

Abschlussbericht 1994-1995

ITADA-Projekt 7: Stickstoffdynamik bei Rotationsbrache mit und ohne Begrünung

Projektverantwortlicher:	Rémi Koller ARAA Schiltigheim	F
Projektpartner:	Georg Kansy Regierungspräsidium Freiburg	D
Mitbeteiligte:	SUAD der Landwirtschaftskammer Unterelsaß Helmut Nußbaumer Inst. f. umweltger. Landbew. Müllh. Amt für Landwirtschaft Freiburg	F D D

1. Einleitung

Die Europäische Union hat im Jahr 1993 die Flächenstilllegung eingeführt, als Instrument zur Regulierung der Märkte für Getreide und Ölsaaten.

Neben ihren Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit, bedeutet die Flächenstilllegung die Stilllegung von Ackerland für eine Dauer von einigen Monaten bis zu mehreren Jahren. Sie hat sicher einige Auswirkungen auf die Landbewirtschaftung, die aber noch nicht ganz klar sind, weil die Brache lange Zeit bei den Bauern und ihren Beratern in Vergessenheit geraten war.

So kam es 1993 trotz einer Reihe von verbindlichen technischen Regelungen (s. Kasten 1) zu einer ganzen Reihe von Fragen zur Saat, zur Beherrschung des Aufwuchses und zur Verunkrautung des Schlags, zur Vernichtung des Aufwuchses und zur Wiederinkulturnahme. Im Zusammenhang mit dem Kampf gegen die Nitratverluste der Landwirtschaft im gesamten Rheingraben kam zu diesen Fragen noch jene nach der Stickstoffdynamik unter stillgelegten Flächen hinzu, zumal die Stilllegungssätze, und daraus resultierend die Stilllegungsflächen, im Landschaftsmaßstab erhebliche Flächen ausmachen (s. Kasten 2) und potentiell ebenfalls die Qualität des auf der Gesamtheit der landwirtschaftlichen Flächen produzierten (Grund-)Wassers belasten.

Die Fragen der Ansaat und Bewirtschaftung der Begrünung wurden vom ITCF und den Beratungsdiensten der Landwirtschaftskammern im Elsaß seit 1993 untersucht. In Baden-Württemberg haben sich Landesanstalten und Beratungseinrichtungen mit diesen Fragestellungen ebenfalls befasst.

Im Kasten 3 sind die von der Landwirtschaftskammer des Unterelsaß bzw. dem Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg ausgearbeiteten Empfehlungen zusammengestellt. Die elsässischen Empfehlungen beruhen auf der Beobachtung von mehreren Flächen zwischen 1993 und 1996 außerhalb des ITADA-Programms.

Kasten 1: Die verpflichtenden technischen Bestimmungen für die Bewirtschaftung von Stilllegungsflächen

F	Bodenbedeckung	D
---	----------------	---

unbedeckter Boden:

Die Fläche muß durch regelmäßige Bodenbearbeitung frei von Bewuchs gehalten werden.
Diese Regelung bestand nur ein Jahr lang (1993) und nur in Frankreich. War in Deutschland nie zulässig.

Selbstbegrünung:

Die spontane Vegetation nach der Ernte der Vorfrucht (Ausfallpflanzen und Unkraut) werden belassen.

Nur zulässig bei Rotationsbrache

aktive Begrünung:

Es wird eine Art oder ein Gemenge von Arten aus einer Liste zulässiger Arten angesät.

Einzig zulässige Möglichkeit bei
Dauerbrache

F	Pflege	D
---	--------	---

Behandlung des Aufwuchses unter Respektierung vorgeschriebener Termine

Mulchen, mähen ohne weitere Aufbereitung (Pressen zu Ballen) oder chemische Unkrautbekämpfung mit für diesen Einsatz speziell erlaubten Mitteln und nur auf angesäten Begrünungen zwischen dem 15. Januar und 31. August (bei Begrünung zur Wildäsung keine mechanische Bearbeitung zwischen dem 25. April und 15. Juli).

Mulchen bzw. mähen nach dem

Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist untersagt mit Ausnahme bei Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen.

F	Weitere Bestimmungen und Termine	D
---	----------------------------------	---

Oberflächliche Bodenbearbeitung mit mulchender Einarbeitung des Aufwuchses ab dem 15. Juni.

Umbruch ab dem 15. Juli mit behördlicher Ausnahmegenehmigung wenn Winterraps oder Feldfutter angesät werden sollen; ansonsten nach dem 31. August.

