

INSTITUT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE BETRIEBSLEHRE
DER
RHEINISCHEN FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN

**Beurteilung von Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-
Westfalen und Rheinland-Pfalz**
Einzelbetriebliche Analyse der Programme im Ackerbau

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur

Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr.agr.)

der

Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt am 19.08.2004

von Jörn Busenkell

aus Mayen

D 98

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert

Referent: Prof. Dr. Ernst Berg
Korreferent: Prof. Dr. Karin Holm-Müller
Tag der mündlichen Prüfung: 19.11.2004
Gedruckt bei:

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	V
Verzeichnis der Übersichten.....	IX
Verzeichnis der Abkürzungen.....	XI
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Vorgehensweise.....	2
2. Umweltwirkungen der Landwirtschaft	4
2.1 Wirkung auf den Boden.....	5
2.2 Wirkung auf das Wasser.....	6
2.3 Wirkung auf die Arten- und Biotopvielfalt	9
3. Beschreibung der Agrarumweltmaßnahmen.....	12
3.1 Agrarumweltmaßnahmen in der EU	12
3.1.1 Rechtliche Grundlagen	12
3.1.2 Ausgestaltung in den einzelnen Ländern.....	14
3.1.2 Finanzierung	15
3.2 Agrarumweltmaßnahmen in Deutschland	16
3.3 Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen	19
3.3.1 NRW-Programm „Ländlicher Raum“	19
3.3.2 Kulturlandschaftsprogramm	20
3.3.3 Maßnahmen im Ackerbau	22
3.4 Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz	25
3.4.1 Zukunftsinitiative für den Ländlichen Raum	25
3.4.2 Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung	26
3.4.3 Maßnahmen im Ackerbau	28
3.5 Evaluierung der Agrarumweltprogramme.....	32
4. Theoretische Grundlagen der ökologischen und ökonomischen Bewertung.....	36
4.1 Ökologische Bewertung	36
4.1.1 Bewertungsansätze	36
4.1.2 Agrarumweltindikatoren.....	37

4.1.3 Indikatoren zur Evaluierung	43
4.1.3.1 Indikatoren auf EU-Ebene	44
4.1.3.2 Indikatoren des nationalen Entwicklungsrahmen	45
4.1.3.3 Indikatoren nach Tremel	48
4.1.3.4 Indikatoren im USL	50
4.1.3.5 Indikatoren im Modell	50
4.2 Ökonomische Bewertung	56
4.2.1 Bewertungsansätze	56
4.2.2 Einkommenswirkung	58
4.2.3 Risiko	60
4.3 Ertragsfunktionen	64
4.3.1 Wahl der Funktionsform	65
4.3.2 Ansätze zur Herleitung von Ertragsfunktionen	68
4.3.2.1 Normatives Verfahren	68
4.3.2.2 Empirisches Verfahren	71
4.3.2.3 Mehrfaktorielle Variation	72
4.3.2.4 Linear-limitationaler Ansatz mit Zufallsschwankungen	75
4.3.2.5 Verwendetes Verfahren	77
5. Modellbeschreibung	85
5.1 Modellaufbau	85
5.1.1 Technischer Aufbau	86
5.1.2 Inhaltlicher Aufbau	88
5.1.3 Programmierung	89
5.2 Modellmodule	90
5.2.1 Ertragsfunktion	90
5.2.1.1 Eingabeparameter	90
5.2.1.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter	92
5.2.1.3 Ausgabeparameter	95
5.2.2 Ökonomische Kennwerte	97
5.2.2.1 Eingabeparameter	98
5.2.2.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter	100
5.2.2.3 Ausgabeparameter	102
5.2.3 Ökologische Kennwerte	105
5.2.3.1 Eingabeparameter	105

5.2.3.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter.....	106
5.2.3.3 Ausgabeparameter	113
5.3 Implementierung der Agrarumweltmaßnahmen.....	116
5.3.1 Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein Westfalen.....	116
5.3.1.1 Verzicht auf Herbizide	116
5.3.1.2 Verzicht auf chemisch-synthetische Düngemittel	116
5.3.1.3 Verzicht auf chemisch-synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel ...	117
5.3.1.4 Anlage von Schonstreifen auf Einzelflächen	117
5.3.1.5 Erosionsschutz im Ackerbau	117
5.3.2 Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz	118
5.3.2.1 Umweltschonender Ackerbau	118
5.3.2.2 Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben.....	119
5.3.2.3 Anlage von Ackerrandstreifen.....	119
5.3.2.4 Anlage von Saum- und Bandstrukturen	119
6. Modellbetriebe	120
6.1 Auswahl der Untersuchungsregionen.....	120
6.1.1 Nordrhein-Westfalen	120
6.1.2 Rheinland-Pfalz	122
6.2 Beschreibung der Betriebe.....	123
6.2.1 Düren	123
6.2.2 Bergisches Land	125
6.2.3 Maifeld	128
6.2.4 Westerwald	131
6.3 Allgemeine Daten.....	133
7. Ergebnisse	135
7.1 Auswertungen Nordrhein-Westfalen.....	135
7.1.1 Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen	135
7.1.1.1 Modellbetrieb Düren	135
7.1.1.2 Modellbetrieb Bergisches Land.....	144
7.1.2 Darstellung der gesamtbetrieblichen Ergebnisse.....	151
7.1.2.1 Modellbetrieb Düren	151
7.1.2.2 Modellbetrieb Bergisches Land.....	156
7.2 Auswertungen Rheinland-Pfalz.....	161

7.2.1 Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen	161
7.2.1.1 Modellbetrieb Maifeld	162
7.2.1.2 Modellbetrieb Westerwald	168
7.2.2 Darstellung der gesamtbetrieblichen Ergebnisse.....	172
7.2.2.1 Modellbetrieb Maifeld.....	172
7.2.2.2 Modellbetrieb Westerwald	177
8. Bewertung und Diskussion	183
8.1 Allgemeine Programmauswirkungen	183
8.1.1 Verzicht auf Herbizide.....	183
8.1.2 Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel.....	184
8.1.3 Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel	186
8.1.4 Anlage von Schonstreifen.....	186
8.1.5 Erosionsschutz.....	187
8.1.6 Umweltschonender Ackerbau.....	187
8.1.7 Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben.....	188
8.1.8 Anlage von Ackerrandstreifen und Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen.....	189
8.2 Ökonomische Bewertung	190
8.3 Ökologische Bewertung	192
8.4 Bewertung des Modells	197
9. Zusammenfassung	198
Literaturverzeichnis	204
Anhang.....	215

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Direkte und indirekte negative Folge- und Fernwirkungen der Bodenerosion	7
Tabelle 2: Beeinflussung der zu erwarteten Sickerverluste an Düngerstickstoff durch verschiedene Faktoren	9
Tabelle 3: Kennzahlen der Agrarumweltförderung (ohne ökologischen Landbau), Stand 2000	18
Tabelle 4: Kombinationsmöglichkeiten der markt- und standortangepaßten Landbewirtschaftung mit anderen Agrarumweltmaßnahmen	22
Tabelle 5: Zuwendungshöhe der betrachtenden Maßnahmen im Rahmen der Extensivierung im Ackerbau des Kulturlandschaftsprogramms	24
Tabelle 6: Vertragsfläche und Anzahl der abgeschlossenen Verträge an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen (Stand 2003)	25
Tabelle 7: Maßnahmen und Förderschwerpunkte im ZIL.....	26
Tabelle 8: Vertragsfläche und Anzahl der abgeschlossenen Verträge an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz (Stand November 2003).....	32
Tabelle 9: Indikatoren für die Evaluation der Agrarumweltmaßnahmen.....	46
Tabelle 10: Agrarumweltindikatoren nach Tremel (2000) sowie erforderlicher Aufwand.	48
Tabelle 11: Kriterien, Toleranzbereiche und Korrekturfaktoren des KUL	51
Tabelle 12: Verwendete Indikatoren und Umweltwirkungsbereiche	52
Tabelle 13: Bewertung der Gewässergefährdung anhand der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser.....	54
Tabelle 14: Anforderungen an Produktionsfunktionen zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Ertrag und Faktoreinsatz.....	68
Tabelle 15: Streuung der N-Nachlieferung aus Literaturangaben.....	81
Tabelle 16: N-Gehalte der einzelnen Fruchtarten.....	91
Tabelle 17: Faustzahlen für die N-Nachlieferung (kg/ha) des Bodens während der Vegetation in Abhängigkeit von der Ackerzahl	92
Tabelle 18: Variationskoeffizienten der Erträge der einzelnen Fruchtarten im Modell bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und Abgleich mit Literaturangaben.....	93
Tabelle 19: Verschiebung des 5 % Quantil und Wert der (0,1)-Verteilung bei unterschiedlichen Pflanzenschutzmaßnahmen im Modell.....	94

Tabelle 20: Verschiebung des 5 % Quantil und Wert der (0,1)-Verteilung bei Mulchsaatverfahren im Modell	95
Tabelle 21: Jährliche Wachstumsraten der im Modell verwendeten Fruchtarten	98
Tabelle 22: Korrelationsmatrix der Erlöse im Modell	102
Tabelle 23: Stickstoff-Lieferung aus der Vorfrucht	106
Tabelle 24: Bestimmung K-Faktor	111
Tabelle 25: Zusätzliche RBA Werte im Modell	112
Tabelle 26: P- und K-Gehalte der einzelnen Fruchtarten	114
Tabelle 27: Einschränkung der optimalen N-Düngung in Abhängigkeit von der Ackerzahl beim „umweltschonenden Ackerbau“	118
Tabelle 28: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	126
Tabelle 29: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	127
Tabelle 30: Erosionsgefährdete Schläge (Bewirtschaftungseinheiten) des Modellbetriebes Bergisches Land	128
Tabelle 31: Fruchtfolge auf den erosionsgefährdeten Schlägen des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	129
Tabelle 32: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Maifeld bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	130
Tabelle 33: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	132
Tabelle 34: Erosionsgefährdete Schläge (Bewirtschaftungseinheiten) des Modellbetriebes Westerwald	133
Tabelle 35: Fruchtfolge auf den erosionsgefährdeten Schlägen des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	133
Tabelle 36: Im Modell verwendete Preise für die einzelnen Fruchtarten und Dünger sowie die Höhe der Ausgleichszahlungen (AZ)	134
Tabelle 37: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	136
Tabelle 38: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“	137

Tabelle 39: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“	140
Tabelle 40: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“	142
Tabelle 41: Ausgewählte Kennzahlen für die verschiedenen Möglichkeiten der Anlage von Schonstreifen im Modellbetrieb Düren	143
Tabelle 42: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	144
Tabelle 43: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“	146
Tabelle 44: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“	147
Tabelle 45: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“	149
Tabelle 46: Ausgewählte Kennzahlen für die verschiedenen Möglichkeiten der Anlage von Schonstreifen im Modellbetrieb Bergisches Land.....	150
Tabelle 47: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“	151
Tabelle 48: Kennzahlen des Modellbetriebes Düren bei den einzelnen Maßnahmen.....	152
Tabelle 49: Kennzahlen des Modellbetriebes Bergisches Land bei den einzelnen Maßnahmen	157
Tabelle 50: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Maifeld bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	162
Tabelle 51: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Maifeld bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“	165
Tabelle 52: Ausgewählte Kennziffern des Produktionsverfahrens Zuckerrüben bei Teilnahme an der Variante „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“	166
Tabelle 53: Kennzahlen der Ackerrandstreifen des Modellbetriebes Maifeld während des Verpflichtungszeitraums.....	167

Tabelle 54: Kennzahlen der Saum- und Bandstrukturen des Modellbetriebes Maifeld während des Verpflichtungszeitraums.....	168
Tabelle 55: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	169
Tabelle 56: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Westerwald bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“	171
Tabelle 57: Kennzahlen des Modellbetriebes Maifeld bei den einzelnen Maßnahmen	172
Tabelle 58: Kennzahlen des Modellbetriebes Westerwald bei den einzelnen Maßnahmen	178
Tabelle 59: Tatsächliche und faire Prämien für die Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen	190
Tabelle 60: Tatsächliche und faire Prämien für die Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz	191
Tabelle 61: Prämien-Wirkungsbeziehung der nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen.....	194
Tabelle 62: Prämien-Wirkungsbeziehung der rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen.....	196

Verzeichnis der Übersichten

Übersicht 1: Einfluß der Landwirtschaft auf die Umweltmedien.....	4
Übersicht 2: Ursachen des Artenrückgangs, angeordnet nach Zahl der betroffenen Pflanzenarten der Roten Listen.....	11
Übersicht 3: Durchschnittliche jährliche Prämie für Agrarumweltmaßnahmen	15
Übersicht 4: Zeitplan zur Evaluierung der Programme nach Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 zur Entwicklung des ländlichen Raums	34
Übersicht 5: Pressure-State-Response-Modell	42
Übersicht 6: Pressure-State-Response-Modell am Beispiel der Bodenerosion.....	43
Übersicht 7: DPSIR-Modell der Europäischen Umwelt Agentur für die Landwirtschaft...	44
Übersicht 8: Schema zur Berechnung der N-Bilanz.....	53
Übersicht 9: Kennzahlen zur Betriebsanalyse in der Landwirtschaft.....	57
Übersicht 10: Zukunftsbezogene Kostenrechnungssysteme	58
Übersicht 11: Verfahren der Deckungsbeitragsberechnung in der Pflanzenproduktion	59
Übersicht 12: Zusammenhang zwischen dem Deckungsbeitrag eines Produktions- verfahrens und dem zusätzlichen Gewinn bei Nichtbetroffenheit der Festkosten	60
Übersicht 13: Rechengang vom Gesamtdeckungsbeitrag zum Betriebseinkommen	60
Übersicht 14: Risikoursachen im landwirtschaftlichen Betrieb	62
Übersicht 15 Erwartungswert-Standardabweichungs-Diagramm	63
Übersicht 16: Ertragsfunktion, Grenzertrag und optimale spezielle Intensität verschiedener Ertragsfunktionen	66
Übersicht 17: Normative Herleitung einer Ertragsfunktion am Beispiel Winterweizen.....	70
Übersicht 18: Herleitung einer Ertragsfunktion mit Hilfe der langfristigen Relativ-Funktion nach KRAYL (1993) am Beispiel Winterweizen	72
Übersicht 19: Ableitung des Expansionspfades (EP) der Ertragssteigerung in Abhängigkeit von der Höhe des Einsatzes ertragsteigernder Faktoren.....	74
Übersicht 20: Herleitung einer Ertragsfunktion nach dem Verfahren von BAUDOUX (2000) am Beispiel Winterweizen.....	75
Übersicht 21: Lineare Produktionsfunktion mit Zufallsschwankungen	76

Übersicht 22: Herleitung einer Ertrags- und Varianzfunktion nach der Methode von BERG am Beispiel Winterweizen.....	78
Übersicht 23: N-Düngung unter Berücksichtigung des N-Bedarfs der Pflanze und des N-Angebots des Bodens.....	79
Übersicht 24: Verteilungsfunktion des Ertrags bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Verzicht auf PSM	82
Übersicht 25: Ertragsfunktion bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Verzicht auf Herbizide nach der Modell verwendeten Methode am Beispiel Winterweizen	84
Übersicht 26: Arten von Simulationsmodellen und ihre Beziehung zueinander.....	85
Übersicht 27: Struktur des Simulationsmodells	86
Übersicht 28: Module des Simulationsmodell	88
Übersicht 29: Schema der Verknüpfungen und des Ablaufs im Modell.....	89
Übersicht 30: N-Boden-Modell.....	107
Übersicht 31: Karte der Naturräume Nordrhein-Westfalens.....	121
Übersicht 32: Standorttypen der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz.....	123
Übersicht 33: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der verschiedenen Maßnahmen im Modellbetrieb Düren	154
Übersicht 34: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Düren bei den einzelnen Maßnahmen	155
Übersicht 35: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der verschiedenen Maßnahmen im Modellbetrieb Bergisches Land.....	159
Übersicht 36: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen	160
Übersicht 37: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der einzelnen Maßnahmen im Modellbetrieb Maifeld	174
Übersicht 38: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Maifeld bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen	175
Übersicht 39: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der einzelnen Maßnahmen im Modellbetrieb Westerwald.....	179
Übersicht 40: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Westerwald bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen.....	180

Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr
ABAG	Allgemeine Bodenabtragsgleichung
AF	Ackerfläche
AK	Arbeitskreis
Akh	Arbeitskraftstunden
AZ	Ackerzahl
BB	Brandenburg
BF	Betriebsfläche
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
chem.-synth.	chemisch-synthetisch
DB	Deckungsbeitrag
DSPRIR	Driving Force-Pressure-State-Impact-Response
EAGFL	Europäischer Ausrichtungs- und Garantiefond für die Landwirtschaft
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EG	Europäische Gemeinschaft
EP	Expansionspfad
EU	Europäische Union
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FSL	Flächenstilllegung
FUL	Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung
GAK	Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz
GE	Getreideeinheit
GJ	Giga Joule
GZ	Grünlandzahl
ha	Hektar
HE	Hessen
Hrsg.	Herausgeber
Jgg.	Jahrgänge
K	Kalium
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KUL	Kriterien Umweltverträgliche Landbewirtschaftung
LF	Landwirtschaftliche genutzte Fläche
LK	Landwirtschaftskammer
LN	Landwirtschaftliche Nutzflächen
LÖBF	Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten
LPP	Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz
MEKA	Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich
MSL	Markt- und strukturangepasste Landwirtschaft
MUF	Ministerium für Umwelt und Forsten (Rheinland-Pfalz)
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Nordrhein-Westfalen)
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MWVLW	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Weinbau (Rheinland-Pfalz)

N	Stickstoff
NI	Niedersachsen
N _{Min}	Mineralischer Stickstoff
NW	Nordrhein-Westfalen
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
P	Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmittel
PSR	Pressure-State-Response
RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem
RBA	Relativer Bodenabtrag
RGV	Raufutterfressende Großvieheinheit
RP	Rheinland-Pfalz
SG	Sommergerste
SH	Schleswig Holstein
SL	Saarland
SLMEF	Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten
SLVA	Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Landwirtschaft
SN	Sachsen
ST	Sachsen-Anhalt
TH	Thüringen
TM	Trockenmasse
TMLNU	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt
USL	Umweltsicherungssystem Landwirtschaft
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WG	Wintergerste
WW	Winterweizen
ZIL	Zukunftsinitiative für den ländlichen Raum
ZMP	Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle GmbH
ZR	Zuckerrüben
ZwF	Zwischenfrucht

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Im Rahmen der *Agrarreform 1992 (McSharry Reform)* wurden erstmalig in der Europäischen Union Agrarumweltprogramme als flankierende Maßnahmen eingeführt. Hintergrund hierfür waren öffentliche Forderungen nach einer Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion aufgrund von Überschussmengen bei wichtigen landwirtschaftlichen Produkten auf der einen Seite und eine Beeinträchtigung von Natur und Umwelt durch intensive landwirtschaftliche Produktionsweisen auf der anderen Seite. Die Grundlage für die Agrarumweltprogramme bildete die VERORDNUNG (EWG) Nr. 2078/1992 des Rates vom 30. Juni 1992 für umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren. Ziel dieser Verordnung war:

- die Verringerung der Umweltbelastung durch die Landwirtschaft,
- die Entlastung der Agrarmärkte,
- die Sicherung eines angemessenen Einkommen für die Landwirte und
- der Schutz, die Erhaltung und die Verbesserung des natürlichen Lebensraumes.

Alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union sind seit diesem Zeitpunkt verpflichtet, die in der Verordnung aufgeführten Maßnahmen umzusetzen. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Programme obliegt den einzelnen Mitgliedsstaaten (in Deutschland den Bundesländern). Die Finanzierung der Programme erfolgt gemeinschaftlich von der EU sowie zu verschiedenen Anteilen durch den Bund und die Länder.

Die mit der *Agenda 2000* eingeleitete Agrarreform setzte neben den markt- und preispolitischen Maßnahmen (erste Säule der Agrarpolitik) auf die Stärkung der zweiten Säule der Agrarpolitik. Hierin sind alle Maßnahmen zusammengefasst, die sich mit der Agrarumweltpolitik und der Entwicklung des ländlichen Raumes befassen. Zu diesem Bereich zählen auch die Agrarumweltmaßnahmen. Die Rechtsgrundlage für diese Maßnahmen bildet die VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen. Diese Verordnung trat anstelle der Verordnung (EWG) Nr. 2078/1992.

Neben den Grundsätzen für die Ausgestaltung der einzelnen Agrarumweltmaßnahmen geben die entsprechenden Verordnungen der Europäischen Union Vorgaben zur Bewertung und Begleitung der Programme. Hier soll die Effizienz der eingesetzten Fördermittel nachgewiesen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirkungszusammenhänge zwischen den angebotenen Maßnahmen und dem landwirtschaftlichen Einkommen sowie den Umwelteinfluss der landwirtschaftlichen Produktion auf einzelbetrieblicher Ebene abzubilden. Hierfür wird ein

Simulationsmodell entwickelt, das im Kern die Definition von Produktionsaktivitäten mit ihren produktionstechnischen, ökologischen und ökonomischen Kennwerten beinhaltet, aus denen sich gesamtbetriebliche Kennzahlen ableiten lassen. Die Modellansätze sind dynamischer Natur, so daß die Wirkungen der untersuchten Szenarien über die Zeit fortgeschrieben und Langfristauswirkungen dargestellt werden können.

Durch die Vielfalt der angebotenen Agrarumweltmaßnahmen war eine Abgrenzung des Themas notwendig. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den einzelnen Programmen der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz im Bereich Ackerbau.

1.2 Vorgehensweise

In *Kapitel 2* wird ein allgemeiner Überblick über die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die Umweltwirkungsbereiche Boden, Wasser sowie Arten- und Biotopvielfalt gegeben. Hierzu wird die Bedeutung der einzelnen Umweltmedien beschrieben und die Beeinträchtigung dieser Bereiche durch die Landwirtschaft erläutert.

Die Ausgestaltung der Agrarumweltmaßnahmen sind in *Kapitel 3* dargestellt. Ausgehend von der VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen werden zunächst die Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raumes allgemein und die Agrarumweltmaßnahmen speziell sowie die Finanzierung dieser Programme beschrieben. Dabei wird ein Überblick über die angebotenen Maßnahmen in Europa und in Deutschland gegeben. Anschließend werden das Kulturlandschaftsprogramm des Landes Nordrhein-Westfalen und das Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung des Landes Rheinland-Pfalz vorgestellt und die einzelnen Maßnahmen im Bereich Ackerbau erläutert. Des weiteren werden die rechtlichen Grundlagen zur Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen aufgezeigt.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit den theoretischen Grundlagen der ökologischen und ökonomischen Bewertung verschiedener landwirtschaftlicher Produktionsweisen. Dazu wird zunächst ein Überblick über vorhandene Bewertungskonzepte der ökologischen Bewertung gegeben, das Konzept der Agrarumweltindikatoren erläutert und die im Modell verwendeten ökologischen Indikatoren vorgestellt. Für die ökonomische Bewertung werden ebenfalls bereits vorhandene Konzepte aufgezeigt und die im Modell verwendeten Kennzahlen zur Beschreibung der Einkommenswirkung und der Veränderung des betrieblichen Risikos bei einer Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen beschrieben. Die Grundlage für die Ermittlung der ökonomischen und ökologischen Indikatoren bilden standortspezifische Ertragsfunktionen für die einzelnen landwirtschaftlichen Fruchtarten, deren Herleitung ebenfalls in diesem Kapitel vorgestellt wird.

Die Beschreibung der Umsetzung der erarbeiteten theoretischen Grundlagen in einem eigenständig laufenden Computerprogramm erfolgt in *Kapitel 5*. Dazu werden zunächst einige grundsätzliche Überlegungen zu den verschiedenen Arten und zur Struktur von Simulationsmodellen getroffen. Anschließend erfolgt die Darstellung des technischen Aufbaus des verwendeten Modells. Des Weiteren werden die inhaltlichen Module, also die Modellteile zur Ermittlung der Ertragsfunktionen und zur Bestimmung der ökonomischen und ökologischen Kennwerte detailliert hergeleitet und die Quantifizierung modellrelevanter Parameter beschrieben.

Die Bewertung der Auswirkung einer Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen erfolgt mit Hilfe von Modellbetrieben. Dazu werden in Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Beratern jeweils zwei Betriebe für Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz erstellt. Dabei handelt es sich jeweils um einen guten und um einen schlechteren Ackerbaustandort. Die Beschreibung dieser Betriebe erfolgt in *Kapitel 6*.

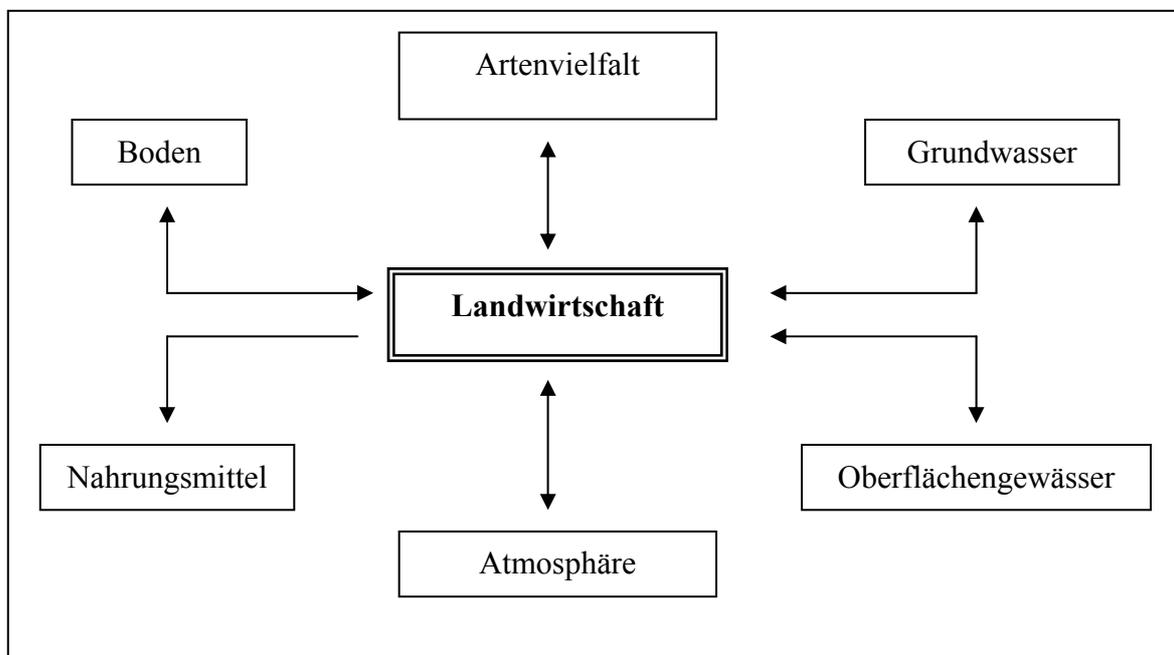
Die Ergebnisse der Modellrechnungen werden in *Kapitel 7* dargestellt. Hierbei findet ein Vergleich zwischen den Betriebsergebnissen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung mit denen bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen statt. Zu diesem Zweck wird für die untersuchten Betriebe zunächst eine typische Fruchtfolge festgelegt, mit der die Anpassungsmaßnahmen der Betriebe bei einer Programmteilnahme beschrieben werden. Die Darstellung der gesamtbetrieblichen Auswirkungen der Teilnahme an den verschiedenen Agrarumweltmaßnahmen mit Hilfe der ökonomischen und ökologischen Indikatoren erfolgt im Anschluss daran.

Die Bewertung der einzelnen Agrarumweltmaßnahmen erfolgt in *Kapitel 8*. Hier werden zunächst die allgemeinen Programmauswirkungen aufgezeigt und nicht quantifizierbare Problembereiche einer Programmteilnahme diskutiert. Anschließend erfolgt die Ermittlung der Effizienz der eingesetzten Fördermittel hinsichtlich Einkommens- und Umweltwirkungen. Dafür wird die faire Prämie für jede Agrarumweltmaßnahme und die Prämienwirkungsbeziehungen berechnet.

2. Umweltwirkungen der Landwirtschaft

Die wichtigste Funktion der Landwirtschaft ist die Erzeugung und Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln. Diese können jedoch nur mit einem mehr oder weniger starken Eingriff in die natürliche Umwelt gewonnen werden. Daher gehen mit der landwirtschaftlichen Produktion sowohl positive als auch negative Wirkungen auf die Umwelt einher. Diese wirkt sich insbesondere auf die Bereiche Boden, Wasser (Grund- und Oberflächenwasser), Luft sowie die Arten- und Biotopvielfalt aus. Übersicht 1 zeigt die Wirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die einzelnen Umweltwirkungsbereiche sowie die Nahrungsmittelproduktion.

Übersicht 1: Einfluß der Landwirtschaft auf die Umweltmedien



Quelle: KILIAN, 2000, S. 4

In diesem Kapitel werden die Umweltwirkungen der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf die Bereiche Boden, Wasser sowie Arten und Biotopvielfalt beschrieben. Der Umweltwirkungsbereich Luft (Atmosphäre) wird hier nicht näher betrachtet. Dieser ist zwar insgesamt von großer Bedeutung (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 128ff; LÜTKE ENTRUP ET AL, 1998, S. 61ff), wird aber nur marginal von den in dieser Arbeit betrachteten Maßnahmen der Agrarumweltprogramme im Bereich Ackerbau beeinflusst.

2.1 Wirkung auf den Boden

Der Boden stellt die Grundlage der landwirtschaftlichen Erzeugung, insbesondere des Pflanzenbaus dar. Er ist ein „ungleichartiger, hohlraumreicher, belebter Körper, der sich von den Umweltmedien Luft und Wasser grundsätzlich unterscheidet. Böden haben drei Hauptfunktionen zu erfüllen“ (HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 77):

- Regelung im Naturhaushalt (Ausgleich bestimmter Eingriffe, Filterung, Pufferung),
- Produktion pflanzlicher Substanz (Verankerung der Pflanzen, Bereitstellung bodengebundener Nährstoffe für die Pflanzen),
- Gewährung von Lebensraum, insbesondere für die stoffabbauenden und humusbildenden Organismen.

Infolge der landwirtschaftlichen Nutzung der Böden können folgende negative Auswirkungen auftreten (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 88ff):

- Veränderung des Gefügestandes,
- Bodenverdichtung,
- Veränderung des Humusgehaltes,
- Bodenversauerung,
- Anreicherungen von Nährstoffen,
- Eintrag von Schwermetallen,
- Anreicherung von Pflanzenschutzmittel,
- Wind- und Wassererosion.

Die Veränderung des *Gefügestandes* sowie die Bodenverdichtung als physikalisch-mechanische Auswirkungen auf den Boden sind Folge der primären und sekundären Bodenbearbeitung und der Befahrung der Felder.

Der *Humusgehalt* wird beeinflusst durch die Düngung und die Fruchtfolge. Eine humusmehrnde Wirkung wird durch eine Kombination von organischer und mineralischer Düngung erreicht. Humuszehrende Wirkung hat ein erhöhter Anteil von Hack- bzw. Blattfrüchten in der Fruchtfolge. Das zur Unkrautbekämpfung erforderliche Hacken bewirkt hierbei eine erhöhte, den Humusabbau beschleunigende Bodenlockerung und -belüftung.

Die *Bodenversauerung* (Absinken des pH-Wertes) resultiert aus der Düngung und der Abfuhr von Ernteprodukten. Zusätzlich kommt es zu Säureeinträgen aus der Luft. Über regelmäßige Kalkgaben kann der Bodenversauerung entgegen gewirkt werden.

Die Düngung, vor allem mit leicht löslichen mineralischen Nährstoffen, führt zu einer Anreicherung der Stoffkonzentration der einzelnen *Nährstoffe* in der Bodenlösung. Dies hemmt zum einem mikrobielle Prozesse im Boden und führt zum anderen zur Auswaschung der Nährstoffe aus dem Boden. Weiterhin führt die Düngung mit

mineralischen Phosphaten wegen deren Gehalten an Cadmium, Zink, Kupfer etc. zu einer Anreicherung von Schwermetallen.

In fast allen landwirtschaftlich genutzten Böden können *Pflanzenschutzmittel*, meist in geringen Mengen, gefunden werden. Diese gelangen durch direkte Applikation, Abspülen von Pflanzen sowie Eintrag von mit Pflanzenschutzmitteln behafteten Pflanzenresten in den Boden. Die Wirkstoffe verbleiben in Abhängigkeit von ihrem Verlagerungsvermögen und ihrer Persistenz, d.h. ihrem Widerstand gegen Abbau und Zerfall, unterschiedlich lange im Boden. Die Pflanzenschutzmittel werden zum Teil mikrobiell abgebaut, zum Teil auch an Humusteilchen und Tonmineralen gebunden und so zunächst vor einem Weitertransport geschützt. Es ist jedoch nicht absehbar, ob und unter welchen Bedingungen sie später wieder freigesetzt, für Lebewesen verfügbar oder gar noch als Pestizide wirksam werden können.

Die *Bodenerosion* als ein Prozeß der Bodendegradation ist ein Abtrag von Bodenmaterial an der Oberfläche durch Wasser oder Wind. Bei den Folgen der Erosion treten sowohl „Onsite-Schäden“ auf den Ackerflächen als auch „Offsite-Schäden“ abseits der Ackerflächen auf. In Tabelle 1 sind die Auswirkungen der Bodenerosion dargestellt.

Die Bodenerosion und der Eintrag von Schwermetallen stellen praktisch irreversible Schädigungen des Bodens dar. Die übrigen Einwirkungen der landwirtschaftlichen Nutzung sind zwar reversibel, jedoch erstreckt sich die Erholung nur über einen längeren Zeitpunkt.

Bodenschutz bedeutet in erster Linie eine Pflege und Stärkung der Regelungsfunktionen. Für die Landwirtschaft, die von allen biologischen Bodennutzern die Böden am intensivsten und auf den größten Flächen beansprucht, stellt daher der Bodenschutz eine besonders wichtige Aufgabe dar (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 104).

2.2 Wirkung auf das Wasser

Wasser stellt im Stoffkreislauf der Natur eine zentrale Größe dar. Das Lösungs- und Transportvermögens des Wassers für Nährstoffe und für biologische Stoffwechselprodukte ist Voraussetzung für den Aufbau organischer Substanz und die Existenz von Leben. Ein ausreichendes Wasserangebot ist daher grundlegend für das Pflanzenwachstum und damit für die Landwirtschaft (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 7).

Die wesentlichsten Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf den Wasserhaushalt sind (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 107):

- Durch Umwandlung von Wald und Grünland in Ackerland ergeben sich Beeinträchtigungen für die Grundwasserneubildung (diese ist unter Acker höher aber auch ungleichmäßiger, wodurch auch die Gefahr der Nährstoffauswaschung steigt); ferner verstärken sich erosionsbedingte Einträge in das Oberflächengewässer.

Tabelle 1: Direkte und indirekte negative Folge- und Fernwirkungen der Bodenerosion

	Onsite-Schäden	Offsite-Schäden
kurzfristige Schadwirkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Verlust an pflanzenverfügbarem Wasser, wertvollem Krumenmaterial, organischer Substanz und Pflanzennährstoffen => Ertragseinbußen - Frei- und Abspülen oder Überdeckung von Keimlingen und Jungpflanzen im Erosions- bzw. Akkumulationsbereich => Kosten für evtl. Neusaat - Erschwerte Befahr- und Bearbeitbarkeit durch tiefe Erosionsrinnen - Verschlechterung des Bodengefüges am Unterhang und besonders am Hangfuß 	<ul style="list-style-type: none"> - Überschwemmen von Wegen und Straßen sowie deren Beschädigung - Verschlammung von Entwässerungsgräben durch die Sedimentfracht - Überdeckung angrenzender Landschaftselemente - unerwünschter Eintrag von Bodenmaterial, Pflanzennährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in benachbarte Vorfluter und Feuchtbiotope sowie in entfernte Gewässer - Belastung kommunaler Abwassernetze und Kläranlagen durch Feststoff- und Lösungsfracht
langfristige Schadwirkung	<ul style="list-style-type: none"> - Verminderung der Gründigkeit im Festgesteinsbereich => Verkleinerung des Wurzelraums - Verschlechterung des Wasserspeichervermögens und der Wasserführung - Verlust an Kationenaustauschkapazität - Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und Produktivität => Minderung der Ertragsfähigkeit und -sicherheit - Zunehmende Heterogenität der Bodenverhältnisse und des Ertragspotentials - Beeinträchtigung der Bodenfunktionen - Wertverlust des Bodens 	<ul style="list-style-type: none"> - Verlandung von Feuchtbiotopen und stehenden Gewässern - Ökologische Belastung und Eutrophierungsgefahr der Oberflächengewässer - Eutrophierung angrenzender terrestrischer Ökosysteme oder schützenswerter Kleinbiotope - Gefährdung von Trinkwassersperren durch Eintrag belasteten Bodenmaterials

Quelle: Eigene Darstellung nach EVERDING, 1998, S. 5

- Befahren der Äcker mit schwerem Gerät verdichtet den Boden. Dadurch verringert sich die Einsickerung des Niederschlagswassers, und es kommt zu verstärktem Oberflächenabfluss mit Bodenerosion.

- Zur Erhöhung des Wirtschaftswertes des Bodens werden Feuchtbiotope beseitigt und gleichzeitig nährstoffhaltiges Dränwasser abgeführt.
- Abflussverbesserungen durch Kanalisation oder Verrohrung kleinerer Gewässer zerstört ihre Funktion als Lebensraum.
- Ausbauten kleinerer Wasserläufe im Zuge von Flurbereinigungen führen ohne Berücksichtigung der Dynamik des fließenden Wassers auf einer längeren Fließstrecke wechselweise zu Uferabbrüchen, Überschwemmungen oder Sohlenvertiefungen mit Grundwasserabsenkungen.
- Umwandlung von Grünland in Ackerland führt in Hochwasserabflussgebieten bei Hochwasser zu verstärkter Erosion und zu einer bedenklichen Verschlechterung der Grundwasserqualität.

Bei der Betrachtung der Auswirkungen der Landwirtschaft auf das Wasser sind die Wirkungen auf das Grundwasser und auf die Oberflächengewässer zu unterscheiden.

Bei der *Belastung des Grundwassers* durch die Landwirtschaft spielen vor allem der Eintrag von Nitrat und von Pflanzenschutzmitteln eine Rolle.

Ursache für die Belastung des Grundwassers mit Nitrat ist der gesamte Stickstoffkreislauf im Boden, gleichgültig ob der Stickstoff in mineralischer oder organischer Form gedüngt wurde oder durch stickstoffbindende Bakterien und Mineralisation in den Boden gelangt. Im Gegensatz zu anderen Stickstoffformen (z.B. Ammonium) kann Nitrat nicht im Boden festgehalten werden, weshalb Stickstoff auch praktisch nur in Form von Nitrat ausgewaschen wird (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 112ff).

Tabelle 2 zeigt die Beeinflussung der zur erwarteten Auswaschung von Stickstoff durch verschiedene Faktoren.

Ob und in welchem Umfang Pflanzenschutzmittel bis ins Grundwasser gelangen, hängt von einer Reihe von Faktoren, wie z.B. die Persistenz und die Wasserlöslichkeit der Substanz, durchgehende Poren und Risse im Boden sowie Starkregen nach der Ausbringung, ab. Ursachen bekannt gewordener Grundwasserverunreinigungen durch Pflanzenschutzmittel sind vorwiegend unsachgemäße Anwendung sowie unvorschriftsmäßige Lagerung, Spritzbrühen- und Verpackungsbeseitigung, Gerätereinigung und dergleichen (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 117f).

Die Beurteilung der *Belastung von Oberflächengewässern* ist vielschichtiger als die von Grundwasser, da Oberflächengewässer vielfältiger genutzt werden. Bei den aus der Landwirtschaft stammenden Belastungen handelt es sich im wesentlichen um Pflanzennährstoffe (vor allem Stickstoff und Phosphor sowie ihre Verbindungen), die mit dem Oberflächenabfluß in die Gewässer transportiert werden und hier zu einer Eutrophierung führen.

Tabelle 2: Beeinflussung der zu erwarteten Sickerverluste an Düngernstickstoff durch verschiedene Faktoren

Faktor	geringe N-Sickerverluste	höhere N-Sickerverluste
Kultur	- Wüchsiger Bestand - Grünland und andere mehrjährige Futterpflanzen sowie Zwischenfruchtanbau	- Schwachwüchsiger Bestand und Brache - Ackerland
Boden	- Ton- und Lehmboden - geringe Durchlässigkeit - hoher Humusgehalt - hohe Feldkapazität	- Sandboden - hohe Durchlässigkeit - geringer Humusgehalt - geringe Feldkapazität
Termin der N-Gabe	- Beginn der Hauptwachstumsphase - während intensiven Wachstums	- zum Ende oder außerhalb des Wachstums (zur Saat, im Winter)
Höhe der N-Gabe	- Empfohlene Menge oder weniger	- Mehr als empfohlene Menge
Klimatische Wasserbilanz	- Wenig Sickerwasser	- Viel Sickerwasser

Quelle: Eigene Darstellung nach HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 116

Die stärksten Nährstoffverlagerungen entstehen hierbei durch Bodenerosion. Weitere Belastungen stellen häusliche und betriebliche Abwässer der Landwirtschaft und Pflanzenschutzmittel dar (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 118ff). Die Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer sind zum Großteil auf die gleichen Ursachen zurückzuführen wie bei der Belastung des Grundwassers.

Die Belastung der Oberflächengewässer mit Pflanzennährstoffen wurde in den letzten Jahren reduziert, dagegen kommt es beim Grundwasser zu häufigen Überschreitungen der Trinkwassergrenzwerte (vgl. TREMEL, 2000, S. 8).

2.3 Wirkung auf die Arten- und Biotopvielfalt

Hierunter sind die Wirkungen der Landwirtschaft auf die Arten- und Biotopvielfalt sowie die Landschaftsstruktur zusammen gefasst. In Deutschland wird über die Hälfte der Fläche landwirtschaftlich genutzt. Von daher hat die Landwirtschaft entscheidenden Einfluß auf die Gestaltung und Struktur der (Kultur-)Landschaft und die darin vorkommenden Arten.

Set etwa 1960 mehren sich Beobachtungen über einen verstärkten Rückgang vieler Tier- und Pflanzenarten. Für die Nachteile oder Schädlichkeit dieser fortschreitenden Artenverluste werden folgende Gesichtspunkte angeführt (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 64):

- In den wildlebenden Pflanzen- und Tierarten steht ein kaum ermessbares Potential für neue Nutzorganismen zur Verfügung, u.a. als Rohstoff-, Energie-, und Heilmittel-Lieferanten.
- Vorhandene Nutzpflanzen bedürfen zur Resistenzzüchtung und Erbgutauffrischung immer wieder die Einkreuzung von Wildarten.
- Bestimmte Wildarten sind für die biologische Schädlingsbekämpfung von Bedeutung.
- Wildlebende Arten, vor allem Pflanzen, dienen als Anzeiger von Umweltzuständen oder -veränderungen.
- Teilweise erfüllt die „wilde Natur“ ästhetische Bedürfnisse in der „Erlebniswelt“ des Menschen.
- Die Verantwortung für zukünftige Generationen gebietet, keine irreversiblen Veränderungen auf der Erde zuzulassen, durch die künftige Generationen wesentliche Möglichkeiten der Lebensbewältigung genommen wird.

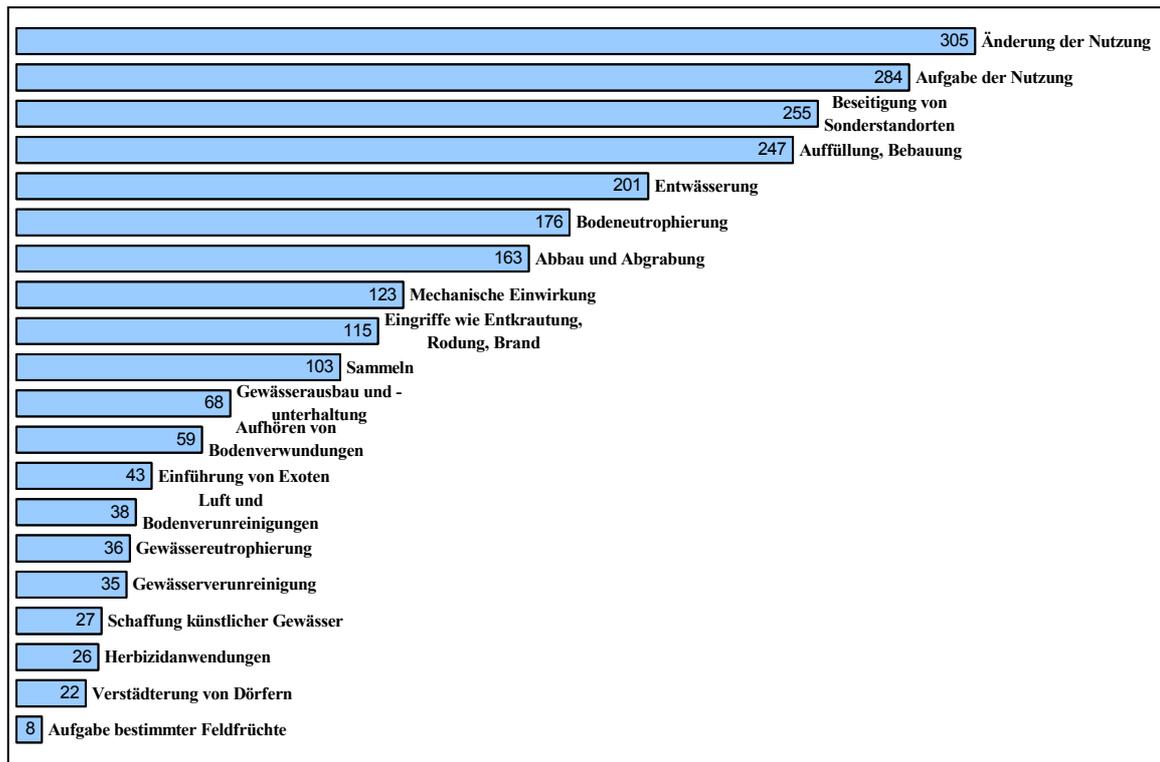
Die Landwirtschaft erweist sich als Hauptverursacher des Arten- und Biotoprückganges. Hierzu tragen eine Reihe von Maßnahmen bei (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 62 ff):

- Entwässerung von Feuchtgebieten,
- Intensivierung der Grünlandnutzung,
- Umwandlung von Grünland in Ackerland,
- Vergrößerung der Felder und damit verbundene Ausräumung der Landschaft,
- Anwendung von Unkraut- und Schädlingsbekämpfungsmitteln,
- Bau von Wirtschaftswegen,
- Verengung der Fruchtfolge,
- Intensivierung der Bodenbearbeitung.

Als Maß für den Artenrückgang werden die Anzahl der Arten in „Roten Listen“ der gefährdeten und seltenen Arten angegeben. In Übersicht 2 sind die Ursachen (Ökofaktoren) des Artenrückgangs, angeordnet nach der Zahl der betroffenen Pflanzenarten der Roten Listen dargestellt.

Insgesamt spielen die Probleme des Arten- und Biotopschutzes im Bewusstsein der Landwirtschaft eine geringere Rolle wie der Schutz des Wasser und des Bodens. Aufgrund der Irreversibilität möglicher Schädigungen darf das Problem aber nicht vernachlässigt werden, da die Ziele des Biotop- und Artenschutzes nur mit der Landwirtschaft erreicht werden können (vgl. HABER und SALZWEDEL, 1992, S. 76f).

Übersicht 2: Ursachen des Artenrückgangs, angeordnet nach Zahl der betroffenen Pflanzenarten der Roten Listen



Quelle: AID, 1995, S. 5

Auf der anderen Seite sind die Vielfalt der Pflanzen- und Tierarten im Agrarökosystem - zu der auch die Landwirtschaft gehört - grundlegende Elemente unserer Kulturlandschaft. So wird in Übersicht 2 deutlich, daß auch die Aufgabe der Landbewirtschaftung durch die Landwirtschaft die zweithöchste Ursache für den Artenrückgang ist (LÜTKE ENTRUP ET AL, 1998, S. 68).

3. Beschreibung der Agrarumweltmaßnahmen

In diesem Kapitel werden zunächst die rechtlichen Grundlagen der Förderung des ländlichen Raumes im allgemeinen und der Agrarumweltmaßnahmen im speziellen vorgestellt sowie ein Überblick über die Umsetzung der Agrarumweltmaßnahmen in Europa und in Deutschland gegeben.

Anschließend werden die einzelnen Agrarumweltprogramme in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz detailliert beschrieben. Ausgehend von dem jeweiligen Länderprogramm zur Förderung des ländlichen Raumes werden die gesamten Agrarumweltmaßnahmen und speziell die in dieser Arbeit behandelten Maßnahmen für den Ackerbau vorgestellt.

Schließlich werden die Vorgaben zur Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen erläutert, wozu die Untersuchungen in dieser Arbeit einen Teilbereich abbilden.

3.1 Agrarumweltmaßnahmen in der EU

3.1.1 Rechtliche Grundlagen

Die rechtliche Grundlage der Agrarumweltmaßnahmen bildet die VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen.

Die Verordnung beinhaltet neben den Agrarumweltmaßnahmen weitere Vorgaben für Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raumes. Diese sind:

- Niederlassung von Junglandwirten,
- Berufsbildung,
- Vorruhestand,
- Benachteiligte Gebiete und Gebiete mit umweltspezifischen Einschränkungen,
- Verbesserung der Verarbeitung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse,
- Forstwirtschaft,
- Förderung der Anpassung und Entwicklung von ländlichen Gebieten.

Mit den in der Verordnung beschriebenen Maßnahmen sollen u.a. folgende Ziele erreicht werden (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999, Artikel 2):

- Verbesserung der Struktur bei der landwirtschaftlichen Erzeugung und im Bereich Verarbeitung und Vermarktung.
- Erhaltung und Stärkung einer tragfähigen Sozialstruktur im ländlichen Raum.

- Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen.
- Erhaltung und Förderung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsformen mit geringem Betriebsmittelaufwand.
- Erhaltung und Förderung einer nachhaltigen und umweltgerechten Landwirtschaft.

Die Agrarumweltmaßnahmen werden in Kapitel VI der Verordnung geregelt. In Artikel 22 heißt es: „Die Beihilfen für landwirtschaftliche Produktionsverfahren, die auf den Schutz der Umwelt und die Erhaltung des ländlichen Lebensraumes ausgerichtet sind (Agrarumweltmaßnahmen), tragen zur Verwirklichung der Ziele der Agrar- und Umweltpolitik der Gemeinschaft bei“ (VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999, Artikel 22).

Die Beihilfen werden Landwirten gewährt, die sich vertraglich für mindestens fünf Jahre verpflichten, an Agrarumweltmaßnahmen teilzunehmen. Die Verpflichtungen der Agrarumweltmaßnahmen müssen über die Anwendung der guten fachlichen Praxis hinaus gehen (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999, Artikel 23).

Als Kriterien zur Berechnung der Beihilfen für die Agrarumweltmaßnahmen werden herangezogen:

- Einkommensverluste,
- zusätzliche Kosten infolge der eingegangenen Verpflichtung und
- die Notwendigkeit einen Anreiz zu bieten.

Ebenfalls können Kosten nichtproduktiver Investitionen, die zur Einhaltung der Verpflichtungen erforderlich sind, bei der Berechnung der Höhe der Beihilfen berücksichtigt werden (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999, Artikel 24). Dabei gelten Investitionen als nichtproduktiv, „sofern sie normalerweise zu keinem erheblichen Nettozuwachs des Wertes oder der Wirtschaftlichkeit des Betriebes führen“ (VERORDNUNG (EG) NR. 445/2002, Artikel 15).

Eine weitere rechtliche Vorgabe zu den Agrarumweltmaßnahmen stellt die Durchführungsverordnung VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999 der Kommission vom 23. Juli 1999 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 (...) dar. Diese wurde im Jahr 2002 durch die VERORDNUNG (EG) NR. 445/2002 der Kommission vom 26. Februar 2002 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 (...) ersetzt.

In den Artikeln 13 bis 21 sind die Vorgaben zu den Agrarumweltmaßnahmen beschrieben. Im Artikel 19 heißt es, daß der Einkommensanreiz der Beihilfen 20 % der aufgrund der Verpflichtung anfallenden Einkommensverluste und zusätzlichen Kosten nicht überschreiten darf, außer wenn sich zur Sicherstellung der Wirksamkeit der betreffenden Maßnahme ein höherer Satz für unerlässlich erweist. (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 445/2002, Artikel 19).

Geht ein Landwirt für einen Teil seines Betriebes eine Agrarumweltverpflichtung ein, so muß er im gesamten Betrieb die Anforderungen der guten landwirtschaftlichen Praxis erfüllen (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 445/2002, Artikel 20).

3.1.2 Ausgestaltung in den einzelnen Ländern

Die Agrarumweltmaßnahmen sind in den Mitgliedstaaten unterschiedlich ausgestaltet. Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die Programme in ausgewählten Ländern gegeben (vgl. EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2003a).

In *Österreich* sind die Maßnahmen eher auf den gesamten Betrieb als auf Einzelflächen bezogen. Hier werden fünf Maßnahmentearten unterschieden:

- Grundförderung (mindestens zwei Umweltschutzmaßnahmen),
- Extensivierungsmaßnahmen,
- Erhaltung der Kulturlandschaft und traditioneller Wirtschaftsformen,
- Boden- und Wasserschutzmaßnahmen,
- Projektbezogene Maßnahmen auf Einzelflächen.

Die Förderung des ökologischen Landbaus und die Umstellung von Ackerflächen auf extensiv genutztes Grünland bilden den Kern der Agrarumweltprogramme in *Frankreich*. Diese sind neben den Ausgleichszahlungen der Schwerpunkt der gesamten Gemeinschaftsmaßnahmen zur Förderung des Ländlichen Raumes. Für diese beiden Maßnahmen werden über 58 % der Gemeinschaftsmittel verwendet.

Im *Vereinigten Königreich* gibt es für die vier Teilgebiete (England, Schottland, Wales und Nordirland) jeweils unterschiedliche Ausgestaltungen der Agrarumweltprogramme. In *England* unterscheidet man drei Agrarumweltregelungen:

- Umstellung auf biologischen Landbau,
- Schutz bestimmter Landschaftsarten und Lebensräume,
- Schutz von umweltsensiblen Gebieten.

Ein starker Akzent auf Agrarumweltmaßnahmen wird in *Schweden* gesetzt. Durch Kombination und Zusammenwirken der beiden folgenden Schwerpunkte sollen optimale Bedingungen für eine ökologisch nachhaltige Landwirtschaft und eine nachhaltige ländliche Entwicklung geschaffen werden:

- Schwerpunkt 1: Ökologisch nachhaltige Entwicklung ländlicher Gebiete: Hier existieren elf verschiedene Maßnahmen im Bereich umweltverträglicher Landwirtschaft. Im Vordergrund steht die Bewirtschaftung von Wiesen und Weiden und die Erhaltung traditioneller Tierhaltungs- und Landbaumethoden.

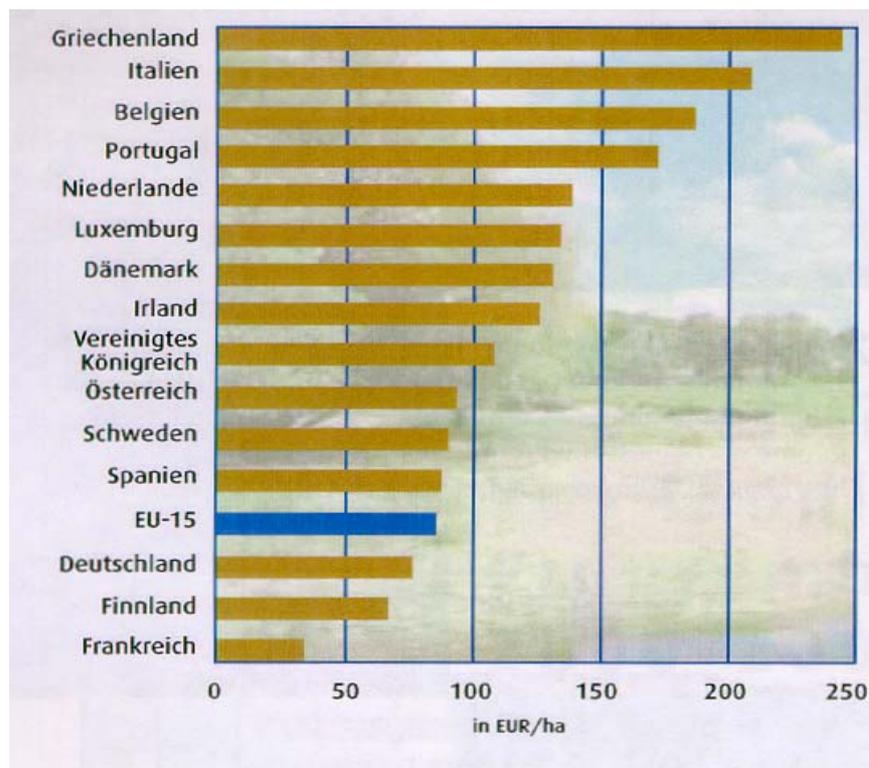
- Schwerpunkt 2: Sozio-ökonomisch nachhaltige Entwicklung ländlicher Gebiete: Dieser Schwerpunkt betrifft gezielte, kostenwirksame Projekte zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Höfen und Agrarbetrieben.

3.1.2 Finanzierung

Die Gemeinschaftsbeihilfe für die Agrarumweltmaßnahmen beträgt 75 % in den Regionen, die unter Ziel 1 fallen und 50 % in den übrigen Gebieten (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999, Artikel 47).

Die nach Agrarumweltmaßnahmen bewirtschaftete Vertragsfläche der EU-15 betrug 2001 19,3 Mio. ha. Die durchschnittliche Agrarumweltprämie belief sich auf 89 €/ha. Diese ergibt sich aus der gesamten gezahlten jährlichen Prämie dividiert durch die im jeweiligen Jahr vertraglich gebundene Fläche. Wie in Übersicht 3 dargestellt sind zwischen den einzelnen Mitgliedstaaten große Unterschiede zu verzeichnen (vgl. EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN, 2003b, S. 6f).

Übersicht 3: Durchschnittliche jährliche Prämie für Agrarumweltmaßnahmen



Quelle: EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN, 2003b, S. 7

3.2 Agrarumweltmaßnahmen in Deutschland

Die Agrarumweltprogramme werden in Deutschland auf Ebene der Bundesländer angeboten. Ein Überblick über die nach der Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 kofinanzierten Agrarumweltprogramme der Bundesländer findet sich bei HARTMANN ET AL (2003). Die Maßnahmen der einzelnen Bundesländer lassen sich hierbei vereinfacht folgendermaßen einteilen (vgl. HARTMANN ET AL, 2003, S. II f):

- Überwiegend produktionsbezogene Maßnahmen,
- Überwiegend naturschutzbezogene Maßnahmen,
- Begleitende Maßnahmen.

Die *produktionsbezogenen Maßnahmen* sollen unabhängig von konkreten lokalen Schutzzielen oder akuten Problemsituationen dazu beitragen, landwirtschaftliche Produktionsformen umweltfreundlicher zu gestalten. Die Maßnahmen zielen auf den abiotischen Ressourcenschutz (Reduzierung des Eintrags von Schadstoffen in die Umwelt) ab. Hierbei lassen sich verschiedene Ansätze unterscheiden:

- Maßnahmen umfassen den gesamten Betrieb (z.B. Förderung des ökologischen Landbaus).
- Maßnahmen umfassen einen bestimmten Betriebszweig (z.B. Grünlandextensivierung).
- Maßnahme bezieht sich nur auf ein bestimmtes Produktionsverfahren oder auf einzelne Kulturen (z.B. Mulchsaat bei Mais und Zuckerrüben).
- Förderprogramme für Zucht und Haltung von vom Aussterben bedrohter Nutztierassen sowie für Zucht und Anbau gefährdeter Nutzpflanzen zum Schutz genetischer Ressourcen.

Bei den *naturschutzbezogenen Maßnahmen* handelt es sich um einzelflächenbezogene Maßnahmen mit dem Ziel des Arten- und Biotopschutz sowie dem Erhalt einer bestimmten Kulturlandschaft. Die Maßnahmen können folgendermaßen beschrieben werden:

- Produktion wird nicht ausgeschlossen (z.B. völliger Verzicht auf Dünger bei Grünland, aber Nutzung zu einem späten Zeitpunkt möglich),
- Erhaltung traditioneller Produktionsformen (z.B. Streuobstwiesen),
- Landschaftspflege durch Landwirte.

Die *begleitenden Maßnahmen* werden angeboten, um die Einführung der anderen Maßnahmen zu unterstützen. Dabei lassen sich Informationsveranstaltungen und Demonstrationsvorhaben unterscheiden.

Die Förderung der Agrarumweltmaßnahmen in Deutschland wurde bisher stark bestimmt von den Altverpflichtungen auf Grundlage der VERORDNUNG (EWG) 2078/1992 des Rates vom 30. Juni 1992 für umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende

landwirtschaftliche Produktionsverfahren. So machten diese im Jahr 2001 noch ca. 65 % der gesamten Ausgaben aus (vgl. FAL, 2003, S. 27).

Tabelle 3 zeigt Kennzahlen der Agrarumweltförderung (ohne den ökologischen Landbau) auf Grundlage von Monitoringdaten der Flächenländer im Jahre 2000. Dabei betrug das Förderbudget 30 €/ha der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland. Den größten Teil der Agrarumweltmaßnahmen machen die Maßnahmen im Grünland aus. Bundesweit beträgt der Anteil der Grünlandmaßnahmen an der Gesamtförderung 58 %. Der Anteil der mit Auflagen der Agrarumweltmaßnahmen bewirtschafteten Flächen an den gesamten Grünlandflächen liegt hier bei 40 %.

Die Maßnahmen im Bereich Ackerbau machen 25 % der Gesamtförderung der Agrarumweltmaßnahmen aus. Der Anteil der unter Auflagen bewirtschafteten Flächen an der gesamten Ackerfläche beträgt 10 %. Die Maßnahmen im Ackerbau haben in den meisten Bundesländern nur eine sehr geringe Bedeutung. Lediglich in Baden-Württemberg und in Sachsen spielen die Ackermaßnahmen der Agrarumweltprogramme eine wichtige Rolle. Zwischen den einzelnen Bundesländern bestehen erhebliche Unterschiede sowohl im Bezug auf den Anteil der geförderten Flächen als auch auf das Förderbudget je ha LF. Im Jahr 2001 betrug das Förderbudget inklusive dem ökologischen Landbau 40 €/ha LF (vgl. FAL, 2003, S. 28).

In einigen Bundesländern erfolgt die Förderung der Agrarumweltprogramme nach einheitlichen Fördergrundsätzen der markt- und strukturangepassten Landwirtschaft (MSL), als Förderinstrument der Gemeinschaftsaufgabe für Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK). Diese zielt insbesondere auf die Förderung einer Extensivierung der Flächenbewirtschaftung z.B. durch Verzicht auf bestimmte Betriebsmittel oder Begrenzung der Tierbesatzdichte, sowie die Förderung des ökologischen Landbaus ab. Die Finanzierung dieser Maßnahmen erfolgt zu 60 % durch den Bund und zu 40 % durch die entsprechenden Bundesländer, d.h. unter Berücksichtigung der EU-Kofinanzierung beträgt der Landesanteil für MSL-Maßnahmen in den alten Bundesländer 20 %, in den neuen 10 % (vgl. REITER ET AL, 2003, S. 3).

