.
(1976). 24 Fig., 79 Abb., 12 Tab., 2 Karten.
Preis: DM 30,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-023-8
- Heft 25: MOLLE, Hans-Georg
Untersuchungen zur Entwicklung der vorzeitlichen Morphodynamik
im Tibesti-Gebirge (Zentral-Sahara) und in Tunesien.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1979). 104 S., 22 Abb., 40 Fig., 15 Tab., 3 Karten.
Preis: DM 35,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-024-6
- Heft 26: BRIEM, Elmar
Beiträge zur Genese und Morphodynamik des ariden Formenschatzes
unter besonderer Berücksichtigung des Problems der Flächenbildung
am Beispiel der Sandschwemmebenen in der östlichen Zentralsahara.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1977). 89 S., 38 Abb., 23 Fig., 8 Tab., 155 Diagr., 2 Karten.
Preis: DM 25,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-025-4
- Heft 27: GABRIEL, Baldur
Zum ökologischen Wandel im Neolithikum der östlichen Zentralsahara.
Arbeit aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
(1977). 111 S., 9 Tab., 32 Fig., 41 Photos, 2 Karten.
Preis: DM 35,- zuzüglich Versandkosten.
ISBN 3-88009-026-2

- Heft 28: BÖSE, Margot
 Die geomorphologische Entwicklung im westlichen Berlin nach neueren stratigraphischen Untersuchungen.
 (1979). 46 S., 3 Tab., 14 Abb., 25 Photos, 1 Karte.
 Preis: DM 10,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-027-0
- Heft 29: GEHRENKEMPER, Johannes
 Rañas und Reliefgenerationen der Montes de Toledo in Zentralspanien.
 (1978). 81 S., 68 Abb., 3 Tab., 32 Photos, 2 Karten.
 Preis: DM 20,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-028-9
- Heft 30: STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.)
 Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I.
 (1978). 90 S., 38 Abb. und Beilagen, 17 Tab.
 Preis: DM 18,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-029-7
- Heft 31: BARSCH, Dietrich & LIEDTKE, Herbert (Hrsg.)
 Methoden und Anwendbarkeit geomorphologischer Detailkarten.
 Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm II.
 (1980). 104 S., 25 Abb., 5 Tab.
 Preis: DM 17,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-030-5
- Heft 32: Arbeitsberichte aus der Forschungsstation Bardai/Tibesti.
 V. Abschlußbericht.
 (1982). 182 S., 63 Fig. und Abb., 84 Photos, 4 Tab., 5 Karten.
 Preis: DM 60,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-031-3
- Heft 33: TRETER, Uwe
 Zum Wasserhaushalt schleswig-holsteinischer Seengebiete.
 (1981). 168 S., 102 Abb., 57 Tab.
 Preis: DM 40,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-032-1
- Heft 34: GEHRENKEMPER, Kirsten
 Rezentler Hangabtrag und geoökologische Faktoren
 in den Montes de Toledo, Zentralspanien.
 (1981). 78 S., 39 Abb., 13 Tab., 24 Photos, 4 Karten.
 Preis: DM 20,- zuzüglich Versandkosten.
 ISBN 3-88009-033-X
- Heft 35: BARSCH, Dietrich & STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.)
 Erträge und Fortschritte der geomorphologischen Detailkartierung.
 Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm III.
 (In Vorbereitung)
- Sonderheft: LESER, Hartmut, und STÄBLEIN, Gerhard (Hrsg.)
 Geomorphologische Kartierung.
 Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25 000,
 herausgegeben vom Arbeitskreis Geomorphologische Karte der Bundesrepublik
 Deutschland.
 (1975). 39 S.
 Preis: DM 2,- zuzüglich Versandkosten.