Sonderfall der Brache für das Wild: Keine mechanischen Eingriffe zwischen 25. April und 15. Juli!

Zeitraum der Stilllegungsverpflichtung jew. vom 15. Januar bis zum 31. August. Ab dem 15. Juli Vorbereitung und Aussaat von Pflanzen, sofern technisch erforderlich sowie Beweidung im Rahmen traditioneller Wandertierhaltung.

Kasten 2: Geschichte der Stilllegung und stillgelegte Flächen

Jahr	Stilllegungssatz in % der prämienerberechtigten Anbaufläche	Stilllegungsflächen (ha)						
		Rotations -	Dauerbrache	Bas-Rhin***	Bas-Rhin**	Haut-Rhin***	Haut-Rhin**	Alsace
1993	15	-	13.000	13.000				89.096
1994	15	20	16.500	16.100				76.025
1995	12	17	17.200	14.000				73.001
1996	5							60.824
1997	5							(40.367)

* incl. Flächen aus früheren freiwilligen Stilllegungsprogrammen (Extensivierung)

** Jachère = stillgelegte und nicht beerntete Fläche

*** Surface gelée = Stilllegungsfläche incl. mit nachwachsenden Rohstoffen (hauptsächlich Raps) bebaute und beerntete Fläche.

Kasten 3: Empfehlungen zur Bewirtschaftung von Stilllegungsflächen (siehe Anhang)

(Auszüge aus 'Trajectoires 67', landw. Informationsschrift der Landwirtschaftskammer des Unterelsaß bzw. Broschüre 'Stilllegung und Begrünung von Ackerflächen' des Ministeriums Ländlicher Raum Baden-Württemberg)

Kasten 4: Bracheversuche 1993: Vergleich der Nmin-Werte des Bodens im August bei verschiedenen Arten der Brache

(Versuche von ARAA, ITCF, Landwirtschaftskammern des Ober- und Unterelsass)

Diese Messungen wurden im August 1993 bei drei identischen Versuchen auf sehr unterschiedlichen Bodentypen vorgenommen. Dabei wurde Schwarzbrache mit drei Frühjahrsbegrünungen (Senf, Phacelia und welsches Weidelgras) verglichen.

Bei Schwarzbrache lag der Nitratwert im Durchschnitt der Messungen bei 174 kg N/ha. Bei Senf bei 64 kg, bei Phacelia bei 64 kg und bei Welschem Weidelgras bei 38 kg N/ha. Dies zeigt, daß Schwarzbrache eine große Gefahr für die Umwelt darstellt: das durch Mineralisierung aus der organischen Substanz des Bodens freigesetzte Nitrat wird nicht verbraucht und kann über Herbst und Winter ausgewaschen werden. Die Ansaat einer Begrünung kann diese Gefahr deutlich vermindern.

Im übrigen scheint die im August verfügbare Nitratmenge abhängig zu sein von der Art der Begrünung.

Die Versuche waren angelegt:

- in F-67 Elsenheim auf kiesigem braunen Ried
- in F-67 Geudertheim auf vergleytem alluvialem Ton
- F-68 Réguisheim auf einem Standort der Illeebene.

Tab. 3: Nmin-Gehalt unter Brache im August 1993 (kg N/ha)

Begrünung	Elsenheim	Geudertheim	Réguisheim	Mittelwert
keine	128	165	230	174
Senf	43	100	55	66
Phacelia	55	88	48	64
W. Weidelgras	32	48	34	38

2. Ausgangssituation: Fragestellungen und Hypothesen

Die allgemeinen Hypothesen zur Stickstoffdynamik bei Brache wurden von T. Dore und A. Capillon* verfaßt.

Die Bearbeitung unseres Vorhabens sollte Antwort geben auf die von diesen Autoren gestellten beiden Fragen:

- In welchem Maß können stillgelegte Flächen zur Nitratbelastung beitragen, während oder nach der Stilllegungszeit?
- Welche Mengen sind nach Stilllegung verfügbar und wie schnell werden diese freigesetzt?

