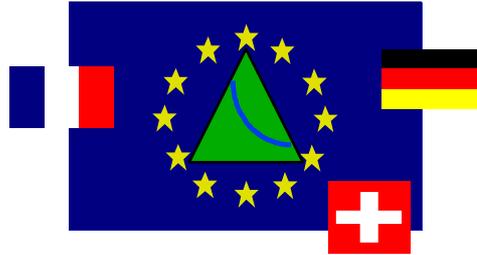


ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT 03

Dezember 2005

**Nachhaltige Maisproduktion am Oberrhein:
Konzeption und vertiefte Auswertung von Anbausystemen**

vorläufige deutsche Fassung

ITADA-Sekretariat: 2 allée de Herrlisheim, F-68000 Colmar
Tel.: 0(033)389 22 95 50 Fax: 0(033)389 22 95 59 eMail: itada@wanadoo.fr
www.itada.org

ITADA

**Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft**

Das Arbeitsprogramm III des ITADA unterstand der Trägerschaft des
Conseil Régional d'Alsace und wurde kofinanziert durch:

Europäischer Regionalentwicklungsfonds (INTERREG Programm III Oberrhein Mitte-Süd)
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg
Conseil Régional d'Alsace
Agence de l'Eau Rhin Meuse
Landwirtschaftliche Berufsverbände des Elsass
Schweizer Eidgenossenschaft
Kantone Aargau, Basel-Landschaft und Basel-Stadt

Projekt 03

Nachhaltige Maisproduktion am Oberrhein: Konzeption und vertiefte Auswertung von Anbausystemen

wurde durchgeführt von:

Projektleitung:	Christian Bockstaller (ARAA)	Colmar
Partner:	Karl Müller-Sämman (ANNA) Dr. Reinhold Vetter und Jürgen Maier (IfuL)	Müllheim Müllheim
Beteiligte:	Aimé Blatz (INRA) Françoise Juncker-Schwing (ARVALIS)	Colmar Colmar

Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Schiltigheim (ARAA)
Agentur für nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA)
Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim (IfuL)
Institut National pour la Recherche Agronomique, Colmar (INRA)
ARVALIS - Institut du Végétal, Colmar

Zusammenfassung

Körnermais ist für die Landwirtschaft am Oberrhein von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung. Die Vorteilhaftigkeit stützt sich auf höchste Ertragsleistungen, stabile Märkte, hohe Flächenzahlungen, geringe Bodenansprüche, hohe Düngerverträglichkeit, gute Wasserverwertung, hohe Selbstverträglichkeit und eine ausgereifte Produktionstechnik.

Problemfelder sind der monokulturähnliche Anbau, erhöhte Nitratbelastungen des Grundwassers, erhöhte Erosionsrisiken, potenzielle Gewässerbelastungen infolge des Herbizideinsatzes und der relativ hohe Energieeinsatz.

Ziel des vorliegenden Projektes war es, anhand des aktuellen Sachstandes und mit praxisnahen Feldversuchen, Lösungen und Strategien zu einer nachhaltigen Sicherung des Körnermaisbaus aufzuzeigen. Im Rahmen eines ganzheitlichen Systemansatzes wird dabei die Harmonisierung ökonomischer und ökologischer Ziele angestrebt.

In den Jahren 2003 und 2004 wurde auf den Standorten Steinenstadt und Müllheim-Viehwegacker (Parabraunerden auf Niederterrassenschotter mit Ackerzahlen von 59 und 45) ein innovatives Maisanbauverfahren (*Mi*) mit einem praxisüblichen Verfahren (*Mp*) im Feldversuch verglichen. *Mi* war definiert als Fruchtfolge mit Soja, jeweils reduzierter Bodenbearbeitung, Winterbegrünung mit Untersaat und N-Depotdüngung zu Mais in 2004; *Mp* war definiert als praxisübliches Verfahren mit Pflug.

Sowohl mit Pflug und Reihenfrässaat konnten gute Maisbestände etabliert werden. Der verringerte Herbizideinsatz (- 40%) zeigte bei Mais (*Mi*) eine gute Unkrautkontrolle, während sich die Unkrautbekämpfung zu Soja in Maisfruchtfolgen mit Nachauflaufherbiziden als problematisch erwies. Grasuntersaaten konnten in 2003 nur mit Bewässerung erfolgreich etabliert werden, in 2004 waren sie überall erfolgreich. Die Maiserträge wurden nicht beeinträchtigt. Späte Untersaat von Sommerhafer in Soja war stets erfolgreich. Die N-Aufnahmen vor Winter schwankten witterungsbedingt zwischen 12 kg N/ha und 67 kg N/ha. Die Körnermaiserträge lagen im System *Mi* stets höher als im System *Mp* (+1,5 bis 18,5 %). Das Maisglied des Systems *Mi* brachte auch Vorteile in der Arbeitswirtschaft und in der Entlohnung betriebseigener Arbeit mit sich. Bei wirtschaftlicher Betrachtung der Fruchtfolgen schnitt *Mi* wegen des schwachen Beitrags von Soja jedoch stets schlechter ab, als Monomais. Mit der Sequenz Mais/Soja (2003/2004) war das System *Mi*, bei allerdings unterdurchschnittlichen Maiserträgen, gegen Monomais (*Mp*) wettbewerbsfähig, wenn zusätzliche Umweltleistungen im Rahmen von MEKA - Ausgleichszahlungen entlohnt wurden.

Bei Modellierungen des Nitrataustrags mit dem Modell LIXIM im Winter 2003/2004 ergaben sich nach Mais ohne Untersaat Auswaschungswerte von 70-80 kg N/ha, nach Soja mit Untersaat 15 kg N/ha. Das Modell ist nur bei sehr präziser Kenntnis der Bodeneigenschaften anwendbar.

Bei der Bewertung der Umweltleistungen mit INDIGO ergaben sich im System *Mi* klare Vorteile bei den Indikatoren organische Masse (I_{mo}), Energieverbrauch (I_{EN}), und Fruchtfolge (I_{sc}). Das System *Mp* wies außerdem höhere Defizite beim Indikator Stickstoff auf.

Der innovative Systemansatz war bezüglich des Fruchtfolgeglieds Mais-innovativ dem praxisüblichen Verfahren in allen Belangen überlegen. Die Wirtschaftlichkeit des Fruchtfolgeglieds Soja muss jedoch technisch und ökonomisch eine Verbesserung erfahren oder, - mit ökologischen Abstrichen verbunden -, durch das Fruchtfolgeglied „Mais-innovativ“ im Daueranbau ersetzt werden, um den innovativen Ansatz gegenüber praxisüblichem Monomais (*Mp*) wettbewerbsfähig zu machen. Eine Fortführung der Systemvergleichs mit weiterer Optimierung der Fruchtfolge wird empfohlen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Problemstellung.....	1
1.1.	Bedeutung des Körnermaisbaus am Oberrhein	1
1.2.	Mögliche Problemfelder des Maisanbaus.....	3
1.3.	Prioritäre Fragestellungen	4
2.	Methode und Zielsetzung	6
2.1.	Systembeschreibung	7
2.2.	Systemvergleich mit Entscheidungsregeln.....	7
2.3.	Standortbeschreibung	13
2.3.1.	Standort Viehwegacker.....	13
2.3.2.	Standort Steinenstadt	14
2.3.3.	Klimaverlauf und allgemeine Versuchsbedingungen.....	15
2.4.	Versuchsanlage und Behandlungen.....	19
2.4.1.	Versuchsanlage	19
2.4.2.	Behandlungen.....	21
3.	Ergebnisse	23
3.1.	Literaturrecherche und Auswertung bisheriger Ergebnisse.....	23
3.1.1.	Pflanzenschutz und Unkrautbekämpfung	23
3.1.2.	Gewässerschutz und Nitratproblematik	30
3.1.3.	Bodenschutz (Bodenverdichtungen und Bodenerosion)	40
3.1.4.	Klimaschutz	46
3.1.5.	Verlust an Biodiversität und Diversität der Agrarlandschaft.....	47
3.2.	Feldversuche	48
3.2.1.	Entwicklung der Bestände und vegetationsbegleitende Untersuchungen.....	48
3.2.2.	Unkrautkontrolle.....	52
3.2.3.	Untersaaten	58
3.2.4.	Erträge der Hauptkulturen	64
3.2.5.	Nitratganglinien in den Körnermaisvarianten und bei Soja.....	71

3.3.	Simulation und Anwendung des Nitratauswaschungsmodells LIXIM	76
3.3.1.	Einleitung	76
3.3.2.	Einschränkungen - Probleme	77
3.3.3.	Datenakquisition	77
3.3.4.	Preprocessing - Datenaufbereitung	78
3.3.5.	Processing - Kalibrierung.....	80
3.3.6.	Postprocessing - Ergebnisse:	81
3.3.7.	Stickstoff Mineralisierung - Fixierung.....	81
3.3.8.	kumuliertes Sickerwasser	83
3.3.9.	Stickstoffauswaschung	84
3.3.10.	Nitratkonzentrationen im Sickerwasser	85
3.3.11.	Bewertung der Ergebnisse:	86
3.4.	Ökologische Bewertung der Anbausysteme mit dem Umweltbewertungsverfahren INDIGO	89
3.4.1.	Kurzdarstellung des Umweltbewertungsverfahrens und der Eingangsdaten.	89
3.4.2.	Anwendung einzelner INDIGO® Indikatoren auf die Parzellen des Systemversuchs	91
3.4.3.	Ergebnisse der INDIGO® Bewertung durch einzelne Indikatoren	92
3.4.4.	Gesamtbewertung des Systemvergleichs mit INDIGO®	100
3.5.	Wirtschaftlichkeit der Anbausysteme.....	103
3.5.1.	Verfahren der Bewertung.....	103
4.	Gesamtbewertung der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen.....	113
4.1.	Bewertung der Versuchsergebnisse und Auswertungen nach Zielvorgaben des Projektes.....	113
4.2.	Bewertung der Versuchsergebnisse anhand vorläufigen Ergebnisse des ITADA-01 Projektes zu Aspekten der reduzierten Bodenbearbeitung am Oberrhein.....	115
5.	Öffentlichkeitsarbeit und Termine	117
6.	Literaturverzeichnis	119

ANHANG

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Handlungs- und Problemfelder nachhaltiger Maisproduktion.....	5
Abbildung 2: Klimadiagramm der Wetterstation des IfuL Müllheim für das Jahr 2003.....	17
Abbildung 3: Klimadiagramm der Wetterstation des IfuL Müllheim für das Jahr 2004.....	18
Abbildung 4: Feldversuchsanlage Steinenstadt 2004 mit den Behandlungen SM (Steinenstadt Mais-innovativ Fruchtfolge); SMM (Steinenstadt Monomais Daueranbau) und SS (Steinenstadt Soja in Fruchtfolge).....	20
Abbildung 5: Hauptwirkungsweisen von Maisherbiziden	26
Abbildung 6: Boden-/Blatt- Wirkungsverhältnis wichtiger Maisherbizide und optimale Anwendungszeitpunkte	27
Abbildung 7: Trockenmasseerträge der Untersaaten in Körnermais und Soja mit Ernte zur Trockenmassebestimmung am 2.12.03.	59
Abbildung 8: Stickstoffaufnahme der oberirdischen Biomasse der Untersaaten, 2003	59
Abbildung 9: Stickstoffaufnahme der gesamten Biomasse der Untersaaten zum 1.12.2003... ..	60
Abbildung 10: Trockenmasseerträge der Untersaaten in Körnermais und Soja mit Ernte zur Trockenmassebestimmung am 18/19.11.2004	61
Abbildung 11: Stickstoffaufnahme der oberirdischen Biomasse der Untersaaten zum 18.11.2004.	61
Abbildung 12: Stickstoffaufnahme der gesamten Biomasse der Untersaaten zum 18.11.2004.	62
Abbildung 13: Körnermaiserträge der Sorten <i>NEXXOS</i> und <i>DRACILA</i> auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2003.....	64
Abbildung 14: Trockenmassegehalte der Maiskörner der Sorten <i>NEXXOS</i> und <i>DRACILA</i> auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2003	65
Abbildung 15: Körnermaiserträge der Anbausysteme Mais innovativ mit Sorte <i>NEXXOS</i> und Mais-Daueranbau mit Sorte <i>DRACILA</i> im Jahr 2004.....	66
Abbildung 16: Trockenmassegehalte der Maiskörner der Sorten <i>NEXXOS</i> und <i>DRACILA</i> auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2004.	67
Abbildung 17: Sojaerträge der Sorte Essor auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker im Jahr 2003.	69

Abbildung 18: Sojaerträge der Sorte Essor auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker im Jahr 2004.	70
Abbildung 19: Nitratganglinien für die Maisanbausystemversuche in Steinenstadt und Viehwegacker 2003.....	74
Abbildung 20: Nitratganglinien für die Maisanbausysteme in Steinenstadt und Viehwegacker 2004 in der Fruchtfolge Soja-Mais und im Daueranbau (Monomais).....	75
Abbildung 21: N-Mineralisierung und N-Fixierung in den sechs Versuchsvarianten nach Berechnung mit LIXIM.....	81
Abbildung 22: Kumulierte Sickerwassermengen in Steinenstadt und Viehwegacker	83
Abbildung 23: Kumulierte N – Auswaschung in Steinenstadt und Viehwegacker.....	84
Abbildung 24: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser bei den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker.....	85
Abbildung 25 Gemessene und mit LIXIM modellierte N-Gehalte der Versuchsvarianten in Viehwegacker Winter 2003/2004	87
Abbildung 26 Gemessene und mit LIXIM modellierte N-Gehalte der Versuchsvarianten in Steinenstadt Winter 2003/2004.....	88
Abbildung 27: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung der Kulturenabfolge.....	92
Abbildung 28: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung der Humusdynamik.	93
Abbildung 29: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Phosphoreinsatzes (I_p).....	94
Abbildung 30: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Stickstoff (I_N).....	96
Abbildung 31: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Pflanzenschutzes (I_{Phy}).....	98
Abbildung 32: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Energieeinsatzes (I_{EN}).	99
Abbildung 33: Bewertung des Produktionssystems Monomais (konventioneller Körnermaisbau im Daueranbau) mit ökologischen Kenngrößen des Umweltbewertungsverfahrens INDIGO® für das Jahr 2004 auf dem Standort Steinenstadt.	101
Abbildung 34: Bewertung des Produktionssystems Mais-innovativ/Soja (im Fruchtwechsel) mit ökologischen Kenngrößen des Umweltbewertungsverfahrens INDIGO® für das Jahr 2004 auf dem Standort Steinenstadt.....	102
Abbildung 35: Deckungsbeiträge A der untersuchten Fruchtfolgen (2003/2004).....	105
Abbildung 36: Deckungsbeiträge B der untersuchten Fruchtfolgen (2003/2004).....	106

Abbildung 37: Zusammenstellung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtfolgeglieder für den Standort Steinenstadt, 2003/2004.....	108
Abbildung 38: Zusammenstellung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtfolgeglieder für den Standort Viehwegacker, 2003/2004.....	108
Abbildung 39: Ergebnisse der Vollkostenrechnung in €/ha zu einzelnen Produktionsverfahren im Rahmen der Fruchtfolge auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004.....	109
Abbildung 40: Ergebnisse zum Arbeitsbedarf in Akh/ha einzelner Produktionsverfahren im Rahmen der Fruchtfolge auf den Standorten und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004.....	110
Abbildung 41: Entlohnung der Arbeit in verschiedenen Fruchtfolgegliedern der Standorte Steinenstadt und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004.....	111
Abbildung 42: Motive für die Umstellung auf pfluglose Anbausysteme.....	116

 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Entwicklung des Körnermaisbau in Baden-Württemberg nach Regierungsbezirken in den letzten sechs Jahren (HUGGER 2004).....	1
Tabelle 2: Entscheidungsregeln beim Anbausystem nach guter fachlicher Praxis bzw. „production raisonné“	8
Tabelle 3: Entscheidungsregeln im Produktionssystem Mais innovativ – in Fruchtfolge	10
Tabelle 4: Versorgungsstufen für Teilparzellen der Versuchsfelder nach Analysen 2004	13
Tabelle 5: Standorteigenschaften Viehwegacker	14
Tabelle 6: Standorteigenschaften Steinenstadt.....	15
Tabelle 7: Berechnung der Mais- und Sojaflächen auf dem Versuchsfeld Viehwegacker 2003..	16
Tabelle 8: Übersicht zu Behandlungen auf dem Standort Viehwegacker, 2003	22
Tabelle 9: Klassifizierung verschiedener Mais Daueranbausysteme nach dem Risiko den Grenzwert von 50 und 40 kg NO ₃ -N auf sandigen und lehmigen Böden zu überschreiten. Szenarien Norditalien (Auszug).	33
Tabelle 10: Entwicklung der Schlepperzulassungen nach Leistungsklassen 1990 bis 1998.....	41
Tabelle 11: Fruchtartenspezifischer Einfluss auf den C-Faktor der Bodenabtragungsgleichung.....	44
Tabelle 12: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung bei Mais (Mittel von 5 Versuchen 1994-1998 auf Lössstandorten im Kraichgau)	44
Tabelle 13: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei „Körnermais innovativ“ (Sorte NEXXOS) und Körnermais-Daueranbau (Sorte DRACILA) im ersten Anbaujahr 2003.....	50
Tabelle 14. Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei „Körnermais innovativ“ (Sorte NEXXOS) und Körnermais-Daueranbau (Sorte DRACILA) im ersten Anbaujahr 2004.....	50
Tabelle 15: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei Soja in Fruchtfolge (Sorte ESSOR) im ersten Anbaujahr 2003	51
Tabelle 16: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei Soja in Fruchtfolge (Sorte ESSOR) im 2. Anbaujahr 2004	51
Tabelle 17: Übersicht zu ertragsphysiologischen Messungen der Körnermaisernte in Steinenstadt und im Viehwegacker*) im Jahr 2003	65
Tabelle 18: Übersicht zu ertragsphysiologischen Messungen der Körnermaisernte in Steinenstadt und im Viehwegacker*) im Jahr 2004.	67
Tabelle 19: Ertragsphysiologische Parameter zur Sojaernte 2003	69

Tabelle 20: Ertragsphysiologische Parameter zur Sojaernte 2003	71
Tabelle 21: Profil der N _{min} Bodenanalysen nach Abschluss der weiblichen Blüte in Steinenstadt (Behandlung: Mais innovativ, Reihenfrässaat und Anwendung von <i>CULTAN</i> Depotdüngung), Mittel aus 4 Wiederholungen.....	72
Tabelle 22: Profil der N _{min} Bodenanalysen nach Abschluss der weiblichen Blüte im Viehwegacker (Behandlung: Mais innovativ, Reihenfrässaat und Anwendung von <i>CULTAN</i> Depotdüngung), Mittel aus 4 Wiederholungen.....	73
Tabelle 23: Messtermine für N _{min} - und Bodenfeuchte im Winter 2003/2004	76
Tabelle 24: Bezeichnungen der den beiden Versuchsstandorte.....	76
Tabelle 25: Grobskelettanteile der Versuchsstandorte	79
Tabelle 26: Korrekturfaktoren für die Bodenfeuchte in Steinenstadt und Viehwegacker	80
Tabelle 27: Termine Projekt ITADA.....	117

Kurzfassung

Problemstellung und Ziele

Der Anbau von Körnermais ist im Oberrheingebiet von hervorragender wirtschaftlicher Bedeutung für die Landwirtschaft. Seine Attraktivität in der Region beruht auf günstigen klimatischen Bedingungen und auf einer, im Vergleich zu anderen Kulturen hohen Ertragsfähigkeit. Vorteile gegenüber anderen Kulturpflanzen ergeben sich außerdem durch hohe Selbstverträglichkeit und Standfestigkeit, hohe Düngerverträglichkeit bei geringen Bodenansprüchen, eine ausgereifte Produktionstechnik und gesicherte Märkte. Da es sich um eine berechnungswürdige Kultur handelt, können mit Körnermais auch die im Rheintal bestehenden Risiken von Sommertrockenheit gemindert werden. Auf den Einsatz von Fungiziden und Insektiziden kann bei dieser Kultur gegenwärtig verzichtet werden.

Neben diesen positiven Eigenschaften bringt er im großflächigen Anbau jedoch auch unerwünschte Wirkungen mit sich. Kritisch werden von weiten Kreisen vor allem der monokulturähnliche Anbau und die Risiken erhöhter, potenziell grundwasserbelastender Nitrathinterlassenschaften gesehen. Außerdem bestehen Risiken hinsichtlich der Belastung der Grund- und Oberflächengewässer durch Herbizide und Bodenerosion. Die Artenverarmung in der Agrarlandschaft und auf den Feldern, einhergehend mit der Selektion angepasster Problemunkräuter, sowie der relativ hohe Einsatz knapper Ressourcen bei Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz stellen weitere Problemfelder des Maisanbaus dar.

Ziel des hier dargestellten Projektes war es deshalb, im Rahmen von Systemversuchen mit flexibler, praxisnaher Versuchsanstellung, Wege zu suchen und aufzuzeigen, wie der Maisanbau in seiner Nachhaltigkeit verbessert werden kann. Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit des Anbaus sollten dabei mit Verbesserungen der Umweltleistungen in Einklang gebracht werden. Bei der Bearbeitung des Themas galt das Hauptaugenmerk deshalb den nachfolgend aufgeführten Fragen.

1. Vermeidung von Nitratauswaschungen
2. Sicherung der Wirtschaftlichkeit
3. Weniger umweltbelastende Strategien der Unkrautkontrolle
4. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Bodenstruktur und Erosionsminderung)
5. Machbarkeit (Arbeitswirtschaft, Betriebsorganisation)

Methodisches Vorgehen

Aus der Forschung liegen umfangreiche Untersuchungen zur Verbesserung von Teilaspekten des Maisanbaus vor. Anliegen dieses Projektes war es, vorhandene Teilergebnisse, basierend auf der Sichtung überregional und regional verfügbarer Informationen und des aktuellen Wissensstandes zu einem Gesamtkonzept zu bündeln. Ein daraus resultierendes Anbaukonzept, bei dem auch kumulative Wirkungen und Synergien zum Tragen kommen, sollte in praxisnahen Versuchen, im Vergleich mit Standardproduktionsverfahren erprobt und evaluiert werden. Die praktischen Umsetzungsmöglichkeiten sollten dabei ebenso Berücksichtigung finden, wie die Umweltwirkung der Verfahren.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, wurden Feldversuche durchgeführt, bei denen ein innovatives Anbausystem mit konventionell angebautem Körnermais im Daueranbau verglichen wurde.

Als methodischer Ansatz wurde das Konzept des Systemvergleichs nach MEYNARD gewählt, das eine dynamische, mehr ziel- und weniger maßnahmenbezogene Versuchsanstellung ermöglicht. Behandlungen in Feldversuchen wurden dabei anhand fachlich begründeter Hypothesen nach Entscheidungsregeln festgelegt. Die im Versuch verwendeten Sorten mussten z.B. in einzelnen Behandlungen und Jahren nicht gleich sein, sondern sollten dem Anforderungsprofil entsprechen, das für das Funktionieren des jeweiligen „Systems“ oder Produktionsverfahrens erforderlich ist. Dazu waren von dritter Seite fachlich begründete Entscheidungsregeln formuliert worden.

Die Feldversuche wurden in den Jahren 2003 und 2004 auf zwei Praktikerschlägen mit geringer bis mittlerer Ertragsfähigkeit und einer Parzellengröße von 0,35-0,45 ha mit praxisüblicher Technik, ohne volle Randomisierung mit vier unechten Wiederholungen, durchgeführt. Auf je drei Parzellen der Standorte Müllheim/Viehwegacker und Steinstadt (Parabraunerden auf Niederterrassenschotter mit Ackerzahlen von 45 und 59) wurden die nachfolgenden Behandlungen verglichen:

1. Mais-Daueranbau nach Richtlinien der guten fachlichen Praxis und in Anlehnung an die Vorgaben der „Production raisonnée“ der AGPM bzw. von ARVALIS (AGPM 2001).
2. Innovatives, pflugloses Anbausystem mit einer Mais/Soja-Fruchtfolge mit Untersaat und reduzierter Bodenbearbeitung. In jedem Jahr wurden beide Fruchtfolgeglieder (2 Parzellen), bewirtschaftet in Anlehnung an die Prinzipien der integrierten Produktion mitgeführt.

Zur Bewertung wurden Kennwerte zur Bestandesentwicklung, ein Nitrat-Monitoring (N_{\min} -Proben), Ertragsanalysen, die Modellierung von Nitratverlagerungen mit LIXIM, Deckungsbeiträge und das betriebliche Umweltbewertungsprogramm INDIGO herangezogen.

Die Bedingungen während des bisherigen, zweijährigen Versuchszeitraums waren durch außerordentliche Hitze und Trockenheit in 2003 und durch starken Hagel auf einem Standort in 2004 geprägt. Diese Unregelmäßigkeiten und den noch kurzen Versuchszeitraum gilt es bei der Interpretation und Bewertung der Ergebnisse zu beachten (erst im zweiten Vegetationszyklus waren alle innovativen Praktiken implementiert). Die Belastbarkeit der gewonnenen Ergebnisse ist dadurch noch relativ gering.

Ergebnisse:

a) Literaturübersicht

- Bedeutung des Maisanbaus noch zunehmend.
- Für die erfolgreiche, konventionelle Produktion von Körnermais im Daueranbau stehen ausreichende und wirtschaftlich machbare Techniken zur Verfügung.
- Regional vorhandenen Tendenzen zu einseitiger Problemverunkrautung kann im Rahmen von Fruchtfolgen gegengesteuert werden.

- Durch konventionellen Anbau mit Pflug und sechsmonatiger Schwarzbrache sind erhöhte Risiken für die Belastung von Grundwasser mit Nitrat und für den Austrag von Boden und Schadstoffen in die Gewässer gegeben.
- Verbesserungsansätze müssen vornehmlich auf die Übergänge zwischen einzelnen Kulturen gerichtet sein.
- Mulchsaatenverfahren, reduzierte Bodenbearbeitung und bessere Bodenbedeckung vermindern die Risiken von Bodenerosion und –verdichtungen deutlich.
- Zwischenfrüchte, Untersaaten, angemessene Düngewahl und -verabreichung stellen effiziente und wirtschaftlich gangbare Strategien dar, um die Nitratproblematik zu verringern. Die Effizienz ist klimabedingt variabel.
- Verbesserungen beim Energieeinsatz und beim Klimaschutz sind am ehesten durch die Reduktion des Maschineneinsatzes und extern zugeführter Düngemittel zu erwarten.
- Eine Erhöhung der Diversität der Agrarlandschaft und der Artenvielfalt lässt sich durch Zwischenfrüchte und vor allem über die Erweiterung der Fruchtfolgen erzielen.

Pflanzenschutz: Körnermais zählt in Deutschland zu den Kulturen mit geringem Pflanzenschutzaufwand. Eingesetzt werden fast ausschließlich Herbizide. Insektizide und Fungizide kommen am Oberrhein kaum zum Einsatz, da der einzig bedeutende Schädling, der Maiszünsler, mit biologischen Methoden bekämpft werden kann. Neue maistypische Problemunkräuter, die nicht ausreichend oder nur mit erhöhtem Mittelaufwand bekämpfbar sind, treten bisher regional begrenzt auf. Durch eine Diversifizierung der Fruchtfolgen und die Einbeziehung mechanischer Bekämpfungsmaßnahmen kann diesem Trend begegnet werden. Vom Einsatz gentechnisch veränderter Maissorten sind aktuell keine Vorteile zu erwarten. Herbizidstrategien mit Nachauflaufferbiziden sind umweltfreundlicher, ihre Anwendung stößt bei großer Flächenausstattung der Betriebe wegen enger Zeitfenster aber an Grenzen.

Nitratbelastungen: Das Risiko von Nitratbelastungen des Grundwassers ist bei Körnermais gegenüber anderen Getreidearten um 20-50 kg/ha größer. Das Risiko ist beim Mais erhöht, weil er für eine optimale Ertragsbildung schon in früher Jugend auf leicht verfügbaren Stickstoff angewiesen ist. Zur Hauptwachstumszeit hat er einen sehr hohen täglichen Bedarf. Dieser kann mit einer nur an der Abfuhr orientierten Düngung oftmals nicht sichergestellt werden. Die natürlichen Mineralisationsvorgänge laufen teilweise zu langsam ab. Aufgrund nicht realisierter Ertragsziele und der Tatsache, dass Mais zum Aufbau des Bestandes mehr Stickstoff benötigt, als mit dem Erntegut abgefahren wird, entstehen leicht unerwünschte Hinterlassenschaften. In der niederschlagsreichen, kalten Jahreszeit können dies zu Nitratauswaschungen führen.

Zur Minderung von N-Verlusten im Frühjahr, vor dem Hauptbedarf der Maispflanzen, konnte eine Reihe von Techniken identifiziert werden. Zu ihnen zählen die Verabreichung des Düngers in Teilgaben zur Saat und zum Hauptwachstum, die Verwendung stabilisierter N-Dünger mit Abgabe des Nährstoffs über mehrere Wochen oder die Verabreichung des N-Düngers als Depotdüngung. Auch mit reduzierten Verfahren der Bodenbearbeitung lässt sich die frühjährliche Mineralisation und das Auswaschungsrisiko begrenzen. Die damit häufig verbundene, spätere Erwärmung der Böden kann sich aber negativ auf die Ertragsbildung auswirken. Bei der Reihenfrässaat wird nur ein Steifen zur Saatgutablage bearbeitet. Sie bietet damit die Chance die Vorteile der reduzierten Bodenbearbeitung ohne negative Folgen für die frühe Entwicklung der Maispflanzen zu nutzen.

Bei der Minderung von Verlusten nach der Ernte kommt es vor allem auf die Gestaltung der Übergänge zwischen den Anbauzyklen an. Werden (unter Verzicht auf maximale Erträge) frühe Körnermaissorten gewählt, die schon im September geerntet werden, so können als Zwischenfrüchte z. B. noch Senf und Ökrettich gesät werden. Diese dienen dann als Fangpflanzen für noch vorhandenen Bodenstickstoff. Bei später Einarbeitung werden Auswaschungsrisiken vermieden. In viehhaltenden Betrieben kann das durch Winterroggen oder den Anbau von Feldfutter mit winterharten Arten erreicht werden. Nachteilig wirkt sich bei Futternutzung im Frühjahr der Wasserverbrauch aus, was die Erträge empfindlich beeinträchtigen kann.

Bei den am weitesten verbreiteten, späteren Sorten, die in der Regel erst Mitte bis Ende Oktober geerntet werden, kommen Zwischenfrüchte wegen der kurzen noch verbleibenden Vegetationszeit nicht mehr in Frage. Reststickstoffmengen können beim Anbau dieser Sorten, die länger Stickstoff aufnehmen, aber wegen besserer Ertragsfähigkeit höher gedüngt werden, durch zeitig im Sommer eingebrachten Untersaaten von Weidelgrasmischungen teilweise aufgefangen und vor Auswaschung geschützt werden. Zur Schonung des Wasserhaushaltes und für die Herstellung eines befriedigenden Bodenzustandes für die Nachfrucht ist dabei auf eine Unterbindung des Wachses der Untersaaten vor dem Wiederaustrieb Ende Winter zu achten. Da dies mit rein mechanischen Maßnahmen nicht leicht ist, erfordert dies häufig den Einsatz eines Totalherbizids.

Bodenschutz: Körnermais wird im Herbst häufig auf vernässten Böden geerntet. Dadurch ergibt sich in vielen Jahren das Risiko nachhaltiger Bodenverdichtungen. Durch Breitreifen, niedere Zuladungen, und verminderten Reifendruck kann das Risiko von Verdichtungen gemindert werden. Verfahren reduzierter Bodenbearbeitung erhöhen die Befahrbarkeit der Böden. Einmal eingetretene Verdichtungen lassen sich mit reduzierter Bodenbearbeitung aber schwerer wieder beseitigen. Untersaaten und Zwischenfrüchten erhöhen die Befahrbarkeit über eine intensivere Durchwurzelung der Böden. Sollen eingetretene Verdichtungen beseitigt werden, so wirkt Tiefenlockerung in der Regel nur kurzfristig. Nachhaltige Verbesserungen sind durch Einschaltung mehrjähriger Feldfutterbestände und über Fruchtfolgen mit Getreide/Zwischenfrucht möglich, die im Sommer bei guter Befahrbarkeit geerntet werden.

Praxisüblich, mit Pflug angebaute Mais fördert das Auftreten von Bodenerosion. Langezeit unbedeckter, und gering bedeckter Boden während der Jugendentwicklung sind dafür verantwortlich. In zahlreichen Versuchen konnte gezeigt werden, dass Mulch- und Direktsaat sehr effiziente Techniken darstellen, die Erosion entscheidend zu mindern. Ertragsrückgänge gegenüber konventioneller Bearbeitung mit dem Pflug sind mit Mulchsaaten leicht und mit Direktsaat schwieriger zu vermeiden. Als besonders effizient und technisch gut machbar erwiesen sich Mulchsaaten von Mais nach Getreide mit Zwischenfrucht. Gute Erträge lassen sich bei diesem Verfahren mit minimalen Erosionsverlusten kombinieren. Die mit Erosionsereignissen verbundenen Risiken des Eintrags von Phosphaten in Oberflächengewässer lassen sich mit Mulchsaaten und einer flachen Einarbeitung der Dünger besser vermeiden als mit Direktsaaten.

Klimaschutz: Ackerbauliche Verfahren tragen vor allem über Emissionen bei der Düngerherstellung und -anwendung und über den Maschineneinsatz zum Anstieg klimaschädigender Gase bei. Verminderungspotenziale ergeben durch effizienten

Düngerneinsatz. Dazu zählen die bedarfsgerechte Ausbringung und Einarbeitung mineralischer, vorzugsweise stabilerer N-Dünger, die Verringerung des Harnstoffeinsatzes und die Vermeidung von N-Verlusten in jeder Form, da diese auch über nachgelagerte Lachgas- und Methanbildung den Treibhauseffekt verstärken.

Biodiversität: Der Erhalt abwechslungsreicher Agrarlandschaften mit hoher Biodiversität wird von der Gesellschaft in zunehmendem Maße als eine Aufgabe der Landwirtschaft gesehen. Großflächiger Daueranbau von Mais kommt diesen Forderungen weniger entgegen, als ein Anbau in Fruchtfolgen und insbesondere in Fruchtfolgen mit überwinternden Kulturen. Diese wirken sich bei mittlerer Anbauintensität auch stabilisierend auf die Maiserträge aus, während ein solcher Effekt bei hoher Düngungsintensität weniger wirksam wird.

Pflanzenbauliche Ergebnisse der Feldversuche:

Bestandesentwicklung

- Sowohl mit Pflug, als auch mit Reihenfrässaat konnte ein guter Aufgang und eine gute Entwicklung der Maisbestände erreicht werden.
- Trockenheit in 2003 führte ohne Bewässerung zu starken Ertragseinbußen und hohen Restnähstoffgehalten im Boden.
- Weidelgrasuntersaaten führten zusammen mit reduzierter Bodenbearbeitung nach Mais zu einem schlechten Sojaaufgang und suboptimalen Bestandesdichten.

Die Entwicklung der Bestände war im Jahr 2003 durch einen guten Aufgang aller Kulturen und danach durch große Hitze und Trockenheit gekennzeichnet. Die Vegetationszeit war verkürzt. Mais und Soja in Steinenstadt litten ohne Bewässerung stark unter Trockenstress, die Untersaat zu Mais misslang, bei Soja kam es zu einem wirtschaftlichen Totalausfall. Wärmeliebende Unkräuter wurden gefördert und waren in Soja schwerer zu bekämpfen. Auf dem bewässerten Standort Viehwegacker konnten extreme Ertragsausfälle und das Absterben der Grasuntersaat vermieden werden.

Das Jahr 2004 war durch eine trockenes Frühjahr gekennzeichnet, das bis ca. einen Monat nach der Aussaat anhielt. Nach Soja/Haferuntersaat gesät, entwickelte sich Mais-innovativ mit Reihenfrässaat, Weidelgras-Untersaat und Cultan-Depotdüngung zumindest ebenso gut, wie mit Pflug, Saatbettbereitung und flächendeckender Düngung ohne Untersaat.

Nach Mais/Weidelgrasuntersaat und Bodenbearbeitung mit Grubber war der Sojaaufgang auf beiden Standorten unbefriedigend. Mangelhafter Bodenschluss nach später Unterbindung des Wiederaufwuchses der Untersaaten, Ende März, führte bei trockenem Klimaverlauf zu lückigen und ungleichen Beständen. Ein Walzen von Körnerleguminosen scheint nach vorhergehenden Grasuntersaaten mit Grubbereinsatz unabdingbar. Durch ein Hagelunwetter am 8. Juli 2004 wurde der Mais auf dem Viehwegacker stark geschädigt, die Sojabohnen wurden vernichtet. Krankheiten und Schädlinge spielten 2003 in den Versuchen keine Rolle. 2004 kam es zu geringem Maiszünslerbefall und auf dem Viehwegacker trat nach Hagelschäden vermehrt Maisbeulenbrand auf.

Wirkungen der Unkrautbekämpfung/Bodenbedeckung

- Sojabestände litten in der Sommerungsfruchtfolge mit Körnermais unter Verunkrautung.
- Die Unkrautbekämpfung mit reduzierten Aufwandmengen von Nachauflaufherbiziden war bei Mais erfolgreich.
- Wegen des Herbizideinsatzes zur den Untersaaten im Frühjahr, wurde das Ziel einer Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in der innovativen Fruchtfolge verfehlt.
- Bei integrierten Strategien zur Reduktion des Herbizidaufwandes in maisbetonten Fruchtfolgen sollten Winterungen oder früh gesäte Sommerungen berücksichtigt werden.

Die gepflügten Monomaisparzellen wiesen zur Maisaat 2004 nur 0,7 % bis 2,1 % Bodenbedeckung auf, in den innovativen Varianten betrug sie zur Saat 19 bis 29 %. Die Wirkung der Nachauflaufherbizide zu Mais war im innovativen System mit reduzierten Aufwandmengen (ca. 60 % der empfohlenen Dosis) etwas verzögert, dann aber in beiden Versuchsjahren sehr zufriedenstellend. Im Jahr 2004 wurde wegen Wirkungslücken bei Motivell/Callisto (Nicosulfuron/Mesotrione) zusätzlich mit Dicamba gegen Ackerwinden behandelt. Außerdem war der in Soja eingesäte Sommerhafer im milden Winter nicht abgefroren, so dass vor der Reihenfrässaat von Mais, wie auch nach Mais/Weidelgrasuntersaat vor Soja, Glyphosat zur Abtötung der ergrünten Untersaaten zum Einsatz kam. Das Ziel einer Reduktion des Herbizidaufwandes im innovativen Anbausystem wurde dadurch verfehlt.

Bei Sojabohnen war die Unkrautbekämpfung mit Basagran (Bentazon) und Fusilade max. (Fluazifop-p-butyl) bei nur einmaliger Anwendung von 1 l/ha Basagran in 2003 unbefriedigend. Bei sehr hohem Unkrautdruck durch Weißen Gänsefuß führte dies auf dem Standort Steinenstadt zu einem wirtschaftlichen Totalausfall. Im Jahr 2004 war die Bekämpfung (ohne reduzierte Aufwandmengen) und trotz der Hereinnahme von Harmony (Thifensulfuron) auf dem Problemstandort Steinenstadt bei breitblättrigen Arten wiederum suboptimal. Weißer Gänsefuß war über einen sehr langen Zeitraum aufgelaufen, wodurch nicht alle Unkräuter in empfindlichen Stadien erfasst werden konnten. Allerdings gelang es durch Splitanwendung von Basagran (Bentazon) größere wirtschaftliche Schäden noch zu verhindern. Sojanbau in Maisfruchtfolgen mit Problemverunkrautung bleibt nach diesen Erfahrungen mit den verfügbaren Herbiziden im Nachauflauf sehr risikoreich. Fruchtfolgen mit einer Winterung bzw. einer früh gesäten und zeitig räumenden Sommerung könnten Abhilfe schaffen.

Untersaaten

- In drei von vier Fällen konnten Weidelgrasuntersaaten zu Mais erfolgreich zum Bodenschutz und zur Aufnahme von Reststickstoff vor Winter eingesetzt werden.
- Untersaat von Sommerhafer in abreifende Soja war in allen Fällen erfolgreich und sicher.
- Die Biomasserträge und N-Entzüge schwankten, in Abhängigkeit vom Klimaverlauf und den Restnährstoffgehalten zwischen 3–17 dt TM/ha und 12-67 kg N/ha.

Im trockenen Sommer 2003 glückte die Untersaat nur bei bewässertem Mais. Im zweiten Jahr war das überall der Fall. Die breitwürfige Untersaat von Sommerhafer in abreifende Sojabestände Ende August erwies sich in beiden Jahren als erfolgreich. Mit Weidelgrasuntersaaten konnten im Jahr 2003 mit einem sonnigen, wuchsfreudigen Herbst vor Winter noch bis zu 16 dt/ha Trockenmasse mit 37 kg N/ha heranwachsen. Im Jahr 2004 waren es bei weniger wüchsigem Herbstwetter und geringeren Nährstoffhinterlassenschaften des Mais

5-9 dt Trockenmasse/ha, die dem Boden vor Winter 14-25 kg N/ha entzogen. Die entsprechenden Werte der Haferuntersaat zu Soja beliefen sich im ersten Jahr auf 13 bis 17 dt/ha Trockenmasse mit 46 bis 67 kg N/ha und im zweiten Jahr auf ca. 3-6 dt/ha Trockenmasse mit 12-21 kg N/ha. Die Ergebnisse bestätigen die in der Fachliteratur vielfach erwähnte hohe Variabilität der Biomasseerträge von Untersaaten, zeigen jedoch auch, dass bei hohen Nährstoffhinterlassenschaften (wie z. B. nach dem trockenen Sommer 2003) ein Rückkopplungseffekt auftritt, der zu höheren N-Entzügen bei höheren N-Restmengen und zur Verringerung des Nitrataustragsrisikos führt. Die späte Winterroggen-Zwischenfrucht nach Mais in Steinenstadt (13. Oktober) mit Grubbereinsatz war kontraproduktiv. Die Mineralisation vor Winter wurde noch angeregt, ohne dass noch nennenswert Reststickstoff entzogen wurde.

Maiserträge

- Mit dem innovativen Maisanbauverfahren in Fruchtfolge mit Soja, bei dem Reihenfrässaat, Cultan-Düngung und eine Maishacke mit Weidelgrasuntersaat zur Anwendung kamen, konnten höhere Maiserträge erzielt werden, als mit konventionell angebautem Monomais.

Im innovativen Anbausystem mit Fruchtfolge war wegen der Untersaaten im Sinne des Systemvergleichs die frühere und weniger beschattende Sorte NEXXOS (KZ 260) zum Einsatz gekommen. Im Referenzsystem Mais-Daueranbau mit Pflug wurde in beiden Jahren die Sorte DRACILA (KZ 280) angebaut.

Im Jahr 2003, in dem alle Parzellen noch gepflügt worden waren, hatte die Sorte NEXXOS mit Untersaat auf beiden Standorten leicht höhere Erträge (36,9 dt/ha gegen 30,5 dt/ha in Steinenstadt (Trockenschäden) und 86,4 dt/ha gegen 85,2 dt/ha im Viehwegacker. Dies entsprach in diesem Trockenjahr einem allgemeinen Trend zu höheren Erträgen der früheren Sorten. Im Jahr 2004, in dem alle Behandlungsvarianten in den beiden Anbausystemen erstmals etabliert waren, zeigte sich in verstärkter Form wieder das gleiche Bild. Mais in Fruchtfolge nach Soja hatte 9-19 % höhere Erträge als der Mais im konventionellen Daueranbau. In Steinenstadt waren es 94,36 dt/ha gegen 86,34 dt/ha, im Viehwegacker 71,9 dt/ha gegen 60,2 dt/ha (Hagel). Die ertragsphysiologischen Parameter wie z. B. Kolbenlänge, Kornzahl pro Kolben etc. fielen sortentypisch unterschiedlich aus, ließen jedoch keine Rückschlüsse auf bessere Entwicklungsbedingungen in einem der Anbausysteme zu. Der höhere Ertrag des Anbausystems mit der Sorte NEXXOS kam über die höhere Pflanzenzahl/ha zustande. Auf dem Standort Viehwegacker bewirkte der Hagelschlag vor Ende des Längenwachstums geringere Kolbenlängen und eine geringere Kornzahl pro Kolben. Die Maispflanzen konnten sich danach aber erholen und wiesen zur Ernte die gleichen Tausendkorngewichte auf wie in Steinenstadt. Noch deutlicher als bei den Kornerträgen fielen die Ertragsvorteile für das innovative Anbausystem aus, wenn man die Gesamtbiomasseproduktion der Systeme, einschließlich der Untersaaten berücksichtigt.

Das Fruchtfolglied „Mais“ des innovativen Systems wies auf den relativ ertragsschwachen Standorten in beiden Jahren Ertragsvorteile gegenüber dem paxisüblichem Daueranbau auf.

Sojaerträge

- Gegenüber Mais konnten mit Soja im innovativen Produktionsverfahren mit Fruchtfolge nur bescheidene Erträge erzielt werden.
- Die Kultur ist in Sommerungsfruchtfolgen mit Mais bei hohem Unkrautdruck unsicher.
- Die Etablierung ausreichender Bestandesdichten war nach Weidelgrasuntersaaten mit reduzierter Bodenbearbeitung (Grubber) schwierig.

Die Sojaerträge erwiesen sich gegenüber Maiserträgen als unsicherer und waren 2003 trotz Bewässerung auf dem Standort Viehwegacker mit knapp 20 dt/ha nicht befriedigend. Auf dem Standort Steinenstadt fielen sie im Jahr 2003 der Trockenheit und dem Unkraut zum Opfer. Die gegenüber 2004 geringeren Tausendkorngewichte waren vermutlich Folge des Hitzestress und der verkürzten Vegetationszeit. In 2004 fielen die Sojaerträge auf dem Viehwegacker dem Hagel zum Opfer, während Mais sich als robust erwies und noch einen beachtlichen Ertrag lieferte. Der Ertrag von ca. 31 dt/ha (91 % TM) in Steinenstadt kann angesichts der sehr geringen Bestandesdichte von nur 38,5 statt 60 Pflanzen/m² und wegen der Defizite bei der Unkrautbekämpfung als überraschend gut eingestuft werden. Er spiegelt, die im weiteren Verlauf der Vegetationszeit, günstigen Wuchsbedingungen für Soja im Jahr 2004 wieder.

Als Fazit kann bei Soja festgehalten werden, dass die Unkrautbekämpfung in Fruchtfolge mit Mais schwierig ist und gute Erträge gefährdet. Die Etablierung ausreichender Bestandesdichten war nach Weidelgrasuntersaaten schwierig. Verbesserungen sind durch eine frühe Kontrolle des Wiederaufwuchses von Untersaaten und eine Rückverfestigung des Saatbetts zu erwarten.

Stickstoffdynamik

- Der Standort Steinenstadt wies aufgrund jahrelanger, vorangegangener Stallmistdüngung stets hohe Mineralisierungsraten mit hohen Nitrat-N Gehalte im Frühjahr und im Herbst auf.
- Die Wirkung der Untersaaten als Nitratfallen konnte anhand des Rückgangs der N_{min}-Werte nachvollzogen werden.
- Auf dem Standort Steinenstadt konnten die hohen Mineralisationsschübe und erhöhte vorwinterliche N_{min}-Gehalte nur abgemildert werden. Im Viehwegacker reichten die Untersaaten aus, um erhöhte vorwinterliche N_{min}-Gehalte zu vermeiden.

Während der beiden Versuchsjahre waren zu sieben Terminen N_{min}-Beprobungen in allen Parzellen des Versuchs gezogen worden. Gegenüber dem Standort Viehwegacker hatte der Standort Steinenstadt, der zuvor jahrelang mit Stallmist gedüngt worden war, ein deutlich höheres Mineralisierungspotenzial. Zur Saat im Jahr 2003 wurden 100 bis 150 kg Nitrat-N/ha im Bodenprofil gemessen. Auch im Herbst lagen sie wieder bei 100-150 kg/ha, nachdem sie nach Abschluss der Hauptvegetationsentwicklung auf Werte um 60-70 kg/ha zurückgegangen waren. Auf dem Standort Viehwegacker, der lange Zeit nur mineralisch gedüngt worden war, verlief die N-Dynamik verhaltener. Zur Saat lagen die Werte um 50 kg Nitrat-N/ha. Zum Abschluss der weiblichen Blüte waren es ca. 50 kg/ha bei Monomais und 80 kg/ha bei Mais innovativ. Vor Winter am 29. November waren es immer noch 50 kg/ha bei Monomais, aber nur noch 30 kg/ha bei innovativem Mais mit Untersaat. Die Wirkungen der Untersaat war deutlich. Das war auch

auf den Sojapartzen der Fall, wo die Untersaaten den für Körnerleguminosen oft typischen Mineralisierungsschub vor Winter abfangen konnten.

Im Jahr 2004 waren die Ausgangsgehalte zur Saat nur halb so hoch wie 2003. Bei der N_{\min} -Beprobung Ende Mai lagen sie bei Mais-innovativ nach Soja auf beiden Standorten um 100 kg Nitrat-N/ha. Die entsprechenden Werte für Monomais betragen ca. 90 kg/ha auf dem Viehwegacker und ca. 120 kg/ha in Steinenstadt. Nach der Maisernte waren die N_{\min} -Gehalte in den Cultan-gedüngten Varianten in Steinenstadt trotz höherer Ernteentzüge höher als bei Monomais. Eine höhere Effizienz der Cultan-Düngung kann daraus noch nicht belegt werden, da auf dem Viehwegacker ein solches Phänomen ausblieb. Hier lagen die N-Gehalte bei innovativem Mais mit Untersaat zum Winter hin und wie zu erwarten niedriger als bei Monomais. Mais mit Untersaat hatte Ende Oktober 10-15 kg N_{\min} /ha im Bodenprofil, ohne Untersaat waren es ca. 30 kg/ha.

Die Untersaat von Sommerhafer in Soja erwies sich auch in 2004 als effiziente Maßnahme zur Verhinderung hoher vorwinterlicher Nitratgehalte nach Körnerleguminosen. Die gemessenen N-Gehalte lagen Ende Oktober um 20 kg/ha.

N_{\min} -Beprobung nach bewährter Methodik erwies sich bei Cultan Anwendung als sehr aufwändig und ungenau (mehrere Probenahmepunkte). Bei Einführung dieser Düngungstechnik wäre die Entwicklung eines neuen Beprobungsverfahrens unabdingbar.

Als Fazit kann gefolgert werden, dass Untersaaten die vorwinterliche Nitratproblematik bei Körnermais deutlich entschärfen, nicht aber völlig beseitigen konnten. Die vorwinterlichen Nitratgehalte nach Soja ließen sich demgegenüber mit Haferuntersaaten stets gut abfangen.

Modellierung von Nitratauswaschungen mit dem Modell LIXIM

- Das LIXIM Modell ermöglicht zusätzlich zu N_{\min} -Messungen die quantitative Berechnung der ausgewaschenen Nitratmengen.
- Anhand zusätzlicher Informationen zu Klima und Boden liefert LIXIM nur bei genauer Parametrisierung der Bodeneigenschaften gute Ergebnisse. Es eignet sich deshalb eher für Versuchsansteller als für Beratung und Praxis in Frage.
- Für den Standort Steinenstadt lieferte das Modell konsistente Ergebnisse.
- Die Auswaschungsverluste beliefen sich bei Körnermais ohne Untersaaten nach hohen Ertragsausfällen 2003 auf 70-80 kg Nitrat-N/ha. Nach Soja mit Haferuntersaat betrug der entsprechende Auswaschungswert ca. 15 kg Nitrat-N/ha.

Das Stickstoffverlagerungsmodells LIXIM wurde für den Winter 2003/2004 auf beiden Versuchsstandorten angewendet, um die Stickstoffdynamik in den Anbausystemen abzubilden. Anhand von N_{\min} -Messungen, taggenauen Klimadaten und präzisen Angaben zu den Eigenschaften des Bodenprofils wurden mit LIXIM Sickerwassermengen, Nitratkonzentrationen, Mineralisierungsraten, N-Festlegung, Verlagerungsvorgänge zwischen einzelnen Bodenschichten und die sich daraus ergebenden winterlichen Nitratauswaschungen berechnet.

Für die Simulation standen N_{\min} - und Bodenfeuchtedaten von vier Messterminen für den Winter 2003/2004 zur Verfügung. Für die Profilbeschreibungen konnte auf gut dokumentierte bodenkundliche Kartiereinheiten zurückgegriffen werden.

Die Anwendung des Modells anhand weniger, zeitlich weit auseinander liegender N_{\min} Messungen, ohne genaue Ansprache des Profilaufbaus mit Laboranalysen erwies sich auf den im Unterboden stark sand- und kieshaltigen Böden als schwierig. Insbesondere der Wasserhaushalt auf dem Viehwegacker konnte nur unzulänglich modelliert werden.

Die Mineralisierungsvorgänge von etwa 20 kg N/ha bis Frühjahr 2004 (bei Monomais) und 40 kg N/ha (nach Soja) und die vorübergehende Festlegung von bis zu 30 kg N/ha war für den Standort Steinenstadt nachvollziehbar. Auf dem Standort Viehwegacker kam es dagegen zu unlogischen Simulationsergebnissen. Sickerwasserverluste (von Ende September bis Ende November waren 198 mm Niederschlag gefallen) waren in Steinenstadt mit 120 mm in den Varianten ohne Begrünung sehr hoch, während die Haferuntersaat zu einer Minderung auf 70 mm geführt hatte. Auf dem Standort Viehwegacker waren die Sickerwassermengen (um 80 bis 100 mm) sowohl in der Abfolge (höchste Versickerung bei Mais mit Weidelgrasuntersaat) als auch in ihrer Höhe nicht nachvollziehbar. Hier lagen offensichtliche Mängel bei der Parametrisierung des Modells anhand des Referenzbodenprofils vor. Die vom Modell berechneten Nitratkonzentrationen überstiegen die zulässige Maximalkonzentration von 50 mg NO_3/l im Trinkwasser um über das sechsfache. Der sehr trockne Sommer, hohe Nitrathinterlassenschaften und herbstlich einsetzende Versickerungsvorgänge machen dieses Resultat plausibel. Nach Soja mit intakter Untersaat und weniger Reststickstoff waren die Konzentrationen geringer. Für Monomais und innovativen Mais mit verspäteter Roggenzwischenfrucht und Grubbereinsatz wurden Nitrat auswaschungen von 70 bis 80 kg Nitrat-N/ha berechnet.

Als Fazit kann gefolgert werden, dass das LIXIM-Modell für Situationen geeignet ist, in denen sehr genaue Angaben zum individuell vorhandenen Bodenprofil vorliegen. Ist dies gegeben kann es, ergänzend zu den N_{\min} -Werten, wichtige Zusatzinformationen zu Auswaschungsverlusten und zu den Wirkungen ackerbaulicher Maßnahmen erbringen. Für den Einsatz in der Beratung, wo solche Untersuchungen fehlen, kommt es nach den Erfahrungen dieses Projektes allenfalls auf leicht zu beschreibenden, homogen aufgebauten Böden in Frage.

Bewertung der Maisanbausysteme mit dem Umweltbewertungsverfahren INDIGO

- Beim Systemvergleich Mais-innovativ/Soja gegen Mais Daueranbau ergaben sich deutliche Vorteile für das innovative System bei der Kulturenabfolge, beim Erhalt der organischen Masse der Böden, beim Stickstoffeinsatz und beim Energieverbrauch.

Das zur die Bewertung von Produktionssystemen auf Schlagebene in Frankreich entwickelte INDIGO® -Verfahren, stellt ein Werkzeug dar, das mit agrarökologischen Kenngrößen (Indikatoren) die Nachhaltigkeit ackerbaulicher Produktionsverfahren beurteilt. Als schlagbezogenes Bewertungsverfahren eignet es sich auch gut für die Bewertung praxisnaher, ackerbaulicher Versuche. Auf der Basis von Angaben zu Boden, Klima, eingesetzten Betriebsmitteln und der durchgeführten Feldarbeiten berechnet es Indikatoren zur

Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung von Parzellen. INDIGO liefert Kennwerte zu acht Wirkungskategorien: Kulturartenvielfalt (nur auf betrieblicher Ebene), Kulturenabfolge (Fruchtfolgen), zur Humuspflege, zum Phosphateinsatz, zu Stickstoff (Auswaschungsrisiken, Emissionsrisiken), zum Pflanzenschutzmitteleinsatz (Aufwandmengen und Umweltrisiken), zur Beregnung (nicht bewertet, da Datengrundlage fehlte) und zum Energieeinsatz.

In den Abbildungen 32 und 33 dieses Berichtes sind die Ergebnisse der INDIGO-Bewertung für die Produktionsverfahren Monomais im Daueranbau und für den innovativen Anbau in Fruchtfolge dargestellt. Bei Monomais besteht nach dieser Bewertung vor allem Handlungsbedarf auf den Gebieten Kulturenabfolge (z. B. Fruchtwechsel), bei Stickstoffeinsatz und Handhabung (Düngerbemessung, Formulierungen, Ausbringung) sowie beim Erhalt der organischen Masse der Böden. Das Produktionssystem Mais-innovativ/Soja (im Fruchtwechsel) wies durchweg bessere oder gleiche Umweltindikatoren auf. Trotzdem ergab sich auch für dieses System noch Handlungsbedarf auf den Gebieten Kulturenabfolge (weitere Diversifizierung), Phosphateinsatz (z.B. Düngung streng nach Bedarfsrechnung) und bei Stickstoffeinsatz und Handhabung (z.B. verbesserte Düngerbemessung zu Mais). Gegenüber Monomais ergaben sich deutliche Vorteile für das innovative System bei der Kulturenabfolge, beim Erhalt der organischen Masse der Böden, beim Stickstoffeinsatz und beim Energieverbrauch.

Wirtschaftlichkeit der Anbausysteme im Vergleich

- Mit dem Deckungsbeitrag A (ohne Ausgleichs- und Flächenzahlungen) konnte mit keinem der untersuchten Produktionssysteme ein positives Ergebnis erzielt werden.
- Mit dem Deckungsbeitrag B (inklusive MEKA Ausgleichszahlungen für Umwelleistungen und die Kulturflächenzahlungen) konnte mit der innovativen Fruchtfolge mit Mais-Soja in den Jahren 2003-2004 gegenüber Mais im Daueranbau gleiche oder bessere Deckungsbeiträge erzielt werden.
- Mais-innovativ alleine war aufgrund höherer Ausgleichszahlungen und Erträge jeweils das profitabelste Fruchtfolgeglied, - noch vor Monomais.
- Bei Betrachtung der Fruchtfolge geht die Wettbewerbsfähigkeit des innovativen Ansatzes durch das Fruchtfolgeglied Soja verloren.
- Ohne Entlohnung von Umwelleistungen war Mais Daueranbau am rentabelsten.

Bei der vorgelegten Analyse ist zu beachten, dass kumulative Effekte noch wenig zum Tragen kommen und die Behandlungen des Systemvergleichs erst im zweiten Jahr voll etabliert waren. Außerdem hatten extreme Klimaverhältnisse und Hagelschlag die Erträge beeinträchtigt.

Der Deckungsbeitrag A (ohne Ausgleichs- und Flächenzahlungen) weist für keines der Systeme ein positives Ergebnis aus. Am besten schnitt noch der Daueranbau auf dem 2003 bewässerten Standort Viehwegacker ab (-9,5 €/ha), dicht gefolgt von der innovativen Fruchtfolge mit Mais-Soja (-62 €/ha). Bei geringeren Erträgen war die Rangfolge am unbewässerten Standort Steinenstadt gleich. Die Verluste fielen mit -177,5 €/ha und -210 €/ha allerdings höher aus. Fruchtfolgen mit Soja im Trockenjahr 2003 schnitten jeweils am schlechtesten ab.

Beim Deckungsbeitrag B, bei dem auch MEKA-Ausgleichszahlungen für Umweltleistungen und die Kulturflächenzahlungen eingehen, war das innovative Anbausystem Mais / Soja etwa gleich rentabel wie der Mais-Dauernbau. Mais-innovativ/Soja brachte es im Viehwegacker auf einen mittleren Deckungsbeitrag von 433 €/ha, bei Monomais waren es 447 €/ha. Für den Standort Steinenstadt betragen die entsprechenden Deckungsbeiträge 283 €/ha für Mais-innovativ/Soja und 280 €/ha für Monomais. Mit dem Fruchtfolgeglied Mais-innovativ konnten bei Berücksichtigung aller Ausgleichszahlungen jeweils die höchsten Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden. Sie lagen 2004 mit 654 €/ha gegen 539 €/ha im Viehwegacker 546 €/ha gegen 480 €/ha deutlich höher als bei Monomais. Ohne Ausgleichszahlungen war Monomais stets am erfolgreichsten. Wegen der geringen wirtschaftlichen Attraktivität des Fruchtfolgeglieds Soja schnitt das innovative Anbausystem als Fruchtfolge aber jeweils ungünstiger ab.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen belegen zum einen die Bedeutung umweltbezogener Zahlungen für die Umsetzbarkeit innovativer, nachhaltiger Produktionsverfahren, zeigen aber auch klar die Defizite des Fruchtfolgeglieds Soja, das die Wettbewerbsfähigkeit des innovativen Ansatzes entscheidend schwächte. Ob Mais-innovativ im Dauernbau alleine (als Schritt hin zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit) auch ohne die Soja-Vorfrucht besser als Monomais abschneidet, muss offen bleiben. Interessant wäre ein verbesserter Dauernbau, als Schritt hin zur Verbesserung der Nachhaltigkeit deshalb, weil mit Reihenfrässaat, Untersaat und Cultandüngung auch deutlichen Arbeitentlastungen verbunden waren (9 Akh/ha gegenüber 14 Akh/ha bei konventionellem Monomais). Die Entlohnung eingesetzter Arbeit konnte verbessert werden.

1. Einleitung und Problemstellung

1.1. Bedeutung des Körnermaisbaus am Oberrhein

Der Körnermaisbau ist aufgrund der klimatischen Eignung und des hohen Ertragsniveaus die wirtschaftlich wichtigste Kultur am Oberrhein. Die Maiskultur zählt zu den Kulturen, die mit der Einführung von Hybriden mit mittleren Ertragszunahmen von +1 dt/ha/Jahr am meisten vom züchterischen Fortschritt profitiert haben. Die aktuell hohen Erträge um 110 dt/ha (gegenüber 75-85 dt/ha bei Wintergerste und W.-Weizen) haben zu einer Zunahme der Anbauflächen in der Region und in den ackerbauenden Betrieben geführt (Tab. 1). Mehr als 50 % des Körnermaisbaus in Baden-Württemberg befinden sich am Oberrhein. In den Regierungsbezirken Freiburg und Karlsruhe werden über 70 % des Anbaus realisiert. Die mittlere Maisfläche pro Betrieb betrug in den Regierungsbezirken Freiburg und Karlsruhe im Jahr 2003 circa 13 ha.

Tabelle 1: Entwicklung des Körnermaisbaus in Baden-Württemberg nach Regierungsbezirken in den letzten sechs Jahren (HUGGER 2004).