Tabelle 3: Kennzahlen der Agrarumweltförderung (ohne ökologischen Landbau), Stand 2000

	SH	NI	NW	HE	RP	BW	BY	SL	BB	MV	SN	ST	TH	Summe
Maßnahmen auf Ackerland														
Ackerlandmaßnahmen														
zusammen	4 %	2 %	1 %	1 %	20 %	50 %	17 %	.	7 %	.	63 %	3 %	19 %	25 %
Anteil an Gesamtförderung	<0,5 %	<0,5 %	<0,5 %	<0,5 %	6 %	.	15 %	.	10 %	.	.	<0,5 %	7 %	10 %
Anteil an gesamter Ackerfläche	0,2	0,1	0,1	0,4	10	56,4	13,2	.	2,7	.	49,3%	0,5	10,7	10,6
Förderbudget in €/ha Acker														
Darunter														
Fruchtfolge						34 %	12 %							5 %
Zwischenfrüchte						16 %					4 %			1 %
Mulch			3 %			12 %	2 %		11 %		14 %			2 %
Diese Maßnahmen zus.	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	20 %	17 %	0 %	11 %	0 %	8 %	0 %	0 %	11 %
Maßnahmen auf Grünland														
Grünlandmaßnahmen														
zusammen	65 %	52 %	77 %	64 %	39 %	31 %	71 %	84 %	59 %	73 %	47 %	82 %	69 %	58 %
Anteil an Gesamtförderung	3 %	6 %	25 %	69 %	21 %	68 %	56 %	59 %	45 %	28 %	66 %	74 %	84 %	40 %
Anteil an Grünlandfläche ¹⁾	6	6	38	54	33	52	97	70	86	58	143	86	137	59
Förderbudget in €/ha Grünland														
Davon														
Grünlandextensivierung	15 %	35 %	48 %	43 %	31 %	24,5	58 %	81 %	51 %	13 %		48 %	41 %	38 %
Anteil an Gesamtförderung	1 %	4 %	18 %	32 %	19 %	81,5 %	54 %	57 %	44 %	4 %		48 %	61 %	34 %
Anteil an Grünlandfläche	113	102	184	114	139	49	145	118	170	243		129	134	115
Prämie in €/ha Förderfläche	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3		0,3	0,3	
Mindesttierbesatz ²⁾											15 %			2 %
Anteil an Gesamtförderung											26 %			1 %
Anteil an Grünlandfläche											171			171
Prämie in €/ha Förderfläche							3 %				27 %			4 %
Anteil an Gesamtförderung							4 %				87 %			4 %
Anteil an Grünlandfläche							128				94			101
Prämie in €/ha Förderfläche														
Vertragsnaturschutz mit	51 %	18 %	30 %	20 %	8 %	8 %	10 %	3 %	8 %	60 %	5 %	33 %	28 %	15 %
Nutzung/Pflege von	2 %	2 %	8 %	7 %	3 %	28 %	3 %	2 %	11 %	24 %	10 %	26 %	23 %	10 %
Grünland	234	105	190	255	230	45	473	110	105	203	167	203	236	155
Prämie in €/ha Förderfläche														
Agrarumweltmaßnahmen insgesamt														
Förderbudget in €/ha LF	3	4	14	30	28	65	49	40	32	16	61	15	43	30

¹⁾ Werte aufgrund von Kumulationsmöglichkeiten geschätzt (für Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg und Sachsen)

²⁾ RGV/ha Hauptfruchtfläche

Quelle: FAJ, 2003, S. 28, verändert

3.3 Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen

3.3.1 NRW-Programm „Ländlicher Raum“

Die nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen sind im „NRW-Programm Ländlicher Raum - Plan des Landes Nordrhein-Westfalen zu Entwicklung des ländlichen Raumes“ aufgeführt. Der Plan läßt sich in drei Förderschwerpunkte einteilen (vgl. MUNLV, 2000, S. 35):

- Verbesserung der Produktionsstruktur,
- Maßnahmen zur ländlichen Entwicklung,
- Agrarumwelt- und Ausgleichmaßnahmen sowie Forstwirtschaft.

Die Fördermaßnahmen sind darauf ausgerichtet, die multifunktionale Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft sowie des ländlichen Raumes zu stärken. Den einzelnen Fördermaßnahmen werden folgende Ziele zugrunde gelegt (vgl. MUNLV, 2000, S. 35):

- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Agrar- und Forstwirtschaft von der Produktion bis hin zur Vermarktung.
- Förderung nachhaltiger Produktionssysteme zur Verbesserung der Umwelt und Schaffung produktionsintegrierter Erbringung freiwilliger ökologischer Leistungen.
- Verknüpfung der land- und forstwirtschaftlichen Produktion mit den Bedürfnissen der Verbraucher, z.B. durch die Erzeugung qualitativ hochwertiger, umweltfreundlicher und tierschutzgerecht produzierter Nahrungsmittel oder über die Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe zur Schonung endlicher Ressourcen.
- Sicherstellung der flächendeckenden Landbewirtschaftung und attraktive Dörfer, um lebenswerte ländliche Räume zu erhalten.
- Ausgleich von für den Einzelbetrieb unabweisbaren Benachteiligungen, unabhängig davon, ob diese aufgrund natürlicher oder rechtlicher Rahmenbedingungen zustande gekommen sind.

Der Förderschwerpunkt *Verbesserung der Produktionsstruktur* befasst sich vorrangig mit der Verbesserung der Wettbewerbsstruktur der Landwirtschaft einschließlich der nachgelagerten Bereiche (Verarbeitung und Vermarktung). Hierzu werden folgende Maßnahmen angeboten (vgl. MUNLV, 2000, S. 37ff):

- Investition in landwirtschaftliche Betriebe und Niederlassungshilfe für Junglandwirte,
- Berufsbildung,
- Verbesserung der Verarbeitung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse.

Im Förderschwerpunkt *Maßnahmen zur ländlichen Entwicklung* werden die infrastrukturellen Rahmenbedingungen für eine wettbewerbsfähige Land- und Forstwirtschaft sowie für attraktive ländliche Räume geschaffen. Hierzu dienen folgende Instrumente (vgl. MUNLV, 2000, S. 38ff):

- Flurbereinigung,
- Aufbau von Betriebsführungsdiensten für landwirtschaftliche Betriebe,
- Dorferneuerung und -entwicklung,
- Diversifizierung der Tätigkeiten im landwirtschaftlichen und landwirtschaftsnahen Bereich,
- Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Wasserressourcen.

Der Förderschwerpunkt *Agrarumwelt- und Ausgleichsmaßnahmen sowie Forstwirtschaft* befasst sich mit allen Maßnahmen für die Erbringung von Umweltleistungen durch die Landwirtschaft bzw. Ausgleichsmaßnahmen für natürliche Benachteiligungen sowie zur Stärkung der Forst- und Holzwirtschaft. Hierzu zählen folgende Maßnahmen (vgl. MUNLV, 2000, S. 41f):

- Benachteiligte Gebiete und Gebiete mit umweltspezifischen Einschränkungen,
- Agrarumweltmaßnahmen,
- Forstwirtschaft.

3.3.2 Kulturlandschaftsprogramm

Die im Entwicklungsplan beschriebenen Agrarumweltmaßnahmen sind neben dem Vertragsnaturschutz im Kulturlandschaftsprogramm Nordrhein-Westfalen zusammengefasst (vgl. MUNLV, 2001).

Ziel des Kulturlandschaftsprogramms ist es, zum Schutz von Umwelt, Natur und Landschaft in Kooperation mit allen Beteiligten,

- eine flächendeckend und umweltverträgliche Landbewirtschaftung mit weitgehend geschlossenen Stoffkreisläufen und
- die gezielte Sicherung, Entwicklung und Regeneration besonders wertvoller und gefährdeter Lebensräume zu ermöglichen.

Bei den Agrarumweltmaßnahmen gibt es als betriebs- bzw. betriebszweigbezogene Förderangebot die markt- und standortangepasste Landbewirtschaftung. Darunter fallen die Maßnahmen:

- Extensivierung im Ackerbau und bei Dauerkulturen sowie die Anlage von Schonstreifen,
- Grünlandextensivierung,
- Öko-Landbau,
- Festmistwirtschaft.

Weitere im Rahmen des Kulturlandschaftsprogramms geförderte Maßnahmen sind:

- Langjährige Stilllegung,
- Uferrandstreifen,
- Gefährdete Haustierrassen,
- Erosionsschutz,
- Modellprojekte.

Durch diese Maßnahmen soll im einzelnen dazu beigetragen werden (MUNLV, 2001, S. 10),

- den Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmittel zu verringern,
- die Bodenerosion zu vermindern und den Boden als wichtigste Produktionsgrundlage zu schützen,
- einen hohen Anteil an Dauergrünland zu sichern,
- umweltschonende Festmistverfahren, an Kriterien der artgerechten Tierhaltung verknüpft, auszuweiten,
- die Lebensbedingungen für gefährdete Tiere und Pflanzen zu verbessern und zu erweitern,
- einen landesweiten Biotopverbund zu schaffen,
- die Kulturlandschaft zu erhalten, zu pflegen und zu entwickeln,
- vom Aussterben bedrohte Haustierrassen zu erhalten,
- pflanzengenetische Ressourcen zu sichern,
- qualitativ hochwertige, umweltschonend bzw. ökologisch erzeugte Nahrungsmittel zu produzieren und
- die ökologischen Leistungen der Landwirtschaft gerecht zu honorieren.

Zwischen den einzelnen Fördermaßnahmen bestehen Möglichkeiten der Kombination und der Kumulation der Prämien. Grundsätzlich gilt jedoch: Dieselbe Leistung darf auf derselben Fläche nicht doppelt gefördert werden (vgl. MUNLV, 2001, S. 37). Tabelle 4 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Kombination und Kumulation der Prämien zwischen den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen.

Die Teilnahme am Kulturlandschaftsprogramm ist freiwillig. Mit Ausnahme der langjährigen Flächenstilllegung (hier 10 bis im Einzelfall 20-jährige Laufzeit) werden Verträge mit einer Laufzeit von fünf Jahren angeboten. Als Kriterium zur Ermittlung der Zuwendungshöhe werden neben den Einkommensverlusten und den zusätzlichen Kosten infolge der eingegangenen Verpflichtungen auch die Honorierung ökologischer Leistungen genannt (vgl. MUNLV, 2001, S. 11).

Tabelle 4: Kombinationsmöglichkeiten der markt- und standortangepaßten Landbewirtschaftung mit anderen Agrarumweltmaßnahmen

Maßnahmen	Uferrandstreifen	Langjährige Flächenstilllegung	20 jährige Flächenstilllegung	Erosionsschutz (Ackerbauliche Maßnahmen)	Erosionsschutz (Einsatz mehrjähriger Grasarten)
Markt- und standortangepasste Landbewirtschaftung					
Ackerextensivierung	O	-	-	++	O
Schonstreifen	-	-	-	++	-
Grünlandextensivierung	O	-	-	-	-
Ökologischer Landbau	O	-	-	++	O

O: Kombination unter Anrechnung der Prämien möglich

- Kombination nicht möglich

++: Kombination und Kumulation der Prämien möglich

Quelle: MUNLV, 2001, S. 37

Bei der Finanzierung der Fördermaßnahmen beteiligt sich die EU mit 50 %. Die Grünlandextensivierung und der ökologische Landbau im Rahmen der Förderung der markt- und standortangepaßten Landbewirtschaftung sowie die mehrjährige Stilllegung (10 Jahre) sind in der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) verankert. Daher werden hier die Ausgaben zu 50 % von der EU, zu 30 % vom Bund und zu 20 % vom Land Nordrhein-Westfalen getragen. Bei den anderen Maßnahmen beteiligt sich das Land zu 50 % (vgl. MUNLV, 2001, S. 11).

3.3.3 Maßnahmen im Ackerbau

Bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen des Kulturlandschaftsprogramms im Bereich Ackerbau handelt es sich um die Extensivierung im Ackerbau sowie die Anlage von Schonstreifen im Rahmen der Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung und dem Erosionsschutz im Ackerbau. Die in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen wurden aus dem „Wegweiser durch das Kulturlandschaftsprogramm Nordrhein-Westfalen“ (MUNLV, 2001) entnommen.

Mit der *Extensivierung im Ackerbau* soll zu einer Rückführung der Intensität bei den landwirtschaftlichen Produktionsverfahren verbunden mit einer größeren Vielfalt verschiedener Fruchtarten zur Entlastung der Umwelt und Förderung der Artenvielfalt beigetragen werden. Mit der *Anlage von Schonstreifen* sollen mehr Lebensräume für die Verbreitung von Nützlingspopulationen, Rückzugräume für Tiere der Feldlandschaft und eine Bereicherung des Landschaftsbildes geschaffen werden.

Zur Erreichung dieser Ziele sollen die folgenden Bewirtschaftungsauflagen führen, die den gesamten Betriebszweig Ackerbau umfassen:

- Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden,
- Verzicht auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Düngemitteln oder
- Verzicht auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln.

Die Anlage von Schonstreifen wird auf Einzelflächen durchgeführt. Hierbei müssen auf einer 3 bis 12 m breiten Fläche folgende Auflagen eingehalten werden:

- Keine Düngung,
- kein Pflanzenschutz,
- keine mechanische Beikrautregulierung.

Die Einsaat der Schonstreifen kann mit der gleichen Ackerkultur wie auf dem Gesamtschlag erfolgen. Förderfähig ist des weiteren auch die Einsaat eines von der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF) empfohlenen Artengemisches oder die Zulassung von Selbstbegrünung, wobei der Aufwuchs in den letztgenannten Fällen nicht wirtschaftlich verwertet werden darf. Die Streifen können auf jährlich wechselnden Flächen angelegt werden. Die Anlage der Schonstreifen kann auf bis zu 5 % der gesamten Ackerfläche eines Betriebes, jedoch auf max. 20 % eines Schlages durchgeführt werden.

Bei den Prämien für die einzelnen Maßnahmen wird unterschieden zwischen der erstmaligen Durchführung der Maßnahme in den ersten fünf Jahren (Einführung) und der Fortführung der Maßnahmen in den folgenden fünf Jahren (Beibehaltung). In Tabelle 5 ist die Höhe der Förderungen der einzelnen Maßnahmen dargestellt.

Die *Erosionsschutzmaßnahmen* werden für solche ackerbaulich genutzten Flächen angeboten, auf denen Erosion ein aktuelles Problem darstellt. Deshalb wurde nach Auswertung digitaler Bodenkarten und Verknüpfung mit Informationen zu Relief und Niederschlag eine festgelegte Förderkulisse erstellt. Die Erosionsschutzmaßnahmen werden nur auf den Flächen gefördert, die innerhalb der Gebietskulisse liegen. Außerhalb dieser Gebietskulisse sind nur die Flurstücke förderfähig, für die die unteren Bodenschutzbehörden der entsprechenden Landkreise eine besondere Erosionsgefährdung bestätigen.

Tabelle 5: Zuwendungshöhe der betrachtenden Maßnahmen im Rahmen der Extensivierung im Ackerbau des Kulturlandschaftsprogramms

Maßnahme	Prämie bei Einführung	Prämie bei Beibehaltung
Verzicht auf Herbizide	92 €/ha	73 €/ha
Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel	92 €/ha	73 €/ha
Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel	153 €/ha	122 €/ha
Anlage von Schonstreifen		
- Bestellung mit gleicher Ackerkultur wie auf Gesamtschlag	409 €/ha	409 €/ha
- Einsaat eines blühfreudigen Gemisches oder Zulassung von Selbstbegrünung	715 €/ha	715 €/ha

Quelle: MUNLV, 2001, S. 13f

Im Rahmen des Erosionsschutz im Ackerbau förderfähig ist die durchgängige Anwendung erosionsmindernder Verfahren (für mindestens fünf Jahre) auf den geförderten Flächen:

- Rübenanbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren,
- Maisanbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren,
- Rapsanbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren,
- Kartoffelanbau mit vorheriger Zwischenfrucht sowie nachfolgender Zwischenfrucht, soweit eine Sommerung folgt,
- Getreideanbau mit Mulch- oder Direktsaatverfahren,
- Leguminosenanbau mit Untersaaten oder mit Mulch- bzw. Direktsaatverfahren,
- Anbau von Feldgras oder Klee gras.

Darüber hinaus können noch sogenannte „Filterstreifen“ in Randbereichen bzw. die Einsaat von Streifen mehrjähriger extensiv genutzter Grasarten auf (Teil-) Schlägen gefördert werden. Diese werden aber in dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die Prämie für die Anwendung der erosionsmindernden Verfahren auf den geförderten Flächen beträgt 102 €/ha und Jahr. Hier gibt es keine Unterscheidung zwischen Einführungsphase und Beibehaltung.

Tabelle 6 zeigt die Anzahl der abgeschlossenen Verträge sowie die nach den Vorgaben der jeweiligen Agrarumweltmaßnahmen bewirtschafteten Flächen in Nordrhein-Westfalen. Aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Maßnahmen kann ein Betrieb mehrere Verträge abschließen. In Nordrhein Westfalen werden 12 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Flächen nach Vorgaben von Agrarumweltmaßnahmen bewirtschaftet und gefördert. Auf 6 % der Ackerflächen werden Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt, der Anteil der Ackerextensivierung liegt nur bei 0,1 % der Ackerflächen.

Tabelle 6: Vertragsfläche und Anzahl der abgeschlossenen Verträge an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen (Stand 2003)

Maßnahmen	Vertragsfläche (ha)	Anzahl der Verträge
Agrarumweltmaßnahmen insgesamt	186.077	11.143
Festmistförderung		1.688
Erosionsschutz	58.316	1.721
Extensivierung Ackerbau, davon	1.226	320 ¹⁾
- Herbizidverzicht	49	
- Düngerverzicht	473	
- Düngerverzicht + PSM-Verzicht	210	
- Schonstreifen	494	

¹⁾ Für die Aufteilungen auf die einzelnen Maßnahmen liegen keine Zahlen vor

Quelle: LK NORDRHEIN-WESTFALEN, 2004

3.4 Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz

3.4.1 Zukunftsinitiative für den Ländlichen Raum

Grundlage der rheinland-pfälzischen Agrarumweltprogramme bildet der Entwicklungsplan „Zukunftsinitiative für den ländlichen Raum (ZIL) zur Verbesserung der Agrarstrukturen, der Förderung einer umweltfreundlichen Landwirtschaft und zur Entwicklung des ländlichen Raumes in Rheinland-Pfalz“.

Im Entwicklungsplan sind drei Förderschwerpunkte beschrieben (MWVLW und MUF, 2000, S. 84):

- Förderung der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der rheinland-pfälzischen Landwirtschaft,
- Agrarumweltmaßnahmen und Förderung der benachteiligten Gebiete sowie
- Schaffung alternativer Einkommensmöglichkeiten für die Landwirtschaft und Verbesserung der ländlichen Infrastruktur.

In Tabelle 7 sind die im Entwicklungsplan angebotenen Maßnahmen zugeordnet zu den jeweiligen Förderschwerpunkten aufgeführt. Mit diesen Maßnahmen soll dazu beigetragen werden, die folgenden Ziele zu erreichen (MWVLW und MUF, 2000, S. 82):

- Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit landwirtschaftlicher Betriebe,
- Verbesserung der Umweltsituation,
- Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen im ländlichen Raum,
- Sicherung einer flächendeckenden Landbewirtschaftung,

Tabelle 7: Maßnahmen und Förderschwerpunkte im ZIL

Förderschwerpunkte	Maßnahmen
Verbesserung der Agrarstruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Investitionen in landwirtschaftliche Betriebe • Niederlassung von Junglandwirten • Verbesserung der Verarbeitung und Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse • Flurbereinigung • Entwicklung und Verbesserung der mit der Landwirtschaft verbunden Infrastruktur • Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Wasserressourcen
Agrarumweltmaßnahmen, Förderung der benachteiligten Gebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Förderung der umweltschonenden Landbewirtschaftung (FUL) • Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete
Forsten, Dorferneuerung und Diversifizierung	<ul style="list-style-type: none"> • Diversifizierung im landwirtschaftlichen und landwirtschaftsnahen Bereich • Förderung der Dorferneuerung • Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen • Forstliche Maßnahmen

Quelle: Eigene Darstellung nach MWVLW und MUF, 2000, S. 83

- Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft,
- Schaffung von Einkommensalternativen.

3.4.2 Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung

Die Agrarumweltprogramme in Rheinland-Pfalz sind im Förderprogramm Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) zusammengefasst, das als gemeinsames Programm des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (MWVLW) und des Ministeriums für Umwelt und Forsten (MUF) angeboten wird.

Mit dem Förderprogramm werden folgende Ziele verfolgt (MWVLW und MUF, 2000, S. 260f):

- die landwirtschaftliche Produktion durch spezielle, kontrollierbare Produktionsverfahren umweltverträglicher zu gestalten,
- die Artenvielfalt bei Flora und Fauna zu sichern bzw. wiederherzustellen sowie die Kulturlandschaft zu bereichern und zu erhalten sowie einen Beitrag zur Biodiversität zu leisten,

- bei Überschussprodukten zusätzlich eine spürbare Marktentlastung zu erreichen,
- dem Wunsch der Verbraucher nach qualitativ hochwertigen und gleichzeitig umweltschonend erzeugten Nahrungsmitteln nachzukommen.

„Das Förderprogramm soll Landwirte und Winzer anregen, umweltschonende Methoden im Acker-, Obst- und Weinbau sowie in der Grünlandbewirtschaftung einzuführen bzw. diese beizubehalten und eine aktive Rolle im Umwelt- und Naturschutz zu übernehmen“ (MWVLW und MUF, 2000, S. 261).

Um diese Ziele zu erreichen werden sowohl betriebszweig- und unternehmensbezogene Programmteile als auch einzelflächenbezogene Programmteile angeboten (vgl. MWVLW und MUF, 2000, S. 261f). Bei den betriebszweig- und unternehmensbezogenen Maßnahmen handelt es sich um:

- Umweltschonende Wirtschaftsweise im Landbau (Acker-, Obst- und Weinbau),
- Ökologische Wirtschaftsweise im Landbau,
- Bewirtschaftungszuschüsse für Steil- und Steilstlagenweinbau,
- Extensive Grünlandbewirtschaftung Variante 1: Extensive Bewirtschaftung der gesamten Dauergrünlandfläche und Umwandlung von Acker- in Dauergrünland.

Die einzelflächenbezogenen Maßnahmen betreffen die:

- Extensive Grünlandbewirtschaftung
Variante 2: Extensive Bewirtschaftung von nach landespflegerischen Kriterien ausgewählten Dauergrünlandflächen,
Variante 3: Pflege, Erhaltung und Neuanlage von Streuobstwiesen,
Variante 4: Umwandlung einzelner Ackerflächen in extensiv zu nutzendes Dauergrünland
Variante 5: Extensive Bewirtschaftung einzelner Dauergrünlandflächen in den Talauen der Südpfalz (bisheriges Talauenprogramm),
- Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben,
- Anlage von Ackerrandstreifen,
- Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen,
- Biotechnischer Pflanzenschutz im Obst- und Weinbau,
- Ökologische Ackerflächenstilllegung,
- Biotopsicherungsprogramm „Weinbergsbrachen“.

Die Finanzierung der Prämien der Agrarumweltmaßnahmen erfolgt zu 50 % von der EU und zu 50 % vom Land Rheinland-Pfalz.

3.4.3 Maßnahmen im Ackerbau

Bei den in dieser Arbeit untersuchten Maßnahmen des FUL im Bereich Ackerbau handelt es sich um den umweltschonenden Ackerbau, das Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben, die Anlage von Ackerrandstreifen sowie die Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen. Die in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen sind aus den Grundsätzen des Landes Rheinland Pfalz für die jeweiligen Programmteile (vgl. MWVLW, 2001 bzw. MUF, 2001) entnommen.

Beim *umweltschonenden Ackerbau* sind die Teilnehmer verpflichtet, einzelflächenbezogene Regelungen im gesamten Betriebszweig Ackerbau einzuhalten. So müssen alle Ackerflächen bezogen auf den fünfjährigen Verpflichtungszeitraum einmal mit folgenden Kulturen bestellt werden:

- Blattfrüchte: Hierzu zählen alle landwirtschaftlichen Früchte mit Ausnahme von Getreide und reinen Grassamen im Feldfutter-/Grassamenanbau. Angerechnet werden auch Blattfrüchte, die als nachwachsende Rohstoffe auf Stilllegungsflächen angebaut werden, nicht jedoch mit Blattflächen begrünete Stilllegungsflächen.
- Sommerfrüchte: Hierzu zählen alle Kulturen, die nach dem 1. Januar eines Jahres ausgesät werden mit Ausnahme von Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln.

Für bestimmte Fruchtarten sind auf den einzelnen Flächen Anbaupausen vorgeschrieben:

- Anbau von Zuckerrüben, Kartoffeln (außer Frühkartoffeln), Sonnenblumen, Raps und Körnerleguminosen nur alle 4 Jahre zulässig.
- Anbau von Mais nur alle drei Jahre zulässig.
- Der Anbau von Winterweizen nach Winterweizen und Wintergerste nach Wintergerste ist untersagt.

Werden Sommerfrüchte angebaut (Ausnahme Mais und Zuckerrüben), so muß vorher ein bestimmtes Bodenschutzverfahren angewendet werden:

- Zwischenfruchtanbau nach der Getreideernte,
- Stoppelbrache nach der Getreideernte,
- Selbstbegrünung oder Zwischenfruchtanbau nach der Körnerleguminosen- und Ölsaatenernte.

Beim Zwischenfruchtanbau hat die Einsaat bis spätestens 10. September des jeweiligen Verpflichtungsjahres mit zertifiziertem Saatgut und vorgegebener Saatstärke zu erfolgen. Die Zwischenfrucht darf frühestens am 1. November umgebrochen werden. Bei der Stoppelbrache ist das Stroh nach der Getreideernte zu häckseln und möglichst gleichmäßig zu verteilen. Eine Bodenbearbeitung darf frühestens ab dem 1. Oktober durchgeführt werden. Eine wendende Bodenbearbeitung ist hier nicht erlaubt. Bei der Selbstbegrünung ist der Umbruch des Aufwuchses frühestens ab 1. November erlaubt.

Mais und Zuckerrüben müssen im Mulchsaatverfahren angebaut werden. Dabei muß der Zuwendungsempfänger eines der folgenden Verfahren einheitlich für alle Mais und Zuckerrübenflächen wählen:

- Mulchsaaten mit Zwischenfruchtanbau,
- Mulchsaaten mit Stoppelbrache.

Bei der Mulchsaat mit Zwischenfruchtanbau hat die Einsaat als Drillsaat mit zertifizierten Saatgut und vorgeschriebener Saatstärke bis zum 10. September zu erfolgen. Eine Bodenbearbeitung der Zwischenfrucht (kein Pflugeinsatz) darf frühestens am 21. Januar erfolgen. Eine Mulchsaat mit Stoppelbrache ist nur möglich, wenn Getreide als Vorfrucht angebaut wird. Das Stroh ist nach der Ernte zu häckseln und möglichst gleichmäßig zu verteilen. Die Bodenbearbeitung (kein Pflugeinsatz) darf frühestens ab dem 1. Oktober erfolgen.

Weiterhin müssen vom Teilnehmer am umweltschonenden Ackerbau folgende unternehmensbezogene Regelungen eingehalten werden:

- Mitgliedschaft in einem Erzeugerzusammenschluss.
- Verbot der Ausbringung von Gülle, Jauche und vergleichbaren Wirtschaftsdüngern sowie Siedlungsabfällen vom 1. November bis 31. Januar.
- Verbot des Einsatzes von Wachstumsreglern im Getreidebau.
- Erhaltung des Umfangs der im Betrieb vorhandenen Dauergrünlandflächen, mit Ausnahme von Flächenabgängen, die auf Besitz-/Eigentumswechsel zurückzuführen sind.
- Teilnahmepflicht an mindestens drei vom Erzeugerzusammenschluss anerkannten Fortbildungsveranstaltungen.
- Aufzeichnungspflicht der durchgeführten Maßnahmen beim Bodenschutzverfahren im Herbst, dem Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben sowie den ökologischen Ausgleichsflächen.
- Bewirtschaftung von mindestens 5 % und höchstens 10 % der Ackerflächen des Unternehmens als ökologische Ausgleichsflächen.

Für die ökologischen Ausgleichsflächen stehen folgende Nutzungsmöglichkeiten zur Auswahl:

- Extensiver Ackerbau,
- Anlage und Pflege von Brachen zur Förderung wild lebender Tiere,
- Umwandlung von Ackerland in extensiv zu nutzendes Dauergrünland,
- Anlage und Pflege von Streuobstwiesen.

Beim extensiven Ackerbau verpflichtet sich der Programmteilnehmer folgende Bewirtschaftungsauflagen einzuhalten:

- Einsaat in mindestens vier der fünf Verpflichtungsjahre von Getreide mit einer Saatstärke von maximal 50 % des betriebsüblichen Wertes. Die Saat muß als Drillsaat mit Bodenbearbeitung erfolgen.
- Verbot der Düngung (organisch und mineralisch) und des Einsatzes von Bodenhilfsstoffen einschließlich der Kalkung.
- Verbot des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln sowie der mechanischen Unkrautregulierung.
- Beerntung der Flächen muß durchgeführt werden, nur bei extremer Verunkrautung kann mit schriftlicher Genehmigung der Bewilligungsbehörde auf eine Beerntung verzichtet werden.
- Verbot der Anlage von Mieten, Dung- und Kompostlager.
- Möglichkeit die Flächen in einem Jahr brach fallen zu lassen, eine Anrechnung auf die konjunkturelle Flächenstilllegung ist nicht möglich.

Bei der Umwandlung von Ackerland in extensiv zu nutzendes Dauergrünland müssen folgende Bewirtschaftungsauflagen eingehalten werden:

- Einsaat der Fläche zu Beginn des Verpflichtungszeitraum mit einer vorgeschriebenen Grünlandmischung.
- Verbot der Düngung (organisch und mineralisch) und des Einsatzes von Bodenhilfsstoffen einschließlich der Kalkung.
- Verbot des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln.
- Ordnungsgemäße Nutzung der Fläche durch Mahd oder Beweidung mindestens einmal im Jahr.
- Verbot der Anlage von Mieten, Dung- und Kompostlager.

Die Höhe der Prämie beim umweltschonenden Ackerbau beträgt 102,26 €/ha. Für die ökologischen Ausgleichsflächen werden 255,65 €/ha Förderprämien gezahlt.

Das *Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben* bezieht sich nur auf die mit der jeweiligen Fruchtart bestellte Flächen. Der Zuwendungsempfänger kann in jedem Jahr des Verpflichtungszeitraumes eines der folgenden Verfahren einheitlich für alle Mais und Zuckerrübenflächen durchführen:

- Mulchsaaten mit Zwischenfruchtanbau,
- Mulchsaaten mit Stoppelbrache.

Die Auflagen der beiden Verfahren entsprechen den jeweiligen Auflagen beim umweltschonenden Ackerbau. Die Förderhöhen bei diesem Programmteil betragen bei der Einsaat von Zwischenfrüchten 117,60 €/ha und bei der Stoppelbrache 46,02 €/ha.

Bei der Anlage von *Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen* sind auf höchstens 10 % der Ackerflächen 5 bis 20 m breite Streifen mit vorgeschriebenen Begrünungsmischungen

einzusäen. Hier können sowohl einjährige als auch mehrjährige Begrünungsmischungen eingesät werden. Die Saat hat als Drillsaat mit vorgeschriebener Saatstärke zu erfolgen. Der Einsatz jeglicher Dünger- und Pflanzenschutzmittel sowie die mechanische Unkrautbekämpfung ist verboten. Bei mehrjährigen Begrünungsmischungen müssen die Flächen einmal im Jahr gemäht oder gemulcht werden. Dabei darf zu einem Zeitpunkt nur ein Teil der Flächen bearbeitet werden, der Rest der Flächen muß als Rückzugsfläche für Tiere stehen bleiben und zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet werden. Bei einjährigen Begrünungsmischungen ist auf die Durchführung der genannten Pflegemaßnahmen zu verzichten. Auf den Flächen dürfen keine Mieten, Dünger- oder Kompostlager angelegt werden. Eine Anrechnung der Flächen auf die konjunkturelle Flächenstilllegung ist nicht möglich. Alle durchgeführten Maßnahmen sind aufzuzeichnen.

Die Förderprämie bei der Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen beträgt 409,03 €/ha. Bei diesem Programmteil besteht auch die Möglichkeit Sonderstrukturen wie standortangepasste Hochstammbäume, Sträucher und Hecken etc. anzulegen. Hierfür werden entsprechend höhere Förderprämien gewährt.

Bei der *Anlage von Ackerrandstreifen* werden zu Beginn des Verpflichtungszeitraums 5 bis 12 m breite Streifen festgelegt. Diese sind mit Getreide mit einer Aussaatstärke von 50 % des ortsüblichen Wertes einzusäen. Alternativ besteht die Möglichkeit den Randstreifen jedes zweites Jahr brach fallen zu lassen. Der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln ist ebenso wie die Anlage von Mieten, Düngemitteln oder Kompostlagern verboten. Alle auf den Randstreifen durchgeführten produktionstechnischen Maßnahmen sind zu dokumentieren.

Die Förderprämie für diesen Programmteil beträgt 664,68 €/ha. Auch hier besteht die Möglichkeit der Anlage von Sonderstrukturen, für die eine höhere Förderung gewährt wird.

Vorraussetzung zur Förderung bei allen Programmteilen ist, daß die Anforderungen der guten fachlichen Praxis im gesamten Betrieb zu erfüllen sind.

In Tabelle 8 sind die nach den Bewirtschaftungsauflagen geförderte Fläche und die Anzahl der abgeschlossenen Verträge für die Agrarumweltmaßnahmen insgesamt und die einzelnen Maßnahmen im Ackerbau aufgeführt. Da je Betrieb auch mehrere Verträge abgeschlossen werden können, ist die Anzahl der Verträge nicht identisch mit der Teilnehmerzahl. In Rheinland-Pfalz werden ca. 21 % der landwirtschaftlich genutzten Flächen nach Vorgaben der Agrarumweltmaßnahmen bewirtschaftet, ca. 7 % der Ackerflächen unterliegen den in dieser Arbeit untersuchten Bewirtschaftungsauflagen im Bereich Ackerbau.

Tabelle 8: Vertragsfläche und Anzahl der abgeschlossenen Verträge an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz (Stand November 2003)

Maßnahmen	Vertragsfläche (ha)	Anzahl der Verträge
Agrarumweltmaßnahmen insgesamt	147.177	10.479
Umweltschonender Ackerbau	23.120	400
Mulchsaatverfahren Mais und Zuckerrüben	1.300	93
Ackerrandstreifen	215	88
Saum- und Bandstrukturen	1.120	385

Quelle: MWVLF, 2004

3.5 Evaluierung der Agrarumweltprogramme

Den Begriff „Evaluation“ bzw. „Evaluierung“ kann man mit dem Ausdruck „Bewertung“ gleichsetzen. In diesem Fall bezieht sich Evaluation auf die Bewertung politischer Programme. Definieren kann man Evaluation als „die systematische Untersuchung der Verwendbarkeit oder Güte eines Gegenstandes (...). Zu den Evaluationsgegenständen, (...), gehören Programme, Projekte und Materialien“ (BEYWL, 1999, S. 25). „Evaluierung setzt sich zum Ziel, komplexe Gegenstände wie staatliche Politik und Programme zu beurteilen und damit einen Beitrag zu ihrer Verbesserung zu leisten“ (BERGSCHMIDT und PLANKL, 1999, S. 571).

Im Gegensatz zur Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen nach Verordnung (EWG) Nr. 2078/92, die unter erschwerten Umständen stattfand, da die entsprechenden Anordnungen der EU-Kommission erst veröffentlicht wurden, als die Programme schon einige Jahre liefen, werden jetzt schon mit der Programmplanung Vorgaben seitens der Kommission gemacht, um überhaupt die Genehmigung zu erhalten (vgl. BERGSCHMIDT und PLANKL, 1999, S. 570).

Die Grundlage zur Evaluierung der Programme für die Entwicklung des ländlichen Raums gemäß VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999 bildet zunächst einmal die Verordnung selbst. In Artikel 48 heißt es:

- (1) Die Kommission und die Mitgliedstaaten sorgen dafür, daß die Durchführung der Entwicklungspläne für den ländlichen Raum wirksam begleitet wird.
 - (2) Die Begleitung erfolgt nach gemeinsam vereinbarten Verfahren. Die Begleitung erfolgt anhand spezifischer materieller und finanzieller Indikatoren, die im voraus vereinbart und festgelegt werden.
- (...)

Konkretisiert werden die Vorgaben in den Artikeln 41 bis 45 der VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999. In Artikel 42 heißt es dort:

- (1) Die Bewertungen werden von unabhängigen Bewertungssachverständigen auf der Grundlage anerkannter Bewertungstechniken durchgeführt.
- (2) Die Bewertungsfragen sollen insbesondere gemeinsame Bewertungsfragen beantworten, die von der Kommission in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten ausgearbeitet werden und in der Regel erfolgsbezogene Kriterien und Indikatoren umfassen.
- (3) Die für die Verwaltung der Programmplanungsdokumente für die Entwicklung des ländlichen Raums verantwortliche Behörde zieht für die Bewertung geeignete Hilfsmittel heran und stützt sich dabei auf die im Rahmen der Begleitung ermittelten Ergebnisse, die erforderlichenfalls durch zusätzlich erfasste Informationen ergänzt werden.

Die Artikel 43 bis 45 beziehen sich auf die einzelnen Teilstadien der Evaluierung, die „Ex-ante-“, die „Halbzeit-“ und die „Ex-post-Evaluierung“.

Die Ex-ante-Evaluierung ist mit dem Programmplan einzureichen. „Im Rahmen der Ex-ante-Bewertung werden die Disparitäten, Rückstände und Möglichkeiten der derzeitigen Situation analysiert, die Kohärenz der vorgeschlagenen Strategie mit der Situation und den Zielen beurteilt und die in den Bewertungsfragen angesprochenen Punkte untersucht. Die voraussichtliche Wirkung der gewählten Prioritäten für Aktionen wird beurteilt, und die Ziele werden quantifiziert, soweit sie sich hierzu eignen. Außerdem werden die vorgesehenen Durchführungsmodalitäten und die Kohärenz mit der Gemeinsamen Agrarpolitik und anderen Politiken geprüft“ (VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999, Artikel 43, Absatz 1).

Die Ex-ante Evaluierung spielt für die weitere Arbeit keine Rolle mehr, da sie bereits mit den Entwicklungsplänen für den ländlichen Raum eingereicht wurden und in der Verantwortung der Behörden liegen, die die Pläne entworfen haben (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999, Artikel 43, Absatz 2).

Im Rahmen der Halbzeit- und Ex-post-Evaluierung werden spezifische Fragen zu den betreffenden Programmen behandelt. Bei der Halbzeit-Bewertung werden insbesondere die ersten Ergebnisse, ihre Relevanz und Kohärenz mit dem Programmplanungsdokument und die Verwirklichung der angestrebten Ziele gemessen. Außerdem wird die Wirtschaftlichkeit der Haushaltsführung sowie die Qualität der Begleitung und Durchführung beurteilt. Bei der Ex-post-Bewertung sollen die Bewertungsfragen beantwortet werden, sowie insbesondere die Verwendung der Mittel, die Wirksamkeit und Effizienz der Beihilfen und ihre Auswirkungen untersucht. Die Ex-post-Bewertung liefert Schlussfolgerungen für die Politik der Entwicklung des ländlichen Raums einschließlich ihres Beitrags zur gemeinsamen Agrarpolitik (vgl. VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999, Artikel 44, Absatz 2).

In Übersicht 4 ist der Zeitplan zur Evaluierung der Maßnahmen zur Förderung des ländlichen Raums zusammengestellt.

Übersicht 4: Zeitplan zur Evaluierung der Programme nach Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 zur Entwicklung des ländlichen Raums

Maßnahme	Zeitpunkt
Definition der allgemeinen Evaluierungsfragen	1999
Definition der allgemeinen Kriterien und Indikatoren	Ende 1999
Festlegung der Aufgabenstellung für die Ex-ante-Evaluierung	Zusammen mit dem Einreichen des Entwicklungsplans
Festlegung der Aufgabenstellung für die Halbzeit-Evaluierung	bis 31.12.2003
Mögliche Aktualisierung der Halbzeit-Evaluierung	bis 31.12.2005
Vorlage eines Berichts über die Ex-post-Evaluierung	spätestens 2 Jahre nach Ende der Programmperiode
Gemeinsamer Abschlußbericht der Kommission	spätestens 3 Jahre nach Ende der Programmperiode

Quelle: Eigene Darstellung nach: EU-KOMMISSION (1999), S. 22

Im Rahmen der Evaluierung sollen zunächst einmal folgende Kernthemen und Fragen bearbeitet werden (vgl. EU-KOMMISSION, 1999, S. 14; BERGSCHMIDT und PLANKL, 1999, S. 571):

- *Relevanz:*
Entsprechen die Ziele des Programms den Prioritäten auf nationaler und EU-Ebene?
- *Nutzen:*
Entsprechen die Wirkungen des Programms den Bedürfnissen der Zielgruppe?
- *Wirksamkeit:*
Haben die Programmwirkungen zum Erreichen der Ziele beigetragen?
- *Effizienz:*
Wie ist das Verhältnis von Input und Output?
- *Nachhaltigkeit:*
Bestehen die Wirkungen des Programms nach Ablauf der Förderphase weiter?

Für die Evaluierung aller Programme, die nach Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 gefördert werden, werden Querschnittsfragen aufgestellt, die für alle Bereiche beantwortet werden sollen (vgl. EU-KOMMISSION 1999, S. 23). Diese lauten:

- Welchen Einfluß hat die Förderung auf die Struktur (Einwohnerzahl, Zusammensetzung und Verteilung) der ländlichen Bevölkerung?
- In welchem Maß hat das Programm dazu beigetragen, die Beschäftigung im ländlichen Raum zu sichern?
- In welchem Umfang hat das Programm beigetragen, das Einkommensniveau der ländlichen Bevölkerung zu sichern oder zu verbessern?

- Wie hat sich die Marktlage der land- und forstwirtschaftlichen Produkte durch die Beihilfe verbessert?
- In welchem Maß wurden umweltbezogenen Aspekte in die Programme zur ländlichen Entwicklung einbezogen, um die Auswirkungen der Aktivitäten in ländlichen Gebieten einschließlich der landwirtschaftlichen Verfahren auf die Umwelt zu verbessern?
- Inwieweit haben Programmplanung und Durchführung zu den erwartenden Wirkungen beigetragen?

Weiterhin werden für jedes Programm kapitelspezifische Fragen gestellt. Für den Bereich Agrarumweltmaßnahmen werden folgende Bereiche angesprochen (vgl. EU-KOMMISSION 1999, S. 25):

- Biologische Vielfalt (ländlicher Lebensraum und dessen Belastung durch die Landwirtschaft),
- Landschaften im ländlichen Raum (biophysikalische Merkmale, Erscheinungsbild des Lebensraums und des landwirtschaftlichen Ökosystems, kulturelle und historische Merkmale),
- Natürliche Ressourcen (Boden, Wasser).

Zur weiteren Konkretisierung der Evaluierungsvorgaben wurden auf EU-Ebene zu den Bewertungsfragen Kriterien und Indikatoren aufgestellt (vgl. EU-KOMMISSION, 2000b). Im Anhang 1 sind die Bewertungsfragen und die Kriterien für den Bereich Agrarumweltmaßnahmen dargestellt.

Die nationale Umsetzung der Evaluierung der Maßnahmen zur Förderung des ländlichen Raumes sind im nationalen Evaluationsrahmen festgeschrieben (vgl. BML, 2000). Hierin wird eine gemeinsame Basis für die Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen in Deutschland für die folgenden Bereiche gegeben:

- ökologischer Landbau,
- extensive Bewirtschaftung von Grünland,
- extensive Bewirtschaftung von Ackerland sowie Dauerkulturen und
- Naturschutz und Landschaftspflege.

Auf die dort beschriebenen Bewertungsfragen wird in Kapitel 4.1.3.2 näher eingegangen.

Die in diese Arbeit durchgeführten Untersuchungen beziehen sich nur auf einen Teil der Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen, nämlich die Wirkungszusammenhänge zwischen den angebotenen Maßnahmen und dem Einkommen des landwirtschaftlichen Betriebes sowie dem Umwelteinfluss des landwirtschaftlichen Produktionsverfahrens.

4. Theoretische Grundlagen der ökologischen und ökonomischen Bewertung

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der ökologischen und ökonomischen Bewertung aus der Literatur erarbeitet. Dabei wird zunächst ein Überblick über die vorhandenen Bewertungsansätze zur ökologischen Bewertung gegeben. Anschließend wird auf das Konzept der Agrarumweltindikatoren eingegangen, einzelne Indikatoren und Indikatorensysteme diskutiert und schließlich die im Modell verwendeten Indikatoren vorgestellt.

Die ökonomische Bewertung konzentriert sich auf die Bereiche Einkommenswirkungen und Veränderung des Risikos bei Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen. Grundlage für die jeweilige Bewertung bilden standortspezifische Ertragsfunktionen für die einzelnen Produktionsverfahren in Abhängigkeit von Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz. Deren Herleitung wird ebenfalls in diesem Kapitel erklärt.

4.1 Ökologische Bewertung

Ziel der ökologischen Bewertung ist es, Aussagen über die Wirkungen der Agrarumweltmaßnahmen auf die einzelnen Umweltwirkungsbereiche zu treffen. Hierzu gibt es bereits einige Instrumente und Ansätze, die im folgenden aufgezeigt werden.

4.1.1 Bewertungsansätze

Die in der Literatur beschriebenen Ansätze zur ökologischen Bewertung der Landbewirtschaftung kann man nach verschiedenen Methoden klassifizieren (vgl. GEBAUER und BÄUERLE, 2000, S. 456ff):

- Einzelbetriebliche landwirtschaftliche Umweltbewertungsverfahren,
- Simulationsmodelle:
 - naturwissenschaftliche Simulationsmodelle,
 - ökonomisch-ökologische Simulationsmodelle,
- Lineare Optimierungsmodelle,
- Expertensysteme,
- Ökobilanzen.

Die *einzelbetrieblichen Umweltbewertungsverfahren* bewerten Produktionssysteme bezüglich ihrer Umweltwirkung in der Regel unter Verwendung von Indikatoren. Als Beispiele dienen hier das Modell REPRO der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und das ökonomisch-ökologische Kennzahlensystem nach REITMAYR (1995). Das Modell REPRO ist ein EDV gestütztes Verfahren, das den landwirtschaftlichen Betrieb als ein

komplexes System mit innerbetrieblichen Stoff- und Energieflüssen beschreibt. Diese werden als dominierend bei der Beurteilung der Umweltwirkungen der Landwirtschaft angesehen. Zur Bewertung werden Agrarumweltindikatoren herangezogen. Neben der ökologischen Beurteilung erfolgt auch eine ökonomische Bewertung. (vgl. DIEPENBROCK et al., 1998, S. 8ff). REITMAYR (1995) entwickelte ein rechnergestütztes System zur ökonomischen und ökologischen Bewertung von agrarischen Bewirtschaftungsformen. Dabei wird durch die Integration ökonomisch und ökologischer Rechnungsbelege ein Konzept aufgezeigt, bei dem eine parallele Verrechnung und Auswertung beider Systeme in einem Rechnungssystem möglich ist (vgl. REITMAYR, 1995, S. 1). Die ökologische Auswertung erfolgt auch hier mit Hilfe von Indikatoren.

Simulationsmodelle beinhalten eine vereinfachte Darstellung komplexer Wirkungszusammenhänge im System, wobei die Möglichkeit besteht, unterschiedliche Szenarien zu generieren. Naturwissenschaftliche Simulationsmodelle bilden das System „Pflanze/natürliche Umwelt“ ab (vgl. GEBAUER und BÄUERLE, 2000, S. 457). So simuliert zum Beispiel das Modell EXPERT-N die Wasser-, Wärme- und Stickstoffdynamik im Boden (vgl. ENGEL, 1997, S. 186). Ökonomisch-ökologische Simulationsmodelle, wie z.B. SimCrop (vgl. SCHLAUDERER und ACKERMANN, 1997, S. 152ff) beinhalten die Zusammenführung von ökonomischen und ökologischen Fragestellungen.

Bei *Linearen Optimierungsmodellen* werden die ursprünglich rein ökonomischen Betrachtungen um ökologische Restriktionen erweitert. So entwickelte KILIAN (2000) ein ökonomisch-ökologisches (agrarpolitisches) Modell, daß auf der Methode der Linearen Optimierung beruht. Hierbei wurde in der Zielfunktion des Modells der Deckungsbeitrag berücksichtigt und die Einhaltung von Grenzwerten der Indikatoren für die Umweltbelastung als Nebenziel formuliert (vgl. KILIAN, 2000, S. 76).

Expertensysteme sind EDV gestützte Systeme, die sich mit der Erfassung und Speicherung von Expertenwissen und darauf aufbauenden Mechanismen zur automatischen Lösung von Problemen befassen. So ist zum Beispiel PRO_PLANT (vgl. VOLK, 1998, S. 367ff) ein Beratungsprogramm zur Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Pflanzenbau.

Ökobilanzen betrachten die Umweltwirkungen von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung bis hin zum Ge- und Verbrauch eines Produktes (vgl. TREMEL, 2000, S. 81). Sie sind daher ein sehr umfassendes Instrument und zur Beurteilung der Umweltwirkungen der pflanzlichen Produktion weniger geeignet.

4.1.2 Agrarumweltindikatoren

Ein wichtiges Instrument zur Beurteilung der Auswirkungen der Agrarumweltmaßnahmen sind die Agrarumweltindikatoren, die sich auch in den oben vorgestellten Methoden zur ökologischen Bewertung wieder finden. Allgemein lassen sich Umweltindikatoren als Parameter verstehen, „die auf Basis der statistischen Daten über den Zustand der Umwelt und über menschliche Produktions- sowie Konsumaktivitäten entwickelt werden. Mit Hilfe von Indikatoren werden Daten in politikrelevante Informationen transformiert“ (MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997, S. 13). „Agrarumweltindikatoren sind Messgrößen

zur Abschätzung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Produktionssysteme“ (KACHEL, 1999, S. 86). In der Literatur finden sich weitere Definitionen von Agrarumweltindikatoren, die sich jedoch nicht widersprechen, sondern die vielfältigen Eigenschaften und Aufgaben herausstellen. Als Beispiel werden hier zwei weitere Definitionen angeführt:

- „Ein Indikator ist eine Kenngröße, die Ist- und Sollgröße eines Systems beschreibt. Umweltindikatoren beschreiben und kennzeichnen demzufolge Qualitätsziele der Umwelt. Ausgehend von der Aufgabe, eine zusammenfassende Beurteilung von Umweltfragen zu erleichtern, sind Indikatoren das Ergebnis eines mehr oder weniger ausgeprägten Konzentrationsverfahren von Umweltdaten“ (RENNINGS, 1994, S. 5).
- „Indikatoren sind Parameterbündel, die quantitative und qualitative Informationen über den Zustand und die Entwicklung komplexer Systeme geben. Umweltindikatoren der Agrarlandschaft (...) geben Auskunft über die Nachhaltigkeit der Landnutzungssysteme, deren Einfluß auf benachbarte Ökosysteme sowie deren Veränderung in der zeitlichen und räumlichen Dimension“ (PIORR, 1998, S. 75).

Umweltindikatoren lassen sich in indirekte und direkte Indikatoren einteilen. Indirekte Indikatoren geben Auskunft über betriebliche, regionale und andere Merkmale, von denen auf den Zustand eines Schutzgutes geschlossen wird. Direkte Indikatoren messen den Zustand des Schutzgutes direkt (vgl. KACHEL, 1999, S. 86). Agrarumweltindikatoren sind in der Regel indirekte Indikatoren, da sie sich oft auf betriebliche Merkmale beschränken. Ein Beispiel für einen indirekten Indikator ist der Saldo der N-Bilanz. Durch ihn kann man auf den Zustand des Schutzgutes Grundwasser zurückschließen. Als direkter Indikator zur Messung der Grundwasserqualität kann man den tatsächlichen Nitratgehalt des Grundwassers heranziehen.

In der Literatur werden verschiedene Anforderungen an Agrarumweltindikatoren genannt (vgl. KACHEL, 1999, S. 87; MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997, S. 15f; PFADENHAUER und GANZERT, 1992, S. 27). Diese werden im folgendem am Beispiel des Saldos der N-Bilanz aufgezeigt und verdeutlicht.

- *Der Indikator wird durch Art und Intensität der Bewirtschaftung direkt beeinflusst. Nur dann läßt sich die Auswirkung einer Änderung im Betriebssystem auch direkt nachvollziehen.* Dies trifft auf den N-Bilanz Saldo zu. Er wird durch das Düngemanagement und das Ertragsniveau des Betriebes beeinflusst. Eine Änderung des Düngemanagement (Reduzierung der N-Düngung) führt zu einer Veränderung des Indikators.
- *Der Indikator ist für die Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit einer bestimmten Ressource repräsentativ.* Auch dies gilt für den Saldo der N-Bilanz. Über ihn lassen sich Rückschlüsse über die Grundwasserqualität ziehen.
- *Der Indikator ist kostenextensiv, leicht erhebbar oder ableitbar und dauerhaft beobachtbar.* Der N-Bilanz Saldo ist für den Landwirt relativ leicht und ohne große Kosten zu ermitteln. So wird die Düngebedarfsermittlung, die Grundlage für die N-Bilanz ist, durch die Düngeverordnung (vgl. DÜNGEVERORDNUNG, 1998, §4)

vorgeschrieben und gehört zur guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft. Der Indikator ist dauerhaft beobachtbar und auch vergleichbar.

- *Der Indikator ist grenzwertfähig, das heißt ein tolerierbarer Wert muß definiert und eingehalten werden können.* Beim Saldo der N-Bilanz ist es möglich einen Grenzwert festzulegen. Über die genaue Höhe des Wertes besteht jedoch Diskussionsbedarf, da er von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Bei einigen Umweltbewertungsverfahren (z.B. KUL bzw. USL) werden Grenzwerte bzw. Toleranzbereiche angegeben (vgl. Eckert et al. 1997, S. 53).
- *Der Indikator sollte methodisch abgesichert sein.*
- *Der Indikator sollte auf hochwertigen statistischen Daten beruhen.*
- *Der Indikator sollte ein hohes Maß an Politikrelevanz haben.* Auch die letzten drei Punkte sind beim N-Bilanz Saldo erfüllt. Man kann ihn aus statistischen Daten ermitteln (Durchschnittswerte), die Methode ist allgemein anerkannt und er wird auch in der politischen Diskussion oft verwendet.

Es werden aber auch Kritikpunkte und Probleme an der Anwendung der Agrarumweltindikatoren genannt (vgl. MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997, S. 19f; KACHEL, 1999, S. 91f; PIORR, 1998, S. 74). Diese sind:

- *Die Aussagekraft der Agrarumweltindikatoren:* Bestimmte Umweltindikatoren wie zum Beispiel der N_{Min} -Gehalt, machen nur Aussagen zum Belastungspotential, bewerten aber nicht die tatsächliche Belastung.
- *Regionsbezug der Indikatoren:* Die Umweltprobleme haben oft einen starken Standortbezug und können nicht losgelöst von den jeweiligen Standortverhältnissen beurteilt werden. So sind zum Beispiel hohe N_{Min} -Gehalte auf Sandböden kritischer zu bewerten als auf Lehmböden. Ebenso ist ein hoher Pflanzenschutzmitteleinsatz in Wasserschutzgebieten anders zu betrachten als fernab von sensiblen Grund- und Oberflächengewässern.
- *Problem der räumlichen Aggregation:* Bei der Beurteilung von Agrarumweltindikatoren sind der räumliche Bezugsraum und ggf. standörtliche Ausstattung zu betrachten. So ist zum Beispiel beim N_{Min} -Gehalt zu beachten, auf welcher Ebene man diesen Indikator berechnet (Teilschlag, Schlag, Bewirtschaftungseinheit, Betrieb). Misst man den Indikator auf Betriebsebene, kann man falsche Rückschlüsse über den Grad der Umweltbelastung auf Schlagebene ziehen.
- *Gewichtung der Indikatoren:* Die Bedeutung der einzelnen Indikatoren auf eine potentielle Umweltbeeinträchtigung ist unterschiedlich. Deshalb sollen die einzelnen Indikatoren unterschiedlich gewichtet werden. Eine solche Gewichtung ist jedoch immer subjektiv und hängt auch von den Präferenzen der politischen Entscheidungsinstanzen ab.
- *Verknüpfung der Indikatoren:* In manchen Fällen besitzt erst das Zusammenspiel mehrerer Faktoren eine Umweltwirkung, so daß über eine Verknüpfung von Indikatoren nachgedacht wird. So ist beim Indikator Düngung nur die Verknüpfung von organischer und mineralischer Düngung sinnvoll. Eine Aggregation von

Einzelindikatoren zu einem Gesamtindikator ist jedoch mit methodischen Problemen behaftet. Hier werden dann auch Teilaspekte vernachlässigt. Außerdem werden den verschiedenen Schutzgütern der Umwelt an unterschiedlichen Standorten unterschiedliche Bedeutung zugemessen.

- *Verfügbarkeit von Daten:* Informationen und Daten liegen im internationalen, aber auch im nationalen Bereich häufig nicht flächendeckend vor.
- *Fehlende methodische Abstimmung im internationalen Kontext.*

Agrarumweltindikatoren nehmen eine wichtige Funktion in der politischen Diskussion ein und werden darüber hinaus in folgenden Bereichen verwendet (vgl. MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997, S. 17f):

- *Umwelt-Monitoring:* Es findet eine Aufnahme von Bestand und Qualität der Ökosysteme und der Umweltmedien statt. Dies erfolgt mit Hilfe von Indikatoren.
- *Umwelt-Controlling:* Hierbei wird die Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Betriebe oder Betriebstypen, spezieller Produktionssysteme und Management überprüft. Es werden die Aktivitäten mit Hilfe von Indikatoren bewertet.
- *Formulierung geeigneter politischer Maßnahmen:* Umweltindikatoren können hierbei als sogenannte technologische Ansatzstelle (vgl. SCHEELE ET AL., 1993, S. 298) herangezogen werden, die über eine hinreichende Nähe zu dem betrachteten Umweltschutzgut verfügen. Diese müssen für den Landwirt akzeptabel und für die Verwaltung administrativierbar sein. Bei der Düngeverordnung dient zum Beispiel als technologische Ansatzstelle die aus organischen Quellen ausgebrachte Stickstoffmenge je Hektar (vgl. Düngeverordnung, 1998, §3)
- *Evaluierung von Politiken hinsichtlich ihrer Umwelteffekte:* Agrarumweltindikatoren werden zur Überprüfung des ökologischen Erfolgs umweltpolitischer Maßnahmen herangezogen (ex post Evaluierung). Des Weiteren werden sie zur Politikfolgenabschätzung verwendet. Eine derartige Überprüfung kann auch bereits als ex ante Evaluierung erfolgen.

Um die Vielfältigkeit und Vielzahl der Agrarumweltindikatoren zu verdeutlichen befindet sich im Anhang 2 ein Ausschnitt aus den in der Literatur verwendeten Indikatoren für den Bereich des Ackerbaus. Eingeteilt wurden die Indikatoren in die Bereiche Pflanzenschutzmittel Einsatz, Düngung, Bodennutzung und Bodenzustand, Arten und Biotopvielfalt sowie Landschaftsstrukturelemente. Auf die Nennung von Grenz- und Toleranzwerten wird verzichtet, da sie nur bei einem Teil der Indikatoren vorliegen und in der Literatur die Interpretation der Werte unterschiedlich diskutiert wird.

Ein Punkt, der beim Umgang mit Agrarumweltindikatoren beachtet werden muß, ist die Bezugseinheit. Hierbei bestehen zumindest zwei Wahlmöglichkeiten: Fläche (pro ha) oder Ertrag (pro dt) (vgl. PIORR und WERNER, 1999, S. 124). Der Flächenbezug findet die weitaus häufigste Verwendung. Sie kennzeichnet die Größenordnung einer Leistung und schafft Vergleichbarkeit. Der Produktmengenbezug schließt die Produktivität ein. Indikatoren werden oft zur Bewertung verschiedener Produktionssysteme (konventioneller, integrierter, ökologischer Anbau) verwendet. Bei der Beurteilung der Systeme muß man

besonders auf die Bezugseinheit achten. So wird der ökologischer Landbau, oft besser bewertet, wenn man die Indikatoren auf die Fläche bezieht. Bei einer produktmengenbezogenen Betrachtung schneidet aber oft der integrierte Anbau besser ab, da hier auch höhere Erträge erzielt werden (vgl. PIORR und WERNER 1998, S. 21).

Des weiteren wird von der OECD ein abgestimmtes Rahmenwerk von Indikatoren aufgebaut, daß als Basis für ein international anerkanntes Meßsystem zur Ermittlung von Umweltzuständen gelten soll (vgl. DIEPENBROCK et al., 1998, S. 8). Der OECD Indikatorenkatalog in Anhang 3 dargestellt.

Neben den einzelnen Agrarumweltindikatoren werden auch Indikatorensysteme zur Umweltberichterstattung gefordert. Ziele solcher Indikatorensysteme sind (UMWELTBUNDESAMT, 1997, S. 7):

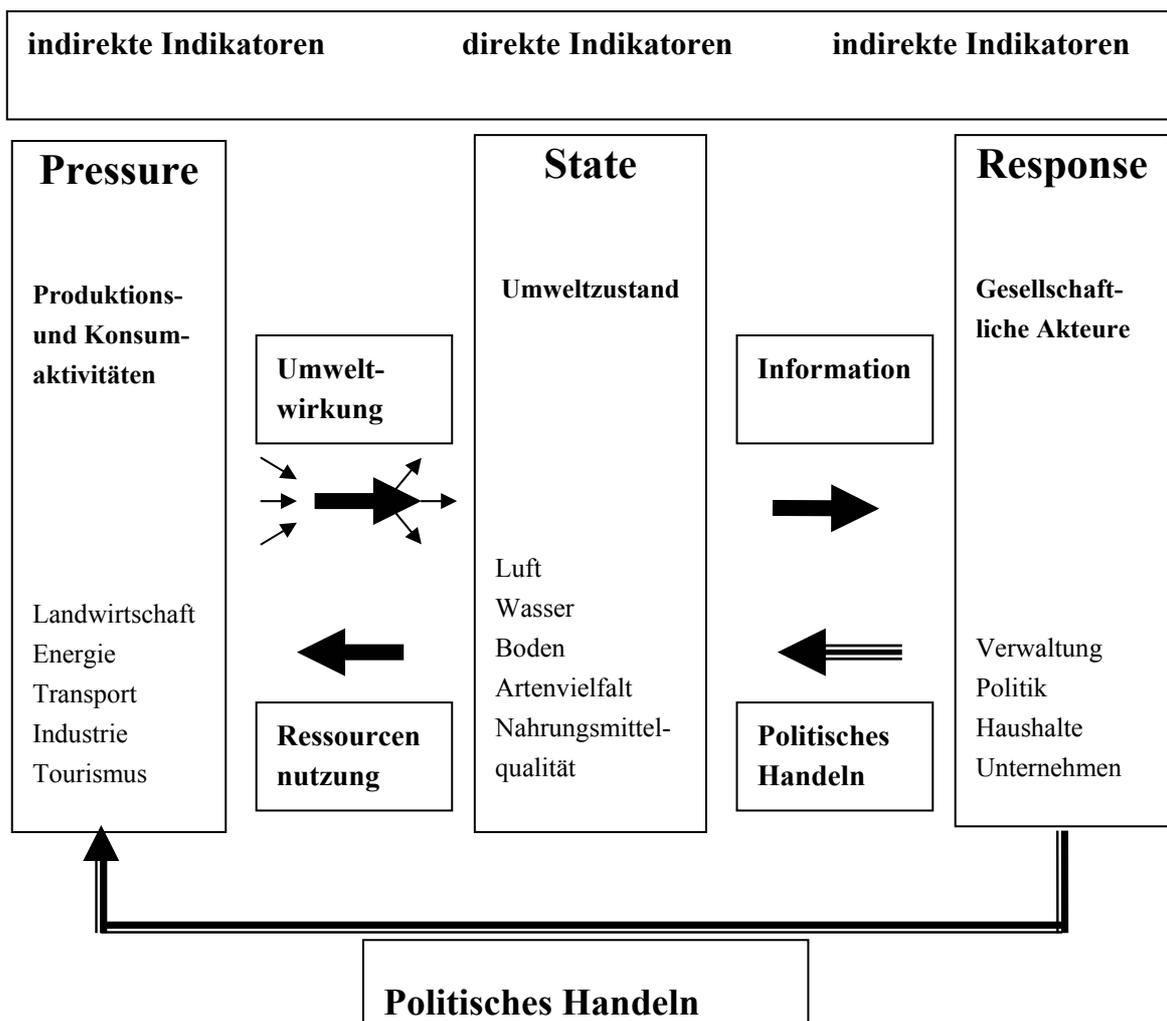
- Verbesserung der Information über den Umweltzustand,
- Verbesserung der Kommunikation über den Umweltzustand,
- Hilfsmittel für die Umweltpolitik.

Als Anforderung an die Indikatorensysteme werden die Einbettung in ökologische Zusammenhänge, Transparenz, Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, sowie nachvollziehbare Auswahlkriterien genannt (vgl. UMWELTBUNDESAMT, 1997, S. 9). In der internationalen Diskussion werden verschiedene Indikatorensysteme diskutiert. Die bekanntesten sind (UMWELTBUNDESAMT, 1997, S. 13):

- Streß-Ansatz,
- Pressure-State-Response-Ansatz (PSR),
- Akteur-Akzeptor-Ansatz,
- Quellen-Ausbreitung/Umwandlungs-Wirkungsansatz.