Die verfügbaren Kenntnisse führen diese Autoren zur Unterscheidung von 3 hinsichtlich dem Stickstofffluss relativ einheitlichen Zeitabschnitten:

„a - Zeitabschnitt Herbst/Winter

Der im Boden zu Beginn der Auswaschungsperiode verfügbare mineralisierte Stickstoff ist abhängig von der Vorgeschichte der Fläche (über die N_{min}-Menge bei der Ernte der Vorfrucht), von den herbstlichen Mineralisierungsbedingungen und dem Stickstoffbindungsvermögen einer eventuell vorhandenen Begrünung.

Das Nitratauswaschungsrisiko kann groß sein, selbst wenn eine Begrünung ausgesät wurde. Für eine zu Winterbeginn vorhandene Menge an Mineralstickstoff hängt die Gefahr dann vom Witterungsverlauf des Winters und der Art des Bodens (Gründigkeit und Verhalten gegenüber der vorherrschenden Form des Mineralstickstoffs) ab. Der Nutzen einer Herbstsaat ist, selbst wenn die Stickstoffaufnahme vor Winter nur gering ist, auch unter dem Aspekt seiner Wirkung zu Ende dieser Periode zu diskutieren, da er schneller wieder Stickstoff absorbiert als Frühjahrssaaten, die normalerweise zu spät kommen.

b - Zeitabschnitt Frühjahr/Sommer

In diesem Zeitabschnitt ist die Auswaschung im Prinzip gleich null und die Netto-Mineralisation hoch. Unterschiede in der Stickstoffdynamik von stillgelegten Flächen lassen sich in erster Linie auf die Unterschiede in der Stickstoffaufnahmefähigkeit der Begrünung zurückführen.

Die Mineralstickstoffmengen im Sommer sind deshalb verschieden von Versuch zu Versuch und von Begrünungsart zu Begrünungsart, wahrscheinlich verursacht durch die Unterschiede bei den Pflegemaßnahmen, die mit der Begrünungsart zusammenhängen (Senf wird gemulcht aber Rübsen nicht), aber auch mit dem sehr unterschiedlichen Ausmaß der Verunkrautung.

c - Zeitabschnitt Herbst

Dies ist der schwierigste Zeitabschnitt für die Steuerung des Stickstoffs. Nach längerer Stilllegung vor einer Sommerfrucht nimmt das Auswaschungsrisiko bei möglichst langer Erhaltung der Vegetationsdecke ab. Dies ist nicht immer möglich (abfrierende Begrünungen, frühzeitige Zerstörung wegen übermäßiger Verunkrautung oder Erfordernissen der Bodenbearbeitung). Bei Winterfrüchten und insbesondere bei Getreide nach Stilllegung werden die in der Begrünung gespeicherten erheblichen Stickstoffmengen zu einem Zeitpunkt freigesetzt, zu dem der Bedarf der Kultur gering und der klimatische Wasserüberschuss hoch ist.

*T. DORE, A. CAPILLON 1995: Verbesserung und Erhaltung der Fruchtbarkeit von Böden bei Stilllegung in: 'Untersuchen und Düngen in voller Kenntnis; 2. Treffen zur überlegten Düngung und Bodenuntersuchung (J.C. IGNAZI und P. Riou - COMIFER und GEMAS - Paris, S.43 - 52.

Der Fall Dauerbrache

Bezüglich der Stickstofffreisetzung nach Wiederinkulturnahme kann das Modell 'Wechselgrünland' herangezogen werden: die angesäten Arten (bei Dauerbrache besteht Begrünungspflicht) sind dieselben oder ähnlich, die Nutzungsdauer ist vergleichbar. Die daraus abzuleitenden Schlußfolgerungen für die Düngung der Folgefrüchte, wie sie in den Mineralisierungstabellen für Ernterückstände enthalten sind, können ohne größeres Risiko auf Stilllegungsflächen übertragen werden. Eine Überprüfung dieser Empfehlung sollte aber trotzdem erfolgen. Die einzigen Einflußgrößen bei diesen Tabellen, die seit 20 Jahren unverändert sind, sind das Alter des Grünlands und der Umbruchtermin.

Was das Stickstoffauswaschungsrisiko betrifft, so besteht hier, obwohl für die Begrünung von Dauerbrache praktisch nur Futterpflanzen empfohlen werden, offensichtlich eine Situation, bei der die Übertragbarkeit der Kenntnisse von Wechselgrünland schnell an Grenzen stößt, da der Aufwuchs nicht abgefahren wird und somit kein Nährstoffexport stattfindet. Unbestellte Flächen (Ödland, Heide) wären eher vergleichbar, sind aber unter diesem Aspekt kaum untersucht.

