

Institut für Pflanzenproduktion
in den Tropen und Subtropen
der Universität Hohenheim
Prof. Dr. D. E. Leihner

CHARAKTERISIERUNG UND VERMINDERUNG DER BODENEROSION DURCH WASSER
IN KLEINBAUERLICHEN MANIOKANBAUSYSTEM

(dargestellt anhand von Untersuchungen auf Inceptisols in der
südlichen Zentralkordillere Kolumbiens, Departamento Cauca)

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Agrarwissenschaften

vorgelegt der
Fakultät III - Agrarwissenschaften I
(Pflanzenproduktion und Landschaftsökologie)
Universität Hohenheim

von
Ludger Reining
aus
Bornheim

1991

KURZFASSUNG

Das rasche Bevölkerungswachstum in den klimatisch begünstigten Bergregionen der Tropen hat in Verbindung mit ökologisch nicht angepaßten Landnutzungssystemen zu einer gravierenden Zunahme der Bodenerosion durch Wasser geführt. Um der Bodenzerstörung entgegen zu wirken, ist die Entwicklung von Anbauverfahren notwendig, die eine nachhaltige landwirtschaftliche Nutzung dieser gefährdeten Standorte ermöglichen. Dafür sind Kenntnisse über Ursachen und Ablauf der Erosionsprozesse in den Tropen notwendig. Das bekannteste Modell zur Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser ist die von WISCHMEIER und SMITH (1978) entwickelte Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG)

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

wobei A der Bodenabtrag in t/ha und Jahr, R (oder EI₃₀) der Regenfaktor, K der Faktor der Bodenerodierbarkeit, LS der Topographiefaktor, C der Bodennutzungsfaktor und P der Erosionsschutzfaktor ist.

Ziel der Untersuchungen war es zunächst, in einem begrenzten Gebiet der andinen Zone Kolumbiens in einem subhumiden Klima Grundlageninformationen über die Charakteristik des Erosionsgeschehens zu erarbeiten, die Schlußfolgerungen über die Anwendbarkeit der ABAG ermöglichen sollten. Daneben sollte anhand von herkömmlichen und verbesserten Maniokanbausystemen, die der kleinbäuerlichen Produktionsweise im Untersuchungsgebiet angepaßt waren, Kenntnisse über die Auswirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Erosionsprozeß gewonnen werden.

Zu diesem Zweck wurden an zwei Standorten in der südlichen Zentralkordillere Kolumbiens Erosionsversuche auf Hängen mit 7 - 20 % Gefälle angelegt. Die Versuche wurden zunächst über 2 Versuchsjahre fortgesetzt. Sie wurden am Standort Santanter de Quilichao mit 3, am Standort Mondomo mit 2 Wiederholungen durchgeführt. Folgende Varianten wurden untersucht: Bhdlg. 1 - Schwarzbrache (Standardparzellen), Bhdlg. 2 - Maniok eben, Bhdlg. 3 - Maniok auf konturparallelen Dämmen, Bhdlg. 4 - Maniok auf Dämmen in Gefällerrichtung, Bhdlg. 5 - Mischanbau Maniok mit Körnerleguminosen, Bhdlg. 6 - Maniok eben zwischen konturparallelen Grasstreifen und Bhdlg. 7 - Maniok in Minimalpodenbearbeitung. Die Standardparzellen hatten Ausmaße von 22 m x 11 m, während die Parzellen mit den Anbausystemen 16 m lang und 8 m breit waren. Eine differenzierte Erfassung des Erosionsgeschehens in den untersuchten Anbausystemen wurde durch Auffangkanäle für den Bodenabtrag am unteren Ende der Parzellen und eine damit verbundene Abflußmeßanlage mit Splitter und Sammeiltank ermöglicht. Zur Bestimmung der einzelnen Faktoren der ABAG sowie der Nährstoffverluste

und möglicher Veränderungen einiger chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften wurden zahlreiche Bodenanalysen durchgeführt (z.B. Verteilung der Korngrößen, Gehalt an organischer Substanz, Verteilung der Aggregatgrößen, Aggregatstabilität, Plastizitätszahl und Konsistenzgrenzen, Bodenwassergehalt, Feld- und Welkepunktkapazität, Gesamtstickstoff, austauschbare Kationen, Spurenelemente). Ebenso wurden regelmäßige Messungen zur Pflanzenentwicklung und Bodenbedeckung vorgenommen (C-Faktor). Informationen über die Erosivität des Klimas wurden durch die Auswertung der Aufzeichnungen von Regenschreibern gewonnen. Die Böden der Versuchsstandorte waren saure, nährstoffarme Inceptisols mit guter Bodenstruktur.