Von diesen hat sich der Pressure-State-Response-Ansatz der OECD (vgl. OECD, 1994, S. 11) am ehesten durchgesetzt. Dieser bildet auch die Grundlage eines Indikatorenrahmens für die Landwirtschaft in der EU (vgl. EU-KOMMISSION, 2000a, S. 15) und wird im folgendem näher erläutert. Übersicht 5 zeigt die Systematik des Ansatzes.

Die Pressure Indikatoren bilden die Umweltbelastung ab, die durch menschliche Aktivitäten verursacht werden. Hier stehen Produktions- und Konsumaktivitäten im Mittelpunkt. Die State Indikatoren stellen den Zustand der Umweltbelastung, die Umweltqualität dar. Die Response Indikatoren beschreiben die ergriffenen Maßnahmen und Strategien.

Übersicht 5: Pressure-State-Response-Modell

Quelle: Eigene Darstellung nach: OECD 1994, S. 11; MÜNCHHAUSEN und NIEBERG, 1997, S. 14

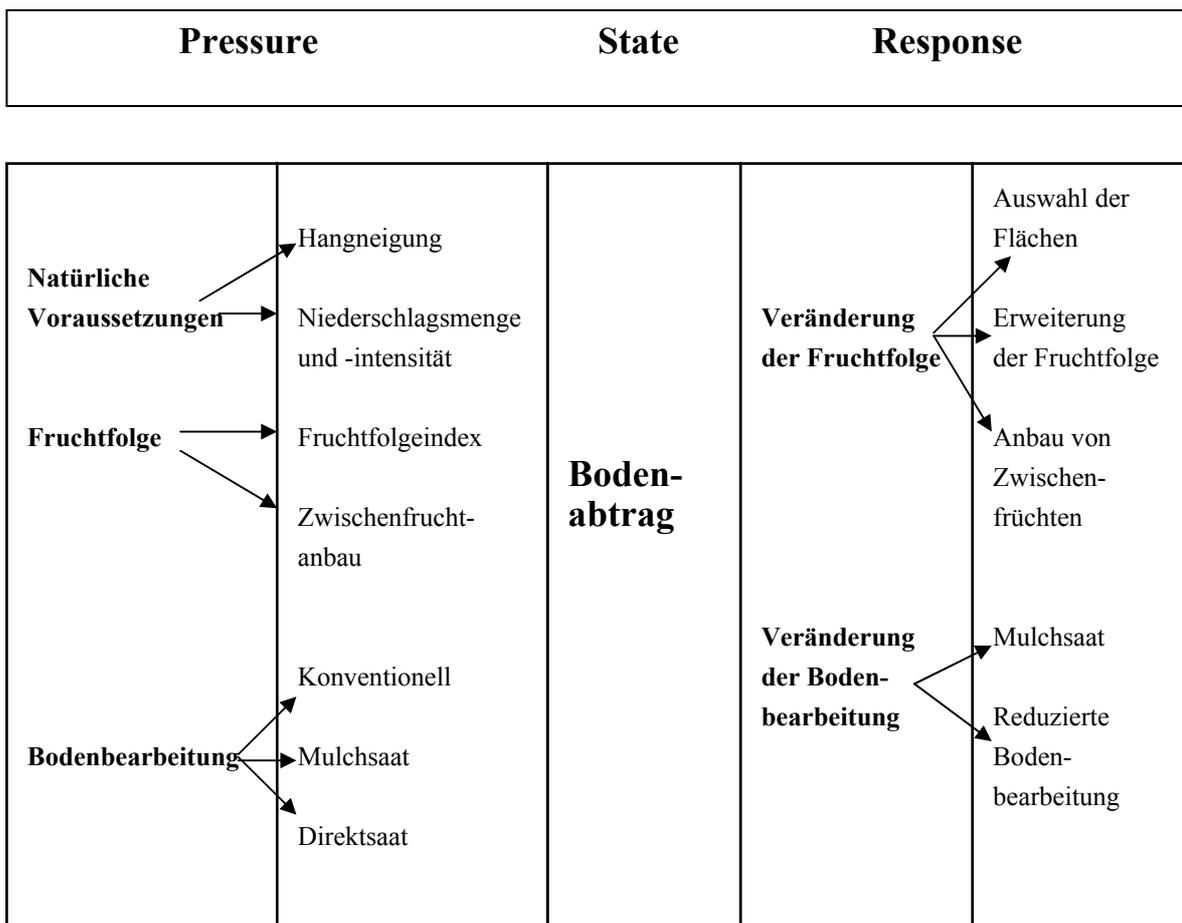
Schwierigkeiten bei der Interpretation des Ansatzes bildet die Frage, inwieweit kausale Zusammenhänge abgebildet werden können. Die OECD versucht zwar, „Pressure- State- und Response-Indikatoren in einen thematischen Zusammenhang zu stellen, der sich an einer ähnlichen Wirkung der Indikatoren orientiert, ohne daß der Anspruch erhoben wird, diese Wirkung kausal oder naturwissenschaftlich eindeutig ableiten zu können. Bei der Interpretation dieser Schwierigkeiten sollte allerdings beachtet werden, daß sie nicht auf den Pressure-State-Response-Ansatz zurückzuführen sind, sondern durch die Komplexität der vielfältigen Wirkungszusammenhänge verursacht werden“ (UMWELTBUNDESAMT, 1997, S. 15).

Mittlerweile wird anstelle des Begriffes „Pressure“- Indikator der Begriff „Driving Force“ verwendet, da dieser Begriff auch explizit die Messung positiver Umweltwirkungen zulässt (MÜNCHHAUSEN UND NIEBERG, 1997, S. 15).

Übersicht 6 zeigt das PSR-Modell am Beispiel der Bodenerosion. Parameter, die auf die Bodenerosion positiv oder negativ wirken sind die natürlichen Voraussetzungen, die

Fruchtfolge und die Bodenbearbeitung. Diese können durch die Pressure Indikatoren Hanglänge, Niederschlagsmenge und -intensität, Fruchtfolgeindex, Zwischenfruchtanbau und Art der Bodenbearbeitung dargestellt werden. Der State Indikator ist der aktuelle Bodenabtrag (gemessen in t/ha/Jahr). Als Reaktion darauf können die Landwirte ihre Fruchtfolge und ihre Bodenbearbeitung ändern. Als Response Indikatoren dienen hierfür die Auswahl der Flächen für bestimmte Kulturen (z.B. Mais nicht in Hanglagen anbauen), die Erweiterung der Fruchtfolge (Fruchtfolgeindex), der Anbau von Zwischenfrüchten, der Anteil von Mulchsaaten und der Anteil der reduzierten Bodenbearbeitung.

Übersicht 6: Pressure-State-Response-Modell am Beispiel der Bodenerosion



Quelle: Eigene Darstellung

4.1.3 Indikatoren zur Evaluierung

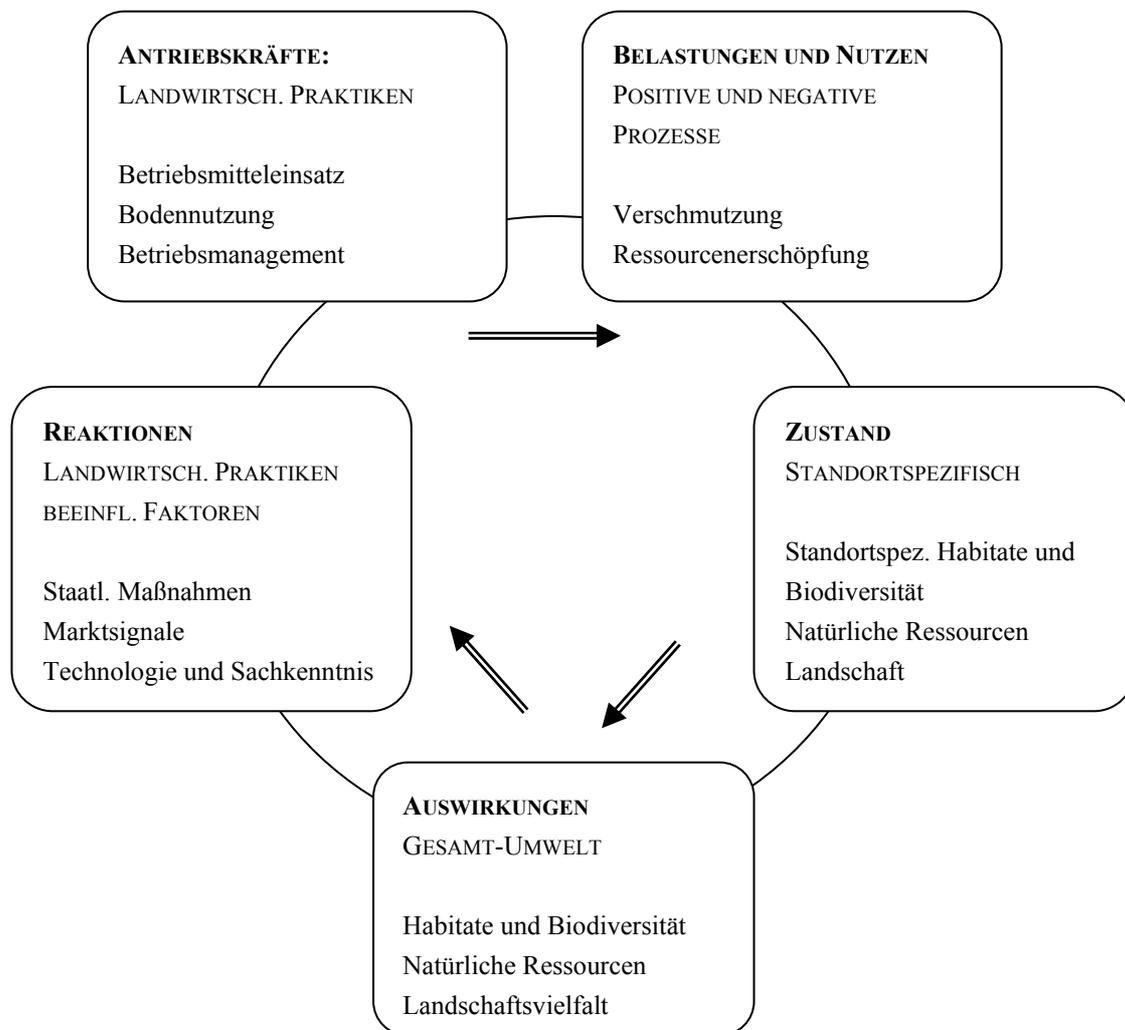
„Die Ausarbeitung geeigneter Agrarumweltindikatoren ist im Hinblick auf eine verstärkte Transparenz und Rechenschaftspflicht sowie eine erfolgreiche Begleitung, Kontrolle und Evaluierung besonders wichtig. Sie wird einen wichtigen Beitrag zum Gelingen der Umsetzung der politischen Konzepte und zum Gesamtevaluierungsprozess leisten“ (EU-KOMMISSION, 2000a, S. 2).

Mit Hilfe der Indikatoren soll ein besseres Verständnis der komplexen Zusammenhänge von Landwirtschaft und Umwelt gewonnen werden, die zeitliche Entwicklung aufgezeigt und quantitative Informationen geliefert werden (vgl. EU-KOMMISSION, 2000a, S. 11).

4.1.3.1 Indikatoren auf EU-Ebene

Die Grundlage des Indikatorrahmens der EU bildet neben dem PSR-Modell der OECD auch das DSPIR (Driving Force-Pressure-State-Impact-Response) Modell der Europäischen Umwelt Agentur. Beide sind vom Aufbau her ähnlich sind und haben eine gewisse Flexibilität hinsichtlich ihrer Anpassung an spezifische Sektoren. Das DSPIR Modell ist in Übersicht 7 dargestellt.

Übersicht 7: DPSIR-Modell der Europäischen Umwelt Agentur für die Landwirtschaft



Quelle: EU-KOMMISSION 2000a, S. 16

„Die Kommission wird Leitlinien festlegen und mit den Mitgliedstaaten geeignete Indikatoren für die Evaluierung der Wirksamkeit der Programme und Maßnahmen ausarbeiten, wobei der Schwerpunkt auf der Erfassung der Resultate und Auswirkungen dieser Politiken liegen wird“ (EU-KOMMISSION, 2000a, S. 17f).

Die Indikatoren müssen die politischen Akteure und Entscheidungsträger sowie die breite Öffentlichkeit in die Lage versetzen (vgl. EU-KOMMISSION, 2000a, S. 10f):

- Die wichtigsten Agrarumweltfragen zu ermitteln, die Europa heute betreffen,
- die Beziehungen zwischen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmethoden und ihren positiven und negativen Umweltauswirkungen zu verstehen, zu überwachen und zu evaluieren,
- zu beurteilen, inwieweit die agrarpolitische Maßnahmen der notwendigen Förderung einer umweltfreundlichen Landwirtschaft entsprechen und dies den Entscheidungsträgern und der breiten Öffentlichkeit zur Kenntnis gebracht wird,
- den standortspezifischen ökologischen Beitrag von Gemeinschaftsprogrammen zur nachhaltigen Landwirtschaft zu verfolgen und zu bewerten,
- die vielfältigen Agrarökosysteme in der Europäischen Union und in den Beitrittsländern abzubilden. Dies ist besonders wichtig, wenn es darum geht, den Handelspartnern der EU die Besonderheiten der landwirtschaftlich genutzten Umwelt in Europa verständlich zu machen.

Zur Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen werden von der EU-Kommission gemeinsame Bewertungsfragen sowie Kriterien und Indikatoren genannt (vgl. EU-KOMMISSION, 2000b, S. B-13ff). Als Indikatoren sind hier zumeist die Anteile (bzw. deren Veränderung) von Flächen, auf denen bestimmte Maßnahme durchgeführt werden, aufgeführt.

4.1.3.2 Indikatoren des nationalen Entwicklungsrahmen

Zur Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen wird in Deutschland von den Bundesländern ein einheitlicher Rahmen von geeigneten Indikatoren zu Grunde gelegt. Die in Tabelle 9 aufgeführten Indikatoren stellen eine gewisse Basis dar. In begründeten Fällen kann ein Indikator nicht oder weniger gut geeignet sein. Deshalb können Indikatoren weggelassen werden bzw. bessere Alternativen gewählt werden (vgl. BML, 2000, Anlage, Kapitel VI).

Als Datengrundlage für die Ermittlung der Indikatoren kommen sowohl Erhebungen im Feld (Stichproben) als auch bereits vorhandene Daten bzw. Statistiken in Frage.

Die einzelnen Indikatoren sind in Umweltwirkungsbereiche eingeteilt zu denen es jeweils übergeordnete Bewertungsfragen gibt (Vgl. BML, 2000, Anlage, Kapitel VI):

Tabelle 9: Indikatoren für die Evaluation der Agrarumweltmaßnahmen

Umweltwirkungs- bereich	Maßnahmen- bereich	Indikatoren	
		Erhebung im Feld (Stichprobe)	Ermittlung/Schätzung mit Hilfe vorhandener Daten/Schätzungen
Grund- und Trinkwasserschutz (N-Eintrag)	ÖL, AB, GL, DK	N-Bilanz (kg/ha) z.B. Hoftorbilanz, Flächenbilanz	N-Bilanz (kg/ha) regionale Flächenbilanz
Gewässer- sowie Bodenschutz (PSM-Anwendung)	AB, DK	Wirkstoffaufwand (kg/ha) differenziert nach Kulturen und Wirkstoffen	Pflanzenschutzmittel- aufwand je ha
Schutz der Oberflächengewässer (P-Eintrag)	AB	P-Saldo (kg/ha AF)	P-Saldo (kg/ha LF)
Bodenschutz	AB, ÖL, Randstreifen, DK	Flächen ohne bzw. mit unzureichender Bodenbe- deckung in % der AF bzw. Dauerkulturfläche (über Winter) Anteil der LN mit Rand- streifen und Hecken in erosionsgefährdeten Lagen Anteil der Reihenkulturen mit Mulchsaat etc. Zwischenfruchtanbau in % der AF	Anbau mit Früchten mit hohem Deckungsgrad in % der AF
Arten und Biotopvielfalt, Habitatschutz	GL, AB, ÖL, DK, Randstreifen, Natsch.	Flächenmäßige Entwicklung von Biotop- typen (-gruppen) Bestandsentwicklung von charakteristischen und/oder gefährdeten Pflanzen und Tieren	
Landschaftsschutz, ästhetische Ressourcen	GL, AB, ÖL, DK, Randstreifen, Natsch.	u.a. Grünland-Anteil, Wald-Anteil, Anteil Hecken, Strukturelemente, Vernetzung etc.	

AB: Maßnahmen im Bereich Ackerbau; **GL:** Maßnahmen im Bereich Grünland; **DK:** Maßnahmen im Bereich Dauerkulturen; **ÖL:** Ökologischer Landbau; **Randstreifen:** Maßnahme „10 jährige Flächenstilllegung“ und Randstreifenprogramme; **Natsch.:** speziell auf Naturschutz und Landschaftspflege abzielende Maßnahmen

Quelle: Eigene Darstellung nach BML, 2000, Anlage, Kapitel VI

Grund und Trinkwasserschutz (N-Eintrag)

Hier werden die Fragen gestellt in welchem Umfang der Stickstoffeintrag in die Gewässer reduziert wurde und wie sich die Stickstoffbilanzen entwickelt haben. Durch den Indikator „Nitratgehalt des Grundwassers“ kann man zwar die aktuelle Belastungssituation am besten feststellen, er ist aber zur Evaluierung der Agrarumweltprogramme nicht geeignet, da er noch von vielen anderen Faktoren beeinflusst wird. Als Indikator kommt deshalb die N-Bilanz in Frage. Sie kann als Flächen- Hof- oder regionale Flächenbilanz ausgewiesen werden. Der Indikator kann auch mit dem Modellsystem RAUMIS ermittelt werden.

Gewässer- sowie Bodenschutz (PSM-Anwendung)

Hier wird gefragt, ob eine Kontamination der Gewässer mit Wirkstoffen aus Pflanzenschutzmitteln und deren Metaboliten verhindert bzw. reduziert werden konnte und wie sich der Pflanzenschutzmittelaufwand entwickelt hat. Der Indikator „mg PSM-Wirkstoff je l Grundwasser“ ist zwar dafür geeignet, die aktuelle Belastungssituation festzustellen, jedoch hängt auch er von vielen anderen Faktoren ab, und dient damit nicht als Indikator zur Evaluierung der Agrarumweltprogramme. Hierfür kann der Pflanzenschutzmittelaufwand je Hektar, als monetäre Größe oder mit Hilfe der Wirkstoffmenge herangezogen werden.

Schutz der Oberflächengewässer (P-Eintrag)

Die übergeordneten Fragen sind hier, ob der Eintrag von gewässerbelastenden Stoffen verringert werden konnte und wie sich das Gefährdungspotential des P-Eintrags und die P-Bilanz entwickelt hat. Auch hier kann man die aktuelle Belastungssituation am besten durch den Gehalt des gewässerbelastenden Stoff (Phosphat) im Gewässer beschreiben, jedoch ist diese Größe wieder von vielen anderen Parametern abhängig und deshalb als Indikator zur Evaluierung nicht geeignet. Deshalb wird auch hier wieder auf den Bilanz Saldo (P-Bilanz) zurück gegriffen.

Bodenschutz

Die Fragen, in welchem Umfang zur Erhaltung und Entwicklung der Bodenfunktion beigetragen wurde und welcher Beitrag zur Verringerung der Bodenerosion geleistet wurden, stehen hier im Vordergrund. Die Funktion des Bodens sind viel zu vielfältig, als daß man sie mit einem Indikator beschreiben könnte. Die Wirkung der Agrarumweltprogramme in Bezug auf den Boden wird deshalb hinsichtlich des Aspektes Bodenerosion untersucht. Als Indikatoren dienen hierzu der Anteil der Anwendung von Maßnahmen, die der Erosion entgegen wirken.

Arten- und Biotopvielfalt, Habitatschutz

Hier wird die Frage gestellt, welche Auswirkungen die Maßnahmen auf die Arten- und Biotopvielfalt haben. Als Indikator kommt hier die flächenmäßige Entwicklung der Biotoptypen bzw. -gruppen in Frage. Bei spezifischen Länderprogrammen kann auch die Bestandsentwicklung von charakteristischen und gefährdeten Pflanzen- und Tierarten als Indikator herangezogen werden. Hier muß nach Standorten differenziert werden. Die Evaluation erfolgt ggf. nur an speziell ausgewählten Standorten.

Landschaftsschutz, ästhetische Ressourcen

Bei diesem Umweltwirkungsbereich wird gefragt, in welchem Umfang zum Kulturlandschaftserhalt und zur Landschaftspflege beigetragen wurde. Die Bewertung der Landschaft ist im hohen Maße von subjektiven Einschätzungen abhängig. Die Bewertung kann deshalb nur landschaftsspezifisch für ausgewählte Regionen erfolgen. Als Indikatoren hierfür dienen die Entwicklung der Anteile von Landschaftselementen, von Grünland und von Wald.

4.1.3.3 Indikatoren nach Tremel

TREMEL (2000) führte eine Expertenbefragung zum Thema Beurteilung von Agrarumweltindikatoren unter 162 Personen durch. Dabei handelte es sich um Wissenschaftler von Universitäten, Bundes- und Landesforschungsanstalten oder sonstiger Forschungseinrichtungen. Bei der Befragung wurden insgesamt 68 Umweltindikatoren zur Diskussion gestellt (vgl. TREMEL, 2000, S. 138).

Als Auswahlkriterium für die Eignung der Indikatoren wurde herangezogen, daß mehr als 75 % der Experten die Indikatoren für „bedingt geeignet“ oder besser halten. Ein Indikator wurde abgelehnt, sobald ihn mindestens 25 % der Befragten als ungeeignet einstufen (vgl. TREMEL, 2000, S. 139).

Tabelle 10 zeigt die von den Experten akzeptierten Umweltindikatoren für den Bereich Ackerbau und den jeweils erforderlichen Aufwand für die Erhebung, die externe Kontrolle und die Optimierung der Werte.

Tabelle 10: Agrarumweltindikatoren nach Tremel (2000) sowie erforderlicher Aufwand

Indikatoren	Aufwand ¹⁾		
	Erhebung	externe Kontrolle	Optimierung
Themenbereich Bodennutzung			
1. Anzahl der Fruchtfolgefelder	*	*	***
2. Flächenanteile der Fruchtarten (in % der Ackerfläche)	*	*	***
3. Kulturartendiversität (Shannon-Index)	*	*	***
4. Grünlanddiversität (Shannon-Index)	**	**	***
Themenbereich Bodenzustand			
1. Anteil der Reihenfrüchte an der Ackerfläche (in % der Ackerfläche)	*	*	***
2. Flächenanteil der Reihenfrüchte, auf dem Erosionsschutzmaßnahmen durchgeführt werden	*	**	**
3. Durchschnittliche Dauer der Zwischenbrache je ha Ackerfläche	*	**	**
4. Anteil der unbegrünten Ackerfläche während Herbst- und Wintermonaten (in % der AF)	*	**	**

Fortsetzung Tabelle 10

Indikatoren	Aufwand ¹⁾		
	Erhebung	externe Kontrolle	Optimierung
5. Bodenerosion (t/ha·a)	**	**	**
6. Bodenverdichtung	***	*	**
7. pH-Wert	**	*	**
8. Humusgehalt des Ackerbodens (in %)	***	*	**
9. Humussaldo der Ackerfläche (dt/ha·a)	*	*	**
Themenbereich Energieeinsatz/CO₂			
1. Energieeinsatz	***	***	**
2. Energieeffizienz (Energieertrag/Energieaufwand)	***	***	**
3. CO ₂ -Emissionen	***	***	**
Themenbereich Landschaftsstrukturelemente			
1. Verteilungsdichte von Feldrainen mit mehr als 2 m Breite (m ² /ha Betriebsfläche)	*	*	***
2. Verteilungsdichte von Hecken (m ² / ha Betriebsfläche)	*	*	***
3. Verteilungsdichte von Feldgehölzen, Baumgruppen und Gebüsch (m ² /ha Betriebsfläche)	*	*	***
4. Flächenanteil der Landschaftsstrukturelemente (in % der BF)	*	*	***
5. Anteil extensiver Grünlandflächen am Grünland insgesamt (in %)	*	**	***
Themenbereich Düngung			
1. N-Saldo (kg/ha·a) - schlagbezogen	**	**	*
2. N-Saldo (kg/ha·a) - Hoftorbilanz	*	*	*
3. N _{Min} vor Winter (kg/ha)	***	*	*
4. P-Saldo (kg/ha·a) - schlagbezogen	**	**	*
5. P-Gehalt des Bodens	*	*	*
6. S-Saldo (kg/ha·a) - schlagbezogen	**	**	*
Themenbereich Pflanzenschutzmitteleinsatz			
1. Flächenanteil der pflanzenschutzextensiven Früchte (in % der AF)	*	*	***
2. Anteil der landwirtschaftlich genutzten Fläche, der nicht mit chem. Pflanzenschutzmitteln behandelt wurde (in % der LF)	*	***	**
3. Anteil der Behandlungen mit nützlingsschonenden Mitteln an allen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen (in % der insgesamt behandelten Fläche)	**	**	**
4. Umfang der Berücksichtigung von Schadenswellen (in % der Fläche, für die Schadenswellen möglich sind)	**	***	**
5. Aufwand an Pflanzenschutzmittel (kg Wirkstoff/ha AF)	**	**	**
6. Exposure of environment of pesticides (EEP)	***	**	**

¹⁾ * Geringer Aufwand ** mittlerer Aufwand *** hoher Aufwand

Quelle: Eigene Darstellung nach TREMEL, 2000, S. 174f

Der Aufwand für Erhebung umfasst sowohl den Zeitaufwand für die Erfassung der Daten aus betrieblichen Aufzeichnungen (z.B. Stoffsalden) als auch die Kosten für Laboruntersuchungen (z.B. N_{Min} -Gehalt). Die Kontrolle der gemachten Angaben bezieht sich auf die behördliche Überprüfung und auf die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Kennzahlen. Die Optimierung ist als Reaktion auf erkannte Schwachstellen durch Änderung in der Produktionstechnik, Neuinvestitionen und zeitlichen Mehraufwand zu verstehen (vgl. TREMEL, 2000, S. 177).

4.1.3.4 Indikatoren im USL

Das Umweltsicherungssystem Landwirtschaft (USL) des VDLUFA ist ein Verfahren zur Umweltverträglichkeitsprüfung von Landwirtschaftsbetrieben. Es bedient sich hierzu der „Kriterien Umweltverträgliche Landbewirtschaftung“ (KUL), die von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft entworfen wurden. Das USL besteht aus Indikatoren und dazugehörigen Toleranzbereichen. Ziel der Bewertung nach dem Verfahren ist ein „dauerhafter Erhalt von Produktionsfunktionen, ohne dabei die sonstigen Funktionen des Agrarökosystems oder angrenzender Ökosysteme schwerwiegend zu beeinträchtigen“ (ECKERT et al, 1999, S. 59).

Tabelle 11 zeigt die Kriterien, sowie deren Toleranzbereiche des KUL. Kritisch ist hierbei zu bemerken, daß die Auswahl der Kriterien und die Festlegung der zugehörigen Toleranzbereiche wenig transparent ist und teilweise auch innerhalb der VDLUFA kontrovers diskutiert wird (vgl. TREMEL, 2000, S. 48).

4.1.3.5 Indikatoren im Modell

Zur Auswahl der im Modell verwendeten Agrarumweltindikatoren zur Bewertung der Umweltauswirkungen im Bereich Ackerbau wurden folgende Kriterien herangezogen:

- *Einhaltung der administrativen Vorgaben:* Die von der EU, dem Bund bzw. den Bundesländern erlassenen Vorschriften und vorgeschlagenen Indikatoren sollen in den verwendeten Parametern wieder gefunden werden. Daher wurden die im nationalen Evaluationsrahmen vorgeschlagenen Indikatoren (vgl. Kapitel 4.1.3.2), die den Bereich Ackerbau betreffen, weitgehend übernommen.
- *Wissenschaftliche Absicherung:* Die verwendeten Indikatoren sollen die in Kapitel 4.1.2 erwähnten Anforderungen erfüllen und bereits Anwendung in der Literatur gefunden haben.
- *Praktikabilität bei der Erhebung:* Ein wichtiger Punkt ist der Aufwand, der zur Erhebung der Indikatoren nötig ist. Alle Größen, die für die Bestimmung des Indikators benötigt werden, sollten aus betrieblichen Aufzeichnungen (z.B. Schlagkartei) ableitbar sein.
- *Abdeckung aller Umweltwirkungsbereiche:* Die verwendeten Indikatoren sollten die durch den Ackerbau beeinflussten Umweltwirkungsbereiche möglichst vollständig abdecken.

Tabelle 11: Kriterien, Toleranzbereiche und Korrekturfaktoren des KUL

Kategorie/Kriterium	Dimension	Toleranzbereich	standortspezifische Zu- oder Abschläge in Abhängigkeit von...
Nährstoffhaushalt			
N-Saldo	kg N/ha·a	-50...+50	Sickerwassermenge
NH ₃ -Emmission (Tier)	kg N/ha·a	< 50	
P-Saldo	kg P/ha·a	-15...+15	Gehaltsklasse, Erosionsdisposition
K- Saldo	kg K/ha·a	-50...+50	Gehaltsklasse
Gehaltsklasse P (VDLUFA)	A - E	B...D	
Gehaltsklasse K (VDLUFA)	A - E	B...D	
Gehaltsklasse Mg (VDLUFA)	A - E	B...D	
Boden-pH-Stufe (VDLUFA)	A - E	C...D	
Humussaldo	t ROS/ha·a ¹⁾	Zukauf organischer Substanz
Bodenschutz			
Erosionsdisposition	t/ha·a	< AZ/8 ²⁾	
Verdichtungsgefährdung	P _T /P _B ³⁾	< 1,25	
Median Feldgröße	ha	< 40	Naturraum
Pflanzenschutz			
Integrierter Pflanzenschutz	Punkte	10...17	
PSM-Intensität	€/ha·a	< 120 % ⁴⁾	Ackerflächen-Verhältnis
Landschafts- und Artenvielfalt			
Anteil ÖLV ⁵⁾	%	> 7	Naturraum
Kulturartendiversität	Index	> 1,25	Median Feldgröße
Energiebilanz			
Energieinput (Betrieb)	GJ/ha·a	< 15	Grünlandanteil, Tierbesatz
Energiegewinn (Betrieb)	GJ/ha·a	> 50	Tierbesatz
Energieinput (Pflanzenbau)	GJ/ha·a	<15	Grünlandanteil
Energiegewinn (Pflanzenbau)	GJ/ha·a	> 50	
Energieinput (Tierhaltung)	GJ/ha·a	< 25	Grünlandanteil
Energiegewinn (Tierhaltung)	GJ/ha·a	> -10	Mutterkuhanteil

¹⁾ ROS = reproduktionswirksame organische Substanz

²⁾ AZ = Ackerzahl

³⁾ P_T/P_B = Druckbelastung/Druckbelastbarkeit

⁴⁾ des regionalen Richtwertes

⁵⁾ ÖLV = Ökologisch-landeskulturelle Vorrangflächen

Quelle: Eigene Darstellung nach VDLUFA, 1998, S. 2; VDLUFA, 2003

Die Indikatoren werden, soweit dies sinnvoll ist, neben der Bezugseinheit Fläche (je Hektar) auch auf die Bezugseinheit Produktion (Ertrag) bezogen. Eine explizite Angabe zu Toleranzbereichen, Grenzwerten und Optimalwerten zu den einzelnen Indikatoren erfolgt nicht. Wenn in der Literatur Grenzwerte zu bestimmten Parametern genannt werden, so werden sie hier nur als Anhaltspunkte verwendet. Auch eine Aggregation der einzelnen Größen zu einem Gesamtindikator erfolgt nicht, um die Wichtigkeit und Unabhängigkeit der einzelnen Umweltwirkungsgebiete herauszustellen.

In Tabelle 12 sind die im Modell verwendeten Agrarumweltindikatoren sowie die zugehörigen Umweltwirkungsbereiche dargestellt.

Tabelle 12: Verwendete Indikatoren und Umweltwirkungsbereiche

Umweltwirkungsbereich	Indikator	Einheit
Schutz von Grund- und Oberflächengewässer	- monetärer Pflanzenschutzmittelaufwand - N-Flächenbilanz - P-Flächenbilanz - K-Flächenbilanz - Pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser	€/ha und €/dt kg/ha und kg/dt kg/ha und kg/dt kg/ha und kg/dt mg/l und mg/l·dt
Bodenschutz	- Pot. Bodenabtrag - Anteil von Zwischenfrüchten	dt/ha und dt/dt %
Arten- und Biotopvielfalt	- Kulturpflanzendiversität - Anteil von Landschaftstrukturelementen	Index %

Quelle: Eigene Darstellung

Im folgenden werden die einzelnen Indikatoren beschrieben und ihre Herleitung aufgezeigt:

Monetärer Pflanzenschutzmittelaufwand

Der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand beinhaltet den finanziellen Aufwand für die eingesetzten Pflanzenschutzmittel in der Regel je Hektar. Dieser ist einfach zu erheben und wird oft in der Literatur verwendet. Kritisch an dem Indikator anzumerken ist, daß er abhängig von den Preisen der einzelnen Mittel ist und daher nicht unmittelbar ein Rückschluss auf die eingesetzte Menge möglich ist. Hier wäre der Indikator „Wirkstoffaufwand an Pflanzenschutzmittel“ besser. Dieser kann durch Angabe von Mittelname und eingesetzter Menge, sowie Kenntnis der Wirkstoffe in den einzelnen Mitteln und deren Konzentration bestimmt werden. Dies ist aber im Verhältnis zur Erfassung des monetären Aufwandes sehr aufwendig. Auch beim Indikator Wirkstoffaufwand können durch Veränderungen bei der Zusammensetzung und Konzentration der einzelnen Wirkstoffe Verzerrungen auftreten (vgl. SCHANZENBÄCHER, 1995, S. 29). Außerdem reicht für die vorliegende Problemstellung der monetäre Aufwand aus, da sich die Agrarumweltmaßnahmen auf den Verzicht ganzer Mittelgruppen (z.B. Wachstumsregler, Herbizide) beziehen und bei den Modellbetrieben davon ausgegangen wird, daß sich die Preise für Produkte und Betriebsmittel nicht ändern. Somit kann durch eine Reduktion des monetären Aufwandes auf eine Reduktion des Wirkstoffaufwandes geschlossen werden.

Eine direkte Risikobewertung der eingesetzten Pflanzenschutzmittel auf die einzelnen Umweltmedien Boden, Wasser und Luft wird nicht durchgeführt. Hierzu existieren z.T. eigenständige Modelle, die allerdings sehr zeitaufwendig sind. So schätzt z.B. das Modell *SYNOPS* der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) das Potential von Pflanzenschutzstrategien auf die Umwelt in einer Region und vergleicht

verschiedene Strategien mit unterschiedlichen Mitteln (vgl. GUTSCHE und ROSSBERG, 1999).

Unter den oben getroffene Annahmen kann jedoch von der Änderung des monetären Aufwandes auf eine Veränderung der Gefährdung der Umwelt, die durch Pflanzenschutzmittel ausgeht, geschlossen werden.

N-, P- und K-Bilanz

Die Stoffbilanzen werden im Modell als Flächenbilanzen angegeben, da in dieser Arbeit nur der Bereich Ackerbau betrachtet wird und somit auch eine direkte Zuordnung zu den Produktionsverfahren möglich ist.

Die Nährstoffbilanzierung ist die Gegenüberstellung der Zufuhren und der Abfuhren der einzelnen Nährstoffe (vgl. FINCK, 1992, S. 291), wie es in Übersicht 8 dargestellt ist.

Übersicht 8: Schema zur Berechnung der N-Bilanz

N-Zufuhr	N-Abfuhr
<ul style="list-style-type: none"> • Mineralische Düngung • Organische Düngung • Stickstofffixierung bei Leguminosen • Immissionen 	<ul style="list-style-type: none"> • Entzug durch Erntegut • Entzug durch Erntereste • gasförmige Verluste • Denitrifikation
Saldo Zufuhr	Saldo Abfuhr

Quelle: Eigene Darstellung nach KILIAN, 2000, S. 53; DABBERT ET AL. 1999, S. 60f

Die eingesetzten mineralischen und organischen Düngemittel sowie der erzielte Ertrag (zur Berechnung des Entzugs) können aus den Betriebsdaten übernommen werden. Für die N-Gehalte der Produkte und die Stickstofffixierung der Leguminosen werden Faustzahlen aus der Literatur verwendet (vgl. LPP, 1998, LK RHEINLAND, 1995). Die Immissionen (Einträge aus der Atmosphäre) können mit den gasförmigen Verluste und der Denitrifikation gleichgesetzt werden (vgl DABBERT ET AL., 1999, S. 61), so daß diese Größen nicht in der Berechnung berücksichtigt werden müssen.

Wichtig beim Vergleich verschiedener Auswertungen zu N-Bilanzen bzw. zu Indikatoren überhaupt, ist daß die Berechnungsgrundlage klar definiert wird. So wird teilweise bei der Berechnung der Bilanz die Immissionen mit berücksichtigt (vgl. KILIAN, 2000, S. 82, FREDE und DABBERT, 1998, S. 51), was zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Dies muß bei der Interpretation der Ergebnissen beachtet werden.

Beim N-Saldo wird in der Literatur oft ein Grenzwert angegeben. Er soll generell nicht einen Wert von 50 kg/ha überschreiten (vgl. TREMEL, 2000, S. 156). Der Wert wird aber hier nur als Anhaltspunkt verwendet, da der Wert bei reinen Ackerbaubetrieben in der Regel deutlich niedriger liegt als zum Beispiel bei Veredlungsbetrieben, also stark abhängig von der Betriebsform ist.

Aus der N-Bilanz können Rückschlüsse auf die Belastung des Grundwassers mit Nitrat gezogen werden. Aus den K- und P-Bilanzen kann auf die Belastung des Oberflächen-

gewässers mit diesen Nährstoffen geschlossen werden. Die Salden dieser Elemente werden analog zur N-Bilanz ermittelt.

Potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser

Die Nitratkonzentration im Sicker- bzw. Grundwasser stellt einen direkten Indikator zur Quantifizierung der Belastung dar. Um ihn anzugeben, müsste der Nitratgehalt mit Hilfe von Messstellen gemessen werden. Rückschlüsse auf die Belastung mit Nitrat kann man durch Berechnungen der potentiellen Nitratkonzentration ziehen. Dieser berechnet sich nach folgender Formel (vgl. FREDE und DABBERT, 1998, S. 52):

$$NO_3 = ((N_{Bilanz} \cdot AF / SW) \cdot 4,43 \cdot 100)$$

mit: NO_3 = Pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser (mg/l)
 N_{Bilanz} = N-Flächenbilanz (kg/ha·a)
 AF = Austauschfaktor (Relativwert)
 SW = Sickerwasser (mm bzw. l/m²)
 4,43 = Umrechnungsfaktor von Stickstoff zu Nitrat

Die Herleitung der einzelnen Größen ist in Anhang 4 dargestellt. Die zur Ermittlung benötigten Daten können aus betrieblichen Aufzeichnungen entnommen werden.

Die ermittelten pot. Nitratkonzentrationen können in Gefährdungsklassen eingeteilt werden, wie Tabelle 13 zeigt.

Tabelle 13: Bewertung der Gewässergefährdung anhand der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

Gefährdungsklasse	Nitrat im Sickerwasser in mg/l
sehr gering	< 15
gering	15 - < 25
mittel	25 - < 35
hoch	35 - < 50
sehr hoch	> 50

Quelle: : FREDE und DABBERT, 1998, S. 57

Potentieller Bodenabtrag

Die Ermittlung des potentiellen Bodenabtrag erfolgt mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung ABAG (vgl. SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 9). Sie lautet:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

mit: A = Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha
 R = Regen und Oberflächenabflussfaktor
 K = Bodenerodierbarkeitsfaktor
 L = Hanglängenfaktor
 S = Hangneigungsfaktor

C = Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

Die Herleitung der einzelnen Größen wird in Kapitel 5.2.3.2 beschrieben. Der so ermittelte Wert stellt den langjährigen mittleren Bodenabtrag in einer Fruchtfolge in einem Jahr dar. Der tatsächliche Abtrag unterliegt dagegen witterungsbedingten Schwankungen (vgl. KILIAN, 2000, S. 63 f).

Auch hier kann ein Standortspezifischer Grenzwert bestimmt werden, der als Anhaltspunkt für eine Gefährdung herangezogen werden kann. Die Toleranzgrenze kann durch folgende Beziehung ermittelt werden (vgl. SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 12):

$$A_{tol} = AZ \text{ bzw. } GZ / 8$$

mit A_{tol} = tolerierbarer Bodenabtrag in t/ha·a
 AZ = Ackerzahl
 GZ = Grünlandzahl

Anteil von Zwischenfrüchten

Der Anteil von Zwischenfrüchten ist ein indirekter Indikator für den Bereich Bodenerosion. Ein erhöhter Anteil von Zwischenfrüchten bedeutet eine höhere Bodenbedeckung bzw. eine verringerte Schwarzbrache und damit weniger Bodenerosion. Der Indikator berechnet sich aus der Flächenanteil der Zwischenfrüchte bezogen auf die gesamte Ackerfläche. Der Vorteil dieses Indikators ist, daß er sehr einfach zu bestimmen und zu überprüfen ist.

Kulturpflanzendiversität

Allgemein ist die Diversität ein Sammelbegriff für sehr unterschiedliche Sachverhalte. So charakterisiert die innere, vertikale oder biologische Diversität die Vielgestaltigkeit innerhalb eines Ökosystems, die äußere, horizontale oder landschaftsökologische Diversität beschreibt die Mannigfaltigkeit des Ökosystem-Mosaiks (vgl. BASTIAN und SCHREIBER, 1994, S. 282). In die Diversität eines Ökosystems gehen die Zahlen der Arten und ihre relative Häufigkeit ein (vgl. REMMERT, 1989, S. 203). Als Maß für die Mannigfaltigkeit der angebauten Kulturarten dient der Diversitätsindex nach Shannon-Weaver, der die Anzahl der Fruchtarten und deren Abundanz bewertet und aus dem betrieblichen Ackerflächen-Verhältnis berechnet werden kann (vgl. UMWELTBUNDESAMT, 2000, S. 57).

Der dimensionslose Index der Kulturpflanzendiversität läßt sich nach folgender Formel berechnen (vgl. REMMERT, 1989, S. 206):

$$H_s = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

mit: H_s = Mannigfaltigkeit
 S = Anzahl der in der Gruppe vorhandenen Arten
 p_i = die relative Häufigkeit (Abundanz) der i-ten Art
 $\ln p_i$ = der natürliche Logarithmus von p_i
 Das Minuszeichen wurde hinzugefügt, damit H positiv wird

Als Arten gehen in diesen Index nur die Kulturpflanzen inklusive der Flächenstilllegung ein.

Anteil von Landschaftsstrukturelemente

Der Anteil von Landschaftsstrukturelementen ist ein Indikator zum Bereich Arten- und Biotopvielfalt. Er beschreibt z.B. den Anteil von z. B. Hecken, Gebüsch, Feldrain, Öd- und Unland etc. an der gesamten Betriebsfläche (vgl. TREMEL, 2000, S. 154). Der Indikator ist relativ einfach aus betrieblichen Daten ableitbar.

4.2 Ökonomische Bewertung

Ziel der ökonomischen Bewertung ist es, Aussagen über die Auswirkungen der Agrarumweltmaßnahmen auf das Einkommen und die Änderungen der Einkommensvariabilität der teilnehmenden Betriebe zu treffen.

4.2.1 Bewertungsansätze

Zur ökonomischen Bewertung verschiedener Bewirtschaftungsformen gibt es wie bei der ökologischen Bewertung verschiedene Methoden. Analytische Modelle wie z.B. die Lineare Optimierung ermitteln eine optimale Lösung. Dagegen berechnen Simulationsmodelle alternative mögliche Einzelfälle eines Entscheidungsmodells (vgl. GOOS, 2000, S. 188).

Grundlage für die Bewertung bei beiden Methoden liefern ökonomische Kennzahlen. Übersicht 9 zeigt ausgewählte Kennzahlen zur Betriebsanalyse in der Landwirtschaft. Ermitteln kann man die Kennzahlen u.a. mit Hilfe der Kostenrechnung¹. Hier kann man verschiedene Teilbereiche unterscheiden (vgl. KILGER, 1987, S. 8):

- Ein- und Auszahlungsrechnung,
- Beschaffungswert- und Erlösrechnung (Einnahmen-/Ausgabenrechnung),
- Aufwands- und Ertragsrechnung,
- Kosten- und Leistungsrechnung.

Für den Vergleich verschiedener Produktionsweisen in der Landwirtschaft bietet sich die Kosten-Leistungsrechnung an, da hier mit objektbezogenen Größen gearbeitet wird, d.h. die durch bestimmte Auflagen bedingte Veränderungen einzelner Größen können bei dieser Betrachtung berücksichtigt werden.

¹ Zur detaillierten Abgrenzung innerhalb der Kostenrechnung siehe TRENKEL, 1999, S. 4-86

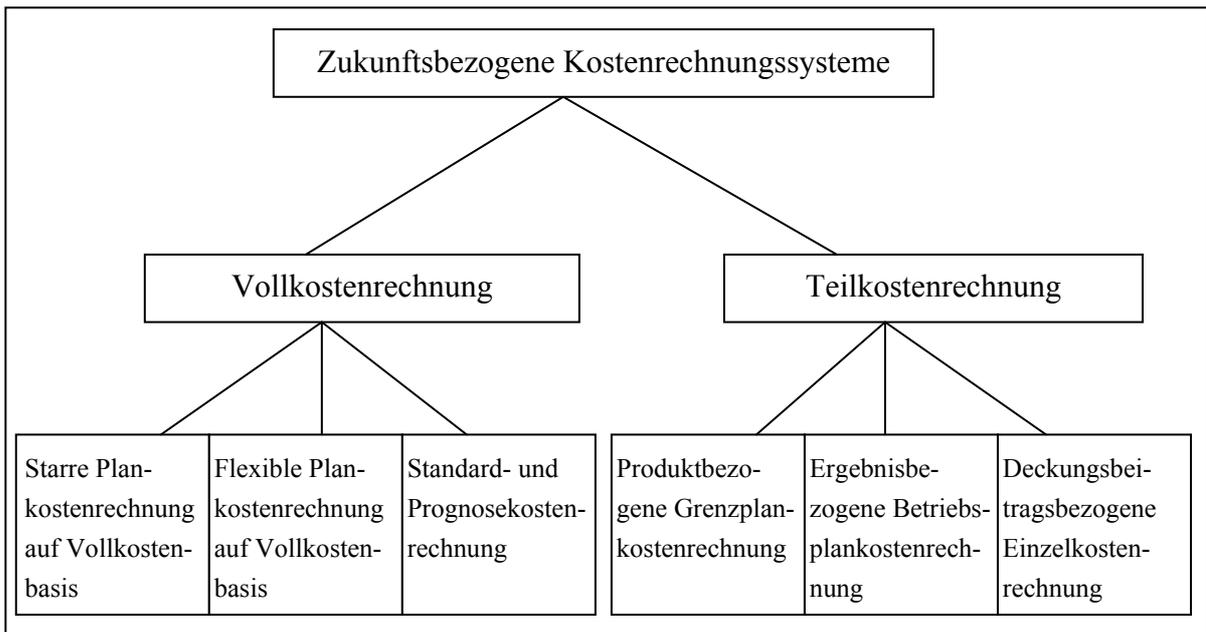
Übersicht 9: Kennzahlen zur Betriebsanalyse in der Landwirtschaft

Bereich	Produktionsverfahren	Betrieb
Erfolg	Stückgewinn Deckungsbeitrag Gesamtdeckungsbeitrag	Gewinn
Rentabilität	Kapitalrentabilität (Gewinn / eingesetztes Kapital) Umsatzrentabilität (Gewinn / Umsatz) Kapitalumschlag (Umsatz / eingesetztes Kapital)	Betriebsrentabilität
Stabilität	Gewinnrate (Gewinn / Umsatz) Kostenstruktur (Anteil einzelner Kosten an den Gesamtkosten) Produktionsrisiko (Ertragsschwankungen) Anlageintensität (abnutzbares Anlagevermögen/Gesamtkapital)	
Liquidität	Kapitalumschlag (Umsatz / eingesetztes Kapital) Faktor-Produktintensität (Kosten / Leistungen)	
Produktivität	Stück-/Flächenproduktivität (Deckungsbeitrag, Leistungen, Umsatz / Fläche, Stück, Betrieb) Arbeitsproduktivität (Deckungsbeitrag, Leistungen, Umsatz / Akh, AK) Kapitalproduktivität (Deckungsbeitrag, Leistungen, Umsatz / Kapital)	Betriebsproduktivität
Intensität	Faktor-Produktintensität (Kosten / Leistungen) Faktor-Faktorintensität (monetärer Faktoraufwand / Faktoreinsatzmenge)	
Wirtschaftlichkeit	Ertragswirtschaftlichkeit (Ertrag / Aufwand) Kostenwirtschaftlichkeit (Leistungen / Kosten)	

Quelle: REITMAYR, 1995, S. 58

Die Kostenrechnungssysteme können weiterhin nach ihrem Zeitbezug und nach dem Umfang der Kostenverrechnung gegliedert werden (vgl. TRENKEL, 1999, S. 23). Für die Bewertung der Aufnahme neuer Produktionsweisen können zukunftsbezogene Kostenrechnungssysteme herangezogen werden, wie in Übersicht 10 dargestellt.

Übersicht 10: Zukunftsbezogene Kostenrechnungssysteme



Quelle: SCHERRER, 1991, S. 92

Diese können auf Basis der Vollkostenrechnung oder Teilkostenrechnung durchgeführt werden. Bei der Vollkostenbetrachtung werden alle einem Bezugsobjekt (Produkt, Produktgruppe, Kostenstelle) zugerechneten gesamten beschäftigungsabhängigen und beschäftigungsunabhängigen Kosten betrachtet. Dagegen sind Teilkosten nur die einem Bezugsobjekt zurechenbaren, nach bestimmten Merkmalen abgegrenzten Teile der Kosten (vgl. SCHERRER, 1991, S. 31).

4.2.2 Einkommenswirkung

Die Auswirkungen einer Programmteilnahme werden im Modell auf Ebene des Deckungsbeitrages dargestellt. Die Teilkostenrechnung wurde hier gewählt, da alle Änderungen, die sich durch eine Teilnahme ergeben, durch diese Betrachtungsebene erfaßt werden können. So müssen durch die Teilnahme an den Maßnahmen keine neuen Maschinen angeschafft und auch keine neuen Arbeitskräfte angestellt werden, so daß der Fixkostenblock nicht tangiert wird. Weiterhin beträgt der zeitliche Betrachtungshorizont fünf Jahre, d.h. die übrigen Faktoren können bei dieser kurzfristigen Betrachtung als entscheidungsunabhängig angesehen werden, da die Produktionsweise nach dieser Zeit wieder umgestellt werden kann.

Der Deckungsbeitrag eines Produktionsverfahrens ist die Differenz aus Marktleistung und proportionalen Spezialkosten. Addiert man dazu die aktionsgebunden Prämien, so erhält man den Deckungsbeitrag II, der in der Arbeit synonym als Deckungsbeitrag bezeichnet wird. Übersicht 11 zeigt das Verfahren der Deckungsbeitragsberechnung der pflanzlichen Produktion.

Übersicht 11: Verfahren der Deckungsbeitragsberechnung in der Pflanzenproduktion

		Einheit
	Ertrag	dt/ha
·	Preis	€/dt
+	Nebenleistung	€/ha
=	Marktleistung	€/ha
	Saatgut	€/ha
+	Düngung	€/ha
+	Pflanzenschutz	€/ha
+	variable Maschinenkosten	€/ha
+	Trocknung	€/ha
+	Versicherung	€/ha
+	Sonstiges	€/ha
+	Zinsansatz	€/ha
=	Summe Proportionale Spezialkosten	€/ha
	Marktleistung - prop. Spezialkosten	€/ha
=	Deckungsbeitrag I	€/ha
+	Ausgleichszahlung	€/ha
+	Sonstige Prämien	€/ha
=	Deckungsbeitrag II	€/ha

Quelle: Eigene Darstellung

„Der DB eines Produktionsverfahrens gibt an, um wie viel sich der Gewinn eines Unternehmens bei Ausdehnung (Einschränkung) eines Produktionsverfahrens um eine Einheit (ha) erhöht (erniedrigt), wenn alle benötigten fixen Produktionsfaktoren noch frei verfügbar wären, d.h. anderweitig nicht genutzt werden könnten.

Für den Gewinnbeitrag, der durch Einführung oder Ausdehnung eines Produktionsverfahrens entsteht, sind neben dem Deckungsbeitrag die Faktoransprüche und deren Kosten sowie der Wert der Faktorlieferungen maßgebend. Sofern Faktoransprüche nicht frei sind, und Faktorlieferungen durch die Aufnahme eines Produktionsverfahrens entstehen, ergibt sich die Gewinnänderung durch Aufnahme eines Produktionsverfahrens, wie in Übersicht 12 dargestellt. (KERKHOF, 1996, S. 118).

Übersicht 12: Zusammenhang zwischen dem Deckungsbeitrag eines Produktionsverfahrens und dem zusätzlichen Gewinn bei Nichtbetroffenheit der Festkosten

-	Geldrohertrag (Marktleistung) Proportionale Spezialkosten
=	Deckungsbeitrag
+ ·	Faktoranspruch (Arbeit, Boden, Kapital) Kosten der Faktorbereitstellung
+ ·	Faktorlieferungen innerbetrieblicher Wert
=	Zusätzlicher Gewinn

Quelle: Eigene Darstellung nach KERKHOF, 1996, S.119

Durch Addition der Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren und Multiplikation mit den jeweiligen Anbauumfängen erhält man den Gesamtdeckungsbeitrag für den Betrieb bzw. den Betriebszweig. Übersicht 13 zeigt den Rechengang vom Gesamtdeckungsbeitrag zum Betriebseinkommen

Übersicht 13: Rechengang vom Gesamtdeckungsbeitrag zum Betriebseinkommen

	Gesamtdeckungsbeitrag
+	sonstige landwirtschaftliche Erträge
+	allgemeine unternehmensbezogene Zuwendungen
-	disproportionale Spezial- und Gemeinkosten
=	Betriebseinkommen

Quelle: Eigene Zusammenstellung nach KERKHOF, 1996, S.124

Neben dem Deckungsbeitrag eines Produktionsverfahrens wird auch der erforderliche Arbeitsaufwand in Akh ermittelt. Durch Division des Deckungsbeitrages durch den Arbeitsaufwand erhält man die Grenzproduktivität der Arbeit. Hiermit wird bewertet, mit welchen Produktionsverfahren bzw. Produktionsweisen die eingesetzte Arbeit am besten verwertet werden kann.

4.2.3 Risiko

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Beurteilung der Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen ist die Betrachtung des Risikos, das mit einer Programmteilnahme verbunden ist.

Entscheidungen über die Aufnahme neuer Produktionsweisen erfolgen in der Realität ohne daß vollkommene Informationen über die Auswirkungen vorliegen. Deshalb muß sich hier mit dem Risiko beschäftigt werden. Unter Risiko versteht man eine Entscheidung unter Unsicherheit, bei der der Entscheider den denkbaren Umweltzuständen

Eintrittswahrscheinlichkeiten zuordnen kann (vgl. RUDOLPH, 1995, S. 11). Die im landwirtschaftlichen Bereich relevanten Risikoparameter lassen sich aufteilen in (vgl. RINTELEN, 1938, S. 6ff):

- *Erzeugungsrisiko*: Risiko, bei der Produktion der landwirtschaftlichen Produkte (Wachstumsrisiko, Verlust- und Ausfallrisiko).
- *Anlagerisiko*: Risiko, das bei Investitionen entsteht.
- *Marktrisiko*: Risiko bei der Beschaffung der Betriebsmittel und Absatz der Produkte hinsichtlich Preise.

Für die Beurteilung einer Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen spielen das Erzeugungs- und das Marktrisiko eine wichtige Rolle. Die Risikoursachen im landwirtschaftlichen Betrieb sind in Übersicht 14 dargestellt. Als Kennzahlen für das Risiko werden in der Literatur Standardabweichung, Varianz und Variationskoeffizient diskutiert.

Die Varianz gibt bei einer Stichprobe die durchschnittliche, quadratische Abweichung der Einzelwerte vom Stichprobenmittel an (vgl. HANF, 1986, S. 22). Es gilt (vgl. PRECHT und KRAFT, 1993, S. 375):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

mit: σ^2 = Varianz
 x_i = Beobachtungswerte
 \bar{x} = arithmetischer Mittelwert
 n = Zahl der Beobachtungen

Die Standardabweichung ist die Wurzel aus der Varianz:

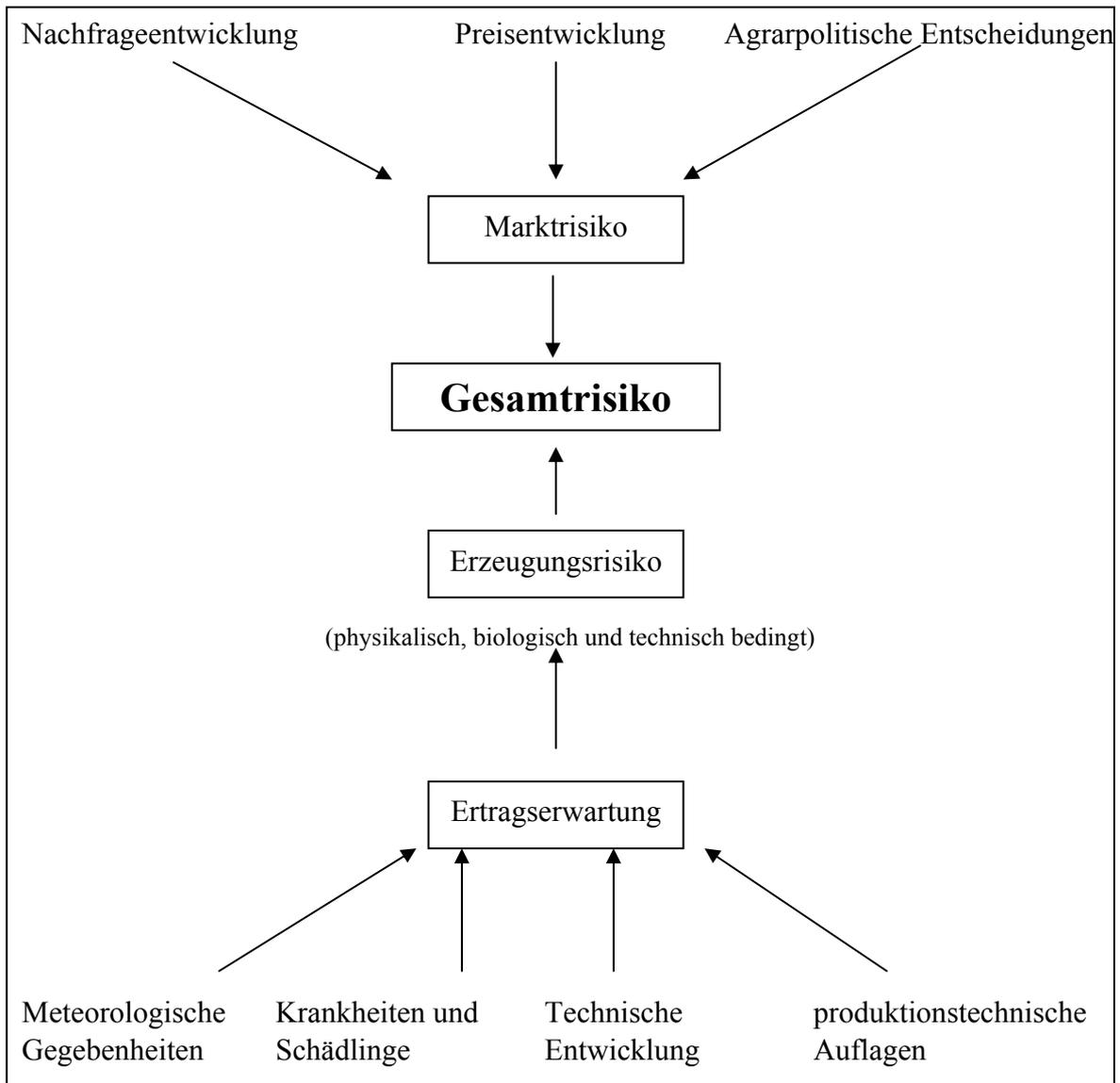
$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

mit: σ^2 = Varianz
 σ = Standardabweichung

Der Variationskoeffizient als relatives Maß für die Höhe der Streuung ist definiert als (vgl. PRECHT und KRAFT, 1992, S. 29):

$$VK = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

mit: VK = Variationskoeffizient
 σ = Standardabweichung
 \bar{x} = arithmetischer Mittelwert

Übersicht 14: Risikoursachen im landwirtschaftlichen Betrieb

Quelle: Eigene Darstellung nach RING, 1992, S. 203

Die Ermittlung der Ertragsvarianz als Maß für das Erzeugungsrisiko erfolgt mit im Modell Hilfe der Ertrags- und Varianzfunktionen (vgl. Kapitel 4.3).

Bei der Ermittlung der Einkommensvarianz als Maß für das Markt- und Erzeugungsrisiko wird zunächst die Varianz für die einzelnen Produktionsverfahren bestimmt. Dabei werden sowohl Ertrags- als auch Preisvarianzen berücksichtigt. Die Varianz des Deckungsbeitrages kann näherungsweise durch folgende Formel wiedergegeben werden (vgl. ANDERSON ET AL., 1977, S. 32 ff):

$$\sigma^2(Z) = E(p)^2 \cdot \sigma^2[Y] + \sigma^2(p) \cdot E[Y]^2 + 2 \cdot E(p) \cdot E[Y] \cdot \text{cov}[Y, p]$$

mit: $\sigma^2(Z)$ = Varianz des Deckungsbeitrags
 $E(p)$ = Erwartungswert des Preis
 $\sigma^2[Y]$ = Ertragsvarianz

- $\sigma^2(p)$ = Preisvarianz
- $E[Y]$ = Erwartungswert des Ertrages
- $cov[Y,p]$ = Kovarianz zwischen Ertrag und Preis

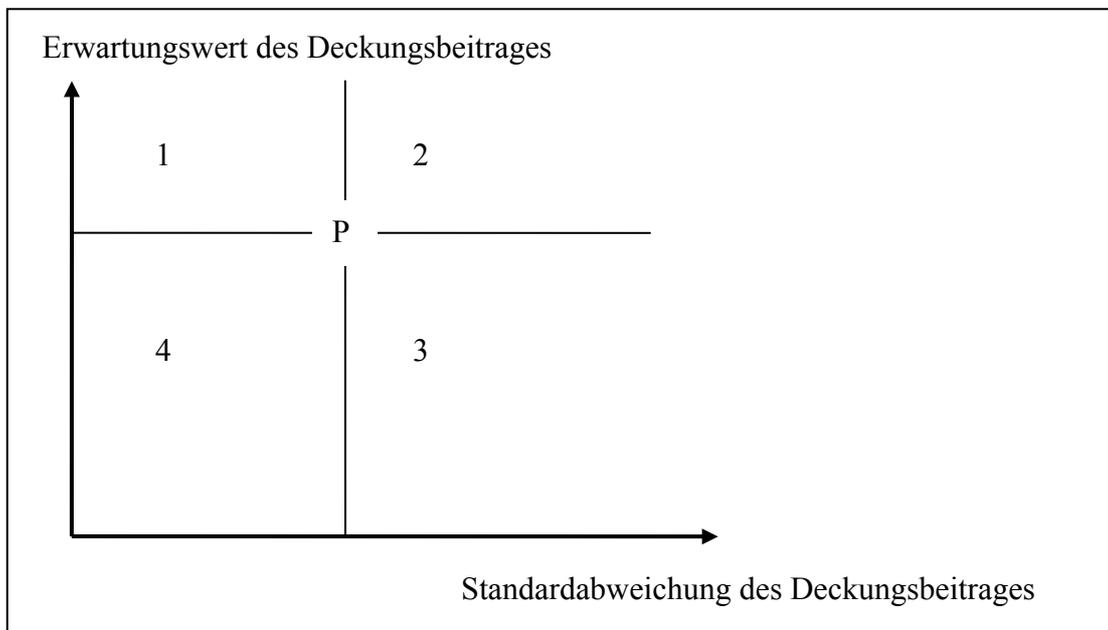
Die gesamte Einkommensvarianz ist neben der Varianz der Erlöse der einzelnen Fruchtarten auch von der Varianz der Erlöse untereinander, ausgedrückt durch die Kovarianz, abhängig. Daher ergibt sich die Varianz des Gesamtdeckungsbeitrages nach folgender Formel (vgl. SCHLIEPER, 1997, S. 1990):

$$\sigma^2[Z] = \sum_{i=1}^n \sigma^2[z_i]x_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n x_i x_j cov(z_i z_j)$$

- mit: σ^2 = Varianz
- Z = Gesamtdeckungsbeitrag
- z_i = Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren
- x_i = Produktionsumfänge der einzelnen Produktionsverfahren
- $cov(z_i z_j)$ = Kovarianz der Deckungsbeiträge

Die ökonomische Beurteilung der Auswirkungen einer Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen hinsichtlich Einkommenswirkung und Einkommensvarianz kann mit Hilfe eines Erwartungswert-Standardabweichungs-Diagramm erfolgen, wie in Übersicht 15 dargestellt.