Deshalb kann man zur Gefahr der Auswaschung während der Stilllegungsperiode nur die folgenden, sehr allgemeinen Thesen aufstellen:

- unter sonst einheitlichen Bedingungen ist die Gefahr der Stickstoffverlagerung unter den Durchwurzelungshorizont dann am größten, wenn hohe Stickstoffeinträge erfolgen, was bei Begrünung mit Leguminosen der Fall ist;
- Begrünungen mit flacher Durchwurzelung erhöhen die Risiken;
- alle Bewirtschaftungsmaßnahmen die dazu neigen, daß eine starke Mineralisierung der Begrünungsrückstände zusammenfällt mit geringer Stickstoffaufnahme der Folgekultur und ergiebigen Niederschlägen (z. B. die Mahd von Aufwüchsen mit engem C/N-Verhältnis im Spätsommer/Herbst), erhöhen das Risiko.

Abschließend sei erwähnt, daß es auf Dauerbracheflächen, genauso wie bei Grünland, unter entsprechenden Bedingungen zu erheblicher Denitrifikation kommen kann, sowohl während der Stilllegungsperiode als auch beim Umbruch.“

Deshalb muß eine Untersuchung zu den Konsequenzen der Stilllegung für das Verhalten des Stickstoffs so angelegt werden, daß die im nachstehenden Schema aufgeführten Aspekte erfaßt werden:

- Wahl der Pflanzenart
- Bestellverfahren
- Technik der Zerstörung des Aufwuchses
- Termin der Zerstörung
- Saatverfahren

VORHER	WÄHREND	NACHHER
- Vorfrucht	- N-Aufnahme der Begrünung	- Struktur, je nach Art der Zerstörung
- N-Düngung und Folgen für den Stickstoffgehalt im Boden	- Stickstoff im Boden - ausgewaschener N	- Verlauf der N-Freisetzung aus dem zerstörten Aufwuchs

Erwartete Ergebnisse

Empfehlungen zu Arten und Anbautechnik

Empfehlungen zur Bestellung der Folgefrucht und deren N-Düngung

3. Durchgeführte Arbeiten

3.1 Versuchsanlage

Im Rahmen des ersten Arbeitsprogramms 1994-1995 des ITADA wurden folgende Versuche angelegt:

3.1.1 Untersuchte Anbausysteme mit Stilllegung

Untersucht wurden drei Anbausysteme, die repräsentativ sind für die am häufigsten vorkommenden Verfahren.

2 Systeme mit Rotationsbrache:

- Weizen - Stilllegung (21 Monate) - Mais in Buggingen bei Müllheim (D-79)
- Mais - Stilllegung (18 Monate) - Mais in Biengen bei Bad Krozingen (D-79)

1 System mit Dauerbrache:

- in Hohfrankenheim (F-67)

Die untersuchten Begrünungsvarianten werden im jeweiligen Übersichtstableau des Versuchsstandorts im Detail beschrieben.

Tab. 4: Modalitäten des Rotationsbracheversuchs in Buggingen

- Vorfrucht: Weizen, Stroh ... , geerntet am 26. Juli 1994
- Bodentyp: lehmig-sandige Braunerde

Brachebegrünung	Termin und Art der Saat	Zerstörung der Begrünung und Maissaat 1996 (Kontrolle ohne N-Düngung)
SEDAMIX-Maisgrün - 70% Dt. Weidelgras - 30% W. Weidelgras	Sommer 1994 20 kg/ha als Untersaat am 14.07.94 mit pneumat. Düngerstreuer in Weizen	Klassisch: nach Umbruch am 28.02. 1996 flache Bodenbearbeitung mit Kreiselegge und Saat am 30.04.96 Direktsaat: am 30.04.1996 mit chemischer Unkrautbekämpfung mit Glyphosat (Roundup, 5 l/ha) am 02.05.96
Leguminosengemenge - 33% Rotklee - 66% Weißklee	Sommer 1994 22 kg/ha am 29.07.94 mit Kreiselegge und aufgesattelter Sämaschine	
Klee-grasgemenge - Weißklee - Weidelgras	Sommer 1994 15 kg/ha am 29.07.94 mit Kreiselegge und aufgesattelter Sämaschine	
Selbstbegrünung		

Tab. 5: Modalitäten des Rotationsbracheversuchs in Biengen (D)