Die Auswertung der Niederschlagsdaten ergab eine kinetische Energie des Regens von $21,3 \text{ J/m}^2$ in Santander de Quilichao und $20,4 \text{ J/m}^2$ in Mondomo. Der größte Teil der Niederschläge fiel mit Intensitäten von mehr als 10 mm/h . Insgesamt 17 Erosivitätsindizes wurden auf ihre Korrelation mit dem Bodenabtrag der Standardparzellen überprüft. Dabei handelte es sich um die Regenmenge A, die kinetische Energie E sowie die maximale 30-minütige (I_{30}), 15-minütige (I_{15}) und 7,5-minütige (I_7) Intensität der erosiven Regen sowie den Produkten von 2 oder mehreren dieser Faktoren. Während im Versuchsjahr 1987/88 durchweg keine signifikante Korrelation errechnet wurde, waren im Versuchsjahr 1988/89 die Korrelationskoeffizienten fast aller untersuchten Erosivitätsindizes signifikant. Die höchsten Korrelationskoeffizienten wurden für solche Indizes ermittelt, die Produkte aus den einzelnen Faktoren darstellten.

Die unterschiedliche Erosivität der Niederschläge in den Versuchsjahren 1987/88 und 1988/89 führte zu deutlich höheren Bodenverlusten im 2. Versuchsjahr. In den vegetationslosen Standardparzellen wurden Bodenverluste bis $310,6 \text{ t/ha}$ gemessen. Von den Anbausystemen zeigte Behandlung 4 mit bis zu $68,0 \text{ t/ha}$ die höchsten Bodenabträge. In beiden Versuchsjahren trat der größte Bodenverlust dort auf, wo Rillenerosion dominierte. Die Bodenbedeckung durch Mulch, Gras und Unkraut verminderte die Bodenverluste wirkungsvoller als die Bodenbedeckung durch die stehenden Pflanzen. Minimalbodenbearbeitung (Bhdg. 7), konturparallele Dämme (Bhdg. 3) und an einem Standort auch Konturstreifen aus Gras (Bhdg. 6) boten einen wirksamen Erosionsschutz und blieben unter der für die Standorte als tolerierbar angesehenen Grenze von $1 - 5 \text{ t/ha}$ Bodenabtrag pro Jahr.

Untersuchungen über die Veränderung einiger ausgewählter Parameter der Bodenfruchtbarkeit in den Oberböden der Parzellen, wie Nährstoffgehalte, Bodenreaktion, Gehalte an org.S., ergaben durchweg keine signifikanten Veränderungen im Versuchszeitraum. Unterschiede waren im wesentlichen auf Düngungseffekte zurückzuführen. Die Nährstoffverluste waren abhängig von der Konzentration der

Elemente in Bodenabtrag und Abfluß sowie von der Menge des Bodenabtrags und des Abflusses. Für ausgesuchte Parameter der Bodenstruktur, wie Korngrößenverteilung, Aggregatstabilität und Verteilung der Aggregatgrößen, Trockenraumdichte, Infiltrationsrate, Plastizität und Konsistenz, Wasserbindung, Bodenwassergehalt konnten in den Oberböden der Parzellen ebenfalls keine wesentlichen Veränderungen im zweijährigen Versuchszeitraum beobachtet werden.