Regierungsbezirk	1998	1999	2000	2001	2002	2003 gerundet
RP-Freiburg	31.406	31.827	31.306	32.893	33.700	35.000
RP-Karlsruhe	12.117	13.448	14.084	17.098	17.800	20.000
RP-Stuttgart	9.040	8385	10.159	11.338	9.900	13.000
Rp-Tübingen	5.777	5.631	6.712	5681	6.800	8.000

Die Attraktivität des Maisbaus stützt sich neben den relativ zu anderen Getreidearten im Moment noch höheren Ausgleichszahlungen und Erträgen bei mäßigem Wasseranspruch insbesondere auf die Faktoren:

- gesicherte Märkte
- hohes Ertragspotenzial
- hohe Selbstverträglichkeit und Standfestigkeit
- gute Mechanisierbarkeit
- hohe Energieerträge
- hohe Düngerverträglichkeit bei geringen Bodenansprüchen

Trotz dieser Eigenschaften (LÜTKE ENTRUP 2001) und seiner hervorragenden Bedeutung für die Landwirtschaft am Oberrhein (HUGGER 2003/2004) ist der Maisbau auch Kritik ausgesetzt, die sich vor allem auf unerwünschte negative Umweltwirkungen und den zunehmenden

monokulturähnlichen Anbau stützt (siehe Abbildung 1). Die zweifelfrei ebenso vorhandenen Umweltvorteile, wie z.B. die Möglichkeit des biologischen Pflanzenschutzes, der weitgehende Verzicht auf Insektizide und Fungizide und die Möglichkeiten der mechanischen Unkrautkontrolle (DEBRUCK 2001) geraten dabei oft Vergessenheit.

Im Sinne einer nachhaltigen Sicherung des Anbaus in der Region sind deshalb Anstrengungen notwendig, die Vorteile, die der Mais bietet, stärker zu nutzen und Verbesserung der Anbaupraktiken zu dokumentieren und weiter zu entwickeln. Dabei sind ökonomische und ökologische Aspekte in Einklang zu bringen. Ziel des Vorhabens ist deshalb einen Beitrag zur Nachhaltigkeit der Maisanbausysteme in der Oberrheinebene zu leisten, wobei der Begriff der Nachhaltigkeit umfassend verstanden wird. Er umfasst nach der Definition des Umweltbundesamtes (UBA 1997) die nachfolgend genannten Kriterien:

Kriterien der Nachhaltigkeit nach UBA (1997)

Eine Nachhaltige Landwirtschaft beinhaltet folgende Zielvorstellungen:

- Intergenerationelle Gerechtigkeit: Zukünftige Generationen sollen die gleichen Chancen haben wie die derzeit lebenden Menschen.
- Ressourcenschonung: Die Produktionsgrundlagen (Boden, Wasser und Luft) sollen erhalten bleiben. Die Nutzung dieser Ressourcen darf auf Dauer nicht größer sein als ihre Regenerationsfähigkeit.
- Biodiversität: Die biologische Vielfalt soll erhalten und genutzt werden.
- Ökologische Verantwortung: Natürliche Ökosysteme sollen nicht beeinträchtigt werden, d.h. die Freisetzung von Stoffen und Energie darf auf Dauer nicht größer sein als die Belastbarkeit der Umwelt oder deren Assimilationsfähigkeit.
- Sozio-ökonomische Verantwortung: Die Existenzfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe soll erhalten bleiben.
- Gesellschaftliche Verantwortung: Die Landwirtschaft gewährleistet die Nahrungsversorgung und stellt die Nahrungsqualität sicher.
- Globale Verantwortung: Alle genannten Aspekte werden auf einen weltweiten Maßstab übertragen.

1.2. Mögliche Problemfelder des Maisanbaus

Für den Maisanbau wurden von BOCKSTALLER (2002), LÜTKE ENTRUP (2001) und anderen insbesondere die folgenden Problemfelder zur Sicherung der Nachhaltigkeit des Maisanbaus identifiziert:

- *Grundwasserbelastungen* durch Nitrat durch zu hohe organische oder mineralische Düngung, nicht termingerechte Düngung, nicht bedarfsgerechte Düngung, Zeiten ohne bedeckten Boden oder physiologisch aktiven Pflanzenbestand bei hohen (Rest-) Nährstoffgehalten.
- *Probleme bei der Unkrautbekämpfung* im Daueranbau durch lange Jugendphase, Unkrautselektion angepasster, resistenter und schwer bekämpfbarer Unkräuter, Verlagerung von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächengewässer und steigende Mittelkosten.
- *Verlust an Bio-Diversität und Diversität der Agrarlandschaft* durch hohen Maisanteil und Artenverarmung, Verdrängung nicht eutropher oder nicht herbizidtoleranter Begleitkräuter.
- *Erosionsfördernde Anbauformen* durch geringe Pflanzenzahl, weite Reihenabstände, späte Saatzeit, späte Bodenbedeckung, kurze Vegetationszeit, zu späte Ernte für Zwischenfruchtanbau und Folgekulturen, Schwächung der Struktur des Bodens mit Verdichtungen bei später Ernte und dadurch Förderung von Oberflächenabfluss.
- *Überschüsse bei der Beregnung* mit Nitratverlagerungen in die Sickerwasserzone.
- *Hoher Ressourceneinsatz* durch den Verbrauch fossiler Energie für Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz.
- *Risiken durch wirtschaftliche Abhängigkeit und Anfälligkeit eines monokulturähnlichen Anbaus* (Stichwort Maiswurzelbohrer).

Abbildung 1 gibt einen Überblick zu den Potenzialen, Problem- und Handlungsfeldern nachhaltiger Maisproduktion am Oberrhein, wie sie sich nach aktuellem Sachstand und der Literatursichtung darstellen.

Nach den bisher durchgeführten Literaturrecherchen und Gesprächen mit Fachvertretern und Bauern, scheint innerhalb des Kreises der Maisanbauer das Hauptaugenmerk auf die Lösung etwaiger Probleme innerhalb des Maisanbaus gerichtet. Fragen der Ertragssicherheit und der Rentabilität der durchgeführten Maßnahmen stehen dabei eindeutig im Vordergrund.

Die vorteilhaften agronomischen Eigenschaften der Kultur und eine breite Palette wirksamer Produkte für die Unkrautbekämpfung stellen aus Sicht der Maisezeuger kurz bis mittelfristig den Erfolg, auch des monokulturähnlichen Anbaus, nicht in Frage. In der Landwirtschaft wird deshalb kein dringender Handlungsbedarf zur Umgestaltung und Optimierung der Maisanbausysteme gesehen. Veränderungen gegenwärtiger Produktionsformen könnten aber durch das erwartete, großflächige Auftreten des Maiswurzelbohrers in Verbindung mit

einer Aufwertung von Umweltleistungen im Rahmen der neuen EU-Agrarpolitik begünstigt werden.

Von den in Abbildung 1 dargestellten Problemfeldern wird aktuell vor allem im Bereich des Grundwasserschutzes und der Erosion auf Hanglagen ein gewisser Handlungsbedarf gesehen. Die anderen Problemfelder werden von gesellschaftlichen Gruppen außerhalb der Landwirtschaft diskutiert und problematisiert, finden aber unter dem Zwang zu wirtschaftlichem Handeln nur bei sehr wenigen Pionieren Eingang in die Praxis. Landwirte werden Änderungen nur in größerem Umfang realisieren oder umsetzen können, wenn durch Forschung und Beratung die Vereinbarkeit der übergeordneten Ziele mit betriebswirtschaftlichem Erfolg plausibel dargestellt werden kann.

Untersuchungen zur Wirksamkeit, Effizienz und Machbarkeit neuer Praktiken im Maisanbau, die in diesem Projekt überprüft und dokumentiert werden sollten, sind deshalb von großer praktischer Bedeutung.

Partizipative, weniger maßnahmenbezogene und mehr ergebnisorientierte Strategien zur Bewältigung der aufgezeigten Problemfelder mit Einbeziehung der Bauern bei der Entwicklung von Maßnahmen und Bewertungsmethoden sind in diesem Zusammenhang wünschenswert. Sie stärken die Selbsteinschätzung der Bauern als „Handelnde“ und nicht so sehr als „Behandelte“ und beschleunigen damit die Einführung neuer umweltfreundlicher Produktionsverfahren. Der gewählte Ansatz des Systemvergleichs mit Entscheidungsregeln nach *MEYNARD et al. (1996)* bietet hierzu einen guten Ansatz (siehe auch Kapitel 2.1).

1.3. Prioritäre Fragestellungen

Die in diesem Projekt prioritär behandelten Problemfelder sind im Folgenden nach ihrer Bedeutung für die Versuchsbearbeitung geordnet dargestellt.

1. Vermeidung von Nitratauswaschungen
2. Sicherung der Wirtschaftlichkeit
3. Weniger umweltbelastende Strategien der Unkrautkontrolle
4. Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Bodenstruktur und Erosionsminderung)
5. Machbarkeit (Arbeitswirtschaft, Betriebsorganisation)

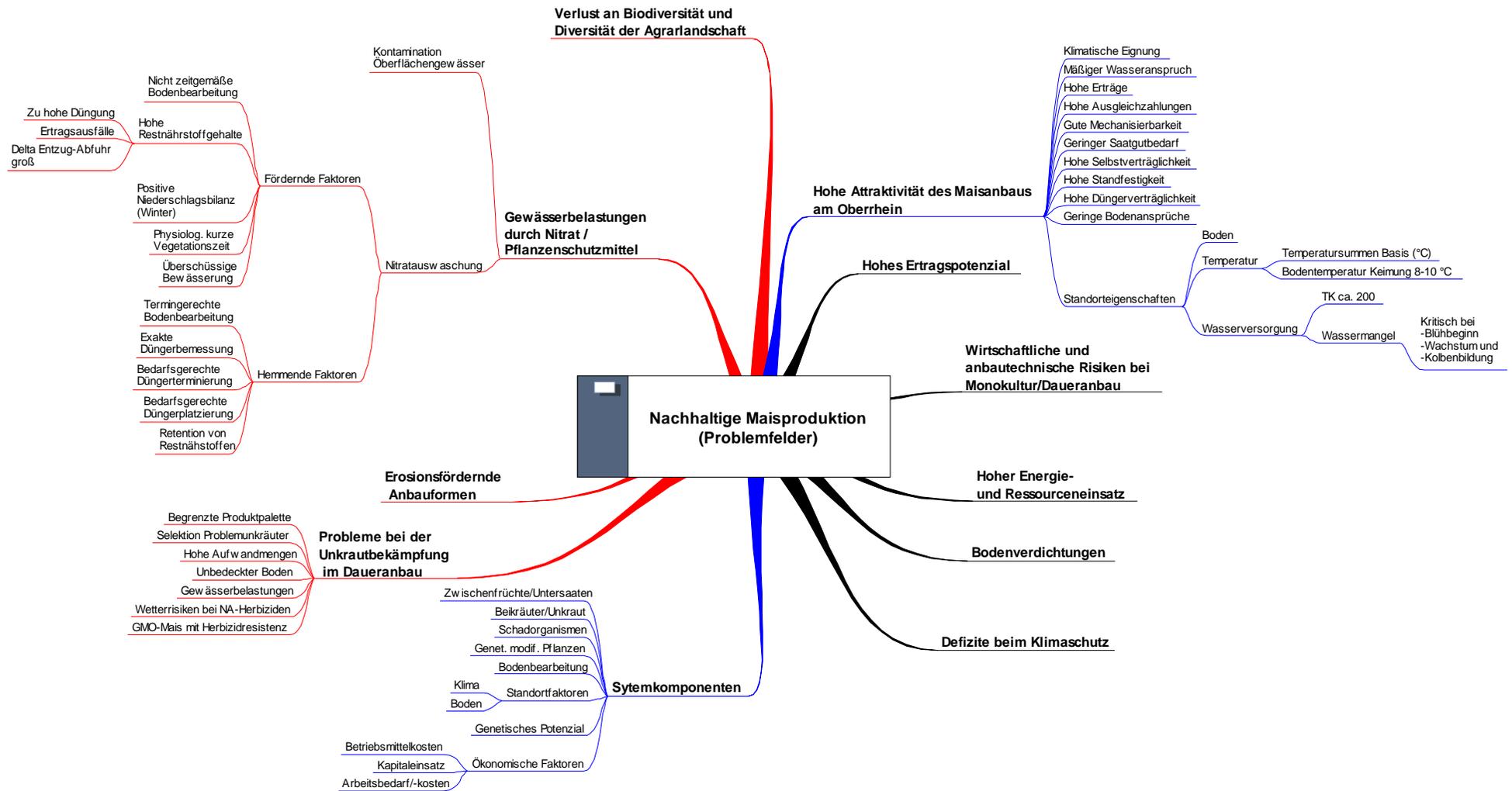


Abbildung 1: Handlungs- und Problemfelder nachhaltiger Maisproduktion

2. Methode und Zielsetzung

Zahlreiche Arbeiten haben sich mit Spezialproblemen des Körnermaisbaus befasst (Stickstoffdüngung, Sortenvergleich, Zwischenfrucht, etc.; siehe hierzu Arbeiten des ITADA und anderer), oft unter Versuchsbedingungen, die auf eine isolierte Betrachtung und Analyse von Teilaspekten des Anbaus ausgerichtet waren. In Anbetracht der Breite des Problems erschien es wegen praktischer Erfordernisse angezeigt, alternative Anbaukonzepte in einem umfassenden Systemansatz zu untersuchen. Ziel des Projektes war deshalb eine Betrachtung des gesamten Anbausystems. Spezifische Erfordernisse, Verbesserungsmöglichkeiten und Synergien, die sich nur im Blick auf die Zusammenhänge im jeweiligen Anbausystem ergeben, sollten dadurch berücksichtigt und in praxisnaher Weise genutzt werden (REAU et al. 1996).

Im vorliegenden Projekt wurde deshalb auf Praktikerschlägen im direkten Vergleich mit dem vorherrschenden Standardverfahren und unter Verwendung verfügbarer Maschinen, ein abgestimmtes Bündel von Bewirtschaftungsmaßnahmen (Anbausystem) erprobt:

Die Zielvorstellungen des Projektes konzentrierten sich auf folgende Felder:

1. Veränderungen bei den Daueranbausystemen zur Minderung der unerwünschten Umweltwirkungen in Anlehnung an die Richtlinien der „Production raisonné“ (F) bzw. nach Richtlinien der „guten fachlichen Praxis“ und des integrierten Anbaus (D).
2. Harmonisierung der Ansprüche von Ökonomie und Ökologie.
3. Umfassende Evaluierung der genannten Produktionssysteme
 - technisch/ökonomisch (Ertrag, Wirtschaftlichkeit, Machbarkeit)
 - agronomisch (Ertragskomponenten, Bodeneigenschaften, Unkrautaspekte)
 - bezüglich des Umweltverhaltens durch ein ganzjähriges Monitoring des Nitratstickstoffs der Böden, durch die Anwendung des Lixim-Modells und durch eine Systembewertung anhand agrarökologischer Kenngrößen

2.1. Systembeschreibung

Im Zuge der Umsetzung dieser Lösungsstrategien wurden hierzu vergleichende Systemversuche¹ mit zwei grundlegenden Anbausystemen durchgeführt:

1. Mais-Daueranbau nach Richtlinien der guten fachlichen Praxis und in Anlehnung an die Vorgaben der „Production raisonné“ der AGPM bzw. von ARVALIS (AGPM 2001).
2. Innovatives, pflugloses Anbausystem mit einer Mais/Körnerleguminosen - Fruchtfolge mit Zwischenfrucht oder Untersaat zur Erreichung einer dauerhaften Bodenbedeckung bei gleichzeitig reduzierter Bodenbearbeitung. Anbaugestaltung in Anlehnung an die Prinzipien der Integrierten Produktion.

2.2. Systemvergleich mit Entscheidungsregeln

Die beiden Systeme unterscheiden sich weniger in der Wahl der Betriebsmittel (N-P-K-Dünger, Unkrautbekämpfung), als vielmehr in deren Anwendung, bezüglich der Fruchtfolge und dem Einsatz von Untersaaten/Zwischenfrucht und der Bodenbearbeitung. Um das innovative System stimmig zu machen, musste auch die Sortenwahl angepasst werden (Wahl einer früheren Sorte mit aufrechter Blattstellung, um die Untersaat zu begünstigen). Die für die P-K-Düngung verwendeten Entscheidungsregeln beruhen auf ähnlichen Methoden (Régifert-Methode der INRA bzw. auf Düngerbedarfs-Kalkulationen der LEL, Baden-Württemberg im Rahmen der Fruchtfolge).

Für die Unkrautregulierung, eine Schlüsselmaßnahme beim Maisanbau, wurde eine Nachauflauf-Strategie mit Wirkstoffen angestrebt, die ein gutes Umweltprofil aufweisen (Auswahl mit Hilfe des I_{phy} -Indikators von INDIGO[®] (VAN DER WERF & ZIMMER 1999; BOCKSTALLER & GIRARDIN 2002).

Entscheidungsregeln basieren auf Hypothesen und/oder Zielvorstellungen, die mit dem Einsatz bestimmter Techniken und der Ausgestaltung der Anbausysteme verbunden sind. Oder es werden in ihnen Anforderungen formuliert, die erfüllt werden sollten, damit das „System“ funktioniert. Im Folgenden sind die für den deutschen Teil des Projektes überarbeiteten

¹ Systemversuch (nach MEYNARD et al. 1996) bezeichnet hier ein Vorgehen, bei dem nicht einzelne Komponenten und Praktiken, sondern ein kohärentes Gesamtsystem evaluiert werden soll. Es beruht nicht auf einzelnen, fixen Komponenten (z. B. Sorte X), sondern orientiert sich an Entscheidungsregeln (praxistaugliche Sorte mit Turcicum Resistenzeigenschaften). Die Entscheidungsregeln wurden zuvor von französischer Seite mit Fachkräften technischer Institute und Beratungskräften auf der Grundlage fachlicher Hypothesen zur Wirkung einzelner Entscheidungen (z. B. untersaattaugliche Maissorte) erarbeitet. Dieses Vorgehen kann und soll zu wechselnden Systemkomponenten im Versuchszeitraum und in den Varianten führen.

Entscheidungsregeln mit den dazu formulierten Maßnahmen in 2003/2004 für die zwei Teilsysteme wiedergegeben.

Tabelle 2: Entscheidungsregeln beim Anbausystem nach guter fachlicher Praxis bzw. „production raisonné“.

Systemelement	Entscheidungsregel System „gute fachliche Praxis“	Umsetzung 2003/4
Fruchtfolge	Mais-Daueranbau ohne Zwischenfrucht	nach Regeln guter fachlicher Praxis
Bodenbearbeitung	klassisch (Pflug + Saattbettbereitung)	idem
Sorte	Kornreifezahl. ca. 280 Soll Resistenzeigenschaften mitbringen in Reihenfolge der Bedeutung: Turcicum>Ustilago m. >Fusarium	Sorte <i>DRACILA</i> ; K 280 Resistenzeigenschaften: Turcicum > 2,5 (Mittel Vergleichssorten 3,4) Ustilago m. ->2,0 (Mittel 2,6) Ostrinia n.:>3,3 (Mittel 4,8) Fusarium -> keine Angaben ; im Sinne der IP Verringerung des Spätbefall-Risikos durch rel. frühe Ernte, Bonitur visueller Merkmale bei Ernte
Saat	Datum und Saattiefe : norm Bodeninsektizid nur bei hohem Schadddruck durch <i>Agriotes</i> ssp. (Drahtwürmer) Dichte : Wert der Sortenempfehlung	Termin: 23/24.04.2003 (Steinenstadt/Viehweg) 22/23.4.2004 (Viehweg/Steinenstadt) Saattiefe: 4--6; Bodeninsektizid: keines Saaddichte: 8,5 kK/m ² oder 85.000 Pfl/ha; gebeizt mit Mesurol
P, K	Nach guter fachlicher Praxis (Entzug)	Geplanter Ertrag: 110 dt/ ha (2003); 100dt/ha 2004. (Düngung nach Bedarfsberechnung im Rahmen der Fruchtfolge); Versorgungsstufe C. (in 2003 Herbst/Frühjahr; in 2004 im Frühjahr)
N	Düngung nach Richtlinien der Düngerbedarfsermittlung der LEL	geteilte Gaben Steinenstadt: 2 dt Mischdünger (20-11-18-3) vor Saat; zweite Teilgabe als KAS nach später Nmin (2.6.03/9.6.04) 2003: 30 2004: 91 kg N Viehwegacker: 4 dt Mixdünger (9/23/15/6) zur Saat; zweite Teilgabe als Harnstoff; späte Nmin (10.6.03/09.6.04). 2003: 96 2004: 105 kg N
Unkrautbekämpfung	Alles Nachauflaufverfahren: Mittel mit breitem Wirkungsspektrum Vorgehen nach Gegebenheiten des Unkrautbestandes:	Nachauflaufverfahren Blattstadium: 0,8 l Callisto plus 0,8 l Motivell (einmalig),

Systemelement	Entscheidungsregel System „gute fachliche Praxis“	Umsetzung 2003/4
	<p>a) nur schädliche Unkräuter wenig Ungräser 4-5-Blatt-Stadium: 0.5 l Callisto 7-8 Blatt-Stadium 0,5 l Callisto</p> <p>b) bei Auftreten aggressiver Ungräser: 4-5-Blatt-Stadium: 0.5 l Callisto + 0,5 l Motivell 7-8-Blatt-Stadium: 0.5 l Callisto + 0,5 l Motivell (falls nötig)</p> <p>In allen Fällen ist nicht eine 100 %-ige Bekämpfung der nicht schädlichen Begleitflora angestrebt.</p> <p>Bekämpfung bei ausreichend Luftfeuchtigkeit (morgens ca. 9:00)</p> <p>Unkrauthacke optional, wenn möglich und notwendig</p>	<p>Die Nachaufspritzung erfolgte am frühen Nachmittag (2003) bzw. am Vormittag ca. 10-11:00 Uhr in 2004 nach vorausgegangener jeweils kühler Nacht</p> <p>(2004 < 5°C). In 2003 -Ausbildung Wachsschicht; nach Regen; in 2004 trocken, warm und windig nach Anwendung bis 25°C).</p>
Maiszünsler	Chemische Kontrolle nach Anleitung oder optional Trichogramma (Praxis des Bauern).	Bekämpfung nach betrieblicher Praxis jeweils mit Trichogramma Schlupfwespen mit Trichogramma („Trichocap“) nach Befall oder Warnhinweis (2 Behandlungen mit 2x 70.000 Parasiten/ha)
Beregnung	Wo möglich nach Tensiometer und Beregnungshinweis	<p>Beregnung Viehwegacker nach subjektivem Bedarf (2003) und gestützt auf online Beratungshilfe (agrowetter) in 2004 (wurde 2004 nach Hagel nicht relisiert).</p> <p>In Steinenstadt keine Beregnung möglich.</p>
Ernte	<p>Bei Reife (≤ 32 % Kornfeuchte)</p> <p>Nach Möglichkeit Häckseln oder Mulchen der Ernterückstände</p>	<p>Ernte <i>DRACILA</i> 2003 am 5.09. mit 22% Feuchte in Viehweg und 24% Feuchte Steinenstadt 2004 am 22/23.09. mit 31% Feuchte in Viehweg und 33% Feuchte Steinenstadt</p> <p>Einsatz eines Exaktmulchgerätes (2,5 m) nach der Ernte 2003: 29.9. 2004: 16.11. (Vorbeugende Wirkung gegen Maiszünsler und Fusarium).</p>

Tabelle 3: Entscheidungsregeln im Produktionssystem Mais innovativ – in Fruchtfolge

Systemelement	Entscheidungsregel <i>Produktionssystem Mais innovativ</i>	Umsetzung 2003/4
Fruchtfolge	Fruchtfolge Mais-Körnerleguminose mit Untersaat in Mais und Zwischenfrucht nach Körnerleguminose; pfluglose Bodenbearbeitung.	Mais/Soja (Soja/Mais) Fruchtfolge mit Untersaat Weidelgras in Mais (20 kg/ha) und später Untersaat Sommer-Hafer in abreifende Soja. Nach misslungener Untersaat (Trockenheit) in Steinenstadt ZF Hybridroggen (5kg/ha), am 13.10.03)
Fruchtfolge/ Zusatz	Sojaglied: Verminderung der Verunkrautung und Verringerung des N- Austragspotenzials durch Untersaat noch im August in abreifende Soja ohne Anregung der Mineralisation durch Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht. Abfrierende Untersaat oder Herbizid spätestens Ende März.	Mit BBCH Stadium 93 (2003) bzw Stadium 89 (2004) Untersaat Sommerhafer; Glyphosat (2, 5 kg/ha Round up Turbo) am 1.4.04 (milder Winter) zu Mais Steinenstadt und zu Mais und Soja im Viehweg (Wiederaustrieb von Hafer/Weidelgras).
Boden- bearbeitung	Reduzierte, pfluglose Bodenbearbeitung; Vermeidung von Verdichtungen durch Befahren bei Frost +Federzinkenegge oder S-Kombi vor der Saat. Auf schweren Böden (>30 % Ton) Grubbereinsatz Anfang Dezember, dann je 15 Tage später je 5 % Abnahme Tongehalt)	Red. B-Bearbeitung mit Ernte 2003 auf Versuchen begonnen. Soja: Viehweg, Grubber 15-20 cm Tiefe bei Frost (30.12.2003) + 3x Federzinkenegge vor Saat (Grasfilz mit Klumpen). Soja.Steinenstadt: Grubber 13.10.2003 mit Roggensaat (86 kg/ha mit ZF.- Saatschleuder) erneut Grubbereinsatz in Roggen am 23.03.2004, Federzinkenegge am 30.3/20.4 Mais.innov.: Nach Soja+ZF keinerlei Bodenbearbeitung > Reihenfrässaat (15 tief 35 cm breit) auf beiden Standorten.
Sorten	Kornreifezahl : ca. 260-280, aufrechte Blattstellung und früherer Abreife zur Begünstigung der Untersaat Resistenzeigenschaften in Reihenfolge der Bedeutung: Turcicum>Ustilago m.>Fusarium Anmerkung : Bonituren jeweils über dem Mittel des Prüfsortiments (überdurchschnittliche Resistenz- eigenschaften gegen indizierte Schaderreger).	Maissorte 2003/2004 :. <i>NEXXOS</i> , K 260 (mittelspät), Saatgut mit Thiram gebeizt Resistenzeigenschaften : Turcicum > 2,6 (Mittel Vergl.-sorten3,4) Ustilago m. ->2,5 (Mittel 2,6) Ostrinia n.->4,2 (Mittel 4,8) Sojasorte: <i>ESSOR</i> , Reifegruppe 00 (mittelspät); mittlere Resistenz Sclerotinia, geimpft
Saat	Datum und Saattiefe : Norm Bodeninsektizid nur bei hohem Schadddruck durch <i>Agriotes</i> spp. (Drahtwürmer) Scheckenbekämpfung (Metaldehyd) nur bei Bedarf.	Saadichte Mais <i>NEXXOS</i> 2003: 85.000 Pfl/ha (Steinenstadt) und reguläre 100.000 in Viehweg; in 2004 jeweils 100.000 k.K./ha mit 4-6 cm Saattiefe; zur Reihenfrässaat Startdüngung N/P (36 N/ 92 P ₂ O ₅) keine Insektizide / Molluskizide aufgewandt in beiden Jahren

Systemelement	Entscheidungsregel Produktionssystem Mais innovativ	Umsetzung 2003/4
	Saatstärke : höchste Saatkichte der Sortenempfehlung (wegen erhöhtem Ausfall nach Weidelgras und reduzierter Bearbeitung bei Mais und Körnerleguminose)	Soja: ESSOR; 600 000 k.K./ha (4 Einheiten/ha); 17 cm Reihenabstand Drillsaat, ungebeizt, fixfertig geimpft. Steinenstadt Viehweg 2003: Mais 24.4. 23. Soja 2.5. 2.5. 2004: Mais: 22.4. 22.4. Soja: 30.4. 30.4.
P ₂ O ₅ / K ₂ O	Nach guter fachlicher Praxis (Entzug bei Versorgungsstufe C)	Steinenstadt Viehwegacker Soja/Mais: 2003: 100/150 88/165 2004: 92/0 92/0 Mais/Soja: 2003: 100/150 92/60 2004: 0/0 24/45
N	Nach Richtlinien des « maïs raisonné » unter Berücksichtigung der Hinterlassenschaft im Bodenprofil zur Saat, die Düngung wird angepasst; (Untersaat, -verzögerte Mineralisation mit reduzierter Bodenbearbeitung)	N-Düngung nach Richtlinien guter fachlicher Praxis mit geteilten Gaben für Maissaat: Steinenstadt Viehweg Soja/Mais: 2003: 0 0 2004: 36 + 85 36 + 89 Mais/Soja: 2003: 87 + 30 36 + 92 2004: 0 0 (siehe Monomais) N-Bedarfsberechnung für Mais nach später N _{min} Methode, Teilgaben. (ohne Zuschläge für red. B-bearbeitung und niedere N _{min} Werte im Mai (<80 N/ha). N zu Mais 2003 als KAS (Steinenstadt); und als Harnstoff (Viehwegacker) N zu Mais 2004 in Frässtrom zur Saat (22.4) und als <i>CULTAN</i> -Depot 15 cm tief jede zweite Reihe (9.06.04)
Untersaat	Art : Rübsen, Ölrettich oder Hybridweidelgras/Klee Saatzeitpunkt : mit letzter Düngung und Hacke des Mais (8-10 Blattstadium) Bodenbedeckung verbleibt auf Oberfläche bis Nov./Dez./Jan. (möglichst lange je nach Tongehalt; Umbruch mit Grubber; nach Soja Zwischenfrucht abfrierend). Bei zu starker Entwicklung , fehlendem Abfrieren Kontrolle mit Glyphosat im ausgehenden Winter möglich. Saatzmengen: Rübsen : 12-17 kg/ Ölrettich : 20-25 kg/ha	In Mais Weidelgrasmischung : (30 % Dt. W.-Gras , 70 % W. W-Gras) mit 20 kg/ha mit Hacke und Säaufsatz am 4.06.03/14.06.04 im 8-9-Blatt-Stadium; Grubber im Dezember '03 (Viehweg) und 13. Oktober '03 (Roggensaat in Steinenstadt) In Soja: Sommer-Haferuntersaat (2003) (BBCH 93), 180 kg/ha (von Hand, Sorte: ARAGON 1,5 -fache Normsaatmenge, 480 Körnern/m ²) ohne Bodenbearbeitung. Termin 22.8.03 (Viehweg) und 25.8.03(Steinenstadt) in 2004 Sorte „Jumbo“ 180 kg/ha in Steinenstadt Handsaat; BBCH 89; breitwürfig, Termine 25.08.04 Steinenstadt 31.08.04 Viehweg; wegen Hagelschaden nach Mulchgerät (20.8.04) als Roto-Drillsaat (120kg/ha).

Systemelement	Entscheidungsregel Produktionssystem Mais innovativ	Umsetzung 2003/4						
	Maisgrün-W.-Grasmischung : 20 kg/ha							
Unkrautkontrolle Beikrautregulierung	<p>Alles Nachauflaufverfahren:</p> <p>Mittel mit breitem Wirkungsspektrum und umweltgerecht (IPHY<7) Vorgehen nach Gegebenheiten des Unkrautbestandes:</p> <p>a) nur schädliche Unkräuter wenig Ungräser</p> <p>4-5-Blatt-Stadium: 0.5 l Callisto (einmalig) +Hacke</p> <p>b) bei Auftreten aggressiver Ungräser: 4-5-Blatt-Stadium: 0.5 l Callisto + 0,5 l Motivell (einmalig +Hacke (falls nötig))</p> <p>In allen Fällen ist nicht eine 100 %-ige Bekämpfung der nicht schädlichen Begleitflora angestrebt.</p> <p>Bekämpfung bei ausreichend Luftfeuchtigkeit (morgens ca 9:00)</p> <p>Unkrauthacke optional wenn möglich und notwendig</p>	<p>Nachauflaufverfahren (nicht gesplittet)</p> <p>a) 5 Blattstadium: 0,5 l Callisto plus 0,5 l Motivell + Hacke mit Untersaat Die Nachauflaufspritzung erfolgte (15.5.2003) am frühen Nachmittag nach Regen und 1T. Warten für Ausbildung einer Wachsschicht</p> <p>bzw. am Vormittag (24.05.2004) ca. 10-11:00 Uhr nach vorausgegangener kühler Nacht (<5°C); in 2004 trocken, warm und leicht windig; nach Anwendung bis 25°C).</p> <p>Untersaaten mit (Glyphosat) Roundup Turbo (2,5 l/ha am 1.04.2004 im Wachstum unterbunden. Wetter wüchsig, gute Wirkung.</p>						
Maiszünsler Bekämpfung	Bekämpfung mit Trichogramma	<p>Bekämpfung mit Trichogramma Schlupfwespen (Trichocap) nach Aufruf bzw. Warnhinweis (2 Behandlungen mit 2x 70.000 Parasiten/ha). 17.6.2003 und 26.6.2003 19.06.2004 und 30.06.2004</p>						
Beregnung	Wo möglich nach Tensiometer und Beregnungshinweis	<p>Beregnung Viehwegacker 140 mm nach subjektivem Bedarf (2003).</p> <p>2004 nach Hagelschaden keine Beregnung (Anfangs Gefahr Stängelfäule, später Niederschläge)</p> <p>In Steinenstadt keine Beregnung</p>						
Ernte	<p>Bei Reife (≤ 32 % Kornfeuchte)</p> <p>Nach Möglichkeit Häckseln oder Mulchen der Ernterückstände</p>	<p>Ernte NEXXOS</p> <p>2003 am 11/15.09 mit 16,6% Feuchte in Viehweg und 19,7% Feuchte Steinenstadt</p> <p>2004 am 22/23.09. mit 27% Feuchte in Viehweg und 30,5% Feuchte Steinenstadt (Parzellenernte etwas vorgezogen wegen Hagelschäden)</p> <table border="0"> <tr> <td>Steinenstadt</td> <td>Viehweg</td> </tr> <tr> <td>15.09.2003</td> <td>11.09.2003</td> </tr> <tr> <td>23.09.2004</td> <td>22.09.2004</td> </tr> </table> <p>Einsatz eines Exaktmulchers nach der Ernte (29.9.2003/ 16.11.2004) zur vorbeugenden Behandlung gegen Maiszünsler und Fusarium).</p>	Steinenstadt	Viehweg	15.09.2003	11.09.2003	23.09.2004	22.09.2004
Steinenstadt	Viehweg							
15.09.2003	11.09.2003							
23.09.2004	22.09.2004							

2.3. Standortbeschreibung

Die beiden Versuchsstandorte Steinenstadt und Viehwegacker liegen in der Rheinebene, in der das Klima durch milde und sommerlich oft trockene Klimaverhältnisse gekennzeichnet ist.

Bei der Ansprache des Bodentyps wurde wegen fehlender spezifischer Untersuchungen und aufgrund von Grabungen zweier Profile im Sommer 2004 auf Kartiereinheiten des Landesamtes für Geologie Rohstoffe und Bergbau (LGRB 2003/2003a) zurückgegriffen. Der Standort Steinenstadt der Bodenkarte 8211 (Kandern) ist demnach eine rötliche Parabraunerde aus Niederterrassenschotter des Rheins, der Bodentyp des Standortes Viehwegacker liegt im Übergangsbereich von Kartiereinheiten und kann, solange keine spezifischen Profilaufnahmen vorliegen, nach Bodenkarte 8111 (Müllheim) als Parabraunerde und Parabraunerde-Braunerde aus Niederterrassenschotter angesprochen werden.

Beide Standorte waren schon bei Versuchsbeginn gut bis hoch mit Grundnährstoffen versorgt und wiesen durchweg Versorgungsstufe C und D auf. Daran änderte sich auch für die Saison 2004 nichts, denn die Entzüge waren insbesondere in Steinenstadt, wo die angestrebten Zielderträge wegen der Trockenheit im Sommer 2003 sehr deutlich nicht realisiert werden konnten, durchweg unter dem Niveau der verabreichten Düngergaben. Die Kalkversorgung der Böden war nur auf dem Standort Viehwegacker zu Beginn der Versuchstätigkeit leicht unter dem Soll, wurde aber durch eine Kalkung mit 2 t kohlenstoffsaurem Dolomitkalk (60/30) am 20.3.2003 verbessert, so dass in 2004 nur noch eine leichte Unterversorgung nach den Maiskulturen festgestellt werden konnte. In der folgenden Übersicht sind die Versorgungsstufen getrennt nach Behandlungen für die beiden Standorte zu Beginn des Jahres 2004 zusammengefasst.

Tabelle 4: Versorgungsstufen für Teilparzellen der Versuchsfelder nach Analysen 2004

Variable	Steinenstadt			Viehwegacker		
	Beh 11	Beh 13	Beh 12	Beh 21	Beh 23	Beh 22
pH	C	C	B	C	B	B
P ₂ O ₅	C	C	C	D	C	D
K ₂ O	D	D	D	E	D	D
Mg	C	D	D	C	C	C
Kalkbedarf in CaO						
CaO-Bedarf (dt/ha)	17 dt/ha	20 dt/ha	22 dt/ha	17 dt/ha	30 dt/ha	30 dt/ha

2.3.1. Standort Viehwegacker

Der Versuchsstandort Viehwegacker kann bewässert werden. Er liegt auf der Gemarkung Müllheim und wurde seit Jahren ausschließlich mineralisch gedüngt. Er hat eine in drei Teilparzellen aufgeteilte Fläche von 1,02 ha. Ein topographischer Kartenausschnitt mit der geographischen Lage des Versuchsfeldes befindet sich im Anhang 4. Eine Übersicht zu den wichtigsten Standorteigenschaften und zur Fruchtfolgegeschichte des Standorts ist in Tabelle 5 wiedergegeben.

Tabelle 5: Standorteigenschaften Viehwegacker

Fruchtfolgeversuch Daueranbau Mais/ Mais-Soja Fruchtfolge Viehwegacker				
212 m ü.NN	9,5°C Jahresmittel		650 mm Jahr	
Fruchtfolge	Schlag	1	2	3
	Behandlung	21	23	22
	Breite (m)	15	13,5	13,5
	Länge (m)	226	226	226
	Fläche (m ²)	3390	3051	3051
	Fläche (ha)	0,34	0,31	0,31
1999	Kultur	Körnermais		
	Zwischenfrucht	-		
2000	Kultur	Winterweizen		
	Zwischenfrucht	Senf		
2001	Kultur	Körnermais		
	Zwischenfrucht	-		
2002	Kultur	Körnermais	Körnermais	Körnermais
	Zwischenfrucht	-		
	Grundbodenbearbeitung	Pflug	Pflug	Pflug
2003	Kultur	Soja	Körnermais	Körnermais
	Zwischenfrucht	USaat S-Hafer	-	Weidelgras
	Grundbodenbearbeitung	Pflug	Pflug	Pflug
2004	Kultur	Körnermais	Körnermais	Soja
	Zwischenfrucht	U.-saat Weidelg.	-	Usaat S-Hafer
	Grundbodenbearbeitung	Reihenfrässaat	Pflug	Grubber
		MM	MMM	MS
Bodentyp	Parabraunerde-Braunerde aus Niederterrassenschotter (flachgründig)			
Ackerzahl	45			
Bodenart	31.03.04	sL	sL	sL
Korngrößen	24.04.02	22,2 % Ton; 44,2 % Schluff; 33,6 % Sand		
pH	31.03.04	6,3	6	6
Humus	31.03.04	%	2,3	2,3

2.3.2. Standort Steinstadt

Der Versuchsstandort Steinstadt lässt sich nicht bewässern. Er weist eine höhere natürliche Fruchtbarkeit und einen höheren Tongehalt (26,5%) auf als der Standort Viehwegacker (22,2%). Bis vor Beginn des Versuches (zuletzt Herbst 2002) wurde er regelmäßig mit Festmist gedüngt (ca. 20 t/ha/Jahr). Die Versuchsanlage mit ebenfalls drei Teilstücken hat eine Gesamtfläche von 1,3 ha. Ein topographischer Kartenausschnitt mit der geographischen Lage des Versuchsfeldes befindet sich im Anhang 4. Eine Übersicht zu den wichtigsten Standorteigenschaften und zur Fruchtfolgegeschichte des Standorts ist in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6: Standorteigenschaften Steinenstadt

Fruchtfolgeversuch Daueranbau Mais/ Mais-Soja Fruchtfolge Steinenstadt					
249 m ü N.N.		Jahresmittel Temp. 9,5 ° C		mittl. Jährl. Niederschlag 650 mm	
Fruchtfolge		Schlag	1	2	3
		Behandlung	11	13	12
		Breite (m)	15	15	15
		Länge (m)	290	290	290
		Fläche (m ²)	4350	4350	4350
		Fläche (ha)	0,44	0,44	0,44
1999	Kultur		Körnermais		
	Zwischenfrucht		-		
2000	Kultur		Winterweizen		
	Zwischenfrucht		Senf		
2001	Kultur		Körnermais		
	Zwischenfrucht		-		
2002	Kultur		Körnermais	Körnermais	Soja
	Zwischenfrucht		-	-	-
	Grundbodenbearbeitung		Pflug	Pflug	Pflug
2003	Kultur		Soja	Körnermais	Körnermais
	Zwischenfrucht		USaat S-Hafer		Weidelgras
	Grundbodenbearbeitung		Pflug	Pflug	Pflug
2004	Kultur		Körnermais	Körnermais	Soja
	Zwischenfrucht		U.-Saat Weidelg.		U.-saat S-Hafer
	Grundbodenbearbeitung		Reihenfrässaat	Pflug	Grubber
	Kürzel Behandlung		SM	SMM	SS
Bodentyp			Rötliche Parabraunerde aus Niederterrassenschotter		
Ackerzahl			59	59	59
Bodenart	31.03.04		sL	sL	sL
Korngrößen	24.04.02		26,5 % Ton; 51,1 % Schluff; 22,4 % Sand		
pH	31.03.04		6,2	6,2	6,1
Humus	31.03.04	%	2,4	2,7	2,6

2.3.3. Klimaverlauf und allgemeine Versuchsbedingungen

Auf den Versuchsflächen Steinenstadt und Viehwegacker waren keine Wetterstationen angebracht, weshalb für die Interpretation der Daten die Werte der naheliegenden Wetterstation des IfuL Müllheim herangezogen wurden. Die klimatischen Verhältnisse im Versuchsjahr 2003 waren durch ein relativ trockenes Frühjahr mit Bodenfrösten bis Mitte April, überdurchschnittlich hohen Temperaturen und von Trockenheit während der Anbauperioden für Mais und Soja geprägt. Zwischen dem 20. Mai und dem 29. August verzeichnete die Wetterstation, die wegen der näheren Lage zu den Vorbergen des Schwarzwald eher höhere Werte liefert als die Versuchsstandorte, nur zwei Niederschlagsereignisse über 10 mm. Die mittleren Tagestemperaturen lagen in den Monaten Juni und August mit 23-27 °C aber weit über dem Mittel und fielen nur in der ersten Julidekade kurz unter 20 °C. Wie die Klimadiagramme der Abbildung 2 und Abbildung 3 veranschaulichen, stellte sich erst Ende August mit mehreren Niederschlägen und einem Rückgang der ungewöhnlich hohen Temperaturen wieder ein regulärer Klimaverlauf ein. Dies hatte einen sehr starkem Wasserstress zur Folge, der

insbesondere auf dem Standort Steinenstadt, wo Bewässerung nicht möglich war, hohe Ertragseinbußen bei Mais und einen wirtschaftlichen Totalverlust bei Soja zur Folge hatte.

In der Zeit zwischen dem 17. Juni und dem 5. August 2003 wurden die Maisflächen auf dem Viehwegacker fünf mal beregnet, die Sojafläche vier mal. Die Termine und die verabreichten Mengen sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben. Im Jahr 2004 wurde wegen des Hagelunwetters am 8. Juli und wegen befriedigender Niederschläge nach dem „Abheilen“ der beträchtlichen Verletzungen an den Maispflanzen (Stängelfäulegefahr) auf die Bewässerung von Mais verzichtet.

Tabelle 7: Beregnung der Mais- und Sojaflächen auf dem Versuchsfeld Viehwegacker 2003

Maisparzellen			Soja		
Termin	Datum	Beregnung (mm)	Termin	Datum	Beregnung (mm)
1.	17/18.06.03	26,7	1.	17/18.06.03	26,7
2.	27/28.06.03	26,5	2.	27/28.06.03	26,5
3.	9/11.07.03	40,7	3.	9/11.07.03	40,7
4.	18.07.03	22,6	-	-	-
5.	4/5.08.03	23,2	4.	4/5.08.03	23,2
Gesamt		139,7	Gesamt		117,1

Auch der Winter 2004 war durch unterdurchschnittliche Niederschläge, vor allem im Februar gekennzeichnet. Vor der Aussaat fielen nur wenige Niederschläge und es blieb überdurchschnittlich trocken bis Anfang Juni. Dies führte zu unbefriedigenden Aufgangsraten der Sojabohnen nach Weidelgrasuntersaat und Grubber – Bearbeitung (siehe auch Tabelle der Bonituren und Erhebungen 2004). Erst Anfang Juni traten ergiebige Niederschläge auf, die sich dann, unterbrochen von einer warmen, niederschlagsarmen Periode Mitte Juni bis Anfang August bis zum Ende der Vegetationsperiode fortsetzten. Bedingt durch die Trockenheit nach der Saat kam es im Jahr 2004 zu einer ausgeprägten zweiten Auflaufwelle von typischen Sommerunkräutern, die mit der mechanischen Bekämpfung im innovativen Mais nahezu vollständig kontrolliert werden konnte, während in den Monomaisparzellen leichte Spätverunkrautung auftrat (siehe Bonituren).

In den Tabellen in Anhang 5 sind Temperaturen und Niederschläge für das Jahr 2003 und bis Anfang November 2004 tagesgenau wiedergegeben.

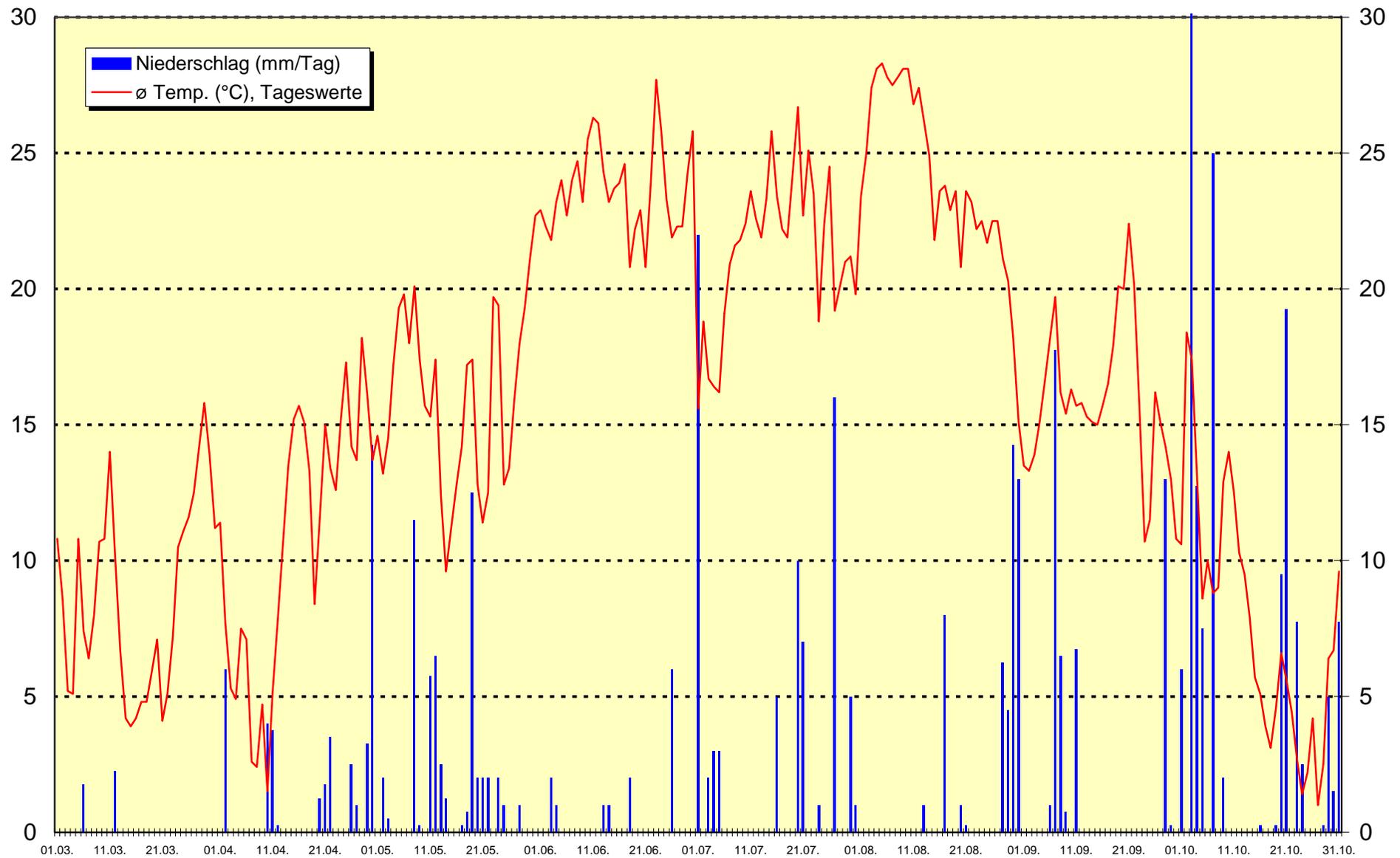


Abbildung 2: Klimadiagramm der Wetterstation des IfuL Müllheim für das Jahr 2003

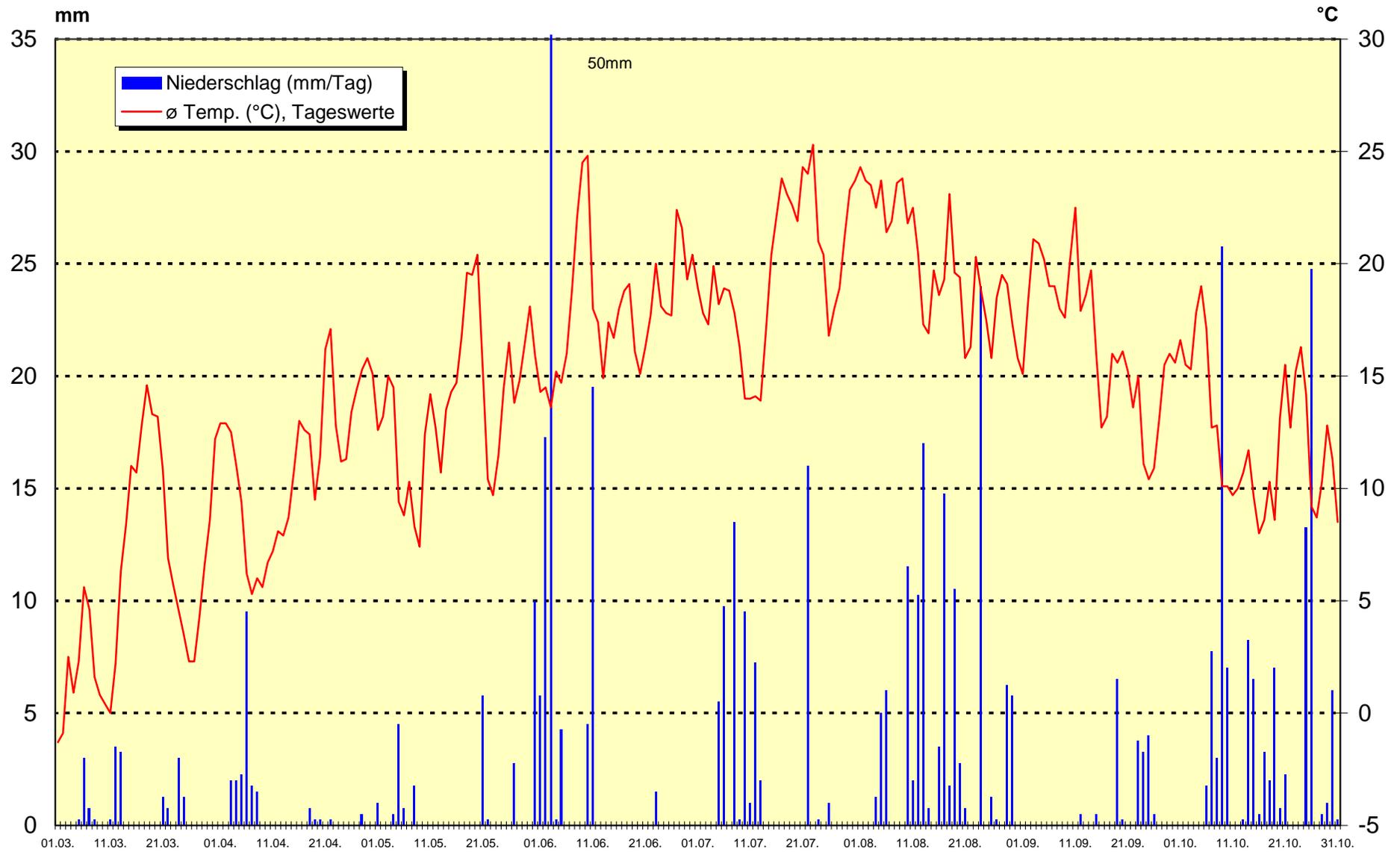


Abbildung 3: Klimadiagramm der Wetterstation des IfuL Müllheim für das Jahr 2004

2.4. Versuchsanlage und Behandlungen

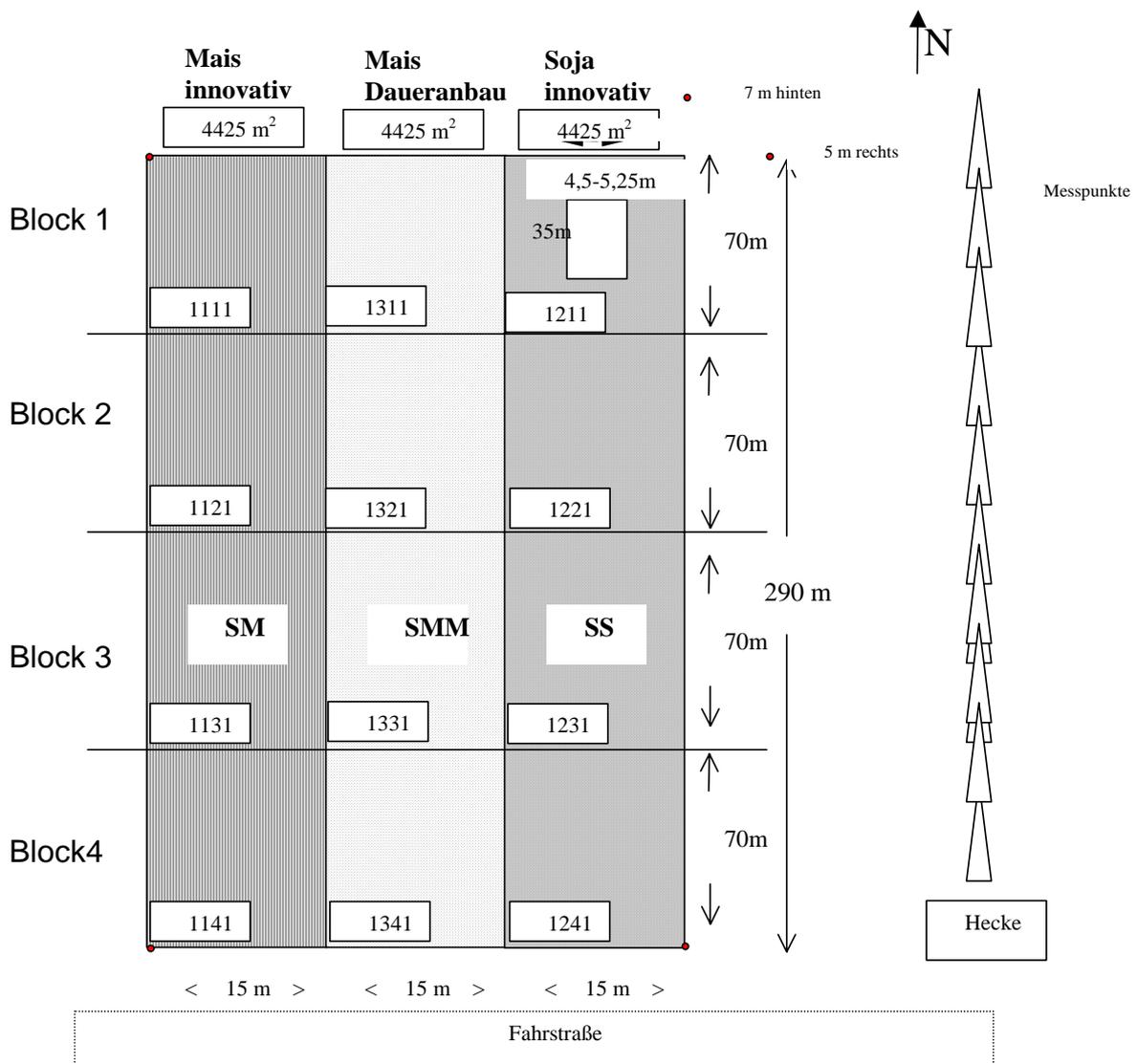
2.4.1. Versuchsanlage

Um die Umsetzung der erzielten Ergebnisse in die Praxis zu erleichtern, wurden die Versuche mit praxisüblicher Technik angelegt und bewirtschaftet. Dies wurde im konkreten Fall mit Hauptparzellen (einheitliche Bewirtschaftung) von 0,35 und 0,45 ha bzw. auf Teilstücken von 13,5 m x 235 m (Viehwegacker) und 15 m x 290 m (Steinenstadt) realisiert. Abbildung 4 zeigt die Skizze der Feldversuchsanlage in Steinenstadt 2004, die im Aufbau genau der Anlage auf dem Standort Viehwegacker entsprach, so dass die Standorte quasi als Wiederholungen gelten können. Versuchspläne beider Standorte für das Jahr 2003, in dem die Flächen für Mais innovativ und Soja im Rahmen des Fruchtfolgevergleichs getauscht waren, finden sich in Anhang 1. Eine völlige Randomisierung war unter den gegebenen Umständen nicht möglich, die Flächen wurden für den Systemvergleich jedoch so angeordnet, dass die „Kontrolle“ (Mais Daueranbau) zwischen den Fruchtfolgegliedern des innovativen Systems liegt, so dass der Einfluss eines Bodengradienten auf den Vergleich der Systeme bei mehrjähriger Betrachtung weitgehend ausgeschlossen wird. Von Anfang an wurde der Versuch für eine Laufzeit über mehrere Jahre und über die zweijährige Projektlaufzeit hinaus geplant, um auch kumulative Effekte erfassen zu können. Zum Zeitpunkt dieser Berichterstattung ist dies noch nicht möglich, da die Behandlungen erst im zweiten Versuchsjahr vollständig implementiert werden konnten.

In Bearbeitungsrichtung sind die Parzellen für alle Erhebungen in 4 „unechte“ Wiederholungen (Block 1-4) aufgeteilt worden, wodurch Bodenunterschiede auch in dieser Richtung des Versuchs berücksichtigt wurden. Die Erhebung aller Parameter über die Länge des gesamten Feldes wurde dadurch sichergestellt. Die Bewertung der gewonnenen Informationen durch die Angabe einer Standardabweichung konnte gegenüber einfachen Mittelwerten der Gesamtfläche verbessert werden.

Die praxisnahe Gestaltung der Versuchsflächen hatte zum Ziel, sie auch als realitätsnahe Demonstrationsflächen zu nutzen, um die mit Kleinparzellenanlagen stets bestehenden Vorbehalte der Landwirte zu begrenzen. Die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse und die Umsetzung in die Praxis soll damit gefördert werden.

**Skizze zur Anlage des Feldversuchs „Steinenstadt“
Anbausaison 2004**



Behandlungscodes (2004):

-  SM (Steinenstadt, Mais innovativ), 75 cm Reihenabstand
-  SMM: (Steinenstadt, Mono-Mais); 75 cm Reihenabstand
-  SS: (Steinenstadt, Soja innovativ), 17 cm Reihenabstand

Abbildung 4: Feldversuchsanlage Steinenstadt 2004 mit den Behandlungen SM (Steinenstadt Mais-innovativ in Fruchtfolge); SMM (Steinenstadt Monomais Daueranbau) und SS (Steinenstadt Soja in Fruchtfolge)

2.4.2. Behandlungen

Wie aus den Versuchsplänen ersichtlich und in den Entscheidungsregeln beschrieben, wurden auf drei Flächen je Standort zwei prinzipiell unterschiedliche Anbausysteme etabliert:

- a) Mais Daueranbau nach guter fachlicher Praxis
- b) Mais/Körnerleguminosen Fruchtfolge innovativ

Ergänzend zu den Schlüsselinformationen, die in den Entscheidungsregeln oben formuliert wurden, gibt die nachfolgende Tabellen einen beispielhaften Überblick zu den durchgeführten Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen. Eine vollständige Übersicht mit den Tabellen zu allen Versuchsstandorten und Jahren befindet sich in Anhang 6.

Tabelle 8: Übersicht zu Behandlungen auf dem Standort Viehwegacker, 2003

Behandlungsgestaltung und Termine auf dem Standort Viehwegacker, 2003					
2003	Kultur		Soja	Körnermais	Körnermais
	Zwischenfrucht		Untersaat Hafer	-	Weidelgras
	Grundbodenbearbeitung		Pflug	Pflug	Pflug
GRUNDDÜNGUNG		Datum	04.04.2003		
Ertragserwartung 100dt/ha		kg P ₂ O ₅ /ha	88	92	92
Th-Kali 8/15/6		kg K ₂ O/ha	165	60	60
		kg MgO/ha	55	24	24
Organische Düngung		Datum	keine	keine	keine
		N			
		P ₂ O ₅			
		K ₂ O			
		Mg			
Kalkung		20.03.2003	19,8 dt/ha	19,8 dt/ha	19,8 dt/ha
BODENBEARBEITUNG					
Pflug		12.12.2002	x	x	x
Abschleppen		20.03.2003	x	x	x
Saatbettkombination		17.04.2003	x	x	x
SAAT					
Einzelkornsaat Mais		24.04.2003		x	x
Soja Rototiller-Drillsaat		02.05.2003	x		
Sorte			<i>ESSOR</i>	<i>DRACILA</i>	<i>NEXXOS</i>
Reifegruppe			00	K280	K260
Saatstärke		k.Körner/m ²	60	8,5	10
Impfung			fix-fertig		
TKG		g	190	ca. 320	ca.260
Saatmenge		kg/ha	ca. 112	ca. 27 kg	ca. 26 kg
Saattiefe		cm	4 cm	4-6 cm	4-6 cm
Reihenabstand		cm	17	75	75
Sätechnik			Reihendrillsaat	...Einzelkornsaat pneumatisch	
Untersaat Weidelgras (20 kg)		04.06.2003			x
mit Maschinenhacke Mais					x
Untersaat S.-Hafer (Hand)		22.08.2003	x		
Sorte/Menge		"Aragon"	180 kg/ha		
N-DÜNGUNG - Mais					
N-Düngung zur Saat		kg N/ha	0	36	36
KAS-Mischdünger (offen)		Datum		07.05.2003	07.05.2003
nach später N-min		kg N/ha		96	92
Harnstoff		Datum		10.06.2003	10.06.2003
		Gesamt	0	132	132
PFLANZENSCHUTZ					
Basagran 1 l/ha		28.05.2003	1 l/ha		
RakoBinol 1l/ha (Öl)		28.05.2003	1 l/ha		
Fusilade max 1l/ha		05.06.2003	1 l/ha		
Callisto		15.05.2003		0,8 l	0,5 l
Motivell		15.05.2003		0,8 l	0,5 l
Trichogramma (Maiszünsler)		(2 x 70.000)		17/26.6.2003	17/26.6.2003
ERNTEN und NACHERNTE					
Sojadrusch (Lohn) 3 m		05.09.2003	x		
Maisdrusch (6 R)		11.09.2003		x	x
Exakthäcksler Mais		29.09.2003		x	x
Grubber (Herbst)		30.12.2003			x

3. Ergebnisse

3.1. Literaturrecherche und Auswertung bisheriger Ergebnisse

Der im Folgenden dargestellte Sachstand befasst sich schwerpunktmäßig mit dem Anbau von Körnermais, da dieser im Projekt im Vordergrund steht. Aspekte der umweltfreundlichen Silomaisproduktion werden teilweise auch erörtert, sind in dieser Übersicht aber nicht vertiefend dargestellt. Dabei sollte aber nicht vergessen werden, dass aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit der Grundfutterproduktion aus Silomais gegenüber Grassilage, bei Silomaisflächen in den letzten Jahrzehnten besonders hohe Flächenzunahmen zu verzeichnen waren. Betrug die Silomaisfläche in Deutschland zu Beginn der 60er Jahre gerade einmal 91.000 ha, so wuchs sie bis 2002 auf über 1,1 Mio. ha (PETERSEN 2003).