- Vorfrucht: Mais, Stroh ..., geerntet am 1994
- Bodentyp: Parabraunerde auf Löß

Brachebegrünung	Termin und Art der Saat	Zerstörung der Begrünung und Maissaat 1996 (Kontrolle ohne N-Düngung; mit Untersaat)
SEDAMIX-Maisgrün - 70% Dt. Weidelgras - 30% W. Weidelgras	Sommer 1994 20 kg/ha als Untersaat am ... 94 mit in Mais	Klassisch: nach Umbruch am und Saat am ...
Kruziferengemenge - Senf - Ölrettich	Frühjahr 1995 12 kg/ha am 15.04.1995 nach Pflug und	
Klee grasgemenge - Weißklee - Weidelgras	Frühjahr 1995 15 kg/ha am 15.04.95 nach Pflug und ...	Direktsaat am ... nach chemischer Abtötung mit Glyphosat (Roundup, .. l/ha) am96

Tab. 6: Modalitäten des Dauerbracheversuchs in Hohfrankenheim (F-67)

- Vorfrucht: geerntet am
- Bodentyp: kalkhaltiger, sandig-toniger Lehm auf Mergel in 90 cm Tiefe, ohne Staunässe

Brachebegrünung	Termin, Art der Saat und Grad der Bodenbedeckung*	Beobachtungen 1995	Beobachtungen 1996
Gräsergemenge - Ausläufer-Rotschwengel - Schafschwengel 20% - dt. Weidelgras 40%	Herbst 1994: 15 kg/ha am 06.09.94 15/40/70	Langsame Entwicklung; viel Unkraut im Frühjahr; 1x Mulchen genügt	Immer noch gute Bodenbedeckung; 1x Mulchen im Herbst genügt
Klee grasgemenge - 75% W. Weidelgras - 25% Rotklee	Herbst 1994 15 kg/ha am 06.09.94 40/100/90	schnelle und nachhaltige Entwicklung; muß 2x gemulcht werden	muß 2x gemulcht werden; Rückgang des W. Weidelgrases im 2. Jahr
Gras-Reinsaat - W. Weidelgras ohne Samenbildung im Ansaatjahr	Frühjahr 1995 70/100/70	Kräftige Pflanze	nachlassend
Gras-Reinsaat - rasenbildendes Dt. Weidelgras	Frühjahr 1995 30/80/80	langsame Entwicklung; nicht ganz deckend	
Klee grasgemenge - dt. Weidelgras 70% - Rotklee 30%	Frühjahr 1995 70/100/100	Schnelle Entwicklung; gute Bodenbedeckung	das Dt. Weidelgras geht zurück
Senf	Frühjahr 1995 50/50/0	sehr schnelle Entwicklung, gute Unkrautunterdrückung	erneute Aussaat im Mai 1996; Umbruch Oktober 96

* Bodenbedeckungsgrad gemessen am:

bei Herbstsaat	bei Frühjahrssaat
08.12.94	20.06.95
17.05.95	20.09.95
04.06.96	04.06.96

3.1.2 Beobachtungen

In der Hauptsache wurde regelmäßig der Nmin-Gehalt des Bodens gemessen (in Deutschland nur der Nitratgehalt, in Frankreich der Nitrat- und der Ammoniumgehalt), und zwar in den Bodenhorizonten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm.

Bei Rotationsbrache betragen die Intervalle 2 Wochen, bei Dauerbrache 1 Monat.

Auf dem Dauerbrachestandort wurden die Messungen 1997 und 1998 fortgesetzt, um Aufschluß zu gewinnen über die Konsequenzen des Umbruchs, im Rahmen von Projekt A1.2 des zweiten ITADA-Arbeitsprogramms.

Die Messung haben hingegen nicht immer mit der Ernte der Vorfrucht begonnen (in Hohfrankenheim und in Biengen), was uns wertvolle Informationen für den ersten Herbst der Stilllegung vorenthalten hat.

Im übrigen wurden keine Messungen der Bodenfeuchte für die Erstellung einer abschließenden Datensammlung vorgenommen, was die spätere Umsetzung mit Hilfe von Auswertungsmodellen zur Abschätzung der Auswaschungsverluste einschränken wird. Diese Modelle sind neu, so daß sie bei der Konzeption der Versuche noch nicht berücksichtigt werden konnten.

Der Erfolg der Begrünungsansaat wurde qualitativ bewertet (Bodenbedeckung, Ausdauer der gesäten Arten).