Die Anbausysteme 2, 3, 4 und 6 erbrachten durchschnittliche Erträge von 28 - 32 t/ha Wurzelfrischmasse in Santander de Quilichao und 15 - 20 t/ha Wurzelfrischmasse in Mondomo. Niedrigere Erträge, von 7 - 20 t/ha Wurzelfrischmasse, die aber nur z.T. signifikant waren, erbrachte der Maniok im Mischanbau mit Körnerleguminosen und in Minimalbodenbearbeitung. Eine einfache betriebswirtschaftliche Analyse ergab die höchsten Deckungsbeiträge für die Bhdlg. 2 und 6 sowie für den Standort Santander de Quilichao auch für Behandlung 3.

Schließlich wurde auf der Basis der Daten der Erosivität der Niederschläge, der Bodenstruktur, der Topographie und der Bewirtschaftung versucht, die ABAG unter den Versuchsbedingungen anzuwenden. Unter Anwendung des von WISCHMEIER und SMITH entwickelten Verfahrens wurden für beide Standorte und Versuchsjahre K-Faktoren von 0,08 berechnet. Die Ermittlung des K-Faktors als Quotient aus dem Bodenabtrag der Behandlung 1 und der Erosivität der Niederschläge EI_{30} ergab für das Versuchsjahr 1987/88 mittlere K-Faktoren von 0,04 und 0,03, im Versuchsjahr 1988/89 mittlere K-Faktoren von 0,13 und 0,10, wobei große Schwankungen auftraten. Aus den Daten der Hanglänge und des Gefälles wurden LS-Faktoren von 0,63 bis 2,99 errechnet. Auf der Basis der im Verlauf der beiden Versuchsjahre gesammelten Daten zur Wuchshöhe der Pflanzen und der Bodenbedeckung durch stehende Pflanzen, Mulch, Gras und Unkraut wurden für die Anbausysteme C-Faktoren zwischen 0,01 und 1,00 ermittelt. Eine multiple Regression ergab, daß die Erosivität des Regens, ausgedrückt als EI_{30} , den Bodenabtrag am besten erklärte. Allgemein übertrafen die mit der ABAG (ohne Faktor P) errechneten Bodenverluste deutlich die tatsächlich gemessenen Bodenabträge.

Bei der rechnerischen Auswertung der Meßdaten der Bodenerosion ergaben sich für die beiden Standorte jeweils höchst signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren und den Behandlungen, aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten. Offensichtlich haben die charakteristischen Umweltbedingungen der Versuchsstandorte in Form unterschiedlicher Höhenlage und Verteilung der Niederschläge, andersartigen Bodeneigenschaften sowie variierendem Gefälle nicht zu signifikant unterschiedlichen Bodenverlusten geführt. Es zeigte sich, daß durch Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie Anbau auf Konturdämmen oder zwischen Konturstreifen, die Bodenerosion im Maniokanbau wesentlich gesenkt

werden kann und gleichzeitig optimale Erträge erzielt werden können. Hinsichtlich der Frage nach der Anwendbarkeit der ABAG waren eindeutige Schlußfolgerungen auf Grund des begrenzten Versuchszeitraumes von nur 2 Jahren nicht möglich. Tendenziell zeigte sich aber, daß die herkömmliche ABAG die Erosivität des Regens (R-Faktor) unter den Standortbedingungen nicht richtig erfaßte und die mit der ABAG berechnete Erodierbarkeit des Bodens z.T. deutlich unterhalb den im Feld ermittelten Werten für den K-Faktor lagen. Zur Klärung der mit der Anwendbarkeit der ABAG verbundenen Fragen ist die Fortsetzung der 1987 begonnenen Erosionsversuche notwendig.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Über 2 Versuchsjahre hinweg wurden an 2 Standorten (Santander de Quilichao und Mondomo) in der südlichen Zentralkordillere Kolumbiens Erosionsversuche durchgeführt. Dabei sollten zum einen durch die Untersuchung von herkömmlichen und verbesserten Maniokanbausystemen die Kenntnisse über die Auswirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf das Erosionsgeschehen verbessert und Empfehlungen für bestimmte Anbausysteme ermöglicht werden. Des weiteren sollten durch die Erarbeitung von Grundlageninformationen über die Charakteristik der Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet Schlußfolgerungen über die Anwendbarkeit der ABAG von WISCHMEIER und SMITH ermöglicht werden.