Übersicht 15 Erwartungswert-Standardabweichungs-Diagramm



Quelle: Eigene Darstellung

Auf der Abzisse wird die Standardabweichung und auf der Ordinate der Erwartungswert des Deckungsbeitrages für die einzelnen Produktionsweisen abgetragen. Ausgehend vom Deckungsbeitrag und der Standardabweichung der bis dato durchgeführten

ordnungsgemäßen Bewirtschaftung (Punkt P), kann jetzt eine Matrix erstellt werden. Dabei sind die Felder 1 und 3 eindeutig zu bewerten. Liegt eine Maßnahme im Feld 1 so hat diese einen höheren Erwartungswert des Deckungsbeitrag mit einer niedrigeren Standardabweichung, d.h. die Maßnahme ist vorzüglicher. Liegt das Ergebnis einer Maßnahme im Feld 3, so hat sie einen niedrigeren Deckungsbeitrag bei höherer Standardabweichung, d.h. hier ist die ordnungsgemäße Bewirtschaftung vorzüglicher. Bei den Feldern 2 und 4 spielt die Risikoeinstellung des Entscheidungsträger eine wichtige Rolle. Hier muß zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit zwischen der Änderung des Einkommens und der Einstellung zum Risiko (risikoavers, risikoneutral, risikofreudig) abgewogen werden.

4.3 Ertragsfunktionen

Grundlage der ökonomischen und ökologischen Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen bilden Produktions- bzw. Ertragsfunktionen. „Eine Produktionsfunktion gibt an, welche Produktionsmengen (Güter bzw. Dienstleistungen) innerhalb eines festgelegten Zeitraums mit alternativen Faktoreinsatzmengen jeweils hergestellt werden können und welche Beziehungen die Produktionsmengen und die Faktormengen untereinander aufweisen“ (LINDE, 1981, S. 276). Für die Ermittlung von Produktionsfunktionen stehen rein normative Ansätze, aber auch empirische Ansätze und eine Kombination aus beiden zur Verfügung (vgl. BAUDOUX 2000, S.77).

Die Ermittlung von standortspezifischen Produktionsfunktionen ist in der Regel problematisch (vgl. JAROSCH, S. 1990 S. 100). In diese Arbeit sollen deshalb zunächst nur Produktionsfunktionen für einzelne Naturräume ermittelt werden, die dann ggf. einzelbetrieblich spezifiziert werden können.

Allgemein können Produktionsfunktionen dargestellt werden als:

$$Y = f(N, PK, PSM, W, T, B, BF, \dots)$$

mit: Y	= Ertrag	N	= Stickstoffdüngung
PK	= Grunddüngung	PSM	= Pflanzenschutzmitteleinsatz
W	= Wetter	T	= Trend
B	= Boden	BF	= Betriebsleiterfähigkeiten

Der Ertrag ergibt sich aus einer Funktion von einer Vielzahl von Einflußfaktoren. Da nicht alle Größen quantifizierbar sind, bzw. nicht genügend Daten zu ihrer Ermittlung vorliegen, beschränkt man sich auf die wichtigsten Faktoren. Der größte Einfluß auf den Ertrag hat der Stickstoffeinsatz. Zur Berechnung des Einflusses der N-Düngung auf den Ertrag dienen Ertragsfunktionen (vgl. BAUDOUX, 2000, S. 77). Zu deren Ermittlung existieren verschiedene Ansätze (vgl. WEINGARTEN 1995, S. 28ff).

Die Auflagen der Agrarumweltprogramme betreffen sowohl den Bereich der Düngung als auch den Bereich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes. Deshalb müssen zur Bewertung einer

Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen Ertragsfunktionen in Abhängigkeit von N-Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz ermittelt werden. In diesem Kapitel werden zuerst einige allgemeine Überlegungen zur Wahl der Funktionsform angestellt. Anschließend folgen Beispiele aus der Literatur zu den verschiedenen Verfahren der Herleitung. Schließlich wird das in der Arbeit verwendete Verfahren vorgestellt, das einzelne Elemente der vorher beschriebenen Methoden enthält.

4.3.1 Wahl der Funktionsform

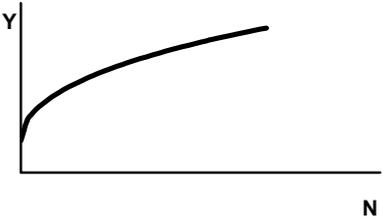
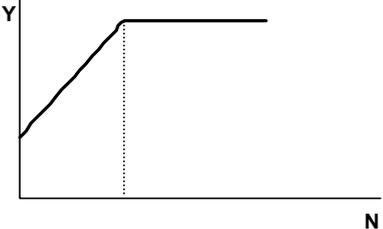
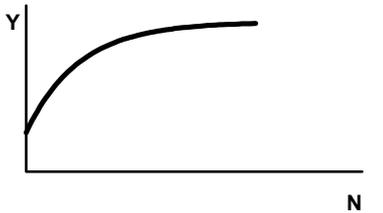
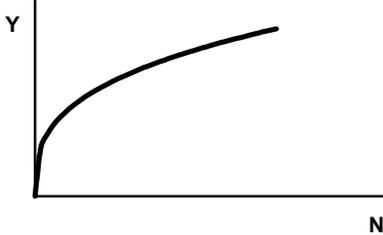
Übersicht 16 zeigt die verschiedenen Formen von Ertragsfunktionen, deren mathematische Beziehung, den Grenzertrag und die Herleitung der speziellen optimalen Intensität hinsichtlich des Einsatzes des variablen Produktionsfaktors Stickstoff.

Die *Quadratwurzelfunktion* geht vom abnehmenden Ertragszuwachs aus. Dieses Gesetz wurde erstmals erwähnt von TURGOT (1766) und später von Thünen so beschrieben, „daß, wenn man zwei Ackerstücke von gleicher Bodenbeschaffenheit und gleichen Reichtum mit 3, 4, 5, 6 usf. Fuder Dung pr. 100 Ruten befährt, jedes mehr hinzugefügte Fuder Dung einen immer geringeren Zuwachs an Ertrag liefert“ (THÜNEN, 1842, S. 73). Obwohl dieser Sachverhalt von THÜNEN nicht mathematisch exakt formuliert wurde, lässt sich die Funktion auf ihn zurückführen.

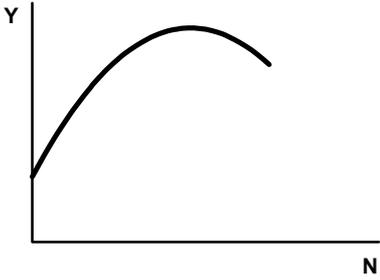
Die *linear limitationale Funktion* geht auf das Minimumgesetz von LIEBIG (1855) zurück. Er geht davon aus, daß der Ertrag proportional zur Steigerung des im Minimum befindlichen Produktionsfaktor ansteigt. Sobald sich dieser im Optimum befindet, ist kein weiterer Ertragsanstieg zu verzeichnen und der Ertrag bleibt konstant. Dabei werden alle substitutiven Beziehungen zwischen Nährstoffen und Wachstumsfaktoren ausgeschlossen und unterstellt, daß das optimale Verhältnis zwischen ihnen technisch eindeutig sei (vgl. WEINSCHENCK, 1964, S. 84).

Dagegen findet LIEBSCHER (1889) heraus, daß der Ertrag nicht nur von dem im Minimum vorhandenen Produktionsfaktor determiniert ist, sondern auch von der zur Verfügung stehenden Menge der anderen Produktionsfaktoren abhängig ist. Daraus lässt sich ableiten, daß sich die einzelnen Produktionsfaktoren nicht nur komplementär verhalten, sondern zum Teil auch substituierbar sind (vgl. WEINSCHENCK, 1964, S. 85).

Übersicht 16: Ertragsfunktion, Grenzertrag und optimale spezielle Intensität verschiedener Ertragsfunktionen

<p>Quadratwurzelfunktion:</p>		
Ertragsfunktion:	$Y = a + b \cdot \sqrt{N} + c \cdot N$	
Grenzertragsfunktion:	$Y' = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{N}} + c$	
opt. spezielle Intensität:	$N = \left[\frac{b \cdot p}{2 \cdot (q - c \cdot p)} \right]^2$	
<p>Linear limitationale Funktion</p>		
Ertragsfunktion:	$Y = a + b \cdot N$ für $N < N_{\max}$ $Y = c$ für $N \geq N_{\max}$	
Grenzertragsfunktion:	$Y' = b$ für $N < N_{\max}$ $Y' = 0$ für $N \geq N_{\max}$	
opt. spezielle Intensität:	$N = 0$ für $\frac{q}{p} > b$ $N = 0$ bis N_{\max} für $\frac{q}{p} = b$ $N = 180$ für $\frac{q}{p} < b$	
<p>Mitscherlichfunktion</p>		
Ertragsfunktion:	$Y = A \cdot (1 - b \cdot e^{-c \cdot N})$	
Grenzertragsfunktion:	$Y' = A \cdot b \cdot c \cdot e^{-c \cdot N}$	
opt. spezielle Intensität:	$N = \frac{-\ln\left(\frac{q}{p \cdot A \cdot b \cdot c}\right)}{c}$	
<p>Cobb-Douglas Funktion</p>		
Ertragsfunktion:	$Y = a \cdot N^b$	
Grenzertragsfunktion:	$Y' = a \cdot b \cdot N^{b-1}$	
opt. spezielle Intensität:	$N = \left[\frac{q}{p \cdot a \cdot b} \right]^{\frac{1}{b-1}}$	

Fortsetzung **Übersicht 16**

Quadratische Funktion		
Ertragsfunktion:	$Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$	
Grenzertragsfunktion:	$Y' = b + 2 \cdot c \cdot N$	
optimale spezielle Intensität:	$N = \frac{\frac{q}{p} - b}{2 \cdot c}$	
mit: a, b, c: Regressionskoeffizienten		
q:	Faktorpreis	
p:	Produktpreis	
Y:	Ertrag	
N:	Stickstoffeinsatz	

Quelle: Eigene Darstellung nach FUCHS und LÖTJE, 1996, S. 496

Diese Beziehung wurde von MITSCHERLICH (1916) in seinem *Wirkungsgesetz* der Wachstumsfaktoren veröffentlicht. Diese lautet :

$$Y = A \cdot (1 - e^{-c \cdot x})$$

- mit
- Y = Ertrag
 - A = Jeweiliger Höchstertrag, der sich in Abhängigkeit von den Standortbedingungen ergibt
 - e = Eulersche Zahl
 - c = Wirkungsfaktor für den Wachstumsfaktor X (wird von MITSCHERLICH als Naturkonstante betrachtet)
 - x = Menge des Wachstumsfaktors

Kritisch an diesem Wirkungsgesetz anzumerken ist, daß Wirkungsfaktor und Höchstertrag keine Naturkonstanten sind. Deshalb kann man es auch nicht als Gesetz betrachten, sondern als statistische Funktion, die unter bestimmten Voraussetzungen die Beziehung zwischen Ertrag und Faktoreinsatz beschreibt (vgl. SCHANZENBÄCHER 1995, S. 33).

In der *Cobb-Douglas Funktion* wird der Ertrag als Produkt der Einwirkungen einer Vielzahl von Faktoren dargestellt. Problematisch bei dieser Funktion ist, daß kein Höchstertrag im Sinne des Wirkungsgesetz erzielt wird (vgl. SCHANZENBÄCHER 1995, S. 33).

Charakteristisch für die *quadratische Funktion* ist, daß der Ertrag nach dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs ansteigt, sein Maximum erreicht und dann wieder abfällt.

Tabelle 14 zeigt die wesentlichen Anforderungen an die Produktionsfunktionen. Die quadratische Funktion erfüllt alle Anforderungen. Deshalb wird sie auch in dieser Arbeit verwendet. Weiterhin spricht für diese Form, daß man sie normativ und empirisch herleiten kann, sie relativ einfach mathematisch ableitbar ist und diese Funktionsform auch oft in der Literatur verwendet wird.

Tabelle 14: Anforderungen an Produktionsfunktionen zur Beschreibung der Beziehungen zwischen Ertrag und Faktoreinsatz

Funktionstyp	Quadrat- wurzel	Linear- Limitational	Mitscherlich	Cobb- Douglas	Quadratisch
Abnehmender Grenzertrag	+	-	+	+	+
Nullertrag ¹⁾ bei Verzicht auf Faktoreinsatz	+	+	-	-	+
Bestimmung des Maximalertrags möglich	-	0	+	-	+
Mehrfaktorielle Analyse möglich	+	+	-	+	+

+: Forderung wird vom jeweiligen Funktionstyp erfüllt

-: Forderung wird vom jeweiligen Funktionstyp nicht erfüllt

0: Forderung wird erfüllt, falls Y_{\max} bekannt ist

¹⁾: Unter Nullertrag ist der Ertrag zu verstehen, der sich bei einem vollständigen Verzicht auf ertragsteigernde Produktionsfaktoren ergibt

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHANZENBÄCHER, 1995, S. 31

4.3.2 Ansätze zur Herleitung von Ertragsfunktionen

4.3.2.1 Normatives Verfahren

PAEFFGEN (1994) untersuchte in seiner Arbeit Ansätze zur Bestimmung von Produktionsfunktionen für einzelne Produktionsverfahren für die Kreise Baden-Württembergs. Dabei entwickelte er eine normative Herleitung von N-Ertragsfunktionen (vgl. PAEFFGEN 1994, S. 60ff). Dies erfolgt in drei Schritten. Im ersten Schritt wird der Düngemittelaufwand für das jeweilige Produktionsverfahren berechnet:

$$N(\text{in kg}) = (\text{Ertrag}(\text{in dt}) \cdot N - \text{Gehalt der Kultur} \cdot N_{\text{Min}}(\text{in kg})) \cdot 1,15$$

Zu dem pflanzenbaulich begründeten N-Gehalt wird noch ein Sicherheitsaufwand von 15 % addiert. Hier wird von der Annahme ausgegangen, daß diese N-Menge die optimale Stickstoffeinsatzmenge darstellt. Um dem Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs gerecht zu werden, wird nun in einem zweiten Schritt in diese lineare Funktion ein negativ quadratisches Glied eingebracht. Dabei erhält man eine quadratische Produktionsfunktion der Form:

$$Y = a + b \cdot N - c \cdot N^2$$

mit Y = Ertrag
 a = Konstante (Achsenabschnitt)
 b = linearer Parameter
 c = quadratischer Parameter
 N = Stickstoffeinsatz

PAEFFGEN (1994) geht davon aus, daß Ertragsfunktionen ungünstiger Standorte im Funktionsverlauf steiler sind, eine niedrigere Konstante und ein niedrigeres Maximum haben als Ertragsfunktionen besserer Standorte. Der Funktionsverlauf ist deshalb abhängig von der Standortqualität und der Kulturart. Daher wird folgender mathematischer Zusammenhang für diese Beziehung aufgestellt:

$$c = \frac{2}{N - \text{Gehalt der Kultur} \cdot \text{Ackerzahl}}$$

Bei Winterweizen gilt abweichend:

$$c = \frac{1}{N - \text{Gehalt der Kultur} \cdot \text{Ackerzahl}}$$

Im Nenner können auch weitere Einflußfaktoren wie Betriebsleiterfähigkeiten und Klima stehen, um dem Eindruck der monokausalen Betrachtung zu entgehen. Da solche Größen jedoch nur schwer zu quantifizieren sind und keine Datengrundlage vorhanden ist, wird auf ihre Einbeziehung verzichtet.

Mit Hilfe des Faktors c und der Annahme der optimalen speziellen Intensität kann jetzt die Parameter b berechnet werden:

$$\frac{P_N}{P_Y} = \frac{d_Y}{d_N} \quad (\text{Bedingung für optimale spezielle Intensität})$$

und

$$\frac{d_Y}{d_N} = b + 2 \cdot c \cdot N \quad (\text{Ableitung der Funktion } Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2)$$

folgt:

$$b = \frac{P_N}{P_Y} + 2 \cdot c \cdot N$$

Durch Einsetzen in die quadratische Ertragsfunktion kann man den Parameter a errechnen:

$$a = Y - b \cdot N + c \cdot N^2$$

Übersicht 17 zeigt beispielhaft die normative Herleitung einer Ertragsfunktion für Winterweizen. Der Vorteil dieser analytischer Vorgehensweise von PAEFFGEN (1994) liegt

bei der guten Datenverfügbarkeit. Unklar bei dieser Vorgehensweise ist jedoch zum einen, daß PAEFFGEN als zentrale Annahme für die Berechnung des Parameters c unterstellt, daß Ertragsfunktionen günstiger Standorte im Funktionsverlauf steiler (...) als Ertragsfunktionen besserer Standorte sind (s.o.). Dies wird in der Literatur unterschiedlich gesehen. So gehen HENRICHSMEYER und WITZKE (1991) davon aus, daß Ertragsfunktionen auf ungünstigen Standorten relativ steiler verlaufen (vgl. HENRICHSMEYER und WITZKE 1991, S. 284). Zum anderen ist unklar, warum der Koeffizient des quadratischen Glieds bei der Ertragsfunktion für Winterweizen abweichend von der anderer Kulturen berechnet wird (vgl. WEINGARTEN, 1995, S. 45).

Übersicht 17: Normative Herleitung einer Ertragsfunktion am Beispiel Winterweizen

Ackerzahl:	76
Produktpreis (incl. MwSt.):	10,25 €
N-Preis:	0,57 €
Durchschnittsertrag:	87 dt/ha
N_{Min} :	50 kg/ha
N-Entzug (Korn):	2,0 kg/dt

Berechnung optimale N-Düngung:

$$N_{\text{opt}} = (87 \cdot 2,0 - 50) \cdot 1,15 = 143 \text{ kg/ha}$$

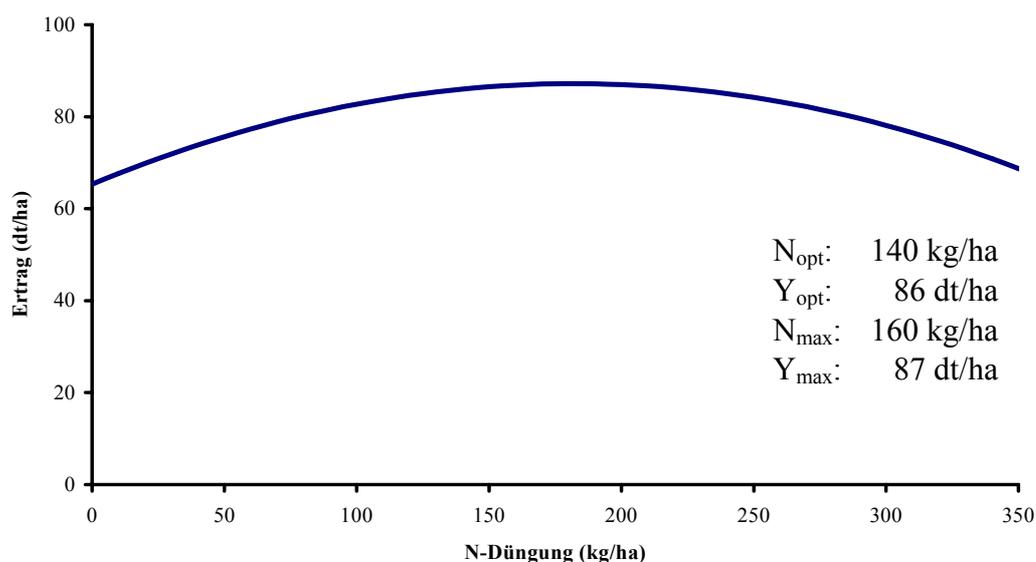
$$c = 1 / (76 \cdot 20) = 0,0006578$$

$$b = 0,57 / 10,25 + 2 \cdot 0,0006578 \cdot 143 = 0,2437$$

$$a = 87 - 0,2437 \cdot 143 + 0,0006578 \cdot 143^2 = 65,60$$

Ertragsfunktion:

$$Y = 65,60 + 0,2437 \cdot N - 0,0006578 \cdot N^2$$



Quelle. Eigene Berechnungen in Anlehnung an Daten LK RHEINLAND, 2001

4.3.2.2 Empirisches Verfahren

Grundlage der „Doppelt-Relativ-Schätzmethode“ von KRAYL (1993) sind Versuchsdaten aus Stickstoffsteigerungsversuchen unterschiedlicher Standorte (vgl. KRAYL, 1993, S. 93ff). Für jeden dieser Standorte können mittels Regressionsanalyse aufgrund unterschiedlich exogener Standortparameter verschiedene quadratische Ertragsfunktionen gebildet werden, wobei jeder Standort einen typischen Maximalertrag Y_{\max} und einen dazu gehörenden Stickstoffeinsatz N_{\max} besitzt. Diese beiden Punkte werden jetzt für jede Versuchsreihe gleich eins gesetzt und alle anderen Versuchswerte relativ zum Maximalpunkt umgerechnet. Durch die Transformation der Daten auf den Punkt (1/1) werden die Standorteinflüsse aus der Schätzung eliminiert. „Die Schätzfunktion zeigt den monokausalen Wirkungszusammenhang zwischen Stickstoffeinsatz und dem erzielten Ertrag“ (KRAYL, 1993, S. 93). Um diese Relativ-Funktionen in eine für einen bestimmten Standort typische Absolutfunktion umzuwandeln, benötigt man den standortspezifischen Maximalertrag und den dazu gehörenden Stickstoffeinsatz. Für die Transformation der relativen Koeffizienten in absolute gelten folgende Bedingungen (vgl. KRAYL, 1993, S. 95):

$$a_{abs} = a_{rel} \cdot Y_{\max}$$

$$b_{abs} = b_{rel} \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}} \quad \text{und}$$

$$c_{abs} = c_{rel} \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}^2}.$$

mit: Y_{\max} : Standortspezifischer Maximalertrag
 N_{\max} : Dazu gehörende Stickstoffmenge

KRAYL (1993) unterscheidet kurzfristige und langfristige Relativ-Ertragsfunktionen. Bei der kurzfristigen Betrachtung werden einjährige Versuche als Datengrundlage herangezogen. Für die langfristigen Betrachtung werden Ergebnisse von Dauerversuchen verwendet. „Die Ableitung langfristiger Relativ-Funktionen, für die keine Versuchsdaten vorliegen, erfolgt unter Verwendung der relativen Veränderung des Schnittpunkts mit der X-Achse N_X einer empirisch geschätzten kurzfristigen und langfristigen Funktion von einer im Wachstumsverhalten ähnlichen Kulturart“ (KRAYL, 1993, S. 103).

Die kurzfristigen und langfristigen Relativ-Ertragsfunktionen nach KRAYL (1993) sind im Anhang 5 dargestellt.

Übersicht 18 zeigt beispielhaft die Ermittlung einer Ertragsfunktion für Winterweizen für eine Region nach der Vorgabe von KRAYL (1993). Problematisch ist hierbei die Bestimmung des standortspezifischen Maximalertrages. Vereinfacht wird hier der in den letzten Jahren beobachtete Maximalertrag und der dazu gehörende N-Düngeraufwand verwendet.

Übersicht 18: Herleitung einer Ertragsfunktion mit Hilfe der langfristigen Relativ-Funktion nach KRAYL (1993) am Beispiel Winterweizen

Relativ Ertragsfunktion Winterweizen:

$$Y_{\text{rel}} = 0,46261 + 1,07478 \cdot N - 0,53739 \cdot N^2$$

$$Y_{\text{max}} = 98 \text{ dt/ha}$$

$$N_{\text{max}} = 241 \text{ kg/ha (191 kg/ha Düngung + 50 kg/ha } N_{\text{Min}})$$

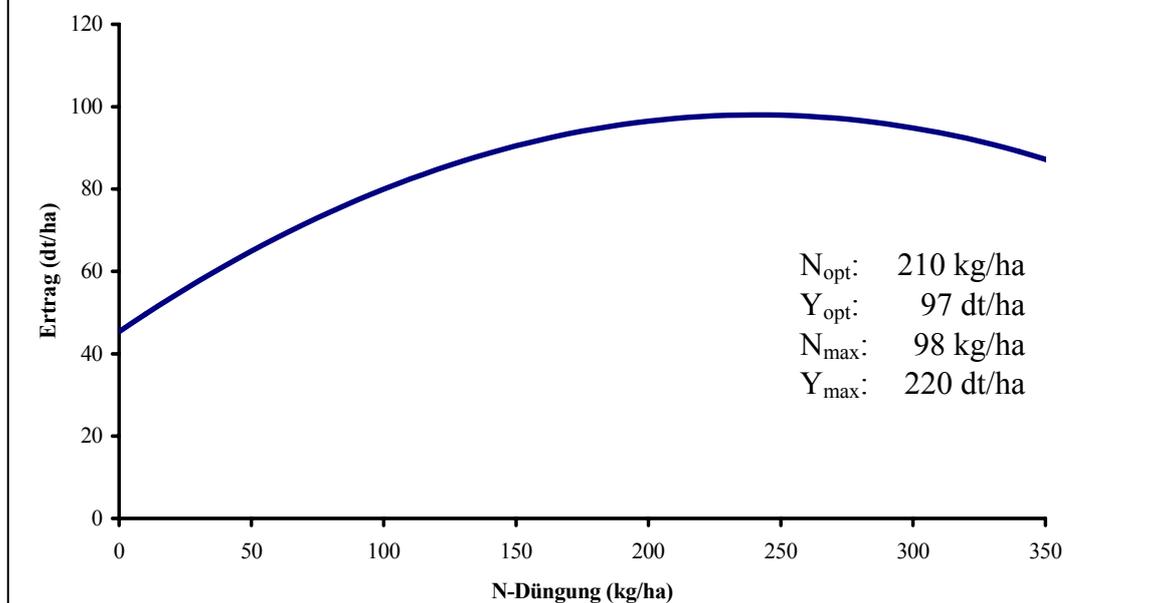
$$a_{\text{abs}} = 0,46261 \cdot 98 = 45,33$$

$$b_{\text{abs}} = 1,07478 \cdot 98/241 = 0,4370$$

$$c_{\text{abs}} = -0,53739 \cdot 98/241^2 = -0,000906$$

Ertragsfunktion

$$Y = 45,33 + 0,4370 \cdot N - 0,000906 \cdot N^2$$



Quelle. Eigene Berechnungen in Anlehnung an Daten LK RHEINLAND, 2001

4.3.2.3 Mehrfaktorielle Variation

Grundlage für dieses Verfahren bilden die von KRAYL (1993) erstellten langfristigen Relativ-Ertragsfunktionen. Der Verwendung der Langfrist-Funktionen wird der Vorzug gegeben, da die Kurzfristbetrachtung häufig zu einer Unterschätzung der Wirkungen führen. BAUDOUX (2000) führt dazu folgende Gründe an (vgl. BAUDOUX, 2000, S. 81):

In einem einjährigen Ertragsversuch kann man unter Umständen feststellen, daß die Erträge ohne Stickstoffdüngung nur leicht zurückgehen. Das heißt jedoch nicht, daß das auch für die folgenden Jahre gilt.

- Dies gilt auch für das Weglassen von weiteren ertragsteigernden bzw. ertragssichernden Produktionsmitteln. Bei einem Herbizidverzicht kann man im ersten

Jahr z.B. nur eine geringere Verunkrautung feststellen, die jedoch in den weiteren Jahren stark zunimmt.

- Bei Grunddüngern kann eine Verringerung kurzfristig zu einer erhöhten Pflanzenverfügbarkeit und dadurch nur geringfügig schlechteren Versorgung der Pflanzen führen. Dies ist aber kein nachhaltiger Effekt.

Wichtig ist jedoch, daß bei einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Betrachtung der Landwirtschaft, langfristige Aspekte berücksichtigt werden müssen. Dies kann nur erfolgen, wenn man auch langfristige Versuche als Grundlage nimmt, wie dies bei den langfristigen Relativ-Ertragsfunktionen von KRAYL (1993) der Fall ist (vgl. BAUDOUX, 2000, S. 81).

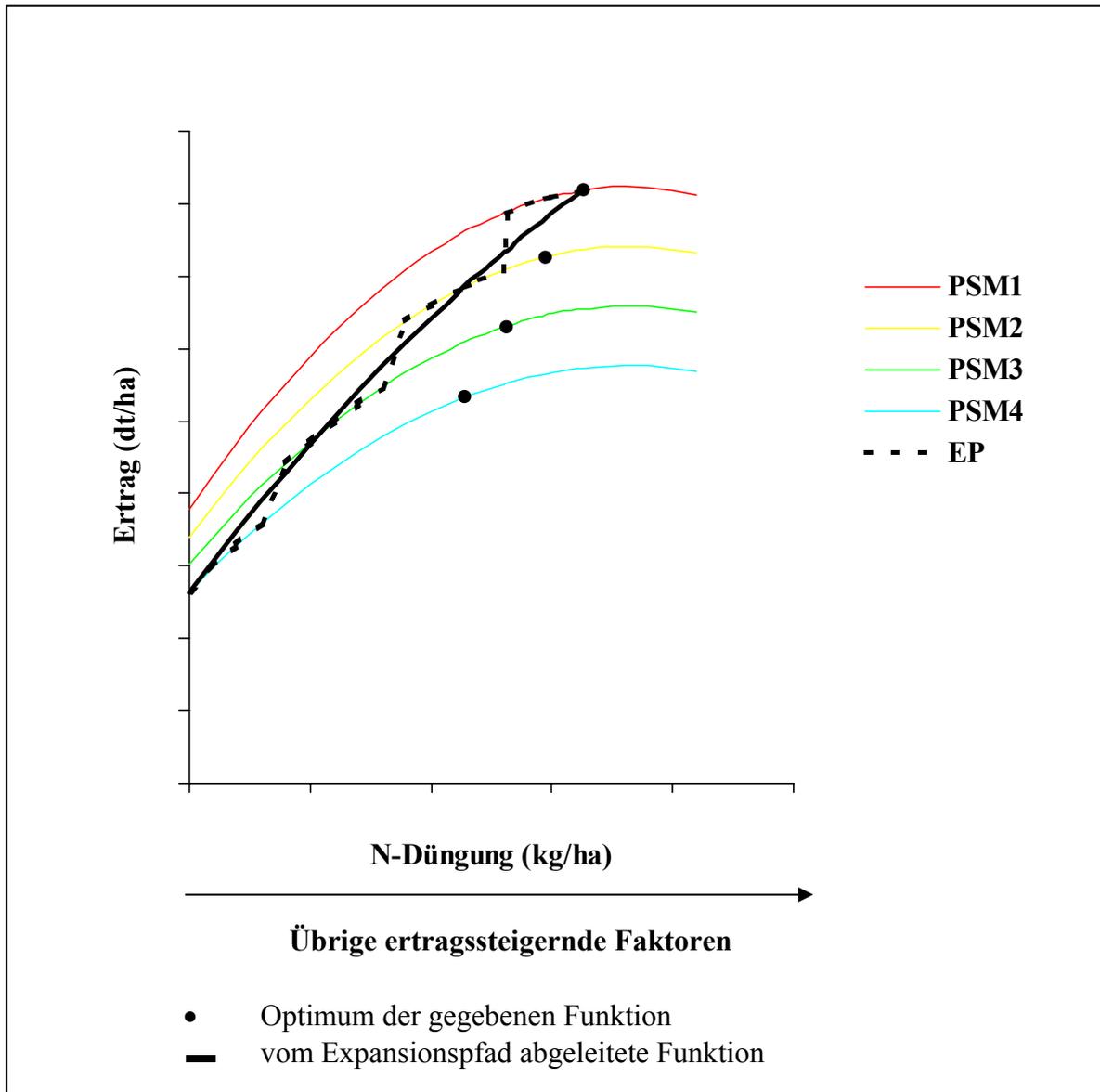
KAZENWADEL (1999) stellte fest, daß die Kenntnis des Maximalertrages und der dazu gehörenden Stickstoffmenge nicht unbedingt für die Ableitung der absoluten Funktion erforderlich ist. Anhang 6 zeigt die Herleitung des Maximalertrags und der dazu gehörenden N-Düngermenge durch Umformen und Differenzieren bei bekannten Optimalertrag, Produkt- und Faktorpreisen. (vgl. KAZENWADEL, 1999, S. 45ff). Mit Hilfe der Bedingungen für die Transformation der relativen in absolute Koeffizienten (vgl. Kapitel 4.3.2.2) kann jetzt die Absolut-Ertragsfunktion gebildet werden.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß die so ermittelten Ertragsfunktionen leicht auf andere Standorte übertragen werden können, da man nur noch den standortspezifischen Optimalertrag und die dazu gehörende Stickstoffmenge benötigt. Hierbei kann man unterstellen, daß der Optimalertrag dem durchschnittlichen Ertrag der letzten Jahre entspricht. Voraussetzung hierfür ist, daß sich die Rahmenbedingungen in der betrachteten Zeitspanne nicht erheblich verändert haben, insbesondere die Relation zwischen Produkt- und Faktorpreisen. (vgl. KAZENWADEL, 1999, S. 47).

In einem weiteren Schritt werden jetzt weitere Faktoren, die die Ertragsbildung beeinflussen, in die Überlegungen mit einbezogen. Dabei spielt vor allem der Pflanzenschutzmitteleinsatz eine wichtige Rolle. Hier kann man einerseits verschiedene Pflanzenschutzniveaus definieren (vgl. PAEFFGEN, 1994, S. 66ff). Hierbei führt ein erhöhtes Pflanzenschutzniveau zu einer Verschiebung der Ertragsfunktion nach oben und nach rechts. Eine andere Vorgehensweise wählt DOLUSCHITZ (1992), indem er eine einfaktorielle Ertragsfunktion mehrfaktoriell variiert. Grundlage für dieses Konzept ist die Annahme, „daß zu bestimmten Intensitäten eines Produktionsfaktors (z.B. N-Düngung) bestimmte Intensitäten eines anderen Produktionsfaktors (z.B. Pflanzenschutz) gehören“ (BAUDOUX, 2000, S. 83).

Übersicht 19 zeigt die sich entsprechend dem jeweiligen Intensitätsniveau angepassten Pflanzenbehandlungsstrategien theoretisch ergebene Schar von N-Ertragsfunktionen (PSM1 bis PSM4). Wird die Produktionsintensität gesenkt, bewegt man sich durch den schrittweisen Verzicht auf einzelne ertragsteigernde Faktoren auf den verschiedenen Produktionsfaktoren stufenweise nach unten. Nach dem Marginalprinzip (Grenzkosten des N- und PSM-Einsatz = Grenzerlös) lässt sich ein Expansionspfad definieren. Von diesen Stufensätzen lässt sich jetzt eine Funktion ableiten, die auf der N-Ertragsfunktion mit dem niedrigsten Pflanzenschutzniveau entspringt (Y-Achsenabschnitt) und in der Funktion mit

Übersicht 19: Ableitung des Expansionspfades (EP) der Ertragssteigerung in Abhängigkeit von der Höhe des Einsatzes ertragssteigernder Faktoren



Quelle: Eigene Darstellung nach DOLUSCHITZ, 1992, S. 193

dem maximalen Input-Niveau mündet. Eine Verminderung der Pflanzenschutzintensität führt bei dieser Vorgehensweise auch zu einer Verringerung des Stickstoffeinsatzes. Der Funktionsverlauf ist hier im relevanten Bereich steiler als bei einfaktoriellen Funktionen (vgl. DOLUSCHITZ, 1992, S. 193).

Nach Kenntnis des standortspezifischen Optimal- und Maximalertrag und der dazu gehörenden N-Düngung, benötigt man jetzt nur noch den langfristigen Minimalertrag ohne Einsatz von Pflanzenschutz und Düngung. BAUDOUX (2000) geht davon aus, daß im Durchschnitt die Ertragswirkung von Pflanzenschutzmaßnahmen ohne N-Dünger bei 10 % liegt (vgl. BAUDOUX, 2000, S. 86).

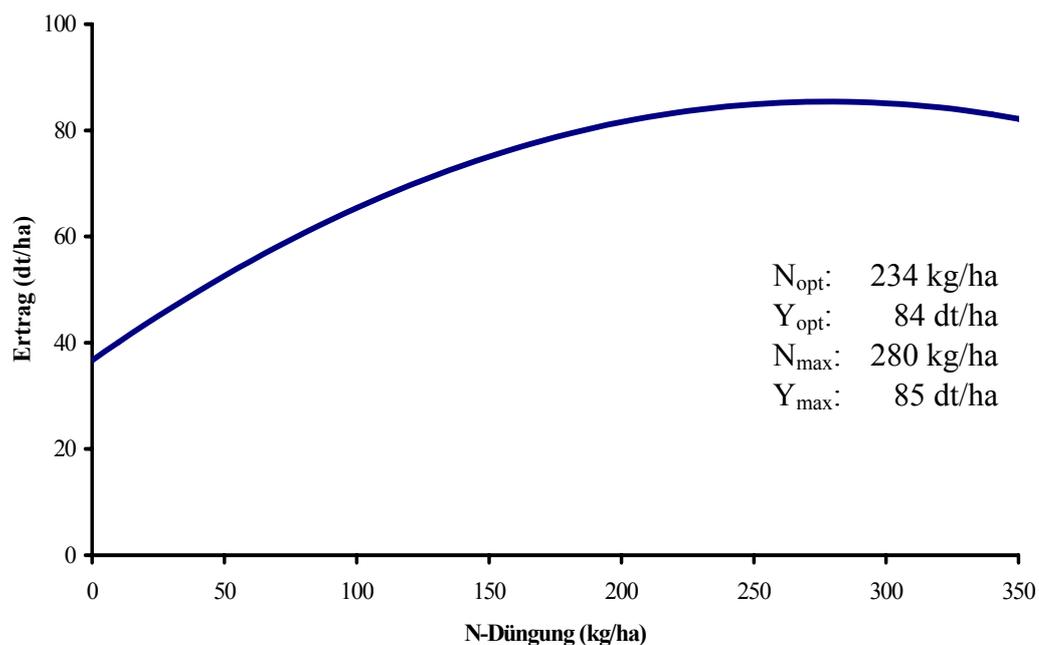
Mit Hilfe dieser drei Punkte kann jetzt eine quadratische Funktion mittels Kleinst-Quadrate-Schätzer (vgl. HARTUNG, 1998, S. 589f) definiert werden. Übersicht 20 zeigt die Herleitung einer Ertragsfunktion für Winterweizen für eine Region nach der vorgestellten Vorgehensweise.

Übersicht 20: Herleitung einer Ertragsfunktion nach dem Verfahren von BAUDOUX (2000) am Beispiel Winterweizen

Optimalertrag (Durchschnittsertrag der letzten Jahre):	87 dt/ha
Dazugehörige N-Menge (197 kg/ha Düngung + 50 kg/ha N_{Min})	247 kg/ha
Stickstoff-Preis:	0,57 €/ha
Produktpreis:	10,25 €/ha
Maximalertrag (errechnet):	88,61 dt/ha
Dazugehörige N-Menge:	299 kg/ha
Ertragswirkung bei Verzicht auf PSM (Annahme):	-10 %

Ertragsfunktion:

$$Y = 36,64 + 0,3506 \cdot N - 0,00063 \cdot N^2$$



Quelle. Eigene Berechnungen in Anlehnung an Daten LK RHEINLAND, 2001

4.3.2.4 Linear-limitationaler Ansatz mit Zufallsschwankungen

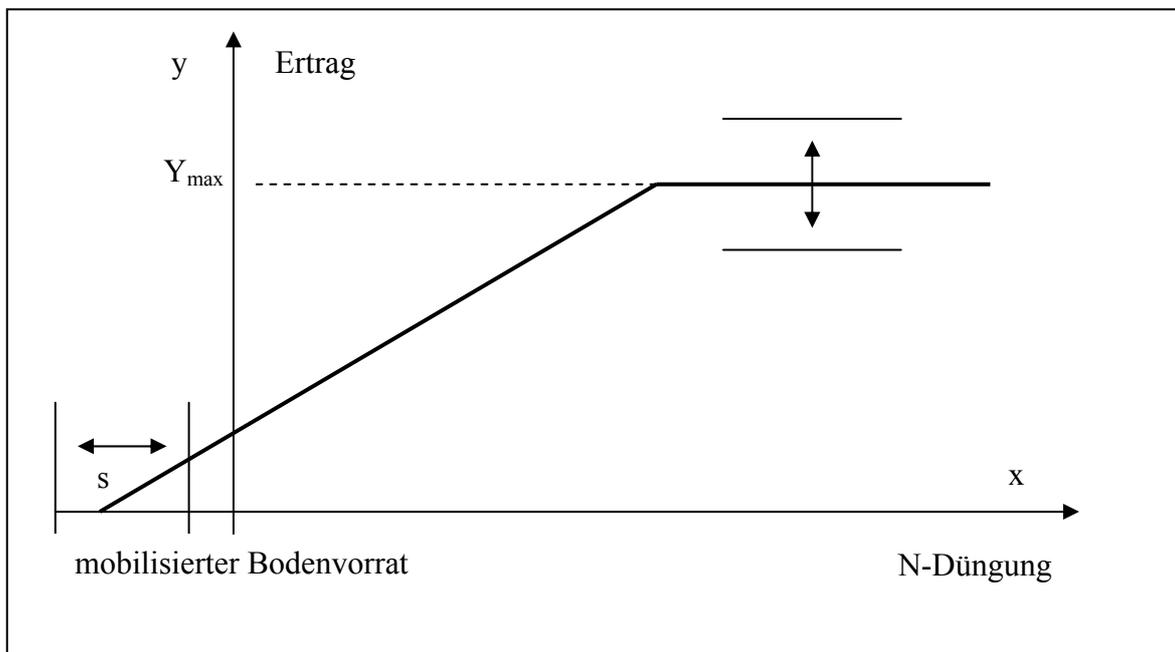
Einen zunächst ganz anderen Ansatz zur Ermittlung von Ertragsfunktionen wählen BERG (1997) und KUHLMANN (1992). Hier wird davon ausgegangen, „daß der Ertrag chemisch fixiert ist und die im Produkt enthaltenen Inhaltsstoffe als Wachstumsfaktoren zugeführt werden müssen“ (BERG, 1997, S. 4). Die hier unterstellte Proportionalität führt zu einem linear-limitationalen Ansatz, der sich mit dem Minimum Gesetz von LIEBIG (vgl. Kapitel 4.3.1) deckt, aber im Widerspruch zu der Annahme des abnehmenden Ertragszuwachs der quadratischen Ertragsfunktion steht. Dieser scheinbare Widerspruch findet Auflösung in

der genetischen Variabilität, den unterschiedlichen Standorteigenschaften sowie der unvollkommenen Vorrausicht z.B. über die Witterung.

KUHLMANN (1992) beschäftigt sich mit der genetischen Variabilität innerhalb eines Kulturpflanzenbestandes. Er geht davon aus, daß das Saatgut so beschaffen ist, daß das genetische Ertragspotential um einen Mittelwert streut. Dabei wird dieses Potential zu einem Minimumfaktor im Sinne LIEBIGS, wobei dieses Ertragspotential für jede Einzelpflanze unterschiedlich ist. Unterstellt man für das genetische Ertragspotential der Einzelpflanzen eine Verteilungsfunktion, so erhält man als Gesamtertrag eine Funktion, die das Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs widerspiegelt (vgl. KUHLMANN, 1992, S. 225f).

BERG (1997) behandelt die unterschiedlichen Standorteigenschaften sowie die unvollkommene Vorrausicht vor allem über die Witterung. Dabei geht auch er zunächst von einer linear-limitationalen Produktionsfunktion aus. Unter der Annahme, daß Stickstoff der begrenzende Produktionsfaktor ist, kann die Beziehung zwischen Stickstoff-Düngung und Ertrag wie in Übersicht 21 grafisch dargestellt werden. Die Funktion kennzeichnet die Situation eines spezifischen Jahres mit einem bestimmten Witterungsverlauf, der aber zum Entscheidungszeitpunkt unbekannt ist. Das bedeutet, daß sowohl der mobilisierte Bodenvorrat als auch der Maximalertrag unsichere Größen sind.

Übersicht 21: Lineare Produktionsfunktion mit Zufallsschwankungen



Quelle: BERG, 1997, S. 5

Mathematisch läßt sich die Beziehung folgendermaßen formulieren:

$$Y = \frac{1}{a} \cdot (x + s) \quad \text{für } Y < Y_{\max}$$

$$Y = Y_{\max} \quad \text{sonst}$$

mit:	Y	= Ertrag
	a	= N-Gehalt
	Y_{\max}	= Maximalertrag
	x	= N-Düngung
	s	= mobilisierter Bodenvorrat

Die Parameter Y_{\max} und s werden als unkorrelierte Zufallsvariablen angenommen, die aus Normalverteilungen mit angegebenen Mittelwerten und Standardabweichungen stammen. Da diese Größen von denselben Witterungsverhältnissen beeinflusst werden, sind sie in der Realität auch korreliert. Dies wird aber aus Vereinfachungsgründen und wegen mangelnder Information über die Größenordnung einer möglichen Korrelation nicht berücksichtigt (vgl. BERG, 1997, S. 3ff).

Das System läßt sich somit als stochastisches Simulationsmodell formulieren (sog. Monte-Carlo-Simulation), um die Reaktion des Ertrags auf variierende N-Düngermengen zu analysieren. Bei der Monte-Carlo-Simulation werden aus den bekannten Verteilungsgesetzen der exogenen Variablen eine Stichprobe von Zufallszahlen erzeugt, und für jede Realisation ein Simulationsexperiment durchgeführt. Als Ergebnis erhält man eine Stichprobe von endogenen Variablen, die das Spektrum der möglichen Ausprägungen charakterisiert (vgl. BERG und KUHLMANN, 1993, S. 240f).

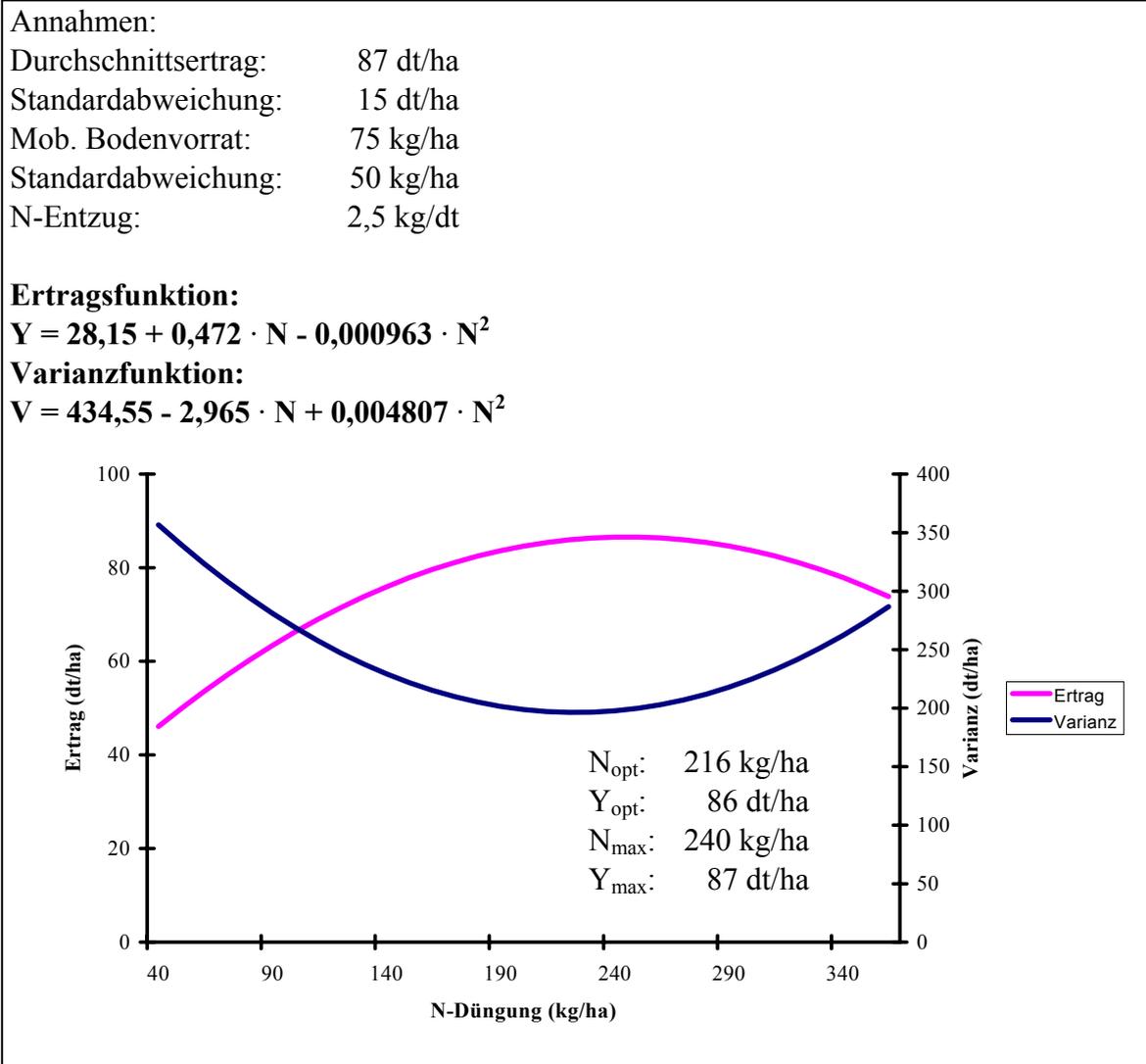
Die Simulation führt zu einer Schar von Punkten, die das Verhältnis von Ertrag und N-Düngung widerspiegeln. Betrachtet man die Durchschnittsfunktion der Simulation, so erkennt man den typischen ertragsgesetzlichen Verlauf mit abnehmenden Grenzerträgen im oberen Bereich (vgl. BERG, 1997, S. 5). Die Ergebnisse der Simulation können mittels der Kleinst-Quadrate-Schätzer in eine quadratische Ertragsfunktion überführt werden. Die benötigten Modellparameter können zunächst aus Schlagkarteidaten (Maximalertrag = beobachtetes Ertragspotential) und aus der Literatur (Streuung des Ertrags, mobilisierter Bodenvorrat sowie dessen Streuung und Stickstoffentzug) entnommen werden.

Die Herleitung der Ertragsfunktion nach diesem Ansatz zeigt Übersicht 22. Neben der Ertragsfunktion kann mit derselben Vorgehensweise auch eine Varianzfunktion in Abhängigkeit vom Stickstoffeinsatz geschätzt werden.

4.3.2.5 Verwendetes Verfahren

Zur Ermittlung der standortabhängigen Ertragsfunktionen für die Pflanzenproduktion im Modell wird der Ansatz von BERG (1997) herangezogen. Diese hat gegenüber den anderen vorgestellten Methoden den Vorteil, daß neben der Ertragsfunktion auch eine Varianzfunktion bestimmt werden kann. Weiterhin sprechen die der Realität entsprechenden plausiblen Funktionsverläufe bei den einzelnen Fruchtarten sowie die gute Datenverfügbarkeit für die Verwendung dieses Ansatzes. Die Methode wird jedoch weiter modifiziert, um neben der Abhängigkeit von der N-Düngung auch die Beziehungen zum Pflanzenschutzmitteleinsatz darzustellen. Ebenso erfolgen Veränderungen bei der Bestimmung der Modellparameter. Zur Ermittlung der Ertragsfunktion werden folgende Größen benötigt:

Übersicht 22: Herleitung einer Ertrags- und Varianzfunktion nach der Methode von BERG am Beispiel Winterweizen



Quelle: Eigene Berechnungen in Anlehnung an Daten von BERG, 1997, S. 7f, LK RHEINLAND, 2001

- Mobilisierter Bodenvorrat (N-Angebot des Bodens)
- Variationskoeffizient des Bodenvorrats zur Berechnung der Standardabweichung
- Maximalertrag
- Variationskoeffizient des Maximalertrages

Im folgenden wird die Herleitung der einzelnen Modellkomponenten allgemein beschrieben. Eine genaue Quantifizierung der Größen in Abhängigkeit von Fruchtart und Standort erfolgt in Kapitel 5.2.1

a) Mobilisierter Bodenvorrat

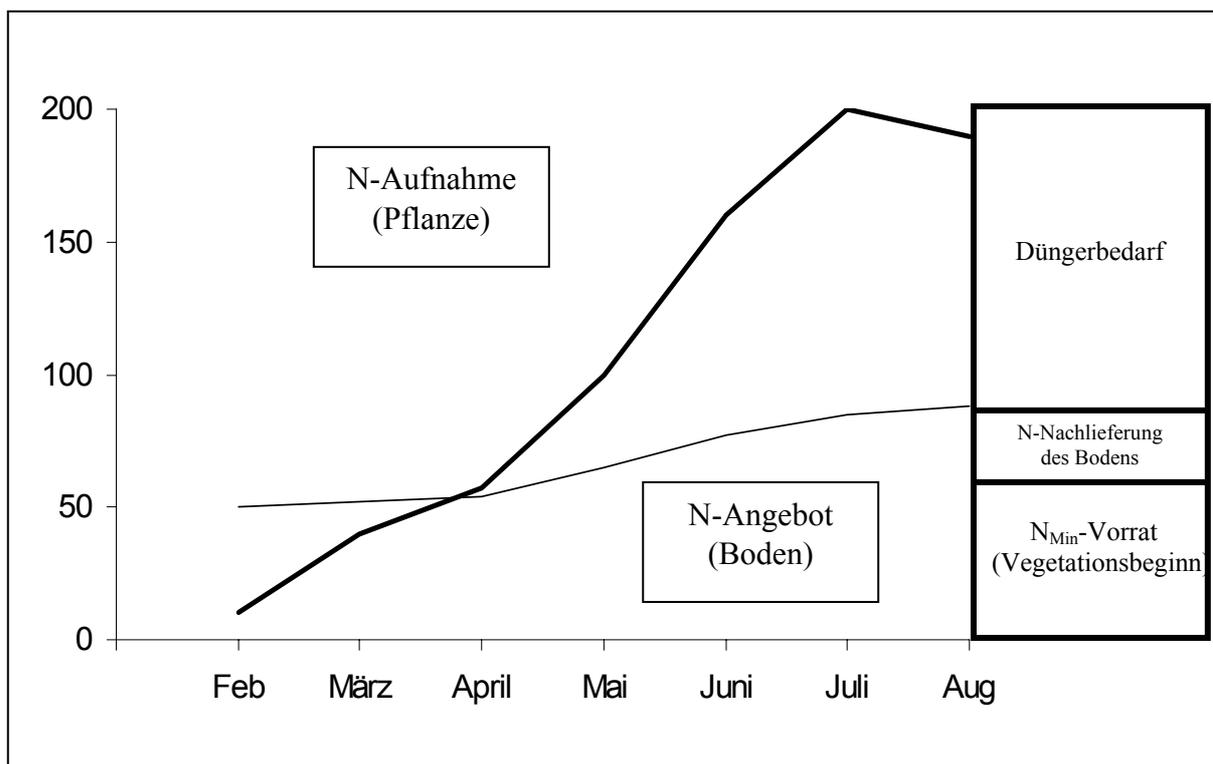
Das N-Angebot des Bodens kann man in zwei Fraktionen einteilen: Den zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessenen N_{Min} -Wert, sowie die weitere aus der organischen Bodensubstanz während der Vegetationszeit nachgelieferte N-Menge (vgl. SCHARPF, 1977, S. 10), somit gilt:

$$s = N_{\text{Nachl}} + N_{\text{Min}}$$

mit s = Mobilisierter Bodenvorrat
 N_{Nachl} = nachgelieferte N-Menge
 N_{Min} = mineralisierte N-Menge

Übersicht 23 zeigt den Zusammenhang zwischen N-Düngung und dem N-Angebot des Bodens.

Übersicht 23: N-Düngung unter Berücksichtigung des N-Bedarfs der Pflanze und des N-Angebots des Bodens



Quelle: Eigene Darstellung nach ENGELS, 1993, S. 2; WODSAK 1997, S. 6

Die N_{Min} -Werte liegen in der Regel als Frühjahrswerte für einzelne Schläge in Schlagkarteiauswertungen bzw. für Regionen bei Landwirtschaftskammern oder sonstigen Beratungsstellen fruchtart- und standortspezifisch vor. Die Stickstoffnachlieferung des Bodens ist im Detail von einer ganzen Reihe von Faktoren (Temperatur, Bodenfeuchte, Humusgehalt, Textur, etc.) abhängig und somit im Einzelfall nur durch dynamische Simulationsrechnung darstellbar (KERSEBAUM, 2002). Um eine für diese Arbeit hinreichende Genauigkeit zu erreichen, wird hier auf Faustzahlen (vgl. FREDE und DABBERT, 1998, S. 54) zurückgegriffen.

Sowohl die mineralische als auch die nachgelieferte N-Menge sind unsichere Parameter und unterliegen Schwankungen. Daher muß im folgenden ein Maß für deren Streuung angegeben werden.

b) Variationskoeffizient des mobilisierten Bodenvorrats

Der Variationskoeffizient wird zur Berechnung der Standardabweichung als Maß für die Streuung des N-Angebot des Bodens benötigt:

$$\sigma_s = \frac{s \cdot VK}{100}$$

mit: σ_s = Standardabweichung des mobilisierten Bodenvorrats
 s = mobilisierter Bodenvorrat
 VK = Variationskoeffizient

Auswertungen aus der Literatur (vgl. Tabelle 15) zeigen, daß der Variationskoeffizient des Bodenvorrats zwischen 15 und 70 % je nach Standort und Versuchsart schwanken. Im Durchschnitt liegt er bei 40 %. Deshalb wird auch im Modell auch mit einem Variationskoeffizient von 40 % unabhängig von Standort und Fruchtart gerechnet. Eine Änderung der absoluten Höhe der Standardabweichung erfolgt aber durch die unterschiedlichen Höhen beim N_{Min} -Wert und bei der N-Nachlieferung des Bodens.

c) Maximalertrag

Der Maximalertrag für einen Betrieb oder eine Region wird nach der Methode von KAZENWADEL (1999) berechnet (vgl. Kapitel 4.3.2.3). Die hierfür benötigten Erträge können auf Kreisebene aus allgemeinen Statistiken bzw. auf Betriebsebene aus Schlagkarteiauswertungen entnommen werden. Das gleiche gilt für N-Düngerpreise und Produktpreise. Die zur Verfügung stehende N-Menge ergibt sich aus der bereits oben erwähnten N_{Min} -Menge sowie der gedüngten N-Menge. Diese kann, unter der Annahme daß sich der Landwirt ordnungsgemäß verhält und unter Kenntnis der N_{Min} -Menge nach der „Modifizierten N_{Min} -Methode“ (vgl. LPP, 1998, S. 16f) berechnet werden.

d) Variationskoeffizient des Maximalertrages

Die Standardabweichung des Maximalertrages als Maß für die Streuung berechnet sich mit Hilfe des Variationskoeffizienten nach folgender Formel:

$$\sigma_y = \frac{Y \cdot VK}{100}$$

mit: σ_y = Standardabweichung des Maximalertrages
 Y = Maximalertrag
 VK = Variationskoeffizient

Tabelle 15: Streuung der N-Nachlieferung aus Literaturangaben

Autor	Bodenart	Min-Wert	Max-Wert	Mittelwert	σ	VK	Versuchsart
Kersebaum (1989)	Löß	34	118	78,3	42,4	54,12	Brutversuch
Kersebaum (1989)	Sand	35	126	75,25	38,52	51,19	Brutversuch
Kersebaum (1989)	Lehm	54	86	72,2	13,4	18,62	Brutversuch
Olf (1992)	Löß	28	115	63,2	23,2	36,67	Feldversuch
Heyland (1991)	„fruchtbarer Ackerstandort“	50	150	100	70,7	70,71	Berechnung ¹⁾
Scharpf (1977)		65	110	87,5	31,8	36,37	Feldversuch
Böhmer (1980)	Löß	50	150	100	70,7	70,71	Feldversuch
Molitor (1982)	Löß	75	93	84	12,7	15,15	Feldversuch
Molitor (1982)	Lehm	80	103	91,5	16,3	17,77	Feldversuch
Molitor (1982)	Sand	28	46	37,0	12,7	34,40	Feldversuch

¹⁾ Von den in Humusform vorliegenden Stickstoffbindungen werden jährlich 1 bis 3 % mineralisiert. Bei etwa 5000 kg N/ha N fallen daher je nach Jahreswitterung 50 bis 150 kg N/ha an.

Quelle: Eigene Darstellung

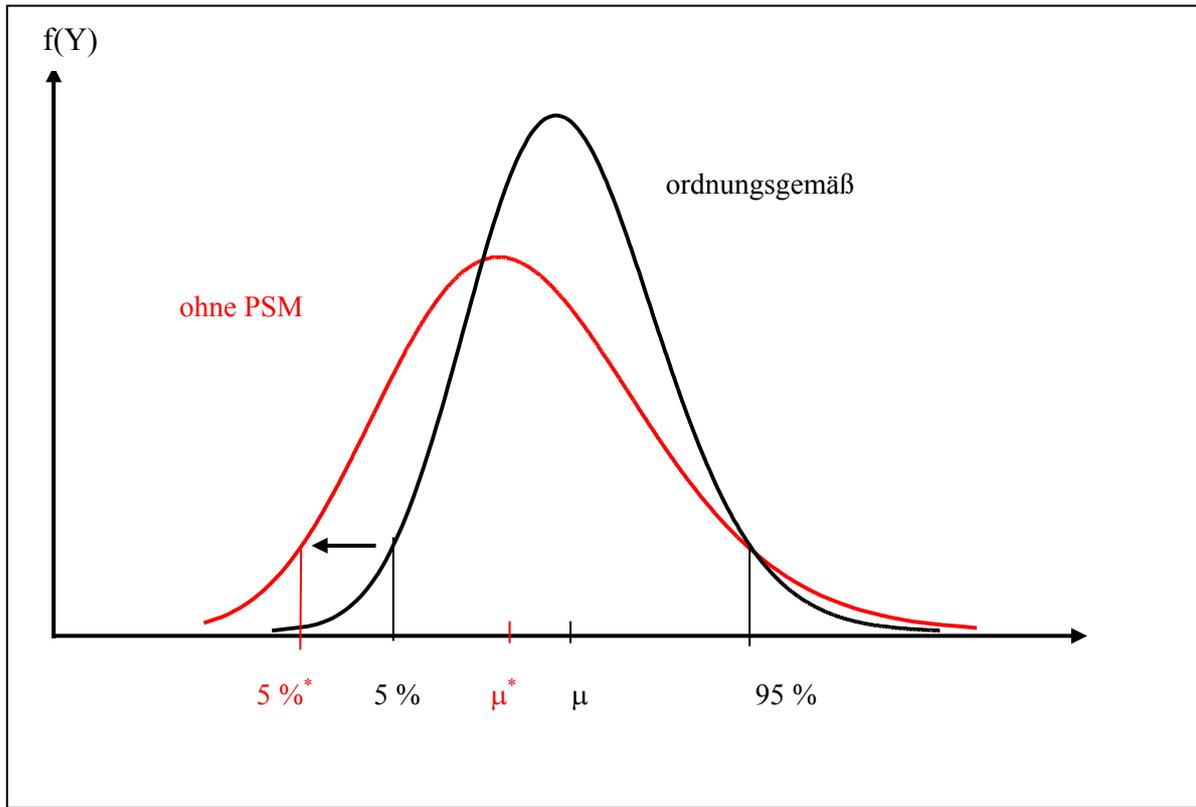
Die Ermittlung des Variationskoeffizienten des Ertrages bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung erfolgt fruchtartspezifisch durch Auswertung entsprechender Pflanzenschutzversuche.

Einbeziehen des Einfluß des Pflanzenschutzmitteleinsatz in die Ertragsfunktion

Die mit Hilfe der oben beschriebenen Parameter ermittelte Ertragsfunktion spiegelt die Situation bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung wieder, d.h. mit optimalem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Dabei läßt sich der unterstellte Maximalertrag als eine Verteilungsfunktion (Normalverteilung) in Abhängigkeit von Mittelwert und Standardabweichung darstellen (vgl. Übersicht 24).