3.1.1. Pflanzenschutz und Unkrautbekämpfung

Mais zählt zu den Pflanzenschutz -extensiven Kulturen. Nach Untersuchungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft ist der Mais von zehn geprüften Ackerfrüchten die Kultur mit der geringsten Behandlungshäufigkeit (1,16). Raps, Zuckerrübe und Kartoffel bringen es im Vergleich auf mittlere Behandlungshäufigkeiten von 2,8, 3,0 und 6,0. Fungizide werden im Mais nicht eingesetzt, der Anteil der insektiziden Maßnahmen an der berechneten Behandlungshäufigkeit beträgt lediglich 0,02. Auch in den Schwerpunktregionen des Maisanbaues mit hohen Anteilen in der Fruchtfolge bleibt der pflanzenschutzspezifische Vorteil dieser Kultur erhalten.

Frühere Untersuchungen von BOCKSTALLER und HANSON (1999) die keine ökonomisch bedeutenden Nachteile durch den Verzicht auf Bodeninsektizide (Fritfliegen, Erdeulen) ermitteln konnten, wurden im Jahr 2003 auch in den Versuchen des Projektes bestätigt (siehe Boniturübersicht unten).

Die direkten Pflanzenschutzmaßnahmen beschränken sich somit bei Körnermais im Wesentlichen auf die Unkrautbekämpfung und in den wärmeren Regionen Deutschlands, vorwiegend dem Oberrheingraben, auf die Bekämpfung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*), der auf einem Grossteil der Flächen auch heute schon mit biologischen Verfahren, das heißt durch den Einsatz von Schlupfwespen (*Trichogramma sp.*), kontrolliert wird. Nach Recherchen von PEKRUN (pers. Information 2003) wurden von den ca. 1.557.000 ha Maisfläche in Deutschland, von denen 387.000 ha als Befallsflächen gelten, ca. 35.000 ha mit Insektiziden (Pyretroiden) behandelt, was nur 2% der Maisflächen entspricht. Auf 10.000 ha (vorwiegend im Oberrheingraben) kam die Schlupfwespe (*Trichogramma evanescens*) zum Einsatz. Diese Zahlen belegen auch, dass es keine relevanten Beweggründe für die Einführung von gentechnisch verändertem Bt-Mais in Deutschland gibt.

Indirekte Pflanzenschutzmaßnahmen beschränken sich deshalb in der Regel auf pflanzenbaulich vorbeugende Tätigkeiten (DEUTSCHES MAISKOMITEE 2002).

Die Unkrautbekämpfung ist im Mais die wichtigste direkte Pflanzenschutzmaßnahme. Die Konkurrenzkraft von Mais gegenüber Unkräutern ist im Jugendstadium sehr gering. Mais zählt deshalb mit der Zuckerrübe zu den Ackerkulturen, die ohne Unkrautbekämpfung nicht erfolgreich angebaut werden können.

Eine wirtschaftliche Notwendigkeit zur Unkrautbekämpfung ist schon bei schwacher Verunkrautung gegeben. Dies trifft vor allem für die Zeit vom 4- bis 8-Blatt-Stadium der Maispflanze zu. Einsetzende Verunkrautung nach dem 8-Blatt-Stadium führte selten zu unmittelbaren wirtschaftlichen Schäden. Bei der Unkrautkontrolle werden chemische und mechanische Maßnahmen unterschieden.

Der chemische Pflanzenschutz hat seit der Einführung der ersten neuzeitlichen Herbizide mit 2,4 D Mitteln ab Ende der 40er Jahre bis hin zu den mit geringen Aufwandmengen angewandten Produkten im Nachauflauf (Sulfonylharnstoffe, Triketone) eine kontinuierliche Entwicklung durchgemacht, welche bis heute den Erfolg der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais sicherstellen konnte. Die Verträglichkeit und die Selektivität für die Kulturpflanze konnte auch bei den neuen, relativ umweltfreundlichen Mitteln verbessert werden, so dass heute für die meisten handelsüblichen Sorten eine ausreichende Palette von Produkten zur Verfügung steht (SCHULTE & BRUNE 2001; HURLE 2001). In der Praxis sind die neuen hochwirksamen Mittel, bei denen das Risiko des Austrags in Gewässer geringer ist, allerdings auch mit Mehraufwand bei der Reinigung der Spritzgeräte verbunden. Schon geringe Rückstände in den Geräten können leicht zu ungewollten Schädigungen bei Nicht-Zielorganismen führen.

Die Bekämpfung der Unkräuter nach dem Schadschwellenprinzip und nach der Zusammensetzung der Unkräuter im Nachauflauf stößt allerdings aufgrund der relativ engen Optima für die Anwendung der Produkte vor allem in größeren Betrieben auf Grenzen. Ungünstiger Witterungsverlauf und eingeschränkte Befahrbarkeit zum Anwendungszeitpunkt machen deshalb in der Praxis häufig eine Kombination von Vorauflaufbehandlungen und Nachauflaufanwendungen notwendig, um die Risiken in Grenzen zu halten.

Bei der Auswahl der Herbizide ist nach HAIN (1997) insbesondere auf die nachfolgend genannten Kriterien zu achten:

- vorhandene Unkrautarten
- Wirkungslücken der Herbizide
- die vorgesehenen Anwendungsverfahren
- die möglichen Anwendungsbeschränkungen (z.B. Wasserschutzgebietsauflage)
- die Preiswürdigkeit

Für das Nachauflaufverfahren auf mineralischen Böden sollten Mittel gewählt werden, die eine Blatt- und Bodenwirkung besitzen, damit die Unkräuter einerseits unabhängig von der Bodenfeuchte bekämpft werden und andererseits noch auflaufende Unkräuter zum späteren Zeitpunkt erfasst werden. Gegebenenfalls können entsprechend wirksame Einzelmittel kombiniert werden.

Auf unkrautwüchsigen, humosen Standorten mit mehreren Keimwellen sollten Herbizide mit Blattwirkung eingesetzt werden, die wo möglich, bei vertretbarem Unkrautdruck und Art der Verunkrautung mit reduzierten Aufwandmengen im Splitting-Verfahren eingesetzt werden können. Bei vorherrschender Problemverunkrautung ist dies allerdings nicht immer möglich.

Vor allem in Gebieten mit stark maisbetonten Fruchtfolgen bis hin zum Daueranbau treten immer wieder neuen Problemunkräuter wie aktuell z. B. die wilde Mohrenhirse oder Johnson Gras (*Sorghum halepense*), Hundszahngras (*Cynodon dactylon*), Echte Hirse (*Panicum miliaceum*) und Knöllchenzyperngras (*Cyperus esculentus*) auf. Sie sind nach DANNEMANN (2003) mit den vorhandenen Herbiziden, z. T. auch mit GLYPHOSAT nicht oder nur sehr eingeschränkt bekämpfbar und haben sich in manchen Gebieten am Oberrhein zum Teil schon bestandesbildend ausgebreitet. Sie sind insbesondere in stark maisbetonten Fruchtfolgen und im Daueranbau schwer zu kontrollieren und erfordern deshalb Kontrollstrategien, die Fruchtfolgen, mechanische Bekämpfung und andere kulturtechnische Maßnahmen mit einschließen.

Als Gründe für die Ausbreitung nennt DANNEMANN (2003)

- sehr enge Fruchtfolgen und Dauermaisbau
- lange offene Bestände mit geringer Konkurrenzkraft
- Maissorten mit "heliotroper" Blattstellung, die mehr Licht zwischen die Reihen gelangen lassen und dadurch mehrere Auflaufwellen begünstigen
- unsachgemäße Durchführung von minimaler Bodenbearbeitung und Direktsaat
- die Selektion der Problemunkräuter durch einseitige Herbizidwahl
- Flächenstillegungen mit unkontrollierter Verunkrautung

Weitere bekannte Problemunkräuter mit steigender Ausbreitungstendenz am Oberrhein sind: Hühnerhirse (*Echinochloa crus galli*), drei Borstenhirsearten (*Setaria spp.*), kriechendes Fingerkraut (*Potentilla reptans*), Zaunwinde (*Convolvulus sepium*), Hundspetersilie (*Aethusa*

cynapium) , Huflattich (*Tussilago farfara*), Breitwegerich (*Plantago maior*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), Vielsamiger Gänsefuß (*Chenopodium polyspermum*), Melde (*Atriplex patula*), Bingelkraut (*Mercurialis annua*), Franzosenkraut (*Gallinsoga parviflora*) und rauhaariger Amaranth (*Amaranthus retroflexus*). Im Elsass finden sich vermehrt auch Brombeeren (*Rubus fruticosus*) als Unkraut auf Maisflächen.

Eine häufig vertretene Strategie zur Verbesserung der Umweltfreundlichkeit der Unkrautkontrolle ist die (auch im Projekt verfolgte) Anwendung von Nachaufherbiziden im Splittingverfahren mit verringerten Aufwandmengen. Sie sollte in einem frühen Stadium der Unkrautentwicklung (ca. erstes bis zweites echtes Laubblatt) einsetzen und verlangt eine genaue Beobachtung der Unkrautentwicklung. Darüber hinaus sind gute Kenntnisse der Unkräuter, auch schon in frühen Stadien und die Beachtung der agroklimatischen Tagesverhältnisse (z.B. Temperaturverlauf, Niederschlags- und Strahlungsverhältnisse, Luftfeuchtigkeit etc.) für eine effiziente und befriedigende Wirkung von Bedeutung (GEHRING 2003). In den folgenden Abbildungen sind einige Daten für die wichtigsten Maisherbizide zusammengestellt.

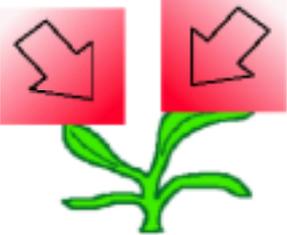
Bodenwirkung	Boden- und Blattwirkung	Blattwirkung
 <p>Click Dual Gold Gardo Gold Spectrum Stomp SC Tacco Terano</p>	 <p>Artett Callisto Eclat Lido SC Mikado</p>	 <p>Banvel 4 S Cato Certrol B Harmony Lontrel 100 MaisTer Motivell Starane 180 Task</p>

Abbildung 5: Hauptwirkungsweisen von Maisherbiziden nach GEHRING (2003).

Boden- / Blattwirkungsverhältnis und optimaler Einsatztermin von Maisherbiziden															
Präparat	Wirkstoff	Wirkung über:		optimaler Einsatztermin (BBCH)											
		Boden (%)	Blatt (%)	09	10	11	12	13	14	15	16				
Dual Gold	S-Metolachlor	90	10												
Stomp SC	Pendimethalin	80	20												
Spectrum	Dimethenamid	80	20												
Terano	Flufenacet + Metosulam	80	20												
Tacco	Metosulam	60	40												
Gardo Gold	S-Metolachlor + Terbutylazin	80	20												
Click	Terbutylazin	70	30												
Artett	Terbutylazin + Bentazon	50	50												
Banvel 4S	Dicamba	5	95												
Cato	Rimsulfuron	10	90												
Task	Rimsulfuron + Dicamba	5	95												
Curol B ..u.a.	Bromoxynil	0	100												
Eclat	Bromoxynil + Prosulfuron	40	60												
Lido SC	Terbutylazin + Pyridate	60	40												
Callisto	Mesotrione	30	70												
Mikado	Sulcotrione	30	70												
Motivell	Nicosulfuron	10	90												
Gardobuc	Terbutylazin + Bromoxynil	50	50												
MaisTer	Foramsulfuron + Iodosulfuron + Isoxadifen	10	90												

Abbildung 6: Boden-/Blatt- Wirkungsverhältnis wichtiger Maisherbizide und optimale Anwendungszeitpunkte nach GEHRING (2003).

In der Praxis stößt ein optimiertes Vorgehen bei der chemischen Unkrautbekämpfung aufgrund von Zeitengpässen und Wetterrisiken häufig an seine Grenzen. Zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der Unkrautbekämpfung in Mais bietet sich bei einseitiger Verunkrautung durch selektiv wirkende Bekämpfungsstrategien auch die Kombination von chemischen und mechanischen Maßnahmen an. Mechanische Kontrollmaßnahmen alleine erreichen aber nach HAIN (1997), je nach den vorherrschenden Verhältnissen, nur etwa 10-70 % des Wirkungsgrades sachkundig eingesetzter Herbizide. Sie sind nach DEBRUCK (2001) mit neuen Geräten, der Beachtung einiger von ihm diskutierter Grundregeln und bei genauer Bestandesbeobachtung aber durchaus mit Erfolg einsetzbar und erfassen aufgrund unterschiedlicher Selektionsmechanismen ein breiteres Spektrum von Unkräutern, so dass die Selektion einzelner Arten mit kombinierten Verfahren verringert werden kann. Da mechanische (aber auch chemische) Maßnahmen nicht immer zum optimalen Zeitpunkt stattfinden können (s.o.), sind Risiken bei rein mechanischen Strategien und auch im Nachauflauf mit reduzierten Aufwandmengen nicht auszuschließen. Soweit es die Schlagkraft erlaubt, können im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes auch Verfahren empfohlen werden, bei denen eine Kombination von Hacken zwischen den Reihen und Bandspritzung in den Reihen zur Anwendung kommt (HAIN 1997). Die dazu nötige Ausstattung ist bisher aber auch am Oberrhein nur in den wenigsten Betrieben vorhanden.

Hochspezialisierte Unkräuter mit ähnlichen biologischen Eigenschaften und Wachstumsperioden wie Mais bereiten in einseitigen Fruchtfolgen oder in Daueranbausystemen nach WALTERS & JASA (2000) auch in den USA die größten Probleme. Sie haben in konservierenden Anbauverfahren in den letzten Jahren dazu geführt, dass Fruchtfolgen wieder zunehmend zu einer bedeutenden Strategiekomponente in der Unkrautbekämpfung bei Mais geworden sind. Auch KÖLLER (2003) sieht im hauptfruchtmäßigen Zwischenfruchtanbau von Winterroggen (Anmerkung: bei Ernte vor Oktober möglich) ein bevorzugtes Verfahren für die nachfolgende Saat mit reduzierter Bodenbearbeitung bei Mais, was vor allem für viehhaltende Betriebe mit der Möglichkeit der Futternutzung im Frühjahr interessant ist, sofern (am Oberrhein meist nicht der Fall) ausgiebige Winter- oder Frühjahrsniederschläge gegeben sind.

Reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren haben auch Auswirkungen auf die Herbizidstrategie. Bodenherbizide sind in ihrer Wirkung durch Sorption an oberflächliche organische Masse und schnellere Abbauraten aufgrund erhöhter biologischer Aktivität eingeschränkt. In der Tendenz sind deshalb in Verbindung mit der Einführung reduzierter Bearbeitungsverfahren Herbizidstrategien anzuwenden, die verstärkt auf selektive Nachauflaufferbizide setzen. Bei Problemverunkrautung, z.B. durch Quecke und andere ausdauernde Unkräuter, sollten die Verfahren durch den gezielten Einsatz von Totalherbiziden ergänzt werden, deren Anwendung fallweise auf problematische Teilflächen beschränkt werden kann (STEMANN 2001, STREIT 2000).

Damit kann auch der bei reduzierter Bodenbearbeitung häufig beobachteten Tendenz der Zunahme von Ungräsern und perennierenden Beikräutern und der Abnahme dikotyle, annueller Unkräuter, entgegen gewirkt werden.

Werden nicht winterharte Zwischenfrüchte zur Herbst- und Winterbegrünung eingesetzt, müssen diese, sofern sie in milden Wintern nicht abfrieren zeitig vor der Saat kontrolliert werden (z.B. Phacelia, Senf oder der im Projektversuch in die Soja gesäte Sommerhafer). Dazu wird häufig ein systemisches Totalherbizid (z.B. Glyphosat) verwendet. Wenn Unkrautbesatz und Bodenzustand es zulassen, kann auch mechanisch mit Grubber oder Kreiselegge kontrolliert werden (LINDEMANN 1998). Nach BOHREN et al. (2002) stoßen Verfahren der mechanischen Regulierung bei Weidelgras Zwischenfrucht oder – untersaat aber an ihre Grenzen, weshalb in der Schweiz bei einem beabsichtigten Verzicht auf Herbizide leichter regulierbare Mischungen z. B. von Kleearten empfohlen werden. (Anmerkung: Dies konnte durch Beobachtungen im Projekt bestätigt werden, wo schon bei bescheidenem Bewuchs mit Weidelgras und zusätzlich eingesätem Roggen im Oktober der zweimalige Einsatz des Grubbers und nachfolgend ein Strich mit der Kulti-Egge nötig war, um den Wiederaufwuchs zu kontrollieren).

Bei ausreichender Wasserversorgung ist mit einer geschickten Kombination von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen nicht nur ein verbesserter Boden- und Gewässerschutz möglich, sondern darüber hinaus kann auch der Aufwand für die Unkrautbekämpfung u.U. deutlich gemindert werden, der nach vielen Untersuchungen (z. B. TEBRÜGGE 2001) mit reduziert Bodenbearbeitung in der Umstellungsphase zunächst ansteigt, dann aber häufig zurückgeht. Beim ökologischen Maisanbau mit reduzierter Bodenbearbeitung ist der Einsatz von Zwischenfrüchten und der Wechsel von Blatt- und Halmfrüchten zwingend für den Erfolg der Unkrautkontrolle.

Seit Einführung gentechnisch veränderter Pflanzen mit Resistenzen gegen Herbizide wie Gluphosinat-Ammonium oder Glyphosat-Trimesium eröffnet auch die Verwendung gentechnisch veränderter Sorten neue Möglichkeiten bei der Unkrautbekämpfung und der Bestandesführung in Mais. Es können nicht selektive Herbizide zur Anwendung kommen, die sich weitgehend unabhängig vom Entwicklungszustand der Unkräuter und der Kulturpflanze einsetzen lassen. Damit können auch spät auflaufende Unkräuter oder Auflaufwellen noch erfasst werden (SCHULTE & BRUNE 2001). Insbesondere bei Anbausystemen mit konservierender Bodenbearbeitung hat die Einführung dieser Technologie den Anbau in Amerika revolutioniert. Ihr Einsatz wird aber aufgrund von Bedenken bezüglich der Nahrungsmittelsicherheit und ökologischer Wirkungen zusehends in Frage gestellt (WALTERS & JASA (2000). VITTA et al. (2004) konnten in Argentinien nach mehrjährigem Anbau gentechnisch veränderter Soja feststellen, dass die Frühjahrsverunkrautung mit dem Einsatz von Glyphosat in herbizidresistenter Soja zurückging, die Spätverunkrautung jedoch nach mehreren Jahren zunahm. Von den untersuchten Unkrautarten hatten nach langjährigem Anbau 23 Arten zugenommen, 18 Arten hatten abgenommen. In den USA entstanden durch den Anbau herbizidtoleranter Soja in Fruchtfolge mit „nicht gentechnisch verändertem“ (aber dennoch kontaminiertem Mais) Durchwuchsprobleme vom Mais in Soja, die eine Rückkehr zur Hacke erforderlich machten (TOP AGRAR, 9/2004). ACINELLI et al. (2004) stellten bei Bt-Mais fest, dass sich die Halbwertszeit des Abbaus von Glyphosat in Mais unter dem Einfluss von Bt-Toxinen von 14 Tagen auf 24 Tage verlängerte, wobei die Ursachen noch unbekannt sind. Das Auftreten von Resistenzen und neuen Problemunkräutern hat in Gebieten mit langjähriger Anwendung auch schon dazu geführt, dass der Pflanzenschutzmittelaufwand wieder zugenommen hat und Fruchtfolgen mit nicht gentechnisch veränderten Sorten und Standardherbiziden angewandt werden, um die Möglichkeiten der neuen Technologie noch eine Zeit lang nutzen zu können.

Neue Tendenzen weisen deshalb vielerorts wieder in Richtung integrierter Konzepte unter Einbeziehung von Fruchtfolgen und mechanischen Maßnahmen, weil sie den Betriebsleitern höhere Flexibilität bei der Sortenwahl bieten, alle Optionen für die Vermarktung offen halten und die Selektion neuer Unkrautgesellschaften oder Steigerungen des Mitteleinsatzes begrenzen.

Auch das Umweltbundesamt (UBA 1997), plädiert in einer Studie zur potenziell möglichen Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen für einen kontrollierten Einsatz der neuen Technologie. Danach ergeben sich Optionen für einen sinnvollen Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen „ insbesondere für den Zwischenfruchtanbau in den sommer-annuellen Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben, deren Anbau Erosions- und Unkrautprobleme beinhalten kann. Anbausysteme mit vollständig abgetöteten bzw. durch ein Herbizid regulierten lebenden Mulchdecken bieten hier Möglichkeiten für eine konservierende Bodenbearbeitung zur Minderung der Bodenerosion. Aufgrund des sehr breiten Wirkungsspektrums ist eine effiziente Unkrautkontrolle bei (voraussichtlich nur vorübergehender) gleichzeitiger Verringerung des Risikos für das Auftreten herbizidresistenter Unkräuter möglich. Das Ziel (zukünftiger Entwicklungen) könnte ein Vegetationsmanagement von regulierbaren Bodendeckern sein, anstelle der Kontrolle einer sich unvorhersehbar entwickelnden Unkrautflora.“

Einschränkend wird jedoch angemerkt, dass die Nutzung der Technologie auch mit technischen Risiken verbunden ist, die bei einer unterstellten Zulassung gentechnisch veränderter Pflanzen mit Herbizidresistenz einen überlegten Einsatz erfordern. Von einem großflächigen und permanenten Einsatz nicht selektiver Herbizide in den Hauptkulturen des Ackerbaus sollte

„...abgesehen werden, da bereits Hinweise über Resistenzbildung bei einer Weidelgras-Art vorliegen. Besonders GLYPHOSAT mit seiner systemischen Wirkung und relativ kurzer Halbwertszeit im Boden sollte gezielt auf Problemschlägen zum Einsatz kommen (z.B. Queckenbekämpfung), um nicht vorzeitig durch Resistenzbildung unwirksam zu werden. Aus diesem Grund sollten nicht nur Komplementärherbizide transgener Pflanzen, sondern eine breite Herbizidpalette zur Unkrautregulierung genutzt werden.“

Im Jahr 2000 wurden in 58 Praxisbetrieben Versuche mit gentechnisch veränderten Maissorten durchgeführt, denen ein Gen übertragen worden war, das sie gegenüber dem breit wirksamen Herbizid GLUFOSINAT tolerant macht. Als Vorteile des im Nachauflauf angewandten Herbizideinsatzes wurden in der Praxis die Flexibilität der Anwendung, gute Unkrautwirkung, gute Kulturverträglichkeit, Einfachheit der Anwendung und die Verbesserung des Erosionsschutzes genannt. Als nachteilig beurteilt wurde, dass später auflaufende Unkräuter durch einmalige Anwendung nicht erfasst wurden, dass die Sortenleistungen der „Genmaissorten“ nicht befriedigten und das Sortenspektrum sehr begrenzt ist. Außerdem wurden die fehlende gesellschaftliche Akzeptanz und Lücken bei der Sicherheits- und Nutzenforschung ausgemacht (STELLING & HAARHOFF 2001).

Die Bedienung spezifischer Marktbedürfnisse (MAIER & VETTER 2000) und die Sicherung eines breiten Absatzmarktes (z.B. für Saatmais) würden deshalb, auch bei Freigabe des gegenwärtig am Oberrhein nicht praktizierten Anbaus gentechnisch veränderter Sorten, den Einsatz dieser Technologie auch aus betrieblicher Sicht begrenzen. Wünschenswerte Entwicklungen, hin zur Tolerierung eines gewissen Besatzes an unschädlichen Beikräutern, wie dies in integrierten Konzepten zur Unkrautregulierung gefordert wird, werden durch die Breitenwirkung der Technik nicht unterstützt. Die Tolerierung von Unterwuchs (auch von Unkräutern die später noch bekämpft werden können) ist bei Mais durch seine Empfindlichkeit gegenüber Konkurrenz zwischen dem vier- bis zehn-Blattstadium begrenzt.

3.1.2. Gewässerschutz und Nitratproblematik

Nitratbelastungen von Grund- und Oberflächengewässern stellen neben den Belastungen mit Phosphorverbindungen die wichtigsten Quellen der Wassergefährdung durch landwirtschaftlich bedingte Nährstoffeinträge dar (BERG et al. 2000; FREDE & DABBERT 1998; KOLBE 2000; WEBB et al. 2000).

Die niederen Werte der N-Düngerverwertung, die von ISERMANN (1993) am Anfang der 90er Jahre für die Landwirtschaft in Deutschland insgesamt auf nur 30 % geschätzt wurden (und seither eine Verbesserung erfahren haben), sind Herausforderung und Chance zugleich, um die N-Belastungen der Umwelt aus landwirtschaftlichen Quellen zu vermindern. N-Effizienzraten von 70-80 % und eine P-Effizienz von 80-90 % gelten unter praktischen Bedingungen als machbar, wenn die technischen Möglichkeiten dazu genutzt werden (FELDWISCH & FREDE 1998).

Ein Kernproblem am Oberrhein und im Ackerbau allgemein ist die Verlagerung mineralisierten Stickstoffs in Form von Nitrat in das Grundwasser. Es begünstigt, in hoher Konzentration über das Trinkwasser aufgenommen, die Entstehung von gesundheitsschädlichen Nitrosaminen.

Eine Hauptursache übermäßiger Nitratbelastung des Grundwassers ist die zu den Ackerkulturen vorgenommene mineralische oder auch organische Stickstoffdüngung. Düngerausbringung und Nährstoffmineralisierung in Zeiten, in denen die Pflanzen den Stickstoff nicht aufnehmen, führen zu Nitratanreicherungen im Boden. In vegetationslosen, niederschlagsreichen Zeiten und in Perioden in denen Pflanzen nicht oder kaum physiologisch aktiv sind, können Nitrate mit der Versickerung überschüssiger Niederschläge leicht unter die Durchwurzelungszone und zu Teilen in das Grundwasser verlagert werden. Die tatsächlich grundwasserwirksame Menge ist aber abhängig ist vom Boden, seiner chemischen Zusammensetzung und vom Abstand des Grundwasserleiters (BOBE et al. 2003). Kritisch sind vor allem die Monate Oktober bis April und bei Körnermais wegen der langsamen Jugendentwicklung auch noch Mai/Juni, bevor das Hauptwachstum beginnt.

Wie viel Nitrat tatsächlich aus dem Bodenprofil in das Grundwasser gelangt, hängt ab von

- a. Variablen oder Faktoren, die von der Landwirtschaft nicht oder kaum beeinflusst werden können. Zu diesen Faktoren zählen der Bodentyp, die Bodenart, das Klima und der jährliche Klimaverlauf. Sie müssen bei der ordnungsgemäßen Nutzung eines Ackerstandorts berücksichtigt werden, wirken aber unabhängig vom Handeln des Bauern.
- b. Variablen, die durch die Bewirtschaftung beeinflusst werden und direkte Auswirkungen auf die Nitratdynamik im Boden haben. Zu diesen Einflussgrößen zählen Art, Umfang und Zeitpunkt von Bodenbearbeitung und Düngung, die Kulturpflanzenwahl, die Fruchtfolgegestaltung und der Einsatz von Zwischenfrüchten.

Bei zwischen 1991 und 2000 in Bayern durchgeführten Messungen gingen die mittleren Nitrat-N Gehalte nach Mais (Mitte November) von über 150 kg/ha in 1991 auf mittlere Werte von 70-80 kg/ha zurück (HEGE 2002). Dies ist ein deutlicher Rückgang, der auf Verbesserungen der Düngermanagement und ein verbessertes Problembewusstsein bei den Landwirten schließen lässt. Absolut betrachtet lagen die vorwinterlichen Nitratmengen damit bei Mais aber immer noch 20-50 kg über denen anderer Fruchtarten und wurden nur von Raps und Kartoffel übertroffen.

Neben nicht zeitgemäßer Bodenbearbeitung im frühen Herbst mit anschließend unbewachsenem Boden zählen hohe Restnährstoffgehalte zu den Risikofaktoren für die Nitratverlagerung in das Grundwasser.

Auf Basis von Hoftorbilanzen, die zwischen 1970 und 1995 in der deutschen Landwirtschaft durchgeführt wurden, legt FREDE (2000) dar, dass sich die Effizienz der Düngerverwertung in landwirtschaftlichen Betrieben mit Beginn der 80er Jahre sowohl bei Stickstoff, als auch bei Phosphor und Kalium deutlich verbessert hat. In Marktfruchtbetrieben lagen die mittleren N-Überschüsse um 2000 nur noch bei 19 kg/ha und Jahr, während allerdings bei Futterbau- und Veredelungsbetrieben mit Überschüssen von 107 kg/ha und 166 kg/ha noch ein erheblicher Handlungsbedarf ausgemacht wurde. Die mittleren Abfuhr des von den Pflanzen aufgenommenen N lagen bei Silo- und Grünmais mit 90 % besonders hoch.

Der Autor folgert, dass Intensivierung im Ackerbau nicht automatisch mit höheren Verlusten in Zusammenhang gebracht werden kann. Da bei Körnermais in der Regel nur das Korn geerntet wird und das Stroh auf dem Feld verbleibt, ist bei dieser Kultur die Differenz zwischen Nährstoffaufnahme und N-Abfuhr allerdings größer als bei Silomais. Die Stickstoffüberschüsse sind (insbesondere, wenn der angestrebte Zielertrag nicht erreicht wird) höher. Nach Untersuchungen im Elsass lagen sie bei ordnungsgemäßer Düngung (Ferti-Mieux) inkl. der mineralisierten Mengen im Mittel bei 43 kg/ha, wobei allerdings große Schwankungen auftraten, die zum Teil erheblich über diese „tolerierbaren“ Werte hinaus gingen. Im Sinne der Nachhaltigkeit sind dann spezielle Maßnahmen geboten, um potenzielle Nitratauswaschungen in das Grundwasser zu verhindern (s.u.).

ACUTIS et al. (2000) ermittelten unter Berücksichtigung des Mineralisationsverhaltens von Maisböden in Norditalien anhand des LEACHN Modells Auswaschungsszenarien mit verschiedenen Anbausystemen (siehe folgende Tabelle) und klassifizierten die Anbausysteme hinsichtlich der N-Auswaschungsrisiken (hoch/ mittel/ gering). Anhand der Kombination der Variablen Düngung, Bewässerung und Weidelgrasuntersaat mit Ernte des Aufwuchses im Frühjahr fanden sie für verschiedene Anbausysteme die nachfolgend wiedergegebene Klassifizierung. Die Untersaat von Weidelgras konnte (bei allerdings gegenüber Deutschland besseren winterlichen Wachstumsbedingungen in Norditalien) Nitratauswaschungen am besten unterbinden, während eine an der Ersetzung der Wasserdefizite orientierte Bewässerung die Risiken deutlich minderte und gegenüber fehlender Bewässerung kein zusätzliches Risiko darstellte. Nach SHANG et al. (2004) sind Modellrechnungen zur Transpiration bei Mais besonders erfolgversprechend, da Mais im Gegensatz etwa zu Weizen relativ konstante Transpirationsraten, auch nach Bewässerungsgaben aufweist. Eine bedarfsgerechte Beregnungssteuerung wird dadurch bei Mais erleichtert.

Bei Versuchen, die über 11 Jahre in Odenheim im Kraichgau auf Pararendzinen durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass Mulchsaaten bei gleichen oder sogar höheren Erträgen zu einer deutlichen Abnahme der vorwinterlichen Nitratgehalte um 10-20 kg gegenüber den Pflugverfahren geführt hatten. Außerdem waren Schwankungen der Gehalte an mineralisiertem Stickstoff im Frühjahr bei den Verfahren mit dem Pflug deutlich höher (12-123 kg/ha) als bei Mulchsaaten (Amplituden von 15-70 kg/ha). Mit reduzierter Bodenbearbeitung ließen sich also auch bessere Vorhersagen treffen, wodurch eine effiziente und umweltfreundliche Düngerbemessung erleichtert wird (DUNKA 2000).

LÜTKE ENTRUP (2000) verweist darauf, dass bei der Düngerbemessung zukünftig stärker die Nährstofffreisetzung und -Nachlieferung des Bodens beachtet werden müssen. Falls dies beachtet wird und die Saison regulär verläuft, so der Autor, ist Mais (vor allem Silomais) „eine der wenigen Kulturpflanzen, die bodenbürtigen Stickstoff in besonderem Maße nutzen kann und bei bedarfsgerechter N-Düngung mit organischen und mineralischen Düngemitteln negative Bilanzen ermöglicht“. Im Zusammenhang mit der Optimierung der N-Düngung zu Mais wurden dreijährige Ergebnisse der Fachhochschule Südwestfalen bekannt, welche die bisher verfolgte Praxis der Düngerbemessung nach der späten N-min bestätigen. Darüber hinaus empfehlen die Autoren (GRÖBLIGHOFF et al. 2003) aber auch einen Zuschlag von 20 kg N/ha für viehlos bewirtschaftete Betriebe und bei Flächen mit < 80 kg/ha N Mitte Mai.

Tabelle 9: Klassifizierung verschiedener Mais - Daueranbausysteme nach dem Risiko den Grenzwert von 50 und 40 kg NO₃-N auf sandigen und lehmigen Böden zu überschreiten. Szenarien Norditalien (Auszug).
(nach ACUTIS et al. 2000)

Anbausystem	Düngung kg N ha ⁻¹	sandiger Lehm			Lehm		
		Bewässerungsregime			Bewässerungsregime		
		ohne	Defizit	voll	ohne	Defizit	voll
Monomais/Silage	450	++	+++	+++	+++	+++	+++
	300	++	++	+++	++	++	+++
	200	+	+	++	+	+	+
Monomais/Körner	300	++	++	+++	++	++	++
	200	+	+	++	+	+	+
Mais/Weidelgrasuntersaat mit Nutzung im Frühjahr	300	+	+	+	+	+	+
	200	+	+	+	+	+	+

Legende: +++ hohes Risiko; ++ mittleres Risiko; + geringes Risiko

Neben der Verbesserung der Kenntnis des Düngerbedarfs spielt auch die kulturgerechte Terminierung der Stickstoffdüngung eine wichtige Rolle. Bei Versuchen zur Aufteilung der Düngergaben, die am IfuL Müllheim durchgeführt wurden (RECKNAGEL 2003), konnte mit einer Unterfußdüngung (40 kg N/ha) zur Saat und anschließender Düngung im 6-Blattstadium bzw. mit einer weiter geteilten Gabe im 6-Blattstadium und 10-Blattstadium (gesamt 160 kg N/ha) jeweils die beste N-Düngereffizienz erzielt werden (Restnitratgehalte von nur 10 und 9 kg N_{min}/ha). Außerhalb von Wasserschutzgebieten und auf mittleren Böden wäre aus praktischen Erwägungen der zweigeteilten Applikation der Vorzug zu geben. In der Praxis rücken viele Maisbauern jedoch von der Unterfußdüngung ab und setzen vor allem in der Saatmaisproduktion zunehmend stabilisierten N-Dünger ein, der dann in einer Gabe ausgebracht wird.

Optimierungspotenziale für eine Verminderung von Nitratverlusten ergeben sich auch aus der bedarfsgerechten Düngerplatzierung. Breitwürfig gestreuter N-Dünger ist in einer weitgestellten Kultur wie Mais nur sehr begrenzt in der Lage, für die nötige Nährstoffkonzentration im Wurzelbereich der anfänglich noch sehr gering bewurzelten Maispflanze zu sorgen. Unkräuter werden unnötig mitgedüngt, Auswaschungsrisiken in der Jugendphase in feuchten Jahren begünstigt und vor allem bei Harnstoffdüngung erhöhte gasförmige Verluste durch Denitrifikation (Lachgas- und Ammoniakemissionen) in Kauf genommen. Durch Unterfußdüngung und Düngung mit der Reihenfräse ist eine gezieltere und termingerechte

Versorgung auch im Jugendstadium möglich. Reihenfrässaat erlaubt auch die Kombination von reduzierter Bodenbearbeitung mit einer guten N-Versorgung schon im Jugendstadium, denn häufig ist die reduzierte Bodenbearbeitung mit einer durch langsamere Frühjahrserwärmung geringeren N-Mineralisierung verbunden. DHARMAKEERTHI et al. (2004) konnten bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung (konventionell und pfluglos) in Ontario feststellen, dass Körnermais nach Gerste angebaut ohne Pflug in den ersten zwei Monaten 2,1 bis 6,5 kg N weniger in der oberen Bodenschicht (30 cm) zur Verfügung hatte als Mais nach Pflugeinsatz. Durch Inkubationsversuche konnten sie außerdem zeigen, dass dieser Effekt nicht auf einem physikalischen Schutz des Bodenumus beruhte, sondern hauptsächlich eine Folge langsamerer Bodenerwärmung war.

Innovative Ansätze bei der Düngung von Mais werden mit dem *CULTAN*-Verfahren (*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*) verfolgt, nach dem in Deutschland im Jahr 2001 schon ca. 40.000 ha Ackerkulturen gedüngt wurden (SOMMER et al. 2002). Bei diesem Verfahren das maßgeblich am Institut für Pflanzenernährung der Universität Bonn entwickelt und untersucht wurde², wird bei der Anwendung in Mais eine Stickstoff-Depotdüngung als Ammonium oder, weil technisch einfacher zu handhaben, als Harnstoff/Ammonsulfat-Lösung mittig in jeder zweiten Maisreihe in ca. 15 cm Tiefe deponiert (nach später N_{min} ³). Nach bisher vorliegenden Ergebnissen lassen sich mit diesem Verfahren, bei dem als Ammonium aufgenommener Stickstoff schon über die Wurzeln in den Eiweißstoffwechsel übernommen wird, gleiche oder sogar höhere Kolbenenerträge erreichen. Im Bezug auf die Effizienz der Stickstoffdüngung lassen sich mit dem Verfahren N-Verluste durch Verflüchtigung von Ammoniak, die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser und/oder die Denitrifikation nach bisher vorliegenden Ergebnissen wahrscheinlich vermindern und die Standfestigkeit des Mais verbessern. Ob auch Lachgasemissionen reduziert werden können, die insbesondere bei reduzierter Bodenbearbeitung und breitflächiger Düngung erheblich sein können (SIX et al. 2002), ist noch nicht geklärt, kann aber vermutet werden. Der Wirkungsgrad von Stickstoff oder Phosphat bleibt auch bei erhöhter Düngung im Gegensatz zu konventionellen Düngeverfahren nach SOMMER et al. (2002) konstant. Vorläufige Versuche am IfuL (VETTER 2003) konnten nicht alle dieser Tendenzen klar bestätigen. Zukünftige Versuche, - auch im Rahmen des vorliegenden Projektes - sollten aber mehr Klarheit über das Potenzial des *CULTAN*-Verfahrens zur Optimierung von N-Düngungsmaßnahmen in Mais bringen. Durch ein lokal gezieltes N-Düngerangebot würden auch konkurrierende und spät auflaufende Unkräuter in den Gassen und in den oberen Bodenschichten weniger „angedüngt“ und gefördert, wodurch sie zurückgedrängt würden bzw. ein geringer Besatz von Beikräutern (weniger Samenbildung) leichter tolerierbar würde. Ökologisch erwünschte, mesotrophe Arten könnten sich wieder etablieren. Durch den Verzicht auf breitflächige Ausbringung von Düngesalzen können oberflächennahe Salz- und Nährstoffkonzentrationen gemindert werden, was auf Grund einer geringeren Verschleppungsneigung voraussichtlich zu geringeren Nährstoffausträgen durch Erosion und Oberflächenabfluss führen würde. Obwohl das *CULTAN*-Verfahren einen

² : <http://www.lvg-straelen-lwkr.de/cultan/cultan.htm>

³ in Anhang 3 sind in einer Tabelle Düngerformulierungen aufgelistet, die sich für das *CULTAN*-Verfahren eignen sollen.

beachtlichen Einschnitt in die bisherigen Gewohnheiten der Düngung von Kulturpflanzen bedeutet, bietet es in der Summe doch beachtliche Perspektiven und Potenziale, sowohl aus ökonomischer, als auch aus ökologischer Sicht (im zweiten Versuchsjahr wurde das Verfahren deshalb in die innovative Variante des Maisanbaus aufgenommen.) Die folgende Abbildung veranschaulicht das Verfahren und die mit seiner Anwendung verknüpften Hypothesen.

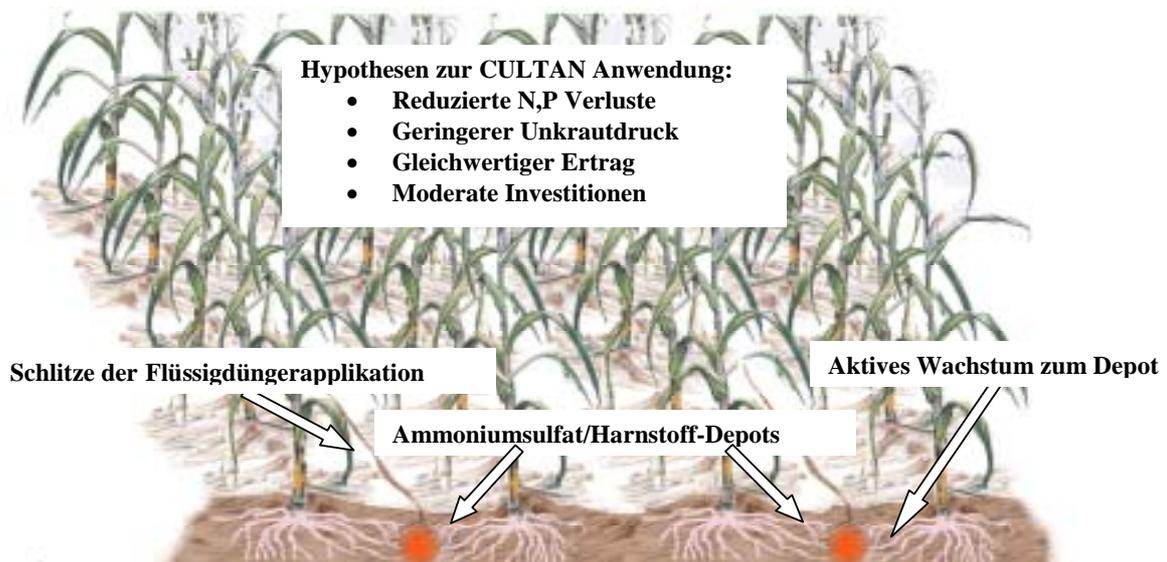


Abbildung 7: Verfahren der N-Depotdüngung zu Körnermais nach dem *CULTAN*-Verfahren (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) nach SOMMER (2001); SOMMER et al. (2002).

Da die Lösung der Nitratproblematik in Mais alleine durch Anpassungen der N-Düngung nicht möglich ist, wurden auch zahlreiche Versuche mit Untersaaten und Zwischenfrüchten durchgeführt, um möglichst den Reststickstoff zu binden und vor Auswaschung zu schützen. Voraussetzung für effektiven Zwischenfruchtanbau war die Wahl früh abreifender Maissorten (Ernte Ende September). Dabei erwies sich der Einbau von Untersaaten ohne Beregnung in trockenen Jahren als schwierig. Die Maiserträge wurden durch Untersaat nicht beeinträchtigt. Erfolgreiche Untersaaten mit Weidelgras nahmen bis zu 40 kg N vor Winter auf, lagen aber meist deutlich darunter (KANSY & LASSERE 1996). Durch bedarfsgerechte Düngung in Kombination mit Untersaat lässt sich demnach die Nitratproblematik im Maisanbau reduzieren. Zwischenfrüchte wie z. B. Senf-Ölrettichmischungen können bei früher Ernte noch als Stoppelsaat ausgebracht werden und sind in Kombination mit spät einsetzenden Frösten teils effektiver als Untersaaten. Mehrkosten können durch MEKA-Zahlungen (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich) abgefangen werden. Früh einsetzende Fröste (Risiko) beeinträchtigen die Wirksamkeit wegen kurzer Wuchszeiten.

Bei leicht zersetzbaren Zwischenfrüchten kommt es allerdings nur dann zu einer Minderung der Nitratproblematik, wenn die Biomasse nicht zu früh eingearbeitet wird (STAUFFER & SPIESS 2001). Ansonsten kann bei engem C/N Verhältnis der Effekt von Gründüngung sogar nitratfördernd wirken, denn durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Saat und zur Einarbeitung wird der Boden belüftet und die Mineralisation von Biomasse angeregt. Wird die Zwischenfrucht zeitig vor dem Winter eingearbeitet, wird der darin gebundene Stickstoff

freigesetzt und die Gehalte des Bodens steigen lange vor der Vegetationsperiode des Mais wieder an. Bei der Beurteilung des Abbaus von Zwischenfrüchten und der Freisetzung von Stickstoff wurde durch Untersuchungen von CHAVES et al. (2004) die überragende Rolle des C/N Verhältnisses bestätigt (kritischer Wert 36:1). Die Untersuchungen zeigten außerdem, dass die Geschwindigkeit des Abbaus und damit der Zeitpunkt der N-Freisetzung darüber hinaus maßgeblich vom Ligningehalt bestimmt wird ($R = -0,95$), der allerdings nur selten bekannt ist oder bestimmt wird. Ergebnisse von CHAPOT (1992), wonach bei den meisten gängigen Zwischenfrüchten die N-Aufnahme nach ca. 43 Tagen abgeschlossen ist und danach mehr oder weniger nur noch ein Biomassezuwachs mit Verdünnung des N-Gehaltes stattfindet, sind vor diesem Hintergrund neu zu bewerten, da dies für eine frühe oder späte Freisetzung des Stickstoff durchaus relevant ist.

Der Anbau von Zwischenfruchtfutter ist eine weitere Möglichkeit, Reststickstoff zu nutzen und vor Auswaschung zu schützen. Dabei werden die Reststickstoffmengen nicht nur vorübergehend gebunden, sondern als Futter abgefahren. Nitratausträge können verhindert oder gemindert werden.

Fruchtfolgen mit fachgerecht eingebautem Zwischenfruchtfutterbau verursachen nur etwa 50 % der Nitratauswaschung von Fruchtfolgen ohne Winterzwischenfruchtbau. Es verwundert deshalb nicht, dass STAUFFER & SPIESS (2001) zu dem Schluss kommen, dass, nicht primär den angebauten Kulturen, sondern den Übergängen zwischen den Hauptkulturen eine Schlüsselrolle beim Management der Nitratproblematik zukommt.

ÜBELHÖR & WALTER (1998) rechnen auf der Basis langjähriger Messungen in Baden-Württemberg durch Einsaat von Nicht-Leguminosen Zwischenfrüchten mit einer mittleren Nitratreduktion im Herbst von 12,5 kg/ha.

In anderen mehrjährigen Versuchen in Baden und im Elsass konnte ebenfalls gezeigt werden, dass Zwischenfrüchte und Untersaaten in Maisfruchtfolgen und bei Daueranbau von Mais unter günstigen Bedingungen erhebliche N-Mengen von 20-40 kg und in besonders guten Situationen sogar über 50 kg N/ha noch vor Winter binden können. Relativ typisch waren nach Begrünungen bei Mais Nitratgehalte von 10-30 kg/ha (Ende November). Sie waren damit gegenüber unbewachsenem Boden um ca. 20 kg/ha niedriger (BURTIN et al. 1998).

Als nachteilig erwiesen sich in allen Versuchen die enormen Schwankungen unter praxisnahen Bedingungen, die zu einer hohen Variabilität der Ergebnisse führten (6-100 kg Nitrat-N/ha). Untersaaten mit Weidelgras Mischungen konnten in den Versuchen zwischen 7 und 43 kg/ha aufnehmen, sie liegen nach Angaben der Autoren aber meist unter 25 kg/ha. Neben agronomischen Faktoren, die in gewissem Maße noch als kontrollierbar anzusehen sind, spielte dabei vor allem der Witterungsverlauf eine entscheidende Rolle. Der Erfolg von Untersaaten und Zwischenfrüchten als "Nitratfallen" war in den Versuchen beiderseits des Rheins deshalb stark vom Witterungsverlauf abhängig. Ausbleibende Niederschläge nach der Untersaat oder nach Ausbringung der Zwischenfrucht und frühe Bodenfröste bestimmten weithin die Effizienz dieser Maßnahme zur Reduktion der Restnitratmengen vor Winter. Ungeachtet der Ungewissheiten, die mit diesen Maßnahmen verbunden sind, konnten in den Versuchen aber dennoch wichtige Anbauhinweise erarbeitet werden, die für eine erfolgreiche Durchführung dieser Maßnahmen von Bedeutung sind (BURTIN et al. 1998).

Erfolgreicher Zwischenfruchtanbau unter Einschluss von Untersaaten bei Mais setzt die Verwendung von (weniger ertragreichen) früheren Sorten voraus, die schon Ende September geerntet werden können.

Auf betrieblicher Ebene ergeben sich für Untersaaten oft Probleme, weil geeignete Geräte dafür nicht zur Verfügung stehen oder aber pneumatische Düngerstreuer nachgerüstet werden müssten.

Die Nachwirkung von Bodenherbiziden kann auch noch eine Untersaat in einen schon kniehohen Maisbestand gefährden, weshalb Nachauflaufherbizide mit geringer Bodenwirkung Verwendung finden sollten.

Senf eignet sich wegen seines schnellen Wachstums bei früher Einarbeitung Mitte November besser als Zwischenfrucht, während Ölrettich sich langsamer entwickelt, durch seine Winterhärte jedoch noch in den Winter hinein N aufnehmen kann und bei Umbruch erst im Frühjahr die Nährstoffe auch später freisetzt. Da dies vor allem auf leichteren Böden möglich ist (ein weitgehender Verzicht auf die Frostgare ist damit verbunden), wo auch eher Nitratbelastungen des Grundwassers durch frühe Mineralisierung zu erwarten sind, sollte auf diesen Böden also Ölrettich mit Frühjahrsumbruch der Vorzug gegeben werden, ansonsten dem Senf mit Einarbeitung oder Grubbereinsatz zwischen Anfang und Ende Dezember, je nach Tongehalt des Bodens⁴. Von den Gräsern kommen bis Anfang Oktober noch Weidelgras - Mischungen oder Winter-Roggen in Frage.

Verzicht auf den Pflug im Herbst oder im zeitigen Frühjahr hat eine verminderte Mineralisierung des zwischenfruchtgebundenen N zur Folge. Auf geeigneten Böden ist der Verzicht auf das Pflügen (z. B. Mulch- oder Reihenfrässaat nach Abfrieren der Zwischenfrucht) im Sinne des Grundwasserschutzes deshalb sehr sinnvoll, wie dies bei Arbeiten IfuL Müllheim auch bei Sonnenblumen gezeigt werden konnte. (LINDEMANN 1999).

Als Maß für die Effizienz der Stickstoffaufnahme vor Winter kann die N-Aufnahmen bis zum Einsetzen der ersten Fröste gelten.

KANSY & LASSERE (1996) fanden eine enge Beziehung zwischen der Bestandeshöhe des Senf und der produzierten Biomasse ($r^2= 0,73$), eine weniger gesicherte Beziehung zwischen der Bestandeshöhe und der N-Aufnahme ($r^2= 0,54$) und eine relativ gute Beziehung zwischen Biomasse und N-Aufnahme ($r^2= 0,76$). Diese Parameter können für die Abschätzung der Wirksamkeit von Untersaaten und Zwischenfrüchten herangezogen werden.

Begünstigt wird eine Winterbegrünung mit Einarbeitung erst im Februar auch durch die Zahlungen im Rahmen des baden-württembergischen Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichs (MEKA II), bei dem für Winterbegrünungen (oft auch mit

⁴ Im Elsass wird von der Beratung empfohlen, Zwischenfrüchte bei reduzierter Bodenbearbeitung mit Grubber zur Vermeidung von Verdichtungen bei Frost einzuarbeiten. Auf schweren Böden (>30 % Ton) Grubbereinsatz Anfang Dezember, dann je 15 Tage später je 5 % Abnahme Tongehalt.

reduzierten Kosten der Bodenbearbeitung verbunden) 110 €/ha Ausgleich bezahlt werden, während es für Herbstbegrünungen 90 €/ha sind.

Werden vor einer Hauptkultur Zwischenfrüchte zur Strukturverbesserung und/oder zur Futtergewinnung angebaut, die nicht absterben, sondern eingearbeitet werden müssen, so kann der Zugkraftbedarf durch die vorherige Anwendung eines Totalherbizids (z.B. GLYPHOSAT) nach Untersuchungen von MCLAUGHLIN et al. (2004) merklich gesenkt werden. Sie fanden, dass nach der vorangegangenen Herbizidanwendung der Zugkraftbedarf für einen Grubber mit 7,14 und 21 cm Arbeitstiefe um 20, 25 und 18% geringer war gegenüber der nicht behandelten Kontrolle. Bei Pflug (21 cm Arbeitstiefe) waren es noch 12%. Der Effekt ist vermutlich auf den Abbau von Wurzelgewebe und den daraus resultierenden geringeren mechanischen Widerstand zurückzuführen.

Da nach Silomais bei angemessener Düngung und Erreichen des Zielertrages zum Teil sehr geringe Mengen an mineralisiertem Stickstoff zurückblieben (20-40 kg/ha), ist aus der Sicht des Grundwasserschutzes eine Zwischenfrucht nach Mais in solchen Situationen nicht immer erforderlich. Die Biomassebildung war in solchen Fällen ohne Zusatzdüngung mit 0,3 - 1 t TM/ha auch häufig sehr gering.

Gute, mehrjährige (10 J.) Erfahrungen mit der Untersaat von Mischungen aus Welschem und Deutschem Weidelgras zu einem späten Zeitpunkt (Mais kniehoch, 60-70 cm, BBCH 31-32) wurden auch im Raum Hannover gemacht (ROMUNDT 2003).

Bei Untersaaten ist zu beachten, dass ein Verzicht auf das Häckseln des Maisstrohs zur Vermeidung des Bedeckens der Untersaaten mit Rücksicht auf deren gute Entwicklung im ausgehenden Herbst u. U. zu einer Förderung des Maiszünslers führt, der in den Stängeln überwintert (BURTIN et al. 1999). Ob dies bei zunehmend flächendeckender Anwendung von *Trichogramma* am Oberrhein tatsächlich zu einer deutlichen Zunahme wirtschaftlicher Schäden führt, ist aber nicht gesichert. Nach Projekterfahrungen im Jahr 2003 konnte Weidelgras nach dem Mulchen der Ernterückstände um den 10. Oktober die Mulchschicht wieder schnell durchwachsen, so dass bei entsprechendem Wetter keine entscheidende Beeinträchtigung der Untersaat gegeben war.

Die mittleren herbstlichen Nitrathinterlassenschaften im Bodenprofil von ökologisch wirtschaftenden Betrieben nach AGÖL Richtlinien, in denen der Einsatz leicht löslicher N-Dünger stark eingeschränkt ist, liegen im allgemeinen deutlich niedriger. Sie erreichen nach Daten, die KOLBE (2000) zusammengestellt hat, mit mittleren Hinterlassenschaften von 8-29 kg Nitrat-N/ha Werte, die im tolerierbaren Bereich liegen, weshalb ökologische Wirtschaftsweise eine effiziente Option zur Verringerung der flächenbezogenen Nitratbelastungen darstellt. Wie neuere Untersuchungen mit ökologisch bewirtschafteten Fruchtfolgen in Schleswig-Holstein gezeigt haben, ist dies vor allem in viehlos wirtschaftenden Betrieben mit Leguminosen in der Fruchtfolge der Fall. In den ökologisch bewirtschafteten Fruchtfolgen mit 33-50 % Leguminosenanteil war die mittlere N-Hinterlassenschaft im Herbst in Schleswig-Holstein mit 59 kg N/ha dagegen nur unwesentlich niedriger als mit 61 kg/ha im konventionellen Anbau (RUHE et al. 2001) und bedeutet bei geringeren Erträgen sogar eine deutliche Zunahme der Nitratbelastung pro produzierter Ertragseinheit.

Bei Versuchen mit Zwischenfrüchten auf sandigen Böden der Rheinebene bei Darmstadt, fand KÖNIG (1996) N-Nettoassimilationsleistungen zwischen 36 und 87 kg N/ha bei Leguminosen-Zwischenfrucht mit ca. 3-monatiger Vegetationszeit. (Grobleguminosen > Erbschafer > Wickroggen > Perserklee). Die Stickstoffaufnahme aus dem Boden lag bei den Zwischenfrüchten zwischen 16-61 kg N/ha. (Reihenfolge Raps > Wickroggen > Perserklee > Erbschafer > Grobleguminosen).

Bei Herbstumbruch waren die Nitratausträge mit mittleren 72 kg N/ha sehr hoch, während mit Frühjahrsumbruch auch unter Leguminosen-Nichtleguminosen-Gemenge ähnlich niedere Nitratausträge erzielt wurden, wie mit Nicht-Leguminosenbeständen. Reine Gründüngungssaaten hatten bei Herbstumbruch mit 80 kg N höhere Austragsraten als die Varianten mit einer Schnittnutzung vor Winter, während bei Frühjahrsumbruch eine Schnittnutzung keinen Einfluss mehr hatte. Auch der Einsatz (Rückfuhr) von Wirtschaftsdüngern in Form von Stallmist hatte im Frühjahr keine vermehrte Auswaschung zur Folge. Prinzipiell, so der Autor, entstehen durch Leguminosen-Zwischenfrüchte im Öko-Landbau bei fachgerechter Handhabung keine erhöhten Nitratriskos für das Grundwasser.

Eine enge Korrelation der Herbstnitratgehalte mit den bilanzierten Nitratausträgen während der Sickerwasserperiode konnte für Betriebsschläge (n=35) mit ökologischer Wirtschaft nicht gefunden werden. In den Versuchen ergaben sich Korrelationen von $r=0,64-0,80$ ($r^2= 0,4-0,64$). Mit den vorliegenden 35 Betriebsergebnissen war eine Prognose der Gefährdung des Trinkwassers durch Nitratausträge mittels der Herbstbeprobung deshalb nicht möglich.

Abschließend empfiehlt der Autor zur Minderung der Nitratproblematik im Ökolandbau ("gute fachliche Praxis") die folgenden Maßnahmen:

- Möglichst Leguminosen-Gemenge als Zwischenfrucht anbauen.
- ZF Gemenge sollten wenigstens zu Teilen winterhart sein.
- Umbruch der ZF möglichst erst im Frühjahr.
- Bei Herbstumbruch vor dem Umbrechen einen Futterschnitt vornehmen.

Die Durchführung risikomindernder Maßnahmen ist im ökologischen Landbau von besonderer Bedeutung, da Auswaschungsminderung auch zur Optimierung des pflanzenbaulich hauptbegrenzenden Faktors N im ökologisch wirtschaftenden Betrieb führen.

Sonstige kulturtechnische Maßnahmen, wie etwa die Wahl kälteresistenter, frühwüchsiger Maissorten, „low-input“ Sorten für ökologisch wirtschaftende Betriebe und die Unterfußdüngung auch bei reduzierter Bodenbearbeitung (TOUCHTON & WHITWELL 1984) können ebenfalls zur Nachhaltigkeit beitragen, die Techniken sind aber noch nicht oder nicht ausreichend entwickelt.

Engsaat mit Gleichstand (30 bzw. 45 cm Reihenabstand) hatte bei Versuchen im Weser-Ems Gebiet bei gleicher Bestandesdichte höhere Erträge zur Folge, und/oder es wurden gleiche Erträge bei 30-50 kg/ha weniger N-Düngung erzielt. Die N-Effizienz bei Silomais war erhöht, die Rest-N Mengen im Herbst bei gleicher Düngung gegenüber der Saat mit 75 cm Reihenabstand

deutlich geringer. Als Empfehlung für die Praxis werden, auch wegen der technischen Realisierbarkeit, 45 cm empfohlen (KLEINE-MÜHLHOFF 2003). Bei Versuchen mit Gleichstandsfaat zu Körnermais an der TU München konnten diese Ergebnisse bezüglich der Erträge bestätigt werden (sie setzen den Einsatz eines reihenunabhängigen Erntegeräts voraus; z. B. den von der Firma *KEMPER* entwickelten Druschvorsatz). Bezüglich der Nitrathinterlassenschaften konnten Verbesserungen nur in einem von zwei Versuchsjahren erzielt werden. Die Anschaffungskosten für Sämaschinen erhöhen sich nach DEMMEL et al. (2002) um ca. 6000 € und werden ab einer Maisfläche von 15 ha durch die Mehrerträge kompensiert. In Bezug auf die Nachhaltigkeit des Maisanbaus ergeben sich Vorteile durch einen früheren Bestandesschluss, verringerte Erosionsrisiken, geringere Evaporation, eine stärkere Unkrautunterdrückung und weniger Konkurrenz der Pflanzen untereinander.

Nach UPPENKAMP (2003) sind es vor allem Gründe des Erosionsschutzes und die technischen Möglichkeiten der reihenunabhängigen Maisernte, welche die Option der Drillsaat mit engeren Reihenabständen interessant machen. Engere Reihenabstände, so die Hypothese, führen vermutlich zu einer deutlichen Minderung der Bodenerosion. Als weiteren Vorteil der Drillsaat mit engerem Reihenabstand (12,5 bis 37,5 cm) zählt der Autor, dass gegenüber überbetrieblicher Maissaat im Lohnverfahren in kleineren Betrieben unter 60 ha durch den Einsatz vorhandener Kreiseleggen-Drillmaschinen Einsparpotenziale mobilisiert werden können, die im Bereich von 40 €/ha liegen.

Bei vierjährigen Versuchen in Thüringen, wo eine speziell entwickelte 12-reihige Einzelkornsämaschine mit Unterfußdüngung zum Einsatz kam (PEYKER & KOLBE 2004), konnten bei Engsaat von Silomais (37,5 cm) stets leicht oder deutlich höhere Trockenmasseerträge mit etwa gleichen Trockenmassegehalten erzielt werden. Die mit gleicher Pflanzenzahl und Düngung geführten Bestände schlossen, besonders bei Sorten mit aufrechter Blattstellung, deutlich früher (16-29 Tage). Die N_{\min} Gehalte nach der Maisernte waren durchweg um 17-56 kg/ha niedriger. Die Schlagkraft konnte mit komplett abgestimmter Technik (!) um 50 % gegenüber weiten Reihen gesteigert werden. Die insgesamt 2,5-fach höheren Aufwendungen waren jedoch nur dann wirtschaftlich, wenn die Engsaat-Technik komplett angepasst wurde. Sie eignet sich nach Erfahrungen der Autoren besonders für Situationen in denen die Maschinen eine hohe Auslastung erreichen.

