

## **Josef G. Knoll-Wissenschaftspreisträger 1996**

## **Josef G. Knoll-Science Award Winner 1996**

**J. P. A. Lamers, A. Bürkert und K. Michels: „Ernährungssicherung im Westafrikanischen Sahel durch Erosionsbekämpfung und standortgerechten Nährstoffeinsatz“, Universität Hohenheim, 1995**

Resümee

### 1. Problemstellung

In Afrika ist die Steigerungsrate der Nahrungsmittelproduktion südlich der Sahara seit den sechziger Jahren geringer als die der rasch anwachsenden Bevölkerung. Vor allem in den Ländern der westafrikanischen Sahelzone hat sich die Unterversorgung verschärft und es erscheint heute als sicher, daß die Selbstversorgung dieser Region nicht ohne einschneidende Änderung der technischen Produktionsverfahren sowie der institutionellen und agrarpolitischen Rahmenbedingungen sichergestellt werden kann.

Die Sahelzone ist ein Übergangsbereich zwischen der Saharawüste und der Savanne, in der Weidewirtschaft und zunehmend auch Ackerbau die wirtschaftliche Grundlage der überwiegend landwirtschaftlichen Bevölkerung bilden. Perlhirse (*Pennisetum glaucum* L.) ist dabei die bei weitem wichtigste Kulturart, die oft in Kombination mit Augenbohne angebaut wird. Hirse liefert nicht nur das Hauptnahrungsmittel für die Mehrzahl der Bewohner des westafrikanischen Sahel, sondern ihre Beiprodukte stellen als Viehfütter oder als Bau- und Brennmaterial wichtige Rohmaterialien dar. Das ackerbauliche Potential wird jedoch durch die Nährstoffarmut der sandigen Böden und durch ungünstige klimatische Bedingungen wie ausbleibende oder ungünstig verteilte Niederschläge stark eingeschränkt. Zusätzlich verursachen regelmäßig in der Wachstumsperiode auftretende Sandstürme nicht nur direkte Schäden an angebauten Kulturpflanzenbeständen, sondern sie führen auch zu weiterer Degradation der ohnehin schon verarmten Böden.

Die Bewohner dieser ökologisch anfälligen Region haben seit Jahrtausenden auf die Widrigkeiten ihrer Umwelt durch angepaßte Methoden der Landbewirtschaftung reagiert. Mit der rasant anwachsenden Bevölkerung verschärften sich jedoch die Auswirkungen nährstoffarmer Böden und periodisch auftretender Dürren. Eine der Folgen war die Ausbreitung des Ackerbaus auf marginale Standorte, was zu einer Verkürzung der wichtigen Brachezeiten und in der Konsequenz zu sinkenden Flächenerträgen führte. Der durchschnittliche Hirseertrag in der Republik Niger beträgt z.B. lediglich 300 bis 400 kg/ha. Es ist daher notwendig, mit naturwissenschaftlichen Methoden die Ursachen der bestehenden Probleme zu erforschen und innovative Lösungsansätze unter Einbeziehung lokalen Wissens und der politischen Rahmenbedingungen zu suchen.

### 2. Forschungsfragen

In der südlichen Sahelzone der Republik Niger zählen Winderosion und der extreme Phosphormangel der Böden zu den wichtigsten Hindernissen für die notwendige

Ertragssteigerung von Perlhirse. Das Phänomen der durch Sandstürme ausgelösten Winderosion im Sahel war bis vor kurzem weitgehend unerforscht. Die Untersuchung grundlegender Prozesse der Winderosion begannen in den vierziger und fünfziger Jahre vornehmlich in den USA, ausgelöst durch die katastrophale "Dust bowl" im Mittleren Westen, und in Großbritannien. In Westafrika lag das Hauptaugenmerk der Forschung auf dem Transport von "Saharastaub", der zuweilen bis nach Europa und sogar Lateinamerika gelangte. Nur beiläufige Hinweise auf Winderosionsschäden im Sahel befinden sich seit den vierziger Jahren in der einschlägigen Literatur. Es gab keinerlei Wissen über das Ausmaß der Erosion und der Wirkungen auf Boden und Pflanzen. Maßnahmen zur Bekämpfung von Winderosion können generell in die Kategorien Windbarrieren, Bodenbedeckung und Bodenbearbeitung eingeteilt werden. Bäume sind integraler Bestandteil der agropastoralen Systeme im Südsahel und es gab bereits vereinzelt Windschutzheckenprojekte in der Region. Deren Erfolge waren oft fragwürdig, indem ein hoher Aufwand für die Etablierung solcher Hecken nötig war oder weil bei der Nutzung der Heckenprodukte soziale Konflikte aufbrachen.