Hinsichtlich des Einflusses von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Erosionsprozesse ergaben sich für die meisten der untersuchten Anbausysteme für beide Standorte und Versuchsjahre ähnliche Tendenzen, trotz sehr unterschiedlicher Erosivität der Niederschläge während der beiden Versuchsjahre. Erwartungsgemäß waren für die Schwarzbrache die größten Bodenverluste zu verzeichnen. Zu Beginn der Vegetationsperiode traten die größten Bodenverluste allerdings dort auf, wo lineare Erosionsformen dominierten. Dies zeigte sich insbesondere bei Behandlung 4 (Maniok auf Dämmen in Gefällerrichtung), die während der ersten Monate nach dem Pflanzen höhere Bodenabträge verzeichnete als die vegetationslosen Parzellen der Behandlung 1 (Schwarzbrache). Diese Ergebnisse zeigen, daß Maßnahmen des Erosionsschutzes während der ersten Monate nach dem Pflanzen insbesondere auf eine Verminderung des Abflusses abzielen müssen. Als besonders wirksam erwiesen sich dabei Anbausysteme, die durch physikalische Barrieren die Geschwindigkeit und die Menge des Abflusses verminderten. Dies sind insbesondere konturparallele Dämme (Behandlung 3) und mit Einschränkungen auch Konturstreifen aus Gras (Behandlung 6). Ebenso verminderte eine hohe anfängliche Bodenbedeckung (Behandlung 7) wirksam die Schlepp- und Scherkräfte des Oberflächenabflusses und verhinderte lineare Erosion.

Bei den Böden handelte es sich um sehr saure, tiefgründig verwitterte Inceptisols. Die Nährstoffe und insbesondere die unter den gegebenen Bedingungen fast ausschließlich als Reserve für die Nachlieferung von Nährstoffen anzusehende organische Substanz waren im Oberboden konzentriert. Der Begriff der Gründigkeit mußte sich deshalb hier im wesentlichen auf den Ah-Horizont beziehen. Bei dieser Betrachtungsweise verminderte sich der tolerierbare Bodenabtrag auf etwa 1 - 5 t/ha und Jahr. Somit wären unter dem Gesichtspunkt des Bodenabtrages allenfalls die Behandlungen 3 und 7 sowie in Mondomo auch die Behandlung 6 als standortgerecht, weil nachhaltig, zu bezeichnen.

Zur Beantwortung der Frage, in welchem Maße sich die Nährstoffgehalte und andere Parameter der Bodenfruchtbarkeit sowie die physikalischen Bodeneigenschaften als Folge der Erosionsprozesse im Zeitablauf veränderten, war der Untersuchungszeitraum von 2 Jahren offensichtlich zu kurz. Es dürfte besonders auf die sehr gute Struktur der Böden zurückzuführen sein, daß sich im Beobachtungszeitraum keine wesentlichen Veränderungen in den physikalischen Merkmalen erkennen ließen. Der Einfluß der Bodenbearbeitung wurde bei der Verteilung der Aggregatgrößen sichtbar, wo Minimalbodenbearbeitung den z.T. signifikant größten gewogenen mittleren Durchmesser (GMD) bei den Aggregaten aufwies, während für die Schwarzbrache der kleinste GMD gemessen wurde. Intensität und Zeitpunkt wirkten sich am ehesten auf die Verteilung der Aggregatgrößen und die Lagerungsdichte aus.

Insgesamt spiegelten die untersuchten bodenchemischen Parameter die geringe natürliche Bodenfruchtbarkeit der beiden Standorte wider. Die untersuchten Bewirtschaftungsmaßnahmen und Anbausysteme führten im Verlauf der beiden Versuchsjahre nicht zu merklichen Veränderungen, jedoch wurde im Vergleich der ungedüngten Parzellen der Behandlung 1 (Schwarzbrache) und den gedüngten Anbausystemen (Behandlungen 2 - 7) eine auf Grund der Düngung erhöhte Bodenreaktion, sowie ein Anstieg der pflanzenverfügbaren Nährstoffe bei gleichzeitiger Verminderung der Aluminiumsättigung festgestellt. Durch Düngung können deshalb Veränderungen der Nährstoffgehalte als Folge der Erosionsprozesse zumindest kurzfristig überdeckt bzw. ausgeglichen werden.