Drillsaaten bei Mais kommen nach gegenwärtigem Sachstand vor allem für kleine und mittlere Silomaisbetriebe in Frage, die nicht über spezielle Maissägeräte verfügen, eigene Kreiseleggen-Drillmaschinen besitzen und auf Unterfußdüngung verzichten. Eine Umstellung der Technik mit Einzelkornsfaat/Unterfußdüngung ist nur dann erfolgversprechend, wenn bei der Silomaisproduktion hohe bis sehr hohe Maschinenauslastungen erzielt werden können. Erfahrungen zur Körnermaisproduktion mit „Engen Reihen“ sind noch selten, grundsätzlich sind bei geeigneter Sortenwahl aber auch bei Körnermais Verbesserungen durch die Technik zu erwarten, wenngleich hier durch die Konkurrenz der Sproß- und Kornbiomasse die Anforderungen an die Bestandesführung und Sortenwahl steigen (MAISADOUR 2004).

3.1.3. Bodenschutz (Bodenverdichtungen und Bodenerosion)

Im Zusammenhang mit dem Anbau von Mais stehen aus Sicht des Bodenschutzes Probleme der Bodenverdichtung und der Bodenerosion im Vordergrund.

Eine fachgerechte und bodenschonende Bewirtschaftung hat nach Grundsätzen der guten fachlichen Praxis zu erfolgen, wie sie in § 7 des Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) formuliert sind. Für deren Umsetzung stehen vielfältige produktionstechnische Maßnahmen und Techniken zur Verfügung, die allerdings Verdichtungen des Bodens durch hohe Radlasten und häufiges Befahren als wichtigste Ursachen von Verdichtungen nicht ausschließen (CANILLAS & SALOKHE 2001). In maisbetonten Fruchtfolgen oder bei Mais-Daueranbau ist die Gefahr von Verdichtungen relativ zu anderen Kulturen erhöht, weil er spät im Jahr bei häufig nassen Böden geerntet wird und weil durch die Produktionsverfahren mit weiten Reihen und teilweise ganzjährig defizitärer Bodenbedeckung die Böden besonders anfällig für Verdichtungen und Verschlammung werden.

Kommt es zu Bodenverdichtungen, so hat dies negative Auswirkungen auf die Ertragsfunktion bezüglich Pflanzenwachstum, die Regel- und Filterfunktion sowie die Puffer- und Lebensraumfunktion (Bodenlebewesen). Sie müssen deshalb in Anbetracht der Trends zu höheren Achslasten als potenzielle Bedrohung der Nachhaltigkeit gesehen werden (ORTMEIER & SOMMER 2000; WEIßBACH 2001). Wie die Zusammenstellung in Tabelle 10 zeigt, besteht ein deutlicher Trend zu leistungsstärkeren und damit auch schwereren Maschinen mit höheren Radlasten. Während ein Schlepper mit 50 kW ohne zusätzliche Ballastierung rund 1.000 kg auf dem Hinterrad abstützt, steigen die Radlasten bei 250 kW bis auf 2.800 kg und erreichen bei der zulässigen Radlast Werte bis 5.000 kg (WEIßBACH 2001).

Tabelle 10: Entwicklung der Schlepperzulassungen nach Leistungsklassen 1990 bis 1998 (WEIßBACH 2001).

Jahr	30-50 kW	50-75 kW	75-100 kW	100-150 kW	>150 kW
1990	8.570	13.910	3.683	1.421	217
1994	5.003	10.835	5.196	3.346	782
1998	3.535	10.290	6.194	4.170	1.209

Allgemein wird die Bodenbelastung mit der Radlast in kg und/oder mit dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Rad/Boden in kPa (100 kPa=1 bar) angegeben. Übersteigen die so ausgedrückten mechanischen Spannungen den Widerstand des Bodengefüges, so kommt es zu einer Zunahme der Verdichtungen mit negativen Folgen.

Der Parameter Bodendichte (g/cm^3) beschreibt die Verdichtungen nur unzureichend, denn je nach Boden können die funktional entscheidenden Parameter, wie etwa die Relation von Bodenwasser/-luft, Porengrößenverteilung etc., recht verschieden sein.

Böden reagieren je nach Bodenzustand, Durchwurzelung und Bodenfeuchte sehr unterschiedlich auf mechanische Einflüsse, so dass zur Variabilität des Bodens die Variabilität des Bodenzustandes hinzu tritt. Er hat großen Einfluss auf das elastische Rückstellvermögen unterschiedlicher Böden, das bei der Beurteilung der Dauerhaftigkeit von Verdichtungen eine große Rolle spielt. MUNKHOLM und SCHJØNNING (2004) konnten auf sandigen Lehmböden in Dänemark auch zeigen, dass durch frühjahrsfeuchte Bearbeitung und Befahrung im Oberboden entstehende Verdichtungen und Strukturstörungen über den Winter durch die Wirkung von

Frost- und Tauereignisse wieder aufgelöst werden. Bei Strukturstörungen die im Unterboden auftreten ist dies weniger wahrscheinlich.

Mais reagiert im Ertrag empfindlicher auf Verdichtungen als z. B. Weizen. Außerdem zeigte er als Folge der Verdichtungen und verminderter Wasserkapazität des Ackerbodens nach RADFORD et al. (2001) schlechteren Aufgang und verminderte Wassernutzungseffizienz (WUE). Mit mehrjährigem Feldfutterbau konnte in Untersuchungen dieser Autoren der Boden am effektivsten wieder melioriert werden.

ORTMEIER & SOMMER (2000) geben eine Liste vorbeugender Maßnahmen zur Vermeidung von Schadverdichtungen in Mais:

- Einsatz von Breit- oder Terra-Reifen zur Vergrößerung der Kontaktflächen
- Verwendung von automatischen Reifendruckregelanlagen
- Einsatz von Containerhäckslern (Silomais), um Überrollhäufigkeiten zu mindern
- Anpassung der Arbeitsverfahren durch Optimierung der Schlaglängen
- Verbesserungen der Befahrbarkeit durch Mulch- oder Direktsaat
- Verbesserung der Bodenbedeckung und -durchwurzelung durch Zwischenreihenbegrünung und/oder Streifenfrässaat
- Begrenzung mechanischer Belastung indem bei kritischem Bodenzustand die Ladekapazitäten der Ernte- und Transportgeräte nicht voll ausgeschöpft werden

Bezüglich der Wirkungen reduzierter Bodenbearbeitung haben bisherige Erfahrungen gezeigt, dass unter relativ normalen Bedingungen tatsächlich weniger Verdichtungen auftreten. In sehr nassen Jahren kommt es jedoch auch bei diesen Verfahren, insbesondere bei empfindlichen Böden, zu Verdichtungen, die dann sehr nachhaltig wirken, da bei Direkt- und Mulchsaat wegen des Verzichts auf den Pflug- und Lockerungsarbeiten weniger gegengesteuert werden kann als in konventionellen Anbauverfahren mit Pflug (GYSI 2001).

Bei Versuchen auf einem Alfisol in Neuseeland fanden HAMILTON-MANNS et al. (2002), dass auf einem strukturschwachen Boden mit Verdichtungen die Bedingungen für den Erfolg von Direktsaat durch vorgeschaltete Unterbodenlockerung nur sehr beschränkt und kurzfristig verbessert werden können. Sie blieben trotz kurzfristiger Verbesserung einiger Parameter für die Direktsaat ungeeignet. Nachhaltig spürbare Ertragszunahmen aufgrund der Unterbodenlockerung konnten nicht erzielt werden. Fruchtfolgen mit Getreide und reduzierter Bearbeitung der Böden im Sommer unter relativ trockenen und optimalen Bodenverhältnissen scheinen auf Problemstandorten eher geeignet um nachhaltige Verdichtungen der Böden zu vermeiden. Der Verzicht auf Mais auf typischen Problemstandorten oder zumindest der Anbau in Fruchtfolgen ergeben sich als Konsequenz aus diesen Beobachtungen.

Auch Praxiserfahrungen in Frankreich haben gezeigt, dass Mais in Fruchtfolge mit stärker bodendurchwurzelnder Gerste, bei der die Bearbeitung früher und weniger intensiv erfolgen kann, zur Strukturverbesserung gegenüber Mais Daueranbau geführt hat (LA FRANCE AGRICOLE 2003). Positive Nebenwirkungen ergaben sich mit der Fruchtfolge bei der Bekämpfung von Problemunkräutern und durch Entlastungen bei Arbeitsspitzen.

Was die Risiken der Bodenerosion anbelangt, so zählt konventionell mit Pflug, Saatbettbereitung und Herbizidanwendung angebaute Mais zu den am stärksten erosionsfördernden Ackerkulturen.

Im Vergleich mit anderen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ist Mais durch eine sehr kurze Vegetationszeit von 5-6 Monaten und eine wirksame Bodenbedeckung von nur 4 Monaten gekennzeichnet. "Kritisch.....sind die Zeiträume vor und nach dem Anbau von Mais sowie..... die Phase der Jugendentwicklung bis zum Schossen zu beurteilen" (LÜTKE ENTRUP 2000). Strategien des umweltverträglichen Maisanbaus müssen deshalb insbesondere diese Zeiträume ins Auge fassen, um Bodenerosion, Nährstoffauswaschung und -abschwemmungen zu vermindern.

Untersuchungen von ROBINSON und PHILLIPS (2001) konnten zeigen, dass Verschlemmung und anschließende Krustenbildung maßgeblich von der Aggregatstabilität abhängt. Diese wiederum nahm mit zunehmendem Gehalt an austauschbarem Na^+ ab und mit dem Gehalt an organischer Masse zu. Der Erhalt der organischen Substanz in den Maisböden und eine Minimierung oberflächennaher Salzkonzentrationen (z.B. keine einmalige oberflächlich ausgestreute Flächendüngung) beugen der Verschlämmung und Krustenbildung als Ursache für Erosion und vermehrten Oberflächenabfluss auf Hanglagen vor. Auch durch die Einführung des „CULTAN“ Verfahrens (SOMMER 2002) sind hier Vorteile zu erwarten.

Bei der Anwendung von Mulchsaat-Verfahren für Mais kann nach BUCHNER (2000) in Fruchtfolgen am besten eine trockene Sommerfurche nach Getreide mit anschließender hauptfruchtmäßiger Ansaat von Zwischenfrüchten erfolgen. Durch dieses Vorgehen soll eine tiefe Wurzelbildung und damit eine nachhaltige Stabilisierung des Bodengefüges erzielt werden. Anschließende Mulchsaat von Mais verhinderte im Folgejahr Bodenerosion und schützte den Boden auch vor Verdichtungen. Der Autor gibt C-Faktoren der ABAG (Allgemeine Boden-Abtrags-Gleichung) für verschiedene Fruchtfolgen und für Mulchsaat bei Mais an (siehe folgende Tabelle).

Untersaat oder Folgesaat von Roggen zu Mais hat den Vorteil, dass der Roggen noch in den Winter hinein wächst, die Wurzelmasse und Tiefe der Durchwurzelung bleibt dabei aber deutlich hinter der Wirkung von Zwischenfruchtsaaten etwa mit Senf/Ölrettich zurück (BUCHNER 2000), was auch bei Versuchen des Projektes in 2003/2004 bestätigt wurde. Eigene Erfahrungen in 2003 haben aber auch gezeigt, dass diese Strategie in Monomaiskulturen auch bei früher Ernte an ihre Grenzen stößt, denn bei Aussaat Mitte Oktober entwickelte sich der Roggen erst im Frühjahr stärker, konnte da aber wegen des kritischen Wasserverbrauchs im südlichen Oberrheingraben nicht mehr toleriert werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt eindrucksvoll, dass Erosion auf der einen Seite zwar ein Problem im Maisanbau darstellt, auf der anderen Seite aber auch sehr effiziente Anbautechniken existieren, um die Erosion zu vermindern.

Tabelle 11: Fruchtartenspezifischer Einfluss auf den C-Faktor der Bodenabtragungsgleichung (ABAG). (BUCHNER 2000)

Fruchtfolge/ Maßnahme	C-Faktor der ABAG *)
33 % Raps	0,05 – 0,10
33 % Silomais	0,14 – 0,18
66 % Silomais	0,38 – 0,40
33 % Mulchsaat	0,005 – 0,008

*) da der C-Faktor als Multiplikator in die Bodenverlustgleichung eingeht, ist sein Einfluss auf den Bodenabtrag proportional zu seiner Größe.

Wird Mais auf Hanglagen angebaut, so ist konventionell bewirtschafteter Mais auch nach WÜRFEL (2000) wegen großer Reihenabstände, der langsamen Jugendentwicklung und der langen Zeit geringer Bodenbedeckung häufig die Ursache für exzessive Bodenerosion. Bei in den Jahren 1994-1998 durchgeführten Versuchen in den stark erosionsgefährdeten Anbaugebieten des Kraichgau konnte gezeigt werden, dass die teilweise sehr hohen Bodenabträge bei Mais durch Mulch- und Direktsaat drastisch reduziert werden.

Tabelle 12: Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung bei Mais (Mittel von 5 Versuchen 1994-1998 auf Lössstandorten im Kraichgau) (WÜRFEL 2000)

	Regengabe in mm	Abflussbeginn in Minuten nach Regenbeginn	Abflussmenge in l/qm	Abfluss in % des Regens	Bodenabtrag in t/ha	Bodenabtrag in % der Pflugvariante
Pflug	105	17	46	48	22	100
Mulchsaat	115	71	8	7	1	3
Direktsaat	115	85	4	4	0,4	1

Der verminderte Oberflächenabfluss führt zu mehr Wasser für die Pflanzen. Durch die Verminderung hoher Bodenverluste werden außerdem volkswirtschaftlich kostspielige Konsequenzen wie der langfristige Verlust der Ertragsfähigkeit und Schäden durch Überschwemmungen und Schlammdepositionen im Abflussbereich vermieden. Für die Landwirtschaft unerwünschte Nebeneffekte, wie etwa die Exposition flachgründiger, erodierter und trockener Kuppen und die Bildung dichter übersättigter Senken, die eine einheitliche

effiziente Bewirtschaftung erschweren, werden unterbunden. Im Sinne des Bodenschutzes sollte deshalb auf Problemstandorten nach WÜRFEL (2000) vor allem Mulchsaatverfahren der Vorzug gegeben werden. Sie konnten in der Praxis mit technischem und wirtschaftlichem Erfolg angewandt werden. Direktsaatverfahren sind zwar ebenso effizient, führten aber meist zu geringeren Erträgen und waren bisher wirtschaftlich, technisch und betrieblich schwieriger umzusetzen.

Neue Erkenntnisse zu diesem Themenbereich sind für das südliche Oberrheingebiet aus den Praktiker- und Expertenbefragungen zu erwarten, die in 2004 im Rahmen des ITADA Projektes 01 durchgeführt wurden.

Bezüglich des möglichen Austrags von Phosphat in angrenzende Gewässer ist es von Bedeutung, in welchen Bodenschichten die Konzentrationen angereichert sind. Vorteile der Mulchsaat gegenüber Direktsaat ergeben sich bei vorwiegend mittleren Erosionsereignissen. MULQUEEN et al. (2004) fanden in ihren Versuchen, dass die durch Oberflächenabfluss abgetragenen Mengen an Phosphat mit zunehmender Tiefe der Phosphatverteilung sehr rasch und exponentiell zurückgehen. Bezüglich der Risiken der Eutrophierung von Gewässern ist deshalb die Direktsaat mit nur oberflächlicher P-Ausbringung Systemen mit Mulchsaat, Reihenfrässaat oder Pflug unterlegen. Eine Einbringung des Düngers in tiefere Bodenschichten ist deshalb, außer wegen der besseren Pflanzenverfügbarkeit, auch aus Sicht des Gewässerschutzes anzustreben.

In vielen Arbeiten (z.B. TEBRÜGGE 2001) konnte auch gezeigt werden, dass potenzielle Vorteile reduzierter Bodenbearbeitung oder Direktsaat nur dann vollständig zum Tragen kommen, wenn diese Maßnahmen mit geeigneten Geräten und kombiniert mit Bodenbedeckung durch Ernterückstände und/oder Bodenbedeckern angewandt werden (Systemansatz). Sie tragen zum Schutz der Bodenoberfläche und gleichzeitig zur Förderung des Bodenlebens und damit zur aktiven Verbesserung der Aggregatstabilität der Böden bei. Gegenüber dem Verzicht nur auf die Bearbeitung konnten z.B. ROLDAN et al. (2003) eine Verbesserung der Struktureigenschaften (Aggregatstabilität) und der bodenbiologischen Parameter feststellen. Sie wirkte nahezu proportional zur Menge der aufliegenden Ernterückstände und wurde durch die Kombination mit lebenden Bodenbedeckern (Leguminosen) nochmals deutlich verbessert.

HOLLAND (2004) kommt bei einer jüngeren Auswertung europäischer Untersuchungen zur reduzierten Bodenbearbeitung („Conservation Tillage“) zu dem Ergebnis, dass die Gründe für die Anwendung reduzierter Bodenbearbeitung in Europa vor allem in der möglichen Kosteneinsparung liegen. Darüber hinaus belegt die Studie, dass auch in Europa, wie in der übrigen Welt, wo schon 45 Mio. ha in dieser Weise bewirtschaftet werden, mit dieser Bearbeitungstechnik deutliche Verbesserungen im Erosionsschutz, bei der Vermeidung von Bodenverdichtungen und bei der Verbesserung des Wasserhaushalts zu erzielen sind. Dies gilt sowohl auf staunassen Böden, als auch auf Trockenstandorten. Indirekte positive Wirkungen ergeben sich nach dieser Untersuchung im Gewässerschutz durch die Reduzierung von Pestizid- und Nährstoffeinträgen, durch die Einsparung von Treibstoffemissionen und vermehrte Kohlenstofffestlegung in den Böden. Bei der insgesamt noch lückenhaften Informationsbasis (z. B. keine Untersuchungen auf Ebene der Wassereinzugsgebiete) bestätigt die Studie auch den Trend zu erhöhter biologischer Aktivität der Böden mit reduzierten Bearbeitungsverfahren.

Verknüpft damit sind positive Wirkungen im Artenschutz, weil den Tieren ein höheres Angebot an Samen und Beutetieren auf den Feldern zur Verfügung steht.

Abschließend sei in diesem Zusammenhang noch der sozioökonomisch nicht unbedeutende Aspekt der Arbeitsvereinfachung angeführt: Mulchsaat und insbesondere Direktsaaten erfordern vom Landwirt, verglichen mit traditionellen Verfahren der Pflugbestellung, ein hohes Maß an fachlichem Wissen und an Fertigkeiten (BOHREN 2002; GRUNDWÜRMER 2003). In Anbetracht der weltweit schon vorhandenen Flächen und Erfahrungen sollte dies aber zumindest bei pfluglosen Verfahren ohne Direktsaat kein unüberwindliches Hindernis sein.

3.1.4. Klimaschutz

Bodenerosion nimmt weltweit auch einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Kohlenstoffbilanz und damit auf den Klimaschutz. LAL et al. (2002) schätzen, dass weltweit etwa 18 % der landwirtschaftlich bedingten, klimarelevanten Emissionen durch indirekte Wirkungen des Abtrags von Boden und des darin enthaltenen Düngers und Humus verursacht werden. In anaeroben Sedimenten und nach dem Eintrag in Oberflächengewässer führt dies zu beschleunigter Mineralisierung, zur Methanbildung und zu Spurengasemissionen.

JACINTHE et al. (2004) führten Untersuchungen zu mittleren Gehalten an organischem C und mineralisierbarem C in Erosionssedimenten durch und bestimmten den mineralisierbaren Anteil als die Fraktion die innerhalb von 115 Tagen als Kohlendioxid frei gesetzt wurde. Dabei waren vor allem organisch gedüngte, mit dem Pflug bearbeitete Parzellen durch hohe Humus- und Bodenabträge gekennzeichnet (die Abträge waren mit 6,2 t/ha und einem C Gehalt von 113,8 kg C/ha mehr als doppelt so hoch wie bei Direktsaat oder Grubberbearbeitung (<2.7 t Boden/ha und <60 kg C/ha). Abträge bei winterlichen Regenereignissen mit geringer Intensität enthielten mehr organische Masse mit einem höheren Anteil an mineralisierbarer organischer Bodensubstanz (37 g C/kg mit 30–40% mineralisierbarem Anteil) als sommerliche Abträge bei höherer Niederschlagsintensität (22,1 g C/kg und 13% m mineralisierbarem Anteil).

In einer kanadischen Studie wurden die Wirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Fruchtfolgen auf den Verbrauch fossiler Energieträger über 12 Jahre untersucht (ZENTNER et al. 2004). Dabei hatte die Wahl der Bodenbearbeitung bei Getreidedaueranbau, Getreide-Flachs und Getreide-Erbсен Fruchtfolgen wenig Einfluss auf den Energieeinsatz. Einsparungen beim Treibstoff wurden durch erhöhte Aufwendungen bei Herbiziden und in der Düngung, vor allem bei Getreide-Daueranbau wieder aufgezehrt. Bei den Fruchtfolgen schnitten die Rotationen mit Erbsen wegen der N-Ersparnisse energetisch günstiger ab (13% geringerer Energieverbrauch, höchster Energieoutput, höchste Energieeffizienz). Nur in den Rotationen mit Leguminosen und Flachs ergaben sich Vorteile für reduzierte Bodenbearbeitungsverfahren, während sie in den Weizen-Daueranbau Varianten nicht zum Tragen kamen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass mit Getreide/Leguminosen Fruchtfolgen in Verbindung mit reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren eine effizientere Nutzung fossiler Energieträger zu erreichen ist.

3.1.5. Verlust an Biodiversität und Diversität der Agrarlandschaft

Im Zuge der zukünftig zu erwartenden stärkeren Berücksichtigung von Umweltleistungen der Landwirtschaft bei den öffentlich gewährten Zuwendungen an die Betriebe werden Aspekte der Landschafts- und Artenvielfalt auch für Maisproduzenten an Bedeutung gewinnen. Zahlreiche Ansätze zur Bewertung dieses Aspektes der Nachhaltigkeit, meist auf betrieblicher Ebene (z. B. REPRO, KUL) und auch auf Schlagebene (z. B. BOCKSTALLER 2002, MÜLLER-SÄMANN et al. 2003) wurden entwickelt (ITADA 2001) und werden in Zukunft nicht nur das "Image" des Maisanbaus prägen, sondern es ist zu erwarten, dass sie sich auch zunehmend auf das Betriebsergebnis auswirken werden.

WEINSTOERFFER & GIRARDIN (2000) entwickelten in diesem Zusammenhang einen Landschaftsindikator (I_{land}), der sowohl objektive Kriterien, als auch subjektive Kriterien berücksichtigt. Er stellt die Nachfrage der Gesellschaft nach Landschaft dem Angebot der Betriebe gegenüber, wobei Landschaftsqualität nach den Kriterien "Vielfalt", "Art der Bewirtschaftung", "Offenheit" (der Agrarlandschaft) und nach "historisch Landschaftstypischem" bewertet wird. Punktförmige, lineare und flächige Strukturelemente werden als objektiv erfassbare Kriterien mit berücksichtigt.

Großflächiger Daueranbau von Mais schneidet bei den diskutierten Bewertungsverfahren jeweils deutlich schlechter ab als kleinstrukturierter Anbau mit Fruchtfolgen. Im Kontext zukünftiger agrarpolitischer Rahmenbedingungen werden deshalb auch von dieser Seite Tendenzen zur Diversifizierung des Maisanbaus gefördert werden.

Dass dies auch bezüglich der zu erzielenden Erträge bei Mais langfristig sinnvoll ist, konnten langjährige Untersuchungen zeigen, die seit 1960 in Ungarn mit Mais und Weizenfruchtfolgen durchgeführt wurden (BERZSENYI et al. 2000). Vor allem in viergliedrigen Fruchtfolgen von Mais-Gerste-Erbesen-Weizen wurden deutlich höhere und stabilere Maiserträge erzielt, als mit Daueranbausystemen. Die Maiserträge nahmen über die Jahre proportional zum steigenden Anteil des Mais in den Fruchtfolgen ab. Bei Mais war das vor allem in trockenen Jahren der Fall, was auf eine bessere Wasserversorgung im Rahmen der Fruchtfolge schließen lässt. Bei Weizen waren dagegen vorwiegend phytosanitäre Aspekte für die Ertragsrückgänge bei erhöhtem Fruchtfolgeanteil verantwortlich. Die Ertragsvorteile bei Mais in Fruchtfolgen waren bei hoher Düngung nur halb so groß wie bei niedrigem Düngungsniveau, das heißt mit zunehmender Intensität nahm die Bedeutung der Fruchtfolge für die Ertragssicherheit bei Mais ab.

3.2. Feldversuche

3.2.1. Entwicklung der Bestände und vegetationsbegleitende Untersuchungen

Sowohl in den Jahren 2003 und 2004 war der Aufgang bei Mais bei guten Bodenverhältnissen zur Saat gut bis sehr gut. Im Jahr 2004 war er bei Reihenfrässaat zu Anfang ungleicher und um etwa einen bis zwei Tage hinter der konventionellen Variante zurück, bei der sich der Boden leichter erwärmte. Die Unterschiede hatten sich aber bis Blühbeginn verwachsen. Da seit der Saat der Sojabohnen im Vorjahr (30. April 2003) keine weitere Bodenbearbeitung zu Mais mehr stattgefunden hatte, kann dieses Ergebnis als Erfolg gewertet werden.

Der Aufgang der Sojabohnen war im ersten Jahr 2003 gut (nahe 90 %). Im Jahr 2004 litt er bei anhaltender Frühjahrstrockenheit stark unter den trockenen Bedingungen. Durch Grubbereinsatz (Dezember) alleine konnte nach dem üppig, wiederergrünten Weidelgrasbestand in Viehwegacker kein ausreichender Bodenschluss erzielt werden. Dieser war erst am 1. April abgespritzt worden. Dies führte in Kombination mit defizitären Niederschlägen zu einem sehr lückigen und ungleichen Auflauf der Soja in 2004 (um 30-40 % auf dem Viehwegacker, um 70 % in Steinenstadt), wo nach später Roggenzwischenfrucht weniger Stoppelbiomasse vorhanden war. Die Wurzelbüschel des Weidelgrases konnten sich über den trockenen April bis zur Saat (30.4) kaum zersetzen. Aus diesen Erfahrungen muss gefolgert werden, dass

- a) nach dem Grubbern wieder ergrünte Untersaaten so früh als möglich abgespritzt werden müssen,
- b) nach der Saat in einen Boden mit viel Wurzelfilz auf alle Fälle standardmäßig gewalzt werden muss

Dominierend für die Bestandesentwicklung waren im Jahr 2003 Hitze und Trockenheit. Dies führte auf dem Standort Viehwegacker (nur 140 mm Bewässerung) und vor allem in Steinenstadt ohne Bewässerung zu starkem Stress bei Mais und Soja und vermutlich auch zu Problemen bei der Bekämpfung des Weißen Gänsefuß in Soja. Dieser erwies sich bei Trockenheit und hoher Sonneneinstrahlung als relativ tolerant gegenüber den angewandten Herbiziden (Tabellen im Anhang 6). Defizite bei der Unkrautkontrolle in Soja gab es auf dem Standort Steinenstadt aber in beiden Jahren, denn es bestand ein sehr hoher Unkrautdruck durch Weißen Gänsefuß. Im Mais war die Kontrolle der Unkräuter in beiden Jahren und an beiden Standorten zufriedenstellend.

Im Jahr 2004 war ein eher normaler Klimaverlauf für die Bestandesentwicklung gegeben. Nach relativ trockenen Verhältnissen zu Vegetationsbeginn gab es ab Juni befriedigende Niederschläge (siehe auch Abbildungen 2 und 3). Ein extremes Gewitterereignis mit massivem Hagelschlag vernichtete auf dem Viehwegacker am 8. Juli den Sojabestand komplett. Der Mais wurde kurz vor Abschluss des Längenwachstums erheblich geschädigt (Schätzungen der Versicherungen auf Nachbarfeldern um 70 %). Der anfänglich flach am Boden liegende Bestand konnte sich in der Folgezeit wieder erholen und brachte beizeitigem Drusch (die geschädigten Kolben neigten zu Pilzbefall) noch einen erntewürdigen Ertrag. Dies muss bei der Bewertung der Boniturangaben für den Viehwegacker (2004) beachtet werden. Der Standort Steinenstadt war vom Unwetter nicht betroffen.

Bis auf einen leichten Befall mit Fritfliegen (*Oscinella frit*) und leichten Fraßschäden durch Kaninchen bei Soja traten Beeinträchtigungen durch Krankheiten und Schädlinge bei Mais und bei Soja in 2003 nicht auf. Im Jahr 2004 kam es zu erhöhtem Befall mit Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) in hagelgeschädigtem Mais. Auch Maiszünslerbefall (*Ostrinia nubilalis*) trat in 2004 auf beiden Standorten vermehrt, aber auf moderatem Niveau auf, was Folge des nasskalten Witterungsverlaufs nach der 2. Nützlingsausbringung am 30.6.2004 sein kann (siehe Klimadiagramm) unter dem die Schlupfwespe (*Trichogramma evanescens*) vermutlich stark gelitten hat. Bei der Ernte konnten Maiskolben umgeknickter Maispflanzen nur sehr vereinzelt nicht erfasst werden.

Im Jahr 2003 konnte die Ernte von Mais und Soja (nur Viehwegacker) bei „optimalen“, und trockenen Verhältnissen durchgeführt werden. Auch in 2004 waren die Bedingungen für die Ernte von Mais, trotz periodisch auftretender Niederschläge akzeptabel. Verdichtungen durch tiefe Fahrspuren konnten nicht beobachtet werden. Nachdem im Jahr 2003 die Sojaernte in Stein Stadt wegen Verunkrautung ausgefallen war, fiel sie im Jahr 2004 im Viehwegacker dem Hagel zum Opfer.

In der Nacherntephase beider Versuchsjahre konnten sich die Untersaaten bei ausreichenden Niederschlägen gut entwickeln. Im Herbst 2004 war es weniger sonnig als im Jahr 2003 (nicht gemessen).

In den folgenden vier Tabellen sind die vegetationsbegleitenden Messwerte und Bonituren für alle Anbausysteme und Kulturen für die Jahre 2003 und 2004 zusammengefasst dargestellt. Die Bonituren erfolgten nach Richtlinien Bundessortenamtes (BSA 2000). Nur im Fall der Effizienz der Unkrautkontrolle bei Mais wurde die französische Methode nach AGPM (2000) verwendet, bei der die Skala von 0 (= keine Kontrolle) bis 9 (= volle Kontrolle) in andere Richtung verläuft.⁵

⁵ AGPM technique mais europe (2000): Methode de Réalisation des Essais Désherbage du Mais en Réseau. Institut technique Européenne du mais, Paris. 4 S.

Tabelle 13: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei „Körnermais innovativ“ (Sorte NEXXOS) und Körnermais-Daueranbau (Sorte DRACILA) im ersten Anbaujahr 2003

Bestandesbeobachtungen Körnermais 2003	Datum	Standort Steinestad (ohne Bewässerung) Bonitur oder Wert		Standort Viehwegacker (mit Bewässerung) Bonitur oder Wert	
		Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)
Aufgang (Datum)		07.05.2003	07.05.2003	07.05.2003	07.05.2003
% Aufgang		88,3	94,2	91	95
Mängel beim Aufgang	15.05.2003	1	1	1	1
Früfliegenbefall (BBCH 14)	15.05.2003	2	2	1	2
Herbizidschäden (BBCH15)	19.05.2003	3	5	3	6
Wirkung Unkrautkontrolle (BBCH 17)	26.05.2003	6	4	8	5
Wirkung Unkrautkontrolle (BBCH33) *)	18.06.2003	8	8	9	9
Pflanzenzahl /ha	18.06.2003	80.944	79.667	84.333	102.333
Blühbeginn männlich		03.07.2003	03.07.2003	04.07.2003	04.07.2003
Bestandeshöhe in cm (BBCH 69)	22.07.2003	190	219	262	283
Bestockung Mais (BBCH 69)	22.07.2003	1	1	1	1
Mängel im Stand (Trockenstress)	22.07.2003	8	7	3	3
Turcicum früh (BBCH 69)	22.07.2003	3	5	1	1
Turcicum spät (BBCH 87)	21.08.2003	2	4	4	4
Maiszünsler (BBCH 87)	21.08.2003	1	1	1	1
Spätverunkrautung (BBCH97)	27.08.2003	2	2	1	1
Stängelfäule	27.08.2003	1	1	1	1
Lager Mais vor Ernte	27.08.2003	1	1	1	1
Fusarium Mais	09.09.2003	1	1	1	1

*) ausser Ackerwinde

Tabelle 14. Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei „Körnermais innovativ“ (Sorte NEXXOS) und Körnermais-Daueranbau (Sorte DRACILA) im ersten Anbaujahr 2004

Bestandesbeobachtungen Körnermais 2004	Saattermin	Standort Steinestad (ohne Bewässerung) Bonitur oder Wert		Standort Viehwegacker (2004 keine Bewässerung) Bonitur oder Wert *)	
		22. Apr	24. Apr	22. Apr	22. Apr.
Variable	Datum	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)
Bodenbedeckung vor Saat (%)	21.04.2004	2,1 % (sd:1,5)	44,8 % (sd:0,5)	0,7 % (sd:0,6)	26,3 % (sd:3,1)
Aufgang (Datum)	4/5.5.2004	06.05.2004	06.05.2004	05.05.2004	05.05.2004
% Aufgang		79%	79%	75%	85%
Mängel beim Aufgang (Kälteschaden)	18.05.2004	2	2,5	2,5	2
Früfliegenbefall (BBCH 14)	18.05.2004	1,75	1,5	1,5	1,5
Unkrautdruck (Pfl./m ²)	18.05.2004	81	299	18	34
Herbizidschäden (BBCH16-17)	02.06.2004	3	2,75	3	2,75
Unkrautdicke (Pfl./m ²) Spritzfenster	02.06.2004	485	3075	223	362
Wirkung Unkrautkontrolle (BBCH 16-17)	02.06.2004	7,5	7	7	7,75
Pflanzenzahl /ha	18.06.2004	79980 (94%)	92484 (92,5%)	83322 (98%)	93871 (93,9%)
Hagelschaden *)	08.07.2004	1	1	8	8
Blühbeginn DATUM (Fahnen)		20. Jul 04	21. Jul 04	19. Jul 04	21. Jul 04
Blühbeginn männlich (%)	19.07.2004	60,8% (s:22,9)	7,5% (s:7,2)	81,0% (s:7,4)	44,5% (s:15,2)
Blühbeginn männlich (%)	22.07.2004	97,0 % (s:2,6)	92,5% (s:3,4)	98,5% (s:1,9)	97,5% (s:1,0)
Bestandeshöhe in m (BBCH 67)	29.07.2004	2,38 (s:0,05)	2,66 (s:0,08)	1,78 (s:0,18)	2,01 (s:0,13)
Bestockung Mais (BBCH 67)	29.07.2004	1	1	1	1
Mängel im Stand (Hagelschaden)	08.09.2004	1	1	8	7
Turcicum früh (BBCH 67)	29.07.2004	1	1	1	1
Turcicum spät (BBCH 87)	08.09.2004	3	3	2	2
Maiszünsler (BBCH 87)	08.09.2004	3	4	2	2
Spätverunkrautung (BBCH87)	07.09.2004	4	2	3	2
Stängelfäule	08.09.2004	1	1	2	2
Lager Mais vor Ernte	08.09.2004	1	1	2	3
Maisbeulenbrand	21.09.2004	1	1	3,5	3
Fusarium Mais	23.09.2004	1	1,5	3,7	4,3

*) Der Bestand Viehwegacker 2004 wurde durch ein Hagelunwetter am 8. Juli erheblich geschädigt

Tabelle 15: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei Soja in Fruchtfolge (Sorte ESSOR) im ersten Anbaujahr 2003

Bestandesbeobachtungen Soja 2003	Standort Steinenstadt		Standort Viehwegacker (mit Bewässerung)		
	Variable	Datum	Bonitur oder Wert	Datum	Bonitur oder Wert
Aufgang			13.05.2003		13.05.2003
% Aufgang			88,7		87,2
Mängel beim Aufgang	19.05.2003		1	19.05.2003	1
Blühbeginn			18.06.2003		18.06.2003
Blühende			11.07.2003		15.07.2003
Sojapfl./ha zur Blüte	18.06.2003		622.472	24.06.2003	677.563
Lager Soja bei Blühbeginn	18.06.2003		1	18.06.2003	1
Nodulation Ende Blüte	17.07.2003			17.07.2003	
Knöllchen /Pfl.			6,6		22,3
Aktivität (Bonitur 1-5)			3		4
Knöllchendurchmesser in mm			3 (0,5 - 5)		5 (0,5 - 10)
Bestandeshöhe in cm	17.07.2003		60,2	17.07.2003	80,4
Sklerotinia Befall	27.08.2003		1	27.08.2003	2
Spätverunkrautung	27.08.2003		7	27.08.2003	4
Lager Soja vor Ernte	27.08.2003		1	27.08.2003	1
Sojapfl./ha vor der Ernte	27.08.2003		608.181	27.08.2003	628.603

Tabelle 16: Übersicht zu den Messungen und Bonituren bei Soja in Fruchtfolge (Sorte ESSOR) im 2. Anbaujahr 2004

Bestandesbeobachtungen Soja 2004	Standort Steinenstadt		Standort Viehwegacker (hagelgeschädigt)		
	Variable	Datum	Bonitur oder Wert	Datum	Bonitur oder Wert
Bodenbedeckung vor Saat	21.04.2004		19,3 % (s:1,7)	21.04.2004	29,1 % (s:2,8)
Saattermin	30.04.2004			30.04.2004	
Aufgang (75 % nicht erreicht)					
% Aufgang	26.05.2004		70% (s:2,94)	26.05.2004	30% (s:3,56)
Mängel beim Aufgang (Trocken)	03.06.2004		5,25		7
Effizienz Unkrautkontrolle (AGI)	24.06.2004		3,75	24.06.2004	5,25
Phytotoxizität Herbizide	24.06.2004		4,5	24.06.2004	4,75
Blühbeginn	05.07.2004		93%	05.07.2004	86%
Hagelschaden	08.07.2004		1	08.07.2004	9
Blüten zum 27.07.2004	27.07.2004		30,5% (s:4,4)		
Blühende	29.07.2004		29.07.2004	Blühperiode 24 Tage	
Sojapfl./ha zur Blüte	14.07.2004		342437 (s:15907)		
Lager Soja bei Blühbeginn	05.07.2004		1	05.07.2004	
Nodulation Blüte BBCH 67	20.07.2004				
Knöllchen /Pfl.	20.07.2004		66,8 (s: 12,3)		
Knöllchenaktivität (Bonitur 1-5)	20.07.2004		4,5 *)		
mittlerer K. -durchmesser	20.07.2004		3,13 mm		
Bestandeshöhe in cm BBCH 8	08.09.2004		85 cm (sd=3,74)		
Sklerotinia Befall	07.09.2004		2,25		
Spätverunkrautung	28.09.2004		6,5	nach BSA	
Lager Soja vor Ernte	28.09.2004		3		
Sojapfl./ha vor der Ernte	28.09.2004		382353 (63,7%)		

*) Bonitur 1 fehlend bis 5 sehr gut

3.2.2. Unkrautkontrolle

3.2.2.1. Körnermais

Leitunkräuter waren in Steinenstadt: Gänsefuß, Amaranth, Ackerwinden und verschiedene Hirsearten (vor allem Hühnerhirse und Borstenhirsen). Auf dem Standort Viehwegacker waren Flohknöterich, Gänsefuß, Ackerwinden, Melde, Bingelkraut und Borstenhirsen (*Setaria* sp.) die bestimmenden Unkräuter.

Im Sinne guter fachlicher Praxis ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln so sparsam wie möglich vorzunehmen. Bei Anwendung von Pflanzenschutzmitteln gleicher oder ähnlicher Wirksamkeit sollten die umweltschonenderen Mittel bevorzugt eingesetzt werden. Nachauflaufbehandlungen, die sich nach Umfang und Art der Verunkrautung dem jeweiligen Bedarf besser anpassen lassen, sind der Vorauflaufbehandlung vorzuziehen. Zur Verminderung der Herbizidaufwandmengen sollten gewisse Bedingungen erfüllt sein. Dazu zählen:

- Boden- und witterungsbedingt gute Ausbringungsverhältnisse (früh, hohe Luftfeuchte, Windstille, keine Hitze, leicht feuchter Boden)
- Unkräuter und Ungräser (Problemarten) in empfindlichem Stadium
- Wirkungsspektrum des Herbizids sollte zur Leitverunkrautung passen
- Gesunder, konkurrenzstarker Bestand mit leichter bis mittlerer Verunkrautung über der Schadensschwelle.

Mit reduzierten Aufwandmengen sollte nicht gearbeitet werden, wenn Unkräuter weit entwickelt sind, schwere oder humose Böden vorliegen (VA) oder ein sehr hoher Unkrautbesatz vorliegt. Bei der Anwendung von Callisto und Motivell ist außerdem zu beachten, dass Pflanzen nicht gestresst sein sollten und die Tag/Nacht Amplitude in den Vortagen nicht über 20 °C betrug. Nach Regenperioden sollte 1-2 Tage gewartet werden, bis sich wieder eine Wachsschicht ausgebildet hat bzw. die Befahrbarkeit wieder gegeben ist. Motivell sollte nach Auskunft von DANNEMANN (2004) auch nicht bei Temperaturen über 24 °C ausgebracht werden, da es sonst leicht zu Verbrennungen kommt.

Für die Anwendung im System mit Untersaat von Weidelgras ist außerdem zu beachten, dass reduzierte Aufwandmengen und Wirkstoffe mit geringer Bodenwirkung zu bevorzugen sind, um einen problemlosen Auflauf der Untersaat nicht zu gefährden (Callisto 30 % Bodenwirkung, Motivell 10 %). Aus Gründen des Umwelt- und Gewässerschutzes und um Kosten zu sparen, wurden im System Mais-innovativ nur je 0,5 l Callisto und 0,5 l Motivell ausgebracht. Später folgte in diesem System die Hacke mit Untersaat von Weidelgras.

Weitere Anmerkungen zur Unkrautbekämpfung bei Mais:

Callisto (Wirkstoff: Mesotrione): Aufwandmenge alleine: 1,5 l/ha, in Mischungen bei Mais max. 1 l/ha, NA in 200-300 l/ha Wasser, optimal im 2-3 Blatt-Stadium von Hirsen, bis 6-8-Blattstadium Mais möglich (Abschluss), im 2-bis max. 6-Blattstadium der Unkräuter, wobei kleine Stadien empfindlicher sind und besser kontrolliert werden. Nicht

bienengefährlich B4, Xn (gesundheitsschädlich), S (Saumbiotopabstandsregelung), W (Gewässerabstandsregelung). Inhaltstoff: Callisto: 100g/l Mesotrione, Suspension; Wirkungsspektrum: Hühnerhirse bis 3-Blattstadium, Amarantharten 2-4-Blattstadium; ergänzt Motivell bei Melde, Gänsefuß, Knötericharten, Blut-Fingerhirse bis 3-Blattstadium. Für den Nachbau gilt: keine zweikeimblättrige Winterzwischenfrucht nach Callisto (!); kein Nachbauproblem bei Weidelgras.

Motivell (Wirkstoff: Nicosulfuron): Als Mischpartner für Callisto geeignet; Aufwandmenge alleine: 1,0 l/ha in 200-400 l/ha Wasser. Nicht bienengefährlich - B4, Xn (gesundheitsschädlich), W (Gewässerabstandsregelung), Motivell enthält als Wirkstoff 40 g/l Nicosulfuron, Suspension. Das Mittel kann im Nachauflauf (NA) vom 2-Blattstadium bis max. 8-Blattstadium in Mais eingesetzt werden. Unkräuter sollten optimal im 2-4 Blattstadium sein, Ungräser von 2-Blattstadium bis Bestockung. Kein Netzmittel erforderlich. Es ist zu beachten: nach Regenperioden mind. 1 Tag warten (Wachsschicht!). Wirkungsspektrum: einjährige zweikeimblättrige UK. Hühnerhirse, Borstenhirse, Ackerfuchsschwanz. Bedingt bekämpfbar: Faden- und Fingerhirse, Windenknöterich, Gänsefußarten, Melde, nicht wirksam bei Winde und Vogelknöterich!. Die Sortenverträglichkeit bei *NEXXOS* und *DRACILA* war gegeben.

Nachdem schon in 2003 die Bekämpfung der Ackerwinden, und von Windenknöterich unzureichend war und relativ früh und zahlreich Ackerwinden, vor allem auf dem unbearbeiteten Schlag mit Mais innovativ (Reihenfräse), aufgelaufen waren, wurden in 2004 im 4-5 Blattstadium des Mais 0,3 l/ha Orefa Dicamba 480 SL (Wirkstoff 480 g/l Dicamba als Dimethylaminsalz) zur Windenbekämpfung angewendet. Eine zweite Auflaufwelle wäre nach Begutachtung der Schläge (meist Teilflächen) mit einer Teilflächenbehandlung (z. B. mit 0,5 l/ha Banvell) am Besten zu kontrollieren. Dies war in 2004 aber nicht nötig. Die Mischbarkeit der angewandten Herbizide mit Banvell bzw. Orefa Dicamba ist gegeben.

Damit ergaben sich im Versuch die folgenden Anwendungen:

- a) Dauermaisbau konventionell: Im 4-5 Blattstadium: 0,8 l/ha Callisto + 0,8 l/ha Motivell+ 0,3 l/ha Orefa Dicamba (letzteres nur 2004).
- b) Bei Mais innovativ: im 4-5 Blattstadium: 0,5 l/ha Callisto + 0,5 l/ha Motivell (reduzierte Aufwandmenge) + 0,3 l/ha Orefa Dicamba 480 SL (letzteres nur 2004). Danach erfolgten bei Mais innovativ gemäß den Entscheidungsregeln keine weiteren Applikationen, sondern in jedem Fall Hacke im 8-9 Blattstadium (kniehoch) mit Weidelgrasuntersaat.

Die Unkrautkontrolle wurde im Jahr 2003 vor allem in Steinenstadt mit reduzierten Aufwandmengen nur zögerlich wirksam, (siehe Bonituren). Sowohl in Steinenstadt als auch auf dem Standort Viehwegacker konnte, auch mit den reduzierten Aufwandmengen, eine befriedigende Kontrolle der Unkräuter erzielt werden. Lediglich bei Ackerwinden trat sowohl mit empfohlener Aufwandmenge, als auch mit reduzierter Aufwandmenge eine zu erwartende Wirkungslücke auf. Im Jahr 2004 wurde diese Lücke durch die Beimischung von Dicamba befriedigend geschlossen.

Aufgrund der nicht ganz optimalen Ausbringungsbedingungen (Anwendung erst am Nachmittag, einer kühlen vorangegangenen Nacht mit Temperaturen unter 5°C und nachfolgend hohen Tagestemperaturen deutlich über 20 C, kam es besonders bei der Sorte NEXXOS, trotz verminderter Aufwandmenge zu Verbrennungen (siehe Bonituren in den Tabellen im Anhang 6), die sich aber schnell wieder verwachsen konnten.

Im Jahr 2004 traten kaum Spritzschäden auf. Auffallend war die sehr hohe Unkrautdichte in Steinenstadt (um 3000 Pflanzen/m²) nach Soja mit Gänsefuß-Verunkrautung und ohne nachfolgende Bodenbearbeitung. Die ausgefallenen Samen keimten zahlreich aus, sie konnten aber auch mit reduzierten Aufwandmengen der angewandten Maisherbizide gut kontrolliert werden. Herbizidschäden traten 2004 wegen günstigerer Anwendungsbedingungen nicht auf. Die Spätverunkrautung blieb trotz einer zweiten Auflaufwelle (Ungräser) gering. Sie war geprägt durch Hirsen (*Setaria ssp. und Echinochloa crus-galli*) und war bei Monomais ohne nachfolgende Hacke mit Untersaat höher.

3.2.2.2. Soja

Nach Wegfall der Option mit weiter Saat und Bandspritzung (kein Gerät verfügbar) wurde bei der Unkrautbekämpfung in Soja nach folgenden Entscheidungsregeln vorgegangen:

- Möglichst dichte Saat, um den Boden früh zu beschatten und so ein spätes Auflaufen oder eine Entwicklung von hohem Unkrautdruck in weiten Standreihen zu unterbinden.
- Auch in Soja wurde im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes eine relativ geringe Aufwandmenge angestrebt.
- Da eine anschließende zweite Bekämpfung über Hacken bei Soja nicht möglich war (enge Saatreihen), wurde eine rasche Etablierung eines lückenlosen Bestandes (nicht zu frühe Saat mit zögerlicher Jugendentwicklung) angestrebt (Aussaart nicht vor 30 April).

Die angewandten Saattichten lagen jeweils am oberen Rand der Empfehlungen, wodurch im ersten Jahr auf beiden Standorten hohe Bestandesdichten erricht wurden (über 600.000). Im zweiten Jahr behinderte die Frühjahrstrockenheit, andauernd bis 30 Tage nach der Saat, in Kombination mit relativ niederen Temperaturen das rasche und gleichmäßige Auflaufen der Soja (Saattiefe 3-4 cm). Teils war die Saattiefen-Ablage mit der verwendeten Maschine (Rototiller mit Drillsaat, Modell Accord) trotz Einzelaufhängung der Saateinheiten nicht befriedigend. Im Jahr 2004 war das vor allem in leichten Senken und verstärkt auf dem Standort Viehwegacker der Fall, wo das Auflaufen der Saat auch wegen der unzersetzten Weidelgrasrückstände und fehlendem Bodenschluss unbefriedigend blieb. Im Wurzelfilz konnten die Scheibensärschare zum Teil nur sehr flach eindringen (1-2 cm). Dies hat den Ausfall durch trockenes Wetter begünstigt. Es half auch nicht, dass auf eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit bei der Ansaat geachtet wurde(5,8 km/h), nachdem in 2003 teilweise Fehlstellen und Samenanhäufungen aufgetreten waren. Walzen hätte vermutlich geholfen.

Behandlung in 2003:

1. Anwendung: 1 l / ha Basagran in 300 l Wasser
2. Anwendung: 1 l / ha Fusilade MAX, 5 Tage später.

Ursprünglich geplant: 3. Anwendung: 1l/ha Basagran in 300 l Wasser mit 1 l Öl (Rako-Binol), ebenfalls drei Tage später (fiel wegen mech. Maschinenschaden aus).

Behandlung in 2004:

1. Anwendung: 5 g Harmony (Thifensulfuron) mit einem Netzmittel 0,1 % (ProNet Alfa) plus Basagran (1 l/ha); Ausbringung in 300 l/ha Wasser. Herbizidanwendung 2004 erfolgte technisch bedingt verspätet am 7.6.2004, Soja im 1-2 Blatt-Stadium, Gänsefuß z.T. schon 5-15 cm groß!
2. Anwendung: 5 g Harmony mit Netzmittel 0,1 %; plus 1,5 l Basagran plus 1l/ha Fusilade MAX; Ausbringung in 300 l/ha Wasser.

Basagran (Wirkstoff: Bentazon, 480 g/l) Xn, B4, W empf. Aufwandmenge 2 l/ha NA, wässrige Lsg., 200-400 l/ha; gegen zweikeimblättrige Unkräuter; Wirkungslücke bei Ungräsern und Ackerstiefmütterchen, Melden, Vogel- und Windenknöterich (letztere Leitarten der Standortverunkrautung!). Zur Verbesserung der Wirkung gegen Melde wird die Beimischung von Öl (1l/ha) empfohlen. Empfohlene Anwendung möglichst nicht nach 4-Blattstadium der UK. Nicht bei Nachtfrostgefahr und nach langen Feuchteperioden. Einsatz bei Soja vom 1.-3. gefiederten Sojablatt (5 cm Wuchshöhe).

Fusilade Max (Wirkstoff Fluazifop-p-butyl), Emulsionskonzentrat, Wirkstoff: 125 g/l Fluazifop-p-butyl. NA, Genehmigung nach § 18a Pflanzenschutzgesetz, zulässige empfohlene Dosierung bei Soja: 1 l/ha oder 2 l/ha bei Bekämpfung von Quecke. Spritzwassermenge: 200-400 l/ha. Alle Gräser außer Rotschwengel, Nachbau aller Kulturen ab vier Wochen nach Ausbringung möglich. Mittel gesundheitsschädlich: Xn, B4, fischtoxisch, keine toxischen Wirkungen auf Indikatorarten.

Harmony (723 g/kg Thifensulfuron (750 g/kg Methylester)), NA, 5g/ha in zwei Teilgaben

Bei Soja konnte in 2003 mit der einmaligen Anwendung von Basagran (1 l/ha) und der Anwendung von Fusilade max (1 l/ha) auf dem Standort Viehwegacker eine befriedigende Unkrautkontrolle erreicht werden. Auf dem Standort Steinenstadt mit sehr hohem Unkrautdruck durch Melden, Amaranth und Ungräser konnten auch aufgrund der Wachstumsstockung der Soja durch die Trockenheit ab Ende Mai die Melden nicht ausreichend kontrolliert werden. Dies führte zu einem technischen Totalverlust der Ernte. Nach Ertragsschnitten von Hand musste der Bestand aus weißem Gänsefuß und Soja hier gemulcht werden, da ein Drusch bei der hohen Verunkrautung nicht mehr möglich war. Um den Bestand trotz der hohen Verunkrautung dreschen zu können, war zuvor (jenseits wirtschaftlicher Überlegungen) in Steinenstadt der

Melde/Sojabestand mit 3l/ha Reglone zur Sikkation vor dem Mulchen behandelt worden (Wirkstoff: 200 g/l Deiquat). Ein Maschinendrusch konnte aber trotzdem nicht realisiert werden.

Da bei hohem Unkrautdruck mit Gänsefußgewächsen (siehe Bewertung unten) die Wirkung von Basagran alleine (1 l/ha) unbefriedigend war (Totalausfall in Steinenstadt, relativ hohe Verunkrautung in Viehwegacker), wurde die Herbizidstrategie in 2004 bei Soja geändert, wobei auch das nach §18 a Pflanzenschutzgesetz neu für Soja zugelassene Herbizid „Harmony“ (Wirkstoff Thifensulfuron (750 g/l als Methylester) berücksichtigt wurde. Hierbei wurden Erfahrungen aus Österreich berücksichtigt, wo das Mittel schon jahrelang auf mehreren Tausend Hektar zum Einsatz kam (pers. Mitteilung Dr. Manfred Hilweg, Firma Staehler/Austria).

Im Jahr 2004 liefen zunächst aufgrund der sehr trockenen Witterung zu Vegetationsbeginn auch die Unkräuter nur zögerlich auf. Dies war auch bei Soja der Fall, wo einzelne Pflanzen schon im Zweiblattstadium waren, während andere noch aufliefen. Die Bekämpfung, die im Lohn durchgeführt wurde, erfolgte dann zu einem relativ späten Zeitpunkt, so dass auch die Hereinnahme von Thifensulfuron („Harmony“) wegen des relativ späten Bekämpfungszeitpunkts keine entscheidende Verbesserung brachte.

Als Ursachen für die unbefriedigende Unkrautkontrolle in Soja können die folgenden Faktoren angeführt werden:

Viele Unkräuter waren zum Zeitpunkt der Bekämpfung schon zu groß (15 cm), das kontinuierlich sich fortsetzende Auflaufen neuer Unkräuter und der sehr ungleiche Aufgang von Soja erschwerten die Festlegung eines optimalen Zeitpunktes. Durch die Vergabe im Lohnverfahren kam es noch zu einer zusätzlichen Verzögerung des Bekämpfungszeitpunktes.

Durch die Applikation von 5 g Harmony plus 1,5 l/ha Basagran konnte ein Teil der schon 15-20 cm großen Gänsefüße noch kontrolliert werden, es traf aber nicht alle Pflanzen (genetische Variabilität kann vermutet werden). Bei allen Pflanzen traten aber Verbrennungen und ein Wachstumsstau auf. Soja zeigte ebenfalls Symptome von Verbrennungen und Wuchshemmung, konnte aber in den folgenden Wochen aufgrund der größeren Wuchshemmung bei Weißem Gänsefuß diesen überwachsen.

Als Fazit kann aufgrund der gemachten Erfahrungen gefolgert werden:

Die in Soja auf dem Standort Steinenstadt angewandte Herbizidstrategie schlug aufgrund verspäteter Anwendung und sehr hohen Unkrautdrucks 2003 fehl, in 2004 konnte durch die erhöhte Aufwandmenge des Basagran (1,5 l/ha) in der zweiten Applikation aber ein noch akzeptables Ergebnis erzielt werden. Das Konzept der engen Reihensaat und der ausschließlichen Anwendung von Nachauflaufherbiziden ist aufgrund technischer und klimatischer Unwegbarkeiten risikoreich.

Bei Alternativen zur eingeschlagenen Strategie sollten deshalb die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- a) Umgestaltung der Fruchtfolgen mit Sommerung und Winterung, um den Unkrautdruck typischer Sommerunkräuter zu mindern.
- b) u. U. Anwendung von VA-Herbiziden (Zulassung von Metribuzin (Sencor WG).
- c) Kombination chemischer und mechanischer Kontrollmaßnahmen (bei weiteren Reihenabständen).
- d) Auf Standorten mit sehr hohem Unkrautdruck, insbesondere durch Weißen Gänsefuß, sollte Soja nach Möglichkeit nicht in Sommerungsfruchtfolgen angebaut werden.
- e) Die Kontrolle von Ungräsern mit Fusilade MAX (Fluazifop-p-butyl, NA) ist nach den Erfahrungen in 2003/4 bei termingerechter Anwendung effizient.

Abschließend sei noch eine Anmerkungen zur Spezialproblematik des Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album* L.) in Soja gemacht: Der Weiße Gänsefuß stellte in Soja auf dem Standort Steinenstadt ein sehr großes Problem dar. Da einzelne Pflanzen bis zu 20.000 Samen ausbilden können und diese im Boden bis zu 100 Jahre (!) überlebensfähig sind (Monsanto 2004) stellt dieses Unkraut eine nicht unerhebliche Hypothek dar. Während Gänsefuß in Mais, trotz ebenfalls massenhaftem Auftreten, mit den angewandten Herbiziden gut kontrolliert werden konnte, war das in Sojabohnen weit weniger der Fall. Mit den angewandten Mitteln und Aufwandmengen war er schwer zu kontrollieren und erfordert eine extrem genaue Terminierung, die auch im Projekt technisch bedingt nicht immer eingehalten werden konnte. Standorte mit hohem Besatz sind deshalb als ungeeignet für Sommerungsfruchtfolgen mit Soja anzusehen.

3.2.2.3. Aufwuchskontrolle der Untersaaten

Weidelgras, und wegen des milden Winters 2003/2004 auch der Sommerhafer, mussten wegen starker neuerlicher Entwicklung im Frühjahr 2004 vor der Mais- (nach Hafer) und Sojasaat (nach Weidelgras) kontrolliert werden. Zum Einsatz kam Roundup Turbo (nach Mais mit Untersaat nur auf dem Viehwegacker; mech. Kontrolle der Roggensaaten in Steinenstadt).

Roundup Turbo: Wirkstoffgehalt: 680 g/kg Glyphosat (747 g/kg Ammonium-Salz), Formulierung: Wasserlösliches Granulat, Gefahrenbezeichnung: Reizend.

Es wurde am 1. April 2004 gemäß Herstellerangaben mit 2,5 kg/ha Aufwandmenge auf den wieder ergrünten Flächen nach Soja und der Weidelgrasuntersaat in Mais eingesetzt. Gute Wirkung auch bei niedrigen Nachttemperaturen, anwenderfreundliche Formulierung und rasche Wirksamkeit (Bearbeitung der Felder auch bei Quecke schon ab 5-7 Tagen möglich), gaben den Ausschlag für die Wahl des Produktes. Die Bedingungen für eine gute Produktwirkung waren gegeben, da am Ausbringungstag und danach wüchsiges, trockenes Wetter mit Temperaturen um 20 C herrschten. Die Nächte waren frostfrei.

Der Anwendungszeitpunkt war rückblickend zu spät gewählt, denn bei fortdauernd trockenem Wetter hatte die erneut ergrünte Untersaat im Frühjahr schon wieder Wasser verbraucht. Die Wurzelstöcke bei Weidelgras wurde bis zur Sojasaat einen Monat später kaum noch zersetzt und behinderten die Saat. Nach Sommerhafer gab es dagegen mit der Reihenfrässaat keinerlei Probleme.

3.2.3. Untersaaten

Sowohl die Haferuntersaat in abreifende Soja (ohne jegliche Bearbeitung), als auch die Weidelgrasuntersaat (kombiniert mit Hacke) führten in 2003 wegen der frühen Ernte der Kulturen zu sehr befriedigenden Ergebnissen. Bedingt durch hohe Nährstoffhinterlassenschaften in Steinenstadt und moderate Nährstoffüberschüsse auf dem Viehwegacker, einen sonnigen, ausreichend feuchten und milden Herbst, herrschten in 2003 günstige Wachstumsbedingungen bis Anfang Dezember (siehe Klimadaten).

Die Aufwüchse zeigten im Viehwegacker eine hohe Trockenmassebildung von 13-17 dt/ha bei Sommer-Hafer und ca. 16 dt/ha TM bei Weidelgras. Auch die Stickstoffaufnahme der Untersaaten vor Winter (Schnitt am 2.12.2003), die nach CHAPOT & ROBIN (1994) mit Zuschlägen für die N-Aufnahme der Graswurzeln „korrigiert“ wurden, lagen mit ca. 45 kg N/ha nach Mais und 65 kg/ha nach Soja auf beachtlichem Niveau (siehe Abbildungen 7, 8 und 9). Dadurch konnte ein Großteil der trockenheitsbedingt überdurchschnittlich hohen N-Hinterlassenschaften vor möglicher Auswaschung geschützt werden. Wegen eingetrockneter Untersaat war das aber bei unbewässertem Mais-innovativ in Steinenstadt nicht der Fall und drückte sich danach deutlich in sehr hohen Nitratwerten im Boden aus (siehe Kapitel 3.2.5). Auf diesem Schlag wurde mit Grubber (10-15 cm) und ZF-Säaufsatz am 13.Oktober 2003 noch 84 kg/ha Winterroggen ausgesät (technisch bedingt konnte mit dem Gerät nicht mehr ausgestreut werden). Dieser entwickelte sich, nur aufgestreut und unter der Standardsaatmenge ausgebracht, vor Winter nur noch schwach. Erst im kommenden Frühjahr, als er wegen des Wasserhaushalts nicht mehr erwünscht war, fing er an, gut zu wachsen. Im März und April musste er deshalb mit Grubber und Federzinkenegge zwei Mal bearbeitet werden. Der Aufwuchs des Hafers wurde auf beiden Standorten, das Weidelgras im Viehwegacker am 1.04.04 mit einem Totalherbizid abgetötet.