Stroh, das als Mulch vor Erosion schützen kann, fällt bei jeder Ernte an, hat aber traditionell viele konkurrierende Verwendungszwecke und ist daher knapp. Es war aus vorhergehenden Untersuchungen bereits bekannt, daß durch den Einsatz von Hirsestroh als Mulch sowie durch Phosphatdünger Hirseerträge stark erhöht werden können. Über die Art der besten Verwendung des knappen und wertvollen Strohmaterials sowie die den Ertragssteigerungen zugrunde liegenden Wirkungszusammenhängen war dagegen wenig bekannt. Es lag daher nahe, die Forschung zum Erosionsschutz mittels Stroh mit Untersuchungen zu Nährstoffwirkungen von Stroh, auch in Kombination mit einer Phosphatdüngung, zu kombinieren.

Damit Innovationen zum Schutz des Bodens, zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und der langfristigen Produktivität attraktiv sind, sollten sie eine gewisse Rentabilität aufweisen. Nationale und internationale politische Entscheidungsträger können Anreize schaffen, die die Akzeptanz von Innovationen erhöhen. Aus diesem Grund wurden die Problematik der nachhaltigen Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität und der Nahrungsmittelversorgung im westafrikanischen Sahel in der hier vorgelegten Arbeit von einem multidisziplinären Team gemeinsam untersucht. Die Forschungsfragen lauteten:

- Welches Ausmaß hat Winderosion auf den sandigen Böden im Sahel, welche Schäden an Boden und Pflanze werden durch sie verursacht, und welche Bekämpfungsmaßnahmen sind integrierbar in die existierenden Produktionssysteme?
- Was sind die Mechanismen der Effekte von Ernterückständen auf den Ertrag von Perlhirse, und wie wirken Ernterückstände und Phosphatdünger bei verschiedenen Genotypen auf Ertrag und Qualität des Ernteguts?
- Wie ist die ökonomische und finanzielle Rentabilität von Windschutzhecken und Mulch mit Ernterückständen? Gibt es ein lokales Wissen der einheimischen Bevölkerung über Winderosion und ihre Bekämpfung? Wie kann die Akzeptanz angepaßter Innovationen verbessert werden?

### 3. Zielsetzung

Oberziel unserer Forschungsvorhaben war die Erarbeitung von Kenntnissen zur Entwicklung von Verfahren zur nachhaltigen Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion in der Sahelzone Westafrikas. Durch Feld- und Laborversuchen in der Republik Niger, durch systematische Befragungen der betroffenen Zielgruppen und durch Haushaltsmodellrechnungen sollten klare Strategien und Beratungsempfehlungen aufgezeigt werden, die im soziokulturellen Kontext umsetzbar sind, mit dem Ziel der Sicherstellung der Selbstversorgung der Bevölkerung. Die Unterziele waren daher:

- Quantifizieren des Transportes von Boden und Nährstoffen durch Sandstürme, und Bestimmung der durch Winderosion verursachten Schäden an Perlhirse,
- Erprobung angepaßter Bekämpfungsmaßnahmen (Mulch, Agroforstsysteme) gegen Erosion im Feld,
- Verständnis der anti-erosiven, der bodenchemischen und bodenphysikalischen Wirkungen von Hirsestroh,
- Ermittlung der Interaktion von Ernterückständen und Phosphatdünger mit verschiedenen Hirse-Genotypen,
- Bewertung von entwickelten Technologien zur Bekämpfung von Winderosion im Hinblick auf ihre ökonomische und finanzielle Rentabilität,
- Entwicklung von Maßnahmen zur Überwindung von Akzeptanzschwierigkeiten bei Innovationen zur Winderosionsbekämpfung.