Um den Einfluß des Pflanzenschutzmitteleinsatzes abzubilden, wird zunächst von folgender Annahme ausgegangen: Bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel oder Teilen davon (z.B. Herbizide, Wachstumsregler) verändert sich unter günstigen Bedingungen (z.B. Witterung) der Ertrag nicht, d.h. der Maximalertrag kann auch hier erreicht werden. Allerdings erhöht sich das Risiko, daß die Erträge bei ungünstiger Witterung zurück gehen. Betrachtet man

Übersicht 24: Verteilungsfunktion des Ertrags bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Verzicht auf PSM



Quelle: Eigene Darstellung

die Quantile der Verteilung (vgl. HARTUNG 1998, S. 114), so bedeutet dies, daß der Wert des 95 % Quantils der Verteilung konstant bleibt, sich der Wert des 5 % Quantils aber nach links verschiebt. Dies heißt nichts anderes, als daß alle 20 Jahre der Maximalertrag auch ohne Einsatz von Pflanzenschutzmittel erreicht werden kann.

Um die Wirkung des PSM Verzichtes zu quantifizieren, muß man jetzt untersucht werden, um welchen Wert sich das 5 % Quantil verschiebt. Unter Kenntnis dieses Wertes und unter Konstanthaltung des 95 % Quantils kann der Mittelwert und die Standardabweichung für die neue Verteilung bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel ermittelt werden. Es gilt folgender Zusammenhang (vgl. HARTUNG 1998, S. 147):

$$w_{\alpha}(\mu, \sigma^2) = \sigma \cdot u_{\alpha} + \mu$$

- mit $w_{\alpha}(\mu, \sigma^2)$ = α -Quantil einer $N(\mu, \sigma^2)$ -Verteilung
 σ = Standardabweichung der $N(\mu, \sigma^2)$ -Verteilung
 u_{α} = α -Quantil einer $N(0,1)$ -Verteilung
 μ = Mittelwert der $N(\mu, \sigma^2)$ -Verteilung

Das α -Quantil der Standardnormalverteilung ($N(0,1)$ -Verteilung) kann aus Tabellen entnommen werden (vgl. HARTUNG 1998, S. 891).

Bei den Ergebnissen der ohne Pflanzenschutzmittel behandelten Variante wird die Annahme getroffen, daß diese Werte nicht normalverteilt, sondern rechtsschief sind. Hierbei kann man durch logarithmieren erreichen, daß die Verteilung der logarithmierten Werte nahezu symmetrisch und sogar einer Normalverteilung gut angepasst ist (vgl. HARTUNG 1998, S. 151). Um im Modell die Konsistenz zu wahren, wird aber auch schon bei der Ermittlung der ordnungsgemäßen Ertragsfunktion von einer Lognormalverteilung der Erträge ausgegangen. Dies hat weiterhin den Vorteil, daß hierdurch mögliche negative Erträge in einzelnen Simulationsläufen ausgeschlossen werden.

Vorgehensweise zur Ermittlung der Quantilverschiebung

Hierzu werden verschiedene Pflanzenschutzversuche ausgewertet. Dabei werden zunächst die vorgefundenen Werte trendbereinigt und logarithmiert. Von den Ergebnissen der behandelten Variante werden dann Mittelwert, Standardabweichung sowie der Wert des 5 % Quantils berechnet. Von der unbehandelten Variante werden ebenfalls Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Mit Hilfe dieser beiden Größen kann jetzt berechnet werden, welches Quantil der Wert des 5 % Quantils der behandelten Variante bei der unbehandelten Variante darstellt. Die absoluten Werte von Mittelwert und Standardabweichung der PSM-Versuche können nicht im Modell verwendet werden, da sie abhängig vom Standort sind, an dem die Versuche durchgeführt werden. Hier wird aber unterstellt, daß die Wirkung der Pflanzenschutzmittel auf allen Standorten gleich ist, d.h. die Quantilverschiebung durch Verzicht auf PSM immer die gleiche Höhe hat. Ausgehend von Mittelwert und Standardabweichung des Ertrages bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung auf einem Standort können dann unter Kenntnis der Quantilverschiebung die Verteilungsparameter für die unbehandelten Varianten wie im folgenden Beispiel berechnet werden:

Ergebnisse der logarithmierten Werte der PSM-Versuche (Herbizidverzicht bei Winterweizen):

$$\begin{array}{ll} \mu_{\text{beh}} &= 4,6 & \sigma_{\text{beh}} &= 0,18 \\ \mu_{\text{unbeh}} &= 4,5 & \sigma_{\text{unbeh}} &= 0,26 \end{array}$$

Wert des 5 % Quantil der behandelten Variante:

$$w_{5\%} = 0,18 \cdot -1,6449 + 4,6 = 4,3$$

α -Quantil dieses Wertes der unbehandelten Variante:

$$\begin{aligned} 4,3 &= 0,26 \cdot u_{\alpha} + 4,5 \\ \Rightarrow u_{\alpha} &= (4,3 - 4,5) / 0,26 = -0,8 \Rightarrow \text{Wert entspricht dem 21 \% Quantil} \end{aligned}$$

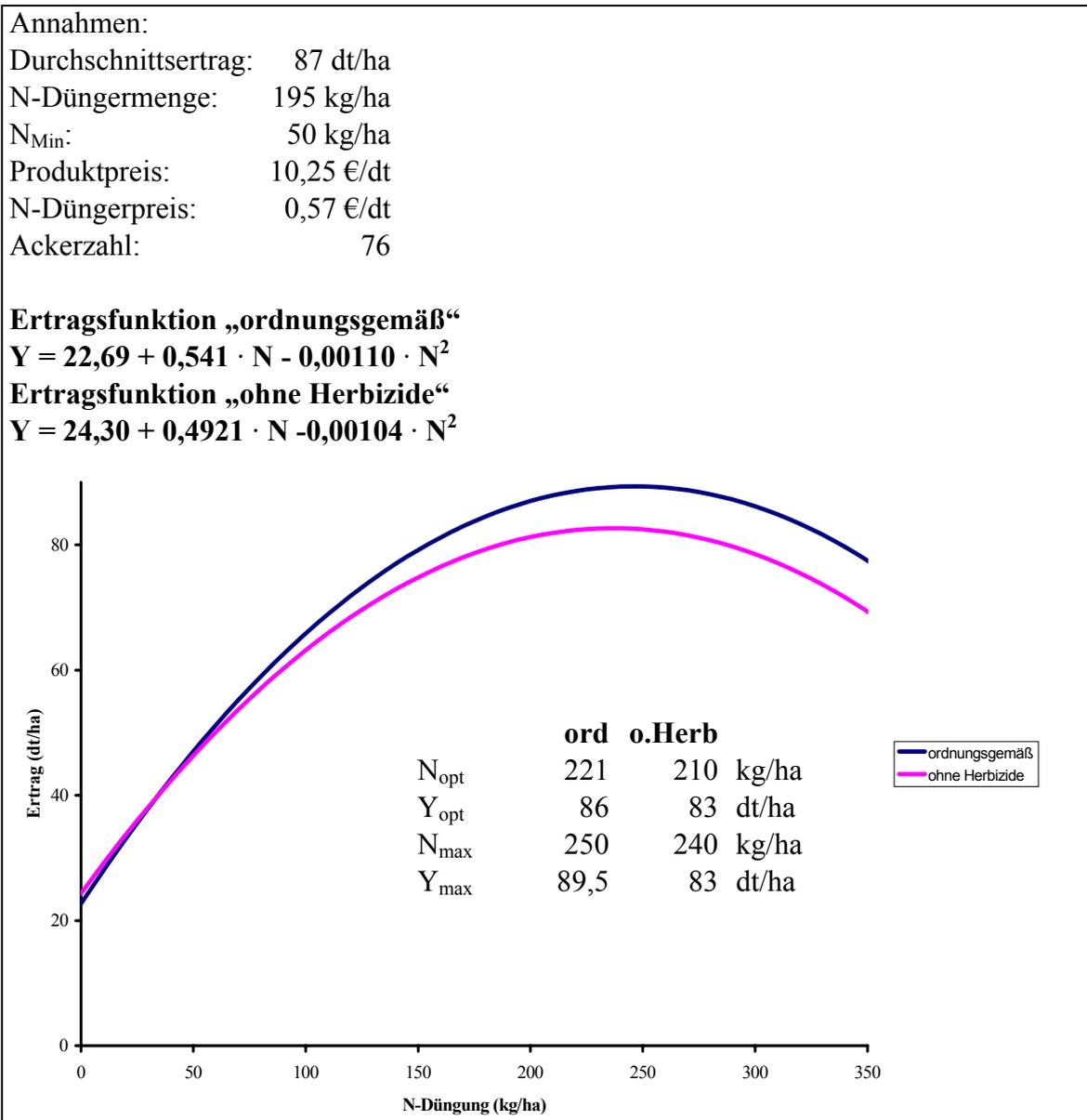
Unter der Annahme, daß das 95 % Quantil der behandelten und unbehandelten Variante konstant ist ergibt sich für die unbehandelte Variante:

$$\begin{aligned} 4,3 &= \sigma \cdot -0,8779 + \mu & \Rightarrow \text{Wert des alten 5 \% Quantils als neues 21 \%} \\ 4,9 &= \sigma \cdot 1,6449 + \mu & \Rightarrow \text{Wert des alten und neuen 95 \% Quantils} \end{aligned}$$

Man erhält zwei Gleichungen mit zwei Unbekannten, die man nun nach σ und μ auflösen kann. Somit erhält man die Parameter der Verteilung für eine unbehandelte Variante, die sich auf jeden Standort übertragen läßt.

Nach Entlogarithmieren der Werte der Verteilung erhält man durch Simulation und Regression Ertrags- und Varianzfunktionen für eine ordnungsgemäße Bewirtschaftung und einen Verzicht auf Herbizide. Die Herleitung der jeweiligen Ertragsfunktionen ist in Übersicht 25 dargestellt sind.

Übersicht 25: Ertragsfunktion bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Verzicht auf Herbizide nach der Modell verwendeten Methode am Beispiel Winterweizen



Quelle. Eigene Berechnungen in Anlehnung an Daten LK RHEINLAND, 2001

5. Modellbeschreibung

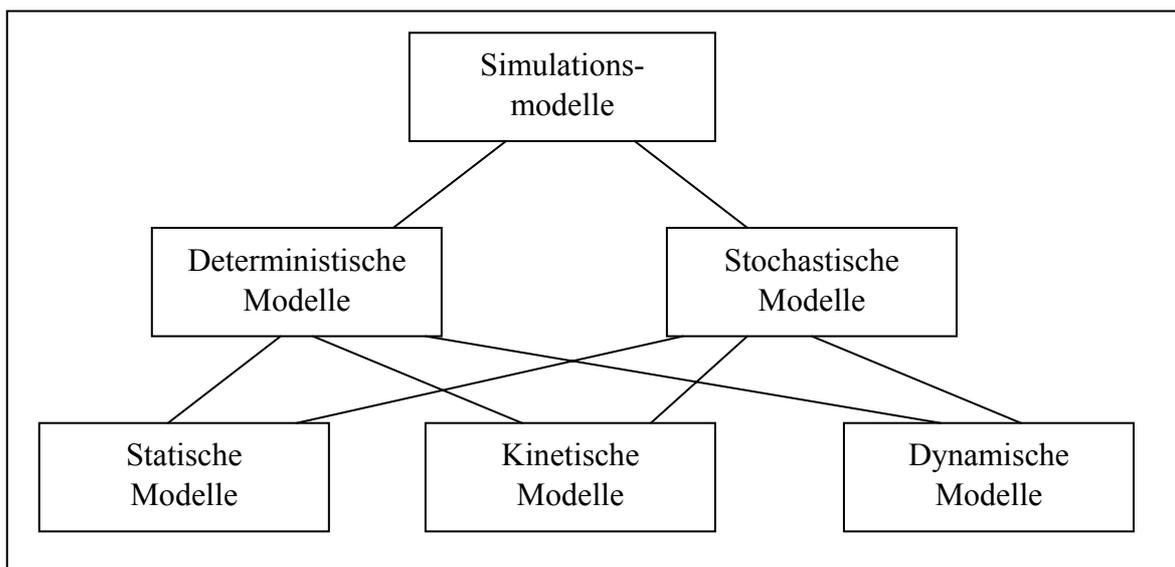
Ziel dieses Kapitels ist es, die Implementierung der erarbeiteten theoretischen Grundlagen zur ökonomischen und ökologischen Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen in einem eigenständig laufenden Computerprogramm zu beschreiben. Dafür werden zunächst einige Überlegungen zur Methode und zum technischen Aufbau des Modells getroffen und die verwendete Programmiersprache vorgestellt. Anschließend werden die Module des Modells mit allen Subsystemen detailliert erläutert.

5.1 Modellaufbau

Die Bewertung der Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen erfolgt mit einem Simulationsmodell zur einzelbetrieblichen landwirtschaftlichen Umweltbewertung. Daher werden zunächst einige grundsätzliche Überlegungen zur *Simulation* getroffen. „In Wissenschaft und Technik ist der Begriff Simulation die Bezeichnung für die Nachbildung eines realen Systems oder Prozesses und die Durchführung von Experimenten mit diesem Modell, um Einsichten über Strukturen und Verhaltensweisen des realen Systems zu gewinnen. Gemäß dieser Definition als Nachahmung der Wirklichkeit mit Hilfe eines Modells ist die Simulation der hauptsächliche Zweck jeglicher Modellbildung und zwar unabhängig davon, ob zum Studium des Modellverhaltens analytische oder numerische Lösungstechniken herangezogen werden“ (BERG und KUHLMANN, 1993, S. 137).

Übersicht 26 zeigt verschiedene Arten von Simulationsmodellen.

Übersicht 26: Arten von Simulationsmodellen und ihre Beziehung zueinander



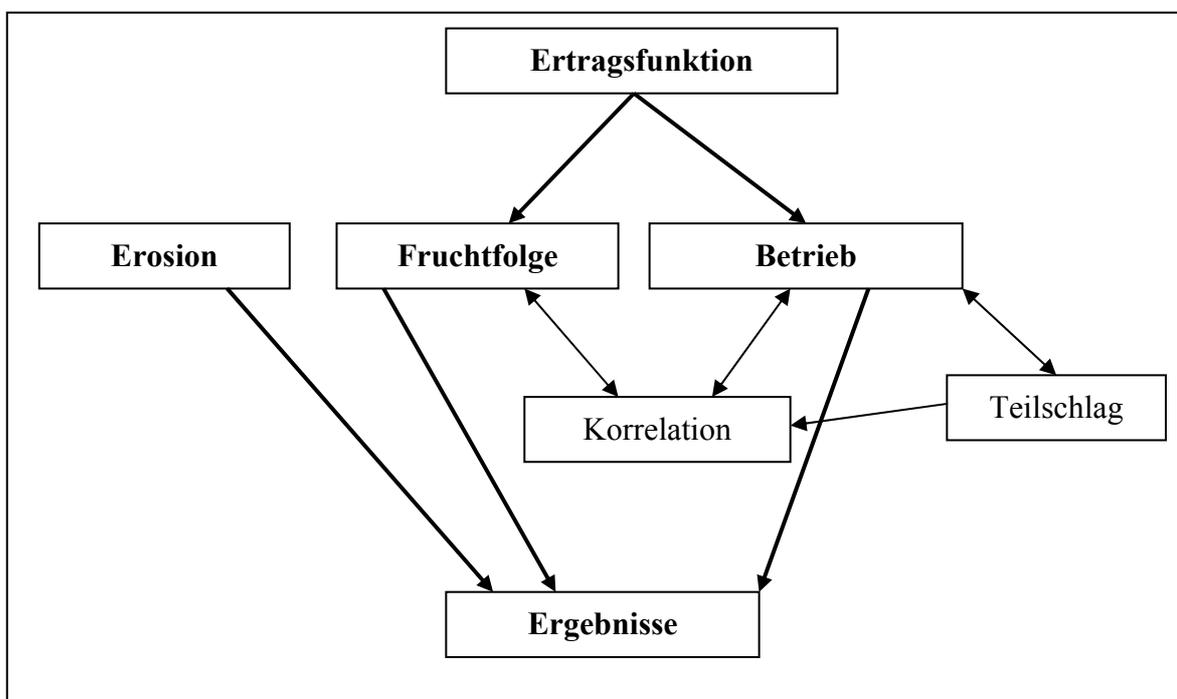
Quelle: HESSELBACH und EISGRUBER, 1967, S. 19

Das verwendete Modell ist von dynamischer Natur, da es die Auswirkungen über die Zeit darstellt. Die Zustandsvariablen lassen sich durch stetige Funktionen beschreiben, daher handelt es sich um ein kontinuierliches Modell. Obwohl der durch das Modell beschriebene Prozeß deterministischer Herkunft ist, finden stochastische Einflüsse (z.B. Witterung) Eingang in das Modell. Das Modell ist modular aufgebaut, d.h. sowohl vom technischen als auch vom inhaltlichen Aufbau können Subsysteme gebildet werden.

5.1.1 Technischer Aufbau

In Übersicht 27 ist die Struktur des Simulationsmodells und die Beziehungen der Modellteile untereinander dargestellt.

Übersicht 27: Struktur des Simulationsmodells



Quelle: Eigene Darstellung

Im Modellteil *Ertragsfunktion* werden die Ertrags- und Varianzfunktionen in Abhängigkeit vom Pflanzenschutzmitteleinsatz und der N-Düngung für die einzelnen Fruchtarten ermittelt. Diese stellen die Grundlagen für die Auswertungen in den Modellteilen *Fruchtfolge* und *Betrieb* dar. Der Modellteil besteht aus je einem Tabellenblatt für die Fruchtarten Wintergerste, Winterweizen, Winterroggen, Sommergerste, Sommerweizen, Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Ackerbohnen und Körnererbsen, in denen die jeweiligen Funktionen berechnet werden und grafisch wiedergegeben werden können (vgl. Anhang 8).

Im Modellteil *Fruchtfolge* erfolgt die ökonomische und ökologische Bewertung für einen Schlag mit einer vorgegebenen typischen Fruchtfolge über fünf Jahre. Flächenstilllegung,

ökologische Ausgleichsflächen etc. werden hier mit erfaßt und der Fruchtfolge anteilmäßig angerechnet.

Der Modellteil *Betrieb* wertet den gesamten Betrieb aus. Dafür stehen pro Jahr fünf verschiedene Schläge bzw. Bewirtschaftungseinheiten (= zusammengefasste Schläge mit ähnlichen Eigenschaften hinsichtlich angebauter Fruchtart, Bodenart, Hangneigung etc.) zur Verfügung. Der Modellteil *Betrieb* besteht wie der Modellteil *Fruchtfolge* aus sieben Tabellenblättern (vgl. Anhang 9). Im Tabellenblatt „Übersicht“ werden die allgemeinen Betriebsdaten (Anbaufläche der einzelnen Fruchtarten, Zuckerrübenkontingente etc.) eingegeben. Das Tabellenblatt „DB“ erfaßt alle zur Berechnung des Deckungsbeitrages und des Arbeitsaufwandes relevanten Daten der Produktionsverfahren inklusive des Zwischenfruchtanbaus. Der Unterschied zwischen den Modellteilen *Betrieb* und *Fruchtfolge* liegt hierin, daß beim Modellteil *Betrieb* fünf Schläge zur Verfügung stehen und die Größe der Fläche angegeben wird. Die grün hinterlegten Felder müssen vom Benutzer selbst eingegeben werden, die blau hinterlegten Felder werden vom Programm berechnet bzw. aus anderen Tabellenblättern übernommen. Im Tabellenblatt „Nährstoffe“ werden alle Daten zum Bereich Düngung für die Zwischen- und Hauptfrüchte aufgenommen und die einzelnen Nährstoffbilanzen und die potentielle Nitratkonzentration berechnet. Hierzu stehen dem Benutzer die im Anhang 4 aufgeführten Tabellen zur Verfügung. Im Tabellenblatt „FSL und Strukturelemente“ werden alle Größen für die Flächenstilllegung und die einzelnen Strukturelemente aufgenommen und berechnet. Zu den Strukturelementen zählen die verschiedenen Formen der Schonstreifen in Nordrhein-Westfalen und die ökologischen Ausgleichsflächen, die Ackerrandstreifen und die Saum- und Bandstrukturen in Rheinland-Pfalz. Das Tabellenblatt „Varianzen“ gibt die Ertrags- und Deckungsbeitragsvarianzen der einzelnen Produktionsverfahren wieder. In den Tabellenblättern „Ergebnisse NRW“ und „Ergebnisse RP“ werden die einzelnen Ergebnisse der Auswertungen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Teilnahme an den verschiedenen Agrarumweltmaßnahmen zusammen gefasst.

Um eine weitere Differenzierung zu erreichen kann jeder Schlag in zwei Teilschläge unterteilt werden. Dies erfolgt im Modellteil *Teilschlag*. Hier werden nur die schlagspezifischen Daten erfaßt und berechnet. Die ermittelten Kennzahlen werden anschließend wieder für die gesamte Bewirtschaftungseinheit zusammengefasst und in den Modellteil *Betrieb* übernommen.

Die zur Ermittlung der Einkommensvarianzen benötigten Korrelationen der Erlöse untereinander werden im Modellteil *Korrelation* bestimmt. Die dafür benötigten Größen werden aus den einzelnen Modellteilen (*Fruchtfolge*, *Betrieb*, *Teilschlag*) ausgelesen und daraus die Korrelation berechnet. Diese steht dann zur Berechnung der Einkommensvarianz in den Modellteilen *Fruchtfolge* und *Betrieb* zur Verfügung.

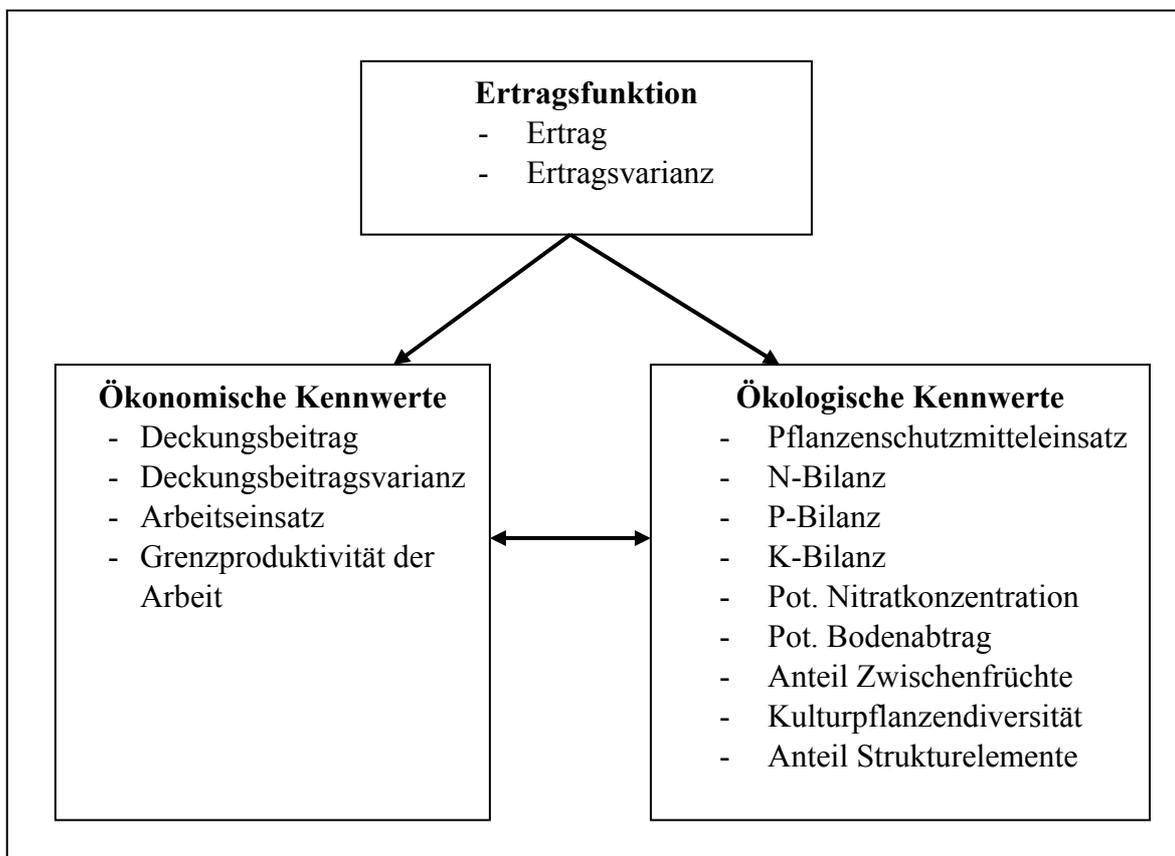
Der Modellteil *Erosion* ermittelt den potentiellen Bodenabtrag sowohl für eine Fruchtfolge, als auch für den Gesamtbetrieb über fünf Jahre (vgl. Anhang 10). Für die gesamtbetriebliche Auswertung stehen zehn Schläge bzw. Bewirtschaftungseinheiten zur Verfügung. Die für den Benutzer zur Eingabe der einzelnen Parameter wichtigen Faustzahlen (vgl. Anhang 7) stehen dem Benutzer als Tabellen zur Verfügung.

Im Modellteil *Ergebnisse* werden die Ergebnisse der Auswertungen auf den Ebenen Fruchtfolge und Gesamtbetrieb bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen differenziert nach den jeweiligen Bundesländer zusammen gefasst (vgl. Anhang 11). Die ökonomische Bewertung kann auch in Form eines Erwartungswert-Standardabweichungs-Diagramm grafisch wieder gegeben werden.

5.1.2 Inhaltlicher Aufbau

Inhaltlich liegt ein Modell vor, das im Kern die Definition von Produktionsaktivitäten mit ihren produktionstechnischen, ökonomischen und ökologischen Kennwerten beinhaltet, aus denen sich gesamtbetriebliche Erfolgsgrößen ableiten lassen. Dabei wird das Modell in die Module *Ertragsfunktion*, *ökonomische Kennwerte* und *ökologische Kennwerte* aufgeteilt, wobei die ökonomischen und ökologischen Größen zum Teil voneinander abhängig sind. In Übersicht 28 sind die Module des Modells dargestellt.

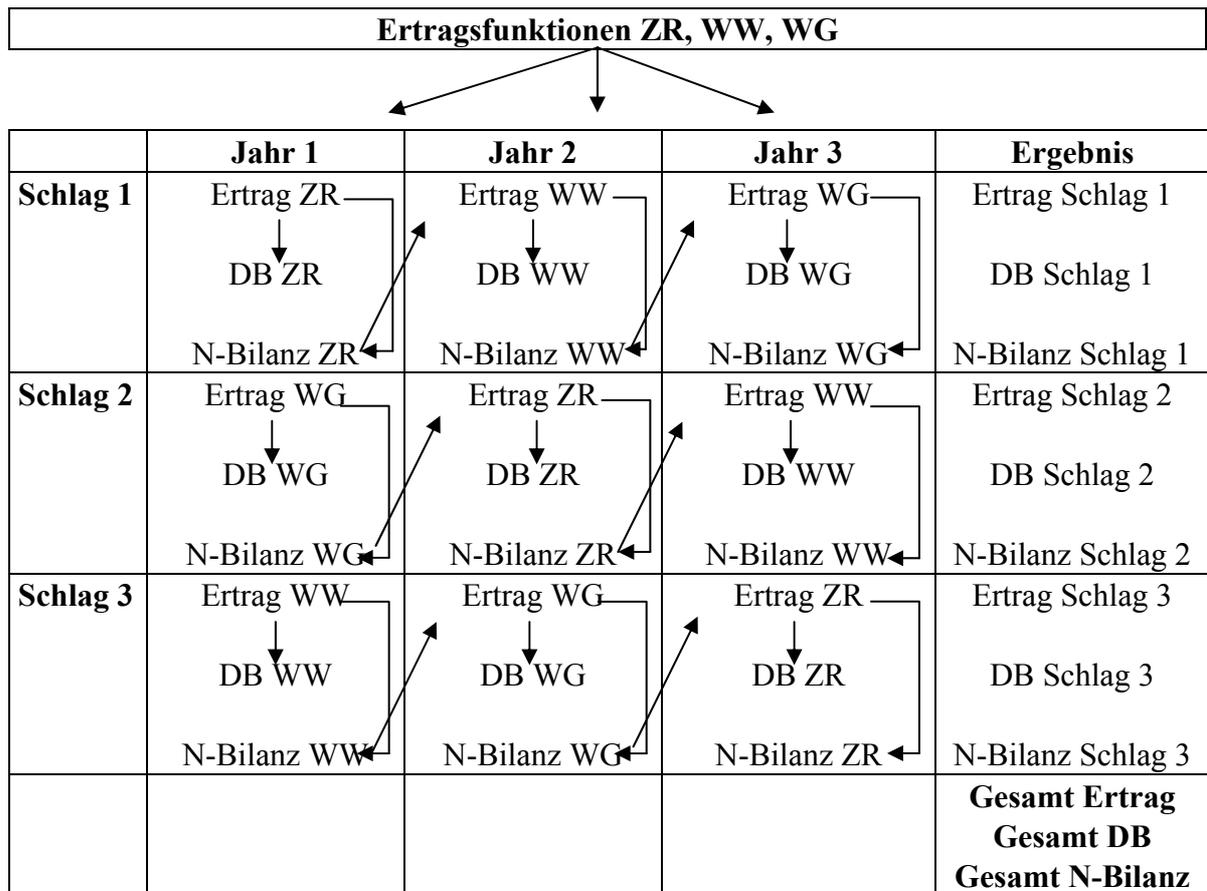
Übersicht 28: Module des Simulationsmodell



Quelle: Eigene Darstellung

Die detaillierte Beschreibung der einzelnen Module erfolgt in Kapitel 5.2. Übersicht 29 zeigt den Ablauf und die Verknüpfung der Module vereinfacht an einem Beispiel einer Fruchtfolge Zuckerrüben (ZR), Winterweizen (WW) und Wintergerste (WG) auf drei verschiedenen Schlägen in einem Betrieb. Hierbei wird sich nur auf die

Übersicht 29: Schema der Verknüpfungen und des Ablaufs im Modell



Quelle: Eigene Darstellung

Betrachtung des Ertrages, des Deckungsbeitrages und der N-Bilanz beschränkt. Das Modul Ertragsfunktion liefert die Ertragsfunktionen für die einzelnen Fruchtarten. Mit Hilfe des Ertrages können Deckungsbeitrag (Modul Ökonomie) und N-Bilanz (Modul Ökologie) ermittelt werden. Die N-Bilanz wiederum hat durch seine Einwirkung auf den N_{Min} des Folgejahres Einfluß auf den Ertrag der Folgefrucht und somit auch auf dessen Deckungsbeitrag und N-Bilanz. Über die einzelnen Kennwerte für einen Schlag für jedes Jahr kann ein aggregierter Kennwert für die Fruchtfolge auf diesem Schlag gebildet werden. Durch Addition der einzelnen Größen jedes Schlages wird die betriebsbezogene Erfolgsgröße ermittelt.

5.1.3 Programmierung

Ziel bei der technischen Umsetzung des Modells war es, ein eigenständig lauffähiges Computermodell zu entwickeln. Das Programm soll ohne großen Aufwand dem Nutzer (Landwirt, Berater, politischer Entscheidungsträger) einen Überblick über die einzelbetrieblichen Auswirkungen der Agrarumweltmaßnahmen im Bereich Ackerbau geben. Durch die Zielssetzung ist die Auswahl verfügbarer Programmierwerkzeuge eingeschränkt. Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten das Modell technisch umzusetzen. Aufgrund der Prämisse der eigenständigen Lauffähigkeit scheidet eine Tabellenkalkulation

mit eigener Makrosprache aus. Von daher kann nur eine höhere Programmiersprache zur Umsetzung des Modells herangezogen werden (vgl. DOLESCHEL, 1993, S. 98).

Hierbei wurde die Programmiersprache *Objekt Pascal* gewählt, die auf Turbo Pascal basiert und in der Programmierungssoftware *Borland Delphi, Version 6.0* implementiert ist. *Delphi* ist eine objektorientierte, visuelle RAD-Programmierungsumgebung (Rapid Application Development = schnelle Entwicklung von Anwendungen) (vgl. BORLAND, 2001, S. 1-1). *Objekt Pascal* ist eine höhere Compiler-Sprache mit strenger Typisierung, die eine strukturierte und objektorientierte Programmierung ermöglicht. Es verfügt über spezielle Leistungsmerkmale, die das Komponentemodell und die visuelle Entwicklungsumgebung von Delphi unterstützen (vgl. INPRISE, 1998, S. 2-1).

5.2 Modellmodule

In diesem Kapitel werden die einzelnen Module des Modells beschrieben. Dabei werden jeweils zunächst die benötigten Eingabeparameter, die vorgegebenen Werte sowie deren interne Verrechnung im Modul vorgestellt. Anschließend erfolgt die Quantifizierung modellrelevanter Parameter. Dies sind im Modul *Ertragsfunktion* die Größen, die aus Pflanzenschutzversuchen und Versuchen zu verschiedenen Saatverfahren zur Ermittlung der einzelnen Ertrags- und Varianzfunktionen hergeleitet werden. Im Modul *Ökonomische Kennwerte* wird die Bestimmung des Preises und der Preisvarianz von Zuckerrüben sowie die Herleitung der Erlöskorrelation der einzelnen Fruchtarten zur Berechnung der Einkommensvarianz erläutert. Die Herleitung und Quantifizierung modellrelevanter Parameter im Modul *Ökologische Kennwerte* erfolgt durch die Beschreibung des im Modell verwendeten N-Boden-Modells und der Bestimmung des Bodenabtrages durch Erosion. Schließlich werden die Ausgabeparameter der Module, die Parameter der jeweiligen Ertrags- und Varianzfunktionen im Modul *Ertragsfunktion*, die ökonomischen Indikatoren im Modul *Ökonomische Kennwerte* und die ökologischen Indikatoren im Modul *Ökologische Kennwerte* aufgezeigt.

5.2.1 Ertragsfunktion

Die Ertrags- und Varianzfunktionen werden in Abhängigkeit von N-Düngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz ermittelt, wobei für letzteres bei den Agrarumweltmaßnahmen der Verzicht auf Herbizide, auf Wachstumsregler und der komplette Verzicht auf chem.-synth. Pflanzenschutzmittel eine Rolle spielt. Des weiteren werden Ertrags- und Varianzfunktionen für Mulchsaatverfahren ermittelt .

5.2.1.1 Eingabeparameter

Die Tabellenblätter des Moduls *Ertragsfunktion* sind für alle Fruchtarten gleich aufgebaut (vgl. Anhang 7). Als Eingabegrößen dienen die erzielten Erträge, die Produktpreise, die eingesetzte N-Düngermenge, der N_{Min} Frühjahrswert und der N-Düngerpreis aus den Jahren 1995 bis 2001. Diese Größen können entweder betriebsindividuell erhoben oder aus

Statistiken entnommen werden. Das Programm berechnet aus diesen Größen den jeweiligen Mittelwert. Der Mittelwert des Ertrages und der Düngermenge gehen als „Optimalertrag“ und dazugehörige N-Düngermenge in die weiteren Berechnungen ein. Mit Hilfe der vorgegebenen langfristigen Relativ-Ertragsfunktionen nach KRAYL (1993) (vgl. Anhang 5) werden jetzt der „Maximalertrag“ und die dazugehörige N-Düngermenge berechnet (vgl. Kapitel 4.3.2.3).

Für den Variationskoeffizienten des Ertrages sind im Modell fruchtartspezifisch Werte vorgegeben, deren Herleitung in Kapitel 5.2.1.2 beschrieben wird. Mit Hilfe des „Maximalertrages“ und des Variationskoeffizienten wird die Standardabweichung des Ertrages berechnet.

Die N-Gehalte der einzelnen Kulturen werden ebenfalls vom Modell vorgegeben. Diese geben den gesamten Stickstoffgehalt der Fruchtarten (Hauptprodukt + Nebenprodukt) wieder. Zu deren Herleitung benötigt man die N-Gehalte von Haupt- und Nebenprodukt, sowie das Verhältnis von Haupt- und Nebenprodukt. Die N-Gehalte der einzelnen Fruchtarten sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: N-Gehalte der einzelnen Fruchtarten

Fruchtart	N-Gehalt Hauptprodukt (kg/dt)	N-Gehalt Nebenprodukt (kg/dt)	Verhältnis Haupt-/ Nebenprodukt	N-Gehalt der Fruchtart (kg/dt)
Wintergerste	1,65	0,5	0,9	2,1
Winterweizen	1,96	0,5	0,9	2,41
Winterroggen	1,51	0,5	1,0	2,01
Sommergerste	1,38	0,5	0,8	1,78
Sommerweizen	1,96	0,5	0,9	2,41
Winterraps	3,35	0,8	1,6	4,63
Zuckerrüben	0,18	0,36	0,65	0,41
Kartoffeln	0,32	0,46	0,28	0,45
Ackerbohnen	4,13	1,5	1,2	5,93
Körnererbsen	3,58	1,5	1,1	5,23

Quelle: Eigene Berechnung nach LK RHEINLAND (1995), S. 39 und 43

Zur Berechnung des mobilisierten Bodenvorrates benötigt man den N_{Min} Frühjahrswert sowie die Nachlieferung während der Vegetation. Diese wird vom Benutzer in Abhängigkeit von Ackerzahl eingegeben. Dafür sind fruchtartspezifische Faustzahlen vorgegeben, wie Tabelle 17 zeigt.

Bei Leguminosen wird anstelle der N-Nachlieferung des Bodens die Luftstickstoffbindung je dt Ertrag verwendet. Dabei wird als Ertrag der Mittelwert der erzielten Erträge von 1995 bis 2001 herangezogen. Die Luftstickstoffbindung beträgt unabhängig von der Ackerzahl bei Körnererbsen 4,4 kg/dt und bei Ackerbohnen 5,0 kg/dt (vgl. FREDE und DABBERT, 1998, S. 56).

Tabelle 17: Faustzahlen für die N-Nachlieferung (kg/ha) des Bodens während der Vegetation in Abhängigkeit von der Ackerzahl

Kulturart	ungünstig AZ < 40	mittel AZ 40 - < 60	günstig AZ ≥ 60
Weizen	0	0	10
Wintergerste	10	20	30
übriges Getreide	0	10	20
Raps	20	30	40
Kartoffeln	30	40	50
Zuckerrüben	60	80	100

Quelle: Eigene Darstellung nach FREDE und DABBERT, 1998, S. 54

Der Variationskoeffizient des mobilisierten Bodenvorrats in Höhe von 40 % über alle Fruchtarten und Standorte wird im Modell vorgegeben.

5.2.1.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter

Zur Ermittlung der Variationskoeffizienten der Erträge der einzelnen Fruchtarten und zur Bestimmung der Höhe der Quantilverschiebung bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel wurden verschiedene Sorten- und Pflanzenschutzversuche ausgewertet. Dazu wurden Ergebnisse der LK RHEINLAND (versch. Jgg., a und b) der LK WESTFALEN-LIPPE (versch. Jgg.), des VERSUCHSWESEN PFLANZENBAU IN RHEINLAND-PFALZ (versch. Jgg.), der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (versch. Jgg.) sowie der SÄCHSISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (versch. Jgg.) herangezogen.

Die Ermittlung der *Variationskoeffizienten der Erträge* bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung erfolgt anhand von Versuchsergebnissen mit vollständigen Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemittel. Dabei werden die entsprechenden Ertragsergebnisse trendbereinigt und der Variationskoeffizient für jede Fruchtart ermittelt. Diese werden anschließend mit in der Literatur gefundenen Werten verglichen und schließlich im Modell verwendet. Tabelle 18 zeigt die im Modell verwendeten Variationskoeffizienten der Erträge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung.

Zur Bestimmung der *Quantilverschiebung* bei Verzicht auf bestimmte Pflanzenschutzmittel wurden die Versuche herangezogen, die für den Pflanzenschutzmitteleinsatz bei den verschiedenen Agrarumweltmaßnahmen von Bedeutung sind, also der Verzicht auf Herbizide, der Verzicht auf Wachstumsregler und der vollständige Verzicht auf chem.-synth. Pflanzenschutzmittel. Da für letzteres keine geeigneten Versuchsergebnisse vorlagen wurde hier - unter der vereinfachten Annahme daß sich Fungizide und Wachstumsregler komplementär zueinander, diese beiden aber mit Herbiziden und Insektiziden additiv verhalten - Herbizid-, Insektizid- und kombinierte Fungizid- und Wachstumsreglerversuche zusammengefasst.

Tabelle 18: Variationskoeffizienten der Erträge der einzelnen Fruchtarten im Modell bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und Abgleich mit Literaturangaben

Fruchtart	Variationskoeffizient	Literaturangaben	
Wintergerste	19,19 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	21 %
		RASMUSSEN (1990)	18,4 %
		BERG (1997)	18,5 %
Winterweizen	15,37 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	20 %
		RASMUSSEN (1990)	12,9 % - 24 %
		SCHLIEPER (1998)	11,5 %
		BERG (1997)	17,6 %
Winterroggen	18,24 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	23 %
		RASMUSSEN (1990)	14,4 %- 23,6 %
		BERG (1997)	18,2 %
Sommergerste	17,04 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	24 %
		RASMUSSEN (1990)	15,5 %- 19,5 %
		BERG (1997)	14,9 %
Sommerweizen	15,04 %	-	
Winterraps	18,21 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	23 %
		BERG (1997)	19,5 %
Zuckerrüben	14,62 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	21 %
		RASMUSSEN (1990)	13,9 %- 22,9 %
Kartoffeln	18,71 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	21 %
		RASMUSSEN (1990)	20,7 %- 25,4 %
Ackerbohnen	25,16 %	SCHMITZ und HARTMANN (1993)	29 %
Körnererbsen	22,36 %	RASMUSSEN (1990)	26,2 %- 30,7 %

Quelle: Eigene Darstellung

Die Vorgehensweise der Bestimmung der Quantilverschiebung ist am Beispiel des Herbizidverzichts bei Winterweizen im Anhang 12 dargestellt. Tabelle 19 zeigt die Verschiebungen des 5 % Quantils bei den entsprechenden Pflanzenschutzmaßnahmen sowie deren Wert bei der Standardnormalverteilung ([0,1]-Verteilung) (vgl. HARTUNG, 1998, S. 891). Diese Werte werden benötigt, um die entsprechenden Werte bei einer gegebenen (μ, σ) -Verteilung zu berechnen. Da nicht für alle Maßnahmen und Fruchtarten genügend Versuchsergebnisse vorliegen, müssen bei einigen Werten Annahmen getroffen werden bzw. diese aus der Literatur hergeleitet werden.

Bei Sommergerste werden in den ausgewerteten Pflanzenschutzversuchen keine Wachstumsregler eingesetzt. Daher wird davon ausgegangen, daß diese hier keine Rolle spielen und somit auch keine Änderung durch diese Maßnahme eintritt. Bei Sommerweizen werden zum Teil Wachstumsregler eingesetzt, diese zeigen aber keine Wirkung auf den Ertrag, weshalb auch hier keine Quantilverschiebung angenommen wird.

Tabelle 19: Verschiebung des 5 % Quantil und Wert der (0,1)-Verteilung bei unterschiedlichen Pflanzenschutzmaßnahmen im Modell

Fruchtart	ohne Wachstumsregler		ohne Herbizide		ohne chem.-synth. PSM	
	Quantilver-schiebung	Wert der (0,1)-Verteilung	Quantilver-schiebung	Wert der (0,1)-Verteilung	Quantilver-schiebung	Wert der (0,1)-Verteilung
Wintergerste	9 %	-1,3408	21 %	-0,8064	44 %	-0,1510
Winterweizen	18 %	-0,9154	21 %	-0,8064	45 %	-0,1257
Winterroggen	16 %	-0,9945	16 %	-0,9945	38 %	-0,3055
Sommergerste	5 %	-1,6449	5 %	-1,6449	11 %	-1,2265
Sommerweizen	5 %	-1,6449	5 %	-1,6449	9 %	-1,3408
Winterraps	-	-	17 %	-0,9542	29 %	-0,5536
Zuckerrüben	-	-	10 %	-1,2816	18 %	-0,9154
Kartoffeln	-	-	18 %	-0,9154	30 %	-0,5244
Ackerbohnen	-	-	17 %	-0,9542	26 %	-0,6433
Körnererbsen	-	-	17 %	-0,9542	19 %	-0,9154

-: Maßnahme spielt bei Fruchtart keine Rolle

Quelle: Eigene Berechnungen

Auswertungen zum baden-württembergischen Agrarumweltprogramm „Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich“ (MEKA) zeigen, daß sich der Ertrag von Sommergetreide bei Verzicht auf Herbizide und gleichzeitiger mechanischer Unkrautbekämpfung nicht verändert (vgl. ZEDDIES und DOLUSCHITZ, 1996, S. 159), so daß auch hier keine Quantilverschiebung unterstellt wird.

Langjährige Versuche bei Kartoffeln belegen, daß der Ertrag bei Verzicht auf Herbizide durchschnittlich um 13 % zurückgeht (vgl. KORR, 1997, S. 24). Dies entspricht in etwa einer Verschiebung des 5 % Quantil zum 18 % Quantil. Bei vollständigen Verzicht auf chem.-synth. Pflanzenschutzmittel bei Kartoffeln ist zu beachten, daß hier zur Phythophtora Bekämpfung der Einsatz von Kupferpräparaten erlaubt ist. Deshalb werden hier die Versuche mit Einsatz von Kupferpräparaten ausgewertet (vgl. MEINCK, 1999, S. 188ff).

Bei Körnererbsen und Ackerbohnen fehlen Versuchsergebnisse zum Verzicht auf Herbizide. Hier wird unterstellt, daß diese Blattfrüchte hinsichtlich des Herbizideinsatzes die gleiche Wirkung wie Winterraps zeigen.

Versuche in Zuckerrüben zeigen, daß diese auch nur mit mechanischer und manueller (Handhacke) Unkrautbekämpfung unkrautfrei gehalten werden können und dadurch keine Ertragsverluste auftreten. Allerdings spielt hierbei die Unkrautbekämpfung innerhalb bestimmter Wachstumsstadien der Zuckerrübe eine entscheidende Rolle (vgl. BRÄUTIGAM, 1998, S. 60). Da ohne den Einsatz von Herbiziden eine zeitnahe Unkrautbekämpfung nicht immer möglich ist und auch die Unsicherheit der mechanischen Bekämpfung höher ist,

wird hier angenommen, daß sich das 5 % Quantil bei Verzicht auf Herbizide zum 10 % Quantil verschiebt.

Zur Ermittlung der Ertrags- und Varianzfunktionen in Abhängigkeit von Mulchsaatverfahren werden Versuche des Instituts für Zuckerrübenforschung Göttingen (vgl. WEGENER, 2001, S. 131ff) und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (vgl. NEUBAUER, 2001, S.19ff) ausgewertet. Dabei liegen für Zuckerrüben, Winterweizen, Sommergerste und Kartoffeln genügend Versuchsdaten vor. Bei Kartoffeln und Sommergerste kann keine Quantilverschiebung festgestellt werden, Bei Zuckerrüben und Winterweizen liegt eine leichte Quantilverschiebung vor. Für Sommerweizen wird die Annahme getroffen, daß er sich wie Sommergerste verhält, für die übrigen Fruchtarten wurde die gleiche Quantilverschiebung wie bei Winterweizen unterstellt. Die Quantilverschiebungen bei Mulchsaatverfahren sowie deren Werte bei der Standardnormalverteilung sind in Tabelle 20 dargestellt.

Tabelle 20: Verschiebung des 5 % Quantil und Wert der (0,1)-Verteilung bei Mulchsaatverfahren im Modell

Fruchtart	Mulchsaat	
	Quantilverschiebung	Wert der (0,1)-Verteilung
Wintergerste	7 %	-1,4758
Winterweizen	7 %	-1,4758
Winterroggen	7 %	-1,4758
Sommergerste	5 %	-1,6449
Sommerweizen	5 %	-1,6449
Winterraps	7 %	-1,4758
Zuckerrüben	8 %	-1,4051
Kartoffeln	5 %	-1,6449
Ackerbohnen	7 %	-1,4758
Körnererbsen	7 %	-1,4758

Quelle: Eigene Berechnungen

5.2.1.3 Ausgabeparameter

Ausgabegrößen des Moduls Ertragsfunktion sind die Parameter der quadratischen *Ertrags-* und *Varianzfunktionen* der einzelnen Fruchtarten bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, Verzicht auf Herbizide, Verzicht auf Wachstumsregler, Verzicht auf chem.-synth. Pflanzenschutzmittel und bei Mulchsaat.

Zur Ermittlung der Ertragsfunktion bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung wird zuerst mit Hilfe der Verteilungsparameter „Maximalertrag“ und „Standardabweichung“ eine Normalverteilung gebildet. Die Generierung von normalverteilten Zufallszahlen erfolgt im Delphi Modell mit Hilfe des nachfolgenden Algorithmus, der von BOX und MÜLLER (1958) entwickelt wurde (vgl. BERG und KUHLMANN, 1993, S. 248):

$$x = \sqrt{-2 \cdot \ln(r_1)} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot r_2)$$

„Darin sind r_1 und r_2 zwei voneinander $[0,1]$ gleichverteilte Zufallsvariablen. Deren Komposition über obige Formel liefert mit x eine standardnormalverteilte Zufallszahl“ (BERG und KUHLMANN, 1993, S. 248).

Die standardnormalverteilte Zufallsvariable x , die den Erwartungswert 0 und die Standardabweichung 1 aufweist läßt sich über die nachfolgende Beziehung in eine solche mit dem Erwartungswert μ und der Standardabweichung σ transformieren (vgl. BERG und KUHLMANN, 1993, S. 247):

$$z = \mu + x \cdot \sigma$$

mit: z = Normalverteilte Zufallszahl
 μ = Mittelwert der (μ, σ) -Verteilung
 x = Standardnormalverteilte Zufallszahl
 σ = Standardabweichung der (μ, σ) -Verteilung

Die oben genannte Formel ist im Delphi Modell in der Prozedur „R-Normal“ implementiert. Diese benötigt als Eingabeparameter den Mittelwert und die Standardabweichung einer Normalverteilung.

Um von einer Normalverteilung zu einer Lognormalverteilung zu gelangen, werden die Werte der Verteilung in 5.000 Simulationsläufen logarithmiert und von diesen Werten Mittelwert und Standardabweichung gebildet. Diese gehen als Verteilungsparameter in die eigentliche Simulation der Erträge ein. Dabei werden 5.000 Simulationsläufe nach folgender Beziehung durchgeführt:

$$Y_i = \text{Min} \left(\frac{N_j + R_Normal(\mu_s, \sigma_s)}{\text{Entzug}}, e^{R_Normal(\mu_{Y_{\max}}, \sigma_{Y_{\max}})} \right)$$

mit: Y_i = Ertrag im i-ten Simulationslauf
 $\text{Min}(x,y)$ = Liefert das Minimum der Argumente x und y
 N_j = N-Düngung in der j-ten Stufe
 R_Normal = Funktion zur Generierung normalverteilter Zufallsvariablen
 μ_s = Mittelwert des mobilisierten Bodenvorrates
 σ_s = Standardabweichung des mobilisierten Bodenvorrates
 Entzug = N-Gehalt der Kultur
 $\mu_{Y_{\max}}$ = Mittelwert des Maximalertrages (Lognormalverteilung)
 $\sigma_{Y_{\max}}$ = Standardabweichung des Maximalertrages (Lognormalverteilung)

Die N-Düngung wird in 10er Schritten von 0 auf 300 kg erhöht und für jede N-Düngungsstufe die entsprechenden Simulationsläufe durchgeführt, wobei von jeder Stufe Mittelwert und Varianz der simulierten Erträge gebildet wird. Man erhält so insgesamt eine Schar von 31 Punkten aus einer Kombination von Ertrag (bzw. Varianz) und N-Düngung, mit denen man mit Hilfe der Methode der Kleinsten Quadrate die Ertrags- und Varianzfunktionen ermitteln kann. Zusätzlich wird zu jeder Funktion das Bestimmtheitsmaß ausgegeben (vgl. HARTUNG, 1998, S. 579).

Zur Ermittlung der Ertrags- und Varianzfunktionen in Abhängigkeit vom Pflanzenschutzmitteleinsatz und vom Mulchsaatverfahren benötigt man die durch die Quantilverschiebung ermittelten Werte der Standardnormalverteilung, um die entsprechenden Verteilungsparameter der Lognormalverteilung der neuen Maßnahmen zu berechnen. Die neuen Verteilungsparameter lassen sich nach folgender Formel berechnen:

$$\sigma_Y = \frac{(\sigma_{Y_{\max}} \cdot w + \mu_{Y_{\max}}) - (\sigma_{Y_{\max}} \cdot -w + \mu_{Y_{\max}})}{-w_{ohne} + w}$$

und

$$\mu_Y = (\sigma_{Y_{\max}} \cdot -w + \mu_{Y_{\max}}) - (\sigma_Y \cdot w_{ohne})$$

mit: σ_Y = Standardabweichung der neuen Maßnahme (Lognormalverteilung)
 μ_Y = Mittelwert der neuen Maßnahme (Lognormalverteilung)
 $\sigma_{Y_{\max}}$ = Standardabweichung des Maximalertrages (Lognormalverteilung)
 $\mu_{Y_{\max}}$ = Mittelwert des Maximalertrages (Lognormalverteilung)
 w = Wert des 95 % Quantils der Standardnormalverteilung
 $-w$ = Wert des 5 % Quantils der Standardnormalverteilung
 w_{ohne} = Wert des entsprechend der Maßnahme verschobenen Quantils

Der Wert des 5 % Quantils bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, der durch die Beziehung

$$\sigma_{Y_{\max}} \cdot -w + \mu_{Y_{\max}}$$

bestimmt werden kann, wird bei der neuen Maßnahme zu folgenden Wert verschoben, der durch die Beziehung

$$\sigma_{Y_{\max}} \cdot -w_{ohne} + \mu_{Y_{\max}}$$

bestimmt wird. Das 95 % Quantil der alten und neuen Verteilung bleibt konstant und berechnet sich aus der Beziehung:

$$\sigma_{Y_{\max}} \cdot w + \mu_{Y_{\max}}$$

Durch Gleichsetzen und Differenzieren erhält man die oben genannten Formeln zur Berechnung von Ertrag und Standardabweichung, die jetzt als Verteilungsparameter zur Ermittlung der Ertrags- und Varianzfunktion wie bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung in die weiteren Berechnungen eingehen.

5.2.2 Ökonomische Kennwerte

Die Ein- und Ausgabegrößen für das Modul Ökonomische Kennwerte sind in den Modellteilen *Fruchtfolge* (vgl. Anhang 9), *Betrieb und Teilschlag* implementiert, deren formaler Aufbau ähnlich ist.

5.2.2.1 Eingabeparameter

Der wichtigste Eingabeparameter für die ökonomische Bewertung ist der Ertrag der jeweiligen Fruchtart. Dieser wird im Modell auf folgende Weise berechnet:

$$Y_i = R_Normal(\ln(a + b \cdot N - c \cdot N^2), \sigma_Y)$$

mit: Y_i = logarithmierter Ertrag
 R_Normal = Funktion zur Generierung normalverteilter Zufallsvariablen
 a, b, c = Parameter der Ertragfunktion
 N = N-Menge
 σ_Y = Standardabweichung des Ertrages (Lognormalverteilung)

Hiermit werden 5.000 Simulationsläufe durchgeführt, die Ergebnisse jeweils entlogarithmiert und der Mittelwert aus den Simulationsläufen gebildet. Da es sich um ein dynamisches Modell handelt und die Erträge für die nächsten fünf Jahre ermittelt werden, fließt der technische Fortschritt in Form des Trends bei der Ertragsentwicklung mit ein. Dafür werden die in Tabelle 21 aufgeführten jährlichen Wachstumsraten der Erträge der einzelnen Fruchtarten verwendet.

Tabelle 21: Jährliche Wachstumsraten der im Modell verwendeten Fruchtarten

Fruchtart	Jährliche Wachstumsrate (%)
Wintergerste	1,1
Winterweizen	1,3
Winterroggen	1,8
Sommergerste	1,1
Sommerweizen	1,2
Winterraps	1,5
Zuckerrüben	0,2
Kartoffeln	0,4
Ackerbohnen	0,9
Körnererbsen	0,9

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHLEEF (1999, S. 79)

Der Ertrag in den einzelnen Jahren ergibt sich somit aus:

$$Y_j = Mean(Y) \cdot \left(\frac{100 + Trend}{100} \right)^j$$

mit: Y_j = Ertrag im j-ten Jahr
 $Mean(Y)$ = Mittelwert des Ertrages der Simulationsläufe
 $Trend$ = Jährliche Wachstumsrate
 j = Anzahl der Jahre

Die zur Bestimmung des Ertrages benötigte N-Menge ergibt sich aus der Bedingung der optimalen speziellen Intensität, die sich aus der Ertragsfunktion ableiten läßt (vgl. Kapitel 4.3.1):

$$N = \frac{q - b}{2 \cdot c}$$

mit: N = N-Menge
 q = Faktorpreis (N-Dünger)
 p = Produktpreis
 b, c = Parameter der Ertragsfunktion

Bei Zuckerrüben wird nur mit 90 % der optimalen Düngermenge gerechnet, da hier N-Düngung und Zuckergehalt negativ korreliert sind (vgl. WINNER, 1981, S. 87ff) und dadurch in der Regel etwas unterhalb der optimalen Menge (bezogen auf den Ertrag) gedüngt wird, um einen entsprechenden Zuckergehalt zu erreichen.

Der zur Berechnung benötigte N-Düngerpreis und die Preise der Produkte (Ausnahme Rübenpreis: siehe Kapitel 5.2.2.2) werden vom Benutzer eingegeben. Um zur gedüngten N-Menge zu gelangen, wird von der optimalen N-Menge der N_{Min} Frühjahrswert und die der Pflanze zur Verfügung stehende organische N-Düngermenge abgezogen. Die gedüngte N-Düngermenge zur Hauptfrucht wird vom Modell vorgegeben, eventuell zur Zwischenfrucht ausgebrachte N-Dünger werden vom Benutzer eingegeben.

Zu Leguminosen wird in der Regel kein mineralischer N-Dünger ausgebracht. Daher wird hier keine optimale N-Menge berechnet, sondern nur der vorhandene N_{Min} Frühjahrswert und die organische N-Menge betrachtet. Die gedüngte N-Menge wird gleich Null gesetzt.

Organische Dünger werden im Modell in Form von Gülle (Schwein, Kuh, Mastbulle) in m^3/ha und in Form von Mist (Schwein, Kuh, Mastbulle) in dt/ha eingegeben. Dabei wird die Ausbringung zur Haupt- und zur Zwischenfrucht getrennt erfaßt. Bei der Bestimmung der Nährstoffgehalte in der Gülle muß vor allem beim Stickstoff zwischen dem tatsächlichen Nährstoffgehalt (abzüglich der Ausbringungs- und Lagerungsverluste) und der der Pflanze zur Verfügung stehende Nährstoffmenge (abhängig von der Pflanzenverfügbarkeit und den in den Vorjahren ausgebrachten organischen Düngern) unterschieden werden. Anhang 13 zeigt die Bestimmung der jeweiligen Größen ausgehend von der ausgebrachten Menge an organischen Düngern.

Weitere durch den Benutzer einzugebene Größen zur Berechnung der ökonomischen Kennwerte sind die Nebenleistungen, die Saatgutkosten, die Kosten für die einzelnen Pflanzenschutzmaßnahmen (Herbizide, Fungizide, Insektizide, Wachstumsregler und sonstige Pflanzenschutzmittel), die variablen Maschinenkosten, Ausgaben für Trocknung und Versicherung, sonstige Kosten, die Höhe der Ausgleichszahlungen, der Arbeitseinsatz und die gedüngten P- und K-Mengen sowie deren Preise, jeweils je Hektar eines Produktionsverfahrens.

Die Marktleistung der einzelnen Produktionsverfahren ergibt sich aus dem Ertrag, den Produktpreis sowie der Nebenleistung. Die Kosten für die mineralische Düngung werden aus den eingesetzten Nährstoffmengen und deren Preisen berechnet. Die Kosten der organischen Düngung ergeben sich aus den in den jeweiligen organischen Düngermitteln enthaltenen Nährstoffen abzüglich Ausbringungs- und Lagerungsverlusten und den Preisen für die mineralischen Nährstoffe. Die Gesamtkosten für die Düngung werden aus organischer und mineralischer Düngung ermittelt. Die gesamten Kosten für den Pflanzenschutzmittelaufwand wird aus den Kosten für die einzelnen Maßnahmen berechnet. Der Zinsansatz wird im Modell aus der Hälfte des Umlaufkapitals (Kosten für Saatgut, Düngung, Pflanzenschutz, variablen Maschineneinsatz, Trocknung, Versicherung und Sonstiges) multipliziert mit einem Zinssatz von 4 % ermittelt. Die Summe der variablen Spezialkosten berechnet das Modell aus den einzelnen Kostenkomponenten.

Bei den Zwischenfrüchten werden vom Benutzer die Kosten für Saatgut, die variablen Maschinenkosten und die eingesetzten mineralischen und organischen Nährstoffmengen eingegeben. Das Modell berechnet daraus die Kosten für die Düngung sowie die gesamten Kosten für den Zwischenfruchtanbau. Diese werden zu dem Deckungsbeitrag der folgenden Hauptfrucht angerechnet. Die Kosten der im fünften Jahr angebauten Zwischenfrüchte werden der Hauptfrucht im ersten Jahr angerechnet.

Die Flächenstilllegung wird mit der Art, den Saatgut- und den variablen Maschinenkosten sowie den benötigten Arbeitseinsatz erfaßt. Bei den einzelnen Strukturelementen wird noch zusätzlich die Größe der Flächen mit eingegeben.

5.2.2.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter

Bei *Zuckerrüben* besteht durch das Quotensystem die Besonderheit, daß hier kein einheitlicher Marktpreis existiert, sondern in Abhängigkeit von der Quotenerfüllung ein Mischpreis berechnet wird. Zur Bestimmung dieses *Mischpreises* werden die A- und B-Rübenquote des Betriebes sowie die Preise für A-, B-, C1- und C2-Rüben, die vom Benutzer eingegeben werden, sowie der gesamte Rübenanbau (Ertrag je Hektar multipliziert mit dem Anbauumfang) benötigt. Die C1 Rübenmenge berechnet sich aus 10 % des A-Kontingents. Der Rübenanbau wird im Modell in 5.000 Simulationsläufen ermittelt (als Produktpreis zur Berechnung der optimalen Düngermenge wird hier der A-Rübenpreis eingesetzt). In jedem Simulationslauf werden anschließend die entsprechenden A- B-, C1 und C2 Rübenmengen nach folgender Vorgehensweise berechnet:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Menge}} &= \text{Min}(\text{Ertrag}, A_{\text{Kontingent}}) \\
 B_{\text{Menge}} &= \text{Min}(\text{Ertrag} - A_{\text{Menge}}, B_{\text{Kontingent}}) \\
 C1_{\text{Menge}} &= \text{Min}(\text{Ertrag} - A_{\text{Menge}} - B_{\text{Menge}}, A_{\text{Menge}} \cdot 0,1) \\
 C2_{\text{Menge}} &= \text{Ertrag} - A_{\text{Menge}} - B_{\text{Menge}} - C1_{\text{Menge}}
 \end{aligned}$$

Der Erlös der Zuckerrüben wird errechnet, indem man die einzelnen Rübenmengen mit den entsprechenden Preisen multipliziert. Dividiert man den Erlös durch den Rübenanbau, so erhält man den Durchschnittspreis für jeden Simulationslauf. Der im Modell verwendete

Rübenmischpreis wird aus dem Mittelwert aller Simulationsläufen bestimmt. Hierbei wird auch die *Standardabweichung* des Rübenpreises berechnet.