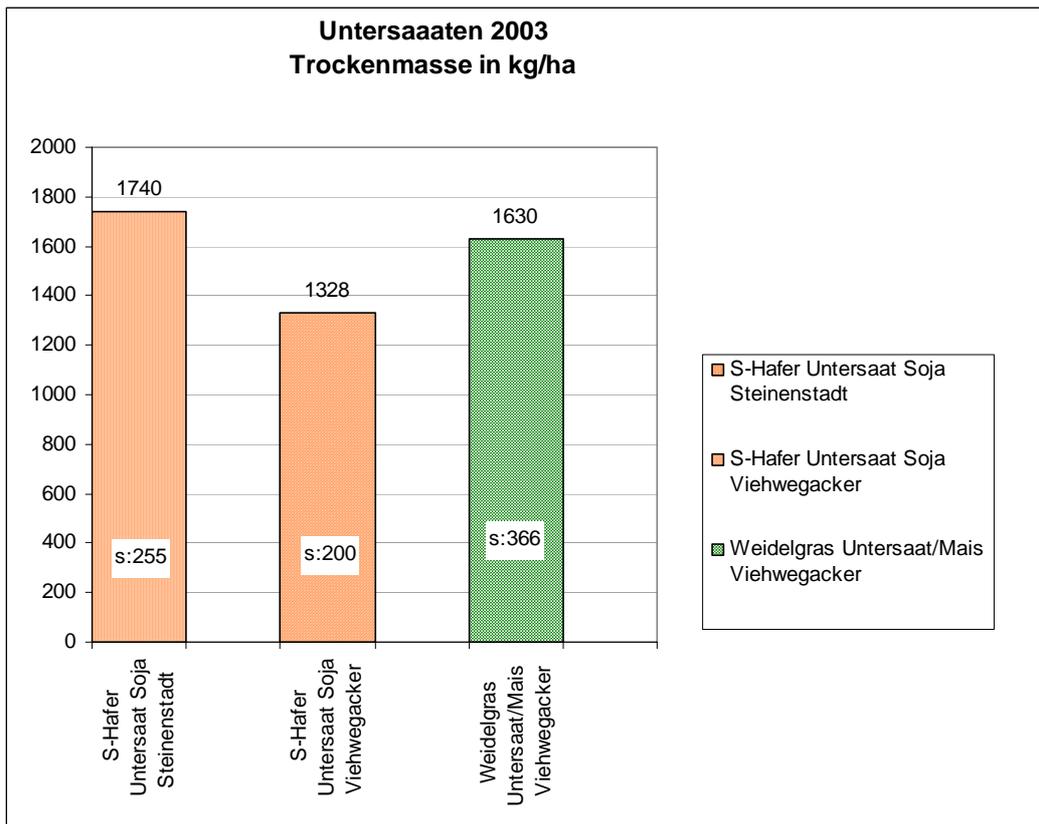


Abbildung 7: Trockenmasseerträge der Untersaaten in Körnermais und Soja mit Ernte zur Trockenmassebestimmung am 2.12.03.

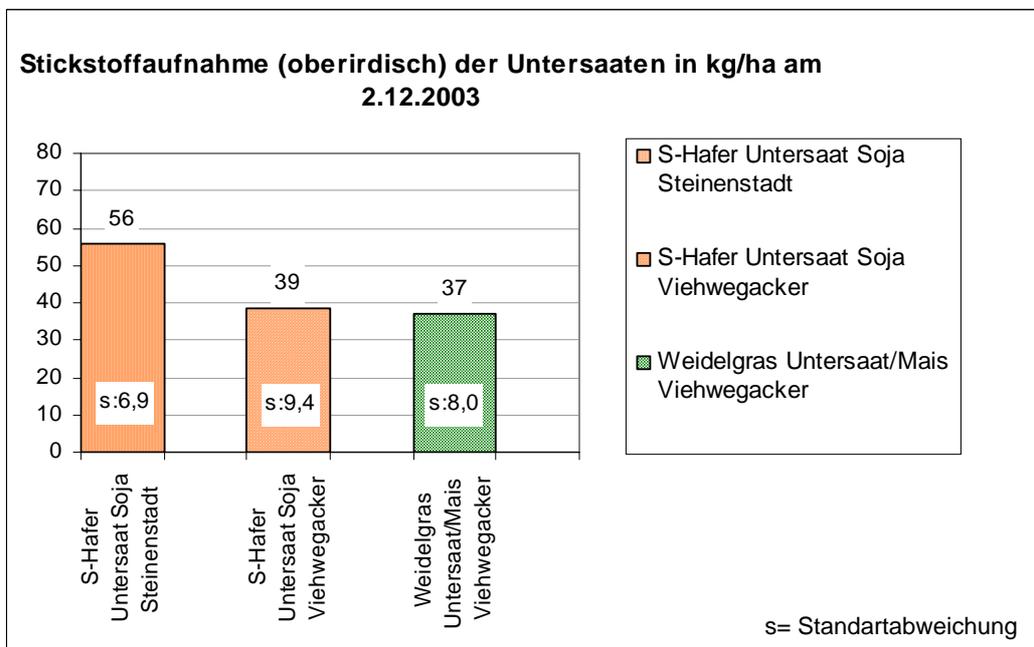


Abbildung 8: Stickstoffaufnahme der oberirdischen Biomasse der Untersaaten, 2003

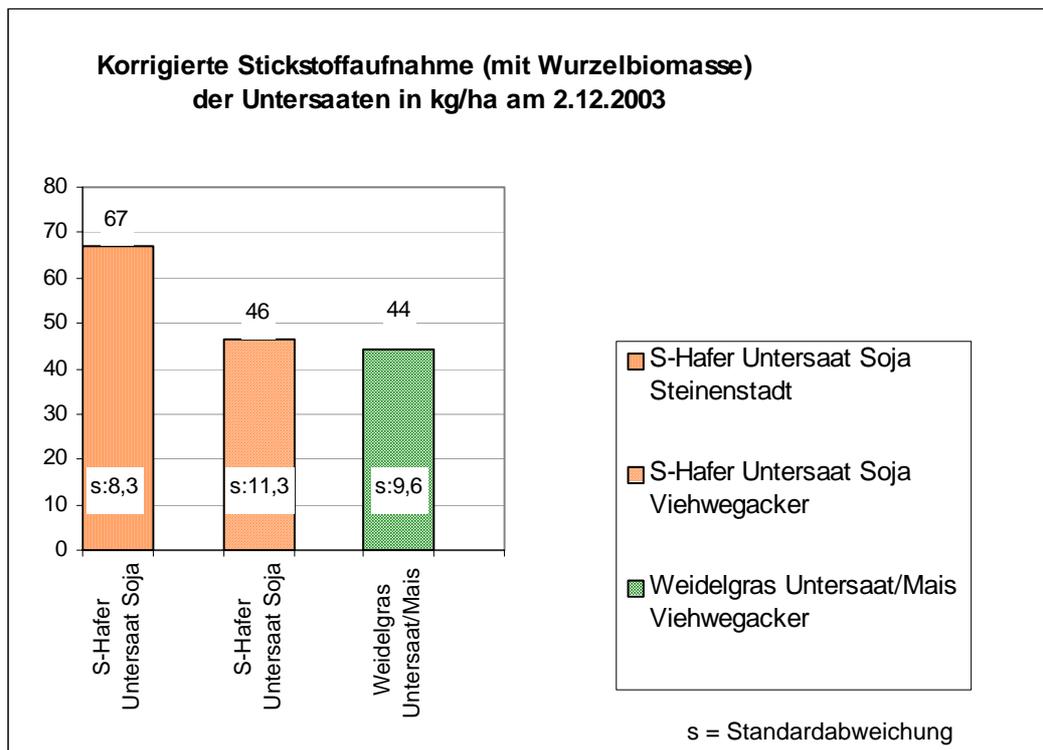


Abbildung 9: Stickstoffaufnahme der gesamten Biomasse der Untersaaten zum 1.12.2003

Betrachtet man die Trockenmasseproduktion der Untersaaten, so ergibt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Jahren 2003 und 2004, der sich auch in den Ganglinien der Nitrathinterlassenschaften (Kapitel 3.2.5) widerspiegelte. Im Jahr 2004 konnten bei weniger sonnigem Herbstwetter und einer Ernte schon am 18.11.2004 bei Hafer mit 3,5 bis 5,5 dt TM/ha nur ein Drittel bis ein Viertel der Biomasseerträge des Jahres 2003 erzielt werden. Die Haferuntersaat in Steinenstadt schnitt trotz des Verzichts auf eine Bearbeitung günstiger ab als die Drillsaat nach dem Hagelschaden auf dem Viehwegacker. Bei Weidelgras waren die Aufwüchse mit 5-9 dt TM/ha nur ein Drittel bis halb so stark wie in 2003, obwohl für die Untersaat infolge des Hagelschadens mit Zerstörung eines großen Teils der Blattmasse schon ab Mitte Juli äußerst günstige Lichtverhältnisse gegeben waren (Abbildung 10).

N-Entzüge der Untersaaten vor Winter: Entsprechend den Biomasse-Aufwüchsen waren die N-Entzüge vor Winter deutlich geringer. Während die Haferuntersaaten im Jahr 2003 den Böden zwischen 46 und 67 kg N/ha entzogen hatten, waren es im Jahr 2004 bis Mitte November 12 und 21 kg N/ha. Für Weidelgras betrug die N-Entzüge durch die Untersaat bis Mitte November 14 (Steinenstadt) und 25 kg /ha (Viehwegacker). Für das Jahr 2004 wurden die Entzüge wegen noch ausstehender Analysedaten anhand des Biomasse Aufwuchses und der N-Gehalte des Vorjahres vorläufig geschätzt.

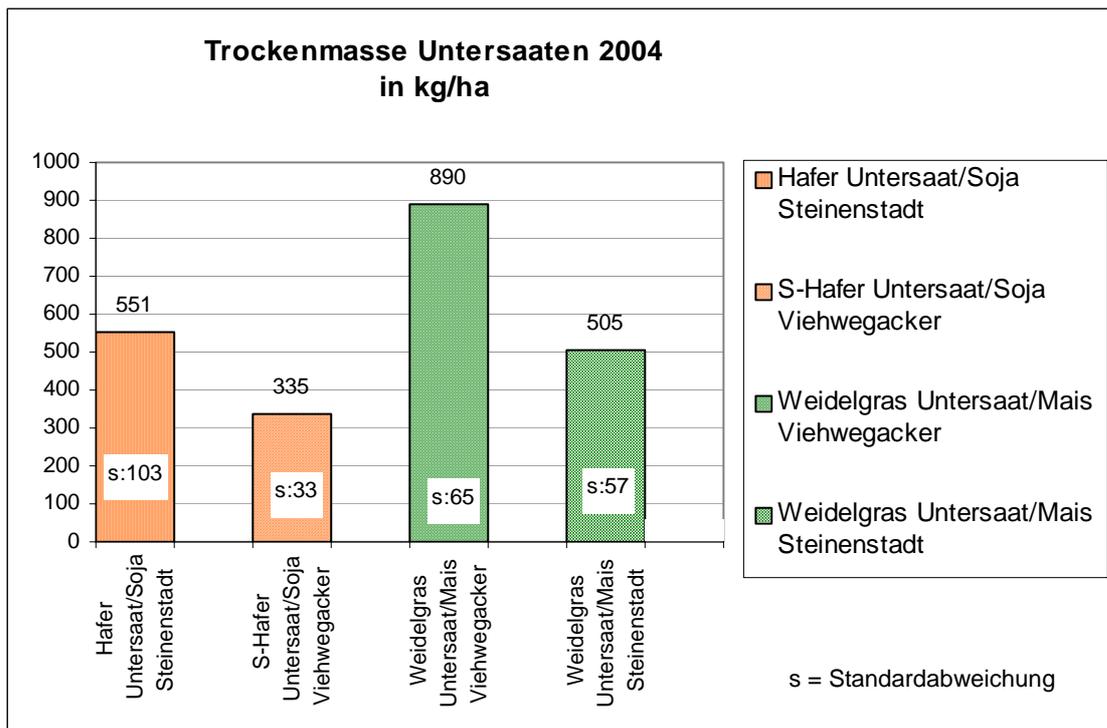


Abbildung 10: Trockenmasseerträge der Untersaaten in Körnermais und Soja mit Ernte zur Trockenmassebestimmung am 18/19.11.2004

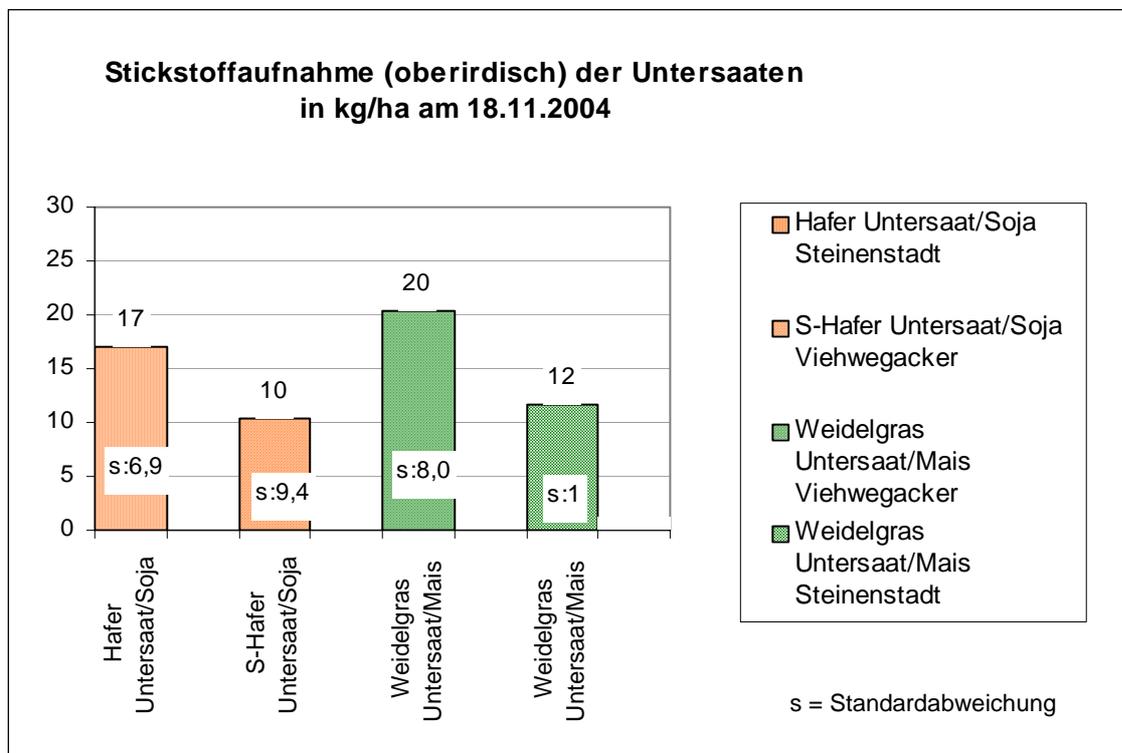


Abbildung 11: Stickstoffaufnahme der oberirdischen Biomasse der Untersaaten zum 18.11.2004.

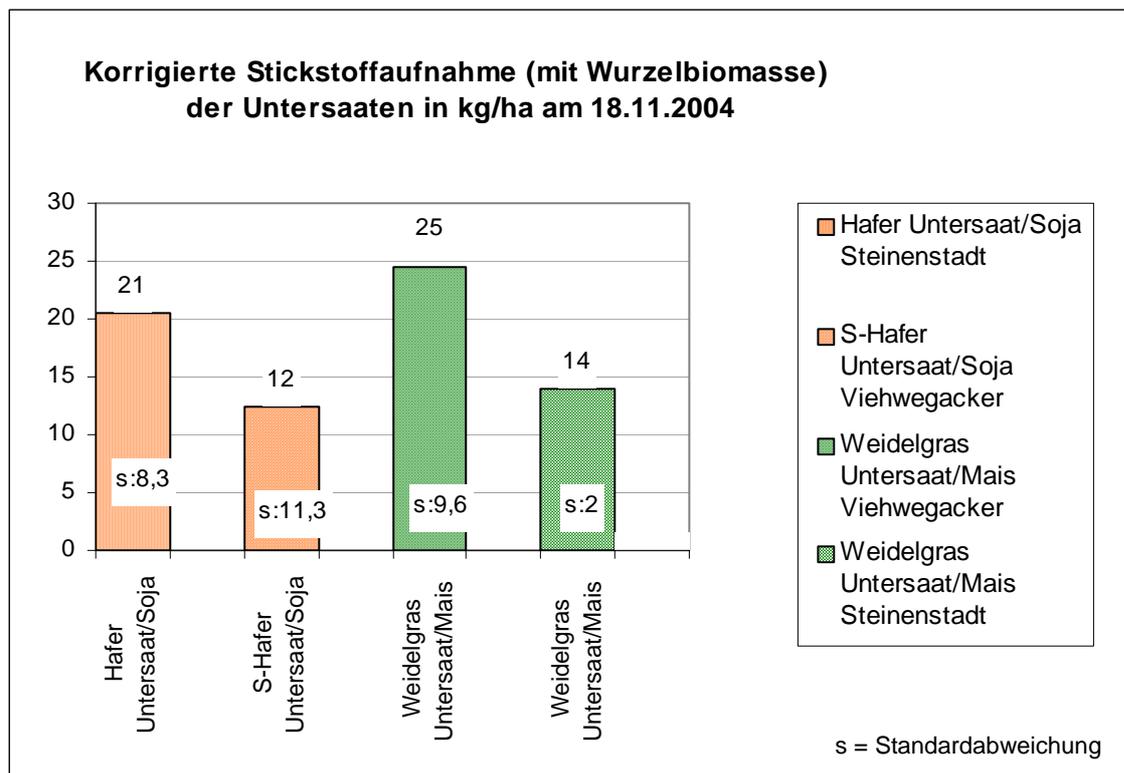


Abbildung 12: Stickstoffaufnahme der gesamten Biomasse der Untersaaten zum 18.11.2004.

Fazit: Als äußerst erfolgreich kann die Untersaat von Sommerhafer in die abreifenden Sojabestände gewertet werden. In der Fruchtfolge sollte damit auch dem Auftreten von Sklerotinia bei Leguminosen vorgebeugt werden. Bei diesem Vorgehen konnte man sich die Fähigkeit des Hafer zu Nutze machen im ausgehenden Sommer auch ohne Bodenbearbeitung (und dadurch eventuell ausgelöster Mineralisierungsvorgänge) im Schatten der abreifenden Körnerleguminose relativ sicher zu keimen und anzuwachsen. Durch eine, nach Praktikererfahrung im Elsass frühe Aussaat noch im August lässt sich dadurch Zeit gewinnen und noch eine befriedigende Biomasseproduktion erreichen (pers. Mitteilung Herrn Joseph Schmerber aus Rixheim). Im Versuch ließ sich mit Sommerhaferuntersaat in Soja stets ein befriedigender Winterbestand etablieren, der allerdings in der Frosthärte über dem von Senf einzustufen ist, so dass im Rheingraben nicht immer ein vollständiges Abfrieren erzielt werden kann. Eine Herbizidapplikation noch im März wird daher zur Wasserersparnis empfohlen. Mit der Haferuntersaat konnte ein exzellenter Bodenzustand erreicht werden, so dass die Bestellung des Körnermais in einem Arbeitsgang nach Soja erfolgen konnte.

Weidelgrasuntersaaten erwiesen sich bei ausreichenden Niederschlägen nach der Saat auch als sehr effizient, was den Aufwuchs und die N-Aufnahme anbelangt. Der Erfolg der Weidelgras - Untersaat ist stark wetterabhängig. Ein sicherer Aufgang kann bei der oft auftretenden Sommertrockenheit im Rheingraben nur über Bewässerung sichergestellt werden. Mit der Hacke ausgebracht, lassen sich Synergieeffekte in der Unkrautbekämpfung und Bestandesführung erzielen, die auch bei einem Verlust alle drei bis vier Jahre die Untersaat noch rechtfertigen. Soll, wie in den Entscheidungsregeln für diesen Versuch gefordert, nur der Grubber im Winter folgen, war das mit der angewandten Technik auf deutscher Seite mit Problemen für die Sojanachfrucht verbunden (Wasserverbrauch und fehlender Bodenschluss).

Mit Reihenfrässaat sind weniger Probleme für die Nachfrucht zu erwarten, bei Saat nach Soja-Haferuntersaat ohne zwischenzeitliche Bearbeitung traten keinerlei Probleme auf.

Die Stoppelsaat von Roggen Mitte Oktober führte zu unbefriedigenden Ergebnissen (Anregung der Mineralisation und sehr geringer Aufwuchs noch vor Winter.)

3.2.4. Erträge der Hauptkulturen

3.2.4.1. Anbausysteme Körnermais 2003

Bei der Betrachtung der Körnermaiserträge für das erste Versuchsjahr ist zu beachten, dass im ersten Versuchsjahr noch alle Parzellen gepflügt worden waren und die Differenzierung der Anbausysteme sich lediglich auf die verringerte Herbizidaufwandmenge und die Untersaat beschränkte.

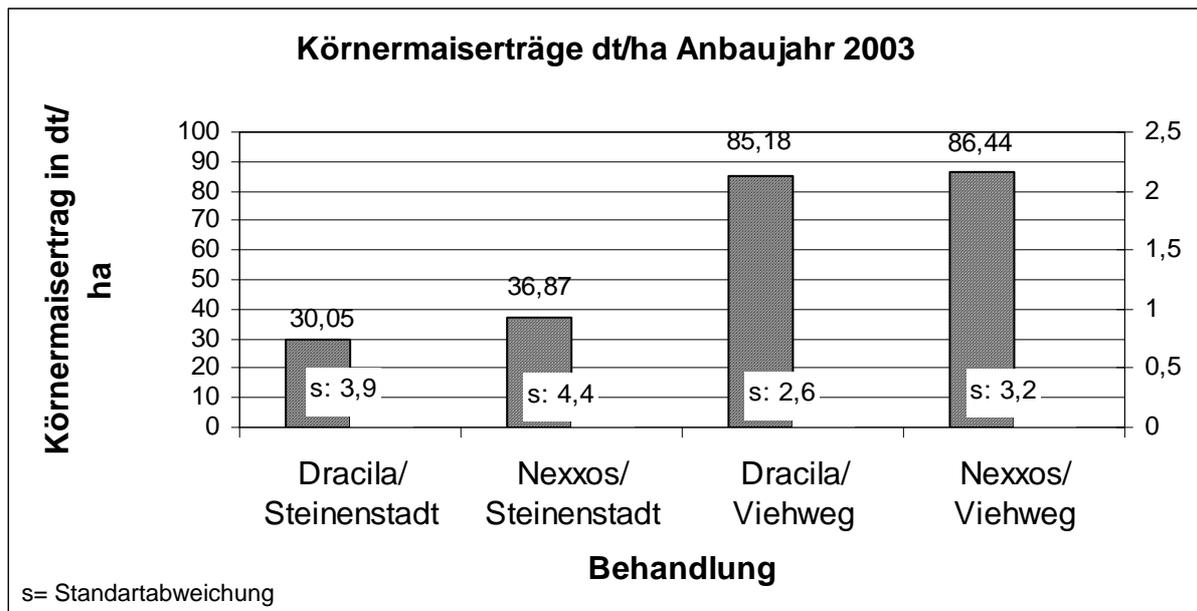


Abbildung 13: Körnermaiserträge der Sorten *NEXXOS* und *DRACILA* auf den Standorten Steinestad und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2003

Die Erträge des Mais waren in 2003 geringfügig höher für die Variante „Mais-innovativ“ (Abbildung 13). Die leichten Ertragsvorteile bei Mais für die innovative Variante, sowohl auf dem Standort Viehwegacker mit Zusatzbewässerung, als auch auf dem durch Trockenheit geschädigten Standort Steinestad, sind vermutlich auf die frühreifere Sorte *NEXXOS* dieses Systems zurückzuführen. Sie folgten damit einem Trend, der in diesem Trockenjahr allgemein beobachtet werden konnte (Maistagung Emmendingen-Hochburg vom 16.02.2004). Die kurzfristig aufgetretenen Herbizidverbrennungen bei der Sorte *NEXXOS* haben das Ergebnis vermutlich nicht mehr beeinflusst.

Aufgrund der sehr heißen und trockenen Verhältnisse im Jahr 2003 betragen die Restfeuchtegehalte trotz der sehr frühen Ernte nur noch 16,3 bis 19,3% für die Sorte *NEXXOS* und 21,7 bis 23,7% für die Sorte *DRACILA* (Abbildung 14).

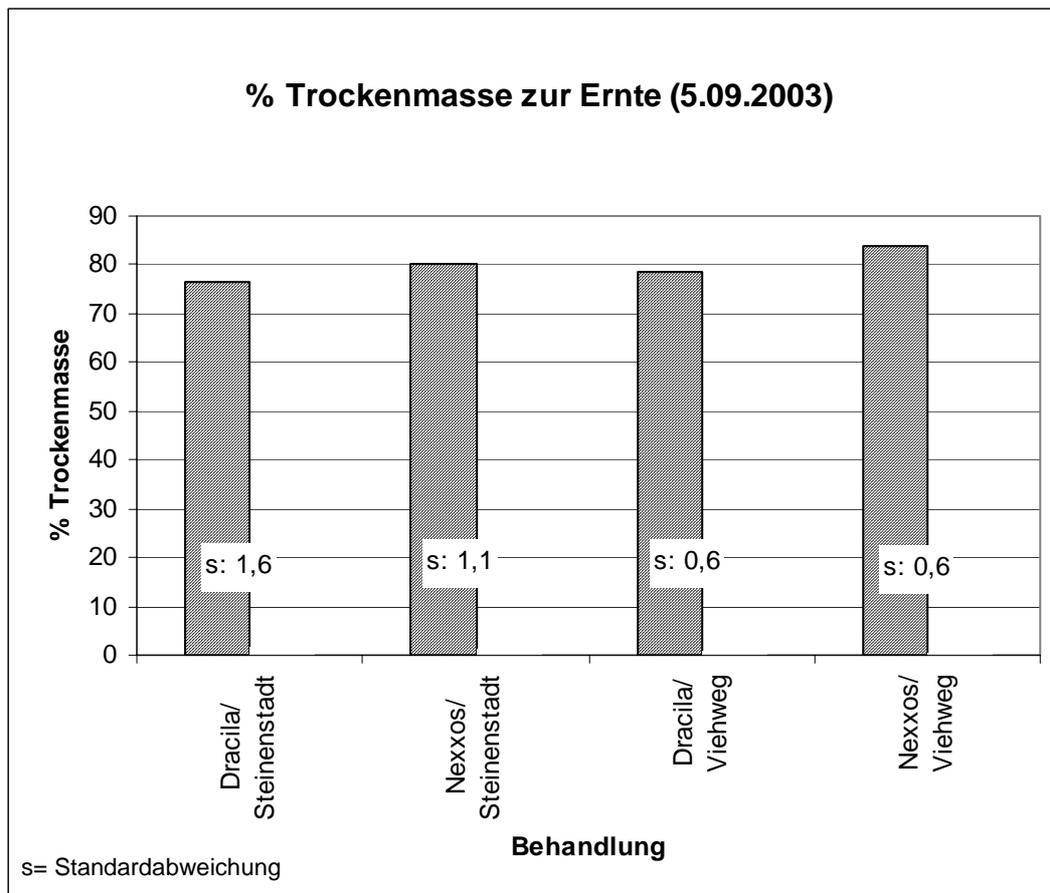


Abbildung 14: Trockenmassegehalte der Maiskörner der Sorten *NEXXOS* und *DRACILA* auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2003

Ertragsphysiologische Parameter zur Ernte 2003, soweit sie noch nicht in den Boniturübersichten zur Bestandesentwicklung in Kapitel 3.1.2 aufgeführt sind, finden sich in der nachfolgenden Tabelle. Sie zeigen sehr deutliche Reaktionen des Mais auf den extremen Trockenstress und die etwas höhere Toleranz der frühreiferen Sorte *NEXXOS*.

Tabelle 17: Übersicht zu ertragsphysiologischen Messungen der Körnermaisernte in Steinenstadt und im Viehwegacker*) im Jahr 2003

Ertragsphysiologische Parameter Körnermaisernte 2003	Standort Steinenstadt		Standort Viehwegacker	
	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)
Kolben/Pflanze	1,0	1,0	1,0	1,0
Kolbenlänge (cm)	12,1	12,4	18,0	17,8
Reihen/Kolben	13,4	13,8	14,9	14,9
Kornzahl/Kolben	221	296	407	491
Tausendkorngewicht in g (lufttrocken)	165	132	220	151

*) Trockenjahr; Standort mit 140 mm Zusatzbewässerung

3.2.4.2. Anbausysteme Körnermais 2004

Im zweiten Anbaujahr konnten die Anbausysteme Mais innovativ und Mais Daueranbau nach guter fachlicher Praxis erstmals mit allen Systemkomponenten gegeneinander geprüft werden. Das Ergebnis wurde jedoch auch in 2004 wieder durch einen massiven Hagelschaden auf dem Standort Viehwegacker gestört. Die Resultate auf diesem Standort sind deshalb nur mit gewissen Einschränkungen als repräsentativ zu bewerten. Bemerkenswert war in diesem Zusammenhang die Fähigkeit des Mais, trotz massiver Schäden an Blatt und Stängel noch einen relativ akzeptablen Ertrag zu liefern (bis auf die letzten zwei kleinen Fahnenblätter, die noch nach dem Hagel gebildet wurden, waren alle Blätter stark zerfetzt und hingen teilweise nur noch als Fahnen an den Maispflanzen). In den nachfolgenden zwei Abbildungen und in Tabelle 18 sind die Erträge (mit handelsüblichen 86% Trockenmasse), die Trockenmassegehalte der Körner zur Ernte und die Parameter der ertragsphysiologischen Messungen, soweit sie noch nicht in den Boniturübersichten zur Bestandesentwicklung in Kapitel 3.1.2 aufgeführt sind, dargestellt.

Der Erntetermin der Versuchspartellen war früh gewählt worden, weil die stark verletzten Maispflanzen auf dem Viehwegacker einem hohen Risiko durch Stängelfäule ausgesetzt waren und die verletzten Kolben bei später Ernte zu verpilzen drohten (siehe auch Bonituren des Fusariumbefalls zur Ernte in Tabelle 16). Der Drusch durch den Landwirt in Steinenstadt (ohne Hagelschaden) erfolgte später, die Ertragsschnitte (ca. vier mal 25 m² pro Behandlung) wurden in allen Varianten zeitgleich durchgeführt.

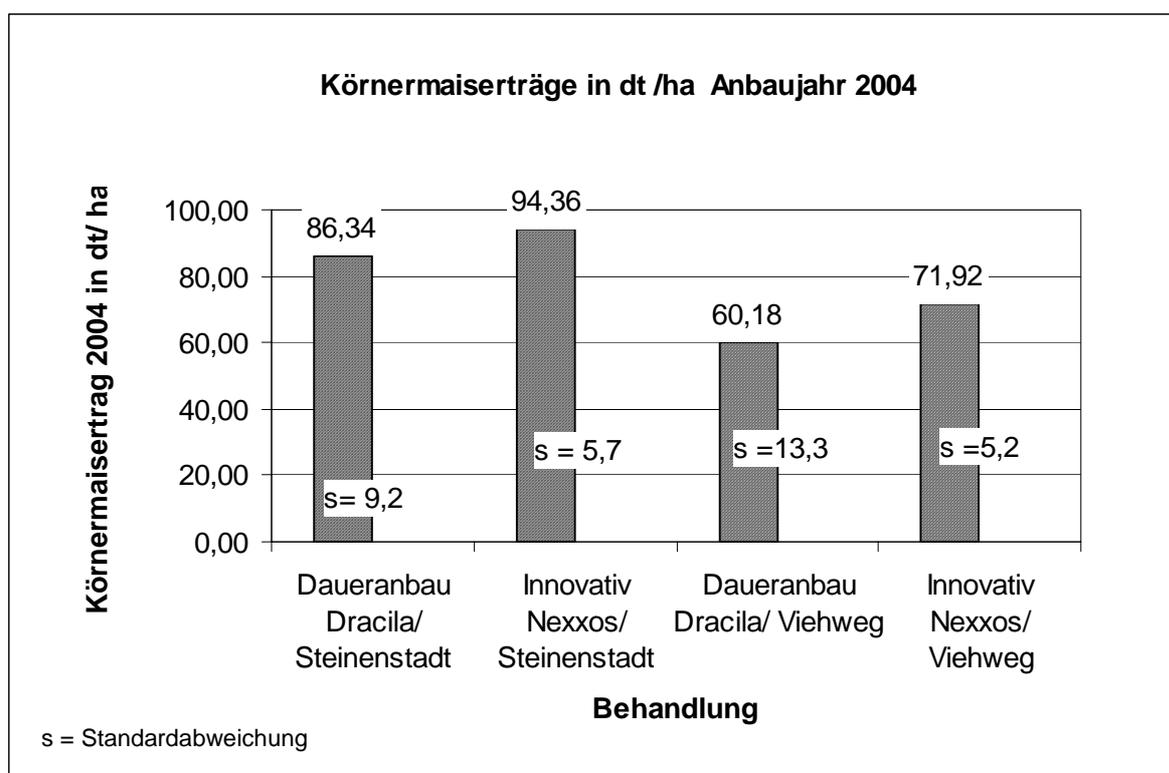


Abbildung 15: Körnermaiserträge der Anbausysteme Mais innovativ mit Sorte NEXXOS und Mais-Daueranbau mit Sorte DRACILA im Jahr 2004.

Bedingt durch die etwas vorgezogene Ernte der Versuchspartellen waren die Feuchtegehalte zur Ernte des Mais in 2004 mit 26,5 bis 30,2% bei der Sorte *NEXXOS* und 31,2 bis 32,5% bei der Sorte *DRACILA* noch wesentlich höher als in 2003; sie sind in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

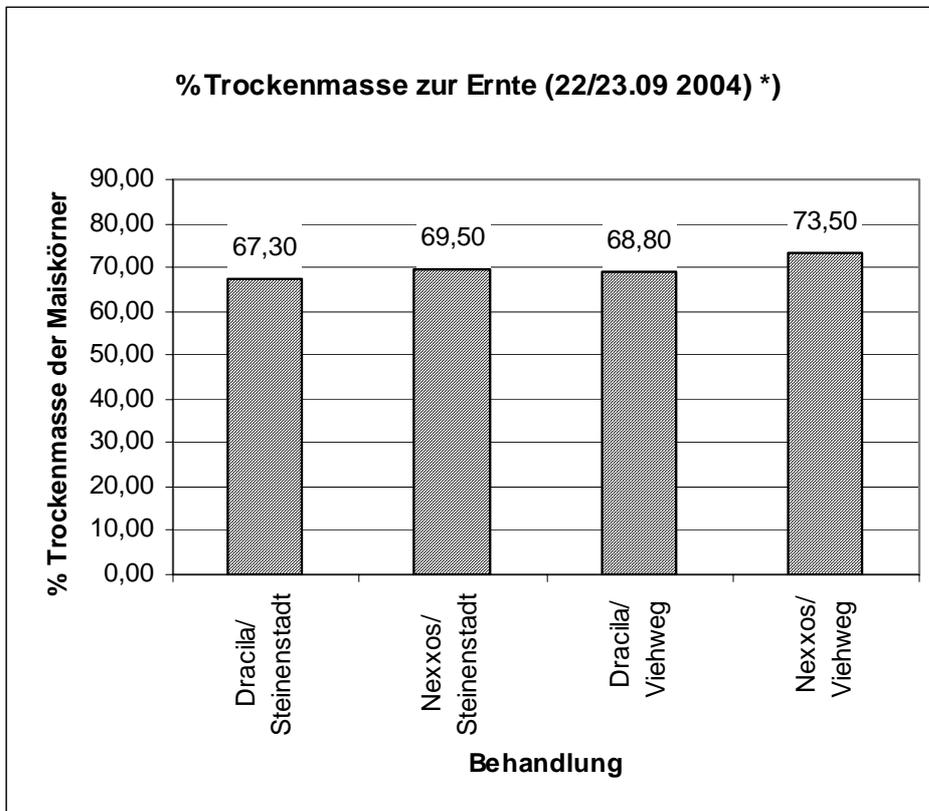


Abbildung 16: Trockenmassegehalte der Maiskörner der Sorten *NEXXOS* und *DRACILA* auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker (mit Bewässerung) im Jahr 2004.

Tabelle 18: Übersicht zu ertragsphysiologischen Messungen der Körnermaisernte in Steinenstadt und im Viehwegacker*) im Jahr 2004.

Ertragsphysiologische Parameter Körnermaisernte 2004	Standort Steinenstadt		Standort Viehwegacker*)	
	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)	Monomais (Dracila)	Mais innovativ (Nexxos)
Kolben/Pflanze	1,0	1,0	1,0	1,0
Kolbenlänge (cm)	16,0	16,0	12,5	13,3
Kornzahl/Kolben	346	380	223	264
Tausendkorngewicht in g (lufttrocken)	323	259	332	246
Biomasse Restpflanze in dt TM/ha	80,7	87,7	70,3	68,0
Gesamtbiomasse in dt TM/ha	168,1	178,5	130,5	130,6

*) Der Bestand Viehwegacker 2004 war durch ein Hagelunwetter am 8. Juli erheblich geschädigt worden

Die Kolbenlänge war bei *DRACILA* in 2004 auf beiden Standorten etwa gleich groß wie bei der Sorte *NEXXOS*. Deutliche Unterschiede ergaben sich wegen des Hagelereignisses für die Standorte. Die Kolben im hagelgeschädigten Mais auf dem Viehwegacker waren gegenüber Steinenstadt um 2,7 bis 3,5 cm kürzer, wobei die etwas spätere Sorte (*DRACILA*) deutlicher reagierte als *NEXXOS*. Dies deutet auf eine phänologisch früher aufgetretene Konkurrenzsituation durch den physiologischen Sink früh angelegter Körner gegenüber Befruchtung und Kornbildung an der Kolbenspitze hin. Allerdings konnte die Sorte *DRACILA* die geringere Kolbenlänge und Kornzahl noch durch die sortentypische Bildung eines höheren Tausendkorngewichtes kompensieren. Es war bei *DRACILA* um ca. 20 % höher als bei der Sorte *NEXXOS*. Dies führte bei der Einzelpflanzenauswertung zu einem um 7-11 % höheren Ertrag pro Einzelpflanze für die Sorte *DRACILA*. Vergleicht man jedoch die Ertragsleistung des Gesamtbestandes, so hatte das Anbausystem Mais innovativ mit *CULTAN* Düngung, Reihenfrässaat und Untersaat mit 94,36 dt/ha in Steinenstadt und 70,92 dt/ha im Viehwegacker einen jeweils höheren Ertrag als das System Maisdaueranbau mit Pflug mit 86,34 dt/ha in Steinenstadt und 60,18 dt/ha im Viehwegacker.

Der Mehrertrag mit der Sorte *NEXXOS* kam über die höhere Pflanzenzahl pro ha mit der innovativen Variante zustande. Sie betrug in Steinenstadt +15 % und im Viehwegacker +13 %.

Insbesondere auf dem Standort Steinenstadt war der Aufgang aufgrund ungleicher Ablagetiefe und damit verbundenen Problemen beim Aufgang nicht ganz befriedigend und blieb mit ca 79.000 Pflanzen/ha deutlich unter der angestrebten Saatstärke von 85.000 Pflanzen/ha zurück. Im Gesamtbiomasseertrag / ha (Korn plus Restpflanze zum Zeitpunkt der Ernte) war auf dem Standort Steinenstadt die innovative Variante mit 17,8 t TM/ha gegenüber dem Maisdaueranbau 16,8 t TM/ha ebenfalls überlegen, während auf dem durch Hagel geschädigten Standort Viehwegacker keine Unterschiede gemessen werden konnten. Nimmt man noch den Ertrag der Untersaat hinzu (5 dt/ha TM in Steinenstadt und 9 dt/ha TM im Viehwegacker), so war das innovative System in Bezug auf die Körnerproduktion besser oder gleich. Bei der Biomasseleistung war es in allen Fällen überlegen.

Aufschluss über die Effizienz der *CULTAN*-Düngung erlaubt eine nähere Betrachtung der Messungen zur Ertragsphysiologie. Sieht man von den absoluten Unterschieden durch Trockenheit und Hagel einmal ab, so zeigen die sortentypischen Relationen dieser Parameter über die zwei Jahre mit unterschiedlicher N-Düngung in etwa das gleiche Muster. Sowohl die Parameter für die Jugendentwicklung (Kolbenlänge und Kornzahl pro Kolben) als auch der Parameter für die Abreifephase (Tausendkorngewicht) zeigen bei absoluten Unterschieden das gleiche Verhalten und lassen auf eine ebenbürtige Versorgung der Maispflanzen mit der *CULTAN*-Düngung über den ganzen Vegetationszeitraum hinweg schließen. Sie bestätigen damit den aus der Beobachtung der Bestände entstandenen Eindruck, der durch den besseren Kornertrag und die noch ausgeprägteren Vorteile bei den Erträgen an Gesamtbiomasse noch unterstützt wird.

Fazit. Betrachtet man das Fruchtfolglied Mais des innovativen Systems, so zeigte es, bezogen auf die Erträge im zweiten Jahr, deutliche Vorteile gegenüber der konventionellen Praxis des Daueranbaus.

3.2.4.3. Soja 2003

Die Sojaerträge fielen nur auf dem bewässerten Standort Viehwegacker (19,1 dt/ha) einigermaßen befriedigend aus. Es kam jedoch auch hier durch Temperaturen von teilweise deutlich über 30 °C während der Blüte zum Absterben von Blüten und einem geringeren Hülsenansatz. In Steinenstadt führte die Trockenheit in Verbindung mit einer sehr starken Verunkrautung mit Weißem Gänsefuß zu einem Totalausfall der Soja (2,9 dt/ha). In den Abbildungen 17 und 18 und in Tabelle 22 sind die Ertragsdaten für 2003 wiedergegeben.

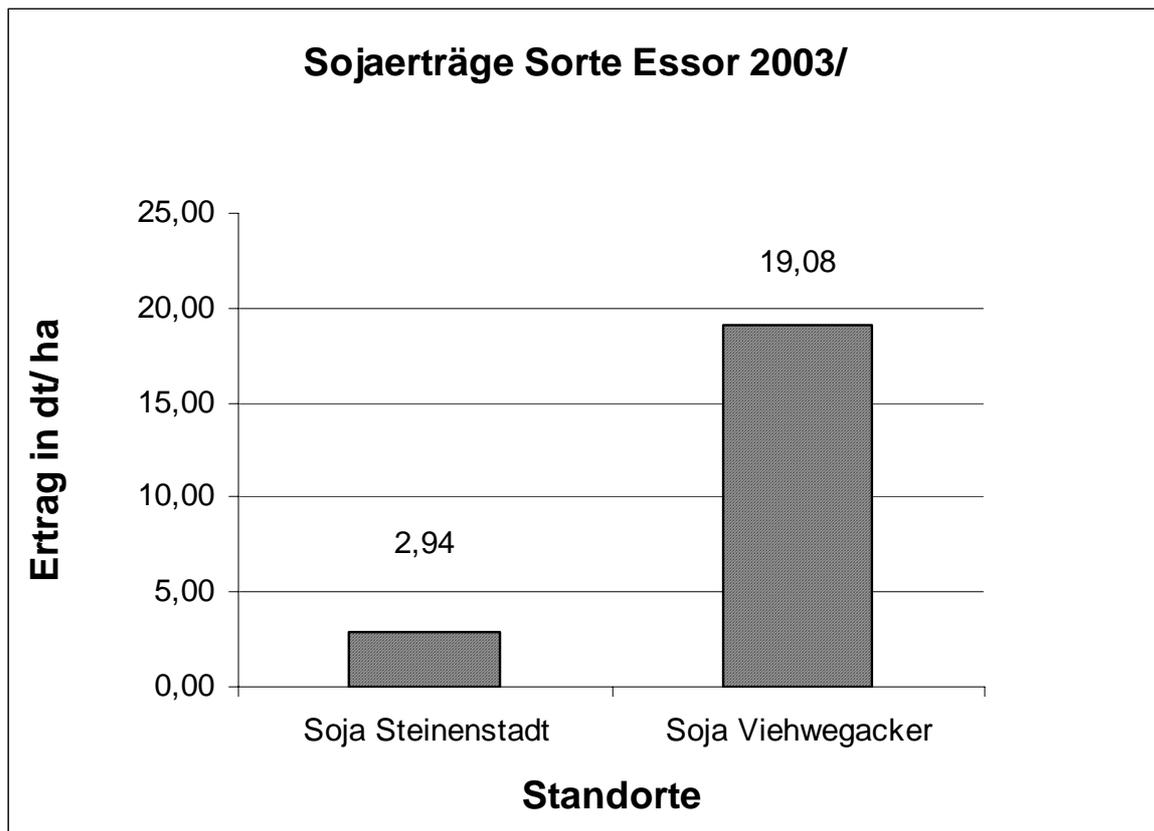


Abbildung 17: Sojaerträge der Sorte Essor auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker im Jahr 2003.

Tabelle 19: Ertragsphysiologische Parameter zur Sojaernte 2003

Ertragsphysiologische Parameter	Standort Steinenstadt*)	Standort Viehwegacker
Sojaernte 2003	Soja , Sorte ESSOR, Reifegruppe 00	
Variable	Soja , Sorte ESSOR, Reifegruppe 00	
Bestandesdichte (zur Blüte)	608 180	628 600
Anzahl Hülsen/Pflanze	3,36	15,78
Körner/Hülse	1,30	2,15
Tausendkorngewicht in g (lufttrocken)	136,3	135,3

*) Der Bestand Steinenstadt litt unter starker Trockenheit und extremer Verunkrautung mit W.Gänsefuß
Der Standort Viehwegacker erhielt eine Zusatzbewässerung

Für das Jahr 2004, in dem erstmals auch bei Soja alle Effekte des Anbausystems, inklusive der Bodenbearbeitung nur mit Grubber und Federzinkenege nach Weidelgrasuntersaat zum Tragen kamen, liegen aufgrund des Hagelunwetters mit völliger Zerstörung des Bestandes Viehwegacker nur Ertragsdaten für den Standort Steinenstadt vor. Sie waren mit ca. 31 dt/ha (91 % TM) noch akzeptabel, litten aber sichtlich durch den mit 58 % der angestrebten Bestandesdichte unbefriedigenden Aufgang (siehe Erläuterungen in Kapitel 3.2.1) und durch erneut aufgetretene, starke Verunkrautung des Bestandes in Steinenstadt mit sehr hohem Unkrautdruck durch typische Unkräuter der Sommerungsfruchtfolgen (siehe Ausführungen in auch Kapitel 3.2.2). In den Abbildungen 19 und 20 und in Tabelle 23 sind die Ertragsdaten für 2003 wiedergegeben.

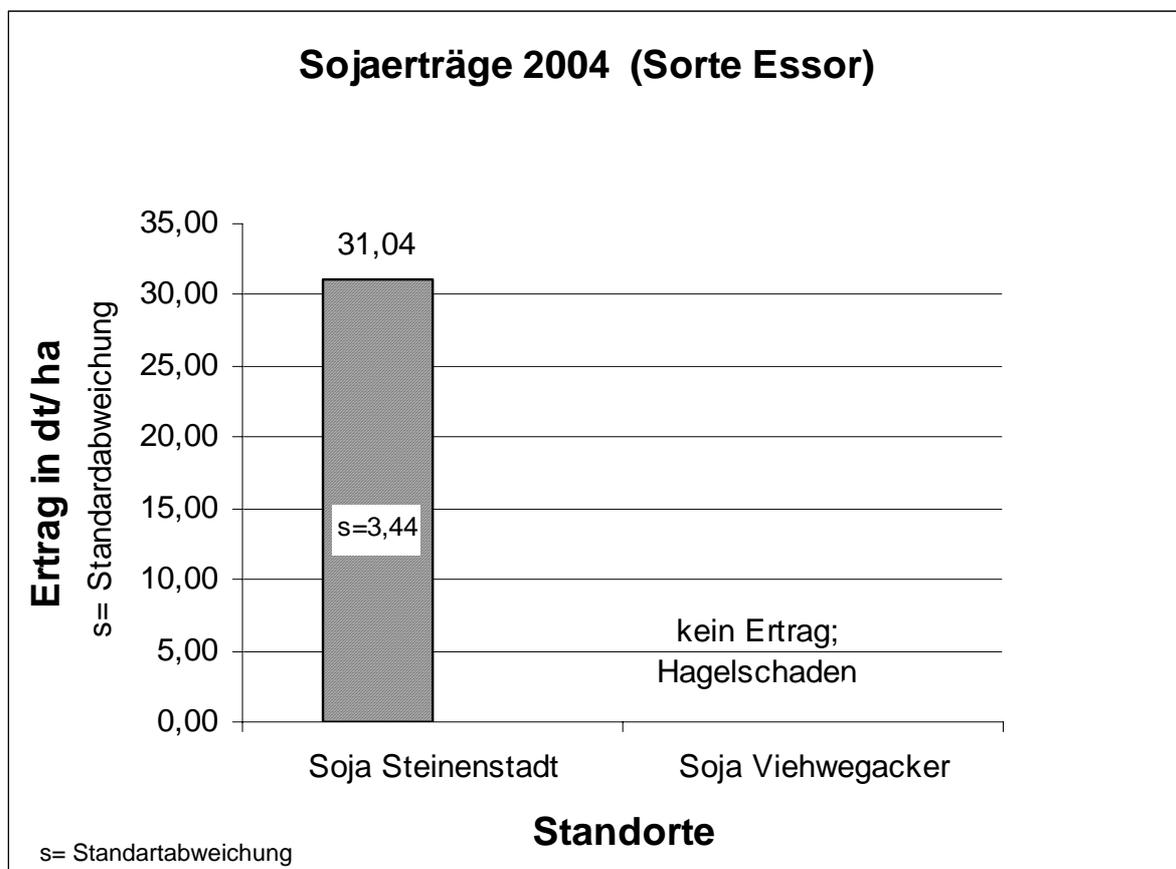


Abbildung 18: Sojaerträge der Sorte Essor auf den Standorten Steinenstadt und Viehwegacker im Jahr 2004.

Tabelle 20: Ertragsphysiologische Parameter zur Sojaernte 2003

Ertragsphysiologische Parameter Sojaernte 2004	Standort Steinenstadt	Standort Viehwegacker
Variable	Soja , Sorte ESSOR, Reifegruppe 00	
Bestandesdichte Pflanzen/ha	358 800	-
Anzahl Hülsen/Pflanze	21,2	-
Körner/Hülse	2,0	-
Tausendkorngewicht in g (lufttrocken)	229,5	-

*) Der Bestand Viehwegacker 2004 wurde durch ein Hagelunwetter am 8. Juli vernichtet

3.2.5. Nitratganglinien in den Körnermaisvarianten und bei Soja

Die bisherigen Erhebungen zum Nitratverlauf im Boden zeigen für das Jahr 2003 hohe Mineralisierungsraten der Böden (Abbildung 19). Auf dem Standort Steinenstadt wurden zwischen dem 13. März und dem 27. Mai teilweise weit über 100 kg N/ha mobilisiert. Die höheren Mineralisierungsraten in der Variante „Mais innovativ“ in Steinenstadt sind vermutlich Folge des vorangegangenen Körnerleguminosenanbaus. In den anderen Behandlungen war die Vorfrucht Körnermais. Die beobachteten N_{min} Werte im Herbst 2003 lassen erkennen, dass durch die Winterbegrünungen mit relativ hoher Trockenmassebildung wenigstens ein Teil der trockenheitsbedingt überdurchschnittlich hohen N-Hinterlassenschaften vor Auswaschung geschützt wurde. Dies war allerdings bei unbewässertem „Mais-innovativ“ in Steinenstadt nicht der Fall, wo die Untersaat vertrocknete. Auf diesem Schlag wurde am 13. Oktober mit Grubber (10-15 cm) noch Winterroggen ausgesät, der sich allerdings vor Winter nur noch schwach entwickelte und sogar zu erhöhten N_{min} Werten führte. Die Trockenmasseerträge der geglückten Untersaaten entzogen dem Boden mit N-Aufnahmen von 46 und 67 kg/ha bei Hafer nach Soja in Steinenstadt bzw. im Viehwegacker und von 44 kg/ha bei Weidelgras im Viehwegacker vor Winter noch beachtliche Reststickstoffmengen. Wie in der folgenden Abbildung zu erkennen, wirkten sich die Untersaaten deutlich auf die Nitrathinterlassenschaft und die Verlagerung aus. Auch nach unterbliebener Sojaernte (Abmulchen mit viel Unkraut-Biomasse in Steinenstadt) war mit der Untersaat ohne Bearbeitung kein Mineralisierungsschub zu beobachten. Gleiches gilt auch für den Standort Viehwegacker, wo die Werte deutlich abnahmen, während in Steinenstadt ohne Weidelgras und nach Grubbereinsatz im Oktober (Variante „Mais-innovativ“; Untersaat vertrocknet) die N-Abnahme gegenüber der Erhebung nach der Ernte (vermutlich auch schon Austrag aus dem oberen Profil; siehe Kapitel Lixim-Modellierung) deutlich geringer ausfiel.

Die Werte der N_{min} -Bestimmungen für das Jahr 2004 sind bis zum Termin der späten N_{min} -Messungen für die Düngerbemessung bei Mais in Abbildung 20 dargestellt. Sie zeigen ein relativ hohes frühjährlicher Mineralisationspotenzial nach Soja („Mais-innovativ“ in 2004). Nach dem Abspritzen und komplettem Verzicht auf eine Bearbeitung bzw. nur oberflächlichem Mulchen der Rückstände in Viehwegacker („Mais-innovativ“/ Soja) ist in den Parzellen mit gelungener Untersaat eher ein Rückgang des N_{min} zu beobachten (was durch die Zersetzung der Rückstände der Zwischenfrüchte erklärt werden kann). Bei der N_{min} -Bestimmung Ende Mai traten hohe Standardabweichungen vom Mittelwert (hier nicht aufgeführt) in den Monomaisvarianten auf. Sie waren mit $s=14,3$ im Oberboden fast doppelt so hoch wie in der Reihenfrässaatvariante, wo es zu einer tieferen Durchmischung und wohl auch besseren

Auflösung des Düngers kam ($s=8,6$). Es muss vermutet werden, dass die Probenahme durch noch nicht aufgelöste Düngerkörner beeinflusst wurde.

Durch die Reihenfrässaat mit Düngung in den 35 cm breiten Frässtrom wurden die N_{\min} -Probenahmen zur Düngerbedarfsermittlung nach später N_{\min} -Methode aufgrund der ungleichen Verteilung der Dünger in den Gassen erschwert und machten eine doppelte Beprobung in den Reihen und im ungedüngten Teil in den Gassen notwendig (siehe Schema zur Beprobung in Anhang 2). Die Konzentrationen wurden zur Berechnung der Düngermengen nach dem Flächenanteil des Frässtreifens (35 cm) und der ungedüngten Gasse (40 cm) gewichtet.

Noch komplizierter wurden die Beprobungsverhältnisse nach der *CULTAN* Depot-Düngung im Jahr 2004. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde bei der Beprobung zum Ende der Blüte in dieser Variante ebenfalls doppelt beprobt und auch noch auf Ammonium analysiert. Wie die Zusammenstellung der Ergebnisse zur Berechnung eines Nitratwertes für diese Behandlungen zeigt (Tabellen 24 und 25), konnte das Depot auf dem Standort Viehwegacker nicht immer getroffen werden, wodurch sich sich folgerichtig auch die gleich niedrigen Gehalte wie in den jeweils benachbarten, völlig ungedüngten Reihen ergaben. Dies lässt den Schluss zu, dass nicht nur der Beprobungsaufwand mit dieser Technik bedeutend zunehmen würde, sondern dass sie bei diesem Düngeverfahren an die Grenzen des Machbaren stößt oder keine aussagekräftigen Ergebnisse mehr zu liefern vermag (Anmerkung: detaillierte Untersuchungen zu diesem Themenkomplex wären bei Einführung dieser Düngetechnik unabdingbar). Abbildung 19 und 20 zeigen die Verläufe der Nitratgehalte für das Jahr 2003 und für 2004 bis zum Termin nach der Ernte der Hauptkulturen.

Tabelle 21: Profil der N_{\min} -Bodenanalysen nach Abschluss der weiblichen Blüte in Steinenstadt (Behandlung: Mais innovativ, Reihenfrässaat und Anwendung von *CULTAN* Depotdüngung), Mittel aus 4 Wiederholungen.

Profilabschnitt Bodentiefe in cm	NO_3-N /ha Gasse ungedüngt	NO_3-N /ha Gasse mit Düngerdepot	Mittelwert mit/ohne Düngung	NH_4-N /ha <i>CULTAN</i> - Gasse	Gesamt /ha nur <i>CULTAN</i> Gasse
0-30	12,5 s: 1,9	101,3 s:46,1	56,9 s:24	32,8 s:35	134,0 s:66
30-60	6,5 s: 1,0	14 s: 3,1	10,3 s: 1,4	7,3 s: 3,0	21,3 s: 5,6
60-90	3,8 s: 1	8,0 s: 2,7	5,9 s: 1,7	4,0 s: 0,0	12,0 s: 2,7
Σ Profil	22,75 s:3,3	123,25 s:46,6	73,0 s: 22,2	44,0 s:21,0	167,3 s:66,4

Tabelle 22: Profil der N_{\min} -Bodenanalysen nach Abschluss der weiblichen Blüte im Viehwegacker (Behandlung: Mais innovativ, Reihenfrässaat und Anwendung von *CULTAN* Depotdüngung), Mittel aus 4 Wiederholungen.

Profilabschnitt Bodentiefe in cm	NO ₃ –N /ha Gasse ungedüngt	NO ₃ –N/ha Gasse mit Düngerdepot	Mittelwert mit/ohne Düngung	NH ₄ -N/ha <i>CULTAN</i> - Gasse	Gesamt N/ha nur <i>CULTAN</i> Gasse
0-30	8,5 s:1,3	8,25 s:0,5	8,4 s:0,6	20,8 s:3,6	29,0 s:3,6
30-60	7,3 s: 1,0	6,5 s: 3,1	6,9 s: 1,4	13,3 s: 3,0	19,8 s: 5,6
60-90	3,8 s: 1,5	4,3 s: 1,0	4,0 s: 0,7	7,3 s: 3,0	11,5 s: 3,7
Σ Profil	19,5 s:3,5	19,0 s:1,8	19,3 s: 1,7	41,3 s:8,5	60,3 s:10,1

Der Mittelwert der NO₃ -N Gehalte aus *CULTAN*-gedüngter und ungedüngter Gasse wurde zur Darstellung der Ganglinien verwendet.

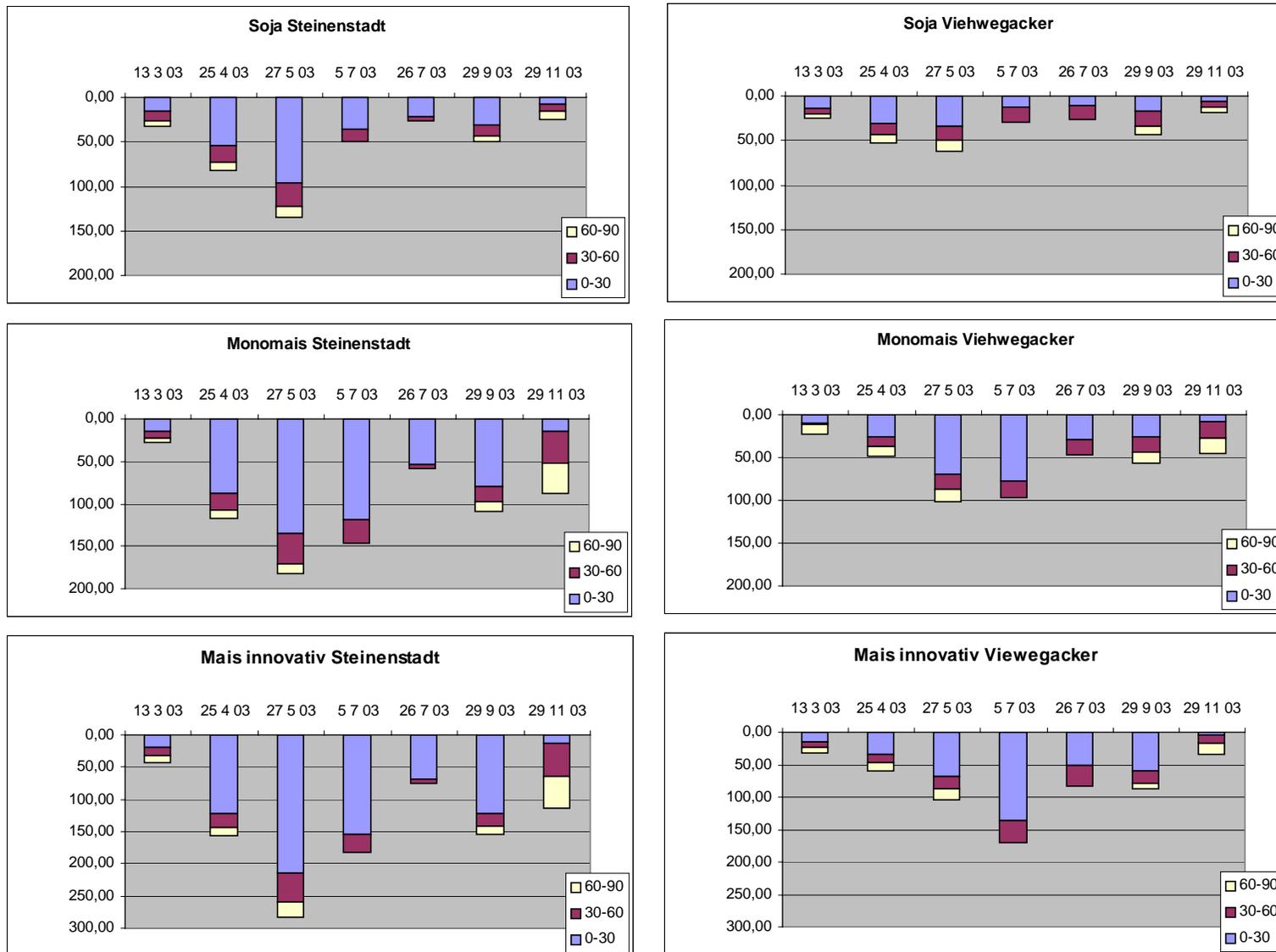


Abbildung 19: Nitratwerte für die Maisanbausystemversuche in Steinestadt und Viehwegacker 2003

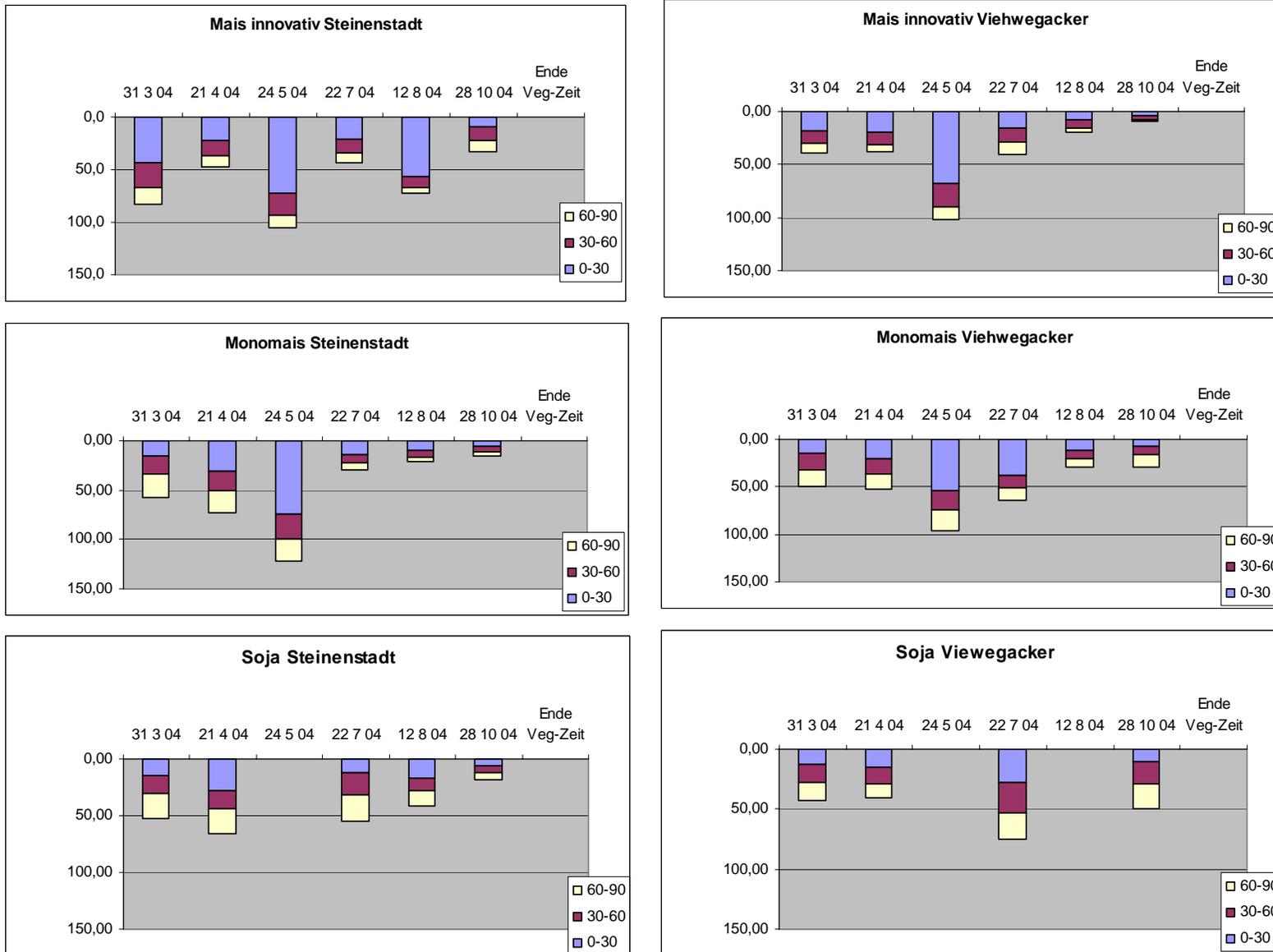


Abbildung 20: Nitratwerte für die Maisanbausysteme in Steinestadt und Viehwegacker 2004 in der Fruchtfolge Soja-Mais und im Daueranbau (Monomais).