### 4. Methodisches Vorgehen

#### 4.1 Ausmaß der Winderosion und verursachte Wirkungen auf Hirsepflanzen und Boden

Die Wirkungen von Winderosion auf Boden und auf Perlhirse wurden sowohl in Feldversuchen auf der Forschungsstation des ICRISAT Sahelian Center im Südwesten Nigers, als auch unter kontrollierten Bedingungen im Windkanal untersucht. In einem Hirsefeld wurden während mehrerer Jahre detaillierte Erosionsmessungen durchgeführt und die Auswirkungen auf chemische und physikalische Bodenparameter bestimmt. Die nach Sandstürmen nicht, teilweise oder völlig bedeckten Hirsepflanzen wurde nach jedem Sturm gezählt und das Wachstum und der Korntrag von Hirsepflanzen aus unbedeckten und aus teilweise bedeckten Pflanzstellen untersucht. Im Windkanal wurde zunächst die Bedeutung der Windgeschwindigkeit, der Erosionsintensität und des Pflanzenalters für Wachstum und Entwicklung von Hirsepflanzen bestimmt. In einem weiteren Versuch wurde der Einfluß des Saatsystems, des Pflanzenalters und der Bedeckung durch Sand auf die Überlebensrate und das Wachstum bei Stürmen untersucht.

#### 4.2 Bekämpfungsmaßnahmen gegen Winderosionsschäden: Mulchanwendung und Agroforstwirtschaft

Die Wirkungen von Mulch aus Hirsestroh in verschiedener Mengen zur Reduzierung der Bodenerosion wurden in einem Feldversuch untersucht. Die Flugsandmenge wurde in 0,1 m

Höhe während der einzelnen Erosionsereignisse in allen Behandlungen gemessen, die Anzahl der teilweise oder völlig von Sand bedeckten Pflanzstellen ermittelt, sowie am Ende der Wachstumsperiode der Korn- und Strohertrag bestimmt. Der Einfluß auf die Topographie des Feldes wurde gemessen und die Korngrößenfraktionen des Flugsandes untersucht. In einem Agroforstexperiment wurden die Einflüsse von sieben Windschutzhecken, in Kombination mit und ohne Ernterückstände, auf Bodeneigenschaften und den Hirseanbau in angrenzenden Feldern untersucht. Die Ertragskomponenten der Hirse wurden in Abstand von der Hecke bei allen Baumarten bestimmt.

#### 4.3 Separation von anti-erosiven, bodenchemischen und bodenphysikalischen Wirkungen des Hirsestrohs

Um die Wirkungsmechanismen des Strohmulches besser zu verstehen und die Erosionsschutzwirkungen von bodenchemischen und -physikalischen Faktoren zu trennen, wurden in einem Feldversuch mit Hirse die Wirkung von einer mulchfreien Kontrolle, von gemulchtem Hirsestroh (2000 kg/ha) sowie einer bedeckungsgleichen Mulchmenge aus inerten Polyethylen-Schläuchen miteinander verglichen. Bodenchemische Parameter wurden untersucht sowie Bodentemperatur und Bodenabtrag gemessen. Nach jeder Wachstumsperiode wurden die Ertragskomponenten von Hirse bestimmt.

#### 4.4 Ermittlung der Interaktion von Ernterückständen und Phosphatdünger mit Hirse-Genotypen

Ein faktorieller Feldversuch wurde mit 48 Behandlungen durchgeführt, die vier Perlhirse-Genotypen, drei Niveaus an Mulch sowie zwei Phosphatdüngermengen umfaßte. Ebenfalls getestet wurde die Wirkungen von geringen Aufwandmengen an plaziert ausgebrachten Phosphatdüngern. Hirsewachstum und Erträge wurden in Abhängigkeit von der Bodenfruchtbarkeit analysiert, sowie das Wachstum von Unkraut gemessen. Gehalte an Phosphat im Korn und deren Einfluß auf die Humanernährung wurden untersucht.