Es war geplant, daß der nachfolgende Mais ohne Stickstoffdüngung angebaut würde, um die Stickstoffnachlieferung aus dem Boden messen zu können. Diese Feststellungen wurden jedoch nicht realisiert. Lediglich für den Standort Buggingen sind Ertragssergebnisse verfügbar.

4. Ergebnisse und Interpretationshypothesen

Die Nmin-Gehalte im Boden unter den verschiedenen Begrünungen sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt:

Abb. 4: Weizen - Brache - Mais, Buggingen.

Abb. 5: Mais - Brache - Mais, Biengen.

Abb. 6: Dauerbrache, Hohfrankenheim.

Diese Ergebnisse können jedoch ohne eine Verknüpfung mit der vertikalen Wasserbewegung, die zur Nitratverlagerung in den Untergrund führen kann, nicht genutzt werden. Der meßbare Gehalt an mineralisiertem Stickstoff zu einem bestimmten Zeitpunkt T ergibt sich aus einer Bilanz zwischen:

- Entzug der Pflanzen
- Mineralisierung des Bodens
- Tiefenverlagerung

Die monatlichen Niederschlagsdaten (Abb. 2 und 3) für die Versuchsstandorte geben einen ersten Hinweis auf die Wahrscheinlichkeit einer Auswaschung.

4.1 In Buggingen (Weizen - Brache - Mais) (Abb. 4)

ist die Entwicklung der Nitratgehalte im großen Ganzen praktisch gleich für alle Arten der Begrünung bis zum Mulchtermin am 02. August 1995.

Im Sommer, nach der Ernte und vor einer ordentlichen Entwicklung der Begrünung, steigen die Werte bei allen Varianten bis Anfang September an.

Sie steigen stärker an für die beiden 'Minimalvarianten':

- die Untersaat ohne Bodenbearbeitung,

- die Selbstbegrünung
infolge einer lückigen Bodenbedeckung und langsamen Entwicklung mit geringer Stickstoffaufnahme.
Unabhängig von der Art der Begrünung sinken die Bodenwerte gleichmäßig von September bis Mitte November 1994.

Die Niederschläge im August (95mm), September (124 mm) und Oktober 1994 (55mm) an der Wetterstation Hügelsheim lassen befürchten, daß eine erhebliche Auswaschung stattgefunden hat, und somit nur etwas mehr als 10 kg N/ha im Boden verblieben sind..

Von November 1994 bis Juli 1995 bleiben die Nitratgehalte bei allen Varianten unter 20 kg N/ha, was eine einheitlich geringe Gefahr für die Qualität des Sickerwassers bedeutet. Die einzige Ausnahme betrifft die Selbstbegrünung, wo es am 20. Dezember zu einem Anstieg auf 35 kg N/ha kommt, der aber, wohl im Zusammenhang mit Auswaschung, wieder verschwindet. Der dürftige Aufwuchs dieser Variante ist nicht in der Lage, selbst die geringe Menge an zu dieser Jahreszeit durch die Bodenmineralisierung freigesetztem Stickstoff aufzunehmen.

Im Juni und Juli 1995 steigen die Nmin-Werte in allen Varianten bis zum Mulchtermin am 02. August 1995, bei dem die Vegetation nicht sehr wüchsig ist, an.

Der Wiederaustrieb im Herbst 1995 ist sehr gering. In den beiden Varianten mit der dichtesten Narbe (Grasuntersaat und Klee-grasgemenge) finden sich die niedrigsten Werte, etwas höhere Werte in der Selbstbegrünungsvariante.
Dagegen kommt es in der Kleevariante, die nicht mehr austreibt, infolge der Zersetzung dieser Leguminosen zu einer beträchtlichen Erhöhung des Gehalts an auswaschbarem Stickstoff (bis zu 140 kg N/ha), was die Grundwasserqualität ganz sicher gefährdet.

4.2 In Biengen (Mais - Brache - Mais) (Abb. 5)

wurde mit den Nmin-Untersuchungen erst im Januar 1995 begonnen.
Es liegen deshalb keine Informationen über die Nmin-Gehalte des Bodens im für die Auswaschungsgefahr entscheidenden Herbst 1994 vor (Biengen und Buggingen sind etwa 15 km voneinander entfernt, und die niederschlagsbedingte Auswaschungsgefahr im Herbst 1994 dürfte auch in Biengen bestanden haben).