3.3. Simulation und Anwendung des Nitratauswaschungsmodells LIXIM

3.3.1. Einleitung

Mit Hilfe des Stickstoffverlagerungsmodells LIXIM (MARY ET AL.,1999) soll an den beiden Standorten Viehwegacker und Steinenstadt die Stickstoffdynamik, insbesondere die Nitratauswaschung und die Stickstoffmineralisation, berechnet werden.

Das Modell LIXIM kann die Sickerwassermenge, die Evaporation der unbewachsenen Bodenoberfläche, die Nitratauswaschung sowie die Nitratverlagerung in den (0-30 cm; 30-60 cm und 60-90 cm) Schichten auf Tageswertbasis berechnen. In der neuen Version ist es zudem möglich, die pflanzenspezifische Stickstoffaufnahme von Zwischenfrüchten zu berücksichtigen. Das Modell ist ursprünglich nur für unbewachsene Böden entwickelt worden.

Der Transport des Nitrats wird über einen Multischichtenansatz realisiert. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Nitratkonzentrationen gleichmäßig in der jeweiligen Schicht verteilen und die Dispersionseffekte vernachlässigbar sind.

Die Eingangsdaten und -parameter des Modells bestehen aus klimatischen, bodenphysikalischen und pflanzenphysiologischen Daten. Die Systemzustände werden über die gemessenen N_{\min} - und Bodenfeuchtedaten beschrieben.

Für die Simulation standen N_{\min} - und Bodenfeuchtedaten aus 4 Messterminen für den Winter 2003/2004 zur Verfügung:

Tabelle 23: Messtermine für N_{\min} und Bodenfeuchte im Winter 2003/2004

29.09.03	29.11.03	23.03.04	21.04.04
nach Ernte	erster Frost	Frühlingsanfang	vor Aussaat

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den Bezeichnungen auf den beiden Standorten in den Jahren 2003/2004:

Tabelle 24: Bezeichnungen der beiden Versuchsstandorte

Standort	Fruchtfolge	Variante
Steinenstadt	Soja - Hafer Untersaat	11
	Mais innovativ – Weidelgras Untersaat	12
	Monomais (Daueranbau)	13
Viehwegacker	Soja – Hafer US	21
	Mais innovativ – Weidelgras US	22
	Monomais (Daueranbau)	23

3.3.2. Einschränkungen - Probleme

Die beiden Standorte befinden sich im ehemaligen Auenbereich des Rheins in dem Übergang von Niederterrasse zu Hochflutbereichen. Dies bedingt auf kleinem Raum sehr heterogene Bedingungen, was die einheitliche Ableitung der Modellparameter erschwert.

Die verwendete Methode der Probenentnahme für die Bestimmung der Stickstoffmengen gestaltet sich bei den zum Teil sehr kiesigen Böden als schwierig. Der Bohrstockdurchmesser ist oftmals geringer als die Kies- oder Steingröße. Hierdurch kann die variabel entnommene Menge des Feinbodenanteils aus dem Bohrstockkern zu verzerrten Ergebnissen bei den Wassergehalten und Nitratkonzentrationen führen.

Die langen Messabstände bzw. fehlende Messwerte und die extremen hydrologischen Verhältnisse im Sommer 2003 sind mit dem Modell nur schwer nachzubilden.

Die kapillaren Aufstiegsraten des Grundwassers werden im Modell nicht berücksichtigt, können aber auf beiden Standorten aus fachlichen Gründen auch vernachlässigt werden, da das Grundwasser nicht oberflächennah ansteht.

3.3.3. Datenakquisition

Die klimatischen Daten, wie die tägliche Niederschlagshöhe und die durchschnittliche Tagestemperatur, wurden vom IfuL auf dem Gelände der Maschinenstation in Müllheim gemessen.

Für die potentielle Evapotranspiration, die großräumiger erhoben werden kann, konnte auf Daten der Wetterstation Meyenheim/Colmar (F) zurückgegriffen werden, welche 16 km NW von Müllheim entfernt liegt.

Die Daten für die Berechnung der Bodenkenngößen stammen für den Standort Steinenstadt aus der Bodenkarte 8211 (Kandern) und für den Standort Viehwegacker aus der Bodenkarte 8111 (Müllheim) und wurden mit freundlicher Genehmigung vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) zur Verfügung gestellt (LGRB 2003/2003a).

Der Standort Viehwegacker befindet sich im Gegensatz zu Steinenstadt in einem Übergangsbereich von einer rötlichen Parabraunerde/Parabraunerde-Braunerde aus Niederterrassenschottern (Kartiereinheit 31) und einem braunen Auenboden (Kartiereinheit 37), der eng verzahnt ist mit der Parabraunerde aus Hochflutlehm. Da es sich um eine Grenzlage handelt und bei der Profilaufnahme die Horizontabfolge eher mit den Horizontbeschreibungen der Parabraunerde-Braunerde übereinstimmte, wurden die Daten der Kartiereinheit 31 - Bodenformgruppe L07 verwendet (siehe Anhang-LIXIM).

Für die pflanzenphysiologischen Parameter wurden Angaben des Modellentwicklers BRUNO MARY verwendet. Beim Sommerhafer stehen nur Orientierungswerte des Winterhafer zur Verfügung. Laut schriftlicher Mitteilung von MARY kann für den Winterhafer eine Basistemperatur von $T_B = 0^\circ\text{C}$ und für das Wurzelwachstum von $V_r = 0,3 - 0,4 \text{ cm/d}^\circ\text{C}$ angenommen werden. Für das Welsche Weidelgras können genauere Angaben mit $T_B = 4,6^\circ\text{C}$ und $V_r = 0,5 \text{ cm/d}^\circ\text{C}$ gemacht werden.

3.3.4. Preprocessing - Datenaufbereitung

Die Eingangsbodenparameter Feldkapazität, permanenter Welkepunkt, scheinbare Bodendichte⁶ und die Bodenart konnten durch 2 Profilaufnahmen und Laboruntersuchungen zum Oberboden für die jeweilige Bodenschicht und mit Hilfe der „Bodenkundlichen Kartieranleitung“ (AG BODEN 1994) abgeschätzt werden. Für die weitere Verwendung im Modell wurden die Bodenkennwerte anteilmäßig auf die entsprechenden Beprobungsschichten (0-30 cm; 30-60 cm und 60-90 cm) umgerechnet.

Für die Stickstoffberechnung stehen für die drei Beprobungsschichten je Bodenschicht Bodenfeuchte, N_{\min} - und NH_4 -Gehalte aus 4 Beprobungsterminen zur Verfügung. Die NH_4 -Werte sind jedoch nur am 1. Beprobungstermin für den Oberboden erhoben worden und wurden deshalb für die Simulation außer Acht gelassen.

Bei den Bodenfeuchtwerten zeigte sich, dass die gemessenen Werte, insbesondere die Anfangswerte am Ende der extremen Trockenperiode, wesentlich unter dem permanenten Welkepunkt liegen. Wie in der Dokumentation des Modells LIXIM angemerkt, müssen die Werte jedoch noch um die Grobskelettanteile korrigiert werden. Da bei der Entnahme der Bohrstockprobe neben Feinboden (< 2mm) auch Kieselsteine bis zu einer Größe von ca. 10 mm erfasst werden (nicht jedoch größere Steine), kann der Grobskelettanteil (> 2 mm) der jeweiligen Schicht, der vom Modell zur Korrektur der gemessenen Feuchtwerte verwendet wird, nicht voll angerechnet werden. Es wird angenommen, dass 50 % des Grobanteils mit erfasst wurden und deshalb die entsprechenden Grobskelettanteile der Profildaten des LGRB auch nur zur Hälfte berücksichtigt werden können. Für Steinenstadt und Viehwegacker wird deshalb ein Korrekturfaktor ermittelt, welcher die Grobskelettanteile größer 10 mm berücksichtigt (nicht bohrstockgängig) und zur korrigierten Bodenfeuchte führt.

Erstreckt sich eine Modellschicht des zu untersuchenden Bodenprofil über zwei Profilabschnitte des Referenzprofils (LGRB), so werden die Grobanteile der Kartiereinheiten entsprechend ihren Anteilen am untersuchten Profil berücksichtigt. Daraus leitet sich für jede Modellschicht des Bodens (0-30 cm; 30-60 cm und 60-90 cm) ein individueller Korrekturfaktor für die Bodenfeuchte ab. In der vorliegenden Situation wurde der gewichtete Anteil in % bzw. in Sechsteln (5-cm Schritte) der Mächtigkeit der Profilabschnitte (je 30 cm) mit je 50 % des Grobanteils der Kartiereinheit für die Korrektur der Bodenfeuchtwerte benutzt.

⁶ Das Modell LIXIM verlangt als Bodenkenngröße die scheinbare Bodendichte, welche um den Grobanteil bereinigt worden ist.

Die allgemeine Formel zur Korrektur der Bodenfeuchte kann damit wie folgt angegeben werden:

$$\sum \frac{\text{Anteil REFERENZPROFIL} * 100}{\text{wirksamer Feinboden im REFERENZBODEN}} = \text{Korrekturfaktor für Bodenfeuchte}$$

Anteil Mächtigkeit Bodenprofil:

Der Ausdruck bezeichnet den Anteil der jeweiligen Bodenschicht der Kartiereinheit am Modellbodenprofil. Treten Übergänge von zwei oder drei Horizontschichten des Referenzprofils des LGRB im Profilabschnitt des Modellbodens auf, wird der jeweilige Anteil des wirksamen Feinbodens dieser Profilabschnitte zum Korrekturfaktor aufsummiert.

Wirksamer Feinboden:

Der **wirksame Feinbodenanteil im Referenzprofil = 100 – Grobskelettanteil (LGRB) [in %]** * 0,5 berücksichtigt die Hälfte des Grobskelettanteils des Referenzbodens.

Korrekturfaktor für Bodenfeuchte:

Der Korrekturfaktor kann mit der jeweiligen Bodenfeuchte multipliziert werden und ergibt die korrigierte Bodenfeuchte.

Am Beispiel des untersten Profilabschnittes (60-90 cm) ist die Korrekturrechnung exemplarisch mit den Profildaten von Steinenstadt dargestellt. Die Grobanteile der Bodenschichten der Referenzprofile betragen:

Tabelle 25: Grobskelettanteile der Versuchsstandorte

Referenzprofil in [cm]	Grobskelettanteil in [%]	
	Steinenstadt	Viehwegacker
0 - 35	5,5	25,5
35 – 70	38	50
70 - 90	75	75

Die mittlere Bodenschicht (35-70 cm) des Referenzprofils aus der Kartiereinheit hat einen Anteil von 10 cm an der Profilmächtigkeit (1/3) und die unterste Bodenschicht von 20 cm (2/3), weshalb der erste Teil des Korrekturfaktors mit 2/6 und der 2. Teil mit 4/6 multipliziert wird. Daraus ergibt sich ein wirksamer Feinbodenanteil im Referenzprofil für die mittlere Bodenschicht von $100 - 38 * 0,5 = 81$ und die unterste Bodenschicht von $100 - 75 * 0,5 = 62,5$. Zusammen addiert ergibt das den Korrekturfaktor von $2/6 * 100 / 81 + 4/6 * 100 / 62,5 = 1,478$ für das unterste Modellbodenprofil in Steinenstadt (siehe Tabelle).

Tabelle 26: Korrekturfaktoren für die Bodenfeuchte in Steinenstadt und Viehwegacker

Profil Modellstandort	Referenz (LGRB) Bodenprofil	Anteil Mächtigkeit am Modellboden- profil	wirksamer Feinboden Referenzprofil	Korrekturfaktor
Horizontabschnitte in cm				
Steinenstadt 0-30	0 - 35	6/6	97,25	1,028
Steinenstadt 30-60	0 – 35	1/6	97,25	1,200
	35 – 70	5/6	81	
Steinenstadt 60-90	35 – 70	2/6	81	1,478
	70 - 90	4/6	62,5	
Viehwegacker 0-30	0 - 35	6/6	87,5	1,143
Viehwegacker 30-60	0 – 35	1/6	87,5	1,302
	35 – 70	5/6	75	
Viehwegacker 60-90	35 – 70	2/6	75	1,511
	70 - 90	4/6	62,5	

3.3.5. Processing - Kalibrierung

Bei der Anpassung des Modells wurde für jeden einzelnen Berechnungsdurchlauf jeweils 1 Simulationsvorgang, je Standort also insgesamt 6 Simulationen je Berechnungsdurchlauf, durchgeführt. Dabei wurden die aus den Referenzprofilen abgeleiteten Bodenparameter konstant gehalten und im Zuge der Anpassung nicht weiter geändert.

Insgesamt gab es auf jedem Standort zu jeder Messung 4 Wiederholungen, was die Einbeziehung von Standardabweichungen möglich machte. Dadurch wurden die berechneten Werte vertrauenswürdiger und genauer.

Die variablen Einstellungsparameter des Modells zeigten eine geringe Sensitivität auf Einstellungsveränderungen, was eine große Unsicherheit in der exakten Bestimmung des geeignetsten Parametersatzes mit sich brachte. Aus diesem Grund wurden die Standardeinstellungen des Modells weitestgehend beibehalten.

Im abschließenden Simulationsdurchlauf wurde der Gewichtungsfaktor der Feuchte in der obersten Schicht von 1 auf 2 heraufgesetzt. Die Verminderung der Mineralisierungsschicht von 35 auf 30 cm brachte ebenfalls eine verbesserte Anpassung der berechneten Nitratwerte an die gemessenen.

3.3.6. Postprocessing - Ergebnisse:

Insgesamt gibt das Modell die allgemeinen Tendenzen gut wieder. Durch die geringe Anzahl an Messterminen und die extremen Klimaverhältnisse 2003 wurde die Nachbildung des Wasser- und Stickstoffhaushalts erschwert.

Der Fehlerbereich für die Stickstoffmengen im Profil lag bei hohen Gehalten (über 100 kg N/ha) maximal bei 15 kg N/ha.

Bei den folgenden Berechnungen ist die Beregnung von 140 mm auf dem Standort Viehwegacker zu berücksichtigen. Dies führte zu Beginn der Messperiode zu höherer Bodenfeuchte und geringeren Stickstoffgehalten im Viehwegacker, da die Zwischenkulturen die N-Gehalte im Boden reduzierten.

3.3.7. Stickstoff Mineralisierung - Fixierung

In der folgenden Abbildung sind die mit LIXIM berechneten Werte der Stickstoffmineralisierung für die Standorte Steinenstadt (10, Linie durchgezogen) und Viehwegacker (20, gestrichelt) mit den Anbausystemen Soja (11/21), Mais innovativ mit Untersaat (12/22) und Mais Daueranbau (13/23) dargestellt.

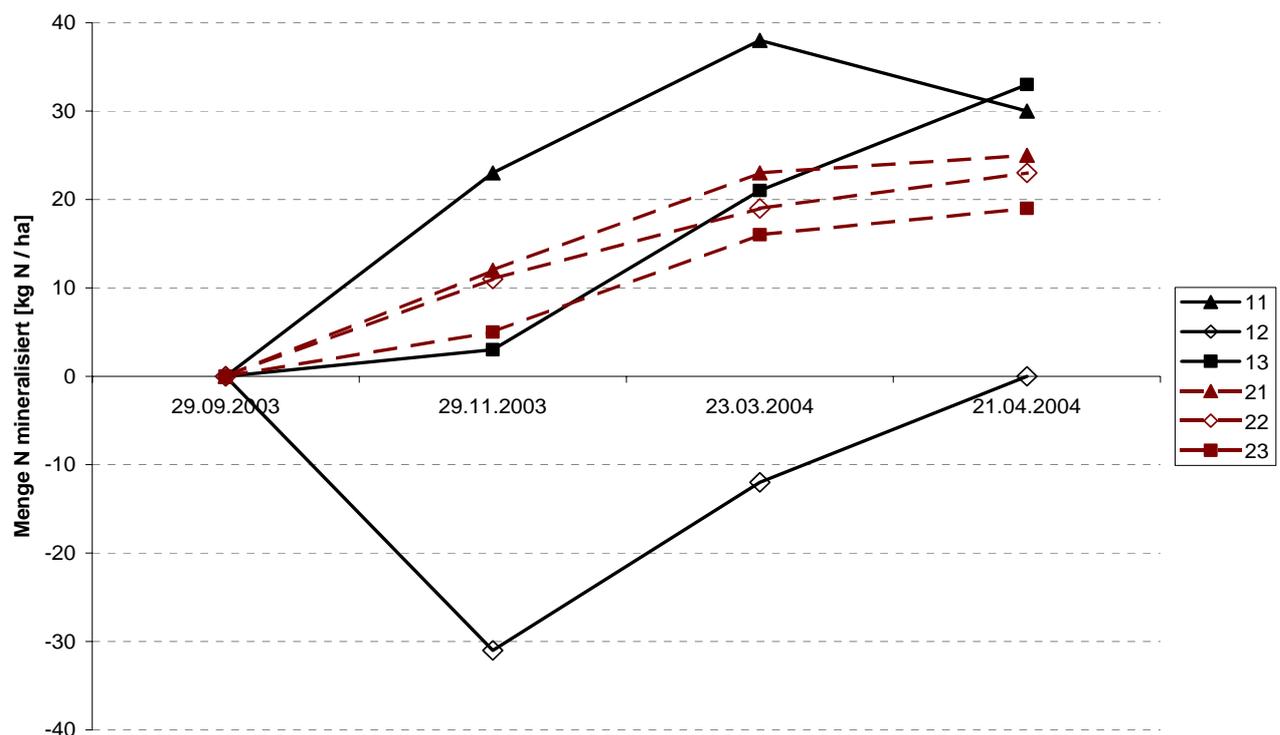


Abbildung 21: N-Mineralisierung und N-Fixierung in den sechs Versuchsvarianten nach Berechnung mit LIXIM

Anhand der Grafik ist deutlich zu sehen, wie es nach dem 29.09.03 in fast allen Varianten zu Mineralisierungserscheinungen kam.

Die zu erwartende höhere Mineralisierungsrate bei den Körnerleguminosen wird gut abgebildet. Der Unterschied von 10 kg N /ha bei Var. 11 und 21 lässt sich auf den hohen Anteil der Ackerbegleitflora (Gänsefuß) bei der Variante 11 zurückführen. Diese aufgebaute Biomasse hat bis auf verholzte Sproß- und Wurzelteile ein enges C:N Verhältnis und ist deshalb leicht mineralisierbar. Der Rückgang der Mineralisierung bei Soja in Steinenstadt (Var. 11) nach Frühlingsanfang ist dagegen wahrscheinlich schon Folge des beginnenden Abbaus der holzigen Rückstände der Meldenwurzeln und der Hafer-Untersaat. Er tritt im Viehwegacker (Var. 21) mit wenig Meldenverunkrautung im Vorjahr nur in Form einer leichten Abschwächung auf.

Einzig in Variante 12 ist eine Festlegung des mineralischen Stickstoffs zu verzeichnen. Dies bedeutet, dass mineralischer Stickstoff durch die hohe mikrobielle Aktivität in organischer Form gebunden wurde. Man spricht auch von der sogenannten Reorganisationsphase. Bis zur Aussaat im kommenden Jahr wird dieser labile Stickstoffpool wieder mineralisiert. Dieses abweichende Verhalten lässt sich vielleicht durch das frühe Grubbern am 13.10.03 bei Variante 12 und die frühe Stroheinarbeitung erklären. Im Boden waren noch große Mengen an Stickstoff vorhanden, da auf dem Standort Steinenstadt nicht bewässert worden ist und der Ertrag dadurch geringer als der Zielertrag ausgefallen war, auf dessen Basis die Düngeberechnung durchgeführt wurde. Die eingearbeiteten Pflanzenreste von Mais weisen im Gegensatz zu den Mikroorganismen ein hohes C:N Verhältnis auf, so dass die Mikroorganismen bei noch warmer Witterung organische Masse auf Kosten des frei verfügbaren Stickstoffs im Boden aufgebaut haben.

Die Festlegungseffekte durch den Abbau von Maistroh fallen aber in den beiden Maisvarianten in Steinenstadt nur kurzfristig auf und führten schon im Frühjahr (Werte ab 23.3.04) zu einer dynamischen Mineralisation. Dies kann ebenfalls Folge der hohen N-Hinterlassenschaften des Vorjahres sein (30 statt 100 dt/ha Mais).

3.3.8. kumuliertes Sickerwasser

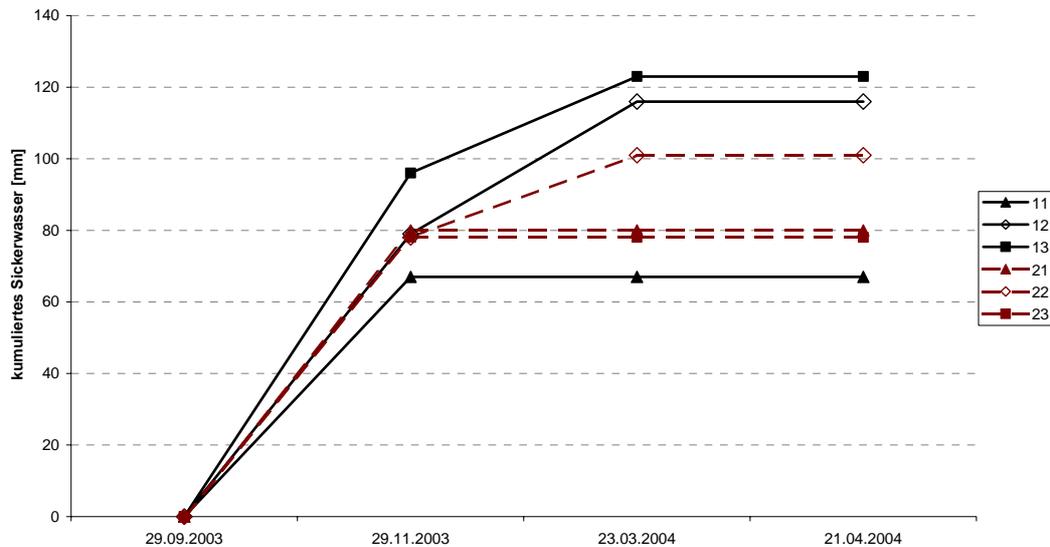


Abbildung 22: Kumulierte Sickerwassermengen in Steinstadt (—) und Viehwegacker (- -)

Bei der Betrachtung des Sickerwassers fällt der steile Anstieg aller Varianten auf. Auf allen Standorten bildet sich bis zum 29.11.03 Sickerwasser. Nach der langen Trockenheit fielen zwischen dem 29.09.03 bis zum 29.11.03 insgesamt 198 mm Niederschlag. Dies lässt die Böden bis zur Feldkapazität auffüllen und beträchtliche Mengen an Sickerwasser können gebildet werden. Die unterschiedlichen Vorverhältnisse und angepflanzten Zwischenkulturen bei den einzelnen Varianten spiegeln sich sehr deutlich in den kumulierten Sickerwasserganglinien in Steinstadt wieder. Die vegetationslosen Varianten 12 und 13 (vgl. Tabelle 24) zeigen eine deutlich höhere Versickerung als der Sojaschlag mit Haferuntersaat (bis 60 mm).

Die Sickerwasserverluste des Standortes Viehwegacker sind sowohl in der Abfolge (höchste Versickerung bei Mais mit Weidelgrasuntersaat) als auch im Vergleich mit Steinstadt nicht erklärbar. Dies lässt auf Mängel bei der Parametrisierung der Eingangsdaten anhand des Referenzprofils schließen.

3.3.9. Stickstoffauswaschung

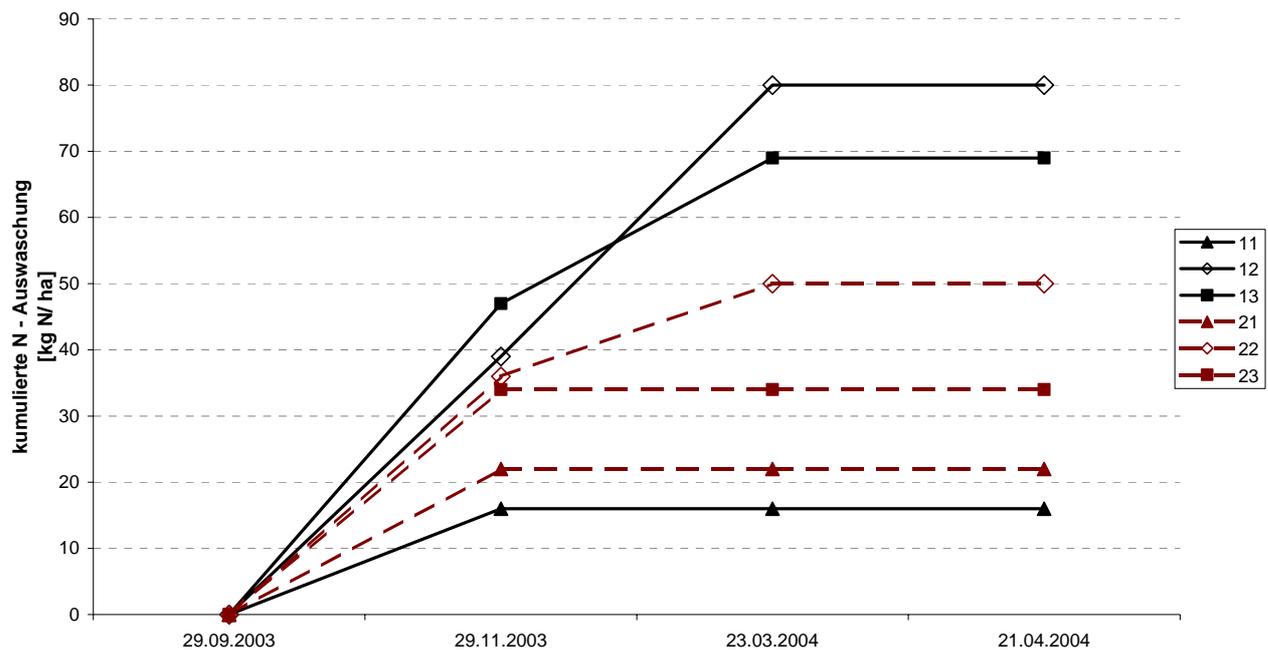


Abbildung 23: Kumulierte N – Auswaschung in Steinensadt (—) und Viehwegacker (- -)

Die kumulierten Stickstoffauswaschungen verdeutlichen die Problematik um die erhöhten Nitratwerte im Grundwasser. Trotz guter landwirtschaftlicher Praxis können sich nach klimabedingten Ertragsausfällen in Kombination mit anschließend niederschlagsreichen Zeiten hohe Nitratauswaschungen ergeben. In Steinensadt wurden 100 kg gedüngter Stickstoff nicht aufgenommen und zusätzlich > 30 kg N/ha mineralisiert, so dass ein enormes Potenzial aufgebaut war.

Bei den Varianten 12 und 13 (vgl. Tabelle 24) wird nach den Modellrechnungen die größte Menge an Stickstoff ausgewaschen. Im Unterschied zum Viehwegacker wurde hier nicht bewässert, was die Ertragsleistung deutlich gemindert hat und auch zum Vertrocknen des Weidelgrases bei Var. 12 führte. Die Düngung wurde dadurch von den Pflanzen nicht aufgenommen.

Durch die späte Untersaat des Hafers (Var. 11 + 21), konnte diese Zwischenfrucht mit den spätsommerlich einsetzenden Regenfällen auch in Steinensadt gut etabliert werden. Der hohe Biomasseertrag des Hafers konnte dadurch dem Boden überschüssigen Stickstoff entziehen.

Das Modell bildet auch gut den positiven Beitrag der Bewässerung zur Reduzierung des Nitratauswaschungsrisikos nach Mais in trocknen Jahren ab. Die höchsten Ertragsausfälle und damit verbundene hohe N-Hinterlassenschaften gab es bei Mais in Steinensadt. Im Viehwegacker mit Bewässerung waren die Hinterlassenschaften z.B. in den Behandlungen 21 und 23 (vgl. Tabelle 24) deutlich geringer. Bei Soja (Behandlung 21) war es darauf zurückzuführen, dass sie keine N-Düngung erhalten hatte und die Untersaaten gut gedeihen konnten. Bei Mais konnte aufgrund der Bewässerung ein Ergebnis wesentlich näher am Zielertrag als in Steinensadt erreicht werden. Während diese Abfolge die Entzüge und den

Wasserverbrauch der Kultur/Zwischenfrüchte gut widerspiegelt, lieferte das Modell auf dem Standort Viehwegacker wiederum Ergebnisse, die den gemessenen Nitratwerten und den Biomasseaufwüchsen der Untersaaten nicht entsprechen. Die Mängel, die schon bei der Versickerung an diesem Standort auftraten (höhere Auswaschung bei Mais innovativ mit Weidelgras als bei Monomais), haben auch das Auswaschungsergebnis stark negativ beeinflusst.

3.3.10. Nitratkonzentrationen im Sickerwasser

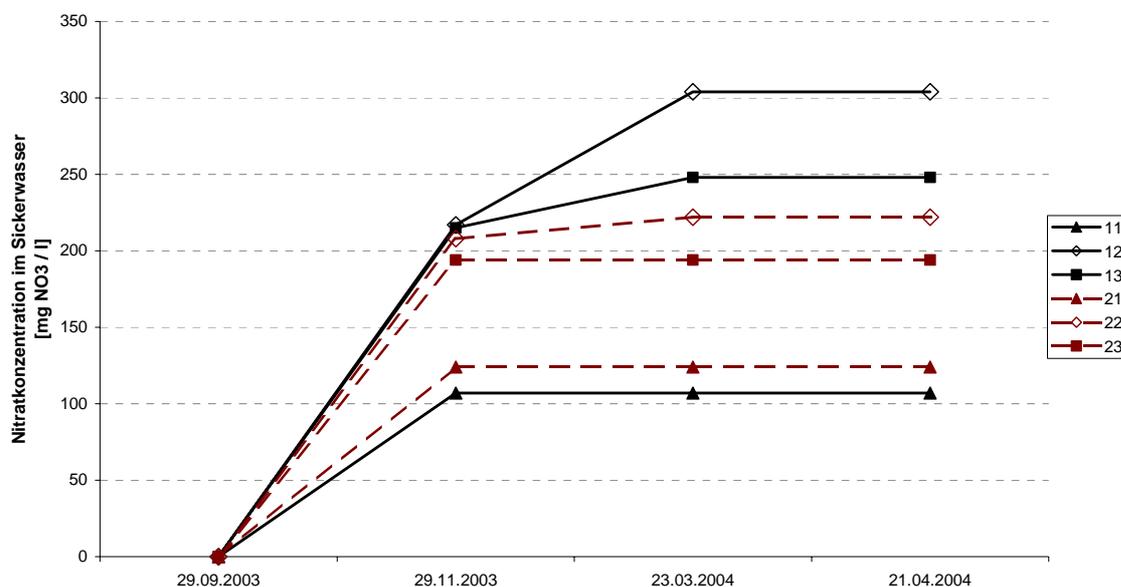


Abbildung 24: Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf den Standorten Steinestadt (—) und Viehwegacker (- -)

Die sehr hohen simulierten Nitratkonzentrationen übersteigen die zulässige Maximalkonzentration im Trinkwasser von 50 mg NO₃/l um über das sechsfache. Diese Werte können durch die unglückliche Kombination von trocknen Sommern gepaart mit einer anschließenden niederschlagsreichen Periode zustande kommen.

Fraglich ist die höhere Konzentration bei der Variante Mais-Weidelgrasuntersaat (22) im Vergleich mit Monomais (23). Die Untersaat ging auf, doch liegen die Nitratkonzentrationen in dieser Behandlung höher als ohne Zwischenfrucht und korrespondieren auch nicht mit den Messwerten der N_{min}-Beprobungen.

Der Einfluss der Untersaat kann zumindest beim Hafer (Behandlungen 11 und 21) aufgezeigt werden. Die NO₃ Konzentrationen im Sickerwasser sind um fast die Hälfte geringer als bei anderen Varianten, aber trotzdem noch doppelt so hoch wie nach der Trinkwasserverordnung zulässig.

3.3.11. Bewertung der Ergebnisse:

Das Modell bildet die Verhältnisse in Steinenstadt gut ab. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass extreme Verhältnisse auch extreme Risiken bergen, die auch durch die Beachtung der guten fachliche Praxis nicht komplett ausgeräumt werden können. Durch die Anwendung innovativer Anbaupraktiken (Fruchtfolge Soja mit Haferuntersaat) kann die Nitratproblematik jedoch wesentlich entschärft werden.

Die Schwäche der berechneten Ergebnisse am Standort Viehwegacker lag an der Parametrisierung des Modellbodenprofils. Die abgeleiteten Bodenwerte des Referenzbodens scheinen wenig aussagekräftig zu sein und den Standort in seiner Heterogenität nicht gut abzubilden. Die Modellierungsergebnisse sind vor allem vom Wasserhaushalt geprägt. Um hier zu guten Modellergebnissen zu kommen, wäre vermutlich eine solide, standortbezogene und kleinräumige Bodenansprache unterstützt durch Laboranalysen nötig.

Als Modell für den praktischen Einsatz in der Landwirtschaft bietet sich LIXIM wegen der benötigten hohen Präzision der Bodenansprache auch in tieferen Bodenschichten nicht an. Wie die Ergebnisse vom Standort Viehwegacker zeigen, reichen relativ gut dokumentierte Bodenkartierungen als Grundlage für die Simulation der Ereignisse an einzelnen Standorten nicht aus, um zu befriedigenden Resultaten zu kommen. LIXIM eignet sich daher eher für den Einsatz im Versuchswesen mit intensiver, enger Beprobung der Stickstoffgehalte und sehr detaillierten und ortsgenauen Angaben zum Profilaufbau der Böden. Der Zusatznutzen durch die Modellierung wird dadurch allerdings relativiert, denn die Kosten steigen und die Situation kann bei intensiver Beprobung zunehmend auch schon über die Analyseergebnisse selbst gut abgebildet werden. Das Modell liefert in diesem Fall noch zusätzliche Informationen die nicht gemessen werden, wie z.B. wie N-Festlegungen im Boden oder in Winterzwischenfrüchten, die Mineralisierung oder Festlegung von Stickstoff, die Sickerwassermenge, die Stickstoffauswaschung und die Nitratkonzentration des Sickerwassers.

Mit den genannten Einschränkungen kann das Modell dann gute Dienste zur Überprüfung von Hypothesen und zur Quantifizierung wichtiger Parameter der winterlichen Auswaschungsrisiken leisten.

In der Summe zeigt sich erneut die Komplexität der Vorhersage der Nitratdynamik mit relativ einfachen Modellen. Dies gilt um so mehr, da schon die Erfassung der wesentlichen Parameter der Böden für eine breite Anwendung des Modells schnell an die Grenzen des Machbaren stößt.

Standort Müllheim/Viehwegacker

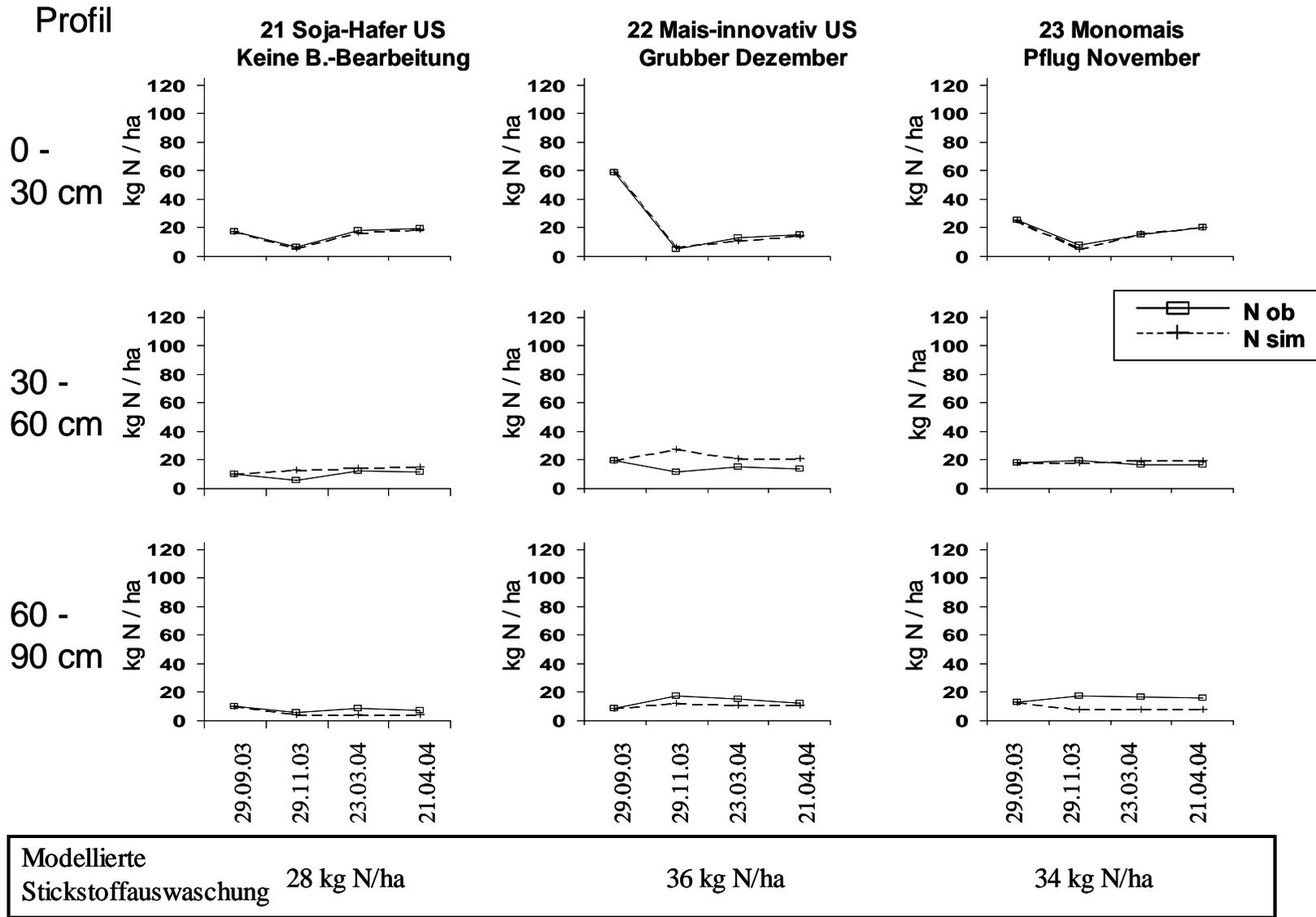


Abbildung 25 Gemessene und mit LIXIM modellierte N-Gehalte der Versuchsvarianten in Viehwegacker Winter 2003/2004

Standort Steinenstadt

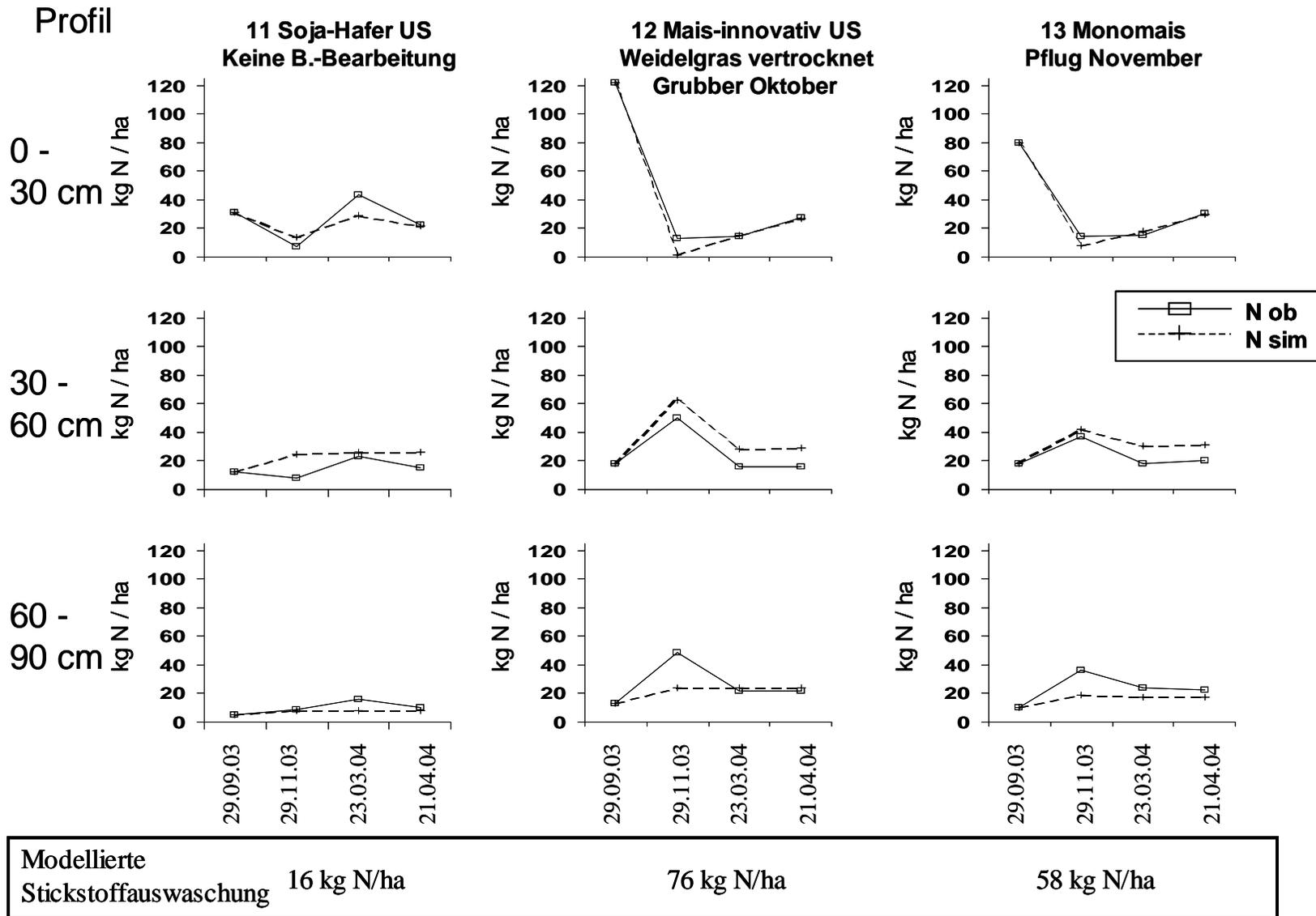


Abbildung 26 Gemessene und mit LIXIM modellierte N-Gehalte der Versuchsvarianten in Steinenstadt Winter 2003/2004

3.4. Ökologische Bewertung der Anbausysteme mit dem Umweltbewertungsverfahren INDIGO

3.4.1. Kurzdarstellung des Umweltbewertungsverfahrens und der Eingangsdaten

Das in Frankreich für die Bewertung von Produktionssystemen auf Schlagebene entwickelte Verfahren, in der hier verwendeten INDIGO[®] Version 1.3, stellt ein Werkzeug dar, das mit agrarökologischen Kenngrößen (Indikatoren) die Nachhaltigkeit ackerbaulicher Produktionsverfahren beurteilt (BOCKSTALLER 2004; BOCKSTALLER & GIRARDIN 2003; BOCKSTALLER & GIRARDIN 2002). Es basiert auf der Analyse einzelner Schläge und erlaubt zusätzlich eine Beurteilung auf betrieblicher Ebene. INDIGO[®] arbeitet anhand mehrerer Module. Dabei wird für eine Hauptkultur (in der Fruchtfolge) jeweils der Zeitraum, beginnend nach der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte der Hauptkultur im jeweiligen Betrachtungsjahr berücksichtigt. Für einzelne Indikatoren (z.B. Kulturartenabfolge) erfordert das Bewertungsverfahren mindestens eine dreijährige Vorgeschichte.

Als schlagbezogenes Bewertungsverfahren eignet sich INDIGO[®] somit auch gut für die Bewertung praxisnaher, ackerbaulicher Versuche mit unterschiedlichen Formen der Bewirtschaftung, wie sie in diesem Projekt durchgeführt wurden.

INDIGO[®] arbeitet mit dem Betrieb („Exploitation“) als integrierende Einheit für auszuwertende Datensätze. Innerhalb des Betriebes werden Parzellen (Schläge) unterschieden. Die Parzellen lassen sich bei Teilflächenbehandlung weiter unterteilen. Teilflächenbehandlungen sind möglich (Verschachtelung mit der Ebene der „ilots“ oder Eilande). Außerdem können über die Jahre hinweg Teilflächen und Schlaggrößen verändert werden. Als Eingangsdaten (Grundparameter) erfordert das INDIGO[®]-Verfahren zunächst Angaben zu verfahrensunabhängigen Parametern und zum Standort. Dazu gehören:

- Größe und Eigenschaften der Parzellen (z. B. Hangneigung oder Lage zu Oberflächengewässern).
- Bodenansprache: Bodentyp und Bodenart mit den wichtigsten Kennzahlen; optional können bei Vorhandensein auch Werte von Bodenanalysen eingegeben werden, die sich dann in den einzelnen Parzellen (Schlägen) auf die Berechnung der Nährstoffbilanzen (nach der französischen Regifert-Methode) auswirken. In der vorliegenden Berechnung wurden die Bodenanalysen der Versuchspartellen berücksichtigt.
- Im Datenblatt Parametrisierung („Paramétrage parcellaire“) werden die verwandten Dünger und Düngerformen eingegeben. Außerdem sind Angaben zu Zeitpunkt und Menge der Düngergaben erforderlich.
- In der Sektion Pflanzenschutzmittel wird analog zum Vorgehen bei den Düngern verfahren. In beiden Fällen steht in der hinterlegten Datenbank eine große Anzahl von Produkten mit schon fertigen Datensätzen zu den Eigenschaften der Produkte zur Verfügung (Energiekennzahlen, Toxizität, Emissionskoeffizienten etc.). Bei Bedarf kann oder muss diese Datenbasis durch neue Einträge ergänzt werden, was im vorliegenden Fall, z. B. bei „Domamon L26[®]“ zur Düngung nach dem CULTAN-Verfahren der Fall war.

Sind diese Grunddaten eingegeben, können die Angaben zu den Kulturen und Zwischenfrüchten für die einzelnen Betrachtungsjahre im Datenblatt Kulturpflanzen („cultures“) eingegeben werden (Saattermine, Erträge und Ertragsersparung, Erntetermine etc.).

Angaben zu Menge und Zeitpunkt von Düngereinsatz und Pflanzenschutzmitteln für die einzelnen Teilflächen werden den Parzellen jahresweise zugeordnet.

Abgeschlossen wird die Datenerfassung durch die Aufnahme der durchgeführten Feldarbeiten (eingesetzte Maschinen und Geräte) in ein wiederum getrenntes Datenblatt für Arbeitsverfahren („interventions culturales“).

Genauere Angaben zu den einzelnen Schritten bei der Dateneingabe siehe (BOCKSTALLER 2004). Die Grundlagen der Berechnung einzelner Indikatoren sind detailliert im Handbuch von BOCKSTALLER & GIRARDIN (2003) beschrieben (auf Französisch).

Das Bewertungsverfahren baut auf einem datenbankgestützten und transparent gestaltetem Expertensystem auf und liefert Indikatoren zu den folgenden acht Wirkungskategorien:

- 1) INDIKATOR KULTURARTENVIELFALT (I_{AS}) frz. Indicateur Assolement
- 2) INDIKATOR KULTURARTENABFOLGE (I_{sc}) frz. Succession Culturale
- 3) INDIKATOR ORGANISCHE MASSE (I_{MO}) frz. Matière Organique
- 4) INDIKATOR PHOSPHOR (I_p) frz. Phosphore
- 5) INDIKATOR STICKSTOFF (I_N) frz. Azote
- 6) INDIKATOR PFLANZENSCHUTZMITTEL (I_{phy}) frz. Produits Phytos
- 7) INDIKATOR BEREGNUNG (I_{IRRIG}) frz. Irrigation
- 8) INDIKATOR ENERGIE (I_{EN}) frz. Energie

Setzt sich ein Indikator aus der Betrachtung mehrerer Teilkategorien zusammen (beim Pflanzenschutzmitteleinsatz z.B. aus den Wirkungen einzelner Produkte auf Wasser, Luft und der Höhe der angewandten Dosis), so richtet sich die Bewertung des Verfahrens in dieser Kategorie nach dem Risiko im schwächsten Glied oder der ungünstigsten Teilwirkung.

Die Vergabe der Indikatorwerte erfolgt nach einer Normalisierung auf Zahlenwerte mit einer Vergabe von Noten zwischen 1 und 10. Erhält ein Indikator den Wert 1, bedeutet das ein sehr hohes Risiko, 7 steht für tolerierbar, Werte um 4 bis 7 zeigen mehr oder minder dringenden Handlungsbedarf auf und 10 steht für unbedenklich und nachhaltig.

Im vorliegenden Fall wurden die Verfahren des hier behandelten Systemversuchs mit sechs Indikatoren bewertet, da der Indikator KULTURARTENVIELFALT sich aus dem betrieblichen Kontext ableitet und hier nicht Gegenstand der Betrachtung war.

Außerdem musste auf den Indikator BEREGNUNG verzichtet werden, da nur am Standort Steinenstadt im Jahr 2004 (als erstmals alle differenzierenden Praktiken in den Behandlungen des Versuchs etabliert waren) reguläre Versuchsbedingungen herrschten. Die vergleichende Bewertung der Produktionsverfahren mit INDIGO[®] ist aus den genannten Gründen für den Standort Steinenstadt vorgenommen worden und wird in den folgenden Kapiteln dargestellt und erläutert.

Im Versuch, der aus drei Behandlungen (Parzellen) mit einheitlicher Bewirtschaftung bestand (siehe Kapitel 2.3.1) wurde für die Verrechnung mit INDIGO[®], analog zu den betriebswirtschaftlichen Berechnungen, ein Modellbetrieb („Exploitation“) mit drei Schlägen zu je 2 ha (mittlere Hofentfernung 1 km) zugrunde gelegt. Diese Projektion der Parzellengröße von realen 0,45 ha auf 2 ha war notwendig, um in den Modulen zum Maschineneinsatz auf vernünftige Zahlen zu kommen.

3.4.2. Anwendung einzelner INDIGO[®] Indikatoren auf die Parzellen des Systemversuchs

Die drei Parzellen der Feldversuchsanlage Steinenstadt mit den Behandlungen Mais-innovativ, Soja und Mais-Daueranbau wurden für das Jahr 2004 als getrennte Parzellen (Verfahren) ausgewertet. Da neben den einzelnen Kulturen vor allem auch der Vergleich des Maisanbaus in der Fruchtfolge gegenüber Mais-Daueranbau Gegenstand der Untersuchungen war, wurden die gemittelten Werte für die Fruchtfolgeglieder noch einmal getrennt als Mittelwert der parallel angebauten Fruchtfolgeglieder ausgewiesen, so dass ein direkter Vergleich des Abschneidens der Fruchtfolge gegenüber Monomais ermöglicht wird. Dadurch ergaben sich folgende Szenarien:

1. Mais-innovativ,
2. Soja,
3. Mais-Daueranbau (Monomais)
4. Mittelwert aus Mais-innovativ und Soja $((1.+2.)/2.)$

Als Datengrundlage dienten für 2003 und 2004 die realen gemessenen Werte im Versuch. Für die Indikatoren Kulturenabfolge (Isc) und organische Masse (Imo) wurden für die Jahre 2002 und 2001 die jeweils angestrebten Fruchtfolgesysteme für die drei Parzellen zugrunde gelegt, also z. B. Soja/Mais/Soja/Mais für die Behandlung Mais-innovativ (2004) und Monomais für Mais-Daueranbau).

3.4.3. Ergebnisse einzelner Indikatoren der INDIGO® Bewertung

3.4.3.1. Indikator Kulturenabfolge (Isc)

Dieser Indikator bewertet nicht direkt eine Umweltwirkung wie die anderen Indikatoren, sondern beurteilt die Kulturenabfolge im Hinblick auf das Entstehen möglicher Risiken, die umweltbelastendes Handeln zur Folge haben können (Entstehen von Krankheitsdruck, erhöhter Nährstoffaufwand etc.). Er basiert auf den Prinzipien der integrierten Produktion und der bekannten Fruchtfolgewirkungen. Wenn diese Effekte positiv sind oder negative Wirkungen begrenzen, so erhöht dies die Kohärenz und Stabilität des ackerbaulichen Verfahrens. Der Indikator wird, wie alle weiteren hier behandelten Indikatoren, auf Parzellenniveau berechnet. I_{sc} berücksichtigt einen Zeitraum von vier Jahren inklusive des Beobachtungsjahres. Er gründet sich auf drei Effekte oder Wirkungskategorien. Erstens, die Fruchtfolgestellung der aktuellen Kultur (K_p), zweitens, die Häufigkeit der Wiederkehr der Kultur in Jahren (K_r) und drittens, die Diversität (Anzahl) der Kulturen über einen Vierjahreszeitraum. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen der Teilwirkungen und des Indikators I_{sc} für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich (Mittelwert Mais-innovativ/Soja gegen Monomais).

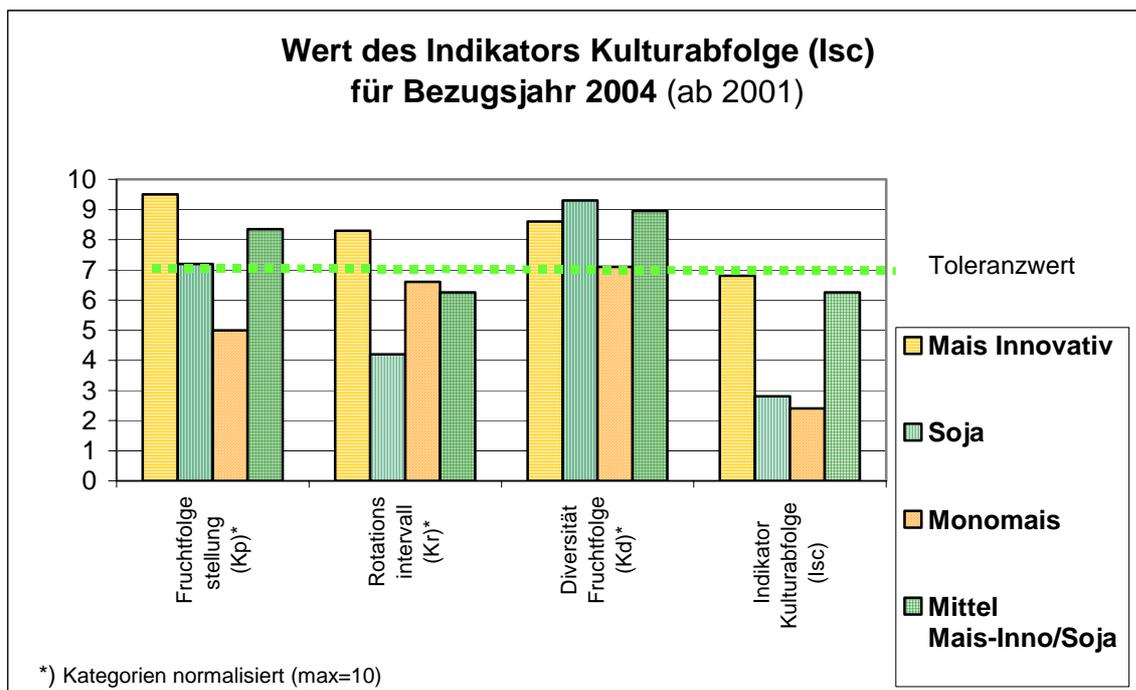


Abbildung 27: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung der Kulturenabfolge (Indikator I_{sc}).

Wie zu erwarten schneidet der Monomais ungünstig ab. Das Anbausystem wird als nicht nachhaltig eingestuft. Sojabohnen werden vor allem wegen des zu engen Anbauintervalls (zwei Jahre anstatt empfohlene vier Jahre) nicht viel besser eingestuft, während der Mais alle zwei Jahre angebaut, nach Leguminosenvorfrucht und mit Grasuntermischaat die Toleranzgrenze nur deshalb knapp verfehlt, weil die vierjährige Fruchtfolge mit nur zwei Kulturen zu Abschlägen führt. Auch für die mittlere Einstufung der Mais/Soja - Fruchtfolge ergibt sich noch Handlungsbedarf, etwa durch Eingliederung einer dritten Kultur oder einer winterannualen Kultur.

3.4.3.2. Indikator Kulturenabfolge (I_{MO})

Der Indikator „organische Masse“ bewertet die Kulturen unter Berücksichtigung der Kulturenabfolge, der Bodenbearbeitung (Mineralisierungsrate), der Erträge und der Handhabung von Zwischenfrüchten und Ernterückständen über einen Vierjahreszeitraum. Die Einzelwirkungen werden schon in den Berechnungsverfahren zu kumulativen Wirkungen gebündelt und in einem zusammenfassenden Indikator ausgewiesen. Ein Datenblatt mit Detailauswertungen (hier nicht dargestellt) gibt außerdem Auskunft über den Humusbedarf der Fruchtfolge, den Humusaufbau, und die Humusbilanz. Gewichtungs- oder Korrekturfaktoren für Einflüsse, die auf die Humusdynamik wirken, werden ausgewiesen (Temperatureinfluss, Beregnungseinfluss, Einfluss der Bodenbearbeitung und Einfluss der Gründigkeit des Bodens). Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen des Indikators I_{MO} für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich Mittelwert Mais-innovati/Soja gegen Monomais.

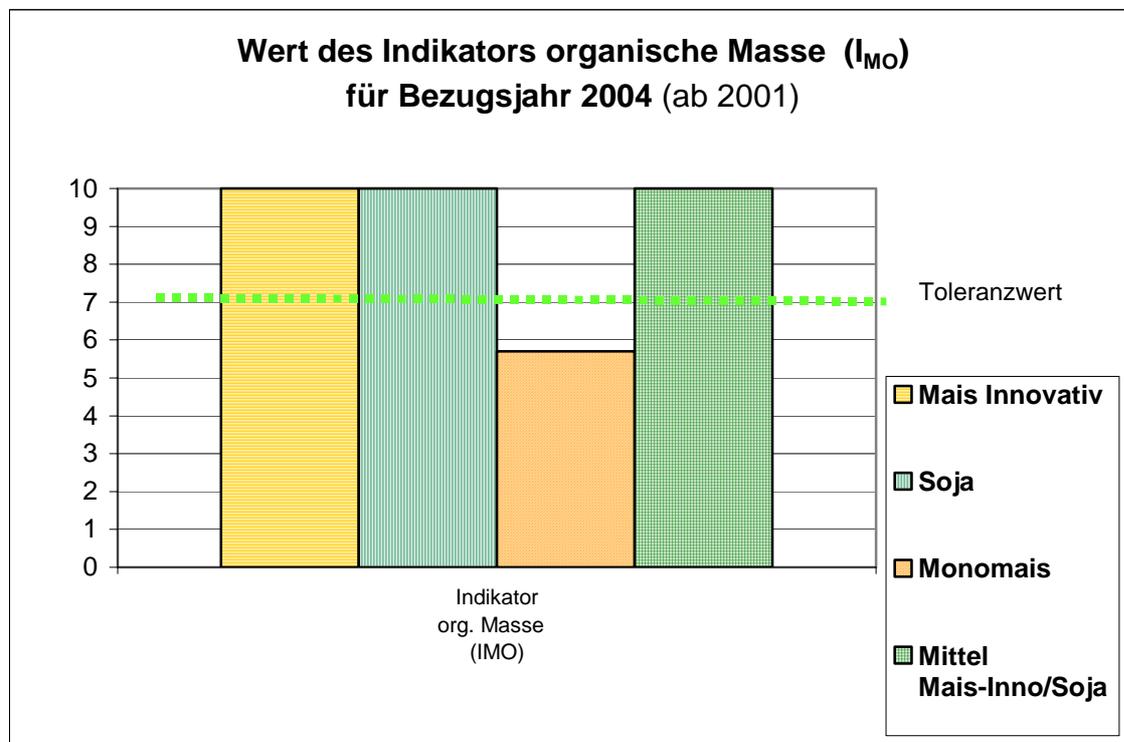


Abbildung 28: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung der Humusdynamik.

Die Mais/Soja Fruchtfolge mit reduzierter Bodenbearbeitung weist nach den Berechnungen geringere Mineralisationsraten und damit einen geringeren Humusbedarf auf, als die Behandlung Monomais (425 kg Humus/ha gegenüber 708 kg Humus/ha). Gleichzeitig wird mit der innovativen Mais/Soja Fruchtfolge gegenüber Monomais mehr Humus aufgebaut (838 kg Humus/ha gegenüber 578 kg Humus/ha bei Monomais mit Pflug). Dies führt in der Bilanz bei Mais/Soja Fruchtfolgen mit reduzierter Bodenbearbeitung zu einem deutlich positiven Saldo (Note 10), während bei Mais im Daueranbau mit Pflug und ohne Untersaat trotz der Rückfuhr der Ernterückstände eine ca. 20%-ige Unterversorgung ausgewiesen wird (Note 5,7). Dies könnte im viehhaltenden Betrieb durch Stallmistgaben ausgeglichen werden, in viehlosen Betrieben ist dies ohne Änderungen der Fruchtfolge und der Anbaupraktiken kaum zu erreichen.