#### 4.5 Ökonomische und finanzielle Rentabilität von entwickelten Technologien zur Bekämpfung der Winderosion

Bei Befragungen von Bauern (Rapid Rural Appraisal) in Niger wurde deren Erfahrungen mit Winderosion, ihre Einschätzung der Schäden sowie ihre Wertschätzung von Bäumen untersucht. Die dabei genannten Kriterien wurden in die Rentabilitätsrechnungen integriert. Der direkte Nutzen von Windschutzhecken, d.h. ihre Holz- und Viehfutterproduktion, und der indirekte Nutzen, also die Trockenmasseproduktion der geschützten Hirseanbaufläche, wurden in einer partiellen Kosten-Nutzen-Analyse getrennt betrachtet. Anschließend wurden alle Kosten und Nutzen gleichzeitig analysiert. Die partielle Kosten-Nutzen-Analyse des Viehfutters der Hecken wurde durch die Trockenmasseproduktion und die Viehfutterqualität der Blätter unter Heranziehen des Gehaltes an metabolischer Energie und Rohprotein durchgeführt. Schattenpreise des Viehfutters wurden mit Hilfe des metabolischen Energiegehaltes und der Marktpreise alternativer Futtermittel errechnet. Die partielle Kosten-Nutzen-Analyse von Brennholz bezog sich auf jährliche Trockenmassenerträge, Brennwerte des Holzes und Marktpreise. Die partielle Kosten-Nutzen-Analyse des Korn- und Strohertrags von Hirse basierte auf dem Zweijahresdurchschnitt der Feldversuche. Kosten und Nutzen wurden nicht korrigiert für das von den Windschutzhecken beanspruchte Land. Der Gesamtnutzen der Windschutzhecken wurde über den Kapitalwert des Nettoeinkommenszuwachses (KWNEZ), das Kosten-Nutzen-Verhältnis (KNV) und den Internen Zinsfuß ((ZF) in 4 Szenarien über 15 Jahre hinweg bestimmt. Kosten und Nutzen

der Kontrolle wurden korrigiert für die nicht von Hecken beanspruchte Fläche

Mittels linearer Programmierung erfolgte der Vergleich verschiedener Nutzungsmöglichkeiten von Hirsestroh in typischen Betriebssystemen von Niger: ohne Mulch, Mulchen mit 500 kg/ha und 2000 kg/ha, Verbrennen von 2000 kg/ha und Ausbringen der Asche sowie Verfütterung des Strohs an Tiere. Das lineare Modell berücksichtigte das Produktionsniveau des Strohs, den möglichen An- und Verkauf und die betriebsinterne Verlagerung von Stroh, die verfügbare Arbeit und Fläche, den Tierbesatz und die Verwendung der Einnahmen für den Zukauf von Stroh und Arbeitskraft.

## 5. Empirische Grundlagen und Ergebnisse

### 5.1 Ausmaß der Winderosion und verursachte Wirkungen auf Hirsepflanzen und Boden

Während der Regenzeiten traten ca. 15 bis 20 Sandstürme von meist weniger als einer Stunde Dauer auf. Sie gingen in der Regel den Niederschlagsereignissen voraus und bedecken ungeschützte junge Hirsepflanzen, deren Wachstum dadurch verzögert wird oder die dadurch ganz absterben. Pro Jahr wurden 1200 bis 1600 kg Feinsand pro m<sup>2</sup> vertikaler Sandfallenöffnung aufgefangen. Diese Menge ist wesentlich geringer als sie z.B. in den Great Plains der USA gemessen wurde. Ein Schutz gegen die Verlagerung der nährstoffreichen Feinfraktionen auf den nährstoffarmen und sandigen Böden des Sahel ist jedoch notwendig für eine nachhaltige Produktion auf erosionsgefährdeten Standorten. In einem Feldversuch war 3 Wochen nach der Saat die Hirse zu 90% zugedeckt und abgestorben, so daß eine Neuansaat notwendig wurde. Bei dieser zweiten Saat zeigte Hirse aus teilweise zugedeckten Pflanzstellen signifikante Wachstums- und Entwicklungsverzögerungen sowie einen 50%igen Ertragsrückgang, verglichen mit Hirse aus unbedeckten Pflanzstellen.