Abb.1

MONTES DE TOLEDO

Vegetationskarte

0 5 10 20 25 km
Kart.: J. Schütz

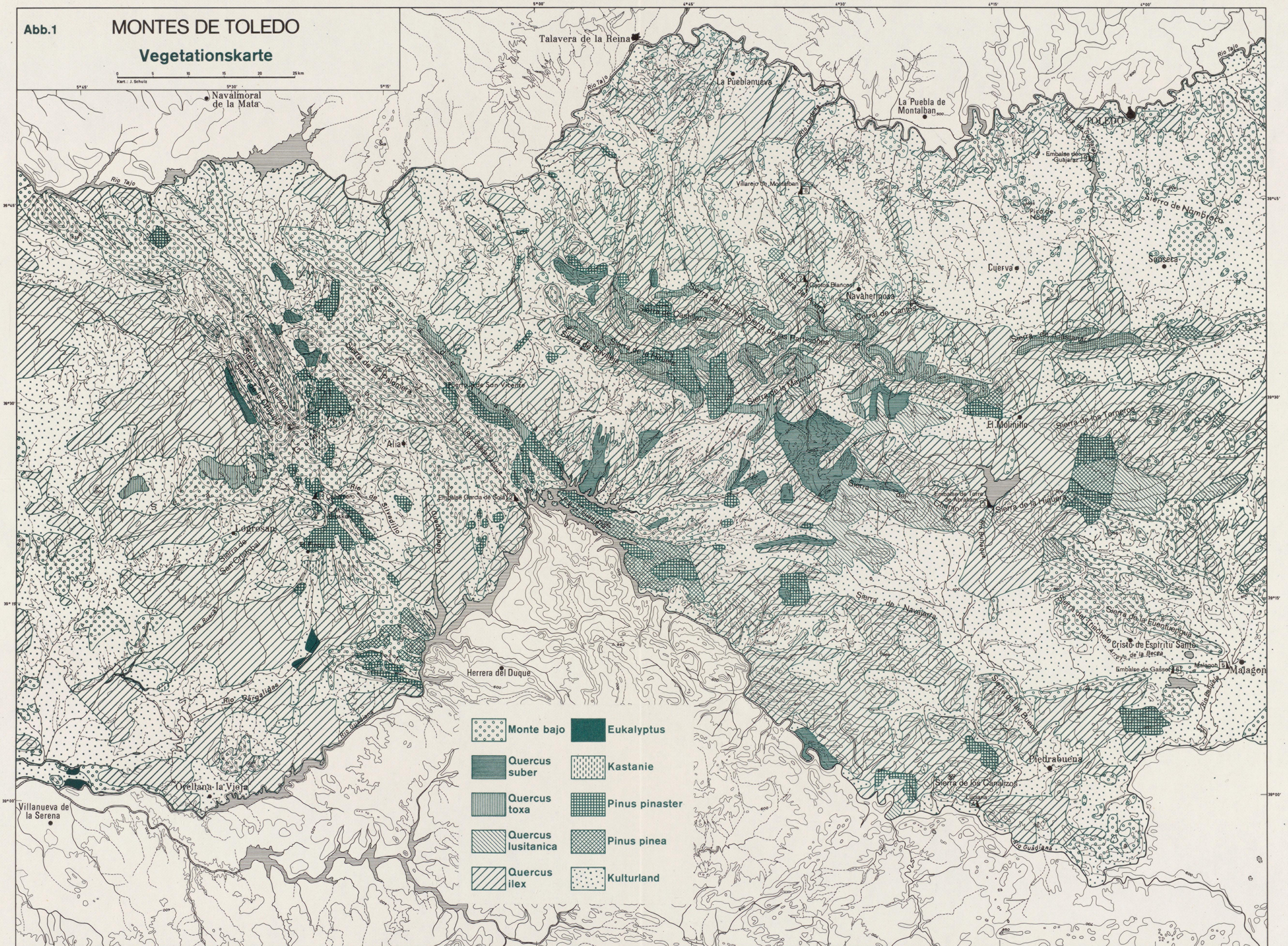
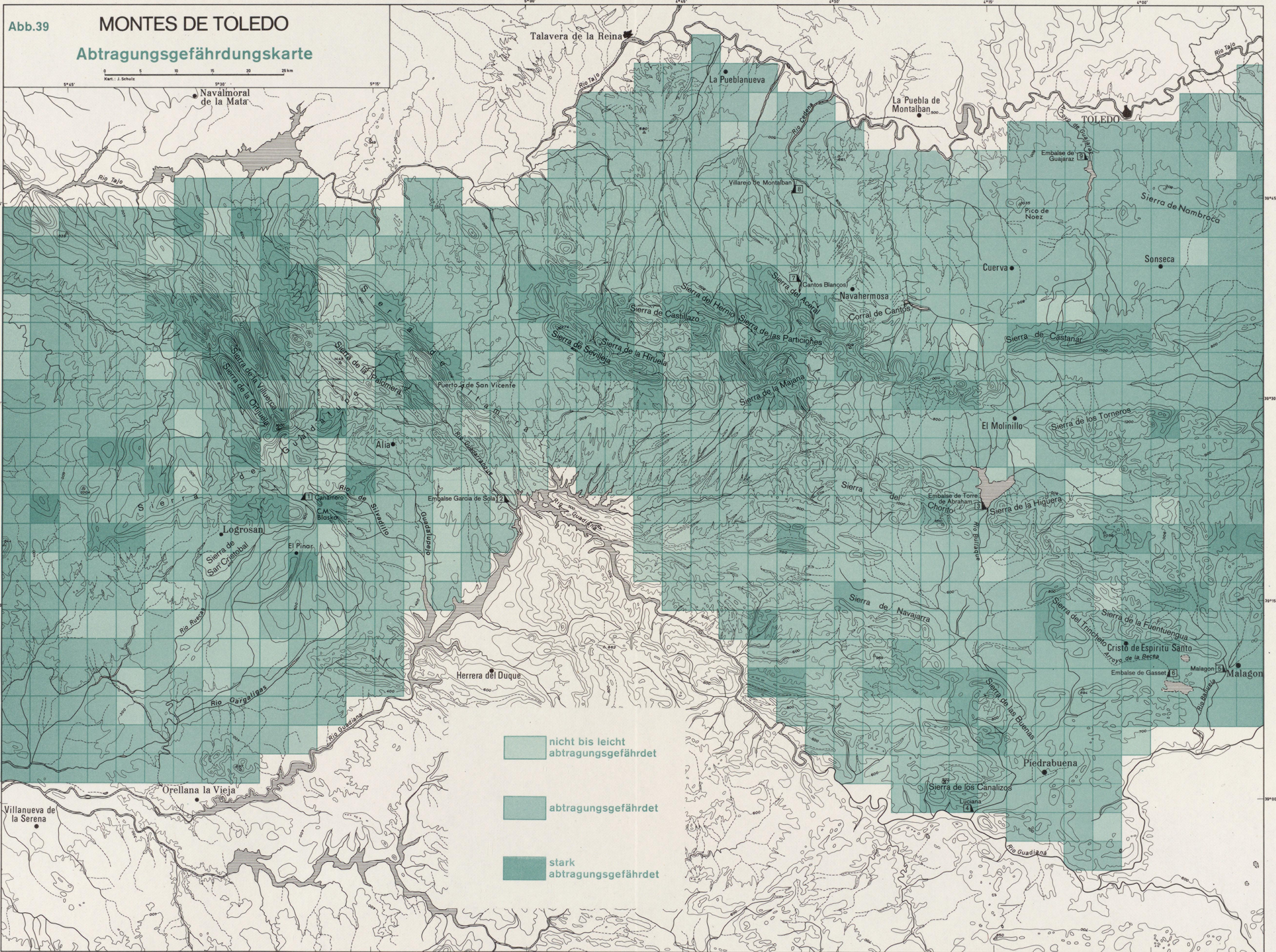


Abb.39

MONTES DE TOLEDO

Abtragungsgefährdungskarte

0 5 10 15 20 25 km
Kart.: J. Schulz



- nicht bis leicht abtragungsgefährdet
- abtragungsgefährdet
- stark abtragungsgefährdet