Von Januar bis Mitte Mai 1995 ist die Mineralisation in den unbedeckten Varianten des gepflügten Bodens, die im Frühjahr eingesät werden, aktiv. Zum Saatzeitpunkt Ende April werden 50 kg Nmin-N/ha überschritten.
Gleichzeitig liegen die Nmin-Gehalte in den Varianten mit Grasuntersaat unter 20 kg N/ha.

Von Mitte Mai bis September 1995 nehmen die Nmin-Werte ab. Dabei ist die Wirkung von zweierlei Einflüssen zu betrachten:
- die Stickstoffaufnahme durch die wachsende Vegetation,
- der Einfluß der ergiebigen Niederschläge des Frühjahrs 1995 (Mai = 165 mm; Juni = 89 mm), ohne daß es möglich wäre, den jeweiligen Anteil zu ermitteln.

Ab September 1995 ist die Entwicklung der Nmin-Gehalte unter den verschiedenen Begrünungsvarianten in etwa gleich. Sie schwankt zwischen 10 und 45 kg N/ha mit einem Minimum am 22.12.1995.
Die Mineralisierung des Bodens scheint teilweise von den verschiedenen Begrünungen aufgenommen zu werden. Aber auch die Auswaschung kann bei Niederschlägen von 77 mm im November und 74 mm im Dezember noch eine Rolle gespielt haben, was den Minimalwert zum Jahresende erklärt.

4.3 In Hohfrankenheim (Abb. 6)

beginnen die Messungen im August 1995, das heißt 11 Monate nach der Saat der Begrünungen im September 1994 und 4 Monate nach der Saat der Begrünungen vom April 1995. Sie beziehen sich also nur auf bereits etablierte Bestände.

Die wichtigsten Unterschiede bestehen zwischen

- den Gemengen mit Leguminosen (Dt. Weidelgras+Rotklee, gesät im Herbst 1995 sowie W. Weidelgras und Rotklee, gesät im Frühjahr 1995),
- die reinen Grassaaten (DW, WW, DW+ausl. Rotschwingel+Schafschwingel),
- Senf.

Die Gemenge mit Leguminosen weisen in jedem Winter Peaks beim Nmin-Gehalt auf, wahrscheinlich in Verbindung mit der Zersetzung eines Teils der Wurzeln der Begrünung (siehe auch Abb. 7 und 8).

Die Begrünungen mit Gräsern verhalten sich untereinander ähnlich, mit maximalen Nmin-Werten (Nitrat- und Ammonium-N) meist unter 30 kg N/ha und in keinem Fall über 40 kg N/ha.

Die Auswertung der Nitratgehalte ergibt Spitzenwerte von rund 20 kg N/ha und häufige Werte unter 10 kg N/ha, bei gut entwickelten Beständen (Abb. 9).

Der Senf ist benachteiligt durch seinen kurzen Vegetationszyklus und seine geringe Ausdauer. Er wurde übrigens im Mai 1996 nochmals ausgesät. Nach dem Umbruch im Oktober 1996 stellt man einen im Vergleich zu den anderen Varianten höheren Nitratgehalt des Bodens fest, was im Zusammenhang mit einer schnell einsetzenden Auswaschung im Herbst 1996 (November = 137 mm, Dezember = 68 mm Niederschlag) zur Auswaschung eines Teils des frühzeitig freigesetzten Nitrats führen konnte.

4.4 Weitere Ergebnisse: Verfügbarkeit des Stickstoffs nach Umbruch der Brache

Die einzigen verfügbaren Ergebnisse betreffen die Kornerträge in Buggingen nach Rotationsbrache, ergänzt um die Nmin-Werte in den zwei Varianten der Maissaat: nach Umbruch bzw. nach Direktsaat.

Art der Begrünung	Direktsaat		konventionelle Saat (Pflug)	
	Anz. Pfl./ha	Ertrag (dt/ha)	Anz. Pfl./ha	Ertrag (dt/ha)
Weiß- + Rotklee gem.	47.000	73,2	91.000	114,4
KGR (WK + DW)	23.000	30,8	91.000	115,2
Untersaat Sedamix	29.000	47,6	88.000	120,6
Selbstbegrünung	14.000	10,8	86.000	113,8

Die Ergebnisse lassen nur eine Aussage über Nmin-Gehalte des Bodens unter Begrünungen mit Klee zu (s. Abb. 11).