Die Windkanalversuche ergaben, daß Hirse im Vergleich zu verschiedenen Getreide- oder Gemüsearten relativ widerstandsfähig gegen Schleifschäden durch Winderosion ist. Im Vergleich zur Kontrolle war die Blattfläche bei der stärksten Flugsandintensität um bis zu 55% reduziert. Die Blattphotosynthese wurde in Abhängigkeit von der Flugsandmenge um bis zu 68% vermindert, nahm aber innerhalb von 4 Tagen in der Regel wieder die Werte der unbehandelten Kontrolle an. Die höchste Stufe der einmaligen Bestrahlung mit Flugsand reduzierte die Trockenmasse nach 57 Tagen um 9,7% im Vergleich zur Kontrolle. Die zweimalige Bestrahlung senkte die Trockenmasse um 9,0%, verglichen mit einmaliger Bestrahlung nach 8 oder 16 Tagen, welche sich nicht signifikant von der unbehandelten Kontrolle unterschieden. Die Windgeschwindigkeit hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Trockenmassebildung von Hirse. Die im Topf simulierte Bedeckung mit Sand führte zu einem verbreiteten Absterben der Hirsesämlinge, vor allem bei einzeln gesäten Pflanzen. Die in Niger traditionelle Saatweise in "pockets" (10-20 Sämlinge in einem Büschel) schützt die Einzelpflanzen nicht meßbar gegen Flugsand, erhöht aber deren Fähigkeit, nach einer Bedeckung sich wieder zu erholen. Die sensible Periode für Schäden an Hirse durch Winderosion dauert unter optimalen Wachstumsbedingungen ca. 1 bis 2 Wochen, im Feld unter Wasser- und Nährstoffmangel entsprechend länger.

### 5.2 Bekämpfungsmaßnahmen gegen Winderosionsschäden: Mulchanwendung und Agroforstwirtschaft

Stroh, in Mengen von 2 t/ha als Mulch aufgebracht, reduzierte die Menge an bodennahen Flugsanden um 45 bis 50%, während 0,5 t Stroh/ha wenig Einfluß hatte. Die Anzahl unbedeckter Hirsepflanzen war in einem Jahr bei 2 t/ha Mulch um ca. 12% höher, verglichen

mit der Kontrolle und der 0,5 t/ha-Variante. Nach 2 Jahren Mulch war an der Bodenoberfläche der Mulchparzellen weniger Grobsand, aber mehr Feinsand und Ton zu finden als auf unbedecktem Boden. Der Gehalt an organischer Substanz im Flugsand war höher als der der Bodenoberfläche. Der Hirsekornertag wurde durch die Anwendung von 2 t/ha Stroh ohne Dünger im ersten Jahr um 50% erhöht, verglichen mit der 0,5 t/ha Behandlung und der Kontrolle. Der Kornertag im Folgejahr wurde durch die Anwendung von Stroh von 653 kg/ha (Kontrolle) auf 826 kg/ha (bei 0,5 t Mulch) und 974 kg/ha (bei 2 t Mulch) erhöht. Hirsestroh in einer Menge von 2 t/ha kann eine zentrale Rolle im Kampf gegen Winderosion und zur Sicherung der Erträge spielen, steht aber unter den traditionellen Produktionsbedingungen bislang nur beschränkt zur Verfügung, so daß lediglich kleine Flächen innerhalb von Feldern bedeckt werden können.