Wie in Kapitel 4.2.3 aufgezeigt, ist die Einkommensvarianz neben der Deckungsbeitragsvarianz der einzelnen Produktionsverfahren auch von der *Korrelation der Erlöse der Fruchtarten* untereinander abhängig. Die Korrelation der Erlöse ist abhängig von der Korrelation der Preise, der Erträge sowie der Korrelation zwischen Preisen und Erträgen. Zur Ermittlung der Korrelation der Preise wurden Preisreihen für die Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Braugerste (Sommergerste), Winterroggen und Winterraps von 1990 bis 2001 aufgestellt. Die Daten wurden aus Statistiken entnommen (vgl. ZMP, versch. Jgg., a) und trendbereinigt. Für Sommerweizen wurden die gleichen Preise wie für Winterweizen unterstellt. Mit Hilfe dieser Preisreihen wurden die Korrelationskoeffizienten der Preise ermittelt. Der Korrelationskoeffizient als Maß für den Zusammenhang zwischen zwei Größen berechnet sich nach folgender Formel (vgl. HARTUNG, 1998, S. 546):

$$\text{Corr}_{X,Y} = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

wobei

$$\text{Cov}(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$$

mit: $\text{Corr}_{X,Y}$ = Korrelation zwischen X und Y
 $\text{Cov}(X,Y)$ = Kovarianz zwischen X und Y
 σ = Standardabweichung
 x_i = beobachtete X-Werte
 μ_x = arithmetisches Mittel der X-Werte
 y_i = beobachtete Y-Werte
 μ_y = arithmetisches Mittel der Y-Werte

Für Hackfrüchte (Kartoffeln und Zuckerrüben) wurde unterstellt, daß hier die Preise unabhängig zu den Preisen der übrigen Fruchtarten sind, d.h. die Korrelation beträgt Null. Die gleichen Annahmen wurden für Leguminosen (Körnererbsen und Ackerbohnen) getroffen, wobei hier die Korrelation untereinander gleich eins gesetzt wurde.

Zur Bestimmung der Korrelation der Erträge wurden für die Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Braugerste (Sommergerste), Winterroggen und Zuckerrüben Schlagkarteiauswertungen des Arbeitskreis für Betriebsführung der Köln-Aachener Bucht (vgl. LK RHEINLAND, versch. Jgg., c) herangezogen. Für die übrigen Fruchtarten wurden die Erträge aus Statistiken auf Bundeslandebene Nordrhein-Westfalen entnommen (vgl. ZMP, versch. Jgg., a und b). Die Daten wurden ebenfalls trendbereinigt und die Korrelation der Erträge analog zu der Korrelation der Preise berechnet.

Die Korrelation zwischen Preisen und Erträgen spielt in der Realität nur bei den Fruchtarten eine Rolle, die keiner Marktordnung unterliegen. Daher wird diese Größe im

Modell nur für Kartoffeln bestimmt. Hierbei wurde eine Negativkorrelation von -0,67 festgestellt. Hier ist in der Zukunft jedoch davon auszugehen, daß sich diese aufgrund einer stärkeren Globalisierung der Märkte gegen Null tendieren wird. Bei den übrigen Fruchtarten wurde der Korrelationskoeffizient zwischen Preisen und Erträge gleich Null gesetzt. Die kombinierte Korrelationsmatrix der Erträge und Preise ist im Anhang 14 dargestellt.

Die Bestimmung der Korrelation der Erlöse erfolgt mit Hilfe des Risikoanalysen und Simulations-Add-In @Risk in Microsoft Excel (vgl. PALISADE CORPORATION, 2001). Hier wurde zunächst in 5.000 Simulationsläufen die Erlöse der einzelnen Fruchtarten ermittelt. Für die dafür benötigten Preise und Erträge wurde eine Lognormalverteilung unterstellt (um die Konsistenz mit dem Delphi Modell zu wahren und negative Preise bzw. Erträge auszuschließen), in der die Korrelation der Preise und Erträge (ausgedrückt durch die Korrelationsmatrix) mit berücksichtigt wird. Die Mittelwerte für Erträge und Preise und deren jeweilige Standardabweichung wurden aus den Daten der Modellbetriebe übernommen. Aus den jeweiligen Erlösen der einzelnen Simulationsläufen wurde eine Korrelationsmatrix aufgestellt.

Nach dieser Vorgehensweise wurde für jeden Modellbetrieb und jede Agrarumweltmaßnahme eine Korrelationsmatrix erstellt. Hier zeigte sich, daß nur sehr geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Matrizen vorlagen und somit eine allgemeingültige Korrelationsmatrix der Erlöse im Modell hinterlegt werden kann. Tabelle 22 zeigt die im Modell implementierte Korrelationsmatrix der Erlöse.

Tabelle 22: Korrelationsmatrix der Erlöse im Modell

	WW	WG	WR	Raps	BG	SW	Erbsen	Bohnen	Ka	ZR
WW	1,00									
WG	0,70	1,00								
WR	0,60	0,45	1,00							
Raps	0,10	0,35	-0,05	1,00						
BG	0,35	0,00	0,55	-0,15	1,00					
SW	0,80	0,50	0,70	-0,05	0,45	1,00				
Erbsen	0,20	0,20	-0,15	0,20	0,05	0,20	1,00			
Bohnen	0,25	0,35	0,20	0,40	0,01	0,15	0,55	1,00		
Ka	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	0,05	0,00	0,05	0,05	1,00	
ZR	-0,25	0,05	-0,40	0,05	-0,35	-0,25	-0,05	0,15	0,10	1,00

mit WW = Winterweizen, WG = Wintergerste, WR = Winterraps, BG = Braugerste, SW = Sommerweizen, Ka = Kartoffeln, ZR = Zuckerrüben

Quelle: Eigene Berechnungen

5.2.2.3 Ausgabeparameter

Als ökonomische Ausgabeparameter werden zunächst die Erwartungswerte der *Deckungsbeiträge* der einzelnen Fruchtarten ermittelt. Der Deckungsbeitrag berechnet sich

aus Marktleistung abzüglich der proportionalen Spezialkosten zuzüglich der allgemeinen aktionsgebundenen Prämien (Ausgleichszahlungen) und weiteren Prämien für z.B. Agrarumweltmaßnahmen. Zur Berechnung des Erwartungswertes des Deckungsbeitrages von Kartoffeln muß zusätzlich die Korrelation zwischen Ertrag und Preis ausgedrückt durch die Kovarianz dieser beiden Größen (vgl. Kapitel 5.2.2.2) berücksichtigt werden. Daher wird der Erwartungswert des Deckungsbeitrages von Kartoffeln nach folgender Formel bestimmt (vgl. BERG, 1997, S. 10):

$$E(DB) = ML - SK_{prop} + Pr + Cov(Y, P)$$

wobei

$$Cov(Y, P) = Corr_{Y,P} \cdot \sigma_Y \cdot \sigma_P$$

mit: E(DB):	Erwartungswert des Deckungsbeitrages
ML:	Marktleistung
SK _{prop} :	Proportionale Spezialkosten
Pr:	Aktionsgebundene Prämien
Cov(Y,P):	Kovarianz zwischen Ertrag und Preis
Corr _{Y,P} :	Korrelationskoeffizient zwischen Ertrag und Preis (bei Kartoffeln -0,67)
σ _Y :	Standardabweichung Ertrag
σ _P :	Standardabweichung Preis

Werden Zwischenfrüchte angebaut, so sind deren Kosten in dem Deckungsbeitrag der folgenden Hauptfrucht mit berücksichtigt. Bei Aufteilung eines Schrages in zwei Teilschläge wird auch der kombinierte Deckungsbetrag für den Hauptschlag ausgegeben. Der Gesamtdeckungsbeitrag berechnet sich aus der Summe der einzelnen Deckungsbeiträge multipliziert mit den jeweiligen Anbauumfängen der Produktionsverfahren inklusive Flächenstilllegung und Strukturelemente. Bei der Auswertung zur Fruchtfolge wird der Deckungsbeitrag der Flächenstilllegung bzw. der Strukturelemente anteilmäßig am Gesamtdeckungsbeitrag der Fruchtfolge verrechnet:

$$DB_{gesamt} = \sum DB_i \cdot (1 - (c_{FSL} + c_{Struktur})) + DB_{FSL} \cdot c_{FSL} + DB_{Struktur} \cdot c_{Struktur}$$

mit: DB _{gesamt}	= Gesamtdeckungsbeitrag der Fruchtfolge
DB _i	= Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren
DB _{FSL}	= Deckungsbeitrag der Flächenstilllegung
c _{FSL}	= Anbauanteil der Flächenstilllegung
DB _{Struktur}	= Deckungsbeitrag der Strukturelemente
c _{Struktur}	= Anbauanteil der Strukturelemente

Die *Grenzproduktivität der Arbeit* der einzelnen Produktionsverfahren berechnet sich aus dem Deckungsbeitrag dividiert durch den *Arbeitseinsatz* der einzelnen Fruchtarten. Der Arbeitseinsatz der Zwischenfrüchte wird der folgenden Hauptfrucht zugeschlagen. Der gesamte Arbeitseinsatz ergibt sich aus der Summe der einzelnen Fruchtarten, wobei die Verrechnung der Flächenstilllegung und der Strukturelemente wie beim Deckungsbeitrag

erfolgt. Die gesamte Grenzproduktivität der Arbeit ergibt sich aus dem Gesamtdeckungsbeitrag dividiert durch den gesamten Arbeitseinsatz.

Die Berechnungen zur *Varianz* der einzelnen Produktionsverfahren und des Einkommens erfolgt im Modell nach dem in Kapitel 4.2.3 beschriebenen Verfahren. Die Ertragsvarianz berechnet sich aus der im Modul Ertragsfunktion hergeleiteten Varianzfunktion für die jeweilige Fruchtart und Maßnahme und der der Pflanze zur Verfügung stehenden N-Menge nach folgender Formel:

$$\sigma_Y^2 = a + b \cdot N + c \cdot N^2$$

mit: σ_Y^2 = Ertragsvarianz
 a, b, c = Parameter der quadratischen Varianzfunktion
 N = N-Menge

Die Standardabweichung ergibt sich entsprechend aus der Wurzel der Varianz.

Die Preisvarianz berechnet sich für Zuckerrüben nach der in Kapitel 5.2.2.2 beschriebenen Verfahren. Bei Getreide und Winterraps wird angenommen, daß der Variationskoeffizient 15 % beträgt, bei Kartoffeln 60 % (vgl. BERG, 1997, S. 11). Bei Kartoffeln besteht außerdem eine Korrelation zwischen Preisen und Erträgen in Höhe von -0,67 (vgl. Kapitel 5.2.2.2). Für die übrigen Fruchtarten wird angenommen, daß diese Preise und Erträge voneinander unabhängige Größen sind. Die Varianzen der Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtarten errechnen sich somit im Modell bei Getreide, Winterraps und Zuckerrüben aus:

$$\sigma_{DB}^2 = p^2 \cdot \sigma_Y^2 \cdot \sigma_p^2 \cdot Y^2$$

und bei Kartoffeln:

$$\sigma_{DB}^2 = p^2 \cdot \sigma_Y^2 \cdot \sigma_p^2 \cdot Y^2 + 2 \cdot p \cdot Y \cdot -0,67$$

mit: σ_{DB}^2 = Varianz des Deckungsbeitrages
 p = Produktpreis
 Y = Ertrag
 σ_Y^2 = Ertragsvarianz
 σ_p^2 = Preisvarianz

Die Betrachtung der Varianz spielt nur bei der Marktleistung der Produktionsverfahren eine Rolle, d.h. es wird davon ausgegangen, daß sowohl die Kosten als auch gezahlte Prämien (Ausgleichszahlungen, Agrarumweltprämien) sichere Größen sind und keinen Schwankungen unterliegen. Daher beträgt die DB-Varianz bei der Flächenstilllegung und bei den Strukturelementen im Modell Null.

Die gesamte Einkommensvarianz berechnet sich im Modell unter Verwendung der in Kapitel 5.2.2.2 beschriebenen Korrelationsmatrix der Erlöse der einzelnen Fruchtarten aus:

$$\sigma_{\text{Gesamt}}^2 = \sum_{i=1}^n (\sigma_{DB_i}^2 \cdot c_i) + 2 * \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i \cdot c_j \cdot \text{cov}(DB_i, DB_j)$$

mit:	σ_{Gesamt}^2	= Gesamte Einkommensvarianz
	$\sigma_{DB_i}^2$	= Varianzen der Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren
	c	= Anbauumfänge der einzelnen Produktionsverfahren
	cov	= Kovarianz
	DB	= Deckungsbeiträge der einzelnen Produktionsverfahren

5.2.3 Ökologische Kennwerte

Die Ein- und Ausgabegrößen für das Modul Ökologische Kennwerte sind in den Modellteilen *Fruchtfolge* (vgl. Anhang 9), *Betrieb und Teilschlag*, sowie im Modellteil *Erosion* (vgl. Anhang 10) implementiert.

5.2.3.1 Eingabeparameter

Wichtigster Eingabeparameter im Modul Ökologische Kennwerte ist wie im Modul Ökonomische Kennwerte der Ertrag, dessen Herleitung bereits oben beschrieben wurde.

Zur Bestimmung des Stickstoffhaushalts im Boden ist es wichtig zu wissen, ob Leguminosen angebaut werden, die den Luftstickstoff fixieren können. Daher muß vom Benutzer bei den Zwischenfrüchten, der Flächenstilllegung und den einzelnen Strukturelementen angegeben werden, ob hier Leguminosen angebaut werden oder nicht.

Weiterhin muß bei jedem Schlag im ersten Jahr der N_{Min} Frühjahrswert eingegeben werden. Die weiteren N_{Min} Werte für die folgenden Jahre werden vom Modell berechnet.

Aus den eingegebenen Ausbringungsmengen organischer Dünger berechnet das Modell nach den in Anhang 13 vorgegebenen Werten die gesamten und pflanzenverfügbaren Nährstoffmengen.

Zur Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser müssen vom Benutzer die Bodenartenuntergruppe, die Feldkapazität, die nutzbare Feldkapazität und die Durchwurzelungstiefe des Bodens, der Mittelwert und der Variationskoeffizient des Sommer- und Winterniederschlags sowie die potentielle Evapotranspiration nach HAUDE eingegeben werden. Dafür stehen dem Anwender die in Anhang 4 aufgeführten Tabellen zur Verfügung.

Zur Ermittlung der Bodenerosion werden die Region, in der der Betrieb liegt (Nordrhein-Westfalen oder Rheinland Pfalz), sowie der Mittelwert und der Variationskoeffizient des Sommerniederschlags (hier von Mai bis Oktober) zur Berechnung des R-Faktors benötigt.

Der K-Faktor wird mit Hilfe von Tabellenwerten eingegeben (vgl. Kapitel 5.2.3.2). Die schlagspezifischen Daten (Hangneigung und erosive Hanglänge) zur Bestimmung des LS-Faktors müssen vom Anwender ermittelt und in das Programm eingegeben werden.

Weiterhin werden die angebaute Fruchtart, das gewählte Saatverfahren (Mulchsaat, konventionelle Saat) und der Zwischenfruchtanbau (ja/nein) benötigt. Der P-Faktor ist standardmäßig im Modell auf eins gesetzt, kann aber auch vom Benutzer verändert werden. Zur Berechnung des tolerierbaren Bodenabtrag wird die Ackerzahl benötigt.

Zur Ermittlung des C-Faktors werden vom Benutzer für die gesamte Fruchtfolge eines Schlages der Beginn und das Ende der Kulturartenperioden sowie die dazu gehörenden R-Faktoren-Anteile und der relative Bodenabtrag (RBA) dividiert durch 100 eingetragen. Hierzu stehen die in Anhang 7 aufgeführten Tabellen zur Verfügung.

5.2.3.2 Quantifizierung modellrelevanter Parameter

Ein wichtiger Punkt zur Bestimmung des insgesamt pflanzenverfügbaren Stickstoffes, des Stickstoffsaldos und der daraus resultierenden potentiellen Nitratkonzentration des Sickerwassers ist die Betrachtung des Stickstoffkreislaufes. Dazu ist im Modell ein vereinfachtes *N-Boden-Modell* hinterlegt, das in Übersicht 30 dargestellt ist.

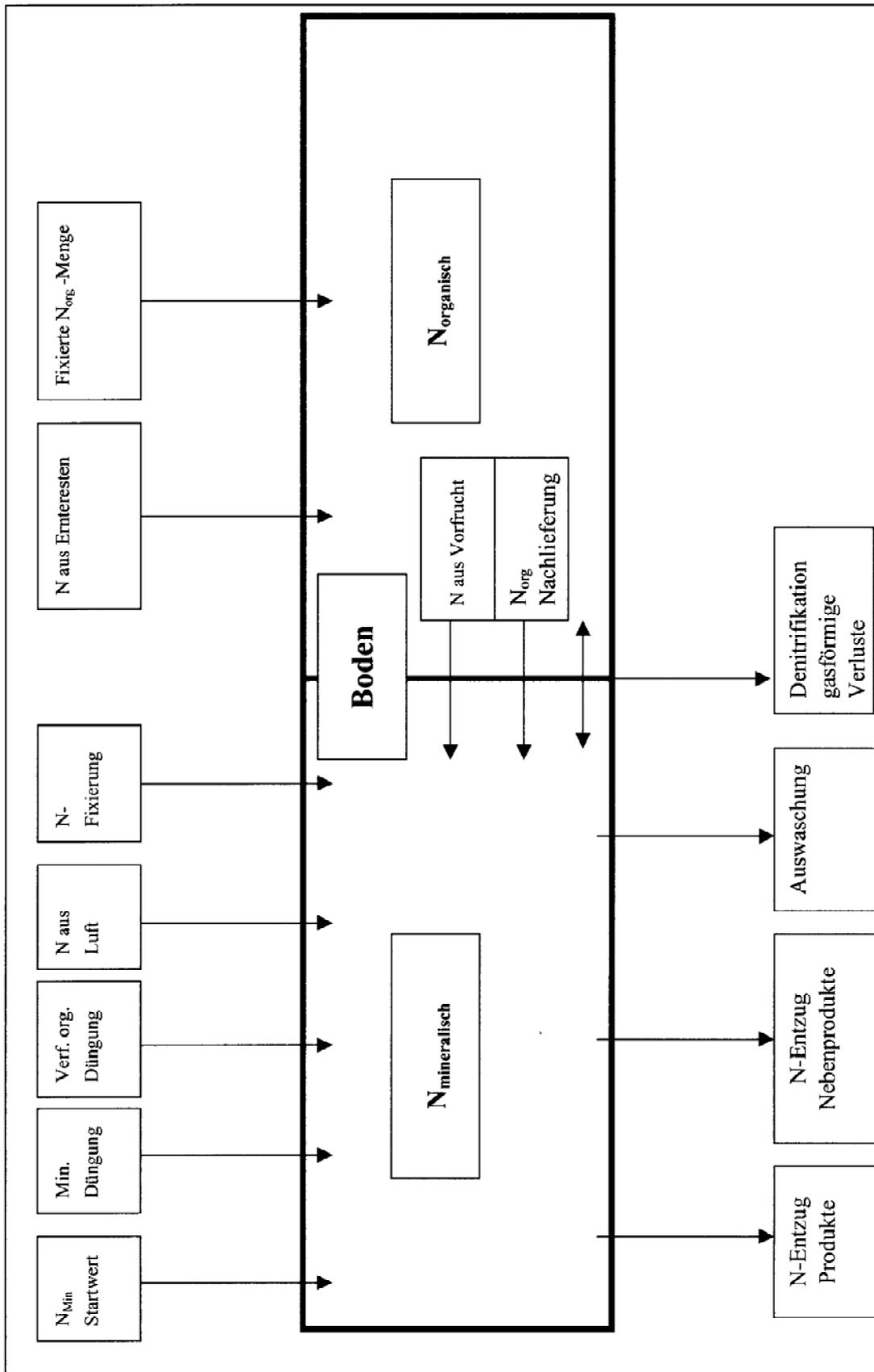
Das Stickstoffvorkommen im Boden ist in zwei Fraktionen aufgeteilt: der mineralische (verfügbare) und der organisch (gebundene) Stickstoff. Zwischen den beiden Fraktionen finden Austauschprozesse (Mineralisierung, Demineralisierung) statt, die sich jedoch bei einer ordnungsgemäßen Versorgung des Bodens mit Stickstoff während der Vegetationsphase die Waage halten (vgl. FREDE und DABBERT, 1998, S. 51). Kommt es jedoch zu einer starken Unterversorgung mit Stickstoff, so wird verstärkt N aus der organischen Substanz nachgeliefert. Werden organische Dünger zugeführt, so wird in den Folgejahren mineralisierter Stickstoff aus der organischen Substanz nachgeliefert (vgl. Anhang 13). Weiterhin steht den Pflanzen aus der ursprünglich organischen Fraktion die N-Nachlieferung über Winter, sowie die in Tabelle 23 aufgeführten Stickstoff-Lieferungen aus den Ernteresten der Vorfrucht in mineralisierte Form zur Verfügung.

Tabelle 23: Stickstoff-Lieferung aus der Vorfrucht

Fruchtart	kg N/ha
Winterraps	20
Zuckerrüben	50
Kartoffeln	20
Ackerbohnen	25
Körnererbsen	20

Quelle: Eigene Darstellung nach Lk Rheinland, 1995, S. 88

Übersicht 30: N-Boden-Modell



Quelle: Eigene Darstellung

Von den übrigen Fruchtarten steht kein Stickstoff aus Ernteresten der Folgefrucht zur Verfügung.

Als Zufuhrquellen für den organischen Stickstoff dient der Stickstoff aus den Ernteresten und der nicht direkt pflanzenverfügbare (fixierte) Teil der organischen Düngung. Zufuhrquellen für den mineralischen Stickstoff im Boden sind der N_{Min} -Startwert, die mineralische N-Düngung, der direkt pflanzenverfügbare Teil der organischen Düngung, die Stickstofflieferungen aus der Atmosphäre sowie die N-Fixierung der Leguminosen. Entnommen wird der Stickstoff aus dem Boden durch den N-Entzug der Produkte und Nebenprodukte, der Denitrifikation und der gasförmigen Verluste sowie der Auswaschung. Wie bereits in Kapitel 4.1.3.5 erwähnt können die Einträge aus der Atmosphäre mit den gasförmigen Verlusten und der Denitrifikation gleichgesetzt werden (vgl. DABBERT ET AL., 1999, S. 61), so daß diese Größen nicht in der weiteren Berechnung berücksichtigt werden müssen.

Die Höhe der mineralischen und organischen Düngung ergibt sich im Modell bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung nach der in Kapitel 5.2.2.1 beschriebenen Vorgehensweise (wobei hier sowohl die Düngung zur Haupt- als auch zur Zwischenfrucht mit berücksichtigt wird), die N-Lieferung für die Folgefrucht aus Ernteresten gemäß Tabelle 23. Der N-Entzug der Produkte und Nebenprodukte berechnet sich aus dem erzielten Ertrag der Fruchtart multipliziert mit den in Tabelle 16 aufgezeigten N-Gehalten der Produkte bzw. Nebenprodukte und dem Verhältnis von Produkt zu Ernterest. Die N-Fixierung der Leguminosen berechnet sich aus dem erzielten Ertrag multipliziert mit der Stickstofffixierung bei Leguminosen je dt Ertrag (4,4 kg/dt bei Körnererbsen; 5,0 kg/dt bei Ackerbohnen).

Der N_{Min} Wert im ersten Jahr wird vom Benutzer eingegeben. Die (potentiellen) N_{Min} Werte der Folgejahre werden im Modell in zwei Stufen ermittelt. Zunächst wird der potentielle N_{Min} -Herbstwert nach der Ernte ermittelt. Dieser berechnet sich auf folgende Weise:

$$N_{\text{MinH}} = N_{\text{MinF}} + N_{\text{Düngung}} + N_{\text{orgverf}} + N_{\text{Fix}} - N_{\text{Abfuhr}}$$

- mit:
- N_{MinH} = (pot.) N_{Min} -Herbstwert
 - N_{MinF} = (pot.) N_{Min} -Frühjahrswert
 - $N_{\text{Düngung}}$ = gedüngte mineralische N-Menge
 - N_{orgverf} = gedüngte pflanzenverfügbare organische N-Menge
 - N_{Fix} = Stickstofffixierung durch Leguminosen
 - N_{Abfuhr} = N-Abfuhr durch Produkt und Ernterest

Beim potentiellen N_{Min} -Herbstwert werden nur die Stickstofffraktionen betrachtet, die in mineralischer Form vorliegen. Daher werden bei der organischen Düngung auch nur der pflanzenverfügbare Stickstoff herangezogen und bei der N-Abfuhr die Erntereste auch dann mit berücksichtigt, wenn diese auf dem Feld verbleiben, da sie zunächst nur in organischer Form vorliegen.

Um zu dem potentiellen N_{Min} -Frühjahrswert zu gelangen müssen die über Winter ablaufenden Prozesse der N-Auswaschung, N-Nachlieferung und die Mineralisierung des in den Ernteresten gebundenen Stickstoffs (Vorfruchtwirkung) betrachtet werden. Der N_{Min} -Frühjahrswert ergibt sich somit aus:

$$N_{\text{MinF}}(\mathbf{i}) = N_{\text{MinH}}(\mathbf{i-1}) + N_{\text{Vorfrucht}}(\mathbf{i-1}) - N_{\text{Auswaschung}}(\mathbf{i-1}) + N_{\text{Nachlieferung}}(\mathbf{i})$$

mit: $N_{\text{MinF}}(\mathbf{i})$ = (pot.) N_{Min} -Frühjahrswert im Jahr i
 $N_{\text{MinH}}(\mathbf{i-1})$ = (pot.) N_{Min} -Herbstwert aus dem Vorjahr
 $N_{\text{Vorfrucht}}(\mathbf{i-1})$ = N-Lieferung aus der Vorfrucht
 $N_{\text{Auswaschung}}(\mathbf{i-1})$ = N-Auswaschung über Winter
 $N_{\text{Nachlieferung}}(\mathbf{i})$ = (gesamte) N-Nachlieferung über Winter

Die N-Lieferung aus der Vorfrucht ergibt sich aus Tabelle 23. Werden Zwischenfrüchte angebaut, so liefern diese beim Anbau von Leguminosen der nachfolgenden Hauptfrucht 40 kg N/ha, beim Anbau sonstiger Zwischenfrüchte 30 kg N/ha (vgl. LK RHEINLAND, 1995, S. 88).

Die N-Auswaschung über Winter ist abhängig von dem im Boden vorhandenen mineralischen Stickstoff (potentieller N_{Min} Herbstwert). Diese Menge kann in Abhängigkeit vom Austauschfaktor (vgl. Anhang 4) in das Sickerwasser ausgewaschen werden. Die N-Auswaschung über Winter berechnet sich aus:

$$N_{\text{Auswaschung}} = N_{\text{MinH}} \cdot \text{AF}$$

mit: $N_{\text{Auswaschung}}$ = N-Auswaschung über Winter
 N_{MinH} = (pot.) N_{Min} Herbstwert
 AF = Austauschfaktor

Da die tatsächliche Auswaschung abhängig von der Witterung ist, unterliegt der zur Berechnung des Austauschfaktors benötigte Sommer- und Winterniederschlag im Modell einer Verteilungsfunktion.

Die N-Nachlieferung über Winter ist abhängig von den Mineralisationsraten. Hier zeigen Auswertungen, daß die täglichen Mineralisationsraten über Winter bei optimaler Düngung 0,28 kg/ha betragen (vgl. ENGELS, 1993, S. 55). Unter der Annahme daß die Vegetationsruhe zwischen 15. November und 15. März stattfindet ergibt dies eine N-Nachlieferung von 33,6 kg/ha Stickstoff für die angebauten Winterfrüchte. Bei Sommerfrüchten dauert die Zeit bis zum Vegetationsbeginn länger, da diese in der Regel erst später eingesät werden. Die Mineralisationsrate im Frühjahr bzw. Sommer liegt 60 % über der des Winters (vgl. ENGELS, 1993, S. 59). Unter der Annahme daß in diesen Zeitraum bei Zuckerrüben und Kartoffeln 60 Tage, bei den übrigen Sommerfrüchten 45 Tage liegen, beträgt die weitere N-Nachlieferung für Kartoffeln und Zuckerrüben 27 kg/ha und bei den übrigen Sommerungen 20 kg/ha.

Die gesamte N-Nachlieferung ergibt sich somit aus der Nachlieferung über Winter und der Nachlieferung vor Sommerungen. Auch diese Größe ist eine unsichere Größe und unterliegt z.B. aufgrund von Witterungseinflüssen Schwankungen. Deshalb ist im Modell eine Verteilungsfunktion unterlegt, bei der als Mittelwert die gesamte N-Nachlieferung und der Variationskoeffizient des mobilisierten Bodenvorrats aus der Ermittlung der Ertragsfunktion eingeht.

Zur Ermittlung des *Bodenabtrages* durch Erosion erfolgt im Modell durch die Bestimmung der einzelnen Faktoren der ABAG (vgl. Kapitel 4.1.3.5).

Der R-Faktor wird regionsspezifisch mittels einer Formel aus dem mittleren Jahresniederschlag bzw. dem Sommerniederschlag bestimmt. Gegebenenfalls ist der erhaltene Wert zu korrigieren, wenn regelmäßig Bodenabträge durch Schmelzwasser beobachtet werden. SAUERBORN (1994) untersuchte den Zusammenhang zwischen Niederschlag und R-Faktor für die einzelnen Bundesländer. Im Modell werden die Regressionsgleichungen verwendet, die für die jeweiligen Bundesländer empfohlen wurden (vgl. SAUERBORN, 1994, S. 156):

Nordrhein-Westfalen: $R = 0,01 + 0,1356 \cdot N_S$

Rheinland-Pfalz: $R = 23,05 + 0,0800 \cdot N_S$

mit N_S = Niederschlagssumme von Mai bis Oktober

Die Höhe des Sommerniederschlag wird im Modell in 5.000 Simulationsläufen mit Hilfe des eingegebenen Mittelwertes und des Variationskoeffizienten berechnet.

Der K-Faktor kann über eine Formel mit den Parametern Gehalt des Bodens an Schluff, an Sand und die Summe aus Schluff und Feinstsand sowie der Aggregatklasse und der Durchlässigkeitsklasse berechnet werden. Außerdem kann man den K-Faktor näherungsweise über den verkürzten Klassenbescrieb der Reichsbodenschätzung bestimmen. Für repräsentative Böden ist der K-Faktor zum Teil experimentell ermittelt und kann aus Bodenkarten entnommen werden. Im Modell wird der K-Faktor mit Hilfe von Tabelle 24 bestimmt.

Der LS Faktor lässt sich aus der erosiven Hanglänge und der Hangneigung mit Hilfe einer Formel berechnen. Bei der Ermittlung der Hanglänge ist zu beachten, dass die erosive Hanglänge nicht gleichbedeutend mit der Länge des Schlages/Grundstücks sein muß. Die Hangneigung muß hinreichend mit einem Neigungsmesser festgestellt werden. Die Hangform wird über drei mögliche Ausprägungen (normal, konvex oder konkav) durch jeweils einen Korrekturfaktor berücksichtigt (vgl. HEILMANN, 1992, S.33f):

Tabelle 24: Bestimmung K-Faktor

Erodierbarkeit (K)		
Bodenart	Bezeichnung	Faktor
T	Ton	0,09
sT	sandiger Ton	0,10
S	Sand	0,10
tS	toniger Sand	0,11
IT	lehmiger Ton	0,12
uT	schluffiger Ton	0,18
sL	sandiger Lehm	0,23
IS	lehmiger Sand	0,26
stL	stark toniger Lehm	0,28
suL	sandig schluffiger Lehm	0,35
utL	schluffig toniger Lehm	0,37
ulS	schluffig lehmiger Sand	0,39
uS	schluffiger Sand	0,43
uL	schluffiger Lehm	0,49
tU	toniger Schluff	0,62
sU	sandiger Schluff	0,65
U	Schluff	0,72

Quelle: Eigene Darstellung nach Hoegen et al (1995), S. 37

Der LS Faktor wird durch folgende Formel berechnet:

$$LS = \frac{l^m}{22} \cdot (65,41 \cdot \sin^2 \varphi + 4,56 \cdot \sin \varphi + 0,065)$$

mit:

l: Hanglänge in Metern

φ : Hangneigung in Grad = \arctan ((Hangneigung in %)/100)

m: 0,15 für Hangneigung $\leq 0,5\%$

0,2 0,6-1,0%

0,3 1,1-3,4%

0,4 3,5-4,9%

0,5 $\geq 5,0\%$

Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C ist die Größe, die durch Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen am ehesten beeinflusst werden kann. Der C-Faktor steht für den Schutz der Bodenoberfläche vor aufprallenden Regentropfen durch den Pflanzenbestand oder Pflanzenrückstände sowie den Oberbodenzustand. Von entscheidender Bedeutung ist für die Praxis, dass der für die ABAG relevante C-Faktor nicht für eine einzelne Fruchtart, sondern für eine Fruchtfolge-Rotation hinreichende Gültigkeit besitzt. Bei der rechnerischen Ermittlung des C-Faktors einer Fruchtfolge werden Tabellen verwendet, in denen

- die Erosivität des Niederschlags im Jahresverlauf,
- der relative Bodenabtrag einzelner Fruchtfolgen in bestimmten Zeitspannen
- und die Datumswerte des mittleren Beginns dieser Zeitspannen enthalten sind.

Für jeden Zeitabschnitt einer Kultur, der einen bestimmten Bodenbedeckungsgrad repräsentiert, lässt sich so ein C-Faktor-Anteil ermitteln, der für alle Zeitspannen aller Einzelkulturen der Fruchtfolgen zum C-Faktor der Fruchtfolge summiert wird (vgl. SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 38ff).

Im Modell werden die Werte zur Erosivität der Niederschläge im Jahresverlauf und der relative Bodenabtrag einzelner Fruchtfolgen von SCHWERTMANN ET AL. (1990) übernommen, die Datumswerte des mittleren Beginns der Zeitspannen müssen aus den Betriebsdaten erhoben werden. Als Orientierung dient hierbei der mittlere Beginn der Kulturartenperioden unter bayerischen Verhältnissen. Die zur Bestimmung des C-Faktors benötigten Tabellen und Daten nach Vorgaben von SCHWERTMANN ET AL. (1990) sind im Anhang 7 dargestellt. Darüber hinaus müssen im Modell noch einige zusätzliche Annahmen getroffen werden. Für Leguminosen werden die gleichen RBA-Werte unterstellt wie für Raps. Die RBA-Werte für die einzelnen Kulturartenperioden bei Mulchsaat von Raps und Leguminosen ändern sich im Verhältnis so, wie die Werte von Getreide, die von Kartoffeln so wie die Werte von Zuckerrüben. Die zusätzlich vorgegeben RBA-Werte sind in Tabelle 25 aufgeführt.

Tabelle 25: Zusätzliche RBA Werte im Modell

Frucht und Bestelltechnik	1a	1b	2	3	4	5	6
Leguminosen konv.	32	-	46	38	3	1	2
Leguminosen minimal BB		8	8	6	1	1	2
Raps minimal BB		8	8	6	1	1	2
Kartoffeln minimal BB	20	8	9	6	3	7,5	15

BB = Bodenbearbeitung

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Zunächst wird für jede Kulturartperiode die Differenz der R-Faktoren-Anteile gebildet (Endwert - Anfangswert) und durch 100 dividiert (falls der R-Faktor Anteil am Ende der Periode kleiner ist als der zu Beginn der Periode, wird er mit 100 addiert). Der C-Faktoranteil ist das Produkt aus dem RBA-Wert und der Differenz des R-Faktoranteils. Die einzelnen C-Faktorenanteile werden summiert und durch die Anzahl der Fruchtfolgeglieder geteilt. So erhält man den C-Faktor der Fruchtfolge.

Der Erosionsschutzfaktor P quantifiziert die Schutzwirkung von Kontur- und Streifenanbau. Diese Schutzwirkung hängt sowohl von der Art der Maßnahme als von der Hanglänge und Hangneigung ab. (vgl. SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 53f).

5.2.3.3 Ausgabeparameter

Ausgabeparameter des Moduls ökologische Kennwerte sind die ökologischen Indikatoren zur Beurteilung der Agrarumweltmaßnahmen. In den Auswertungen zur Fruchtfolge werden die Flächenstilllegung und die Strukturelemente bei den ökologischen Kennwerten, wie bei der Berechnung des Deckungsbeitrages beschrieben, anteilmäßig verrechnet. Auch werden in den Auswertungen zum Teilschlag die Indikatoren auf den Hauptschlag bezogen.

Der *monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand* berechnet sich aus der Summe der Kosten aller eingesetzten Pflanzenschutzmittel, wozu auch die nicht chem.-synth. Mittel (z.B. Kupferpräparate) zählen.

Die *N-Bilanz* als Differenz aus N-Zufuhr und N-Abfuhr berechnet sich im Modell für die einzelnen Produktionsverfahren auf folgende Weise:

$$N_{\text{Bilanz}} = N_{\text{Zufuhr}} - N_{\text{Abfuhr}}$$

$$N_{\text{Zufuhr}} = N_{\text{Dggmin}} + N_{\text{Dggorg}} + N_{\text{ZW}_{\text{Dggmin}}} + N_{\text{ZW}_{\text{Dggorg}}} + N_{\text{Fix}} + N_{\text{ZW}_{\text{Fix}}}$$

$$N_{\text{Abfuhr}} = N_{\text{Produkt}} + N_{\text{Rest}}$$

mit:	N_{Dggmin}	= mineralisch gedüngte N-Menge zur Hauptfrucht
	N_{Dggorg}	= organisch gedüngte N-Menge zur Hauptfrucht
	$N_{\text{ZW}_{\text{Dggmin}}}$	= mineralisch gedüngte N-Menge zur Zwischenfrucht
	$N_{\text{ZW}_{\text{Dggorg}}}$	= organisch gedüngte N-Menge zur Zwischenfrucht
	N_{Fix}	= Stickstofffixierung der Leguminosen (Hauptfrucht)
	$N_{\text{ZW}_{\text{Fix}}}$	= Stickstofffixierung der Leguminosen (Zwischenfrucht)
	N_{Produkt}	= N-Entzug der Hauptprodukte
	N_{Rest}	= N-Entzug der Erntereste

Bei der Berechnung der N-Bilanz wird die Düngung und Stickstofffixierung der vorherigen Zwischenfrucht mit berücksichtigt. Bei den organischen Düngern werden die gesamten Nährstoffgehalte (abzüglich Ausbringungs- und Lagerungsverluste) betrachtet. Der Entzug der Erntereste fließt nur dann in die Bilanz mit ein, wenn diese auf dem Feld abgefahren werden. Der N-Entzug der Produkte und Nebenprodukte berechnet sich aus dem erzielten Ertrag und der in Tabelle 16 aufgeführten N-Gehalte der Produkte und Nebenprodukte sowie dem Verhältnis aus Produkt und Ernterest.

Die Berechnung der *P- und K-Bilanzen* erfolgt auf die gleiche Weise, lediglich fällt hier die Stickstofffixierung der Leguminosen weg. Die P- und K-Gehalte der organischen Dünger sind im Anhang 13 aufgezeigt. Die P- und K-Gehalte der Produkte und Nebenprodukte sind in Tabelle 26 dargestellt.

Die Nährstoffbilanz der Flächenstilllegung und der Strukturelemente berechnet sich analog zu der der einzelnen Produktionsverfahren. Da hier die Zufuhr mineralischer und organischer Dünger untersagt ist, spielt in diesem Bereich nur die Stickstofffixierung beim

Tabelle 26: P- und K-Gehalte der einzelnen Fruchtarten

Fruchtart	P-Gehalt Hauptprodukt (kg/dt)	P-Gehalt Nebenprodukt (kg/dt)	K-Gehalt Hauptprodukt (kg/dt)	K-Gehalt Nebenprodukt (kg/dt)
Wintergerste	0,8	0,3	0,6	1,7
Winterweizen	0,8	0,3	0,6	1,4
Winterroggen	0,8	0,3	0,6	2,0
Sommergerste	0,8	0,3	0,6	1,7
Sommerweizen	0,8	0,3	0,6	1,4
Winterraps	1,8	0,5	1,0	3,0
Zuckerrüben	0,10	0,08	0,25	0,5
Kartoffeln	0,14	0,12	0,6	0,92
Ackerbohnen	1,2	0,3	1,4	2,0
Körnererbsen	1,1	0,3	1,4	2,1

Quelle: LK RHEINLAND, 1995, S. 43

Anbau von Leguminosen eine Rolle. Für diese werden pauschal 40 kg N/ha angenommen (vgl. LK RHEINLAND, 1995, S. 88).

Die Ermittlung der Nährstoffbilanzen für den gesamten Betrieb (bzw. Fruchtfolge) erfolgt durch Zusammenführen der Nährstoffbilanzen der einzelnen Produktionsverfahren inklusive der Flächenstilllegung und der Strukturelemente.

Die *potentielle Nitratkonzentration* im Sickerwasser eines Produktionsverfahrens (vgl. Kapitel 4.1.3.5) ist abhängig von der in Kapitel 5.2.3.2 hergeleiteten N-Auswaschung über Winter. Sie berechnet sich im Modell aus:

$$\text{NO}_3 = (\text{N}_{\text{Auswaschung}} / \text{SW}) \cdot 4,43 \cdot 100$$

mit: NO_3 = Pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser (mg/l)

$\text{N}_{\text{Auswaschung}}$ = N-Auswaschung über Winter (kg/ha·a)

SW = Sickerwasser (mm bzw. l/m²)

4,43 = Umrechnungsfaktor von Stickstoff zu Nitrat

Die potentielle Nitratkonzentration einer Fruchtfolge ergibt sich aus der Summe der einzelnen Nitratgehalte der Produktionsverfahren dividiert durch die Anzahl der Jahre, mit anteilmäßiger Anrechnung der potentiellen Nitratkonzentration der Flächenstilllegung und der Strukturelemente. Für den gesamten Betrieb berechnet sich die potentielle Nitratkonzentration aus der mit den Anbauumfängen gewichteten Summe der Gehalte der einzelnen Produktionsverfahren inklusive Flächenstilllegung und Strukturelemente dividiert durch die gesamte Anbaufläche.

Der *potentielle Bodenabtrag* für eine Fruchtfolge auf einem Schlag berechnet sich im Modell als Produkt der einzelnen Faktoren der allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

mit: A = potentieller Bodenabtrag
 R = Regen- und Oberflächenabfußfaktor
 K = Erodierbarkeitsfaktor
 LS = Hanglängen- und Hangneigungsfaktor
 C = Bodenbedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor
 P = Faktor für die Erosionsschutzmaßnahmen

Der potentielle Bodenabtrag wird nur für die Schläge berechnet, die einer Hangneigung unterliegen. Bei der Auswertung zum Betrieb wird sowohl der gesamte Bodenabtrag des Betriebes (Summe der Bodenabträge der einzelnen Schläge multipliziert mit der Schlaggröße) als auch der Bodenabtrag je Hektar (gesamter Bodenabtrag dividiert durch die erosionsgefährdete Fläche des Betriebes) angegeben.

Der tolerierbare Bodenabtrag errechnet sich aus:

$$A_{\text{tol}} = AZ / 8$$

mit A_{tol} = tolerierbarer Bodenabtrag in t/ha·a
 AZ = Ackerzahl

Der tolerierbare Bodenabtrag für den Gesamtbetrieb bezieht sich nur auf die erosionsgefährdete Fläche.

Zur Berechnung des *Zwischenfruchtanteils* und des *Anteils an Strukturelementen* werden die jeweiligen Anbauflächen addiert und durch die gesamte Fläche dividiert. Bei der Ermittlung des Anteils der Strukturelemente muß beachtet werden, daß im Modell nur die durch die Agrarumweltmaßnahmen zusätzlich geschaffenen Elemente betrachtet werden. Bereits vorher im Betrieb vorhandene Hecken, Teiche etc. werden nicht erfaßt.

Zur Ermittlung der *Kulturpflanzendiversität* gehen im Modell die einzelnen Produktionsverfahren (ohne Zwischenfrüchte) und die Flächenstilllegung sowie deren Anbauumfänge ein:

$$KD = \sum c_{pv_i} \cdot \ln(c_{pv_i})$$

mit: KD = Kulturpflanzendiversität
 c_{pv_i} = Anteil des jeweiligen Produktionsverfahrens

5.3 Implementierung der Agrarumweltmaßnahmen

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Vorgaben im Modell für die entsprechenden Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Im Modell können nur die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen ermittelt werden. Eine Kombination verschiedener Agrarumweltmaßnahmen ist nicht möglich.

5.3.1 Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein Westfalen

5.3.1.1 Verzicht auf Herbizide

Diese Maßnahme (kurz „ohne Herbizide“) beinhaltet den Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden im Betriebszweig Ackerbau. Daher werden hier für die Auswertungen die Ertrags- und Varianzfunktionen „ohne Herbizide“ der einzelnen Fruchtarten herangezogen. Dadurch ergeben sich auch Veränderungen bei der Berechnung der optimalen Düngermenge. Weiterhin werden die Herbizidkosten gleich Null und die Agrarumweltprämie auf 92 €/ha gesetzt. Das Modell rechnet bei den Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen nur mit der Prämie für die Einführung der Maßnahme.

5.3.1.2 Verzicht auf chemisch-synthetische Düngemittel

Die Maßnahme (kurz „ohne Dünger“) untersagt den Einsatz chem.-synth. Düngemittel im Betriebszweig Ackerbau. Daher werden hier alle mineralisch gedüngten N-, P- und K-Mengen auf Null gesetzt. Die zur Berechnung des Ertrages notwendige N-Menge berechnet sich aus:

$$N = N_{\text{Min}} + N_{\text{orgverf}} + N_{\text{orgnchl}}$$

mit: N: = Zur Verfügung stehende N-Menge

N_{Min} = N_{Min} Frühjahrswert

N_{orgverf} = gedüngte pflanzenverfügbare organische N-Menge

N_{orgnchl} = Aus der organischen Düngung der Vorjahre nachgelieferte organische N-Menge

Der Einsatz von Wachstumsregler ist abhängig von der im Boden zur Verfügung stehenden N-Menge. Daher wird im Modell angenommen, daß bei einer der Pflanze zur Verfügung stehenden Stickstoffmenge von unter 100 kg N/ha keine Wachstumsregler eingesetzt werden und somit die Ertrags- und Varianzfunktionen „ohne Wachstumsregler“ verwendet werden. Liegt die zur Verfügung stehende Stickstoffmenge oberhalb von 100 kg N/ha, so werden bei Wintergetreide Wachstumsregler eingesetzt und die Ertrags- und Varianzfunktionen „ordnungsgemäß“ benutzt. Weiterhin wird die Prämie in Höhe von 92 €/ha vorgegeben.

5.3.1.3 Verzicht auf chemisch-synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel

Bei dieser Maßnahme (kurz „ohne Chemie“) ist der Einsatz von chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel im Betriebszweig Ackerbau untersagt. Daher werden hier die Ertrags- und Varianzfunktionen „ohne chem.-synth. Pflanzenschutzmittel“ verwendet. Alle mineralischen Nährstoffmengen und die Kosten für die einzelnen Pflanzenschutzmaßnahmen (mit Ausnahme sonstiger Pflanzenschutzmittel) werden gleich Null gesetzt. Die zur Verfügung stehende Stickstoffmenge berechnet sich wie bei der Maßnahme „ohne Dünger“. Die Prämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 153 €/ha wird ebenfalls vorgegeben.

5.3.1.4 Anlage von Schonstreifen auf Einzelflächen

Bei der Anlage von Schonstreifen auf Einzelflächen handelt es sich um 3 bis 12 m breite Streifen, auf denen keine Düngung, kein Pflanzenschutz und keine mechanische Beikrautregulierung durchgeführt werden darf. Maximal dürfen 5 % der gesamten Ackerfläche mit Schonstreifen angelegt werden. Die Einhaltung dieser Restriktion wird im Modell überprüft. Die Streifen können auf jährlich wechselnden Flächen angelegt werden. Die verschiedenen Einsaatmöglichkeiten der Schonstreifen werden getrennt erfaßt und die jeweiligen Prämien im Modell vorgegeben. Diese betragen 715 €/ha bei Einsaat eines Gemisches mit blühfreudigen heimischen Arten oder Zulassung von Selbstbegrünung und 409 €/ha bei Bestellung mit der gleichen Ackerkultur wie der Gesamtschlag. Da bei Einsaat mit der gleichen Ackerkultur wie der Gesamtschlag auch die Ausgleichzahlung beantragt werden kann, wird diese ebenfalls vom Modell vorgegeben. Die einzelnen Einsaatalternativen können auch kombiniert eingegeben werden. Das Modell berechnet dann die einzelnen Kennwerte für die gesamte Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“. Bei der Einsaat der gleichen Ackerkultur wie auf dem Gesamtschlag wird unterstellt, daß keine wirtschaftliche Verwertung der Ernte möglich ist und der Aufwuchs deshalb gemulcht wird. Werden auf den Schonstreifen Leguminosen angebaut, so wird die Stickstofffixierung von 40 kg N/ha bei der Berechnung der N-Bilanz und der potentiellen Nitratkonzentration berücksichtigt. Von der Vorfruchtwirkung werden die Schonstreifen wie die Flächenstilllegung bzw. Zwischenfrüchte behandelt, das heißt 30 kg N/ha stehen der Folgefrucht zur Verfügung. Da diese dem Boden zunächst entzogen werden müssen, werden zur Berechnung der potentiellen Nitratkonzentration von der zur Auswaschung zur Verfügung stehenden N-Menge 30 kg/ha abgezogen. Bei der Bestimmung der potentiellen Nitratkonzentration bei Einsaat blühfreudiger Arten wird die Berechnung der Sickerwassermenge unter Grünland (vgl. Anhang 4) herangezogen.

5.3.1.5 Erosionsschutz im Ackerbau

Diese Maßnahme (kurz „Erosionsschutz“) beinhaltet die durchgängige Anwendung erosionsmindernder Maßnahmen auf den geförderten Flächen. Im Modell können nur die Mulchsaatverfahren mit evtl. Zwischenfruchtanbau ausgewertet werden. Dazu werden zur Berechnung der Erträge der einzelnen Fruchtarten die Ertrags- und Varianzfunktionen „Mulchsaat“ verwendet und überprüft, ob die vorgeschriebenen Zwischenfrüchte angebaut werden. Weiterhin wird die Agrarumweltprämie in Höhe von 102 €/ha vorgegeben. Das

Modell wertet nur die komplette Umstellung des Betriebes auf das Erosionsschutzprogramm aus.

5.3.2 Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz

5.3.2.1 Umweltschonender Ackerbau

Beim „umweltschonenden Ackerbau“ gibt es eine Reihe einzelflächenbezogener Auflagen zur Fruchtfolgegestaltung und Anbaupausen bei einzelnen Fruchtarten, und Auflagen zu Bodenschutzverfahren vor Sommerungen und die Anlage von ökologischen Ausgleichsflächen. Die Einhaltung dieser Restriktionen wird im Modell abgefragt. Weiterhin ist der Einsatz von Wachstumsreglern im Getreidebau verboten. Daher werden hier die Ertrags- und Varianzfunktionen „ohne Wachstumsregler“ verwendet und deren Kosten gleich Null gesetzt. Der Verzicht auf Wachstumsregler hat Einfluß auf die Standfestigkeit des Getreides. Steht der Pflanze zuviel Stickstoff zur Verfügung, so kann es ohne einen Einsatz von Wachstumsregler zu einer erhöhten Lagerneigung kommen. Daher erfolgt im Modell die Bestimmung der optimalen N-Menge in Abhängigkeit von der Ackerzahl (höhere Ackerzahl = höhere N-Nachlieferung des Bodens). Tabelle 27 zeigt die Einschränkungen der optimalen N-Menge im Modell in Abhängigkeit von der Ackerzahl und der Fruchtart.

Tabelle 27: Einschränkung der optimalen N-Düngung in Abhängigkeit von der Ackerzahl beim „umweltschonenden Ackerbau“

Ackerzahl	Fruchtart	Einschränkung
bis 40	Wintergerste	5%
40 bis 60	Wintergerste	10 %
	Winterroggen	5 %
	Sommerweizen	5 %
größer 60	Wintergerste	15 %
	Winterweizen	5 %
	Winterroggen	10 %
	Sommerweizen	10 %

Quelle: Eigene Darstellung

Wird vor Sommerungen das Bodenschutzverfahren „Strohmulch“ gewählt (ist vom Benutzer im Modell im Tabellenblatt „DB“ bei der vorherigen Zwischenfrucht unter Art einzugeben), so werden die Ertrags- und Varianzfunktionen „Mulch“ verwendet. Bei Zuckerrüben werden diese Ertrags- und Varianzfunktionen herangezogen, da diese nur im Mulchsaatverfahren angebaut werden dürfen. Die Prämie in Höhe von 102,26 €/ha wird vom Modell vorgegeben.

Die Daten zu den ökologischen Ausgleichsflächen werden wie die übrigen Strukturelemente erfaßt. Da diese Flächen aber beerntet werden müssen, wird hier zusätzlich der Ertrag (in dt TM/ha bei extensivem Dauergrünland bzw. dt/ha bei extensivem Ackerbau) und die monetäre Leistung der Ausgleichsflächen eingegeben und

bei der Berechnung der Nährstoff-Bilanzen der Entzug mit berücksichtigt. Erfolgt der Anbau der ökologischen Ausgleichsflächen mit extensivem Ackerbau, so wird hier - unter der Annahme, daß aufgrund der extensiven Bewirtschaftung Getreide mit niedrigeren Proteingehalt produziert wird - mit einem N-Gehalt des extensiv erzeugten Getreides von 1,5 kg N/dt, einem P-Gehalt von 0,8 kg P/dt und einem K-Gehalt von 0,6 kg K/dt gerechnet. Werden die ökologischen Ausgleichsflächen mit extensivem Dauergrünland bebaut, so beträgt der N-Entzug je dt Erntemenge TM 1,7 kg N/dt TM. Der Entzug von P beläuft auf 0,7 kg P/dt TM, der K-Entzug beträgt 2,5 kg K/dt TM (vgl. LPP, 1998, S. 33). Bei der Bestimmung der potentiellen Nitratkonzentration erfolgt hier die Berechnung der Sickerwassermenge unter den Bedingungen von Grünland. Da die ökologischen Ausgleichsflächen über den gesamten Verpflichtungszeitraum auf den gleichen Schlägen angebaut werden, erfolgt die Berechnung der N_{Min} Werte für die einzelnen Jahre analog der Vorgehensweise der einzelnen Produktionsverfahren.

5.3.2.2 Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben

Diese Maßnahme (kurz „Mulch ZR“) betrifft im Modell nur das Produktionsverfahren Zuckerrüben. Der Anbau der Zuckerrüben hat mit Mulchsaatverfahren zu erfolgen. Daher werden die Ertrags- und Varianzfunktionen „Mulchsaat“ verwendet. Die Einhaltung der Bodenschutzverfahren vor Zuckerrüben wird vom Modell überprüft. Die Höhe der Prämie (117,60 €/ha beim Bodenschutzverfahren „Zwischenfruchtanbau“ und 46,02 €/ha bei „Strohmulch“) wird vorgegeben.

5.3.2.3 Anlage von Ackerrandstreifen

Bei dieser Maßnahme sind die Auflagen und die Handhabung ähnlich wie bei der „Anlage von Schonstreifen“ in Nordrhein-Westfalen. Einziger Unterschied ist hier, daß die angelegten Flächen nicht wechseln können, sondern über den gesamten Verpflichtungszeitraum erhalten bleiben. Von daher erfolgt auch hier die Berechnung der N_{Min} -Werte für die einzelnen Jahren analog der Vorgehensweise bei den einzelnen Fruchtarten. Die Prämie für diese Maßnahme in Höhe von 664,68 €/ha wird vom Modell vorgegeben.

5.3.2.4 Anlage von Saum- und Bandstrukturen

Die Vorgehensweise bei dieser Maßnahme im Modell ist die gleiche wie bei der Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“. Hier wird lediglich zur Bestimmung der potentiellen Nitratkonzentration die Berechnung der Sickerwassermenge unter Grünland (vgl. Anhang 4) herangezogen. Da nur maximal 10 % der Ackerflächen mit Saum- und Bandstrukturen angelegt werden dürfen, wird die Einhaltung dieser Restriktion im Modell überprüft. Die Agrarumweltprämie für diese Maßnahme beträgt 409,03 €/ha.

6. Modellbetriebe

In diesem Kapitel werden die Modellbetriebe, die zur Auswertung der Auswirkungen einer Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz herangezogen werden, vorgestellt. Dabei werden zunächst die Naturräume bzw. die Standorttypen der Landwirtschaft der jeweiligen Bundesländer beschrieben und die zu untersuchende Region ausgewählt. Anschließend erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Modellbetriebe und die Vorstellung der für die Auswertungen wichtigen Daten. Die Auswahl, Produktionsstruktur und Ausstattung sowie die einzelnen Produktionsverfahren der Modellbetriebe wurden in Zusammenarbeit mit landwirtschaftlichen Beratern der Landwirtschaftskammer Rheinland und der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalten Rheinland-Pfalz erarbeitet. Dabei basieren die Daten auf real existierenden Betrieben bzw. Schlagkarteiauswertungen, wurden aber zum Teil so abgeändert, daß sie einen für die Region typischen Ackerbaubetrieb widerspiegeln. Die Betriebe wurden hierbei so aufgenommen, wie sie unter der Annahme der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung in den nächsten 5 Jahren wirtschaften. Diese Daten bilden die Grundlage (Status Quo) zu den Auswertungen der Teilnahme der Betriebe an den entsprechenden Agrarumweltmaßnahmen.

6.1 Auswahl der Untersuchungsregionen

Ziel ist es, die Auswirkungen einer Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen in den verschiedenen Regionen, bzw. Naturräumen darzustellen. Dazu werden als Standorte jeweils ein Gunst- und ein Grenzstandort ausgewählt. Da sich die Auswertungen nur auf den Betriebszweig Ackerbau beziehen, beschränkt sich die Auswahl bei den Grenzstandorten auf Gebiete, in denen Ackerbau möglich ist.

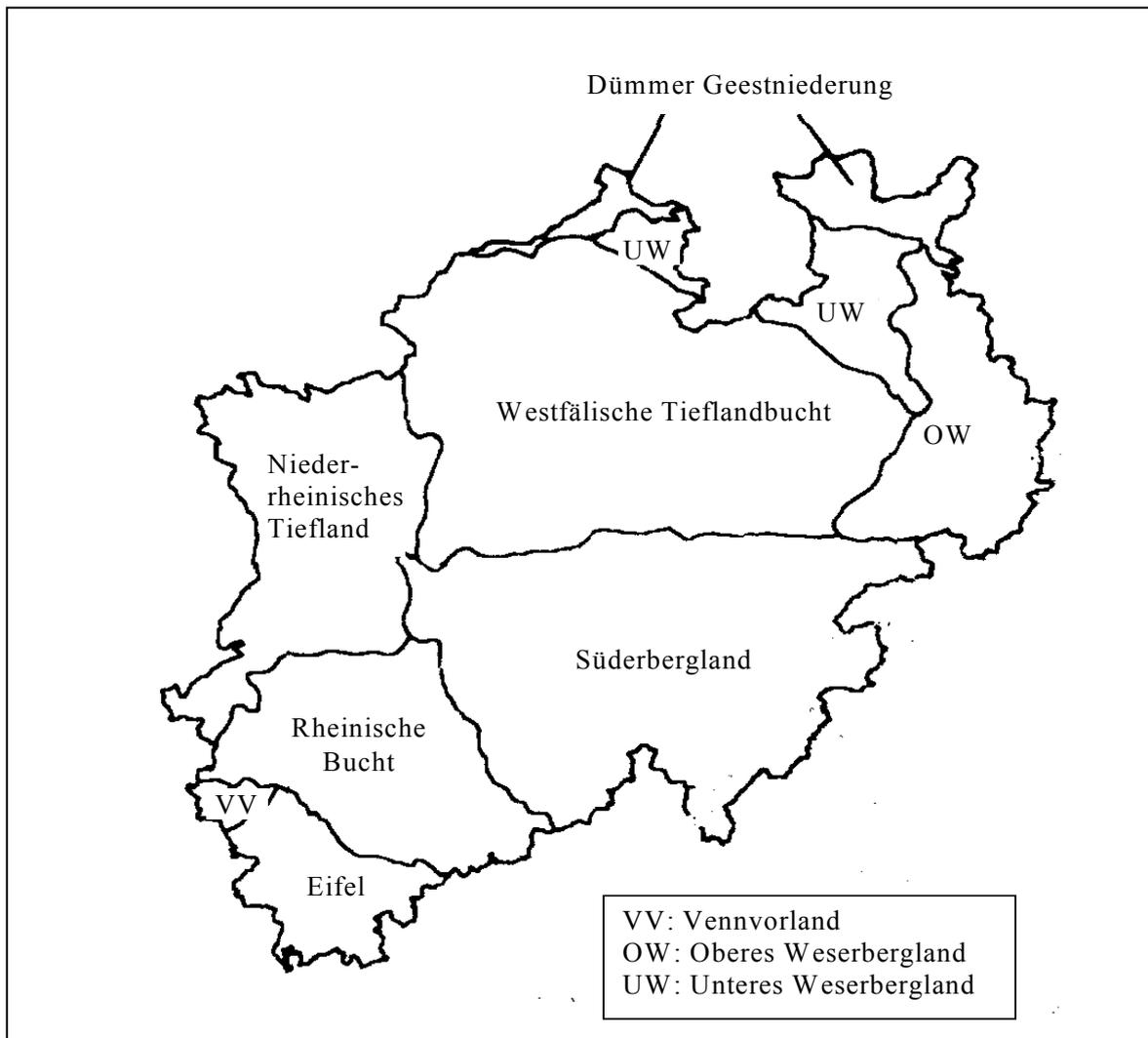
6.1.1 Nordrhein-Westfalen

Übersicht 31 zeigt die Naturräume Nordrhein-Westfalens. Neben der naturräumlichen Gliederung, die abhängig von Klima, Landschaftsformen und Böden sind, können die Gebiete auch nach ihrer landwirtschaftlichen Erzeugung eingeteilt werden.

Im *Westfälische Tiefland* überwiegen vor allem im Münsterland leichte und meist ebene Böden, nach Süden hin (Emscherland/Hellwegböden) finden sich eher bessere Böden mit starken Lössauflagen. Im Münsterland betreiben rund 50 % der Betriebe Futterbau, 25 % sind Veredlungsbetriebe. Südlich der Lippe steigt bedingt durch die höhere Bodenqualität die durchschnittliche Betriebsgröße und in der Betriebsausrichtung dominiert hier der Marktfruchtanbau mit Zuckerrüben, Raps und Halmfruchtanbau.

Der *Niederrhein (Niederrheinisches Tiefland)* ist gekennzeichnet durch umfangreiche und weitläufige Flusstäler der niederrheinischen Tiefebene, in denen sich gute Böden gebildet haben. Im Norden nehmen die Grünlandflächen, bedingt durch grundwassernahe Böden zu

Übersicht 31: Karte der Naturräume Nordrhein-Westfalens



Quelle: Eigene Darstellung nach HOEGEN ET AL., 1995, Anhang

Hier dominiert als Betriebsausrichtung die Milchviehhaltung. In der Mitte überwiegen Futterbau- und Veredlungsbetriebe mit Rinder- und Schweinemast. In einem kleineren südlichen Bereich werden vorwiegend Kartoffeln angebaut. Zugleich ist der Niederrhein auch Schwerpunkt der Gartenbaubetriebe in Nordrhein-Westfalen.

In der *Rheinischen (Köln-Aachener-) Bucht* finden sich ebene und gelegentlich leicht hügelige Lössböden. Hier sind die besten Ackerböden Nordrhein-Westfalens und es dominiert der Marktfruchtanbau mit Halmfrüchten, Kartoffeln und Gemüse sowie der Zuckerrübe.

Die *Eifel* ist eine Mittelgebirgsregion mit meist nährstoffarmen Böden. Typisch sind kleine Futterbaubetriebe mit Milchkuhhaltung. Der Anteil der Nebenerwerbsbetriebe ist in der Eifel besonders hoch.

Das *Süderbergland* (*Sauer-, Siegerland und Bergisches Land*) ist gekennzeichnet durch ein stark hängiges Gelände. Die Böden sind schwer zu bewirtschaften und werden überwiegend als Dauergrünland genutzt. Auch hier überwiegen kleinere Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung auf Dauergrünland.

Typisch für das *Weserbergland* sind häufig weizen- und rübenfähige Böden in einer hügeligen Landschaft. Im oberen Weserbergland werden verstärkt Halmfrüchte, Zuckerrüben und Raps angebaut, im unteren Weserbergland nimmt der Anteil des Dauergrünlandes zu (vgl. MUNLV, 2000, S. 15 ff).

Als Modellbetriebe zur Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen wurde ein Betrieb in der Köln-Aachener Bucht (sehr guter Ackerbaustandort) und ein Betrieb aus dem Bergischen Land (Grenzstandort mit geringeren Ackerbauanteil) ausgewählt.

6.1.2 Rheinland-Pfalz

Übersicht 32 zeigt die Standorttypen der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz. Aufgrund der regionalen Unterschiede der natürlichen Bedingungen (Boden, Klima, Niederschläge, Hangneigung) und der Besiedlungsdichte haben sich unterschiedliche Formen der Landbewirtschaftung herausgebildet.