Mit der Direktsaat wurde keine zufriedenstellende Bestandesdichte erreicht. Der Versuchsansteller führt dies darauf zurück, daß einerseits der Boden am 30. April 1996 zu trocken war und andererseits zu viel Biomasse, insbesondere in den beiden Varianten mit Klee, die Saat behinderte. Andererseits war die Bodenstruktur beim Gemenge mit Rot- und Weißklee offenbar am besten, was zum besten Ergebnis bei Feldaufgang und Bestandesdichte geführt hat.

Bei der konventionellen Saat nach Pflug sind die Ertragsergebnisse bei sehr ähnlichen Bestandesdichten gleichrangig. Unabhängig von der Variante scheint Stickstoff nicht der Ertragsbegrenzende Faktor gewesen zu sein. Wegen der Abwesenheit von Meßergebnissen zur Stickstoffaufnahme ist eine weitergehende Interpretation nicht möglich.

5. Schlußfolgerungen

5.1 Die effektivsten Pflanzenarten für die Stickstoffaufnahme

5.1.1 kurzfristig (bei Rotationsbrache)

- nach Weizen:

1. Die Wirksamkeit der Untersaat mit der Sedamix-Gräsermischung oder der Selbstbegrünung mit Ausfallgetreide scheint nicht bewiesen, weil sich am Standort Buggingen nicht unterscheiden läßt, wieviel Stickstoff von der Begrünung aufgenommen und wieviel ausgewaschen wurde. Die im August ausgesäten Begrünungen scheinen sicherer zu sein.
2. Die Brachebegrünung mit Klee erwies sich als nicht ausreichend dauerhaft, was zu einer vorzeitigen Stickstofffreisetzung bereits im Herbst vor der Maisaussaat führte. Sie ist deshalb möglichst zu vermeiden.

- nach Mais:

Wenn die Wirksamkeit der Untersaat mit der Sedamix-Gräsermischung mangels Meßergebnissen für den Herbst auch nicht erwiesen sein mag, so ist sie doch interessant, weil sie bereits mit Vegetationsbeginn im Frühjahr wieder Stickstoff aufnimmt, während die Frühjahrsbegrünungen ihre Wirkung erst spät, im Mai-Juni entfalten.

Unter den klimatischen Bedingungen des Rheingrabens (mit erhöhten Frühsommerniederschlägen im Mai-Juni) ist deshalb eine Begrünung nach Mais bereits ab dem Herbst gerechtfertigt, wegen der Gefahr der Auswaschung im Frühjahr/-sommer.

5.1.2 mittelfristig (Dauerbrache)

- Die Mischung mit schwachwüchsigen Gräsern (Dt. Weidelgras + ausläufertreibender Rotschwingel + Schafschwingel) weist eine gute Wirkung im mittelfristigen Bereich auf (s. Abb. 12). Was seine Wirksamkeit im Herbst nach Weizen betrifft, so fehlen Daten für den Vergleich mit schnellwüchsigen Gräsern wie Welschem Weidelgras oder Kreuzblütlern wie Senf.
- Die Klee-Gras-Gemenge haben den Nachteil von Peaks bei den N_{min}-Werten im Boden, ohne daß man daraus direkt Rückschlüsse auf die Qualität des tatsächlich erzeugten Sickerwassers schließen könnte.

5.2 Bemerkungen zur Methodik

In Anbetracht dieser Arbeiten erscheint es erforderlich

- mit den N_{min}-Messungen im Boden bei der Ernte der Vorfrucht zu beginnen, um die Entwicklung der verschiedenen Varianten bereits im ersten Herbst zu erfassen.
- bei der Messung der N_{min}-Gehalte auch die Bodenfeuchte zu erfassen, damit später eine Auswertung möglich ist, die auch die Wasserbewegungen im Boden berücksichtigt.
- wenigstens über 12 Monate hinweg eine unbegrünte Variante mitzuführen, um die Bodenmineralisierung ohne den störenden Einfluß des Stickstoffentzugs durch eine Begrünung beobachten zu können.

Die Beprobung im zweiwöchentlichen oder monatlichen Turnus scheint für diese Art von Versuchen hingegen auszureichen.

Abschließend ist die Beprobung auch nach der Zerstörung der Begrünung noch weiterzuführen (Folgefucht mit Kontrollparzelle ohne Düngung; Messung der N_{min}-Werte des Bodens bis zur Ernte sowie Messung der Stickstoffaufnahme durch die Kultur).