Im Agroforstversuch reduzierte *Bauhinia rufescens* die bodennahe Flugsandmenge um ca. 50% in 5 m Abstand, um 66% in 10 m und um 38% in 15 m Abstand von der Hecke. Die Reduktion durch *Andropogon. gayanus* betrug 50, 48 und 9%. Durch die Kombination von Hecken mit Mulch konnte eine weitere Halbierung der Erosion erreicht werden. Die Hecken hatten kaum Einfluß auf die chemischen Bodenparameter und beeinflussten den Kornertag von Hirse nicht signifikant. Die Gesamttrockenmasse von Hirse in einem Bereich bis 20 m von der Hecke war in beiden Jahren bei *Faidherbia albida* am höchsten. Die Kontrolle hatte den geringsten Ertrag, gemittelt über beide Jahre. Die Strohanwendung erhöhte den Hirseertrag in beiden Jahren signifikant. *Acacia holosericea* produzierte das meiste, aber auch das schlechteste Futter von allen Spezies. Die optimale Kombination von Menge und Qualität ergab sich bei *Acacia senegal* und *Bauhinia rufescens*. Die von den Bauern wegen ihrer Früchte geschätzte *Faidherbia albida* zeigte die niedrigste Blattproduktion und einen mittleren Futterwert. Der monetäre Ertrag der Viehfutterproduktion eines Hektars *Acacia senegal* entsprach 1993 dem Gegenwert von 470 kg Hirse. Der monetäre Viehfutterertrag war nur bei *Acacia senegal* niedriger als der monetäre Brennholzertrag.

### 5.3 Separation von anti-erosiven, bodenchemischen und bodenphysikalischen Wirkungen des Hirsestrohs

Der durch Mulch verursachte Bodeneintrag führte zu einer pH-Erhöhung und damit zu einer erhöhten Phosphatverfügbarkeit im Boden., die durch den Abbau des Strohs nochmals deutlich erhöht wurde. Mulch mit Ernterückständen führte zu einer Verminderung der täglichen Maximaltemperatur um bis zu 80C, was bei Temperaturen um bis zu 500C in 10 mm Tiefe bei der Kontrollparzelle für die weiter Pflanzenentwicklung sehr wichtig sein dürfte. Beide Mulcharten resultierten in einem dichteren Pflanzenbestand als die Kontrolle. Die Trockenmasseerträge waren mit organischem Mulch 29 bis 71% höher, bei Polyethylen-Mulch nur um 3 maximal 17% höher als die ungemulchte Kontrolle. Während der untersuchten Wachstumsperioden spielten die Nährstoffeffekte von Stroh als Mulch eine zentrale Rolle, aber der Schutz vor Erosion wurde ebenfalls deutlich.

### 5.4 Ermittlung der Interaktionen von Ernterückständen und Phosphatdüngern mit verschiedenen Hirse-Genotypen

Die Ertragsverbesserungen durch Strohanwendung und Phosphordüngung waren auf Stellen niedriger Produktivität deutlich stärker als auf unfruchtbareren Stellen. Auf Stellen mit niedrigem Produktivitätsniveau zeigte sich eine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Hirse-Genotyp und der Strohhandlung. Verantwortlich für die bessere Nährstofferschließung durch die Lokalsorte war vermutlich die längere Bestockungsperiode

mit dem damit verbunden ausgedehnteren Wurzelwachstum. Eine plazierte Phosphatdüngung mit deutlich verringerter Aufwandmenge als Alternative zur breitwürfigen Ausbringung von 13 kg P/ha führte zu einer deutlichen Verbesserung des Jugendwachstums von Hirse. Ab dem Zeitpunkt des Schossens blieb die Biomasseentwicklung allerdings zurück und war zur Kornreife nur noch geringfügig größer als die der ungedüngten Kontrolle. Durch Phosphatdüngung wurde auch die Phytat-P-Konzentration im Korn und dadurch das für die Humanernährung wichtige Phytat:Zink-Verhältnis über den kritischen Schwellenwert erhöht. Bei den bisherigen Zubereitungstechniken und dem hohen Fleischverzehr ist eine Minderung des Nährwertes durch hohe Phosphatdüngung nicht zu erwarten. Probleme sind allerdings zu erwarten, wenn der Fleischkonsum zurückgeht oder Hirse ohne Fermentierung zubereitet wird. Der Einsatz von Mulch und Phosphatdüngung führte auch zu einer starken Erhöhung der für die Tierfütterung in agropastoralen Nutzungssystemen wichtigen Unkrautbestände und der Hirseblätter.