Die *Intensivstandorte der Sonderkulturen und des Ackerbaus* sind gekennzeichnet durch gute Bodenqualitäten und günstiges Klima. Zu dieser Gebietskategorie gehört der gesamte Oberrheingraben, das Maifeld, das Neuwieder Becken und die Grafschaft im Kreis Ahrweiler.

Die *Standorte des Marktfruchtbaus* in den Höhenlagen umfassen die Randgebiete, die an den Oberrheingraben, das Maifeld und das Neuwieder Becken anschließen. Zu ihnen zählen insbesondere der Donnersbergkreis, der Kreis Bad Kreuznach, der Rhein-Hunsrück-Kreis, der Rhein-Lahn-Kreis sowie der Kreis Cochem-Zell.

Die räumlichen Schwerpunkte *der Standorte mit überwiegend Futterbau* liegen im Westerwald, der Nordwesteifel und in Teilen der Kreise Kusel, Zweibrücken sowie Pirmasens. Die Landwirtschaft ist hier gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an Dauergrünland.

Zur Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz wurde ein Modellbetrieb aus der Region Maifeld (intensiver Ackerbaustandort) und ein Modellbetrieb aus der Region Westerwald (überwiegend Futterbau, aber noch mit Ackerbau, da in Randlage zum Neuwieder Becken) ausgewählt.

Übersicht 32: Standorttypen der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz



Quelle: STAATSKANZLEI RHEINLAND-PFALZ, 1995, Karte 16

6.2 Beschreibung der Betriebe

6.2.1 Düren

Als Modellbetrieb für die Region Köln-Aachener Bucht wurde ein Ackerbaubetrieb aus dem Kreis Düren ausgewählt.

Die zur Ermittlung der Ertragsfunktionen benötigten Erträge der einzelnen Fruchtarten für die Jahre 1995 bis 2001 wurden aus Statistiken für den Landkreis Düren (vgl. LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NRW, versch. Jgg.) bzw. aus Ackerschlagkarteiauswertungen des Arbeitskreises Ackerbau Düren (vgl. AK ACKERBAU DÜREN, versch. Jgg.) entnommen. Bei Kartoffeln wurden die Erträge von Industriekartoffeln verwendet, da diese im Modellbetrieb angebaut werden. Lagen für bestimmte Fruchtarten keine Erträge auf Kreisebene Düren vor (Körnererbsen, Ackerbohnen), so wurden Erträge des Naturraums Köln-Aachener Bucht (bestehend aus den Landkreisen Heinsberg, Viersen, Erftkreis Düren und Neuss) herangezogen. Die N_{Min} -Frühjahrswerte für die einzelnen Jahre wurden aus Angaben der Landwirtschaftskammer (vgl. Lk Rheinland, 2002b) entnommen. Die eingesetzte N-Düngermenge wurde nach Kenntnis der erzielten Erträge und der N_{Min} -Werte nach der „Modifizierten N_{Min} -Methode“ berechnet (vgl. LPP, 1998, S. 16f). Die Produktpreise der einzelnen Fruchtarten und der Faktorpreis für den N-Dünger von 1995 wurde wiederum aus statistischen Daten (vgl. LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NRW, versch. Jgg.; LK RHEINLAND, versch. Jgg. d) entnommen. Die durchschnittliche Ackerzahl in der Region beträgt nach Angaben des Beraters 76. Die mit Hilfe dieser Daten ermittelten Ertrags- und Varianzfunktionen, die für die Auswertungen des Modellbetriebes Düren benötigt werden, sind in Anhang 15 dargestellt.

Der Modellbetrieb ist ein reiner Ackerbaubetrieb mit einer Anbaufläche von 80 ha. Die durchschnittliche Ackerzahl im Betrieb beträgt 76. Die Bodenart ist mittel sandiger Lehm (Ls3). Der Humusgehalt des Bodens beträgt im Durchschnitt 2 %.

Der durchschnittliche Sommerniederschlag beträgt 356 mm und der durchschnittliche Winterniederschlag 401 mm. Zur Ermittlung der Variationskoeffizienten wurden Niederschlagsdaten der Jahre 1990 bis 1999 der Obstbauversuchsanstalt Klein-Altendorf der Universität Bonn ausgewertet. Dabei beträgt der Variationskoeffizient des Sommerniederschlags 26 %, der Variationskoeffizient der Winterniederschlags 23,5 %.

Der Betrieb besitzt eine Zuckerrübenquote in Höhe von 10.890 dt A-Quote und 3.270 dt B-Quote. Die Abfuhr der Rüben erfolgt in Eigenleistung, dafür erhält der Betrieb eine Fuhrvergütung in Höhe von 187 €/ha.

Die Produktionsstruktur des Betriebes zeigt sich wie folgt:

- 34 ha Winterweizen
- 24 ha Zuckerrüben
- 10 ha Kartoffeln
- 6 ha Wintergerste
- 6 ha Flächenstilllegung
- 18 ha Zwischenfrüchte

Die näher ausgewertete typische Fruchtfolge für den Betrieb lautet:

Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste - Kartoffeln - Winterweizen (Zwischenfrucht Senf)

Als Stilllegung wird im Modellbetrieb Ölrettich zur Nematodenbekämpfung angebaut. Als Zwischenfrucht wird Senf ebenfalls zur Nematodenbekämpfung vor Zuckerrüben angebaut.

Der Betrieb ist vollständig eigenmechanisiert. Die Arbeitsgänge der einzelnen Produktionsverfahren, die sich daraus ergebenen variablen Maschinenkosten und die eingesetzte Arbeitszeit wurden in Zusammenarbeit mit dem Berater aufgenommen. Im Anhang 19 sind beispielhaft für alle Modellbetriebe und Verfahren die Arbeitsgänge des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung dargestellt. Die Angaben des Beraters wurden hierbei durch KTBL-Angaben (vgl. KTBL, 2002a) ergänzt bzw. überarbeitet.

Stroh wird im Betrieb nicht abgefahren, somit entstehen im Getreidebau auch keine Nebenleistungen. Die Düngung erfolgt nur mit mineralischen Düngern. Die Grunddüngung mit P und K erfolgt in der Fruchtfolge zu den Hackfrüchten.

Als N_{Min} Startwerte für die einzelnen Fruchtarten wurden die durchschnittlichen N_{Min} -Frühjahrswerte aus den letzten Jahren herangezogen. Diese haben folgende Werte:

- Winterweizen: 50 kg/ha
- Wintergerste: 40 kg/ha
- Zuckerrüben: 69 kg/ha
- Kartoffeln: 45 kg/ha

Die weiteren zur Berechnung der ökologischen und ökonomischen Kennwerte benötigten Daten wurden aus den Angaben des Beraters entnommen. Tabelle 28 zeigt die Datengrundlage des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung nach den Angaben des Beraters.

Die Flächen im Modellbetrieb sind alle eben, daher müssen keine Erosionsberechnungen durchgeführt werden.

6.2.2 Bergisches Land

Als Modellbetrieb für das Bergische Land wurde ein Gemischtbetrieb mit Ackerbau und Milchviehhaltung ausgewählt, wobei für diese Auswertungen nur der Betriebszweig Ackerbau betrachtet wird.

Grundlage zur Ermittlung der Ertragsfunktionen bilden die Erträge der Region Bergisches Land (bestehend aus den Landkreisen Mettmann, Rheinisch-Bergischer Kreis und Oberbergischer Kreis) für die Jahre 1995 und 2001. Die durchschnittliche Ackerzahl in der Region beträgt 55. Die übrigen zur Ermittlung der Ertrags- und Varianzfunktionen benötigten Daten wurden analog zum Modellbetrieb Düren bestimmt.

Tabelle 28: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

	Einheit	Zucker- rüben	Winter- weizen	Winter- gerste	Kartoffeln	Senf (ZwF)	Ölrettich (FSL)
Nebenleistung	€/ha	178					
Saatgut	€/ha	191	59	48	970	22	50
Herbizide	€/ha	187	29	56	100		
Fungizide	€/ha	26	92	81	250		
Wachstumsregler	€/ha		10	10			
Insektizide	€/ha	3	11	10			
Sonstige PSM	€/ha	2					
Var. Masch.-Kosten	€/ha	305	111	118,5	525,5	40	92
Versicherung	€/ha	20	8	7	20		
Arbeitseinsatz	Akh/ha	23,5	7	7	49	2,1	5
P-Düngung	kg/ha	206			140		
K-Düngung	kg/ha	398			250		
Abfuhr Erntereste		nein	nein	nein	nein		

Quelle: Eigene Erhebung

Im Anhang 16 sind die für den Modellbetrieb Bergisches Land benötigten Ertrags- und Varianzfunktionen der einzelnen Fruchtarten aufgeführt.

Die betrachtete Ackerfläche des Modellbetriebes beträgt 80 ha. Die durchschnittliche Ackerzahl im Betrieb beläuft sich auf 55. Die Bodenart ist mittel sandiger Lehm und der Humusgehalt des Bodens beträgt 2 %. Der Sommerniederschlag beläuft sich im Durchschnitt auf 353 mm und der Winterniederschlag auf 397 mm. Für die Variationskoeffizienten der Niederschläge wurden die gleichen Werte unterstellt wie im Modellbetrieb Düren.

Da der Betrieb in der Randlage des Bergischen Land zur Köln-Aachener Bucht liegt, hat er noch rübenfähige Böden und besitzt ein Zuckerrübenkontingent in Höhe von 6.150 dt A-Quote und 1.840 dt B-Quote. Die Abfuhr der Rüben erfolgt hier durch ein Lohnunternehmen, so daß hier keine Fuhrvergütung anfällt und somit bei den Zuckerrüben keine Nebenleistungen entstehen. Stroh wird im Betrieb ebenfalls nicht abgefahren, d.h. beim Getreidebau fallen ebenfalls keine Nebenleistungen an. Außer der Rübenabfuhr werden alle anfallenden Arbeiten in Eigenregie durchgeführt, d.h. der Betrieb ist vollständig eigenmechanisiert.

Das Anbauprogramm des Betriebes ergibt sich wie folgt:

- 41 ha Winterweizen
- 16 ha Zuckerrüben
- 16 ha Wintergerste
- 7 ha Flächenstilllegung

- 25 ha Zwischenfrüchte (9 ha Klee gras und 16 ha Senf)

Die näher ausgewertete typische Fruchtfolge für den Modellbetrieb lautet:

Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste (Zwischenfrucht Klee gras) - Winterweizen - Winterweizen (Zwischenfrucht Senf)

Das Klee gras wird als Futter im Betriebszweig Milchviehhaltung eingesetzt. Der Senf dient zur Nematodenbekämpfung vor Zuckerrüben. Die Flächenstilllegung erfolgt in Form von Brache.

Aus dem Betriebszweig Milchviehhaltung stehen für den Ackerbau 500 m³ Gülle zur Verfügung. Das ist die Hälfte der im Betrieb anfallende Gülle von 40 Milchkühen. Diese wird zu den Zwischenfrüchten ausgebracht, d.h. hier stehen ca. 20 m³ Gülle je ha zur Verfügung. Die Grunddüngung mit P und K erfolgt in der Fruchtfolge zu Zuckerrüben.

Als N_{Min}-Startwerte wurden die gleichen Werte wie im Modellbetrieb Düren unterstellt. Ebenso erfolgte die Bestimmung der Arbeitsgänge bei den einzelnen Fruchtarten und die Ermittlung der weiteren Daten für die Produktionsverfahren auf die gleiche Weise wie im Modellbetrieb Düren. Allerdings sind im Modellbetrieb Bergisches Land die benötigten Arbeitszeiten für die einzelnen Arbeitsgänge aufgrund der Hangneigung der Flächen höher.

In Tabelle 29 ist die Datengrundlage des Modellbetriebes bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung dargestellt. Bei der Flächenstilllegung in Form von Brache fallen variable Spezialkosten in Höhe von 38 €/ha an und der Arbeitsaufwand beträgt 2,3 h/ha. Rund 75 % der Ackerflächen (58,4 ha) des Modellbetriebes unterliegen einer Hangneigung, daher müssen für dies Flächen Erosionsberechnungen durchgeführt werden.

Tabelle 29: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

	Einheit	Zucker- rüben	Winter- weizen ¹⁾	Winter- gerste	Stoppel- weizen ²⁾	Senf (ZwF)	Klee gras (ZwF)
Saatgut	€/ha	154	75	94,5	75	22	65
Herbizide	€/ha	178	38	51	38		
Fungizide	€/ha	26	77	51	77		
Wachstumsregler	€/ha		5,1	5,1	5,1		
Insektizide	€/ha	3	5,1		5,1		
Var. Masch.-Kosten	€/ha	214,5	107	125,5	128,5	90	76
Arbeitseinsatz	Akh/ha	18	7,5	9	9	6,5	5,5
P-Düngung	kg/ha	75					
K-Düngung	kg/ha	200					
Gülle	m ³ /ha					20	20
Abfuhr Erntereste		nein	nein	nein	nein		

¹⁾ Winterweizen nach Zuckerrüben bzw. Klee gras

²⁾ Winterweizen nach Getreide

Quelle: Eigene Erhebung

Tabelle 30 zeigt die schlagspezifischen Daten der erosionsgefährdeten Flächen des Modellbetriebes.

Tabelle 30: Erosionsgefährdete Schläge (Bewirtschaftungseinheiten) des Modellbetriebes Bergisches Land

Schlagnummer	Größe (ha)	erosive Hanglänge (m)	Hangneigung (%)
1	3	125	5
2	2,5	125	4
3	3,7	200	2,5
4	6	250	8
5	12,5	250	4
6	7,5	125	5
7	3,7	250	5
8	6,2	250	8
9	5,2	250	4
10	8,1	250	3

Quelle: Eigene Erhebung

Da keine genaueren Daten vorliegen, wird angenommen, daß die Bodenart (mittel sandiger Lehm) und die Ackerzahl (55) auf allen Flächen des Betriebes gleich ist. Die zur Berechnung des R-Faktors benötigte Niederschlagsmenge von Mai bis Oktober beträgt 357 mm, der Variationskoeffizient 26 %. Die Zeitspannen für die Kulturperioden wurden von den bayerischen Verhältnissen (vgl. Anhang 7) an die Verhältnisse des Modellbetriebes angepasst.

Die Fruchtfolgen auf den einzelnen erosionsgefährdeten Schläge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sind in Tabelle 31 dargestellt. Dabei wird der Schlag 1 zur Auswertung der Fruchtfolge herangezogen.

6.2.3 Maifeld

Als Modellbetrieb für die Region Maifeld wurde ein Ackerbaubetrieb mit einer Anbaufläche von 80 ha ausgewählt.

Die zur Ermittlung der Ertragsfunktionen benötigten Erträge der einzelnen Fruchtarten aus den Jahren 1995 bis 2001 wurden aus amtlichen Statistiken (vgl. STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ, 2002, S. 68ff) auf Ebene des Landkreises Mayen-Koblenz entnommen. Dabei besteht jedoch das Problem, daß diese Erträge das erhöhte Ertragsniveau in der Region Maifeld nicht widerspiegeln. Daher wurden die entsprechenden Erträge nach Absprache mit dem Berater nach oben korrigiert und an das Niveau der Region Maifeld angepasst. Die benötigten N_{Min} -Frühjahrswerte für die einzelnen Fruchtarten und Jahre wurden aus Angaben der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt (SLVA) für Landwirtschaft Ahrweiler/Mayen-Koblenz entnommen

Tabelle 31: Fruchtfolge auf den erosionsgefährdeten Schlägen des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Schlagnummer	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
1	ZR	WW	WG+Klee	WW	WW+Senf
2	WW+Senf	ZR	WW	WG	FSL
3	WW+Senf	ZR	WW	WG	FSL
4	WG+Klee	WW	WW+Senf	ZR	WW
5	WW	WG+Klee ¹⁾	WW ²⁾	WW+Senf	ZR
6	WW+Senf	ZR	WW	WG+Klee	WW
7	FSL	WW+Senf	ZR	WW	WG
8	WW	WW+Senf	ZR	WW	WG+Klee
9	WW	WW+Senf	ZR	WW	WG
10	ZR	WW	WG ³⁾	FSL ⁴⁾	WW+Senf

¹⁾ nur auf 9 ha Klee gras

²⁾ auf 3,5 ha FSL

³⁾ auf 1,1 ha Klee gras

⁴⁾ auf 1,1 ha Winterweizen

Quelle: Eigene Erhebung

(vgl. SLVA AHRWEILER/MAYEN-KOBLENZ, 2002). Die Ermittlung der eingesetzten Düngermengen erfolgt auch hier mit Hilfe der Modifizierten N_{Min} -Methode. Die einzelnen Produkt- und Faktorpreise wurden von den Modellbetrieben in Nordrhein-Westfalen übernommen. Die durchschnittliche Ackerzahl in der Region beträgt 70. Die für die Auswertungen benötigten Ertrags- und Varianzfunktionen der einzelnen Fruchtarten sind in Anhang 17 aufgeführt.

Der Modellbetrieb ist vollständig eigenmechanisiert. Die Ackerzahl im Betrieb beträgt 70. Die Niederschlagsdaten ergeben sich aus Daten der Versuchstation Rosenhof in Mayen, wobei sich der Sommerniederschlag im Durchschnitt der Jahre auf 390 mm, der Winterniederschlag auf 340 mm beläuft. Die Variationskoeffizienten der Niederschläge werden vom Modellbetrieb Düren übernommen. Die Bodenart im Modellbetrieb ist mittel sandiger Lehm (Ls3), der Humusgehalt des Bodens beträgt 2 %.

Der Betrieb besitzt ein Zuckerrübenkontingent in Höhe von 3.950 dt A-Quote und 1.180 dt B-Quote. Die Abfuhr der Rüben erfolgt durch ein Lohnunternehmen, so daß keine Nebenleistungen anfallen. Im Getreidebau wird kein Stroh abgefahren, d.h. auch hier entstehen keine Nebenleistungen.

Die Produktionsstruktur des Modellbetriebes zeigt sich wie folgt:

- 37 ha Winterweizen
- 13 ha Wintergerste
- 13 ha Winterraps
- 9 ha Zuckerrüben

- 8 ha Winterroggen

Die näher betrachtete typische Fruchtfolge des Betriebes lautet:

Zuckerrüben - Winterweizen - Winterweizen - Winterroggen - Wintergerste

Von den 13 ha Winterraps werden 7,5 ha in Form von nachwachsenden Rohstoffen als Flächenstilllegung angebaut. Auf den Flächen, die mit Winterraps bestellt sind, werden keine Zuckerrüben angebaut.

Im Betrieb werden keine Zwischenfrüchte angebaut. Die Düngung erfolgt ausschließlich mit mineralischen Düngern, wobei die Grunddüngung sehr restriktiv gehandhabt wird und in der Fruchtfolge zu Zuckerrüben und Winterraps gegeben wird. Die N_{Min} -Startwerte für die einzelnen Fruchtarten werden aus den Durchschnitt der Werte der vergangenen Jahre abgeleitet. Diese betragen:

- Winterweizen: 53 kg/ha
- Wintergerste: 45 kg/ha
- Winterroggen: 45 kg/ha
- Winterraps: 43 kg/ha
- Zuckerrüben: 75 kg/ha

Die Datengrundlage des Modellbetriebes Maifeld bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung ist in Tabelle 32 dargestellt.

Tabelle 32: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Maifeld bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

	Einheit	Zucker- rüben	Winter- weizen ¹⁾	Stoppel- weizen ²⁾	Winter- roggen	Winter- gerste	Winter- raps
Saatgut	€/ha	105	40	40	110	35	45
Herbizide	€/ha	107	40	40	40	40	65
Fungizide	€/ha		58	77	55	65	40
Wachstumsregler	€/ha		4	4	4	4	
Var. Masch.-Kosten	€/ha	226	105,5	133	130	130	138
Versicherung	€/ha		9	9	9	9	10
Arbeitseinsatz	Akh/ha	15	7,5	9	8,5	8,5	9,5
P-Düngung	kg/ha	63					63
K-Düngung	kg/ha	35					35
Abfuhr Erntereste		nein	nein	nein	nein	nein	nein

¹⁾ Winterweizen nach Winterraps und Zuckerrüben

²⁾ Winterweizen nach Getreide

Quelle: Eigene Erhebung

Die Schläge des Modellbetriebes sind eben, daher müssen keine Erosionsberechnungen durchgeführt werden.

6.2.4 Westerwald

Als Modellbetrieb für die Region Westerwald wurde ein 65 ha Ackerbaubetrieb, der in der Randlage des Westerwaldes zum Neuwieder Becken liegt, ausgewählt.

Als Grundlage zur Ermittlung der Ertragsfunktionen wurden die Erträge der einzelnen Fruchtarten für die Jahre 1995 bis 2001 auf der Ebene des Westerwaldkreises herangezogen. Die entsprechenden N_{Min} -Frühjahrswerte stammen aus Angaben der SLVA Montabaur-Altenkirchen (vgl. SLVA MONTABAU-ALTENKIRCHEN, 2002). Die durchschnittliche Ackerzahl in der Region beträgt 40. Die Bestimmung der übrigen Daten erfolgt wie beim Modellbetrieb Maifeld.

Die für den Modellbetrieb Westerwald relevanten Ertrags- und Varianzfunktionen sind in Anhang 18 aufgeführt.

Der Modellbetrieb ist ein reiner Ackerbaubetrieb und vollständig eigenmechanisiert. Die Bodenart ist mittel sandiger Lehm (Ls3) und der Humusgehalt beträgt 2 %. Der Sommerniederschlag beläuft sich auf 482 mm, der Winterniederschlag auf 485. Die Ackerzahl des Betriebes beträgt 40.

Das Anbauprogramm besteht aus folgenden Fruchtarten:

- 26 ha Winterweizen
- 17 ha Winterraps
- 13 ha Sommergerste
- 9 ha Wintergerste

Die näher betrachtete typische Fruchtfolge im Betrieb lautet:

Winterraps - Winterweizen - Winterweizen - Sommergerste - Wintergerste

Von den 17 ha Winterraps werden 6,5 ha in Form von Nachwachsenden Rohstoffen als Flächenstilllegung angebaut. Ein Anbau von Zwischenfrüchten erfolgt nicht. Weiterhin wird auch kein Stroh abgefahren, daher entstehen keine Nebenleistungen.

Die Düngung erfolgt ausschließlich mit mineralischen Düngern. Zu Sommergerste und Stoppelweizen wird mit Mehrnährstoffdüngern (N/P/K-Dünger) gedüngt, daher entspricht bei Sommergerste (nur eine Düngergabe) die Menge an P und K der im Modell berechneten N-Menge. Zu Winterraps erfolgt eine K-Düngung, zu Winterweizen und Wintergerste eine P-Düngung. Die N_{Min} -Startwerte für die einzelnen Fruchtarten werden aus den Durchschnitt der Werte der vergangenen Jahre abgeleitet. Diese betragen:

- Winterweizen: 50 kg/ha

- Wintergerste: 32 kg/ha
- Winterraps: 30 kg/ha
- Sommergerste: 46 kg/ha

Die Datengrundlage des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung ist in Tabelle 33 dargestellt. Rund 75 % der Flächen des Modellbetriebes Westerwald (49,5 ha) unterliegen einer Hangneigung, daher muß für diese Schläge eine Berechnung des potentiellen Bodenabtrages durchgeführt werden.

Tabelle 33: Datengrundlage der Produktionsverfahren des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

	Einheit	Winter- raps	Winter- weizen ¹⁾	Stoppel- weizen ²⁾	Sommer- gerste	Winter- gerste
Saatgut	€/ha	30	81	81	68	70
Herbizide	€/ha	77	39	39	27	43
Fungizide	€/ha		61	103	28	34
Wachstumsregler	€/ha		2	2		15
Insektizide	€/ha	30				
Sonstige PSM	€/ha	23				
Var. Masch.- Kosten	€/ha	116	91,5	117	117	109
Sonstiges	€/ha	20	20	20	20	20
Arbeitseinsatz	Akh/ha	9	7,5	9	8,5	8
P-Düngung	kg/ha		60	70	65	60
K-Düngung	kg/ha	200		70	65	
Abfuhr Erntereste		nein	nein	nein	nein	nein

¹⁾ Winterweizen nach Winterraps

²⁾ Winterweizen nach Getreide

Quelle: Eigene Erhebung

In Tabelle 34 sind die schlagspezifischen Daten der erosionsgefährdeten Flächen im Modellbetrieb aufgeführt.

Da auch hier keine genaueren Daten vorliegen, wird unterstellt, daß die Bodenart (mittel sandiger Lehm) und die Ackerzahl (40) in allen Schlägen gleich ist.

Die Niederschlagsmenge von Mai bis Oktober beträgt 487 mm, der Variationskoeffizient 26 %.

Die Zeitspannen der Kulturartenperioden wurden an die Verhältnisse des Modellbetriebes angepasst. Hier erfolgt nach Winterraps keine wendende Bodenbearbeitung, d.h. es tritt Kulturartenperiode 1b in Kraft (vgl. Anhang 7).

Tabelle 34: Erosionsgefährdete Schläge (Bewirtschaftungseinheiten) des Modellbetriebes Westerwald

Schlagnummer	Größe (ha)	erosive Hanglänge (m)	Hangneigung (%)
1	5	400	0,5
2	3,5	275	3,5
3	3	200	4
4	6	275	2
5	7	125	4
6	3	250	2
7	5	250	3
8	6	675	3
9	5	425	3,5
10	6	425	3,5

Quelle: Eigene Erhebung

Tabelle 35 zeigt die Fruchtfolgen der erosionsgefährdeten Schläge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Für die Auswertungen zur Fruchtfolge wurde der Schlag 7 herangezogen.

Tabelle 35: Fruchtfolge auf den erosionsgefährdeten Schlägen des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Schlagnummer	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
1	WW	WW	WG	Raps	WW
2	WW	WW	Raps	WW	SG
3	WW	Raps	WW	WW	WG
4	WG	Raps	WW	WG	Raps
5	WW	SG	Raps	WW	WW
6	WG	Raps	WW	WW	SG
7	Raps	WW	WW	SG	WG
8	Raps	WW	SG	Raps	WW
9	SG	Raps	WW	SG	Raps
10	SG	WG	Raps	WW	WW

Quelle: Eigene Erhebung

6.3 Allgemeine Daten

In diesem Kapitel werden die Größen vorgestellt, die bei allen Modellbetrieben über den Auswertungszeitraum konstant bleiben. Dies sind die Preise für die einzelnen Produkte und eingesetzten Düngernährstoffen, sowie die Ausgleichszahlungen für die Marktordnungsfrüchte im Rahmen der Agenda 2000. Durch das Beibehalten dieser Größen, sollen Verzerrungen bei den Auswertungen zu den Agrarumweltmaßnahmen, die durch Veränderungen in diesen Bereichen entstehen, vermieden werden. Die Veränderungen der

Prämiengestaltungen durch die Mid Term Review der Europäischen Union wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Ausgangspunkt für die Preise (incl. 9 % MwSt.) und die Höhe der Ausgleichszahlungen, die in Tabelle 36 aufgeführt sind, ist das Niveau von 2002.

Tabelle 36: Im Modell verwendete Preise für die einzelnen Fruchtarten und Dünger sowie die Höhe der Ausgleichszahlungen (AZ)

Winterweizen (B-Weizen):	10,25 €/dt
Sommerweizen (A-Weizen):	11,06 €/dt
Wintergerste (Futtergerste):	9,16 €/dt
Sommergerste (Braugerste):	12,54 €/dt
Winterroggen:	9,16 €/dt
Körnererbsen:	14,20 €/dt
Ackerbohnen:	13,93 €/dt
A-Rüben:	5,47 €/dt
B-Rüben:	3,52 €/dt
C1-Rüben:	1,43 €/dt
C2-Rüben:	0,74 €/dt
Winterraps:	23,77 €/dt
Kartoffeln:	9,79 €/dt
N-Dünger:	0,57 €/kg
P-Dünger:	0,48 €/kg
K-Dünger	0,33 €/kg
AZ NRW Getreide, Ölsaaten, FSL	366 €/ha
AZ NRW Eiweißpflanzen	421 €/ha
AZ RP Getreide, Ölsaaten, FSL	301,14 €/ha
AZ RP Eiweißpflanzen	346,55 €/ha

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Die Getreidepreise- und die Preise für Leguminosen wurden aus den Ackerschlagkartei-auswertungen des Arbeitskreises für Betriebsführung Köln-Aachener Bucht entnommen (vgl. LK RHEINLAND , 2002b, S. 6ff). Die Rübenpreise verstehen sich inklusive Schnitzelvergütung und basieren auf Auszahlungspreise in der Region Rheinland. Die Preise für Winterraps stammen aus Auswertungen der ZMP (vgl. ZMP, 2003, S. 180). Bei Kartoffeln wurde aufgrund der starken Preisschwankungen der Durchschnittspreis aus den letzten 5 Jahre gebildet (vgl. ZMP, 2001, S. 80). Die Düngerpreise beziehen sich auf den Reinnährstoff und bilden sich aus den Durchschnittspreisen der letzten Jahre (vgl. LK RHEINLAND ,versch. Jgg., d).

7. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen einer Teilnahme der einzelnen Modellbetriebe an den verschiedenen Agrarumweltmaßnahmen beschrieben. Dabei werden zunächst die betrieblichen Anpassungsmaßnahmen, die bei einer Teilnahme nötig sind, vorgestellt. Anhand der typischen Fruchtfolge der einzelnen Betriebe werden die Veränderungen von ausgewählten Kennzahlen der angebauten Kulturen durch die Teilnahme an den verschiedenen Programmteilen aufgezeigt. Anschließend erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der Modellrechnungen. Hier werden die zu erwartenden gesamtbetrieblichen Auswirkungen der Programmteilnahme mit Hilfe der ökonomischen und ökologischen Indikatoren erläutert. Diese Kennzahlen sind die Mittelwerte und Streuungsparameter der im Modell durchgeführten Simulationsläufe.

7.1 Auswertungen Nordrhein-Westfalen

7.1.1 Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen

Die Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen hat für die Modellbetriebe eine Reihe von Anpassungen in der Fruchtfolgegestaltung und im Produktionsmitteleinsatz zur Folge. Deshalb werden zunächst die im Betrieb ablaufenden Veränderungen beschrieben. Dies erfolgt im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung unter Betrachtung der für den jeweiligen Betrieb typischen Fruchtfolge. Dabei werden die Veränderungen der ausgewählter Kennziffern der einzelnen Fruchtarten kurz erläutert.

7.1.1.1 Modellbetrieb Düren

Tabelle 37 zeigt ausgewählte Kennziffern der näher betrachteten Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren. Man erkennt, daß Zuckerrüben und Kartoffeln die deckungsbeitragsstärksten, aber auch die arbeitsintensivsten Kulturen sind. Aufgrund der hohen Preis- und Ertragsvariabilität der Kartoffeln liefern diese einen hohen Beitrag zur Einkommensvarianz des Modellbetriebes. Die Auswirkungen der Zwischenfrucht in Bezug auf Deckungsbeitrag und Nährstoffbilanzen ist bei der nachfolgenden Hauptfrucht mit berücksichtigt.

Variante „Verzicht auf Herbizide“

Durch die Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“ ergeben sich für den Modellbetrieb einige Veränderungen im Produktionsprogramm und in den Produktionsverfahren. Da aufgrund des zu erwarteten Ertragsrückgangs durch den Verzicht auf Herbizide der Rübenertrag sinkt und das im Betrieb vorhandene Rübenkontingent hierdurch nicht ausgeschöpft wird, erhöht sich die Anbaufläche der Zuckerrüben um einen halben Hektar um eine höhere Ausnutzung des Kontingents zu erzielen. Die Anbaufläche von Winterweizen wird entsprechend eingeschränkt.

Tabelle 37: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	Kartoffeln	WW
Ertrag	dt/ha	591	96	91	501	101
Standardabweichung	dt/ha	81	13	15	86	13
Variationskoeffizient	%	14	13	17	17	13
Marktleistung	€/ha	3.101	989	837	4.907	1.030
Var. Spezialkosten	€/ha	1.044	444	430	2.153	429
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366		366
Deckungsbeitrag	€/ha	1.995	911	773	2.462 ¹⁾	967
Standardabweichung DB	€/ha	460	199	188	3.066	203
Variationskoeffizient DB	%	23	22	24	125	21
Arbeitseinsatz	Akh/ha	25,5	7	7	49	7
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	78	130	110	50	138
N-Bilanz	kg/ha	14	14	10	7	-20
P-Bilanz	kg/ha	147	-77	-73	70	-80
K-Bilanz	kg/ha	250	-58	-55	-51	-60
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	2,41	4,21	0

¹⁾ Bei der Berechnung des Erwartungswertes des Deckungsbeitrages von Kartoffeln wurde die Kovarianz von Ertrag und Preis berücksichtigt

Quelle: Eigene Berechnungen

Das Anbauprogramm des Modellbetriebes bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen ist in Anhang 20 dargestellt.

An der betrachteten Fruchtfolge des Modellbetriebes ändert sich durch die Teilnahme an der Variante nichts. Innerhalb der einzelnen Produktionsverfahren treten folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der Herbizide.
- Bei Zuckerrüben zusätzlich zweimal Handhacke und zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken).
- Bei Kartoffeln zusätzlich einmal Handhacke und viermal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken und Striegeln).
- Im Getreide zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Striegeln).
- Reduzierung der Grunddüngung aufgrund der niedrigeren Ertragserwartung um 5 %.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 92 €/ha.

Die einzelnen Arbeitsgänge der Produktionsverfahren wurden entsprechend der Veränderungen angepasst. Für die Handhacke von Zuckerrüben werden insgesamt 45 h/ha (vgl. KTBL, 2002b, S. 79) und für die Handhacke von Kartoffeln 12 h/ha (vgl. KTBL, 2002b, S. 72) veranschlagt. Da die Arbeitszeit des Betriebsleiters für diese Arbeiten nicht ausreicht, werden hierfür zusätzlich Saisonarbeitskräfte für 7,50 €/h eingestellt. Die anfallenden Arbeiten werden hierbei zu einem Drittel vom Betriebsleiter und zu zwei Drittel von den Lohnarbeitskräften ausgeführt. Dabei entsteht für den Betriebsleiter bei Zuckerrüben ein Zeitaufwand für die Handhacke von 15 h/ha und bei Kartoffeln von 4 h/ha. Als zusätzliche Kosten für die Lohnarbeitskräfte fallen bei Zuckerrüben 225 €/ha und bei Kartoffeln 60 €/ha an. In Tabelle 38 sind ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“ dargestellt.

Tabelle 38: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	Kartoffeln	WW
Ertrag	dt/ha	577	90	84	470	93
Standardabweichung	dt/ha	88	15	18	102	15
Variationskoeffizient	%	15	17	22	22	16
Marktleistung	€/ha	3.031	920	768	4.603	958
Düngung gesamt	€/ha	286	107	86	233	93
PSM Gesamt	€/ha	31	113	101	250	113
Var. Masch.-Kosten	€/ha	315	123	130	555	123
Lohnarbeit	€/ha	225			60	
Var. Spezialkosten	€/ha	1.089	417	379	2.130	403
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366		366
Agrarumweltprämie	€/ha	92	92	92	92	92
Deckungsbeitrag	€/ha	1.972	960	847	2.194 ¹⁾	1.013
Standardabweichung DB	€/ha	497	209	204	2.927	213
Variationskoeffizient DB	%	25	22	24	133	21
Arbeitseinsatz	Akh/ha	42,5	8	8	56	8
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	46	120	106	39	127
N-Bilanz	kg/ha	15	11	12	13	-20
P-Bilanz	kg/ha	137	-72	-67	64	-75
K-Bilanz	kg/ha	234	-54	-50	-47	-56
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	3,77	9,93	17,55	0

¹⁾ Bei der Berechnung des Erwartungswertes des Deckungsbeitrages von Kartoffeln wurde die Kovarianz von Ertrag und Preis berücksichtigt

Quelle: Eigene Berechnungen

Man erkennt, daß bei allen Fruchtarten die Erträge leicht zurückgehen. Dabei fällt der Ertragsrückgang von Zuckerrüben geringer aus als der von Getreide und Kartoffeln. Die

Deckungsbeiträge liegen bei Getreide aufgrund der Prämienzahlung etwas höher als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, bei Kartoffeln und Zuckerrüben reichen die Prämien nicht aus, die Deckungsbeitragsverluste zu kompensieren. Der Arbeitseinsatz steigt bei Getreide leicht, bei Zuckerrüben und Kartoffeln sehr stark an, wodurch sich die Grenzproduktivität der Arbeit der einzelnen Kulturen gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung deutlich verschlechtert. Der Variationskoeffizient des Deckungsbeitrages verändert sich bei Getreide nicht, da hier die Erhöhung der Variabilität der Erträge durch die Prämienzahlung ausgeglichen werden kann. Bei Zuckerrüben und Kartoffeln reicht die Förderung hierfür nicht aus. Bei den Nährstoffbilanzen und dem potentiellen Nitratgehalt im Sickerwasser treten nur geringe Veränderungen auf. Hier können aber eindeutige Aussagen nur bei den Auswertungen über die gesamte Fruchtfolge bzw. zum Gesamtbetrieb getroffen werden, da zum Beispiel die Grunddüngung zur Fruchtfolge und nicht zu den einzelnen Kulturen erfolgt.

Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“

Bei der Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ (ohne Dünger) müssen vom Betriebsleiter zunächst einige grundsätzliche Veränderungen vorgenommen werden. Da die Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung nur über chem.-synth. Düngemittel stattgefunden hat, müssen jetzt andere Stickstoffquellen genutzt werden. Dies erfolgt im Modellbetrieb durch die Anbau von Leguminosen (Körnererbsen) und durch den Zukauf von Gülle von einem Milchviehbetrieb. Da durch diese beiden Maßnahmen der Stickstoffbedarf des Betriebes nicht vollständig gedeckt werden kann, müssen zusätzliche Ertragsrückgänge einkalkuliert werden, die zur Erhöhung der Anbaufläche der Zuckerrüben führen, um das vorhandene Kontingent zu erfüllen. Hier wird angenommen, daß die Ertragsrückgänge im Laufe des 5-jährigen Verpflichtungszeitraum größer werden, da die Pflanzen zunächst noch von den im Boden vorhandenen Nährstoffen zehren können. Daher erhöht sich die Anbaufläche der Zuckerrübe schrittweise. Durch die Steigerung der Anbaufläche der Hackfrüchte Zuckerrüben und Kartoffeln (Nicht-Marktordnungsfrüchte) kann der Umfang der Flächenstilllegung zurückgefahren werden. Die Körnererbsen werden anstelle der deckungsbeitragsschwächsten Kultur Wintergerste angebaut. Der Anbau erfolgt vor Kartoffeln, damit diesen als deckungsbeitragstarke Frucht zusätzlicher Stickstoff zur Verfügung steht. Daher muß auch die Anbaufläche von Winterweizen leicht reduziert werden. Das Anbauprogramm des Modellbetriebes bei Teilnahme an dieser Maßnahme ist in Anhang 20 dargestellt.

Die näher betrachtete Fruchtfolge ändert sich bei dieser Maßnahme zu:

Zuckerrüben - Winterweizen - Körnererbsen - Kartoffeln - Winterweizen (Zwischenfrucht Senf)

Durch die Ausdehnung des Anbauumfanges der Zuckerrüben werden auf einigen Schlägen jetzt Kartoffeln nach Zuckerrüben angebaut. Dies ist grundsätzlich möglich, hier sollten die Rüben jedoch frühzeitig geerntet werden, um Strukturschäden der Böden aufgrund der Feuchtigkeit im späten Herbst zu vermeiden. Weiterhin muß darauf geachtet werden, daß

der Anteil der Hackfrüchte in der Fruchtfolge nicht zu groß wird, um negative Folgen auf die Humuswirtschaft auszuschließen.

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten durch die Teilnahme an der Maßnahme folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der chem.-synth. Düngemittel.
- Einsatz von 30 m³/ha Gülle zu Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln.
- Bei Zuckerrüben Verringerung der Nebenleistung (Fuhrvergütung).
- Bei Kartoffeln Verringerung der Fungizidkosten.
- Bei Getreide Verringerung der Fungizid- und Wachstumsreglerkosten.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha, bei Körnererbsen 0,5 h/ha.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 92 €/ha.

Die Gülle erhält der Modellbetrieb von einem Milchviehbetrieb über Abnahmeverträge. Hier stehen dem Modellbetrieb ca. 2.000 m³/Jahr zur Verfügung (entspricht in etwa Gülleanfall von 75 Kühen). Dabei fallen die Kosten für die in der Gülle vorhandenen Nährstoffe und die Ausbringungskosten an. Da im Betrieb für diese Arbeiten keine Technik vorhanden ist, erfolgt die Erledigung dieser Arbeiten durch ein Lohnunternehmen. Die Kosten inklusive Transport der Gülle belaufen sich hierbei auf 105 €/ha (vgl. LK RHEINLAND, 2003, S. 5). Hier entsteht kein zusätzlicher Zeitaufwand, da alle anfallenden Arbeiten von dem Lohnunternehmen erledigt werden.

Die Verringerung der Nebenleistungen bei Zuckerrüben ergibt sich aus den reduzierten Erträgen, d.h. je Hektar werden weniger Rüben abgefahren.

Die Reduktion der Pflanzenschutzkosten bei Getreide und Kartoffeln ergeben sich aufgrund der niedrigeren Ertragserwartung und des dadurch verringerten Krankheitsdrucks bzw. der verringerten Lagerneigung. Dadurch sind weniger Überfahrten zur Ausbringung der Pflanzenschutzmittel notwendig. Die Arbeitsgänge der einzelnen Produktionsverfahren wurden entsprechend angepasst.

Beim Anbau von Körnererbsen wird ein zusätzlicher Zeitaufwand von 0,5 h/ha veranschlagt, da dieses Produktionsverfahren neu für den Betriebsleiter ist und er sich komplett in die Produktionstechnik einarbeiten muß. Tabelle 39 zeigt ausgewählte Kennziffern bei Teilnahme des Modellbetriebes an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“.

Im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ist ein deutlicher Ertragsrückgang bei allen Kulturen zu erkennen. Die Deckungsbeiträge reduzieren sich ebenfalls bei allen Fruchtarten sehr stark, da die Förderprämien die durch die Maßnahme induzierten Verluste nicht kompensieren können. Lediglich die Körnererbsen erzielen aufgrund der Förderprämie und der höheren Ausgleichszahlungen für Eiweißpflanzen einen höheren

Tabelle 39: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	Erbsen	Kartoffeln	WW
Ertrag	dt/ha	555	52	44	425	54
Standardabweichung	dt/ha	94	10	12	74	10
Variationskoeffizient	%	17	18	27	17	18
Nebenleistung	€/ha	175				
Marktleistung	€/ha	2.887	534	619	4.164	556
Düngung gesamt	€/ha	118	118	0	118	118
PSM Gesamt	€/ha	209	87	33	300	87
Var. Masch.-Kosten	€/ha	300,5	100	118,5	527	100
Lohnunternehmer	€/ha	105	105		105	105
Var. Spezialkosten	€/ha	963	487	265	2.081	487
Ausgleichszahlung	€/ha		366	421		366
Agrarumweltprämie	€/ha	92	92	92	92	92
Deckungsbeitrag	€/ha	1.954	505	868	1.862 ¹⁾	527
Standardabweichung DB	€/ha	510	127	191	2.572	129
Variationskoeffizient DB	%	26	25	22	138	24
Arbeitseinsatz	Akh/ha	25,0	6,5	7,5	48	6,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	78	78	116	39	81
N-Bilanz	kg/ha	-19	-21	36	-55	-25
P-Bilanz	kg/ha	-11	3	-48	-15	2
K-Bilanz	kg/ha	14	122	-61	-102	120
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	0	0	0

¹⁾ Bei der Berechnung des Erwartungswertes des Deckungsbeitrages von Kartoffeln wurde die Kovarianz von Ertrag und Preis berücksichtigt

Quelle: Eigene Berechnungen

Deckungsbeitrag als die vorher angebaute Wintergerste. Das gleiche gilt auch für die Variationskoeffizienten des Deckungsbeitrages der einzelnen Fruchtarten. Auch hier kann mit Ausnahme der Körnererbsen die Erhöhung der Variabilität nicht durch die Prämienzahlung kompensiert werden. Der Arbeitseinsatz reduziert sich leicht, die Grenzproduktivität der Arbeit ist jedoch mit Ausnahme der Körnererbsen schlechter. Insgesamt sind die Verluste der Zuckerrüben im ersten Jahr nicht so groß wie bei den Kulturen in den Folgejahren, da diese noch von den Nährstoffreserven des Bodens zehren kann. Die N-Bilanzen und der potentielle Nitratgehalt reduzieren sich stark, bei den P- und K-Gehalten ergibt sich aufgrund der Gülledüngung ein differenziertes Bild zwischen den einzelnen Fruchtarten.

Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Bei einer Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ (ohne Chemie) müssen vom Betriebsleiter ähnliche

Vorüberlegungen wie bei der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel getroffen werden. So werden auch hier die Körnererbsen in das Anbauprogramm mitaufgenommen und Gülle von einem Milchviehbetrieb zugekauft.

Die Anbauplanung des Modellbetriebes und die näher betrachtete Fruchtfolge entspricht der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“.

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten durch die Teilnahme an der Maßnahme gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der chem.-synth. Düngemittel und Pflanzenschutzmittel.
- Bei Zuckerrüben zusätzlich zweimal Handhacke und zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken), sowie Reduktion der Nebenleistungen.
- Einsatz von 30 m³/ha Gülle zu Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln.
- Im Getreide zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Striegeln).
- Bei Kartoffeln zusätzlich einmal Handhacke, viermal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken und Striegeln) und Phythophtora Bekämpfung mit Kupferpräparaten.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 153 €/ha.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha, bei Körnererbsen 0,5 h/ha.

Die Unkrautbekämpfung bei den einzelnen Produktionsverfahren erfolgt wie bei der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“. Der Einsatz der organischen Dünger wie bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“.

Bei Zuckerrüben werden jetzt Rizomania und Cerospora tolerante Sorten angebaut (vgl. KTBL, 2002b, S. 77). Die Kosten für das Saatgut in Höhe von 191 €/ha ändern sich jedoch bei diesem Modellbetrieb nicht.

Bei Kartoffeln werden zur Phythophtora Bekämpfung dreimal Kupferpräparate ausgebracht, die hier erlaubt sind, da es sich hierbei um keine chem.-synth. Pflanzenschutzmittel handelt. Die Kosten für diese Präparate betragen insgesamt 90 €/ha (vgl. KTBL, 2002b, S. 77). In Tabelle 40 sind die Veränderungen der einzelnen Fruchtarten, die sich durch die Teilnahme an der Maßnahme ergeben dargestellt.

Die Wirkungen sind ähnlich der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“. Hier ist aufgrund der höheren Prämie der Verlust des Deckungsbeitrages im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nicht ganz so hoch wie beim Düngerverzicht, bei den Hackfrüchten verschlechtert sich allerdings aufgrund des höheren Arbeitseinsatzes die Grenzproduktivität der Arbeit. Bei Getreide und Körnererbsen sinken die Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge aufgrund der höheren Prämien, bei den Hackfrüchten steigen die Variationskoeffizienten jedoch an.

Tabelle 40: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	Erbsen	Kartoffeln	WW
Ertrag	dt/ha	530	51	41	391	53
Standardabweichung	dt/ha	101	10	12	89	10
Variationskoeffizient	%	19	20	30	23	19
Nebenleistung	€/ha	170				
Marktleistung	€/ha	2.806	524	579	3.825	542
Düngung gesamt	€/ha	118	118	0	118	118
PSM Gesamt	€/ha	0	0	0	90	0
Var. Masch.-Kosten	€/ha	308	105,5	130	537	105,5
Lohnarbeit	€/ha	225			60	
Lohnunternehmer	€/ha	105	105		105	105
var. Spezialkosten	€/ha	987	404	243	1.938	404
Ausgleichszahlung	€/ha		366	421		366
Agrarumweltprämie	€/ha	153	153	153	153	153
Deckungsbeitrag	€/ha	1.911	639	911	1.726 ¹⁾	657
Standardabweichung DB	€/ha	557	131	195	2.455	133
Variationskoeffizient DB	%	29	21	21	142	20
Arbeitseinsatz	Akh/ha	41,5	6,5	8	54	6,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	46	98	114	32	101
N-Bilanz	kg/ha	-14	-19	33	-44	-23
P-Bilanz	kg/ha	-8	4	-45	-10	3
K-Bilanz	kg/ha	20	122	-57	-81	121
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	0	0	0

¹⁾ Bei der Berechnung des Erwartungswertes des Deckungsbeitrages von Kartoffeln wurde die Kovarianz von Ertrag und Preis berücksichtigt

Quelle: Eigene Berechnungen

Variante „Anlage von Schonstreifen“

Bei der Untersuchung dieser Maßnahme werden nur die Veränderungen zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung betrachtet. Grundsätzlich ist auch eine Kombination mit den anderen Maßnahmen der Ackerextensivierung möglich. Bei Teilnahme des Modellbetriebes an dieser Maßnahme wird davon ausgegangen, daß insgesamt 2 ha mit Schonstreifen angelegt werden. Eingeschränkt wird hierfür der Anbau von Winterweizen und Wintergerste jeweils um einen Hektar (vgl. Anhang 20).

An der betrachteten Fruchtfolge des Modellbetriebes verändert sich im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nichts.

Bei der Anlage der Schonstreifen kann der Betriebsleiter aus drei verschiedenen Möglichkeiten wählen. Bei der Bestellung mit der gleichen Kultur wie der Gesamtschlag werden die Schonstreifen mit Getreide eingesät. Da keine Düngung, kein Pflanzenschutzmitteleinsatz und keine mechanische Unkrautbekämpfung möglich ist, wird angenommen, daß der Aufwuchs nicht mehr wirtschaftlich zu verwerten ist und deshalb gemulcht wird.

Bei der Zulassung von Selbstbegrünung werden die Schonstreifen nur gegrubbert. Danach erfolgt keine Bearbeitung mehr. Da bei dieser Maßnahme keine Einsaat erfolgt, besteht die Gefahr, daß sich hier, ohne Gegenmaßnahmen, Problemunkräuter stark vermehren können. Daher werden die Schonstreifen nach Beendigung dieser Maßnahme mit einer zusätzlichen Herbizidanwendung behandelt.

Weiterhin besteht die Möglichkeit ein von der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten (LÖBF) empfohlenes Gemisch blühfreudiger Arten einzusäen. Hierdurch entstehen Saatgutkosten in Höhe von 86 €/ha (vgl RWZ MONREAL, 2003). Die Saat erfolgt als Drillsaat, der Aufwuchs wird anschließend gemulcht.

Tabelle 41 zeigt die Kennzahlen der verschiedenen Anlagemöglichkeiten von Schonstreifen für den Modellbetrieb. Die Höhe des potentiellen Nitratgehaltes ist abhängig von der Höhe des N_{Min} -Gehaltes der Fläche, auf der die Schonstreifen angelegt werden. Diese wird von der Maßnahme nur insoweit beeinflusst, daß hierbei kein Entzug des Stickstoffs durch das Erntegut entsteht.

Tabelle 41: Ausgewählte Kennzahlen für die verschiedenen Möglichkeiten der Anlage von Schonstreifen im Modellbetrieb Düren

	Einheit	Einsaat gleiche Kultur	Einsaat blühfreudige Art	Selbstbegrünung
Saatgut	€/ha	53,5	86	0
var. Maschinenkosten	€/ha	74	74	41
PSM	€/ha	0	0	25
Ausgleichzahlung	€/ha	366	0	0
Agrarumweltprämie	€/ha	409	715	715
Deckungsbeitrag	€/ha	647,5	555	649
Arbeitseinsatz	Akh/ha	4,1	4,1	2,4
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	158	135	270
N-Bilanz	kg/ha	0	0	0
Pot. Nitratgehalt	mg/l	22,5	22,8	22,8

Quelle: Eigene Berechnungen

Bei dieser Variante ist die Zulassung von Selbstbegrünung aus rein ökonomischer die vorteilhafteste Alternative mit dem höchsten Deckungsbeitrag und vor allem der vorteilhaftesten Grenzproduktivität der Arbeit. Daher beziehen sich die weiteren (gesamtbetrieblichen) Auswertungen auf diese Variante.

Variante „Erosionsschutzmaßnahmen“

Da der Modellbetrieb keine Flächen innerhalb der förderfähigen Gebietskulisse des Landes Nordrhein-Westfalen bewirtschaftet, kommt eine Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme nicht in Frage.

7.1.1.2 Modellbetrieb Bergisches Land

Die ausgewählten Kennziffern des Modellbetriebes Bergisches Land sind in Tabelle 42 dargestellt. Man erkennt ein deutlich geringeres Ertragsniveau, geringere variable Spezialkosten und niedrigere Deckungsbeiträge bei den einzelnen Fruchtarten als im Modellbetrieb Düren. Die Variationskoeffizienten der Erträge und der Deckungsbeiträge sind in etwa gleich, allerdings ist durch das Fehlen der Kartoffeln die gesamte Einkommensvarianz deutlich geringer.

Tabelle 42: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	WW	WW
Ertrag	dt/ha	506	73	62	74	75
Standardabweichung	dt/ha	69	10	11	10	10
Variationskoeffizient	%	14	14	18	13	13
Marktleistung	€/ha	2.479	743	572	763	773
Düngung gesamt	€/ha	164	63	67	58	79
PSM Gesamt	€/ha	207	125	107	125	125
Var. Spezialkosten	€/ha	754	378	402	372	416
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366	366	366
Deckungsbeitrag	€/ha	1.534	731	536	537	723
Standardabweichung DB	€/ha	390	151	134	153	154
Variationskoeffizient DB	%	25	21	25	28	21
Arbeitseinsatz	Akh/ha	24,5	7,5	9	13	9
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	63	98	60	41	80
N-Bilanz	kg/ha	71	-31	15	49	-9
P-Bilanz	kg/ha	54	-58	-50	-30	-60
K-Bilanz	kg/ha	176	-44	-37	57	-45
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	17	28	93	10

Quelle: Eigene Berechnungen

Der Arbeitseinsatz bei den einzelnen Kulturen liegt aufgrund der Hangneigung der Flächen im Modellbetrieb etwas höher als im Modellbetrieb Düren. Der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers ist deutlich höher. Dies liegt zum einem an dem Einsatz von Gülle und den Anbau von Leguminosen als Zwischenfrüchten, zum anderen aber auch an den unterschiedlichen natürlichen Standorteigenschaften (Niederschläge, Boden).

Die Anpassungsmaßnahmen des Modellbetriebes Bergisches Land bei der Teilnahme an den nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen sind ähnlich den Anpassungsmaßnahmen des Modellbetriebes Düren. Daher wird hier nur kurz auf die wichtigsten Veränderungen eingegangen und die ausgewählten Kennzahlen anhand der betrachteten Fruchtfolge erläutert.

Variante „Verzicht auf Herbizide“

Die Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ führt im Modellbetrieb zu einer Ausdehnung der Anbaufläche der Zuckerrüben zu Lasten der Flächenstilllegung. Das Anbauprogramm des Modellbetriebes bei der Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen ist in Anhang 22 dargestellt.

An der betrachteten typischen Fruchtfolge des Modellbetriebes ändert sich im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nichts. Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der Herbizide.
- Bei Zuckerrüben zusätzlich zweimal Handhacke und zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken).
- Im Getreide zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Striegeln).
- Reduzierung der K-Düngung aufgrund der niedrigeren Ertragserwartung um 5 %.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 92 €/ha.

Die Handhabung der Handhacke erfolgt wie im Modellbetrieb Düren.

Da im Vergleich zur Variante „ordnungsgemäß“ die Anbaufläche der Zwischenfrüchte steigt, verringert sich die ausgebrachte Güllemenge auf 19 m³/ha. Tabelle 43 zeigt ausgewählte Kennziffern bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“.

Die Wirkungen der Teilnahme an der Maßnahme im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung sind hier ähnlich den Wirkungen des Modellbetriebes Düren. Die Erträge der einzelnen Fruchtarten reduzieren sich leicht, durch die Prämienzahlung erhöht sich jedoch der Deckungsbeitrag von Getreide, der Deckungsbeitrag der Zuckerrüben geht leicht zurück. Durch den starken Anstieg der Arbeitsbelastung sinkt die Grenzproduktivität der Arbeit bei Zuckerrüben jedoch stark ab. Bei Getreide liegt die Grenzproduktivität der Arbeit in etwa auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Die Variationskoeffizienten der Erträge erhöhen sich bei Zuckerrüben leicht, bei Getreide stärker; die des Deckungsbeitrages erhöhen sich bei Zuckerrüben, bei Winterweizen sind sie in etwa gleich und bei Wintergerste gehen sie etwas zurück. Bei den Nährstoffbilanzen sind nur marginale Auswirkungen durch die Programmteilnahme erkennbar, der potentielle Nitratgehalt steigt leicht an.

Tabelle 43: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	WW	WW
Ertrag	dt/ha	492	67	57	70	70
Standardabweichung	dt/ha	75	12	14	12	12
Variationskoeffizient	%	15	18	24	17	17
Marktleistung	€/ha	2.404	690	522	713	719
Düngung gesamt	€/ha	160	59	60	54	75
PSM Gesamt	€/ha	29	87	56	87	87
Var. Masch.-Kosten	€/ha	226	119	138	119	141
Lohnarbeit	€/ha	225				
Var. Spezialkosten	€/ha	809	347	355	342	386
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366	366	366
Agrarumweltprämie	€/ha	92	92	92	92	92
Deckungsbeitrag	€/ha	1.500	802	625	613	792
Standardabweichung DB	€/ha	425	161	146	163	164
Variationskoeffizient DB	%	28	20	23	27	21
Arbeitseinsatz	Akh/ha	41	8,5	10	14	10
Grenzproduktivität Arbeit						
	€/Akh	37	94	62	44	79
N-Bilanz	kg/ha	70	-29	11	50	-6
P-Bilanz	kg/ha	54	-54	-46	-27	-56
K-Bilanz	kg/ha	164	-40	-34	55	-42
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	26	29	98	18

Quelle: Eigene Berechnungen

Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“

Um bei einer Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ die wegfallende mineralische Stickstoffmengen zu kompensieren, setzt der Modellbetrieb jetzt die gesamte im Betrieb anfallende Gülle der 40 Milchkühe im Betriebszweig Ackerbau ein. Hier wird unterstellt, daß nur der Betriebszweig Ackerbau an den Agrarumweltmaßnahmen teilnimmt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit ca. 600 m³ Milchviehgülle von einem anderem Betrieb zu zukaufen. Da im Modellbetrieb bereits die Technik zur Gülleausbringung vorhanden ist, werden diese Arbeiten selbst durchgeführt, d.h. als Kosten werden hier neben den Nährstoffkosten nur die variablen Maschinenkosten der Gülleausbringung berücksichtigt. Der Anbau von Leguminosen kommt für den Modellbetrieb aufgrund seiner Standorteigenschaften nicht in Frage.

Zur Erfüllung der Rübenkontingents wird die Zuckerrübenanbaufläche ausgedehnt und die Anbaufläche für Winterweizen eingeschränkt (vgl. Anhang 22).

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der chem.-synth. Düngemittel.
- Ausbringung der Gülle zu den Hauptfrüchten und zwar 30 m³/ha zu Zuckerrüben und 20 m³/ha zu Getreide.
- Bei Getreide Verringerung der Fungizid- und Wachstumsreglerkosten.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 92 €/ha.

In Tabelle 44 sind ausgewählte Kennziffern des Modellbetriebes bei Teilnahme an der Maßnahme dargestellt.

Tabelle 44: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	WW	WW
Ertrag	dt/ha	480	42	45	45	47
Standardabweichung	dt/ha	78	8	10	9	9
Variationskoeffizient	%	16	20	23	19	18
Marktleistung	€/ha	2.342	425	413	465	480
Düngung gesamt	€/ha	118	79	79	79	79
PSM Gesamt	€/ha	207	74,1	76	74,1	74,1
Var. Masch.-Kosten	€/ha	227	116	135	116	138
Var. Spezialkosten	€/ha	720	351	392	351	373
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366	366	366
Agrarumweltprämie	€/ha	92	92	92	92	92
Deckungsbeitrag	€/ha	1.618	533	479	447	564
Standardabweichung DB	€/ha	427	106	112	112	114
Variationskoeffizient DB	%	26	20	23	25	20
Arbeitseinsatz	Akh/ha	24	9	10	12,5	10,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	67	59	48	36	54
N-Bilanz	kg/ha	-5	-27	-20	5	-38
P-Bilanz	kg/ha	-3	-3	-6	-6	-7
K-Bilanz	kg/ha	33	77	75	75	74
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Bei dieser Variante ist ein deutlicher Ertragsrückgang bei allen Fruchtarten gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung zu erkennen, was zu einen Rückgang der Deckungsbeiträge bei Getreide führt. Hier kann auch der vermehrte Einsatz organischer Dünger den Verzicht auf chem.-synth. Dünger nicht kompensieren. Bei Zuckerrüben steigt

der Deckungsbeitrag im ersten Jahr etwas an, da der Ertragsrückgang aufgrund der Nährstoffreserven im Boden hier zunächst nicht so groß ist. Die Variationskoeffizienten der Erträge steigen leicht, die der Deckungsbeiträge verbleiben aufgrund der Prämienzahlungen in etwa auf gleichem Niveau.

Der Arbeitseinsatz erhöht sich aufgrund des erhöhten Zeitaufwands für die Gülleausbringung, die Grenzproduktivität der Arbeit verschlechtert sich deutlich. Aufgrund des Verzicht auf chem.-synth. Düngers werden die N-Bilanzen fast durchweg negativ, wodurch auch der potentielle Nitratgehalt Null wird.

Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme gelten bezüglich der organischen Düngung die gleichen Annahmen wie bei der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“. Aufgrund der weiter sinkenden Rübenenerträge wird hier die Anbaufläche der Zuckerrüben noch einmal erhöht, um das Rübenkontingent zu erfüllen (vgl. Anhang 22).

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten bei Teilnahme an dieser Maßnahme folgende Veränderungen auf:

- Wegfall der Kosten und der Überfahrten zur Ausbringung der chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel.
- Bei Zuckerrüben zusätzlich zweimal Handhacke und zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Hacken), sowie Erhöhung der Saatgutkosten.
- Ausbringung der Gülle zu den Hauptfrüchten und zwar 30 m³/ha zu Zuckerrüben und 20 m³/ha zu Getreide.
- Im Getreide zweimal mechanische Unkrautbekämpfung (Striegeln).
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 153 €/ha.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha.

Die Auswirkungen der Teilnahme an dieser Maßnahme auf ausgewählte Kennziffern ist in Tabelle 45 dargestellt.

Auch hier ist ein deutlicher Ertragsrückgang im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung erkennbar. Bei Getreide können diese Verluste zum Teil durch die höhere Förderprämie kompensiert werden (Wintergerste, Winterweizen nach Zwischenfrucht), bei Zuckerrüben, Stoppel- und Rübenweizen reduziert sich der Deckungsbeitrag allerdings. Aufgrund der vermehrten Handarbeit bei der Unkrautbekämpfung steigt der Arbeitseinsatz bei Zuckerrüben stark an, bei Getreide steigt er leicht an. Die Grenzproduktivität der Arbeit sinkt bei allen Fruchtarten. Die Variationskoeffizienten der Erträge steigen bei allen Kulturen, die der Deckungsbeiträge steigen bei Zuckerrüben, bei Getreide reduzieren sie sich aufgrund der gezahlten Förderprämien. Die Stickstoffbilanzen werden auch hier fast durchweg negativ, wodurch der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers Null wird.

Tabelle 45: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	WW	WW
Ertrag	dt/ha	455	43	41	46	47
Standardabweichung	dt/ha	87	10	11	10	10
Variationskoeffizient	%	19	23	28	22	22
Marktleistung	€/ha	2.239	438	377	469	480
Saatgut	€/ha	191	75	94,5	75	75
Düngung gesamt	€/ha	118	79	79	79	79
PSM Gesamt	€/ha	0	0	0	0	0
Var. Masch.-Kosten	€/ha	234	121,5	143	121,5	143
Lohnarbeit	€/ha	225				
Var. Spezialkosten	€/ha	784	281	323	281	303
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366	366	366
Agrarumweltprämie	€/ha	153	153	153	153	153
Deckungsbeitrag	€/ha	1.513	676	573	582	696
Standardabweichung DB	€/ha	477	119	118	125	127
Variationskoeffizient DB	%	32	18	21	22	18
Arbeitseinsatz	Akh/ha	40	9	10,5	13	10,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	38	75	55	45	66
N-Bilanz	kg/ha	-1	-30	-14	4	-38
P-Bilanz	kg/ha	-1	-4	-3	-7	-7
K-Bilanz	kg/ha	39	76	77	75	74
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	0	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Variante „Anlage von Schonstreifen“

Im Modellbetrieb Bergisches Land werden 2 ha mit Schonstreifen angelegt und der Anbau von Winterweizen entsprechend eingeschränkt. Tabelle 46 zeigt die Kennzahlen der verschiedenen Einsaatmöglichkeiten der Schonstreifen im Modellbetrieb. Hier wurden die gleichen Annahmen unterstellt wie im Modellbetrieb Düren. Auch hier zeigt sich die Zulassung von Selbstbegrünung aus ökonomischer Sicht als vorteilhafteste Alternative, weshalb sich die weiteren Auswertungen auf diese Variante beziehen.