3.4.3.3. Indikator Phosphor (I_p)

Der Indikator Phosphor bewertet den Phosphateinsatz anhand der vorliegenden Bodenanalysen zur Kultur zu Beginn der Vegetationsperiode 2004 und anhand der Bilanzierung der Kulturen. Eventuelle Verluste werden anderen Kategorien zugeordnet (z.B. Gewässerbelastungen der Verfahren). Empfehlungen (Bedarf nach Regifert-Methode) werden den verabreichten Mengen gegenübergestellt. Überschüsse werden als negative Ergebnisse (mit Abzügen von der Note 10) ausgewiesen. Der überschüssige P-Aufwand wird als Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen quantifiziert und mit entsprechenden Abschlägen bewertet. Die Ergebnisse der Bewertung der einzelnen pflanzenbaulichen Produktionsverfahren auf dem Standort Steinenstadt 2004 sind für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich, Mittelwert Mais-innovativ/Soja gegen Monomais, in der folgenden Abbildung wiedergegeben.

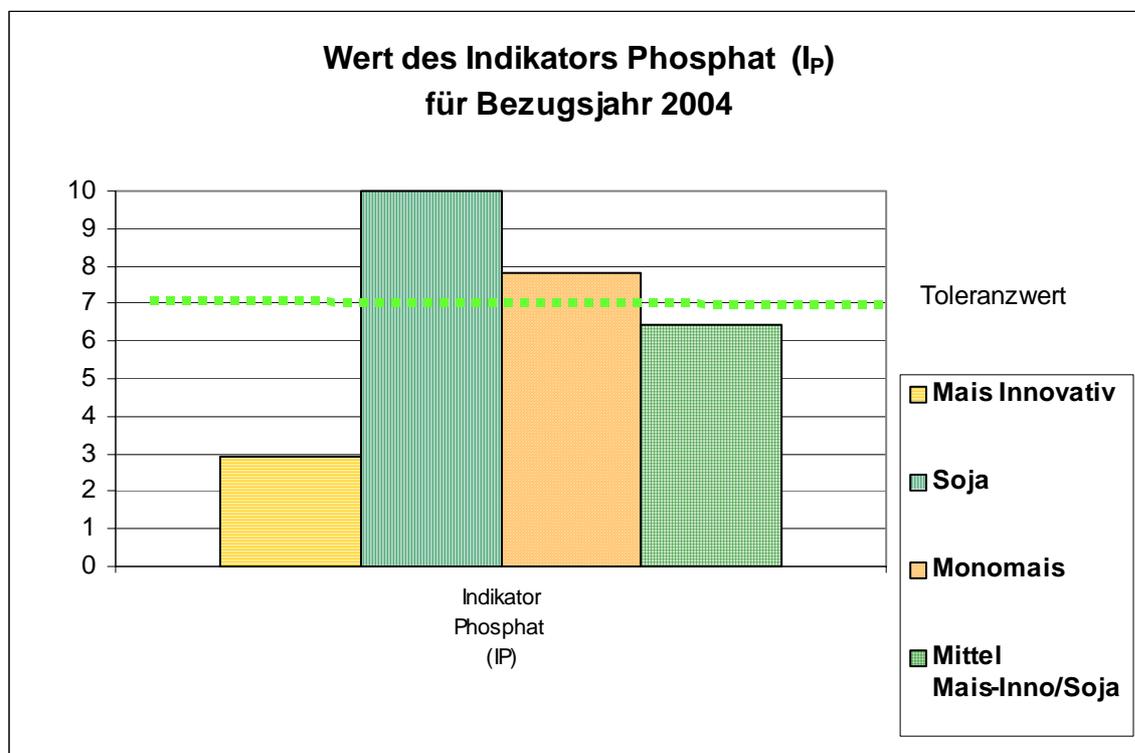


Abbildung 29: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Phosphoreinsatzes (I_p).

Bei der Berechnung des Indikators I_p weist das Ergebnis große Unterschiede auf Basis der einjährigen Betrachtung aus, die aufgrund der Übertragbarkeit von Überschüssen auf nicht calziformen Böden bei Versorgungsstufe C jedoch nicht überbewertet werden sollten. Die Phosphatüberschüsse gehen im Gegensatz zu N-Überschüssen auf dem ebenen Standort nicht verloren, sondern können bei gegebenem pH-Wert auch als Vorratsdüngung angesehen werden. Dennoch weisen sie klar eine suboptimale, verbesserungswürdige Situation in der Variante Mais-innovativ aus.

Zu Beginn des Jahres 2004 waren alle Parzellen nach den Bodenanalysen schon gut mit Phosphat versorgt (Versorgungsstufe C), was auch durch die Ertragsausfälle aufgrund der Trockenheit im Vorjahr bedingt war. Soja erhielt deshalb nach den Berechnungen des Düngerbedarfs mit „P-calc.Ver1.1“ der LEL (1998) keine P-Düngung in 2004. Auch für Mais war

ein Verzicht bei Mais-Innovativ (Saldo +15 kg P_2O_5 /ha) und eine reduzierte Düngung bei Monomais (Saldo -4 kg P_2O_5 /ha) aufgrund der Analysen angezeigt. Monomais erhielt deshalb eine moderate Gabe von 22 kg P_2O_5 /ha zur Saat, um die Jugendentwicklung sicherzustellen, in der Mais bekannterweise auf gute P-Versorgung angewiesen ist. Auf den Parzellen mit Reihenfrässaat war aus dem gleichen Grund der Einsatz des Düngers 20-20 (N- P_2O_5) zur Unterfußdüngung geplant (Gabe von 40 kg P_2O_5 /ha). Da der Lohnunternehmer aber standardmäßig mit dem Dünger 18/46 fuhr, wurde in dieser Parzelle zur Sicherstellung der N-Versorgung während der Jugendentwicklung ein Überschuss an P mitverabreicht (92 kg/ha P_2O_5). Da die Parameter für die Böden nahezu gleich eingestellt waren, führte in diesem Fall der P-Überschuss in der Mais-innovativ Variante zu einer drastischen Abwertung mit einer Indikatornote von 2,9, während Monomais mit leichtem Überschuss (22 kg P_2O_5 /ha) und dem Indikatorwert 7,8 noch im Toleranzbereich lag. Soja, ohne jegliche P-Düngung erhielt den Maximalwert 10,0 beim Indikator Ip.

Wenngleich das Ergebnis auf leicht zu korrigierenden Maßnahmen beruht und bei einjähriger Betrachtung etwas relativiert wird (Anmerkungen weiter oben), so kann daraus doch der Hinweis abgeleitet werden, bei der Vergabe der Maissaat an Lohnunternehmen auf angemessene P-Düngung zu achten. Da die P-Dünger Unterfuß gegeben werden, kann durch die Wahl oder Eigenmischung der Kombidünger auch ohne Risiken vorteilhafter, das heißt mit geringerer P-Düngung, vorgegangen werden. Dies setzt allerdings eine gewisse Mindestgröße der Schläge voraus, da der Lohnunternehmer (Reihenfrässaat ist am Oberrhein einzelbetrieblich zu teuer) nicht auf jeder Kleinparzelle den Dünger wechseln kann.

3.4.3.4. Indikator Stickstoff (I_N)

Der Stickstoff-Indikator ist der am komplexesten aufgebaute Indikator von INDIGO. Er bewertet den Stickstoffeinsatz anhand der Bilanz, der Auswaschungsgefahren für Nitrat im Frühjahr bis zur Ernte und die Risiken der winterlichen Nitratauswaschungsgefahr in getrennten Modulen. Außerdem enthält er ein Modul, das in Abhängigkeit von der Menge der Ausbringungsdosis, der zeitlichen Portionierung, der Düngerform und Düngungsart (breitwürfig ausgebracht, eingearbeitet etc.) neben den Nitratriskiken die potenziellen Ammoniak- (NH_3) und Lachgasemissionen (N_2O) bewertet. Das INDIGO-Verfahren berücksichtigt außerdem den Zeitpunkt der Saat von Zwischenfrüchten und Untersaaten und gewichtet ihren Beitrag zur Minderung des winterlichen Auswaschungsrisikos unter Berücksichtigung der Niederschlagsparameter und der verleibenden Vegetationszeiten.

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren werden zunächst detailliert Indikatoren zu den Wirkungskategorien Nitrat (Auswaschung und Austrag), Ammoniak (Emissionen) und Lachgas (Emissionen) errechnet. In einem weiteren Schritt werden diese dann nach dem jeweils risikoreichsten Wert in einer Kategorie zum Gesamtindikator I_N integriert.

Der Auswertungsbericht zu den Risiken durch Nitratauswaschung, Ammoniak- und Lachgasemissionen enthält auch Angaben zu Korrekturfaktoren aufgrund verfahrensbezogener oder standörtlicher Besonderheiten (z. B. Art der Bodenbearbeitung, Bodeneigenschaften). Damit weist das Modul auch auf Schwachstellen und Handlungsmöglichkeiten hin und kann für die Optimierung der Verfahren hinsichtlich des Stickstoffeinsatzes gute Dienste leisten.

Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen der Teilwirkungen und des Indikators I_N für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich (Mittelwert Mais/innovativ/Soja gegen Monomais).

Auffallend und unerwartet ist bei Betrachtung der Ergebnisse zunächst, dass sich die Maisparzellen trotz der Anwendung zusätzlicher Schutzmaßnahmen wie z.B. Unterfußdüngung und Untersaat von Weidelgras in den Risiken in allen Kategorien kaum unterscheiden. Trotz der Einarbeitung und lokalisierten Ausbringung schneidet die CULTAN-Düngung mit Domamon L26® kaum besser ab.

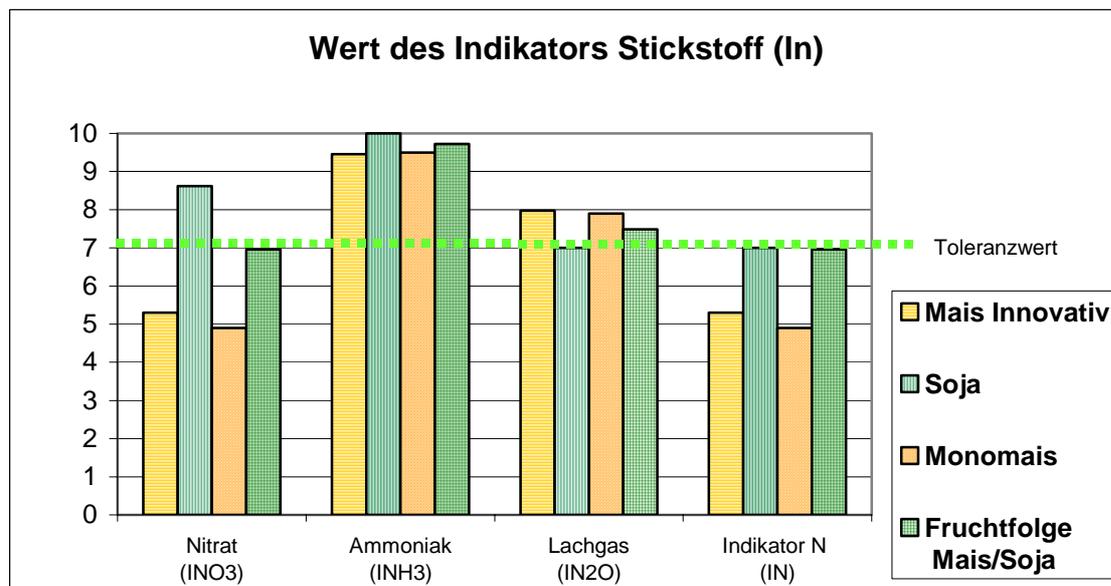


Abbildung 30: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Stickstoff (I_N).

Ein Grund hierfür ist die Höherbewertung der Risiken der Düngerformen Harnstoff und Diammoniumphosphat gegenüber dem in Monomais verabreichten Kalkammonsalpeter (Harnstoff erhält einen Emissionsfaktor von 15% gegenüber 5% bei Diammoniumphosphat und 3% bei KAS).⁷

Soja erreicht nur eine schwache Bewertung bei den Lachgasemissionen, da Lachgasemissionen bei der N-Fixierung von diesem Umweltbewertungsverfahren relativ hoch eingestuft werden.

Die Ammoniakemissionen bleiben in allen Verfahren unter der Bedenklichkeitsschwelle und werden mit 0% (Soja) bis 20% (Maiskulturen) der Emissionstoleranz eingestuft.

⁷ Ob Domamon L26® als Flüssigdünger mit den Komponenten Harnstoff und Ammoniumsulfat sich tatsächlich so verhält wie die hier konstruierte additive Wirkung der Einzelbestandteile muss insbesondere wegen der Depotausbringung hinterfragt werden. Untersuchungen hierzu waren zum Zeitpunkt dieser Auswertung nicht bekannt.

Die beiden Maiskulturen wiesen für das Betrachtungsjahr 2004 sehr hohe Bilanzüberschüsse auf. Für Mais-innovativ betragen sie +117 kg N/ha und für Monomais +127 kg N/ha. Verursacht wurden sie durch die, gegenüber der Düngeplanung, geringeren Kornerträge und durch die von INDIGO sehr hoch angesetzten Mineralisationsraten von 70-98 kg N/ha, die um 20 bis 48 kg N/ha höher liegen als bei der Düngerbedarfsermittlung mit dem Programm „N-Bedarf-Vers.3.5. (LEL 2003).

Überraschenderweise kam die Wirkung der vorangegangenen Untersaat zu Soja nicht zum Tragen, was daran liegen kann, dass die Standardeinstellungen des Modells nach Körnerleguminosen ohne jegliche N-Düngung keine Auswertung auslösen. Die Untersaat zu Mais-innovativ im Jahr 2004 floss noch nicht in die Bewertung bei einjähriger Betrachtung ein, weil INDIGO in Schritten von der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte der Hauptkultur im Betrachtungsjahr arbeitet.

Unter Berücksichtigung der obigen Ausführungen ergibt sich bei den Maisanbausystemen mit einem Indikatorwert I_N von 5,3 (Mais innovativ) und mehr noch bei Monomais ($I_N = 4,9$) im Bezug auf die Nitratproblematik noch Handlungsbedarf. Er sollte sich vor allem an einer besseren Düngerbemessung (Reduktion der Bilanzüberschüsse) orientieren, die im Bewertungsverfahren zur Abwertung bezüglich des Indikators geführt hat. Das Ziel der Nachhaltigkeit wurde im Hinblick auf die Ammoniakemissionen in allen Kulturen erreicht (Teilindikatoren für I_{NH_3} von 9,4 bis 10 für volle Nachhaltigkeit), während beim Teilindikator für Lachgasemissionen die Toleranzgrenze gerade erreicht oder leicht überschritten wird (Indikatorwerte für $I_{N_{20}}$ von 7,0 bis 8,0). Beim Systemvergleich liegt der Stickstoffindikator I_N bei Monomais für das Erreichen der Toleranzschwelle zu niedrig (4,9) während er von der Fruchtfolge Mais-innovativ/Soja fast erreicht wird ($I_N = 6,9$). Maßgeblich hierfür war die Körnerleguminose Soja mit eigener Stickstofffixierung.

3.4.3.5. Indikator Pflanzenschutzmittel (I_{Phy})

Der Indikator Pflanzenschutzmittel berücksichtigt den Pflanzenschutzmittelaufwand (ausgebrachte Wirkstoffmenge), die potenzielle Gefährlichkeit der eingesetzten Mittel bezüglich der Grundwassergefährdung, der Gefährdung von Oberflächengewässern und mögliche Gefahren durch Abdrift bei Vorhandensein von offenen Gewässern (Parametrisierung der Versuchspartellen). Bei völlig ebenen Flächen und dem Fehlen nahegelegener offener Gewässer werden die Risiken des Eintrags in Oberflächengewässer und der Abdrift mit dem Wert 10 (nachhaltig) eingestuft. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen der Teilwirkungen zu einzelnen Wirkungskategorien und des globalen Indikators I_{Phy} für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich (Mittelwert Mais-innovativ/Soja gegen Monomais).

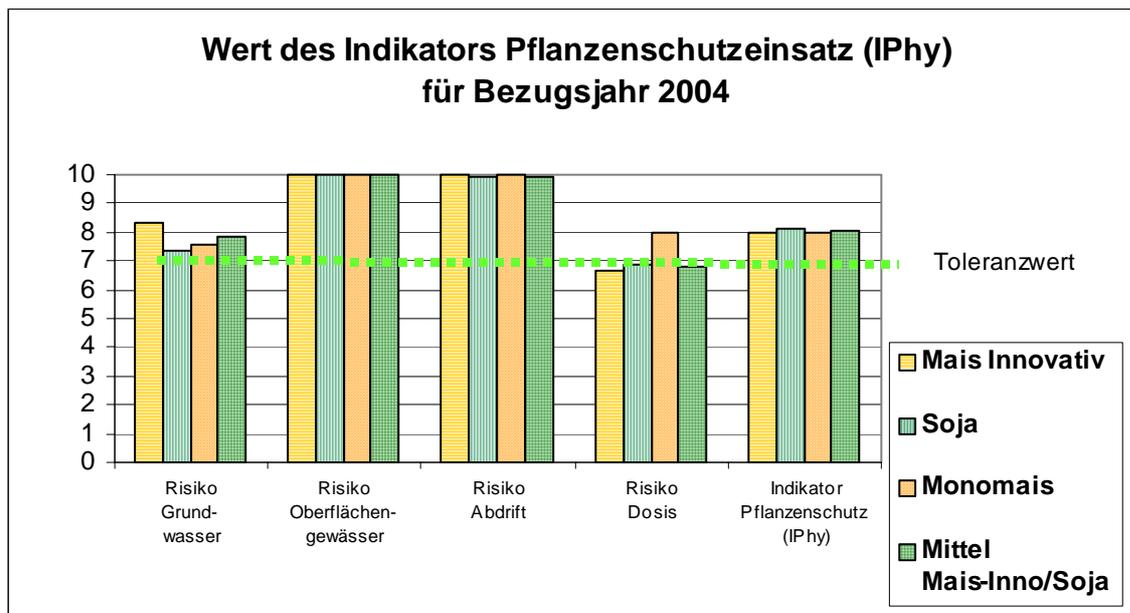


Abbildung 31: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Pflanzenschutzes (I_{Phy}).

Erklärtes Ziel des vergleichenden Systemversuchs war es, den Aufwand an Pflanzenschutzmitteln im innovativen Anbausystem im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes zu mindern. Dies gelang bei der Reduzierung der Aufwendungen bei Mais-innovativ mit den angewandten Nachauflaufherbiziden in hervorragender Weise. Der Gesamtaufwand für das System konnte jedoch nicht verringert werden, denn aufgrund des milden Winters war die vorausgegangene Sommerhafer-Untersaat nicht abgefroren und machte den Einsatz eines Totalherbizids (*Glyphosat*) notwendig, um den Neuaustrieb im Frühjahr zu unterbinden. In der Bewertungskategorie „aufgewendete Wirkstoffmengen“ (Risiko Dosis) führte dies zu einem deutlichen Abschlag, der allerdings das Gesamtergebnis nicht stark beeinflusste, da der Wirkstoff *Glyphosat* in den anderen Teilwirkungen als wenig problematisch eingestuft wird.

Die eingesetzten Sulfonylharnstoffe und *Dicamba* erhielten dagegen bei der Risikobewertung bezüglich der Grundwassergefährdung deutliche Abschlüsse, beim Wirkstoff *Dicamba* war das auch für die Höhe der Dosierung der Fall. Beim Sojaanbau gab es einen drastischen Abschlag für die hohen Aufwandmengen von *Bentazon*, die durch die starke Gänsefußverunkrautung in mehreren Auflaufwellen erforderlich wurden. Außerdem erhielten *Bentazon* und der Wirkstoff *Thifensulfuron* bezüglich der Grundwassergefährdung mittlere Abschlüsse.

Da für I_{Phy} in den einzelnen Verfahren jeweils das gemittelte Risiko der Teilkategorien (Dosis, Grundwassergefährdung, Gefährdung von Oberflächengewässern und Abdrift) des in den Kulturen verwendeten Wirkstoffs mit höchstem Risiko verwendet wird, ergaben sich beim Vergleich der Verfahren keine Unterschiede. Sie wurden jeweils mit dem globalen Indikator $I_{Phy} = 8,0$ bewertet. (Bei Anwendung der Verfahren in erosionsgefährdeten Gebieten wären die innovativen Verfahren mit Untersaat und reduzierter Bodenbearbeitung wegen ihres Beitrags zur Verminderung von Wirkstoffausträgern durch Erosion günstiger eingestuft worden.)

3.4.3.6. Indikator Energie (I_{EN})

Bei diesem Indikator wird der notwendige Energieaufwand (hoher Verbrauch nicht erneuerbarer, bzw. knapper Ressourcen) als Risiko bewertet. INDIGO liefert dabei Ergebnisse zum Energieaufwand in den Teilgebieten Maschineneinsatz, Bewässerung, Düngung und Pflanzenschutzmittel und gibt damit auch Hinweise auf der Handlungsebene. Der Energieaufwand wird allerdings in den einzelnen Teilgebieten nicht mit einem Indikator versehen, sondern lediglich als Verbrauch in MJ/ha ausgewiesen, weshalb in der folgenden Abbildung zwei Achsen mit verschiedenen Einheiten bei der Ergebnisdarstellung verwendet werden. Die Abbildung zeigt die Ergebnisse der Berechnungen der Teilwirkungen (in MJ/ha) zu einzelnen Produktionsfaktoren und die Bewertung anhand des globalen Indikators I_{EN} für die drei Kulturen (Parzellen) und den Systemvergleich (Mittelwert Mais-innovativ/Soja gegen Monomais).

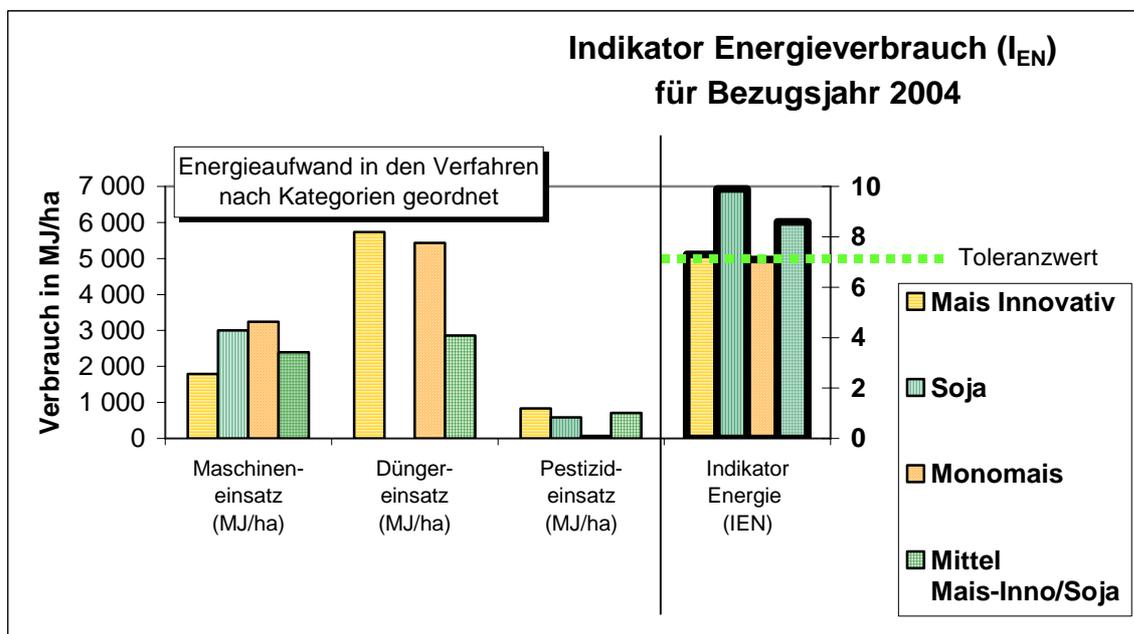


Abbildung 32: Ergebnisse der INDIGO - Bewertung des Energieeinsatzes (I_{EN}).

Für alle drei Produktionsverfahren und für die Fruchtfolge Mais-innovativ/Soja ergab sich ein vertretbarer Energieaufwand ($I_{EN} = 7,1$ bis $9,9$). Bei Betrachtung der einzelnen Verfahren ergeben sich in den Teilgebieten allerdings deutliche Unterschiede beim Energieverbrauch. Der Energieaufwand beim Maschineneinsatz ist bei Monomais mit Pflug am höchsten (3241 MJ/ha), gefolgt von Soja (3001 MJ/ha) und Mais-innovativ mit Reihenfrässaat (1792 MJ/ha) wo mit Abstand der geringste Energieaufwand beim Maschineneinsatz entstanden war. Der relativ hohe Aufwand bei Soja wurde neben dem Grubbereinsatz durch die relativ häufigen Befahrungen mit Egge und Saatbettkombination verursacht, die notwendig geworden waren, um ein für Soja geeignetes Saatbett zu schaffen. Hinzu kamen zwei Überfahrten für den Pflanzenschutz und eine Überfahrt zur Untersaat mit Sommerhafer. Beim Energieaufwand für eingesetzte Dünger, als letztlich bestimmender Größe für die Gesamtbeurteilung, war der Aufwand bei Soja 0 , die Maiskulturen erforderten mit 5730 MJ/ha (Mais-innovativ) und

5428 MJ/ha (Monomais) trotz unterschiedlicher Formulierungen in etwa den gleichen Energieeinsatz.

Der Energieaufwand für Pflanzenschutzmittel fällt im Vergleich mit den anderen Teilgebieten relativ gering aus. Er liegt im Sojaverfahren deutlich höher als bei Monomais und wird nur noch vom Mais-innovativ übertroffen, wo der Glyphosataufwand negativ zu Buche schlug und in Kombination mit dem geringen Mehraufwand bei der Düngung die Vorteile gegenüber Monomais beim Maschineneinsatz fast vollständig zunichte machte. In der Rangfolge ergab sich bei Betrachtung des globalen Indikators I_{EN} über alle Teilgebiete der beste Wert für die Sojakultur ($I_{EN} = 9,9$) gefolgt von Mais-innovativ ($I_{EN} = 7,3$) und Monomais ($I_{EN} = 7,1$). Beim Systemvergleich ergab sich in der Summe ein deutlicher Vorteil für die Fruchtfolge Mais-innovativ gegenüber dem Monomais ($I_{EN} = 8,6$ bzw. $I_{EN} = 7,1$).

Die Reduktion des Aufwandes für die mineralische Stickstoffdüngung durch die Körnerleguminose in der Fruchtfolge wirkte sich deutlich positiv auf den Indikator aus. Der Einsatz von *Glyphosat* im innovativen Maisanbauverfahren ist bezüglich des Energieeinsatzes belastend. Eine bessere Düngerbemessung zu Mais durch Vermeidung von Überschüssen bei der N-Düngung würde einen entscheidenden Beitrag zur Verbesserung der Indikatorbewertung und der Nachhaltigkeit liefern.

3.4.4. Gesamtbewertung des Systemvergleichs mit INDIGO®

Die Darstellung des Gesamtergebnisses erfolgt mit den Grundeinstellungen von INDIGO® normalerweise für den Gesamtbetrieb („Exploitation“). Im vorliegenden Fall wurde die Darstellungsweise abgeändert und ergänzt, so dass sowohl die Ergebnisse zu den einzelnen Produktionsverfahren (Abbildungen in Anhang 2), als auch die Resultate des Systemvergleichs von a) *Monomais* gegen b) *Mais-innovativ/Soja* in der Fruchtfolge, in einer Gesamtübersicht aller Indikatoren dargestellt werden können (siehe unten).

Zur Visualisierung aller Indikatoren für einen Betrieb bzw. ein Verfahren werden Netzdiagramme verwendet, bei denen jeder Sektorenbegrenzung eine Achse für einen Indikator mit den Werten von 0 (im Zentrum) bis zum maximalen Wert 10 (außen) zugeordnet wird. Die Verbindungen der Achspunkte mit der Zahl sieben bildet ein hervorgehobenes Sechseck im Inneren des Netzes, das die Toleranzgrenze für die Indikatoren beschreibt. Reichen einzelne Werte der Auswertung über diese Grenze hinaus, ist der Indikatorwert zufriedenstellend bis optimal, ein Linienverlauf innerhalb der Toleranzgrenzen weist für den jeweiligen Indikator eine mehr oder minder defizitäre Situation aus. Auf eine Aggregation der einzelnen Indikatoren zu einem Gesamtwert wird bewusst verzichtet.

Da keine zwingenden Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Indikatoren bestehen, können Entscheidungen über die ökologische Vorteilhaftigkeit des einen oder anderen Anbausystems auch nicht aus einem Indikatormittelwert abgeleitet werden. Sie hängen vielmehr von Werthaltungen und Prioritätensetzungen ab, die angewendet werden. Beispiel: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzter saurer Regen“. Wird z.B. der Minderung der Nitratproblematik eine eindeutig höhere Bedeutung zugemessen als den anderen Umweltwirkungen, lässt sich eine Entscheidung alleine anhand dieses Indikators treffen. Falls

eine gleichrangige Optimierung aller Indikatoren angestrebt wäre, würde die Bewertung dagegen zu einem anderen Ergebnis kommen.

Klar kommen in den Netzdarstellungen Stärken und Schwachstellen bei den verglichenen Produktionssystemen zum Vorschein, welche die Unbedenklichkeit oder den Handlungsbedarf bei den Verfahren in einzelnen Wirkungskategorien aufzeigen. Die Detailanalysen (siehe vorige Kapitel) legen dazu die Ansatzpunkte offen.

Die Ergebnisse zur Bewertung der zwei untersuchten Anbausysteme Mais-innovativ/Soja im Fruchtwechsel und des Monomais-Verfahrens sind für die Gesamtheit der Indikatoren in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. Die Ergebnisse für die Einzelkulturen Mais und Soja des innovativen Systems finden sich in Anhang 2.

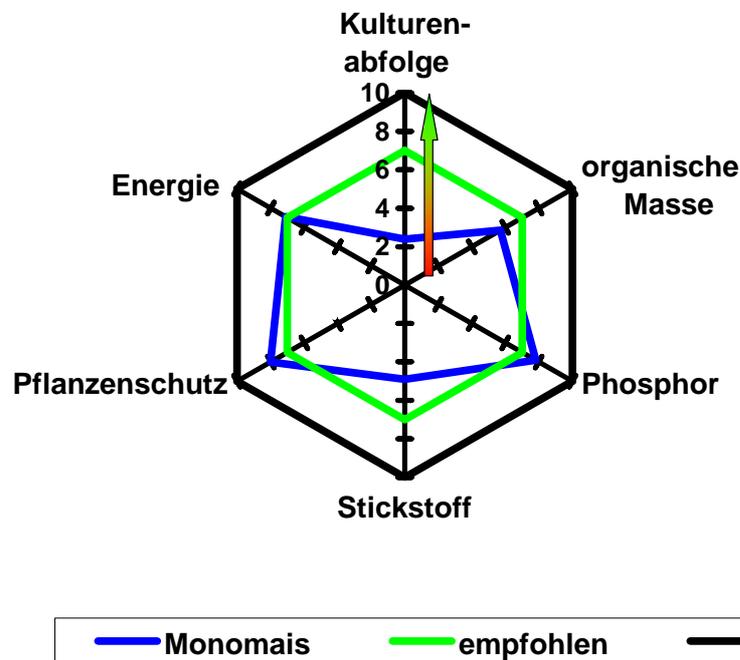


Abbildung 33: Bewertung des Produktionssystems Monomais (konventioneller Körnermaisbau im Daueranbau) mit ökologischen Kenngrößen des Umweltbewertungsverfahrens INDIGO® für das Jahr 2004 auf dem Standort Steinenstadt.

Die Darstellung zeigt Handlungsbedarf auf den Gebieten Kulturenabfolge (z. B. Fruchtwechsel), bei Stickstoffeinsatz und Handhabung (z.B. Düngerbemessung, Einsparungen, Ausbringung) sowie beim Erhalt der organischer Masse im Ackerboden auf (z. B. red. Bodenbearbeitung und/oder humusmehrende Maßnahmen).

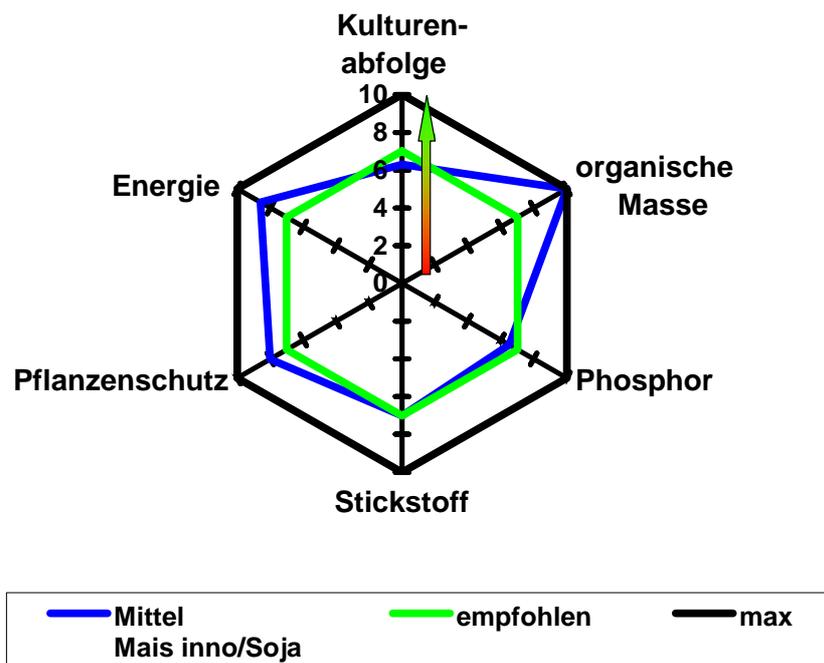


Abbildung 34: Bewertung des Produktionssystems Mais-innovativ/Soja (im Fruchtwechsel) mit ökologischen Kenngrößen des Umweltbewertungsverfahrens INDIGO® für das Jahr 2004 auf dem Standort Steinenstadt.

Die Darstellung zeigt noch geringen Handlungsbedarf auf den Gebieten Kulturenabfolge (z. B. Diversifizierung der Fruchtfolge), bei Phosphor (z.B. Düngung streng nach Bedarfsrechnung) und bei Stickstoffeinsatz und Handhabung (z.B. verbesserte Düngerbemessung zu Mais). Gegenüber Monomais ergeben sich deutliche Vorteile für das innovative System bei der Kulturenabfolge, beim Erhalt der organischen Masse der Böden, beim Stickstoffeinsatz und beim Energieverbrauch.

3.5. Wirtschaftlichkeit der Anbausysteme

3.5.1. Verfahren der Bewertung

Für die wirtschaftliche Bewertung der Anbauverfahren werden die Ergebnisse der Versuchsjahre 2003 und 2004 herangezogen. Hierbei ist zu beachten dass

- a) kumulative Effekte hierbei noch wenig zum Tragen kommen und das erste Versuchsjahr die Systeme noch ungenügend abbildet (Start mit konventioneller Bodenbearbeitung) und
- b) extreme Klimaverhältnisse mit starker Trockenheit und hohen Temperaturen (in 2003) und ein Hagelereignis auf dem Standort Viehwegacker (in 2004) die Ergebnisse erheblich beeinflusst haben.

Die Hagelschäden wurden durch Zahlungen der Hagelversicherung bei den Wirtschaftlichkeitsberechnungen für 2004 berücksichtigt, es wurde aber darauf geachtet, dass keine Überkompensation erfolgte. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Versicherungsleistungen nur bis zum Niveau des auf dem Standort Steinenstadt real erzielten Ertrages berücksichtigt wurden. Den tatsächlich erzielten Erträgen wurde ein einheitlicher Sockelbetrag (bei Mais 30 dt Kornertrag für 30% Hagelschaden, bei Soja 30 dt Kornertrag für 100% Hagelschaden) zugeschlagen, wodurch die Ertragsunterschiede der Maisanbauvarianten erhalten blieben (aus 60 dt Ertrag für Monomais und 72 dt Ertrag für Mais innovativ auf dem Standort Viehwegacker wurden dadurch rechnerisch 90 und 102 dt Ertrag) die als negative sonstige Kosten bei den Deckungsbeitragsrechnungen berücksichtigt wurden.

Für die betriebswirtschaftliche Bewertung wurden herangezogen

- a) der Deckungsbeitrag A (nur Marktleistung abzüglich variabler Kosten)
- b) der Deckungsbeitrag B (mit MEKA-Ausgleich und Kulturpflanzenausgleich)
- c) das kalkulatorische Betriebszweigergebnis (Vollkostenrechnung)
- d) der Arbeitsbedarf an ständigen AK im Betrieb
- e) die Entlohnung der Arbeit bei Vollkosten
- f) Kosten der Arbeitserledigung

Außerdem sind in Anhang 7 die wichtigsten Leistungen und Kosten zu jedem einzelnen Produktionsverfahren zusammengestellt (Ertragsleistung, MEKA-Ausgleich, Kulturpflanzenausgleich, Saatgutkosten, Kosten für Düngung, Pflanzenschutz, Lohnmaschinenkosten, variable Maschinenkosten (eigen) und der Lohnansatz für geleistete Arbeit nach aktuellen Sätzen des Maschinenrings für Baden-Württemberg).

3.5.1.1. Erläuterungen zu wichtigen ökonomischen Kenngrößen

Der *Deckungsbeitrag A* dient als Maß für die Leistungsfähigkeit eines Produktionsverfahrens ohne agrar- und umweltpolitisch motivierte Ausgleichszahlungen. Er ist definiert als Differenz zwischen der Marktleistung und den verfahrensbezogenen variablen Kosten.

Der *Deckungsbeitrag B* (gemeinhin als Deckungsbeitrag bezeichnet) dient als Maß für die Leistungsfähigkeit eines Produktionsverfahrens. Er beinhaltet verfahrensabhängige Ausgleichsleistungen zur Kompensation von Mehrkosten oder Mindererträgen gegenüber Standardverfahren mit geringeren Umweltleistungen und die Flächenzahlungen für Kulturpflanzen (421 €/ha für Körnermais und 324 €/ha für Soja). Sie steuern einen erheblichen Beitrag zu den Leistungen der Verfahren auf den Betrieben bei. Der Deckungsbeitrag B bildet deshalb bei kurz bis mittelfristiger Betrachtung der relativen Leistungsfähigkeit eines Produktionsverfahrens (gegebene Betriebsausstattung) die Entscheidungsgrundlage für die Betriebsleiter.

Für die Berechnung des *kalkulatorischen Betriebszweigergebnisses (Vollkostenrechnung)* werden neben der Marktleistung und den variablen verfahrensabhängigen Kosten auch alle festen Spezial- und Gemeinkosten, wie etwa Abschreibungen für Gebäude, Maschinenpark, Pacht, Lohnansatz für Familien AK etc. berücksichtigt. Die Vollkostenrechnung, die in der Landwirtschaft sehr häufig zu negativen Werten führt, dient als Maß für die Entlohnung des unternehmerischen Risikos und zur langfristigen Ausrichtung eines Betriebes auf bestimmte Betriebszweige.

Bei der *Verwertung knapper Faktoren* wurde die tatsächliche *Entlohnung der Arbeit* herangezogen, weil sich in vielen Betrieben in Zukunft vermehrt die Frage stellen wird, wo und wie sich die begrenzt verfügbare Arbeitskraft (AK) am rentabelsten einsetzen lässt (Ackerbau, unterschiedliche Anbauverfahren, Tierproduktion, Bioenergieerzeugung, Tourismus, Spezialkulturen, Hofladen etc.).

In gleichem Maße interessiert auch der notwendige eigene *Arbeitszeitbedarf (Akh/ha)*, der für die einzelnen Verfahren notwendig ist, denn über eine Reduktion des Arbeitsaufwandes können Kapazitäten für alternative (traditionelle und nicht traditionelle) Beschäftigungsfelder freigesetzt werden. (Nach Befragungen, die im Rahmen eines parallel laufenden ITADA - Projektes zur reduzierten Bodenbearbeitung durchgeführt wurden (HÖLSCHER & MÜLLER-SÄMANN 2004), war der Aspekt der Arbeitersparnis eines der Hauptmotive für die Einführung reduzierter Bodenbearbeitung in Betrieben entlang des Oberrheins).

Die *Kosten der Arbeitserledigung*, (definiert als Summe aus variablen und festen Maschinenkosten, Lohnmaschinenkosten, variablen Lohnkosten nicht ständiger AK und dem Lohnansatz für eingesetzte Arbeit) können je nach Gestaltung der Arbeitsabläufe (z. B. Vergabe von Arbeiten an Lohnunternehmen, Variation der Bodenbearbeitung etc.) bei der gleichen Kultur unterschiedlich ausfallen. Je geringer die Kosten der Arbeitserledigung ausfallen, desto höher ist die langfristige Vorzüglichkeit eines Verfahrens für den Betrieb (z.B. durch Anpassung des Maschinenparks).

Eventuelle Mehreinnahmen aus freigesetzter Arbeitskraft oder zusätzliche Einnahmen (z.B. Prämien für Mulchsaat gegenüber Pflug) müssen bei der Bewertung der Kennzahl mit berücksichtigt werden.

3.5.1.2. Bewertung der Fruchtfolgesysteme mit dem Deckungsbeitrag A (ohne Ausgleichszahlungen)

Bei insgesamt unterdurchschnittlichen Erträgen konnte unter Verzicht auf die Flächenprämien mit keiner Fruchtfolge ein positives Ergebnis erzielt werden. Wie in der folgenden Zusammenstellung zu sehen, lagen die Fruchtfolgen Monomais-Viehweg und Mais-innovativ/Soja auf dem Standort Viehwegacker mit $-9,5 \text{ €/ha}$ und -62 €/ha (bedingt durch die Bewässerung zu Körnermais im Jahr 2003) aber nahe an der Schwelle zu einem positiven Deckungsbeitrag.

Am ungünstigsten schnitt die Fruchtfolge Soja (2003) – Mais innovativ (2004) mit $-376,5 \text{ €/ha}$ auf den Standorten Viehwegacker und mit $-285,5 \text{ €/ha}$ in Steinenstadt ab. Auf dem Standort Viehwegacker lag das vor allem an den hohen Kosten der Bewässerung zu Soja im Trockenjahr (nicht berechnungswürdig bei anhaltender Trockenheit), in Steinenstadt am Totalausfall der Sojabohnen aufgrund von Verunkrautung und Trockenheit.

Mais Daueranbau/Steinenstadt und die Fruchtfolge Mais-innovativ/Soja in Steinenstadt lagen etwa gleichauf im mittleren Bereich (-178 €/ha und -210 €/ha).

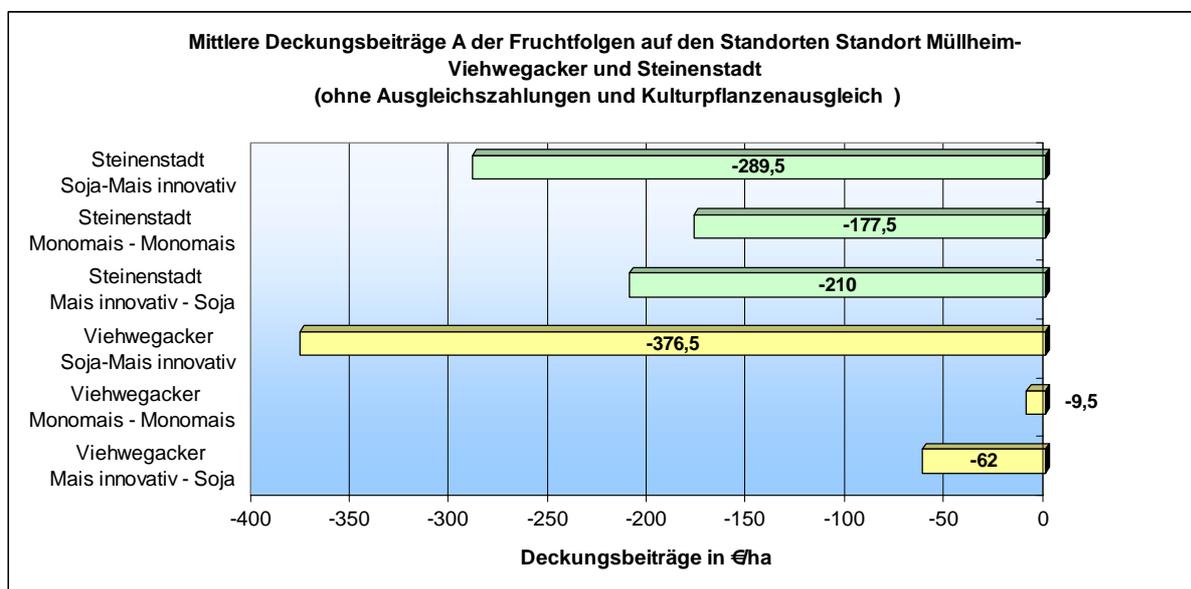


Abbildung 35: Deckungsbeiträge A der untersuchten Fruchtfolgen (2003/2004)

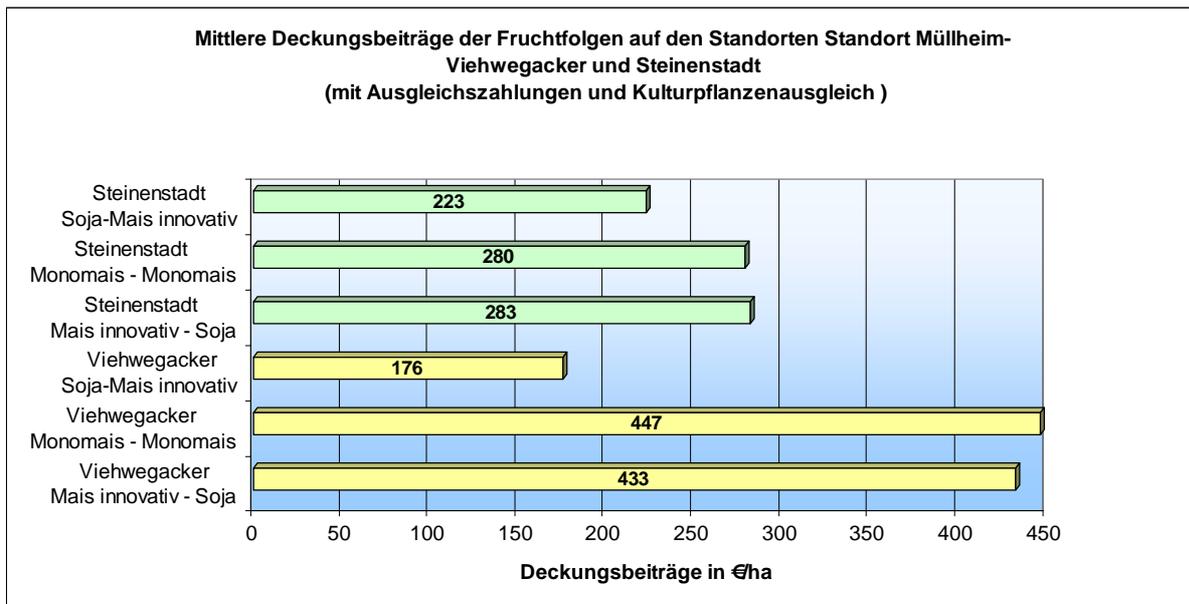


Abbildung 36: Deckungsbeiträge B der untersuchten Fruchtfolgen (2003/2004)

3.5.1.3. Bewertung der Fruchtfolgesysteme mit dem Deckungsbeitrag B (mit allen Ausgleichszahlungen)

Bei Betrachtung der Fruchtfolgen anhand des Deckungsbeitrages B mit Berücksichtigung sämtlicher flächen- und verfahrensbezogenen Zahlungen kommen in allen Verfahren positive Ergebnisse zustande. Sie reichen allerdings auch bei den wirtschaftlich vorteilhaftesten Fruchtfolgen nur in den Bereich mittlerer Deckungsbeiträge von Feldkulturen in normalen Anbaujahren heran. An der grundlegenden Abfolge der relativen Vorzüglichkeit der Anbausysteme ändert sich nichts (obige Abbildung). Die Fruchtfolge Mais-innovativ/Soja auf dem Standort Viehwegacker kann trotz noch geringer Ausgleichszahlungen im ersten Anbaujahr fast vollständig zum Mais Daueranbau auf diesem Standort anschließen, in Steinestadt liegt Monomais ebenfalls gleichauf mit der Fruchtfolge Mais-innovativ/Soja, allerdings ohne Bewässerung und deshalb auf geringerem Niveau. Die Fruchtfolgen mit Soja (im Trockenjahr 2003) schneiden aus den oben schon dargelegten Gründen wieder am ungünstigsten ab.

Unter Berücksichtigung der zukünftig einheitlichen Flächenprämie für Ackerkulturen von ca. 307 €/ha würde die Leistungsfähigkeit der Mais/Soja - Fruchtfolgen relativ zu Monomais um 94 €/ha verbessert. Mais-innovativ/Soja würde damit auf beiden Standorten zum Anbausystem mit dem höchsten Deckungsbeitrag.

Die Fruchtfolgeberechnungen zeigen

- a) dass Mais mit widrigen Umweltbedingungen besser zurecht kommt und insofern auch risikomindernd wirkt,
- b) dass er Bewässerung auch in größerem Umfang lohnt,
- c) dass Soja stressempfindlicher reagiert und Bewässerung zu konventioneller Soja nicht lohnt (allenfalls zu empfindlichen Entwicklungsabschnitten mit vorhandener, mobiler Anlage),
- d) dass die Fruchtfolge Mais innovativ-Soja bei mittleren Maiserträgen mit Mais Daueranbau mithalten kann, wenn die Flächenprämien angeglichen werden und Ausgleichszahlungen für zusätzliche Umweltleistungen in Anspruch genommen werden können.

Offen bleibt die Frage, ob das innovative Maisanbausystem, nur mit Begrünung und nachfolgender Reihenfrässaat, auch ohne die Einschaltung einer Körnerleguminose gleich produktiv wäre (positiver Fruchtfolgeeffekt), und ob die *CULTAN*-Düngung ebenso wirksam wäre.

Attraktiv wäre eine solche Variante vor allem aus ökonomischer Sicht, denn wie die Zusammenstellung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtfolgeglieder in den beiden folgenden Abbildungen zeigt, konnten mit dem Fruchtfolgeglied „Mais innovativ“ in beiden Anbaujahren und auf beiden Standorten die jeweils höchsten Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden. In Steinenstadt waren es 203 €/ha und 546 €/ha für die Jahre 2003 und 2004; auf dem Viehwegacker 454 €/ha und 654 €/ha für die Jahre 2003 und 2004. Sie lagen damit über den Leistungen des Systems konventioneller Daueranbau (Monomais) mit 79 €/ha und 480 €/ha in Steinenstadt und 355 €/ha und 539 €/ha auf dem Viehwegacker.

Geschwächt wurde die Leistung der Fruchtfolge in allen Fällen durch das relativ zu Mais weniger leistungsfähige Sojaglied, mit dem in Steinenstadt in den Jahren 2003 und 2004 nur Deckungsbeiträge von -100 €/ha und 362 €/ha erzielt werden konnten. Auf dem Standort Viehwegacker waren es -303 €/ha in 2003 und 412 €/ha in 2004. Eine Steigerung der Attraktivität, etwa durch Anbauverträge mit Verwertern konventioneller, aber gentechnikfreier Soja könnte hier über eine höhere Marktleistung punktuell Verbesserungen bringen (DEUTSCHER SOJAFÖRDERRING 2003). Auch Möglichkeiten zur Stabilisierung höherer Sojaerträge und Alternativen in der Fruchtfolge sollten geprüft werden. Letzteres ist nötig, weil die Unkrautproblematik bei Soja in Sommerungsfruchtfolgen ein Problem bleibt, das die Fruchtfolge mit konventioneller, gentechnikfreier Soja in Frage stellt (siehe Kapitel 3.2.2, den Abschnitt Leistungen und Kosten einzelner Verfahren in diesem Kapitel). Arbeitswirtschaftliche Engpässe und Probleme (z. B. mit Mähdrescherumbauten/-verfügbarkeit) ergeben sich durch die fast synchronen Saat- und Entearbeiten bei Soja und Körnermais (in beiden Versuchsjahren war es schwierig die Soja zum optimalen Zeitpunkt zu ernten, da die Lohnunternehmer darauf drängten die Maschinen auf die Maisernte umzustellen).

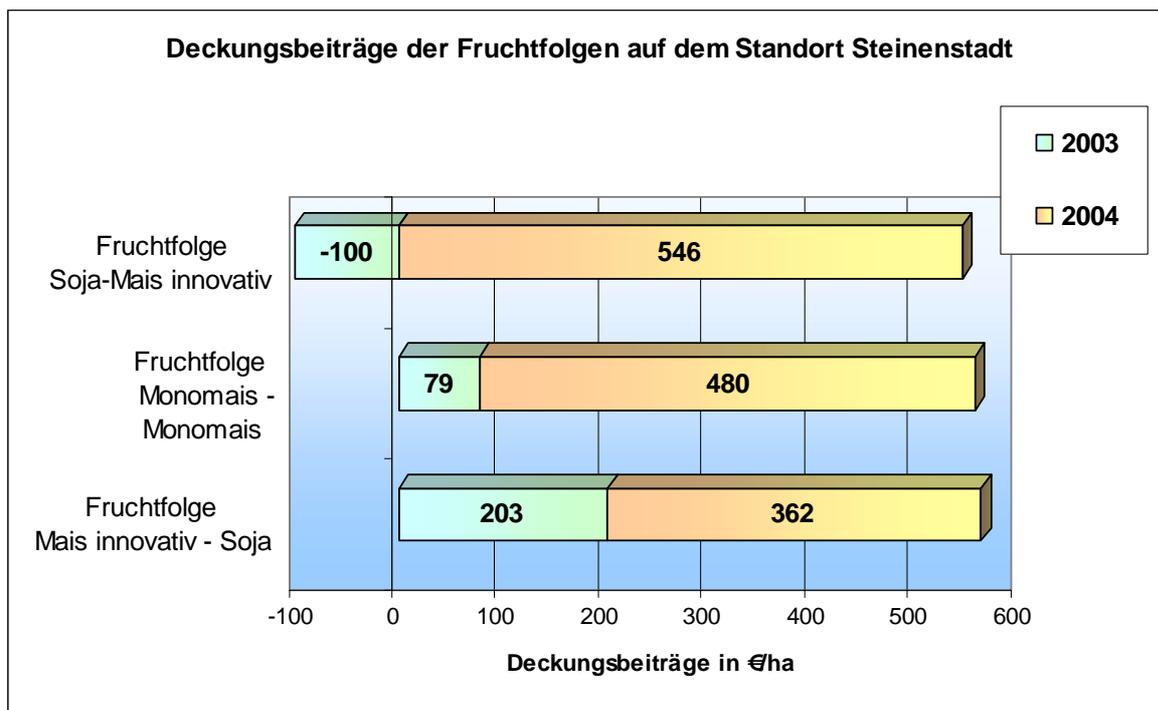


Abbildung 37: Zusammenstellung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtfolgeglieder für den Standort Steinenstadt, 2003/2004

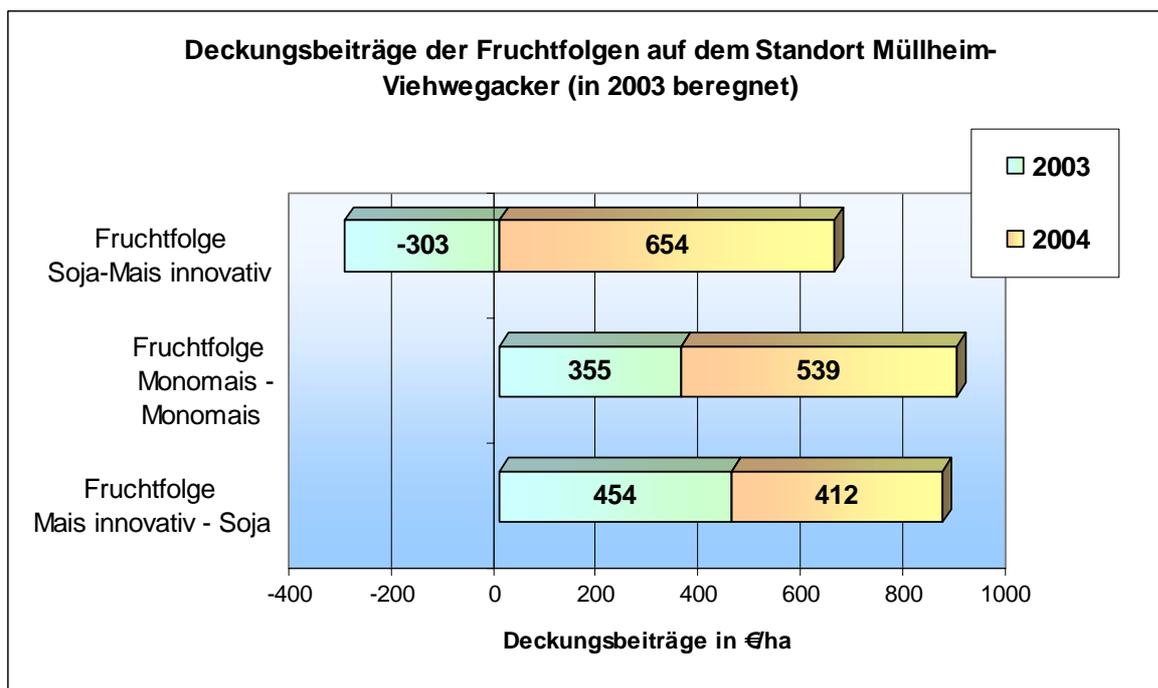


Abbildung 38: Zusammenstellung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtfolgeglieder für den Standort Viehwegacker, 2003/2004

3.5.1.4. Bewertung der Fruchtfolgesysteme mit weiteren Kenngrößen

Kalkulatorisches Betriebszweigergebnis (Vollkostenrechnung)

Die nachfolgend dargestellten Vollkostenrechnungen für die einzelnen Produktionsverfahren im Rahmen der Fruchtfolge zeigen deutlich, dass mit den dargestellten Verfahren unternehmerisches Risiko in den betrachteten Jahren nicht entlohnt wurde. Insbesondere im Trockenjahr 2003 blieben die erzielten Einnahmen deutlich hinter dem langfristig betrieblich Notwendigen zurück. Im Jahr 2004 konnten die Vollkosten nur bei den Verfahren Mais-innovativ nach Soja annähernd gedeckt werden. Die Fruchtfolge war jedoch durch eine schwere Hypothek des vorangegangenen Sojaanbaus belastet. Am günstigsten, wenngleich ebenfalls unbefriedigend, schnitten über die zwei Jahre betrachtet wiederum der Mais-Daueranbau und Mais-Soja auf dem 2003 bewässerten Standort Viehwegacker ab.

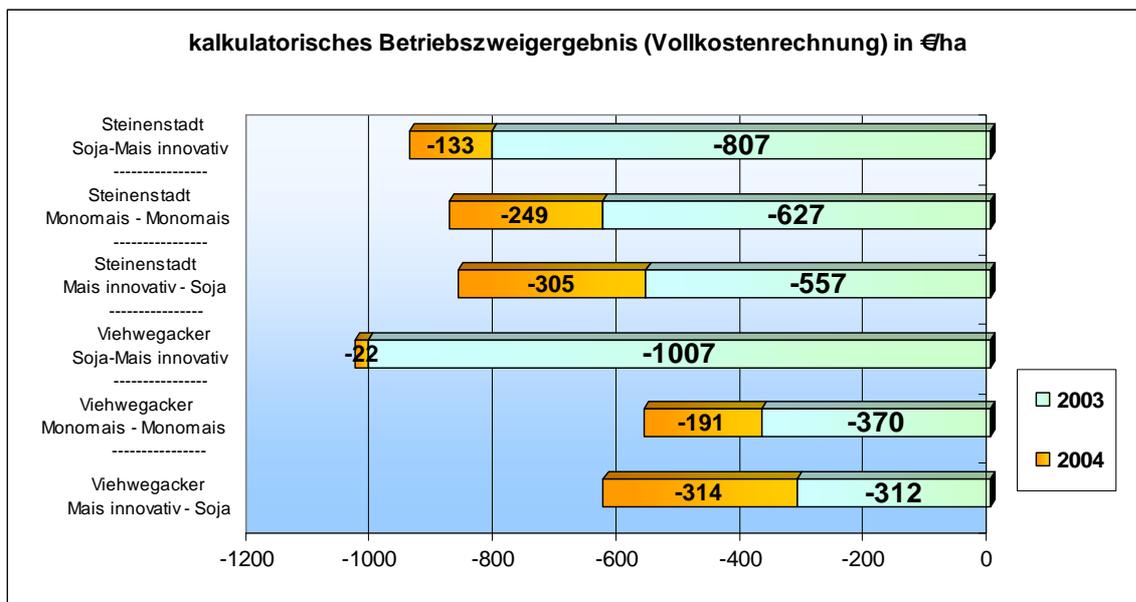


Abbildung 39: Ergebnisse der Vollkostenrechnung in €/ha zu einzelnen Produktionsverfahren im Rahmen der Fruchtfolge auf den Standorten Steinestadt und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004

Arbeitszeitbedarf in Arbeitskraftstunden pro ha (Akh/ha)

Einsparung von Arbeitszeit ist für viele Betriebe ein bedeutender Faktor bei der Bewertung unterschiedlicher Verfahren. Die Zusammenstellung in der unten folgenden Abbildung zeigt den geringsten Arbeitsbedarf bei Soja (Steinestadt 2004). Auf dem Standort Viehwegacker war er 2004 aber wesentlich höher, weil nach der Grasuntersaat zu vorangegangenem Mais nur mit zwei Grubberdurchgängen und anschließender Saatbettkombination ein zufriedenstellendes Saatbett für Soja hergestellt werden konnte. Außerdem musste nach dem Hagelschaden im Viehwegacker wegen Verunkrautung gemulcht werden bevor mit Kreiseleggendrill die Hafer-Winterfrucht eingesät wurde, während in Steinestadt die Düngung ganz unterbleiben konnte

und zusätzlich für die Haferuntersaat mit dem Düngerstreuer ein wesentlich weniger Aufwand entstand. Druscharbeiten wurden einheitlich als Lohndrusch verrechnet.

Deutliche Abweichungen in Richtung Mehraufwand ergeben sich für 2003 in den noch nicht voll etablierten innovativen Anbausystemen für Mais in den innovativen Anbausystemen im Jahr 2003 durch Hacke und Untersaat, manuelle Trichogrammaausbringung und das Abmulchen der Maisstoppel nach der Ernte, das in 2004 in allen Maissystemen zur Anwendung kam.