### 5.5 Ökonomische und finanzielle Rentabilität von entwickelten Technologien zur Bekämpfung der Winderosion

Zwei Drittel der befragten Bauern haben Winderosion und Schäden an Hirse innerhalb der letzten 10 Jahre auf ihren Feldern beobachtet. Sie wenden lokal Mulch an, um unfruchtbare Stellen wieder in Produktion zu bringen. Bauern und ihren Ehefrauen beurteilten den Nutzen von Bäumen unterschiedlich. Während die Männer Bodenfruchtbarkeitswirkung und Winderosionsschutz als wichtigste Kriterien angaben, hoben die Frauen die Lieferung von Brennholz hervor. Für beide Gruppen war die Produktion von Viehfutter durch Bäume wichtig.

Die Kosten-Nutzen-Analysen zeigte Vorteile von *Acacia senegal* und *Azadirachta indica* auf gegenüber *Acacia holosericea*, *Acacia nilotica*, *Faidherbia albida* und *Bauhinia rufescens*. Die dornigen Arten *Acacia senegal* und *Acacia nilotica* benötigten den höchsten Arbeitsaufwand für die Feuerholzbeschaffung und Schnitтарbeiten. Der monetäre Brennholzertrag eines Hektars von *Acacia senegal* entsprach 1993 dem Äquivalent von 600 kg Hirse oder 30% der durchschnittlichen jährlichen Produktion eines typischen Familienbetriebes in Westniger. Ein Hektar einer Windschutzhecke genügt, um 10 ha Hirsefeldern ausreichenden Schutz zu bieten. Der Deckungsbeitragsanstieg im Vergleich zur Hirseproduktion ohne Hecke variierte von 2% bei *Andropogon gayanus* bis zu 35% bei *Faidherbia albida*. Windschutzhecken hatten keinen Einfluß auf Unkrautwachstum und die dafür anfallende Arbeit durch Hacken. Festzuhalten ist, daß die Wahl der Spezies die Rentabilität stark beeinflußt, denn nicht alle Spezies erhöhten den Hirseertrag oder waren gleichermaßen als Lieferant für Viehfutter und Brennholz geeignet. Kosten in Höhe von 20.500 FCFA/ha für die Anlage einer Windschutzhecke von 1170 m<sup>2</sup>, nötig um ein Feld von 1 Hektar zu schützen, entsprachen zu Preisen von 1988 dem durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 1 Hektar Hirse unter traditionellen Anbaubedingungen. Aufgrund der hohen Investitionskosten und der niedrigen kurzfristigen Rentabilität ist kaum zu erwarten, daß Bauern in Niger Windschutzhecken auf eigene Kosten anlegen. Zusätzlich müssen Bodenbesitz und Nutzungsrechte der Bewirtschafter gesichert werden.

Das Verfüttern von Hirsestroh ergab die höchste Arbeitsproduktivität insgesamt, während Verbrennen die beste Arbeitsproduktivität pro Stunde Unkrautbekämpfung ergab. Diese traditionellen Verwendungsmöglichkeiten verlangen weniger Arbeit als Mulchen, das vor allem das Unkrauthacken erschwert. Die höchste Flächenproduktivität erreicht die Variante mit der höchsten Mulchgabe. Als optimal erwies sich die Kombination der