Die Nährstoffverluste wurden bestimmt durch die Höhe des Bodenabtrages und die Menge des Oberflächenabflusses sowie die Stoffkonzentration im Bodenabtrag und Abfluß. Es zeigte sich, daß mit dem Abfluß größere Nährstoffmengen verloren gehen können als mit dem Bodenabtrag, so daß bei Erosionsschutzmaßnahmen nicht nur der Verminderung des Bodenabtrages sondern auch der Reduzierung des Oberflächenabflusses besonderes Augenmerk gewidmet werden muß. Bei einigen Nährstoffen (Ca, Mg, K) konnte eine Anreicherung im Bodenabtrag gegenüber den Oberböden der Parzellen festgestellt werden. Eindeutige Zusammenhänge zwischen der Konzentration von organischer Substanz und Nährstoffen im Bodenabtrag und der Menge des Bodenabtrages wurden nicht festgestellt. Hier sind längerfristige Untersuchungen notwendig.

Unter den Versuchsbedingungen ergaben die untersuchten Anbausysteme mit Maniok in Reinanbau (Behandlungen 2, 3 und 4) sowie Maniok zwischen Konturstreifen (Behandlung 6) vergleichbar hohe Erträge. Ertragsrückgänge wurden bei Misanbau von Maniok und Körnerleguminosen (Behandlung 5) sowie Maniok in Minimalbodenbearbeitung (Behandlung 7) gemessen, wobei Standort und Sorte

einen großen Einfluß hatten. Dieses Ertragsverhalten von Maniok mag daher auf andere Standorte nur bedingt übertragbar sein.

Bei Gesamtbewertung des Erosionsverhaltens der untersuchten Anbausysteme und der Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Analyse kann für den Standort Santander de Qullichao das Anbausystem "Maniok auf konturparallelen" Dämmen (Behandlung 3) empfohlen werden, während in Mondomo mit dem Anbau von Maniok zwischen konturparallelen Grasstreifen (Behandlung 6) die besten Ergebnisse erzielt wurden. Diese Schlußfolgerung stützt sich einerseits auf die vergleichsweise hohen monetären Erträge, andererseits auf die erosionsmindernde Wirkung dieser Anbausysteme.

Die zeitliche Begrenzung der Untersuchungen schränkt die Aussagefähigkeit der Ergebnisse im Hinblick auf die Anwendbarkeit der ABAG unter den Standortbedingungen von vorneherein ein. Eine weitere Einschränkung besteht natürlich darin, daß die Anwendung des Modells die Gültigkeit der zugrunde liegenden Annahmen auch für diese Standorte voraussetzt. Allgemein übertrafen die mit der ABAG (ohne Faktor P) errechneten Bodenverluste deutlich die tatsächlich gemessenen Bodenerträge. Abweichend von der verbreiteten Annahme, daß die ABAG die Erosivität tropischer Regen unterschätzt, zeigten sich bei diesen Untersuchungen gegenteilige Tendenzen. Dennoch konnte aus den Ergebnissen geschlossen werden, daß die Erosivität der Niederschläge unter den Standortbedingungen die wesentliche Ursache für das Ausmaß der Bodenerosion war, während die Erodierbarkeit der Böden sehr gering war. Bewirtschaftungsmaßnahmen spielten dort eine größere Rolle, wo der Regenfaktor R bzw. EI_{30} weniger eng mit dem Bodenabtrag korreliert war.

Die Frage nach der Übertragbarkeit der ABAG unter den Standortbedingungen konnte angesichts des kurzen Untersuchungszeitraumes nicht eindeutig beantwortet werden. Mußmaßlich haben aber die grundlegenden Faktoren, die den Prozeß der Bodenerosion durch Wasser bestimmen, auch in dieser Klimazone ihre Bedeutung.