Die Variante Mais-innovativ war im ersten Versuchsjahr noch mit höherem Arbeitszeitbedarf gegenüber konventionellem Mais-Daueranbau verbunden. Durch den Einsatz der Reihenfrässaat mit Unterfußdüngung (N,P), Bodenbearbeitung und Saat in einem Arbeitsgang im Lohnverfahren konnte der betrieblich notwendige Arbeitszeitaufwand gegenüber Monomais im zweiten Jahr trotz Untersaat reduziert werden. Er lag mit 9 Ak/ha auf beiden Standorten deutlich unter dem Bedarf von Monomais (14 Ak/ha), ohne dass durch die zusätzlichen Kosten der Lohnvergabe die Konkurrenzkraft des Anbausystems gegenüber Monomais geschwächt wurde. Wie im Abschnitt zu den Kosten der Arbeitserledigung ausgeführt, konnten die Arbeitskosten durch die Bündelung dieser Arbeiten im Lohnverfahren insgesamt aber nicht gesenkt werden. Die Arbeitsentlastung der Betriebe war durch verfahrensbedingte Mehreinnahmen wirtschaftlich abgedeckt (Abbildung 17 und Abbildung 18).

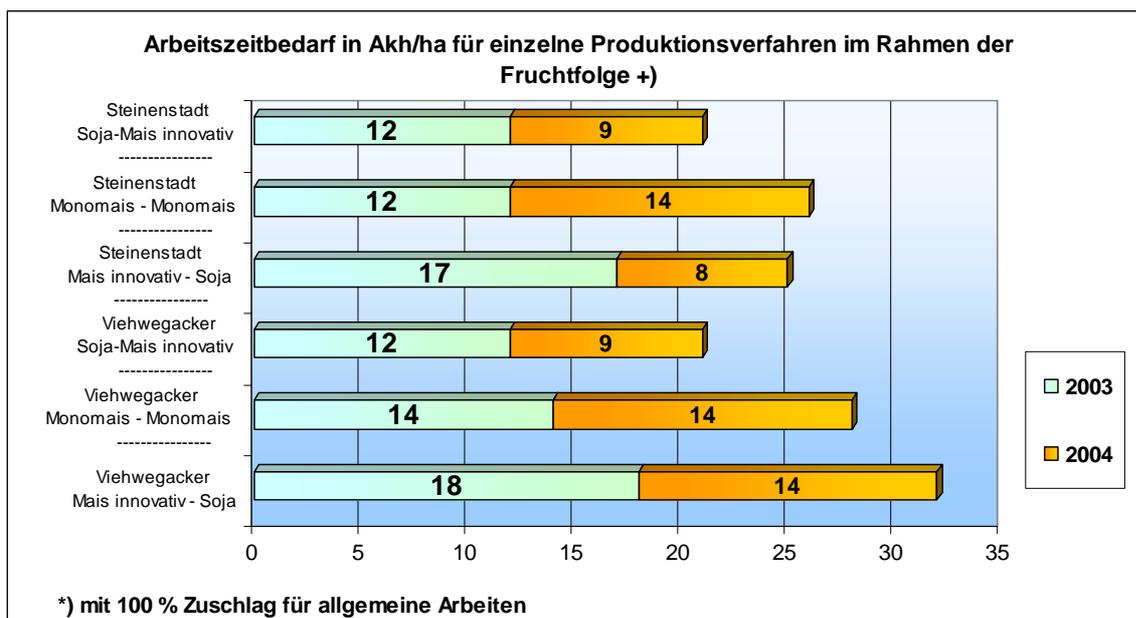


Abbildung 40: Ergebnisse zum Arbeitsbedarf in Akh/ha einzelner Produktionsverfahren im Rahmen der Fruchtfolge auf den Standorten und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004

Entlohnung eingesetzter Arbeit

Bei der Entlohnung der eingesetzten Arbeit (siehe folgende Abbildung) spiegelt sich der Jahreseinfluss deutlich wieder. Im ertragsschwachen Jahr 2003 konnte nur mit bewässertem Mais-innovativ eine positive Entlohnung der Arbeit nach Vollkosten erzielt werden. Im Jahr 2004 bei einer insgesamt wesentlich günstigeren Ertragsituation war es ebenfalls dieses Verfahren

das zur besten Entlohnung der Arbeit führte, dicht gefolgt von Mais im konventionellen Daueranbau.

Kosten der Arbeitserledigung (Maisanbauverfahren)

Gegenüber Mais Daueranbau ergaben sich mit Einführung des innovativen Anbaus keine Vorteile bei den Kosten der Arbeitserledigung. Sie stieg in 2003 aufgrund der Untersaaten sogar leicht von 663 €/ha auf 739 €/ha. Im Jahr 2004, wo noch ein Abspritzen der Untersaat notwendig wurde und Reihenfrässaat (Lohn) und *CULTAN* Düngung als Varianten gegenüber dem konventionellen Verfahren zur Anwendung kamen, erhöhten sich die Kosten der Arbeitserledigung im innovativen Maisanbau auf 758 €/ha. Sie lagen damit ca. 10 % über den Kosten der Arbeitserledigung für Monomais von durchschnittlich 687 €/ha. Der Mehraufwand wurde durch erhöhte Ausgleichsleistungen von 170 €/ha allerdings mehr als kompensiert.

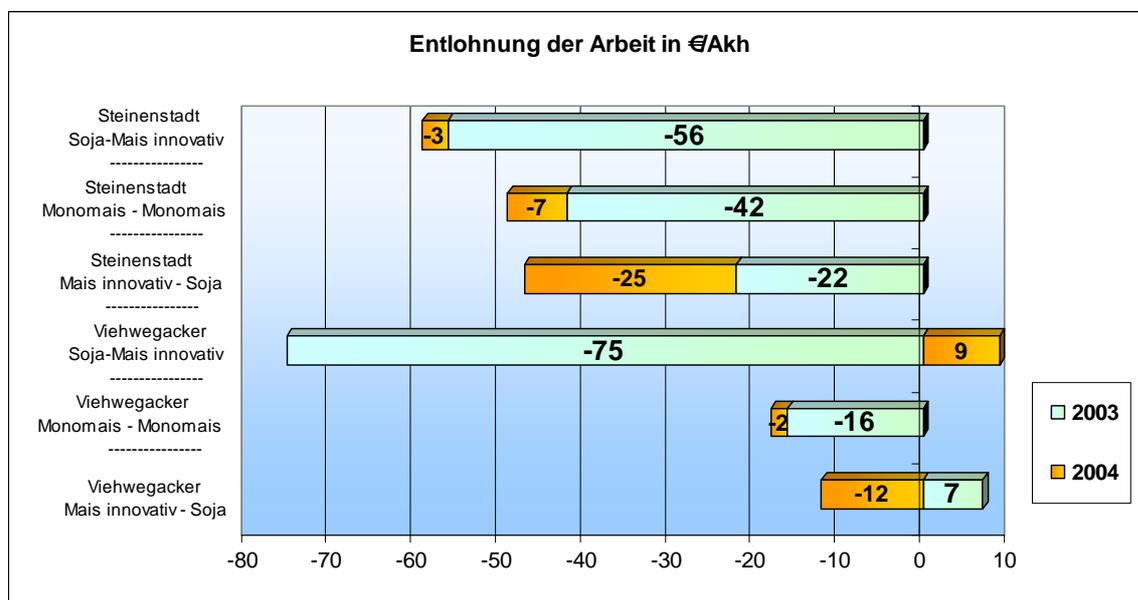


Abbildung 41: Entlohnung der Arbeit in verschiedenen Fruchtfolgegliedern der Standorte Steinestadt und Viehwegacker in den Jahren 2003/2004

Die Leistungen und Kosten einzelner Verfahren sind in Anhang 7 zusammengestellt.

Unkrautkontrolle

Der monetäre Aufwand der Unkrautbekämpfung in Soja stieg auf dem Standort Steinestadt mit hohem Unkrautdruck von 120 €/ha in 2003 auf 217 €/ha in 2004 und lag damit trotz geringerer Marktleistungen zuletzt über Mais mit 153 €/ha und 164 €/ha in den Jahren 2003 und 2004. Der Aufwand für die Unkrautbekämpfung im System Mais-innovativ stieg durch den zusätzlichen Einsatz von Glyphosat zur Abtötung der Winterbegrünung von 123 €/ha in 2003 auf 180 €/ha in 2004 und lag damit im zweiten Anbaujahr trotz verringerter Aufwandsmengen bei der Nachaufspritzung leicht höher als im konventionellen Maisanbau.

MEKA Zahlungen⁸

Die Ausgleichsleistungen aus dem MEKA Programm konnten durch Einführung der neuen Verfahren erheblich verbessert werden. Gegenüber dem Mais Daueranbau mit Pflug (60 €/ha bzw. 66 €/ha) können mit Soja in 2003 und 2004 jeweils 96 €/ha und 116 €/ha und mit Mais-innovativ 176 €/ha und 236 €/ha zu den Deckungsbeiträgen hinzukommen. Für die Wettbewerbsfähigkeit der innovativen Mais-Fruchtfolge ist dies von entscheidender Bedeutung, da Monomais-Fruchtfolgen ansonsten in allen Standortszenarien günstiger abschneiden würden (Details siehe Anhang 7).

Saatgut

Die Saatgutkosten steigen in den innovativen Anbausystemen durch die Untersaaten⁹ und den leicht höheren Preis für die Maissorte NEXXOS um durchschnittlich ca. 40 % (60 €/ha) gegenüber dem Mais Daueranbau an (Details siehe Anhang 7).

Düngung

Der Aufwand für die Düngung sinkt in den innovativen Anbausystemen um ca. 40 % von mittleren 133 €/ha auf ca. 83 €/ha, was vor allem auf den Sojaanbau zurückzuführen ist. Die CULTAN Anwendung verursacht bei gleich hoher Düngerbemessung zu Mais in etwa die gleichen Kosten bei der N-Düngung (Preis 2004: 0,65 €/kg N).

Maschinenkosten

Die variablen Maschinenkosten sinken in den Fruchtfolgen mit innovativem Maisanbau gegenüber konventionellem Monomais (122 €/ha) geringfügig um mittlere 14 bis 30 €/ha auf 108 bis 92 €/ha, was auf die Vergabe der Reihenfrässaat im Lohnverfahren und auf den Verzicht der wendenden Bodenbearbeitung im zweiten Anbaujahr zurückzuführen ist. Dementsprechend steigen die mittleren Kosten für Lohnmaschinen gegenüber dem Monomais (nur Lohndrusch) im zweiten Anbaujahr für die Fruchtfolge Soja-Mais um 80 €/ha auf mittlere 260 €/ha an. Die Kosten des extern vergebenen Maschineneinsatzes insgesamt beliefen sich im innovativen Maisanbau mit Reihenfrässaat auf 363 €/ha in 2004 (Details siehe Anhang 7).

⁸ Seit 2003 werden Anträge auf Neuaufnahme bzw. Ausdehnung bestehender Verpflichtungen im MEKA Programm wegen der Deckelung der Ausgaben im Landeshaushalt nur noch in Ausnahmefällen berücksichtigt.

⁹ Zur Sicherstellung des Erfolges der Hafer-Untersaat wurde im Hinblick auf die geringe Zahl an Versuchsjahren Handelssaatgut eingesetzt und in die Berechnungen einbezogen. In der Praxis ist aus wirtschaftlichen Gründen der Einsatz von betriebseigenem Saatgut wahrscheinlicher.

4. Gesamtbewertung der Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

4.1. Bewertung der Versuchsergebnisse und Auswertungen nach Zielvorgaben des Projektes

Eine Gesamtbewertung des Systemversuchs mit den unterschiedlichen Anbausystemen für Mais ist nach nur zwei Versuchsjahren, verbunden mit unregulären Versuchsbedingungen, nicht ganz einfach und sollte deshalb als nicht sehr belastbar eingestuft werden. Um dennoch einige Kernaussagen zu treffen, sei zunächst an das Ziel des Projekts erinnert, das darin bestand, neue Praktiken und Verfahren auf ihre Effizienz, Machbarkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit hin zu prüfen. Dies mit dem Ziel, die Probleme des konventionellen Körnermais-Anbaus im Daueranbau zu mindern, ohne die Umsetzbarkeit in die Praxis zu gefährden.

Die Wirksamkeit der Neuerungen sollte sich insbesondere an den als prioritär eingestuften Problembereichen Nitrat, Wirtschaftlichkeit, Pflanzenschutz und in geringerem Maße auch an den Kriterien Bodenschutz, Bodenfruchtbarkeitserhalt und Energieeinsatz messen lassen.

Bezüglich der Nitratproblematik erwiesen sich sowohl die Untersaaten mit Weidelgras, als auch die neu entwickelte Untersaat von Sommerhafer in Soja als effiziente Methoden, um den vorwinterlichen Nitrataustrag zu mindern. Die negativen Auswirkungen hoher Bilanzüberschüsse aufgrund verfehlter Ertragsziele konnten durch Untersaaten aber nur gemindert werden. Wie sich Depotdüngung nach dem CULTAN-Verfahren diesbezüglich auswirkt, kann noch nicht gesagt werden und erfordert weitere Beobachtungen. CULTAN-Düngung war konventioneller N-Düngung im Bezug auf die Ertragsbildung zumindest ebenbürtig, denn die Erträge waren mit diesem Verfahren im Systemansatz sogar besser. Mais-innovativ schnitt bezüglich der N-Problematik bei der Bewertung mit dem INDIGO-Verfahren nur geringfügig besser ab als Monomais, da die kumulativen Wirkungen noch nicht zum Tragen kamen. Deutlichere Verbesserungen sind für das nächste Berechnungsintervall ab Ernte 2005 zu erwarten. Soja mit Untersaat führte zu einer deutlichen Minderung der Problematik im Rahmen der Fruchtfolge. Die Gefahren zu hoher Düngerbemessung in Erwartung hoher Erträge erwiesen sich im Betrachtungszeitraum als Hauptproblem bezüglich der Nitratüberschüsse. Geteilte Düngergaben mit Teilgaben zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Ertragserwartungen besser eingeschätzt werden können, wären eine Möglichkeit die Problematik zu mindern. Für die Umsetzung in die Praxis müssten dazu Prognoseindikatoren entwickelt werden, die zu erwartende Zielderträge bei später N-Düngung besser vorhersagbar machen.

Wie eng die Spielräume im Ackerbau aus wirtschaftlicher Sicht sind, wird durch die Tatsache veranschaulicht, dass mit keinem Verfahren, auch nicht mit konventionellem Monomais, über die zwei Betrachtungsjahre eine Vollkostendeckung erzielt wurde.

Wie die Wirtschaftlichkeitsberechnungen weiter zeigten, konnte das innovative Anbauverfahren für Mais sich mit dem Fruchtfolgeglied Mais-innovativ sehr erfolgreich gegen den konventionellen Monomais-Daueranbau behaupten. Beim Systemvergleich wurde die Konkurrenzkraft durch das wirtschaftlich ungünstige Abschneiden des Fruchtfolgeglieds Soja, insbesondere im Trockenjahr 2003, aber sehr stark belastet. Aus wirtschaftlicher Sicht ist diese

Situation nicht nachhaltig und verlangt nach einer Stärkung der Attraktivität des Fruchtfolgeglieds „Soja“.

Dies könnte auch die Hereinnahme eines dritten Fruchtfolgeglieds, wie z.B. Winterweizen nach Soja bewirken, wodurch der „Soja-Effekt“ wirtschaftlich abgedeckt werden könnte und gleichzeitig die sich aufbauende Problematik eines zunehmenden Unkrautdrucks in der Sommerungsfruchtfolge abgebaut würde. Wirtschaftlich noch interessanter, wenngleich ökologisch weniger attraktiv, wäre eine erneute Einengung der Fruchtfolge nur auf den innovativen Maisanbau mit Reihenfrässaat, CULTAN - Anwendung und Untersaat. Dieses System wäre nach bisherigen Ergebnissen wirtschaftlich und arbeitswirtschaftlich überlegen und würde gleichzeitig Verbesserungen in ökologischer Hinsicht bringen. Ob die Wirksamkeit der CULTAN -Düngung und die Ertragsfähigkeit des Verfahrens auch ohne die Soja Vorrucht in vollem Umfang aufrecht erhalten werden könnten, muss noch offen bleiben. Ökologische Ziele müssten bei einem solchen Ansatz zwar etwas zurückgestellt werden, könnten aber langfristig dadurch weiter optimiert werden, dass anstelle der Grasuntersaat eine perennierende und nach den Bedürfnissen des Mais im Wachstum zu regulierende Leguminosenuntersaat etabliert würde. Insbesondere bei Möglichkeiten zur Bewässerung erscheint diese Option attraktiv. Forschungen in diese Richtung sollten verstärkt werden.

Klar kam bei der Analyse der verschiedenen Maisanbausysteme auch heraus, dass die betriebliche Wettbewerbsfähigkeit innovativer Maisanbauverfahren, auch bei Annahme einheitlicher Flächenprämien, in hohem Maße von der Gewährung von Ausgleichszahlungen für verbesserte Umweltleistungen bestimmt wird. Sie stellen ein wichtiges Instrument dar, um umweltgerechte Verfahren in der Praxis konkurrenzfähig zu machen.

Bezüglich der Problematik des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln konnte das angestrebte Ziel einer Reduktion des Wirkstoffaufwands bisher nicht erreicht werden. Zwar war die Reduktion der Aufwandmengen der Nachauflaufherbizide in Mais sehr erfolgreich, die Einsparungen wurden aber mehr als wettgemacht durch den erhöhten Aufwand bei der Kontrolle der Untersaaten mit einem Totalherbizid. Auch in Soja war ein großer Herbizidaufwand notwendig. Er wurde verursacht durch hohen Unkrautdruck typischer Sommerunkräuter. Bei der Kontrolle des Neuwachstums der Untersaaten könnten leichter abfrierende und/oder leicht mechanisch zu kontrollierende Untersaaten eine Verbesserung bringen (z. B. Test empfindlicher Sommerhafersorten, Prüfung von Alternativen bei der Untersaat von Mais). Um den Unkrautdruck in der Sommerungsfruchtfolge Mais/Soja zu mindern, der sich vor allem bei Sojabohnen als problematisch herausstellte, könnte Soja bei einer „kleinen Lösung“ zunächst durch Erbsen ersetzt werden. Sie werden früher gesät, nutzen die Winterfeuchte besser aus, mindern die Arbeitsspitzen und entschärfen die Problematik der Sommerverunkrautung durch Bestandesschluss vor dem Auflaufen typischer Sommerunkräuter. Durch die frühere Ernte könnten weniger Unkräuter aussamen und nach der Ernte auch leichter mechanisch kontrolliert werden. Es entstünde auch ausreichend Zeit für eine Zwischenfrucht oder eine zeitige Getreidesaat. Die Einführung eines Wintergetreides in der Stellung nach Körnerleguminose wäre in diesem Zusammenhang eine weitere Möglichkeit die Fruchtfolgen zu

diversifizieren¹⁰ und gleichzeitig den Unkrautdruck in Sommerungsfruchtfolgen zu mindern der über die Förderung von Problemunkräutern mit einem potenziell hohen Pflanzenschutzmittelaufwand verbunden ist. Winterweizen, der wegen der Fusariumtoxinbelastungen nach Körnermais zur Problemkultur am Oberrhein geworden ist, könnte dadurch wieder einen Platz in den Fruchtfolgen finden.

Bezüglich der Minderung des Erosionsrisikos (Bodenbedeckungsgrade) und der bodenverbessernden Humuspflge erwiesen sich beide Fruchtfolgeglieder des innovativen Verfahrens als sehr nachhaltig, während bei Monomais gemäß der INDIGO-Bewertung eine Tendenz zur Verschlechterung des Humusgehaltes und damit verbundener Risiken besteht (Verschlechterung biologischer und bodenphysikalischer Parameter). Monomais muss deshalb mit zusätzlichem organischem Dünger wie z.B. Stallmist versorgt werden und/oder müsste weniger intensiv bearbeitet oder mit Untersaaten ausgestattet werden.¹¹

Die Fortführung der Versuche mit Modifikationen zur weiteren Optimierung der Verfahren (siehe Ausführungen zur Methodik des Systemversuchs) wird empfohlen. Die Belastbarkeit der Ergebnisse würde dadurch stark verbessert. Kumulative Wirkungen der Behandlungen im Systemvergleich könnten dann zum Tragen kommen, erfasst und dokumentiert werden.

4.2. Bewertung der Versuchsergebnisse anhand vorläufigen Ergebnisse des ITADA-01 Projektes zu Aspekten der reduzierten Bodenbearbeitung am Oberrhein

Parallel zu diesem Projekt wurden im laufenden ITADA-Projekt 01 zur pfluglosen Bodenbearbeitung in Deutschland und Frankreich Praktiker (Landwirte) und Experten aus Wissenschaft, Beratung, Industrie und Landwirtschaftsverwaltung zu ihren Ansichten über Gründe, Vor- und Nachteile sowie Auswirkungen pflugloser Anbauverfahren befragt.

Ziel ist u.a. die Identifizierung der Hemmnisse und Motivationsgründe des Einsatzes pflugloser Verfahren.

Abbildung 42 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Hauptmotive zur Anwendung pflugloser Verfahren. Neben dem Erosionsschutz als meistgenanntem Grund (12 Nennungen) ist die Zeitersparnis (zusammen ebenfalls 12 Nennungen) zugunsten von Freizeit, anderen

¹⁰ Beide Systemansätze blieben bei der Bewertung mit INDIGO deutlich unter der Toleranzschwelle für eine optimale Kulturartenabfolge.

¹¹ Langjährige Versuche zum Anbau von Körnermais im Daueranbau und in Fruchtfolge zeigten nach über 30 Jahren noch keinen signifikanten Rückgang des Humusgehaltes der Böden (Hönig et al. 2005). Der mit dem INDIGO-Verfahren ermittelte Rückgang des Humus wird durch diese Versuche nicht bestätigt.

betrieblichen oder nichtbetrieblichen Aktivitäten, sowie zur Verminderung von Arbeitsspitzen der Hauptmotivationsgrund für die Landwirte, pfluglos zu arbeiten.

Wie die betriebswirtschaftlichen Berechnungen zu den eigenen Feldversuchen im vorliegenden Projekt ITADA 03 gezeigt haben, kommt das innovative Maisanbauverfahren diesen Bedürfnissen und Motivationen in bezug auf die arbeitswirtschaftlichen Aspekte und den Erosionsschutz weitgehend entgegen, was die Umsetzung der neuen Anbausysteme in die Praxis erleichtern könnte.

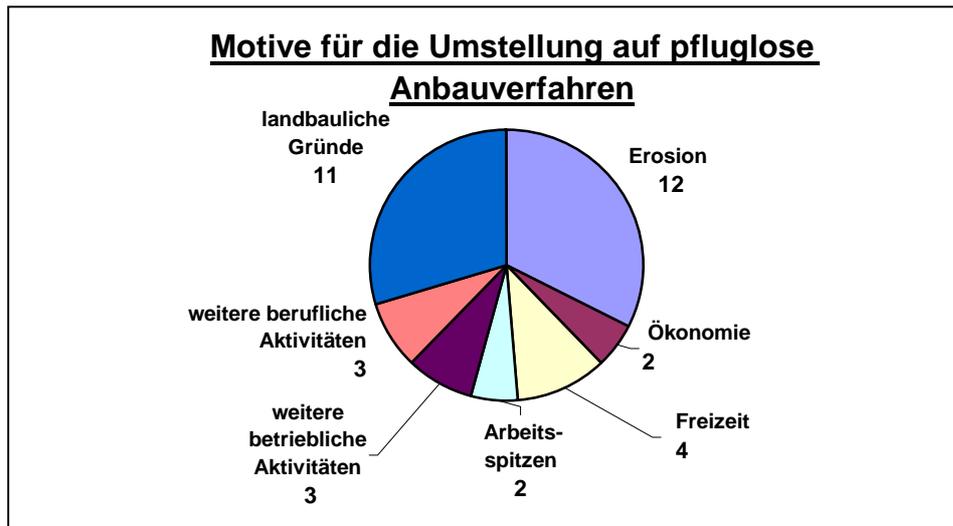


Abbildung 42: Motive für die Umstellung auf pfluglose Anbausysteme (HÖLSCHER & MÜLLER-SÄMANN 2004)

Unter den landbaulichen Gründen wird im Projekt ITADA 01 den Verbesserungen im Bodenwasserhaushalt und der Bodenstruktur sowie der besseren Befahrbarkeit der Flächen bei gleichzeitig niedrigerem Treibstoffverbrauch ein hoher Stellenwert eingeräumt. Auch diesem Anspruch kommt das innovative Maisanbauverfahren in hohem Maße entgegen.

Die Problematik einer zunehmenden Problemverunkrautung, wie sie sich in den durchgeführten Versuchen vor allem auf dem Standort Steinenstadt aufgebaut hat, ist nach Ergebnissen der Befragung bei Praktikern im Projekt ITADA 01 auch mit reduzierten Bearbeitungsverfahren in den Griff zu bekommen. Nach Ansicht der Praktiker stellen nämlich Pflanzenkrankheiten und Unkrautprobleme kein Hemmnis für pfluglosen Anbau dar. Mit einer Verringerung der Unkrautprobleme ist bei Einführung von Verfahren zur reduzierten Bodenbearbeitung nach Ansicht der befragten Landwirte allerdings auch nicht zu rechnen.

Der in den Systemversuchen beobachtete Anstieg der Aufwendungen für Herbizide bei der Einführung reduzierter Bodenbearbeitung wird durch Beobachtungen in mehreren (aber nicht allen) Betrieben der befragten Landwirte bestätigt. Die Landwirte stehen solchen Tendenzen aus Umweltgründen und wegen der zusätzlichen Kosten kritisch gegenüber.

Bei der weiteren Entwicklung innovativer Masisanbausysteme ist dieser Aspekt zu beachten, um die Akzeptanz neuer Verfahren zu erhöhen.

5. Öffentlichkeitsarbeit und Termine

Als visuelle Infomaterialien wurden ein Projektflyer und ein Poster zur Projektarbeit erstellt und für die Öffentlichkeitsarbeit zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen der Badenmesse in Freiburg im Breisgau wurde am 17.09.2003 der Stand des IfuL Müllheim betreut. Dabei standen insbesondere Fragen des angewandten Bodenschutzes im Vordergrund. Es kam zu einem regen Gedankenaustausch mit der interessierten Öffentlichkeit sowie mit Fachleuten und Praktikern in der Landwirtschaft.

Am 09.06.2004 fand eine öffentliche Begehung der Feldversuche im Rahmen eines grenzüberschreitenden Feldtages statt, auf dem Presse, Fachleute und Landwirte zum Stand der Projektarbeit informiert wurden. Infomaterialien zu den Versuchen wurden zusammengestellt und verteilt.

Am 31.3.2004 nahm ein Vertreter von ANNA auf Einladung der französischen Projektpartner an einer Tagung zur pfluglosen Bodenbearbeitung in Paris teil, um sich über Sachstand auf französischer Seite zu informieren. Vorläufige Ergebnisse und geplante Aktivitäten im Projekt ITADA 03 wurden zusammen mit dem Projektleiter am 6.4.2004 einem Experten- und Beraterkreis der Chambre d'Agriculture du Haut Rhin vorgestellt und mit ihnen diskutiert.

Eine Zusammenstellung der bisherigen Termine des Projektes findet sich in Tabelle 27.

Tabelle 27: Termine Projekt ITADA

DATUM	ART	TITEL	ORT
05.02.2003	Tagung	Maistag 2003 auf der Hochburg	Emmendingen
14.02.2003	Tagung	Klimarelevante Gase in der Landwirtschaft	Stuttgat-Hohenheim
28.02.2003	Projekttreffen	Ertstes Treffen ITADA 03	Colmar
11.03.2003	Besprechung	Anlage von Versuchsflächen	Viehwegacker und Steinenstadt
13.03.2003	Tagung mit Feldbesichtigungen	Journée travail du sol simplifié - Chambre d'Agriculture du Haut Rhin	Rixheim, Ranspach le Bas
18.03.2003	Projekttreffen	Zweites Treffen ITADA 03	Müllheim
25.03.2003	Besprechung	Arbeitsbesprechung mit Landwirt	Steinenstadt
25.03.2003	Besprechung	Arbeitsbesprechung mit Landwirt	Müllheim, Agentur ANNA
22.05.2003	Besprechung	Feldbegehung und Besichtigung Versuche mit Projektleitung	Rouffach (F), Niederenzen(F), Steinenstadt (D), und Müllheim(D)
30.07.2003	Besprechung	Mulchfrässaat im Dreisamtal, Folgeaktivitäten zu IfuL Versuchen	Müllheim, Agentur ANNA
17.09.2003	Messe	Standbetreuung: Öffentlichkeitsarbeit auf Stand der Badischen Landesmesse (BALA)	Freiburg i.B.r

DATUM	ART	TITEL	ORT
25.11.2003	Projekttreffen	Besichtigung der Feldversuche ITADA 03 in D und F	Steinenstadt, Viehwegacker, Niederentzen, Rouffach, Rosheim
27.11.2003	Besprechung	Bodenerosion nach Hochwasser speziell im Maisanbau	Efringen-Kirchen
30.01.2004	Tagung	Fachveranstaltung Ackerbau, Erosionsproblematik, Mulchsaat, Maisanbau, Unkrautbekämpfung, Sorten	Wintersweiler, Landgasthof Engemühle
16.02.2004	Tagung	Maistagung Hochburg 2004	Emmendingen Hochburg
02.03.2004	Besprechung	Besprechung Versuchstätigkeit mit Landwirt	Neuenburg
18.03.2004	Projekttreffen	Projektbesprechung ITADA 03 französischer und deutscher Projektpartner	Agentur ANNA , Müllheim
31.03.2004	Tagung	Techniques Culturelles sans Labour, impacts économiques et environnementaux	Paris, Ministère de l'écologie et du développement durable
06.04.2004	Projektvorstellung	Projektvorstellung (D) und Diskussion (Ergebnisse 2003 und Planungen 2004)	Chambre d'Agriculture, St Croix /Elsass
15.04.2004	Besprechung	Besichtigung Reihenfrässaatmaschine mit Herrn Aimé Blatz / UMR INPL - INRA	Stegen Breitehof 1
25.05.2004	Feldbesichtigung	Öffentliche Rundfahrt Feldversuchsbesichtigung ITADA 03	Standorte im Elsass und in Baden
09.06.2004	Feldbesichtigung	Grenzüberschreitende Rundfahrt zu Versuchen des ITADA	Rouffach, Niederenzen, Steinenstadt (D), Geisspitzen
15.06.2004	Feldbesichtigung	Fachexkursion, -pfluglose Bodenbearbeitung und Erosionsproblematik im Elsass, regionales grenzüberschreitendes Treffen	Landser, Rixheim, Bollwiller, Berwiller
17.08.2004	Besprechung	Finanzierungsoptionen und pflanzenbauliche Fortführung des Versuchs	Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim
16.09.2004	Tagung	ITADA Workshop Betriebliches Umweltmanagement in der Landwirtschaft.	Weil am Rhein
29.09.2004	Besprechung	Berechnungen mit dem LIXIM Modell, Indigo Anwendung, Vorbereitung Technisches Komitee	Colmar INRA
05.10.2004	Vortrag	Sitzung des Technischen Komitees InterReg III/ ITADA	IfuL, Müllheim
22.11.2004	Vortrag	Vorläufige Ergebnisse des IfuL/ITADA03 Versuchs zur Anwendung der Reihenfrässaat bei Körnermais.	Projektgruppe Reihenfrässaat, Landwirte, Wasserwerk Ebnet / Dreisamtal

6. Literaturverzeichnis

- Anonymus (2001): Vorteile und Grenzen von Gerätekombinationen für Bodenbearbeitung und Aussaat. NEUE LANDWIRTSCHAFT : NOV 2001; 50.
- Anonymus (2003): Verbreitung konservierender Bodenbearbeitung in den USA. Landwirtschaft ohne Pflug 1/2003, S. 28-29.
- ACUTIS, A., DUCCO G. & GRIGNANI C. (2000): Stochastic use of the LEACHN model to forecast nitrate leaching in different maize cropping systems. European Journal of Agronomy Vol.13(2-3):191-206.
- ACCINELLI, C., SCREPANTI, C., VICARI, A. & CATIZONE, P. (2004): Influence of insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* on the degradation of glyphosate and glufosinate-ammonium in soil samples Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol.103(3): 497-507.
- ACKERMANN, R. (2002): Maismulchsaat rechnet sich. Landwirtschaft ohne Pflug 5/2002, S. 25-29.
- AG ALPEN-ADRIA (2000): Bodenbiologische Untersuchungsmethoden auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Empfehlungen einer abgestimmten Vorgehensweise der Unterarbeitsgruppe „Bodenbiologie auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ der Arbeitsgruppe „Bodenschutz“ der AG Alpen-Adria des Institute of Earth Sciences (IST) der University of Applied Sciences of Southern Switzerland.
- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung – 4. Auflage. Informationen aus den Bund-/Länderarbeitsgruppen der Geologischen Dienste, Hannover.
- AMANN, C & OTT, J (2002): Ergebnisse der LSV Körnermais 2002 Baden- Württemberg. IfPP Heft10/2002, S. 68.
- AMT FÜR LANDWIRTSCHAFT EMMENDINGEN-HOCHBURG (2004): Maistagung, Besprechung der Versuchsergebnisse 2003 auf der Hochburg. unveröffentlichte Tagungsunterlagen;Hrsg. Regierungspräsidium Freiburg, Referat 33,135 S.
- AUERSWALD, K. (2002): Schätzung des C-Faktors aus Fruchtartenstatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalem bis subatlantischem Klima nördlich der Alpen. Landnutzung und Landentwicklung 43:1-5.
- BBA -BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND-UND FORSTWIRTSCHAFT (2004): Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) Ein bedeutender Quarantäneschädling im Mais. Informationsblatt der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig. Juni 2004, 8S.
- BERG, M., HAAS, G. & KÖPKE, U. (2000): Organic farming and groundwater quality - a comparison with integrated and conventional practice. S. 164. In: Alföldi, T., W. Lockeretz, U. Niggli (Hrsg.) IFOAM 2000 - The World Grows Organic: Proceedings of the 13th IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel. 762 S., vdf Hochschulverlag, Zürich, 2000.

- BERZSENYI, Z., GYÖRFFY, B. & DANGQUOC LAP (2000): Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. Vol. 13(2-3):133-142.
- BESTE, A. (1999): Bodenbeurteilung mit dem Spaten in Praxis, Beratung und Wissenschaft. *Ökologie & Landbau* 110, 2/1999.
- BESTE, A., HAMPL, U. & KUSSEL, N. (2001): Bodenschutz in der Landwirtschaft: Einfache Beurteilung für Praxis, Beratung und Forschung. Bad Dürkheim, Stiftung Ökologie & Landbau, *Ökologische Konzepte* 101, 111 S.
- BLANCHART, E., ALBRECHT, A., BROWN, G., DECAENS, T., DUBOISSET, A., LAVELLE, P., MARIANIL, L. & ROOSE, E. (2004): Effects of tropical endogeic earthworms on soil erosion (review article). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 104(2): 303-315.
- BMVEL/UBA (2001): Abschlussbericht zum Projekt „Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Ermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der Deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahr 2010“ (vorläufige Endfassung). UBAF+E Vorhaben FZK 299 245/02. Oktober 2001. Berlin, 192 S.
- BOBE, J., WACHENDORF, M., BÜCHTER, M. & TAUBE, F. (2003): Vergleich der Nitratkonzentration im Grund- und Sickerwasser bei variiertem Düngungsintensität im Dauergrünland und in einer Maismonokultur - Erste Ergebnisse. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 15: 190-193.
- BOCKSTALLER, C. (2001): Grenzüberschreitender Vergleich von zwei agrar-ökologischen Bewertungsverfahren. Handout, ITADA Forum, 26. Juni 2001 Sissach: Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen?.
- BOCKSTALLER, C. (2002): Manuel de l'utilisateur de la base de calcul des indicateurs Agri-Environnementaux de la Methode INDIGO. Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) c/o UMR INPL(ENSAIA)-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar. Als pdf Dokument Vorläufige Version, Sept. 2000.
- BOCKSTALLER, C. & HANSON, G. (1999): Umsetzung der Integrierten Produktion in Ackerbaubetrieben der Rheinebene. Abschlussbericht zum ITADA-Projekt A4, 1996-1998.
- BOCKSTALLER, C., GIRARDIN, P. (2000): Berechnungsverfahren "Agrarökologische Indikatoren". 107 S., Studie für das ITADA (Institut Transfrontalier d' Application et de Développement Agronomique).
- BOCKSTALLER, C., GIRARDIN, P. (2002): Evaluer les systèmes de culture à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux : la méthode INDIGO®, Les Rencontres Annuelles du CETIOM, Paris, CETIOM, , pp. 54-58.
- BOCKSTALLER, C. & GIRARDIN, C. (2003): Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la methode INDIGO - (Ver. 1-2). ARAA, UMR INPL(ENSAIA)-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar.
- BOCKSTALLER, C. (2004): Manuel de l'utilisateur du logiciel Indigo® Grandes cultures – prairies, Version 1.3 du logiciel. ARAA, UMR INPL(ENSAIA)-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar. Version auf CD-ROM, 28 S.
- BOCKSTALLER, C. (2004) Elaboration et utilisation des indicateurs. Exemple de I-Phy, In: Barriuso, E., (Ed.), Estimation des risques environnementaux des pesticides, un point sur, INRA Editions, Paris, pp. 75-86.

- BOHREN, C., AMMON, H.-U., DUBIOS, D. & STREIT, B. (2002): Erträge von Silomais nach verschiedenen Anbauverfahren. *AGRAR Forschung* 9(9): S. 386-391 (2002).
- BUCHNER, W. (2000): Erosion dauerhaft abwehren! Das Bodenschutzgesetz fordert zukünftig stärkere Beachtung. *Mais* 28(4): 144-148
- BURTIN, M.L., NUSSBAUMER, H. & JUNCKER-SCHWING, F. (1998): Optimierung des Zwischenfruchtanbaus. Abschlussbericht zum Projekt ITADA A 1.2., 1996-1998. Colmar, Frankreich, 78 S.
- CAMPOS, H., COOPER, C., HABBEN, J.E., EDMEADES, G.O. & SCHUSSLER, J.R. (2004): Improving drought tolerance in maize: a view from industry. *Field Crops Research*, Vol.90(1): 19-34.
- CANILLAS, E.C. & SALOKHE, V.M. (2001): Regression analysis of some factors influencing soil compaction. *Soil and Tillage Research* Vol.61(3-4):167-178.
- CAUSAPÉ, J., QUÍLEZ, D. & ARAGÜÉS, R. (2004): Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - I. Irrigation quality. *Agricultural Water Management*, Vol.70(3): 195-209.
- CAUSAPÉ, J., QUÍLEZ, D. & ARAGÜÉS, R. (2004): Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows *Agricultural Water Management*, Vol.70(3): 211-228.
- CHAMPEIL, A., DORÉ, T. & FOURBET, J.F. (2004): Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Science* 166. 1398-1415.
- CHAPOT, J.Y. (1992): Nitrogen uptake kinetics of six nonleguminous cover crops after Wheat to recover 100 kg/ha of residual nitrogen. *Proc. 2nd ESA Congress, Warwick Univ.*, pp.344-345.
- CHAPOT, J.Y. & ROBIN, P. (1994): Comparison of nitrogen uptake potential of six non leguminous cover crops after Wheat. Estimate of some parameters of nitrate uptake *Proc. 3rd ESA Congress, Abano -Padova, Italy*, pp.778-779.
- CHAVES, B., DE NEVE, S., HOFMAN, G., BOECKX, P. & VAN CLEEMPUT, O. (2004): Nitrogen mineralization of vegetable root residues and green manures as related to their (bio)chemical composition. *European Journal of Agronomy* Vol. 21(2): 161-170.
- DAMPNEY, P.M.R., FROMENT, M. A. & DAWSON, C. J. (1997): Spatial variability in soil - implications for precision agriculture. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop*, BIOS scientific I: S. 70-86..130.
- DANNEMANN, K.-H. (2003): Neue Unkräuter im Rheintal. *Mais aktuell. Frühjahr 2003*, Hrsg. Syngenta Agro GmbH, Maintal. S.30-32.
- DANNEMANN, K.-H. (2003a): Neue, in den letzten Jahren im Rheintal auftretende Unkräuter erschweren den Maisanbau. in: *Vorstellung der Versuchsergebnisse Mais 2002. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg. 5.Februar 2003. S. 95-96.*
- DEBRUCK, J. (2001): Mechanischer Pflanzenschutz will gekonnt sein. *Mais* 29(3):95-96.
- DEMMELE, M., HAHNENKAMM, O. & PETERREINS, M. (2002): Höhere Erträge durch bessere Standraumverteilung? *Mais* 30(1):4-7.

- DEUTSCHES MAISKOMITEE (2002): Pflanzenschutz in Mais.
http://www.maiskomitee.de/fb_fachinfo/02_04_04_02.htm
- DHARMAKEERTHI, R.S., KAY, B.D. & BEAUCHAMP, E.G. (2004): Effect of soil disturbance on N availability across a variable landscape in southern Ontario. *Soil and Tillage Research* Vol. 79(1): 101-112.
- FELDWISCH, N. & FREDE, H.-G. (1998): Stoffeinträge in Gewässer aus der Landwirtschaft. S. 4 - 21. In: Frede, H.-G., S. Dabbert (Hrsg.) *Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft*. 451 S., ecomed, Landsberg, 1998.
- FREDE, H.-G. (2000): Effiziente Düngung spart Geld. *Mais* 28(2):46
- FREDE, H.-G. & DABBERT, S. (HRSG.) (1999): *Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft*. 2. Aufl., 452 S. ecomed, Landsberg.
- FREIBAUER, A. (2003): Regionalised inventory of biogenic greenhouse gas emissions from European agriculture *European Journal of Agronomy* 19(2):135-160
- GEHRING, K. (2003): Unkrautbekämpfung im Maisanbau - Herbizid-Eigenschaften und -Ansprüche. Institut für Pflanzenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.
<http://www.stmlf.bayern.de/lbp/info/ps/unkraut/mais/herbizideigenschaften.pdf>
- GIVI, J., PRASHER, S.O. & PATEL, R.M. (2004): Evaluation of pedotransfer functions in predicting the soil water contents at field capacity and wilting point. *Agricultural Water Management*, Vol.70(2): 83-96.
- GROFFMAN, P. M., HENDRIX, P. F. & CROSSLEY JR, D. A. (1987): Nitrogen dynamics in conventional and no-tillage agroecosystems with inorganic fertilizer or legume nitrogen inputs. *Plant and Soil* 97: 315-332. In: KANÉ (2000).
- GRÜNDWURM, J. (2003): Mulchsaat - immer aktuell. *Mais aktuell*. Frühjahr 2003, Hrsg. Syngenta Agro GmbH, Maintal. S. 23-25.
- GUEBERT, A. (2004): Brief aus Amerika. Willkommen in der Welt ungeahnter Konsequenzen. *Top agrar*, 9/2004, S. 116.
- GYSI, M. (2001): Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland. *Soil and Tillage Research* 61(3-4):133-142.
- HAIN, E. (1997): Integrierte Unkrautregulierung. Wirkungsgrad mechanischer Maßnahmen oft schwankend. *Mais* 25(2):50-52.
- HAMILTON-MANNING, M., ROSS, C.W., HORNE, D.J. & BAKER, C.J. (2002): Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. *Soil and Tillage Research* 68(2):109-119.
- HAMPL, U. (2000): Halbzeitergebnisse im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung. *Ökologie & Landbau* 115, 3/2000, S. 36/37.
- HEEMSBERGEN, D.A., BERG, M.P., LOREAU, M., VAN HAL, J.R., FABER, J.H. & VERHOEF, H.A. (2004): Biodiversity Effects on Soil Processes Explained by Interspecific Functional Dissimilarity. *Science* Vol. 306(5698): 1019-1020.

- HEENAN, D.P., CHAN, K.Y. & KNIGHT, P.G. (2004): Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil and Tillage Research* Vol. 76(1): 59-68.
- HEGE, U. (2002): Weniger Reststickstoff nach der Ernte im Boden. Ergebnisse des N-Monitoringprogramms bei Mais in Bayern. *Mais* 30(2):64-65.
- HØGH-JENSEN, H., LOGES, R., JØRGENSEN, F. V., VINTHERD, F. P. & JENSEN, E. S. (2004): An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *Agricultural Systems* Vol. 82(2):181-194.
- HOLLAND, J.M. (2004): The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol. 103(1):1-25.
- HÖLSCHER, T & MÜLLER-SÄMANN, K. (2004): . Erstellung und Überprüfung einer regionalen Datensammlung zur reduzierten Bodenbearbeitung (Alternativen zum Pflug). Zweiter Zwischenbericht des deutschen Beitrags zum Projekt ITADA 01, 32 S., unveröffentlicht.
- HÖNIG M., HÄS H. & KANSY G. (2005): Ergebnisse der Fruchtfolgeversuche in Hugsweier und Weisweil. Vorstellung der Versuchsergebnisse Mais 2004. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg, 2.Februar 2005. S. 28-62.
- HUGGER, H & LAURENZ, L (2003): Für Körnermais die richtige Sorte wählen. *Topagrar* 2/2003: 58-62.
- HUGGER, H. (2003): Allgemeine Wirtschafts- und Klimadaten zu Mais. in: Vorstellung der Versuchsergebnisse Mais 2002. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg. 5.Februar 2003. S. 1-22.
- HURLE, K. (2001): Unkrautbekämpfung in Mais. *Mais* 29(2):42
- IMGRABEN, H. (2004): Maßnahmen gegen den Maiswurzelbohrer bei möglichem Auftreten 2004. Vortragsmanuskript Maistagung Emmendingen-Hochburg.16.2.2004. RP-Freiburg, Referat 33/lfuL Müllheim Vorstellung der versuchsergebnisse 2003. S.38-52.
- ITADA (2001): Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen? Tagungsband ITADA Forum 26, Juni 2001, Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Sissach, Schweiz.S. 5-56.
- JACINTHE, P.A., LAL, R., OWENS, L.B. & HOTHEM, D.L. (2004): Transport of labile carbon in runoff as affected by land use and rainfall characteristics. *Soil and Tillage Research* Vol.77(2): 111-123.
- JUNKER-SCHWING, F., LASERRE, D. & KANSY F. J. (1999): Wechselwirkung zwischen Stickstoff und Beregnung bei Mais: Optimierung und Begrenzung der Risiken. Abschlussbericht zum Projekt A1.3 – 1996-1999, ITADA.
- KANSY, F. (2003): Welche Anbauverfahren (Bodenbearbeitung-Düngung-Fruchtfolge) zu Silomais? Vortrag am Maistag auf der Hochburg Emmendingen, 05.02.2003.
- KANSY, F. & VETTER, R. (1999): Stickstoffdynamik auf organisch gedüngten Maisflächen. Abschlussbericht zum Projekt ITADA A 1.1., 1996-1998.

- KANSY, G. & LASERRE D. (1996): Mais. Einbau von Zwischenfrüchten nach Mais mit oder ohne Beregnung. ITADA (Institut transfrontalier d'application et de Développement Agronomique) Abschlussbericht des Projektes Nr.4 . Frankreich, Colmar.
- KINIRY, J.R., BEAN, B., XIE, Y. & CHEN, P. (2004): Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment *Agricultural Systems* Vol. 82(1): 45-56.
- KLEINE-MÜHLHOFF, M. (2003): Engsaat bei Silomais- Einfluss auf Ertrag und Nmin-Verlauf. Mais aktuell. Frühjahr 2003, Hrsg. Syngenta Agro GmbH, Maintal. S. 18-20.
- KOLBE, H. (2000): Landnutzung und Wasserschutz. WLW, Wiss. Lektorat & Verlag Leipzig. 99 S..
- KÖLLER, K. (2002): Konservierende Bodenbearbeitung - neue technische Entwicklungen. *GetreideMagazin* 3/2002, S. 170-173.
- KÖLLER, K. (2003a): Mulchsaat von Mais. In: Pallut, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. DLG-Mitteilungen 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- KÖNIG, U.J. (1996): Zwischenfruchtanbau von Leguminosen. Verfahren zur Minimierung der Nitratausträge und Optimierung des N-Transfers in die Folgefrüchte. Institut für biologisch-dynamische Forschung e.V. Darmstadt, 148 S., Schriftenreihe Bd.6.
- KRAFT, G.J. & STITES, W. (2003): Nitrate impacts on groundwater from irrigated-vegetable systems in a humid north-central US sand plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 100(1): 63-74.
- KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (1993): Ergebnisse von Versuchen zur Bodenbearbeitung und Bestellung. KTBL-Arbeitspapier 190, Landwirtschaftsverlag, Münster, 139 S..
- KUTZBACH, H.D. (2001): Messung, Modellierung und Minderung von Gasemissionen in landwirtschaftlichen Betriebssystemen. DFG Forschergruppe Klimarelevante Gase, Abschlussbericht 1995-2001, Stuttgart, Universität Hohenheim.
- LA FRANCE AGRICOLE (2003): Monoculture du maïs. Une rotation bénéfique avec l'orge irriguée. *La France agricole* 21(2):31.
- LAL, R. (2003): Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International* 29: 437-450.
- LANDESAMT FÜR GEOLOGIE ROHSTOFFE UND BERGBAU BADEN-WÜRTTEMBERG (LGRB) (2003): Bodenkarte von Baden-Württemberg 1 : 25 000 - Blatt 8111 Müllheim - Erläuterungen mit Bodenbewertung nach Heft 31.
- LEL (1998): Software „P-calc.Ver1.1“.
- LINDEMANN, K. (1998): Reduzierte Bodenbearbeitung mit Mulchsaat zu Sonnenblumen. UFOP-Schriftenreihe, Bd. 12.
- LÜTKE ENTRUP, N (2001): Mais - eine Nutzpflanze mit hohem ökologischem Wert. *Mais Information* (2/2001):10-12.
- LÜTKE ENTRUP, N. (2000): Boden- und Gewässerschutz Hand in Hand mit Maisanbau. *Mais* 28(4):142.

- MADDONNI, G.A. & OTEGUI, M.E. (2004): Intra-specific competition in maize: early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. *Field Crops Research* Vol. 85(1):1-13.
- MAIER, J. & VETTER, R. (2000): Mais für die Stärkeindustrie- Qualität gezielt produzieren. *Landinfo* 4/2000: 16-19.
- MAÏSADOUR (2004): Datenblatt Ertragsphysiologie. internet: <http://www.maisadour.de/123.html> (12.11.2004).
- MARCHÉ, R. (o.J.): Erbsenmulch sorgt im Mais für Unkrautfreiheit.
- MARY B., BEAUDOIN, N. JUSTES, E. & MACHET J.M. (1999): Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. In: *European Journal of Soil Science*, Vol. 50, p1-18.
- MARY, B., BEAUDOIN, N., JUSTES, E. & MACHET, J.M. (1999): Calculation of nitrogen mineralization and leaching in fallow soil using a simple dynamic model. *European Journal of Soil Science*, Vol. 50: 1-18.
- MCLAUGHLIN, N.B., MACLEOD, J.A., SANDERSON, J.B. & IVANY, J.A. (2004): Effect of red clover (*Trifolium pratense* L.) kill with glyphosate on tillage implement draft. *Soil and Tillage Research* Vol. 79(1): 63-70.
- MEYNARD, J. M., REAU, R., ROBERT, D.P.S. (1996): Evaluation expérimentale des itinéraires techniques, Expérimenter sur les conduites de cultures : Un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation. DERF, ACTA, Paris, 1996, pp. 63-72.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG, MLR (HRSG.) (1989-2000): SchALVO-Nitrat-Berichte. Bearbeitet von der LUFA, Karlsruhe. MLR, Stuttgart.
- MULQUEEN, J., RODGERS, M. & SCALLY, B. (2004): Phosphorus transfer from soil to surface waters. *Agricultural Water Management* Vol. 68(1): 91-105.
- MUNKHOLM, L.J. & SCHJØNNING, P. (2004): Structural vulnerability of a sandy loam exposed to intensive tillage and traffic in wet conditions. *Soil and Tillage Research* Vol. 79(1): 79-85.
- NEUMANN, H. (2004): Durch Mischfruchtanbau den Hektarertrag erhöhen. *Energiepflanzen* Jg.2/2004: 21-23.
- NIETZSCHE, O., SCHMIDT, W. & GEBHARD, C. (2002): Fusarium pfluglos bekämpfen. *Landwirtschaft ohne Pflug* 5/2002, S. 22-24.
- ORTMEIER, B. & SOMMER, C. (2000): Bodenschadverdichtungen vermeiden. *Mais* 28/4, 152-153.
- PALLUTT, B. (2003): Mulchsaat – Grenzen des Systems. *DLG-Mitteilungen* 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- PATHAK, P., WANI, S.P., SINGH, P. & SUDI, R. (2004): Sediment flow behaviour from small agricultural watersheds *Agricultural Water Management* Vol.67(2): 105-117.
- PETERSEN, J. & HURLE, K. (1998): Einführung von herbizidtoleranten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Z.PflKrankh. PflSchutz Sonderheft XVI*,365-372.
- PETERSEN, V. (2003): Mais geht in die zweite Halbzeit. Konsequenzen für den Maisanbau durch die Halbzeitbewertung der Agenda 2000. In: *Mais aktuell. Frühjahr 2003*, Hrsg. Syngenta Agro GmbH, Maintal. S.12-14.

- PEYKER, W. & KOLBE, R. (2004): Mais-Engsaat, - Erfahrungen aus der Praxis. Mais 32(2/2004): 70-72
- PFEIFL, D. (2000): Sonnenblumen sind gute Zwischenfrüchte. Landwirtschaft ohne Pflug 4/2000, S. 10-12.
- PREUSCHEN, G. (1994): Anleitung zur Spatendiagnose: Die Kontrolle der Bodenfruchtbarkeit. Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim, 6. Auflage, 48 S.
- RADFORD, B.J., YULE, D.F., MCGARRY, D. & PLAYFORD, C. (2001): Crop responses to applied soil compaction and to compaction repair treatments. Soil and Tillage Research Vol.61(3-4):157-166.
- RATH, J. (2001): Bestimmung des Reifezeitpunktes bei Körner- und Silomais. Deutsches Maiskomitee (DMK); Vortrag auf der Tagung des DMK, Stein am Rhein (CH), 15. Feb 2001.
- RECKNAGEL, J. (2003): N-Düngung nach guter fachlicher Praxis zu Körnermais in 1, 2 oder 3 Gaben? in: Vorstellung der Versuchergebnisse Mais 2002. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg. 5. Februar 2003. S. 70-72.
- ROBINSON, D.A. & PHILLIPS, C.P. (2001): Crust development in relation to vegetation and agricultural practice on erosion susceptible, dispersive clay soils from central and southern Italy. Soil and Tillage Research Vol.60(1-2):1-9.
- ROLDÁN, A., F. CARAVACA, M. T., HERNÁNDEZ, C., GARCÍA, C., SÁNCHEZ-BRITO, M., VELÁSQUEZ & TISCAREÑO, M. (2003): No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico) Soil and Tillage Research 72(1): 65-73.
- ROMUNDT, H. (2003): Grasuntersaaten und passende Herbizidstrategien. Mais aktuell. Frühjahr 2003, Hrsg. Syngenta Agro GmbH, Maintal. S. 26-27.
- RUHE, I., LOGES, R. & TAUBE, F. (2001): Vergleichende Analyse der N-Flüsse in Fruchtfolgen ökologischer und konventioneller Produktionssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Nitratverluste. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 13: 100-101.
- RÜTTIMANN, M. (2001): Boden-, Herbizid- und Nährstoffverluste durch Abschwemmung bei konservierender Bodenbearbeitung und Mulchsaat von Silomais - Vier Bodenschonende Anbauverfahren im Vergleich. Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 30, 241 S..
- SCHACHERMAYR, G., KREBS, H., STREIT, B. & FORRER, H.-R. (2002): Weizen nach Mais bringt Probleme. Landwirtschaft ohne Pflug 1/2002, S. 18-21.
- SCHEID, I. (2000): Verzicht auf den Pflug rechnet sich. Landwirtschaft ohne Pflug 2/2000, S. 14-18.
- SCHLÜTER, K. (2003): Blattkrankheiten und Fusarien - Bei Mulchsaat ein Problem? GetreideMagazin 1/2003, S. 44-47.
- SCHULTE, M. & BRUNE, R.A. (2001): Welches Potenzial steckt in der Forschung? Rückblicke und Ausblicke am Beispiel der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais. Mais 29(2):44-48.
- SCHULTZ, R. (2001): Seit 1. März gilt ein neues Regelwerk zum Wasserschutz: Vorschriften der SchALVO beachten. BW agrar 168/10, 51-52, Stuttgart.

- SEHY, U., RUSER, R. & MUNCH, J.C. (2003): Nitrous oxide fluxes from maize fields: relationship to yield, site-specific fertilization, and soil conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol.99(1-3): 97-111.
- SHANG, S., LIA, X., MAO, X. & LEI, Z. (2004): Simulation of water dynamics and irrigation scheduling for winter wheat and maize in seasonal frost areas. *Agricultural Water Management*, Vol.68(2): 117-133.
- SIMMELSGAARD, S.E. & DJURHUUS, J. (1997): The possibilities of precision fertilisation with N, P and K based on plant and soil parameters. In: Stafford, J.V. (ed.): *Precision Agriculture '97: Spatial variability in soil and crop*. BIOS scientific publishers, Oxford. S. 179-188.
- SISTI, C.P.J., DOS SANTOS, H.P., KOHHANN, R., ALVES, B.J.R., SEGUNDO URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. (2004): Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* Vol.76(1): 39-58.
- SIX, J., ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. (2000): Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation. A mechanism for C sequestration under no-till agriculture. *Soil Biol. Biochem.*32: 2099-2103.
- SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., OGLE, S.M., MORAES, S.J.C. & ALBRECHT, A. (2002): Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no tillage. *Agronomie* 22:755-775.
- SOMMER, K. (2001): "Cultan" im Ackerbau ohne Pflug. *Landwirtschaft ohne Pflug* 6/2001, S. 11-16.
- SOMMER, K., SCHERER, H.W. & KUNERT, A. (2002): Cultan-Verfahren beim Mais. Mit N-Depotungung zu mehr Kolben? *Mais* 30(1):
- SPIESS, E., ANKEN, T., HEUSSER, J., WEISSKOPF, P., HÖGGER, C. & OBERHOLZER, H.-R. (2000): Folgewirkungen von Bodenbearbeitungsmaßnahmen *AGRARForschung* 7 (8) 2000:345-359.
- STEMANN, G. (2001): Pflanzenbausysteme für konservierende Bodenbearbeitung entwickeln und verfahrenstechnisch gestalten. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich/technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet. Soest 8./9.Mai 2001.
- STEMANN, G. (2003a): Nährstoffversorgung. In: Pallut, B. (2003): *Mulchsaat – Grenzen des Systems*. DLG-Mitteilungen 1/2003. Erweiterte Textfassung unter www.dlg-Mitteilungen.de.
- STEVENS, C.J., DIESE, N.B., MOUNTFORD, J.O. & GOWING, D.J. (2004): Stevens C J, Dise N B, Mountford J O & Gowing D J *Science*, Vol.303, No. 5665: 1876-1879.
- STREIT, B. (2000): Direktsaat wird erwachsen. *Landfreund* 35/00, S. 22-23.
- STREIT, B., RIEGER, S., STAMP, P. & RICHTER, W. (2000): Weed populations in winter wheat as affected by crop sequence, intensity of tillage and time of herbicide application in a cool and humid climate. *European weed research Society, Weed Research* 2003/43, 20-32.
- STREIT, B., RIEGER, S., STAMP, P. & RICHTER, W. (2002): The effect of tillage intensity and time of herbicide application on weed communities and populations in maize in central Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92 (2002) 211-224.

- SWIFT, M.J., IZAC, M.N. & VAN NOORDWIJK, M. (2004): Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—are we asking the right questions? *Agriculture, Ecosystems & Environment* Vol. 104(1): 113-134.
- TEBRÜGGE, F. (2001): Chancen und Risiken der Direktsaat in landwirtschaftlicher und umweltbezogener Perspektive. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich/technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet. Soest 8./9.Mai 2001.
- TIMMERMANN, M. (1994): Umsetzung der SchALVO, Effizienz im Hinblick auf die Verminderung von Nitratreinträgen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft [Hrsg.].
- TOUCHTON, J.T. & WHITWELL, T. (1984): Planting of Corn into strip-killed Clover. Proceedings of the 7th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture, 10 July, 1984, Headland, Alabama, USA, pp.25-26.
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltig umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. Umweltbundesamt, Berlin, TEXTE 88/97 (Kurzversion), 8 S.
- ÜBELHÖR, W. & WALTER, M. (1998): Einfluss der Produktionstechnik auf den Nitratgehalt des Bodens vor Winter. Auswertung der Kontrollaktionen nach SchALVO in Baden-Württemberg. S. 357 - 360, VDLUFA- Schriftenreihe Nr. 49.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltige umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. Umweltbundesamt 2002. Zusammenfassung, Texte 88/97, 8 S.
- UMWELTBUNDESAMT [HRSG.] (2001): Grundsätze und Maßnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden Umweltbundesamt Berlin, 126 S., Texte 59/01.
- UPPENKAMP, N. (2003): Mais mit der Drillmaschine säen? Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. <http://www.landwirtschaftskammer.com/technik/maissaat.htm>
- VAN ELSSEN, T. (2000): Ökologischer Ausgleich als Chance für eine Extensivierung der Landbewirtschaftung. *Agrarspectrum* 31: Entwicklung nachhaltiger Landnutzungssysteme in Agrarlandschaften: 212-221, Frankfurt.
- VETTER, R. (2003): Tastversuche zum Cultan-Verfahren (Ammonium-Depotdüngung) in Körnermais. in: Vorstellung der Versuchergebnisse Mais 2002. Maistagung beim Amt für Landwirtschaft Emmendingen- Hochburg. 5.Februar 2003, S. 96-100.
- VITTA, J.I., TUESCA, D. & PURICELLIA, E. (2004): Widespread use of glyphosate tolerant soybean and weed community richness in Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol.103(3): 621-624. (Short communication).
- WALTERS, D & JASA, P (2000): Conservation tillage in the United States: an overview. Paper presented at the International Symposium on Conservation Tillage. January 24-27, 2000 Mazatlan, Mexico. 10pp.
- WEINSTOERFFER, J. & GIRARDIN, P. (2000): Assessment of the contribution of land use pattern and intensity to landscape quality. Use of a landscape indicator. *Ecological Modelling* 130:95-109

- WEIßBACH, M. (2001): Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. Rationalisierungs- Kuratorium für Landwirtschaft (RKL) (Hrsg.).
- WERNER, A. (1998): Maisanbau auf dem besten Weg! Mais 26(3):94-99
- WEYER, T. & BUCHNER, W. (2001): Bodenschadverdichtungen- Ausmaß, Ursachen, Wirkungen und Lösungsansätze. Tagungsband "Bodenbewirtschaftung im Umbruch - ökonomisch effizient, pflanzenbaulich / technisch innovativ und der Nachhaltigkeit verpflichtet" am 8/9.5.2001 in Soest.
- WILLISON, T., GOULDING, K., POWLSON, D. & WEBSTER, C. (1995): Farming, Fertiliser and the Greenhouse Effect. Outlook on Agriculture, Vol. 24(4):241-247.
- WÜRFEL, T. (2000): Erosionsschutz ist Hochwasservorsorge. Mais 28(4):149-151.
- ZENTNER, R.P., LAFOND, G.P., DERKSEN, D.A., NAGY, C.N., WALL, D.D. & MAY, W.E. (2004): Effects of tillage method and crop rotation on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. Soil and Tillage Research Vol.77(2): 125-136.
- ZIHLMANN, U., WEISSKOPF, P., BOHREN, C. & DUBIOS, D. (2002): Stickstoffdynamik im Boden beim Maisanbau. AGRAR Forschung 9(9):392-397.