Nutzungsmöglichkeiten von Hirsestroh, die je nach Strohproduktion, Arbeit- und Landverfügbarkeit, Tierbesatz und Kapitalausstattung von Fall zu Fall variierte. Nur bei Landknappheit hat Mulchen einen Vorsprung gegenüber den anderen Verwendungsmöglichkeiten. Das niedrige Produktionsniveau, die Erhöhung der Arbeitszeit vor allem während der Unkrautbekämpfung, und die Rentabilität alternativer Nutzungen können verhindern, daß Bauern die vorgeschlagene Mulchtechnik mit einer Gabe von 2000 kg Hirsestroh/ha anwenden. Mulch als Erosionsschutztechnik ist nur darin ökonomisch sinnvoll, wenn Land der begrenzende Produktionsfaktor ist und nicht wie bisher die Arbeitszeit für die Unkrautbekämpfung. Aufgrund der hohen Opportunitätskosten des Hirsestrohs kann es ökonomisch sinnvoll sein, daß Bauern es anderweitig einsetzen, um ihr derzeitiges Einkommen zu erhöhen und dadurch den Aspekt der Bodenfruchtbarkeitserhaltung außer acht lassen. Ausgehend von den positiven Langzeitwirkungen des Mulches erscheint es daher notwendig, die Produktion des Hirsestrohs zu erhöhen, z.B. mit Hilfe von Phosphatdünger. Nur durch ein höheres Produktionsniveau kann Bodendegradation durch Übernutzung der Boden vermindert werden.

## 6. Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Leistungsfähigkeit traditioneller Erosionsschutzmaßnahmen im westafrikanischen Sahel kann nur unwesentlich durch den Einsatz weiter verbesserter lokaler Techniken gesteigert werden, wie z.B. durch konzentriertes Ausbringen von Mulch und Mist auf erodierten Stellen. Neue Technologien sind notwendig, um langfristig die Produktion sicherzustellen oder gar zu erhöhen. Eine Einführung von Windschutzhecken und Mulch in großem Ausmaß ist durch ihre niedrige Rentabilität unwahrscheinlich. Die Entscheidung, dennoch in Erosionsschutzmaßnahmen zu investieren, läßt sich mit den zukünftigen Opportunitätskosten für die entgangenen Einkommen der Bauern rechtfertigen, wenn derzeit nichts gegen die Erosion unternommen wird. Die Bauern in gefährdeten Gebieten müßten dann aus externen Quellen (wie internationaler Hilfe) unterstützt werden. Die Kosten würden aller Wahrscheinlichkeit nach bei weitem die aktuellen Kosten der Implementierung von Bodenerosionsschutzmaßnahmen übersteigen. Darüber hinaus kann gezeigt werden, daß der langfristige Nutzen des Bodenschutzes (Ertragsstabilisierung und -steigerung, Ressourcenschutz) die Kosten der Implementierung von Erosionsschutzmaßnahmen weit übersteigt. Daher wurden in den entwickelten Ländern Bodenschutztechniken hauptsächlich über Subventionsprogramme ermöglicht. Ähnliche Anreize sind auch für den Sahel notwendig, um weitere Bodendegradation zu verhindern. Die begrenzten Budgets der Sahelländer erfordern dabei die Unterstützung der entwickelten Länder. Die Motivation von Bauern zu erhöhen, ist eine zentrale Aufgabe des Beratungssystems, aber sie bedarf politischer und institutioneller Unterstützung. Ökonomische Anreize und eine günstige landwirtschaftliche Preispolitik verstärken die Wirkung von Forschung und Beratung.



Literatur:

Andreas Buerkert "Effects of Crop Residues, Phosphorus, and Spatial Soil Variability on Yield and Nutrient Uptake of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) in Southwest Niger", Verlag Ulrich Grauer - Stuttgart, 1995, ISBN 3-86186-099-6.

Karlheinz Michels "Wind Erosion in the Southern Sahelian Zone - Extent, Control, and Effects on Millet Production", Verlag Ulrich Grauer - Stuttgart, 1994, 3-86186-060-0.

John Lamers "An Assessment of Wind Erosion Control Techniques in Niger - Financial and Economic Analyses of Windsbreaks and Millet Crop Residues", Verlag Ulrich Grauer - Stuttgart, 1995, 3-86186-098-8.