Variante „Erosionsschutzmaßnahmen“

Durch die Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ treten für den Modellbetrieb im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung keine Veränderungen bei der Fruchtfolge ein, da die erwarteten Rübenerträge nur leicht zurückgehen und das Rübentkontingent erfüllt wird.

Tabelle 46: Ausgewählte Kennzahlen für die verschiedenen Möglichkeiten der Anlage von Schonstreifen im Modellbetrieb Bergisches Land

		Einsaat gleiche Kultur	Einsaat blüh-freudige Art	Selbstbegrünung
Saatgut	€/ha	75	86	0
var. Maschinenkosten	€/ha	95,5	86	66
PSM	€/ha	0	0	25
Ausgleichszahlung	€/ha	366	0	0
Agrarumweltprämie	€/ha	409	715	715
Deckungsbeitrag	€/ha	604,5	543	624
Arbeitseinsatz	Akh/ha	6,2	5,5	2,9
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	98	99	215
N-Bilanz	kg/ha	0	0	0
Pot. Nitratgehalt	mg/l	39	39	40

Quelle: Eigene Berechnungen

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten folgende Veränderungen auf:

- Verzicht des Pflugeinsatzes bei alle Hauptfrüchten, dafür zweimal Grubbern.
- Aufgrund verstärkten Unkrautdruckes jeweils eine zusätzliche Herbizidanwendung.
- Agrarumweltprämie für die Einführung der Maßnahme in Höhe von 102 €/ha.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für erhöhten Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha.

In Tabelle 47 sind die Kennzahlen der betrachteten Fruchtfolge bei Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ aufgeführt.

Die Erträge der einzelnen Fruchtarten gehen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung durch den Verzicht auf die wendende Bodenbearbeitung leicht zurück, die dazu gehörenden Variationskoeffizienten steigen leicht an. Durch die Förderprämien und geringfügig reduzierte Maschinenkosten können die Verluste bei der Marktleistung und erhöhten Pflanzenschutzmittelkosten mehr als kompensiert werden, was zu einem Anstieg der Deckungsbeiträge der einzelnen Kulturen und zur Senkung der jeweiligen Variationskoeffizienten führt. Durch den Verzicht des Pflugeinsatz reduziert sich der Arbeitseinsatz, woraus eine Erhöhung der Grenzproduktivität der Arbeit resultiert. Die Nährstoffbilanzen und der potentielle Nitratgehalt verbleiben im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung in etwa auf dem gleichen Niveau.

Tabelle 47: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WG	WW	WW
Ertrag	dt/ha	497	72	61	74	74
Standardabweichung	dt/ha	73	10	12	10	10
Variationskoeffizient	%	15	14	19	14	14
Marktleistung	€/ha	2.455	737	563	754	760
Düngung gesamt	€/ha	161	60	66	57	79
PSM Gesamt	€/ha	232	150	132	150	150
Var. Masch.-Kosten	€/ha	188,5	96	105	96	108
Var. Spezialkosten	€/ha	750	389	405	385	420
Ausgleichszahlung	€/ha		366	366	366	366
Agrarumweltprämie	€/ha	102	102	102	102	102
Deckungsbeitrag	€/ha	1.616	816	626	617	808
Standardabweichung DB	€/ha	411	152	136	154	155
Variationskoeffizient DB	%	25	19	22	25	19
Arbeitseinsatz	Akh/ha	23	7,5	8	13	8,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	70	109	78	47	95
N-Bilanz	kg/ha	73	-36	14	49	-8
P-Bilanz	kg/ha	55	-58	-49	-29	-59
K-Bilanz	kg/ha	168	-43	-37	58	-45
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	17,69	27	93	11

Quelle: Eigene Berechnungen

7.1.2 Darstellung der gesamtbetrieblichen Ergebnisse

Eine generelle Aussage über die Auswirkungen der Programmteilnahme der Betriebe ist erst auf der Ebene des Gesamtbetriebes möglich, um auch die „carry-over-Effekte“, die durch die Veränderungen der Fruchtfolge auf den einzelnen Schlägen entstehen zu erfassen. Die im folgenden dargestellten Kennzahlen beziehen sich auf die gesamtbetrieblichen Auswertungen bezogen auf die gesamte Vertragslaufzeit über fünf Jahre. Bei den flächenbezogenen Größen wurden die ermittelten Werte durch die gesamte Anbaufläche dividiert.

7.1.2.1 Modellbetrieb Düren

In Tabelle 48 sind die ökonomischen und ökologischen flächenbezogenen Indikatoren des Modellbetriebes Düren bei Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung dargestellt. Die entsprechenden Kennzahlen für die betrachtete Fruchtfolge sowie für den Gesamtbetrieb und die produktionsbezogenen Indikatoren befinden sich in Anhang 20.

Tabelle 48: Kennzahlen des Modellbetriebes Düren bei den einzelnen Maßnahmen

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen
Gesamtertrag	GE/ha	109	104	84	80	106
Deckungsbeitrag	€/ha	1.382	1.376	1.155	1.213	1.376
Standardabweichung	€/ha	419	409	391	380	417
Variationskoeffizient	%	30	30	34	31	30
N-Bilanz	kg/ha	7,8	7,6	-15,7	-12,5	7,3
P-Bilanz	kg/ha	13,9	13,8	-9,9	-7,9	15,9
K-Bilanz	kg/ha	39,4	38,9	28,8	33,8	40,9
PSM-Aufwand	€/ha	179	96	144	11	175
Arbeitsaufwand	Akh/ha	17,7	24,3	18,2	24,7	17,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	78	57	64	49	78
Zwischenfrüchte	%	22,5	23,1	28,5	28,5	22,5
Pot. Nitratgehalt.	mg/l	2,51	5,61	1,55	1,67	3,23
Kulturpflanzendiversität		1,37	1,38	1,43	1,43	1,36
Strukturelemente	%	0	0	0	0	2,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Der Gesamtertrag des Modellbetriebes ist in Getreideeinheiten angegeben. Diese Einheit wird hier verwendet, um eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Fruchtarten untereinander zu gewährleisten. Die Umrechnung der Erträge der einzelnen Fruchtarten in Getreideeinheiten ist im Anhang 21 dargestellt.

Der höchste *Ertrag* wird bei der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung erzielt. Bei der „Anlage von Schonstreifen“ reduziert sich der Gesamtertrag leicht, da die hierfür benötigte Fläche aus der Produktion genommen wird, die Erträge auf den übrigen Flächen ändern sich jedoch nicht. Bei der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ geht der Gesamtertrag um 5 % zurück. Der Rückgang ist hier so gering, da der Verzicht auf die Herbizide durch manuelle und mechanische Unkrautbekämpfung zum Teil kompensiert werden kann. Durch den Verzicht auf chem.-synth Düngemittel sinkt der Ertrag jedoch sehr stark. Hier spielt vor allem das Fehlen von Stickstoff eine große Rolle, der nicht durch die organische Düngung und den Anbau von Leguminosen ausgeglichen werden kann. Von besonderer Bedeutung ist hierbei auch die Verfügbarkeit des Stickstoffes. Während mineralischer Stickstoff relativ schnell verfügbar ist und daher bedarfsgerecht (zeitnah) eingesetzt werden kann, ist dies bei organischen Düngern nicht immer möglich, da hier ein Teil erst nach einem längeren Zeitraum pflanzenverfügbar wird. Beim Anbau von Leguminosen ist ein zeitnahe Verfügbarkeit des Stickstoffs zur Folgefrucht nicht möglich. Bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ reduziert sich der Gesamtertrag des Modellbetriebes um 23 %, bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ um 27 %. Hier kommt neben den bereits erwähnten Wirkungen des Verzichtes auf Herbizide und Stickstoff auch die Wirkung des Verzichtes auf die ertragssichernden Betriebsmittel Fungizide und Insektizide dazu.

Die *Deckungsbeiträge* der Varianten „Verzicht auf Herbizide“ und „Anlage von Schonstreifen“ stimmen mit der ordnungsgemäßen Variante überein. Beim Herbizidverzicht kann die gezahlte Förderprämie und ein leichter Rückgang bei den variablen Spezialkosten den Rückgang der Marktleistung kompensieren. Bei den Schonstreifen spielt vor allem eine Rolle, daß nur ein geringer Teil der Fläche hiermit angelegt wird und dadurch der geringe Deckungsbeitrag-Nachteil der Schonstreifen gegenüber den übrigen Kulturen für das Gesamtergebnis kaum Bedeutung hat. Bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ reduziert sich der Gesamtdeckungsbeitrag um 16 %. Hier kann die gezahlte Förderprämie und der Rückgang der variablen Spezialkosten die Verluste der Marktleistung, die aus dem Ertragsrückgang resultieren, nicht kompensieren. Bei der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ geht der Gesamtdeckungsbeitrag um 12 % zurück. Der etwas geringere Rückgang im Vergleich zum Düngerverzicht ergibt sich hier zum einem aus der höheren Förderprämie und niedrigeren variablen Spezialkosten.

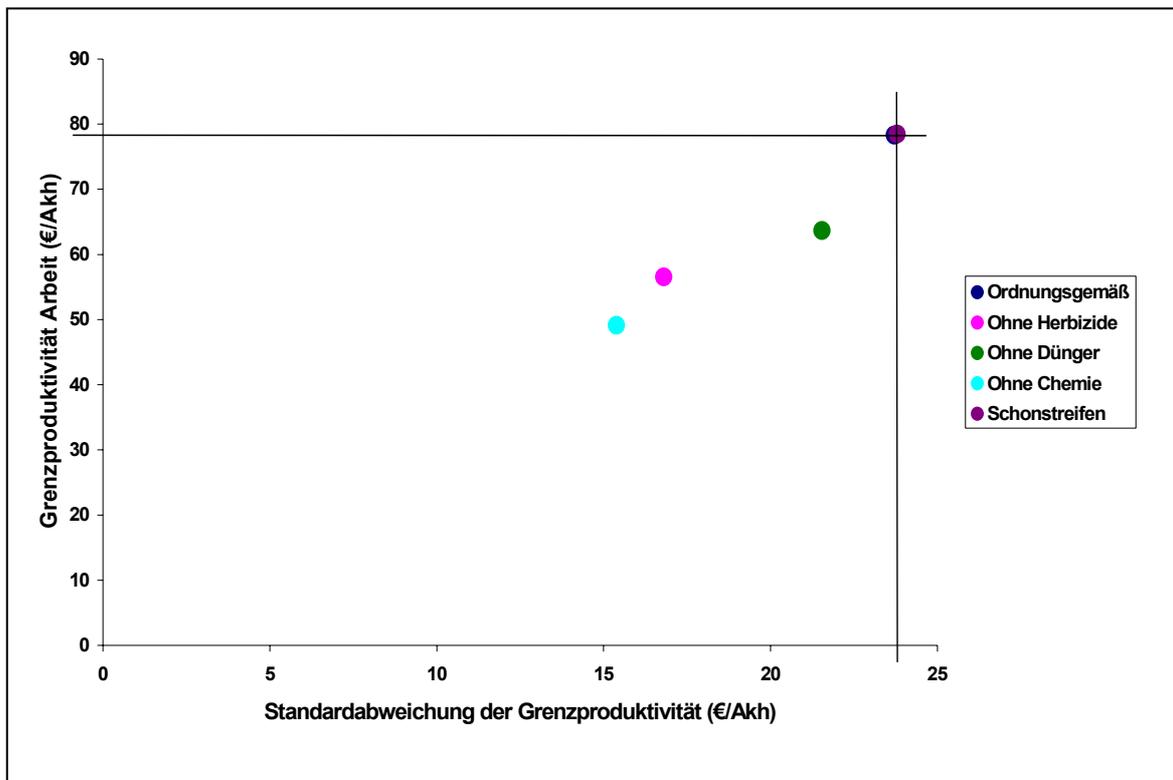
Die *Variationskoeffizienten* der Deckungsbeiträge sind mit Ausnahme der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ bei allen anderen Varianten in etwa gleich, da die Erhöhung der Variabilität der Erträge durch die jeweiligen Förderprämien ausgeglichen werden können. Beim Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel reicht die Höhe der Agrarumweltprämie hierfür nicht aus, wodurch der Variationskoeffizient bei dieser Maßnahme ansteigt.

Der *Arbeitsaufwand* der einzelnen Maßnahmen ist stark abhängig von dem Umfang der benötigten Handarbeit bei den einzelnen Produktionsverfahren. Da diese bei den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ besonders intensiv ist, steigt der Arbeitseinsatz im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung bei diesen Maßnahmen sehr stark an.

Die Veränderungen beim Arbeitsaufwand führen zu den Veränderungen bei der *Grenzproduktivität der Arbeit*. In Übersicht 33 sind die Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörigen Standardabweichungen dargestellt.

Ausgangspunkt sind die jeweiligen Kenngrößen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Man erkennt, daß die Grenzproduktivität der Arbeit und die dazu gehörende Standardabweichung bei der Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen zurückgehen. Lediglich bei der „Anlage von Schonstreifen“ liegen Grenzproduktivität der Arbeit und dazugehörige Standardabweichung in etwa auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Daher kommt die Teilnahme an dieser Maßnahme aus ökonomischer Sicht für den Modellbetrieb in Frage. Die schlechteste Arbeitverwertung wird bei der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ erzielt. Aber auch bei den anderen beiden Maßnahmen sind deutliche Rückgänge in der Grenzproduktivität der Arbeit zu erkennen. Da sich auch die jeweiligen Standardabweichungen reduzieren ist zunächst keine eindeutige ökonomische Bewertung der Teilnahme des Betriebes an diesen Maßnahmen möglich. Der Rückgang der Standardabweichung bedeutet, daß das hier betrachtete absolute betriebliche Risiko bezogen auf die eingesetzte Arbeit durch eine Programmteilnahme im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung sinkt. Aufgrund des hohen Rückgangs der

Übersicht 33: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der verschiedenen Maßnahmen im Modellbetrieb Düren

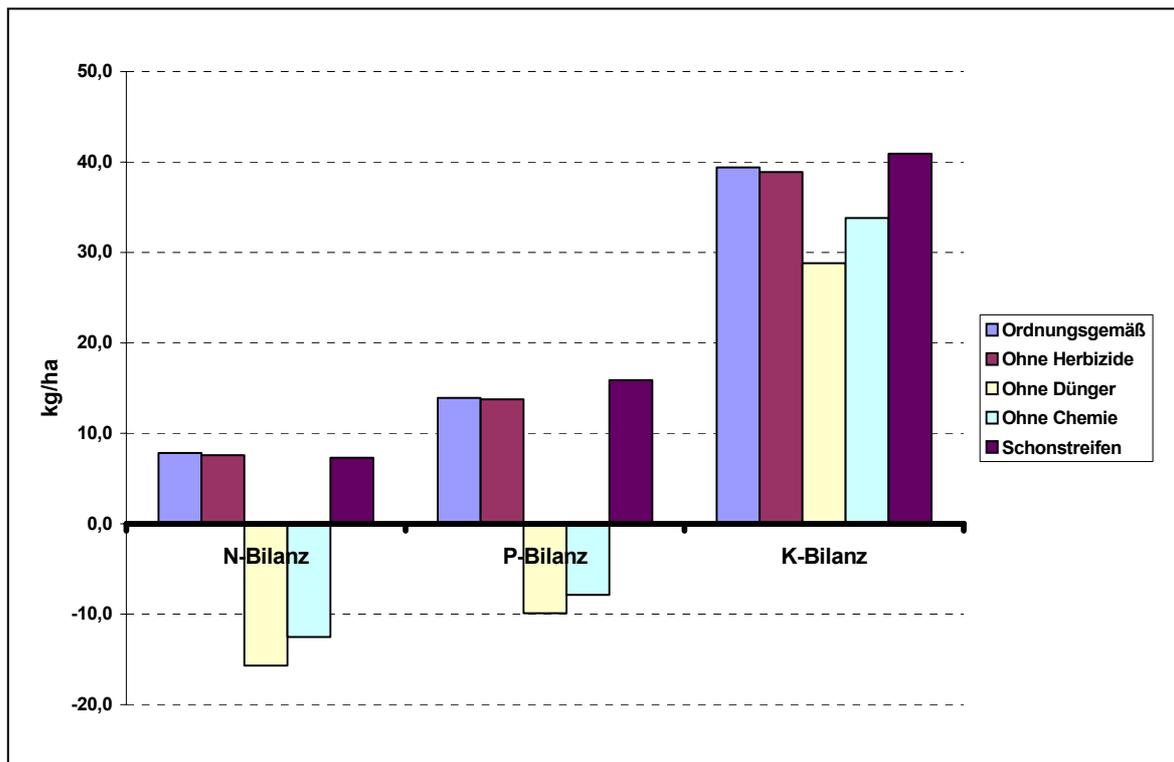


Quelle: Eigene Darstellung

Grenzproduktivität der Arbeit macht die Teilnahme an den jeweiligen Maßnahmen aus ökonomischer Sicht aber keinen Sinn.

Übersicht 34 zeigt die Nährstoffbilanzen der einzelnen Maßnahmen im Modellbetrieb Düren. Bei den *N-Bilanzen* treten durch Teilnahme an den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Anlage von Schonstreifen“ im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung keine nennenswerten Änderungen auf. Bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth Düngemittel“ wird die N-Bilanz negativ. Hier kann trotz der eingesetzten organischen Düngemittel und dem Anbau von Leguminosen der Stickstoffbedarf der Pflanzen nicht gedeckt werden, d.h. der benötigte Stickstoff muß aus den Nährstoffvorräten des Bodens nachgeliefert werden. Das gleiche gilt für die Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth Dünge- und Pflanzenschutzmittel“. Hierbei ist aufgrund der niedrigeren Erträge der Stickstoffentzug durch die Ernte nicht so groß wie beim Düngerverzicht, wodurch die Bilanz nicht so stark negativ wird.

Übersicht 34: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Düren bei den einzelnen Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den *P-Bilanzen*. Diese steigt bei der Anlage von Schonstreifen gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung leicht an, da der Gesamtertrag und damit der Nährstoffentzug durch die Anlage der Schonstreifen zurückgeht. Durch die Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ ändert sich der Saldo nur marginal, durch Teilnahme an den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ wird die Bilanz negativ.

Auch bei den *K-Bilanzen* steigt der Saldo für die Variante „Anlage von Schonstreifen“ leicht an. Die Varianten „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ zeigen bei der K-Bilanz die gleiche Wirkungsrichtung wie bei den anderen Nährstoffsalden, werden aber aufgrund des hohen K-Gehaltes der Milchviehgülle nicht negativ.

Die Veränderung *des potentiellen Nitratgehaltes des Sickerwassers* bei den einzelnen Maßnahmen ist abhängig von der Verwertung der zur Verfügung stehenden Stickstoffmenge durch die Pflanze. Da bei der Variante „Verzicht auf Herbizide“ der Gesamtertrag niedrigerer als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung ist und der eingesetzte Stickstoff nicht so effizient verwertet werden kann, liegt der potentielle Nitratgehalt hier deutlich höher. Bei den Varianten „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ stehen den Pflanzen insgesamt weniger Stickstoff zur Verfügung und es liegen negative N-Bilanzen vor, wodurch der potentielle

Nitratgehalt sinkt. Der hier vorhandene Wert resultiert vor allem aus der Flächenstilllegung, wo aufgrund des fehlenden Entzugs durch die Abfuhr des Erntegutes Stickstoff ausgewaschen werden kann. Dasselbe gilt auch für die Variante „Anlage von Schonstreifen“, bei der ebenfalls ein etwas höherer Gehalt festgestellt werden kann. Insgesamt liegt der potentielle Nitratgehalt bei allen Maßnahmen aber auf einem sehr niedrigen Niveau und kann nach den Bewertungsklassen zur Wassergefährdung (vgl. Kapitel 4.1.3.5) als „sehr gering“ eingestuft werden.

Hinsichtlich des *monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes* zeigen sich große Wirkungen durch die Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen. Beim Herbizidverzicht reduziert sich der PSM-Aufwand um 46 %, beim Düngerverzicht um 19 % und bei der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ um 94 %. Bei der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ geht der Pflanzenschutzmittelaufwand nur leicht zurück.

Der *Anteil der Zwischenfrüchte* resultiert im Modellbetrieb aus den Veränderungen der Anbau der Zwischenfrüchte vor Zuckerrüben. Durch die Erhöhung der Anbaufläche der Zuckerrüben zur Erfüllung der Rübenkontingents bei den einzelnen Maßnahmen erhöht sich somit der Anteil der Zwischenfrüchte. Ein direkter Einfluß der Agrarumweltmaßnahmen auf diesen Indikator ergibt sich nicht.

Die *Kulturpflanzendiversität* ist abhängig von der Anzahl der angebauten Fruchtarten sowie deren Anbauumfänge. Diese ändern sich im Modellbetrieb kaum. Lediglich durch die Aufnahme der Körnererbsen bei den Varianten „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ erhöht sich dieser Wert leicht. Auch hier wird diese Kenngröße nicht direkt durch die Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen beeinflusst.

Da in dieser Arbeit nur die Veränderungen der *Anteile von Strukturelemente* durch die Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen betrachtet werden, treten in diesem Bereich nur Veränderungen bei der Anlage von Schonstreifen ein.

Die produktionsbezogenen Indikatoren (vgl. Anhang 20) zeigen im Modellbetrieb Düren grundsätzlich ähnliche Wirkungen wie die flächenbezogenen Indikatoren. Allerdings, ist der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ bezogen auf die produzierte Einheit höher als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Auch der Arbeitsaufwand liegt bei dieser Betrachtungsweise beim Düngerverzicht deutlich über dem Aufwand bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung.

7.1.2.2 Modellbetrieb Bergisches Land

Für den Modellbetrieb sind die ökonomischen und ökologischen flächenbezogenen Indikatoren bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung des Gesamtbetriebes in Tabelle 49 dargestellt. Die entsprechenden Kennzahlen für die betrachtete Fruchtfolge sowie für den Gesamtbetrieb und die produktionsbezogenen Indikatoren werden in Anhang 22 aufgezeigt.

Tabelle 49: Kennzahlen des Modellbetriebes Bergisches Land bei den einzelnen Maßnahmen

	Einheit	ord.	ohne Herb	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
Gesamtertrag	GE/ha	76	72	57	55	74	75
Deckungsbeitrag	€/ha	796	850	732	797	794	893
Standardabweichung	€/ha	114	125	113	124	111	117
Variationskoeffizient	%	14	15	15	16	14	13
N-Bilanz	kg/ha	11,4	11,9	-18,1	-14,6	11,6	11,4
P-Bilanz	kg/ha	-26,0	-22,7	-5,0	-3,4	-24,5	-25,4
K-Bilanz	kg/ha	16,3	17,3	60,4	62,0	17,5	15,2
PSM-Aufwand	€/ha	127	62	97	0	124	150
Arbeitsaufwand	Akh/ha	11,7	16,0	12,6	16,4	11,5	11,3
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	68	53	58	49	69	79
Zwischenfrüchte	%	31	33	34	34	31	31
Pot. Nitratgehalt	mg/l	25,6	29,7	0,8	1,1	26,1	27,0
Kulturpflanzen-diversität		1,20	1,19	1,20	1,21	1,21	1,20
Strukturelemente	%	0	0	0	0	2,5	0
Pot. Bodenabtrag	dt/ha	10,1	10,1	10,3	10,3	10,1	4,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Der *Gesamtertrag* geht bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung zurück. Dabei sind die größten Rückgänge bei den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ (24 %) und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ (27 %) zu verzeichnen. Bei Teilnahme an den übrigen Maßnahmen entstehen nur leichte Ertragsrückgänge. Die Gründe der jeweiligen Ertragsverluste wurden bereits bei der Ergebnisdarstellung des Modellbetriebes Düren erläutert, wobei der relative Ertragsrückgang der einzelnen Maßnahmen hier geringfügig unterhalb des Modellbetriebes Düren liegt.

Der *Deckungsbeitrag* steigt bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“ an. Wie bei der Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen des Modellbetriebes erwähnt, können die Förderprämie und leicht zurückgehende variable Spezialkosten den Verlust der Marktleistung überkompensieren. Durch den hohen Getreideanteil im Betrieb erhöht sich der Deckungsbeitrag gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung um 7 %. Die Prämienzahlungen und geringere variable Spezialkosten bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ können die starken Ertragsverluste nicht kompensieren, so daß der Gesamtdeckungsbeitrag bei Teilnahme an dieser Maßnahme um 8 % sinkt. Dagegen führt die höhere Förderung der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ trotz höherem Ertragsrückgang etwa zum gleichen

Deckungsbeitrag wie bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Ebenso bleibt bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ der Gesamtdeckungsbeitrag auf dem Niveau der ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, da der Deckungsbeitrag des Produktionsverfahren Schonstreifen ungefähr den Deckungsbeiträgen entspricht, die im Getreideanbau erzielt werden. Durch Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ erhöht sich der Deckungsbeitrag um 12 %, da hier nur geringe Ertragsverluste entstehen und den erhöhten Herbizidkosten niedrigere variable Maschinenkosten entgegen stehen.

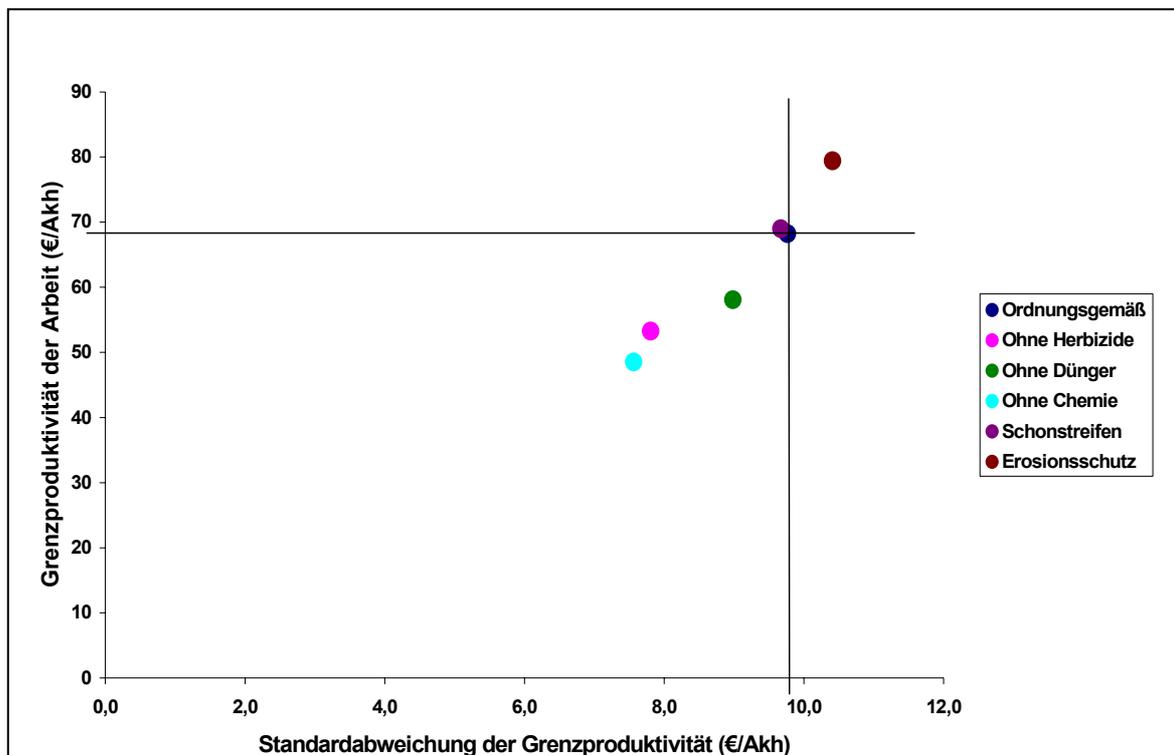
Die *Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge* der einzelnen Maßnahmen verbleiben in etwa auf dem gleichen Niveau, d.h. die auftretenden höheren Ertragsschwankungen durch die verschiedenen Auflagen können durch die jeweilige Förderprämie ausgeglichen werden. Tendenziell führen die Maßnahmen mit Verzicht auf bestimmte Betriebsmittel zu einem leicht höheren Variationskoeffizienten, die „Erosionsschutzmaßnahmen“ aufgrund der günstigen Prämienzahlung zu einem niedrigeren Variationskoeffizienten.

Wie schon im Modellbetrieb Düren ist der *Arbeitsaufwand* stark abhängig von der zur Unkrautbekämpfung erforderlichen Handarbeit. Deshalb steigt dieser bei den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ (um 37 %) und „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ (um 41 %) sehr stark an. Der Düngerverzicht führt aufgrund des erhöhten Zeitaufwandes für die vermehrte Gülleausbringung zu einem leichtem Anstieg (8 %), dagegen reduziert sich der Arbeitseinsatz bei den „Erosionsschutzmaßnahmen“ durch den Pflugverzicht leicht um 4 %. Durch die Maßnahme Anlage von Schonstreifen treten keine Veränderungen beim durchschnittlichen Arbeitsaufwand im Betrieb auf.

Übersicht 35 zeigt die *Grenzproduktivität der Arbeit* und die dazugehörigen Standardabweichungen bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Die Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ führt aufgrund des hohen Arbeitseinsatzes trotz höheren Gesamtdeckungsbeitrag zu einer deutlich niedrigeren Grenzproduktivität der Arbeit als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Gleichzeitig sinkt jedoch die dazugehörige Standardabweichung. Durch Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ verstärken sich diese Wirkungen.

Die Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ führt aufgrund des niedrigeren Gesamtdeckungsbeitrages bei leicht steigendem Arbeitseinsatz zu einer im Verhältnis zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung reduzierten Grenzproduktivität der Arbeit. Insgesamt ergibt sich somit für die ökonomische Bewertung ein ähnliches Bild wie im Modellbetrieb Düren. Durch Teilnahme an den angesprochenen Agrarumweltmaßnahmen verringert sich die Grenzproduktivität der Arbeit, gleichzeitig reduziert sich aber auch die dazugehörige Variabilität in Form der Standardabweichung. Relativ gesehen ist der Rückgang der Grenzproduktivität der Arbeit allerdings nicht so hoch wie im Modellbetrieb Düren, allerdings spricht auch hier der hohe Unterschied der Grenzproduktivität der Arbeit gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung aus ökonomischer Sicht gegen eine Teilnahme an diesen Agrarumweltmaßnahmen. Anders sieht es bei einer Teilnahme an der Variante „Anlage von Schonstreifen“ aus. Hier erhöht sich die Grenzproduktivität der Arbeit im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung leicht und die dazugehörige

Übersicht 35: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der verschiedenen Maßnahmen im Modellbetrieb Bergisches Land



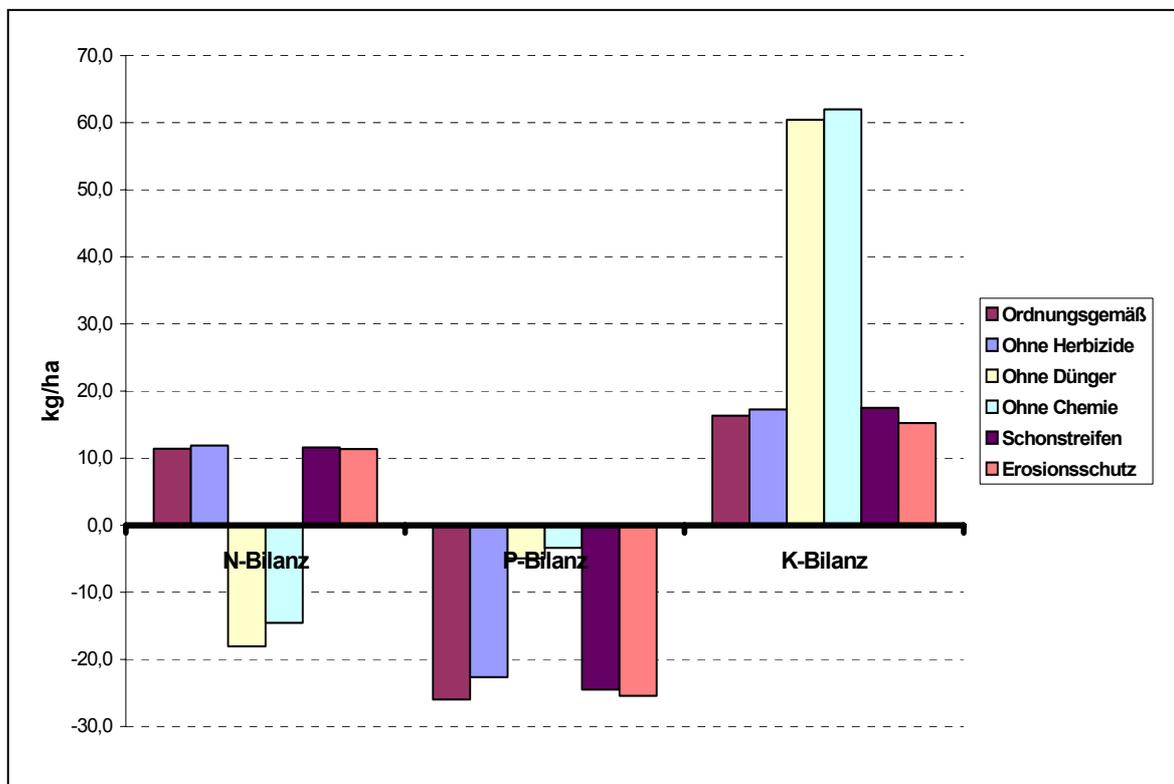
Quelle: Eigene Darstellung

Standardabweichung reduziert sich leicht, d.h. aus ökonomischer Sicht macht eine Programmteilnahme Sinn. Bei den „Erosionsschutzmaßnahmen“ erhöht sich sowohl die Grenzproduktivität der Arbeit als auch deren Standardabweichung, d.h. auch hier ist keine eindeutige ökonomische Aussage zu treffen. Die Entscheidung für eine Programmteilnahme ist abhängig von der Risikoeinstellung des Betriebsleiters. Die Erhöhung der Grenzproduktivität der Arbeit gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung um 16 % bei einer nur geringen Erhöhung der Standardabweichung spricht jedoch für eine Teilnahme.

In Übersicht 36 sind die Nährstoffbilanzen der einzelnen Maßnahmen dargestellt. Die Auswirkungen der Teilnahme an den jeweiligen Maßnahmen entsprechen bei den *N-Bilanzen* und den *P-Bilanzen* den Auswirkungen des Modellbetriebes Düren. Nur das Ausgangsniveau der *K-Bilanzen* unterscheidet sich aufgrund des geringeren Niveaus der K-Düngung im Modellbetrieb Bergisches Land bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Durch die Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ treten im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung bei den Nährstoffbilanzen keine großen Veränderungen auf.

Der *potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers* liegt hier bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung auf einem deutlichen höheren Niveau als im Modellbetrieb Düren. Die Teilnahme an der Maßnahme Verzicht auf Herbizide“ führt zu einer Erhöhung des

Übersicht 36: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Bergisches Land bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung

Gehaltes um 16 %. Bei beiden Varianten ist die Gewässergefährdung als „mittel“ einzustufen. Bei Teilnahme an den Maßnahmen Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ wird der potentielle Nitratgehalt aufgrund der negativen N-Bilanzen fast auf Null gesenkt und ist hinsichtlich der Gewässergefährdung als „sehr gering“ einzustufen. Die Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Schonstreifen“ und „Erosionsschutz“ führen zu einer leichten Erhöhung dieses Wertes im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung.

Die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf den *monetären Pflanzenschutzmittelaufwand* sind ähnlich wie im Modellbetrieb Düren. Durch Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“ reduziert sich der Aufwand um 51 % und beim „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ um 23 %. Bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ werden in diesem Modellbetrieb überhaupt keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Die „Erosionsschutzmaßnahmen“ führen durch die zusätzliche Herbizidanwendung zu einer Erhöhung des Aufwandes für Pflanzenschutzmittel um 18 %. Durch die Anlage von Schonstreifen geht dieser Aufwand leicht zurück.

Der Anteil der Zwischenfrüchte ergibt sich im Modellbetrieb aus der vorgegebenen Fläche zur Futternutzung, die mit Klee gras angebaut wird und dem Anbau von Senf als

nematodenresistente Zwischenfrucht vor Zuckerrüben. Daher ist der Indikator auch hier abhängig von der Anbaufläche von Zuckerrüben und steigt dadurch bei den einzelnen Maßnahmen, die zu einer Erhöhung der Zuckerrübenfläche führen, an.

Die *Kulturpflanzendiversität* ändert sich bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen kaum, da im Modellbetrieb keine neuen Fruchtarten aufgenommen werden und sich nur die Anbauanteile der einzelnen Kulturen leicht verändern. Veränderungen bei den *Anteilen von Strukturelementen* treten auch bei diesem Modellbetrieb nur durch die Maßnahme Anlage von Schonstreifen auf.

Die Veränderungen beim *potentiellen Bodenabtrag* sind im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung von den Veränderungen der C-Faktoren der Fruchtfolgen auf den einzelnen Schlägen abhängig. Die C-Faktoren der erosionsgefährdeten Flächen bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sind in Anhang 23 zusammengestellt. Mit Ausnahme der Erosionsschutzmaßnahmen treten hier bei den übrigen Agrarumweltmaßnahmen nur Veränderungen durch eine Ausdehnung der Rübenanbaufläche (höherer RBA-Werte) auf den Flächen mit Hangneigung auf. Tendenziell steigt der potentielle Bodenabtrag durch der Erhöhung der Anbaufläche von Zuckerrüben an. Im Modellbetrieb ändern sich die Fruchtfolgen der einzelnen erosionsgefährdeten Schläge nur bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ (vgl. Anhang 23). Die Veränderungen der Anbaufläche beim Herbizidverzicht bzw. die weitere Erhöhung bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ erfolgt auf ebenen Flächen. Insgesamt treten aber durch diese Maßnahme nur sehr geringe Effekte auf die Bodenerosion auf. Durch Teilnahme an den Erosionsschutzmaßnahme sinkt der potentielle Bodenabtrag um 56 % gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung aufgrund des Verzichtes auf die wendende Bodenbearbeitung. Bei allen Maßnahmen liegt der potentielle Bodenabtrag deutlich unter dem tolerierbaren Bodenabtrag (vgl. Kapitel 4.1.3.5) von 68 kg/ha.

Bei der Betrachtung der produktionsbezogenen Indikatoren (vgl. Anhang 22) ist zu erkennen, daß im Vergleich zu den flächenbezogenen Indikatoren der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel aufgrund der deutlich geringeren Erträge größer ist als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Der potentielle Bodenabtrag und des Arbeitseinsatzes erhöht sich ebenfalls bei den Maßnahmen mit Betriebsmittelverzicht aufgrund der geringeren Erträge.

7. 2 Auswertungen Rheinland-Pfalz

7.2.1 Beschreibung der Anpassungsmaßnahmen

Hier werden die Anpassungsmaßnahmen der Modellbetriebe in Rheinland-Pfalz bei der Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen des Bundeslandes beschrieben. Wie bei den Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen werden zunächst die betrieblichen Veränderungen im Unterschied zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung dargestellt und

anschließend die ausgewählten Kennzahlen mit Hilfe der für den jeweiligen Modellbetrieb typischen Fruchtfolge erläutert.

7.2.1.1 Modellbetrieb Maifeld

Die ausgewählten Kennziffern der betrachteten typischen Fruchtfolge des Modellbetriebes sind in Tabelle 50 dargestellt.

Tabelle 50: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Maifeld bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	WW	Roggen	WG
Ertrag	dt/ha	573	91	92	91	89
Standardabweichung	dt/ha	79	12	12	14	15
Variationskoeffizient	%	14	13	13	16	17
Marktleistung	€/ha	2.819	933	946	835	818
Var. Spezialkosten	€/ha	553	369	418	447	376
Ausgleichszahlung	€/ha		301	301	301	301
Deckungsbeitrag	€/ha	2.266	865	830	690	743
Standardabweichung DB	€/ha	446	187	189	181	183
Variationskoeffizient DB	%	20	22	23	26	25
Arbeitseinsatz	Akh/ha	15	7,5	9	8,5	8,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	151	115	92	81	87
N-Bilanz	kg/ha	7	6	6	20	2
P-Bilanz	kg/ha	6	-73	-74	-73	-71
K-Bilanz	kg/ha	-108	-55	-55	-55	-54
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	0	4	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Zuckerrüben sind das deckungsbeitragstärkste Produktionsverfahren im Modellbetrieb. Trotz des höheren Arbeitseinsatz haben sie die höchste Grenzproduktivität der Arbeit. Im Getreidebau wird der schlechteste Deckungsbeitrag bei Winterroggen erzielt. Die P- und K-Bilanzen sind über die Fruchtfolge stark negativ, da der Betrieb die Grunddüngung sehr restriktiv handhabt. Aufgrund der fast ausgeglichenen N-Bilanzen ist auch der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers sehr gering. Der bei der Fruchtfolgebetrachtung nicht berücksichtigte Winterraps erreicht einen Deckungsbeitrag von 864 €/ha.

Variante „umweltschonender Ackerbau“

Durch die Teilnahme an der Agrarumweltmaßnahme „umweltschonender Ackerbau“ treten für den Modellbetrieb einige Veränderungen im Anbauprogramm und in den einzelnen Produktionsverfahren auf. Durch die Auflagen im Bereich der Fruchtfolgegestaltung muß der Betrieb mindestens eine vorgeschriebene Sommerfrucht in das Produktionsprogramm aufnehmen. Hier werden Körnererbsen und Sommerweizen angebaut. Der Anbau von Winterroggen als deckungsbeitragschwächste Fruchtart entfällt. Der Anteil der Blattfrüchte im Betrieb bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung reicht bereits aus, um die

Anforderungen zu erfüllen. Des weiteren müssen die vorgegebenen Anbaupausen zwischen bestimmten Fruchtarten eingehalten werden. So ist der Anbau von Winterweizen nach Winterweizen nicht mehr möglich. Weiterhin müssen mindestens 5 % bis maximal 10 % der Ackerflächen als ökologische Ausgleichsflächen ausgewiesen werden. Das daraus sich ergebende Anbauprogramm bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme ist in Anhang 24 aufgeführt.

Die typische Fruchtfolge des Modellbetriebes ändert sich bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme zu:

Zuckerrüben - Winterweizen - Körnererbsen - Winterweizen - Wintergerste

Bei der Anlage der ökologischen Ausgleichsflächen (vgl. Anhang 24) werden Ackerflächen in extensiv zu nutzendes Dauergrünland umgewandelt. Diese Flächen werden im ersten Jahr mit einer Saatgutmischung eingesät. Die Saatgutkosten hierfür betragen 70 €/ha (vgl. KTBL, 2002b, S. 112). Das Grünland muß einmal jährlich beerntet werden (Heugewinnung). Die hierzu notwendigen Arbeiten werden komplett von einem Lohnunternehmer durchgeführt. Die Kosten hierfür betragen 145 €/ha (eigene Berechnungen nach LK RHEINLAND 2003). Als Arbeitsaufwand für den Betriebsleiter fällt nur die Zeit für die Kontrolle der ausgeführten Arbeiten, den Heuverkauf und für die Aufzeichnungen an. Für die Trockenmasse-Erträge des Grünlandes wurden Annahmen getroffen. Als Verkaufspreis für das extensiv erzeugte Wiesenheu werden 6 €/dt angesetzt. Die weiteren Anlagemöglichkeiten der ökologischen Ausgleichsflächen kommen für den Modellbetrieb nicht in Frage.

Als Bodenschutzverfahren vor Sommerungen wählt der Modellbetrieb vor Zuckerrüben, Sommerweizen und Körnererbsen die Stoppelbrache. Bei diesem Verfahren wird das Stroh nach der Ernte gehäckselt und gleichmäßig verteilt. Eine Bodenbearbeitung (kein Pflugeinsatz) darf frühestens zum 1. Oktober erfolgen. Die Stoppelbrache hat für den Betrieb den Vorteil, daß dieses Verfahren im Vergleich zum Zwischenfruchtanbau für den Boden wassersparender ist. Da bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ längere Anbaupausen bei Zuckerrüben vorgeschrieben sind, müssen auf einigen Schlägen jetzt Zuckerrüben und Winterraps in einer Fruchtfolge angebaut werden. Dies führt unter Umständen zu einer höheren Nematodenproblematik, der auf die Dauer gesehen durch den Anbau von nematodenresistenten Zwischenfrüchten entgegen gewirkt werden sollte. Die durch die Mulchsaat zu erwarteten niedrigeren Erträge haben keinen Einfluss auf die Erfüllung des Rübenkontingents, somit ergeben sich auch keine Veränderungen bei der Anbauflächen der Zuckerrüben.

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ folgende Veränderungen auf:

- Wegfall des Wachstumsreglereinsatz.
- Kein Anbau von Stoppelweizen und Winterroggen.
- Zusätzlicher Anbau von Körnererbsen und Sommerweizen.
- Bei Winterweizen eine Überfahrt zur PSM-Ausbringung weniger.

- Bei Zuckerrüben, Sommerweizen und Körnererbsen kein Pflugeinsatz, dafür dreimal Grubbern und höhere Herbizidkosten.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,3 h/ha, bei Körnererbsen zusätzlich 0,5 h/ha.
- Zusätzlicher Kostenaufwand von 1,25 €/ha.
- Agrarumweltprämie in Höhe von 102,26 €/ha für die „umweltschonend“ bewirtschaftete Ackerfläche und 255,65 €/ha für die ökologische Ausgleichsflächen.

Die Arbeitsgänge der Produktionsverfahren wurden aufgrund der Veränderungen entsprechend angepasst und die variablen Maschinenkosten sowie der benötigte Arbeitseinsatz für die jeweiligen Fruchtarten neu berechnet.

Die zusätzlichen Kosten ergeben sich aus der Zugehörigkeitspflicht des Betriebes zu einer Erzeugergemeinschaft. Hier entstehen Kosten in Höhe von 20 € je Betrieb und 1 € je Hektar bewirtschafteter Fläche. Der zusätzliche Zeitaufwand ergibt sich aus der Pflicht an drei Fortbildungsveranstaltungen teilzunehmen und für den zusätzlichen Verwaltungs- und Kontrollaufwand. Da mit den Körnererbsen der Anbau von Leguminosen neu in das Produktionsprogramm des Betriebes aufgenommen wird, ergibt sich hier der erhöhte Zeitaufwand, um sich mit der neuen Produktionstechnik vertraut zu machen. Tabelle 51 zeigt ausgewählte Kennziffern der typischen Fruchtfolge des Modellbetriebes bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“. Die Kennzahlen für die in der Fruchtfolge nicht betrachteten Produktionsverfahren Winterraps, Körnererbsen, Sommerweizen und die ökologischen Ausgleichsflächen sind in Anhang 24 dargestellt.

Der Ertrag der Zuckerrüben geht im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung aufgrund der Mulchsaat leicht zurück, bei Getreide sinken die Erträge ebenfalls, da hier keine Wachstumsregler eingesetzt werden dürfen. Die Variationskoeffizienten der Erträge steigen bei Getreide und Zuckerrüben leicht an. Bei Zuckerrüben reduziert sich die Marktleistung nicht im vollem Umfang des Ertragrückganges, da hier der erzielte Rübenmischpreis durch die Reduktion des Quotenerfüllungsgrades ansteigt. Die Deckungsbeiträge erhöhen sich bei allen Verfahren durch die gezahlten Förderprämien, die dazugehörigen Variationskoeffizienten bewegen sich auf gleichen bis leicht niedrigerem Niveau als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Der Arbeitseinsatz der einzelnen Produktionsverfahren erhöht sich nur sehr leicht. Die Grenzproduktivität der Arbeit der Deckungsbeiträge steigen bei allen Fruchtarten an. Im Bereich der Nährstoffbilanzen treten nur marginale Veränderungen auf. Beim Winterraps müssen keine Bewirtschaftungsauflagen eingehalten werden, daher treten hier keine Ertragsänderungen und Änderungen bei den variablen Spezialkosten ein, wodurch sich der Deckungsbeitrag fast um die gesamte Prämienzahlung erhöht. Die neu in das Produktionsprogramm aufgenommen Körnererbsen haben in etwa den gleichen Deckungsbeitrag und den dazugehörigen Variationskoeffizienten wie der vorher angebaute Winterroggen.

Tabelle 51: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Maifeld bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		ZR	WW	Erbsen	WW	WG
Ertrag	dt/ha	566	85	37	87	84
Standardabweichung	dt/ha	83	14	9	14	15
Variationskoeffizient	%	15	16	26	16	18
Marktleistung	€/ha	2.800	873	520	892	772
Düngung gesamt	€/ha	105	93	0	80	75
PSM Gesamt	€/ha	132	98	108	98	105
Var. Masch.-Kosten	€/ha	207	103	114	127	130
Var. Spezialkosten	€/ha	561	351	340	362	362
Ausgleichszahlung	€/ha		301	346	301	301
Agrarumweltprämie	€/ha	102	102	102	102	102
Deckungsbeitrag	€/ha	2.341	926	628	933	813
Standardabweichung DB	€/ha	470	193	156	195	181
Variationskoeffizient DB	%	20	21	25	21	22
Arbeitseinsatz	Akh/ha	14,5	7,5	8	8,5	9
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	161	123	79	110	90
N-Bilanz	kg/ha	9	-4	30	-31	-5
P-Bilanz	kg/ha	7	-68	-40	-70	-67
K-Bilanz	kg/ha	-106	-51	-51	-52	-50
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0	0	19	0	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Aufgrund der Stickstofffreisetzung der Leguminosen nach der Ernte steigt der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers bei diesem Produktionsverfahren an. Der Sommerweizen erzielt aufgrund ihrer besseren Qualitätseigenschaften (A-Weizen) einen höheren Verkaufspreis als Winterweizen. Die ökologischen Ausgleichsflächen erzielen einen deutlich schlechteren Deckungsbeitrag und eine deutlich schlechtere Grenzproduktivität der Arbeit als die übrigen Produktionsverfahren.

Variante „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“

Von der Teilnahme des Modellbetriebes an dieser Agrarumweltmaßnahme ist nur das Produktionsverfahren Zuckerrüben betroffen. Für alle anderen Fruchtarten sowie für das Anbauprogramm des Betriebes treten keine Veränderungen auf.

Der Betrieb wählt wie beim „umweltschonenden Ackerbau“ als Bodenschutzverfahren vor Zuckerrüben die Stoppelbrache. Deshalb erhält er die für dieses Verfahren vorgesehene Prämie in Höhe von 46,02 €/ha Zuckerrübenfläche. Anstelle des Pflugeinsatzes wird dreimal gegrubbert und aufgrund des höheren Unkrautdruckes eine zusätzliche Herbizidbehandlung der Rüben vorgenommen.

Der zusätzliche Zeitbedarf beim Mulchsaatverfahren von Zuckerrüben beträgt 0,5 h/ha für den erhöhten Aufzeichnungs-, Verwaltungs- und Kontrollaufwand.

Tabelle 52 zeigt ausgewählte Kennziffern des durch die Teilnahme an der Maßnahme betroffenen Produktionsverfahrens Zuckerrüben.

Tabelle 52: Ausgewählte Kennziffern des Produktionsverfahrens Zuckerrüben bei Teilnahme an der Variante „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“

Jahr	Einheit	1. Jahr
Fruchtart		ZR
Ertrag	dt/ha	566
Standardabweichung	dt/ha	83
Variationskoeffizient	%	15
Marktleistung	€/ha	2.799
Düngung gesamt	€/ha	105
PSM Gesamt	€/ha	132
Var. Masch.-Kosten	€/ha	207
Var. Spezialkosten	€/ha	560
Agrarumweltprämie	€/ha	46
Deckungsbeitrag	€/ha	2.285
Standardabweichung DB	€/ha	470
Variationskoeffizient DB	%	21
Arbeitseinsatz	Akh/ha	14,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	158
N-Bilanz	kg/ha	9
P-Bilanz	kg/ha	6
K-Bilanz	kg/ha	-107
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Die Wirkungen der Teilnahme an diesem Programm auf das Produktionsverfahren Zuckerrüben sind ähnlich den Wirkungen beim „umweltschonenden Ackerbau“. Allerdings entsteht hier aufgrund der geringeren Förderprämie ein niedrigerer Deckungsbeitrag, der aber leicht höher als bei der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung liegt. Die anderen Produktionsverfahren sind durch die Teilnahme an dieser Maßnahme nicht betroffen.

Variante „Anlage von Ackerrandstreifen“

Bei Teilnahme des Modellbetriebes werden aus mehreren Schlägen insgesamt 2 ha herausgenommen und mit Randstreifen angelegt. Die Randstreifen bleiben über den gesamten Verpflichtungszeitraum erhalten, d.h. es treten Veränderungen bei der Anbauumfängen der auf den Hauptschlägen angebauten Fruchtarten auf. Werden auf dem Hauptschlag Zuckerrüben angebaut, so wird die durch die Randstreifen wegfallende Anbaufläche durch die Verringerung der Winterroggenfläche auf einem anderen Schlag kompensiert, damit die Anbaufläche der Zuckerrüben zur Erfüllung des Rübenkontingents

konstant bleibt. Die Anbauflächen der einzelnen Fruchtarten während des Verpflichtungszeitraumes ist in Anhang 24 aufgeführt.

Die Randstreifen werden mit Getreide eingesät, wenn auf dem Hauptschlag Getreide angebaut wird, bei Anbau von Raps oder Rüben auf dem Hauptschlag, wird der Randstreifen brach fallen gelassen.

In Tabelle 53 sind die Kennzahlen der Ackerrandstreifen im Laufe des Verpflichtungszeitraumes dargestellt.

Tabelle 53: Kennzahlen der Ackerrandstreifen des Modellbetriebes Maifeld während des Verpflichtungszeitraums

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Art		Getreide	Brache	Getreide	Getreide	Getreide
Saatgut	€/ha	20		20	20	20
Var. Maschinenkosten	€/ha	98	38	98	98	98
DB	€/ha	547	627	547	547	547
Arbeitseinsatz	Akh/ha	6,1	2,3	6,1	6,1	6,1
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	90	264	90	90	90
Pot. Nitratgehalt	mg/l	17,96	45,61	53,89	56,37	57,11

Quelle: Eigene Berechnungen

Da das Getreide nur mit halber Saatstärke eingesät werden darf, liegen nur die Hälfte der Saatgutkosten des Getreides bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung vor. Allerdings entsteht durch das Umstellen der Drillmaschine ein höherer Zeitbedarf. Weiterhin entsteht ein zusätzlicher Zeitaufwand für die Aufzeichnungspflicht und für Kontrollen (0,5 h je Hektar Ackerrandstreifen per anno). Wie schon bei den Schonstreifen in Nordrhein-Westfalen wird unterstellt, daß der Aufwuchs nicht wirtschaftlich verwertet werden kann und deshalb gemulcht wird. Bei Brache werden die Randstreifen nur gegrubbert und gemulcht. Der Deckungsbeitrag liegt unterhalb des Deckungsbeitrages von Getreide, die Grenzproduktivität der Arbeit liegt in etwa auf der Höhe der Grenzproduktivität der Arbeit der Wintergerste, bei Brache liegt sie deutlich über den anderen Produktionsverfahren. Da keine Abfuhr des Aufwuchses bei dieser Maßnahme stattfindet, erhöht sich der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers. Die absolute Höhe ist abhängig vom N_{Min} -Gehalt des Schlages.

Variante „Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen“

Bei Teilnahme an dieser Maßnahme werden im Modellbetrieb zwei Hektar mit Saum- und Bandstrukturen angelegt. Hierfür werden kleinere Schläge für den gesamten Verpflichtungszeitraum aus der Produktion herausgenommen. Eingeschränkt wird dadurch der Anbau von Winterroggen und Wintergerste als deckungsbeitragsschwächste Fruchtarten jeweils um einen Hektar. Weitere Möglichkeiten, die zur Anlage der Saum- und Bandstrukturen bestehen wie z.B. Anlage von Sonderstrukturen (vgl. Kapitel 3.4.3), werden hier nicht betrachtet.

Die für die Anlage mit Saum- und Bandstrukturen vorgesehen Flächen werden zu Beginn des Verpflichtungszeitraum mit einer Grasmischung eingesät. Für das Saatgut bestehen hinsichtlich Zusammensetzung und Saatstärke Vorgaben in den Bewirtschaftungsauflagen. Der Betrieb verwendet die Saatgutmischung „Dauerbrache KR“ (vgl. MWVLW, 2001, S. 12). Die Saatgutkosten betragen hierbei 255 €/ha (vgl. BAYERISCHE FUTTERSAATBAU GMBH, 2003). Als Pflegemaßnahmen muß in den Folgejahren nur das Mulchen der Flächen durchgeführt werden. Dabei wird aufgrund der Bewirtschaftungsauflagen in jedem Jahr nur ein Teil der Fläche bearbeitet. Als zusätzlicher Zeitaufwand fällt der Zeitbedarf für die Aufzeichnungspflicht und die Kontrollen an. Insgesamt werden hierfür 0,5 h je Hektar mit Saumstrukturen angebaute Fläche pro Jahr veranschlagt.

Tabelle 54 zeigt die Kennzahlen der Saum- und Bandstrukturen während des fünfjährigen Verpflichtungszeitraumes.

Tabelle 54: Kennzahlen der Saum- und Bandstrukturen des Modellbetriebes Maifeld während des Verpflichtungszeitraums

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Saatgut	€/ha	255				
Var. Maschinenkosten	€/ha	105	14	14	14	14
DB	€/ha	49	395	395	395	395
Arbeitseinsatz	Akh/ha	6,7	1,2	1,2	1,2	1,2
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	7	329	329	329	329
Pot. Nitratgehalt	mg/l	18	51	70	82	88

Quelle: Eigene Berechnungen

Der Deckungsbeitrag der Saum- und Bandstrukturen liegt deutlich unter dem Deckungsbeitrag der anderen Produktionsverfahren des Modellbetriebes. Von der Grenzproduktivität der Arbeit liegen sie mit Ausnahme des ersten Jahres jedoch deutlich höher. Der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers steigt deutlich an, da auch hier der Aufwuchs nicht abgefahren wird.

7.2.1.2 Modellbetrieb Westerwald

Die ausgewählten Kennzahlen der typischen Fruchtfolge des Modellbetriebes bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sind in Tabelle 55 dargestellt. Man erkennt hier im Vergleich zum Modellbetrieb Maifeld deutlich niedrigere Erträge und dadurch bedingt niedrigere Deckungsbeiträge bei den einzelnen Fruchtarten. Der Winterrraps ist hier das deckungsbeitragsstärkste Produktionsverfahren, aufgrund des etwas niedrigeren Arbeitszeitbedarf ist der Winterweizens nach Blattfrucht von der Grenzproduktivität der Arbeit das vorteilhafteste Produktionsverfahren. Die Wintergerste ist sowohl vom Deckungsbeitrag als auch unter dem Gesichtspunkt der Grenzproduktivität der Arbeit die schlechteste Fruchtart.

Tabelle 55: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Westerwald bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		Raps	WW	WW	SG	WG
Ertrag	dt/ha	32	66	67	49	60
Standardabweichung	dt/ha	5	9	9	8	11
Variationskoeffizient	%	17	14	14	17	17
Marktleistung	€/ha	742	680	689	613	553
Var. Spezialkosten	€/ha	454	403	513	355	396
Ausgleichszahlung	€/ha	301	301	301	301	301
Deckungsbeitrag	€/ha	618	577	478	559	459
Standardabweichung DB	€/ha	174	139	140	138	127
Variationskoeffizient DB	%	28	24	29	25	28
Arbeitseinsatz	Akh/ha	9	7,5	9	8,5	8
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	69	77	53	66	57
N-Bilanz	kg/ha	37	-3	16	-4	20
P-Bilanz	kg/ha	-58	7	16	25	12
K-Bilanz	kg/ha	168	-40	30	34	-36
Pot. Nitratgehalt	mg/l	25	20	19	30	25

Quelle: Eigene Berechnungen

Bei den N-Bilanzen sind im Durchschnitt leichte Überschüsse zu verzeichnen, was aufgrund der Standorteigenschaften im Vergleich zum Modellbetrieb Maifeld zu deutlich höheren potentiellen Nitratgehalten führt.

Variante „Umweltschonender Ackerbau“

Im Gegensatz zum Modellbetrieb Maifeld treten keine großen Änderungen beim Anbauprogramm bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ auf. Im Modellbetrieb Westerwald sind bereits bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung die meisten Bewirtschaftungsauflagen zur Fruchtfolgegestaltung erfüllt. Änderungen bei der Anbauplanung ergeben sich nur durch die Ausweisung der ökologischen Ausgleichsflächen, die hier, wie im Modellbetrieb Maifeld in Form von extensiven Dauergrünland angelegt werden und durch das Verbot des Anbaus von Winterweizen nach Winterweizen. Als Bodenschutzverfahren vor Sommerungen wählt der Betrieb den „Zwischenfruchtanbau nach der Getreideernte“. Hierbei wird vor Sommergerste Senf angebaut. Der Senf wird mit einem Zwischenfruchtstreuer auf die gegrubberten Flächen ausgebracht. Der Aufwuchs wird nach dem 1. November gepflügt. Dieses Bodenschutzverfahren hat für den Betrieb den Vorteil, daß ein Pflugeinsatz vor Aussaat der Sommergerste erfolgen kann. Aufgrund der hohen Niederschläge in der Region, steht ein ausreichendes Wasserangebot sowohl der Zwischenfrucht als auch der Hauptfrucht zur Verfügung. Das Anbauprogramm des Modellbetriebes bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ ist in Anhang 25 dargestellt.

Die typische Fruchtfolge des Betriebes ändert sich bei Teilnahme an dieser Maßnahme zu:

Winterraps - Winterweizen (Zwischenfrucht Senf) - Sommergerste - Winterweizen - Wintergerste

Bei den einzelnen Produktionsverfahren treten folgende Änderungen auf:

- Wegfall des Wachstumsreglereinsatz.
- Bei Winterweizen eine Überfahrt zur PSM-Ausbringung weniger.
- Zusätzlicher Zeitaufwand für Kontroll- und Verwaltungsaufwand in Höhe von 0,4 h/ha.
- Zusätzlicher Kostenaufwand von 1,30 €/ha.
- Agrarumweltprämie in Höhe von 102,26 €/ha für die „umweltschonend“ bewirtschaftete Fläche und 255, 65 €/ha für die ökologischen Ausgleichsflächen.

Der im Vergleich zum Modellbetrieb Maifeld leicht höhere zusätzliche Zeit- und Kostenaufwand ergibt sich aus der kleineren Betriebsfläche des Modellbetriebes bei gleichbleibenden flächenunabhängigen Zeit- und Kostenkomponenten, die durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ bedingt sind.

In Tabelle 56 sind ausgewählte Kennzahlen der betrachteten Fruchtfolge des Modellbetriebes dargestellt. Die entsprechenden Kennziffern für die ökologischen Ausgleichsflächen werden in Anhang 25 aufgezeigt.

Die Erträge gehen bei der Teilnahme des Modellbetriebes am „umweltschonenden Ackerbau“ im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung bei den Wintergetreidearten zurück, dagegen steigen die dazu gehörenden Variationskoeffizienten an. Bei Winterraps und Sommergerste treten in diesem Bereich keine Veränderung auf, was beim Winterraps aufgrund der Förderprämie zu einem deutlichen Anstieg des Deckungsbeitrags und zu einer Reduktion des dazu gehörenden Variationskoeffizienten führt. Bei der Sommergerste ist der Anstieg des Deckungsbeitrag nicht so hoch, da hier die Kosten der Zwischenfrucht mit angerechnet werden. Bei den Wintergetreidearten können die gezahlten Förderprämien und leicht reduzierte variable Spezialkosten die Rückgänge bei der Marktleistung mehr als kompensieren, was zu einem Anstieg der Deckungsbeiträge und zu einem Rückgang der Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge führt. Der Arbeitseinsatz erhöht sich nur durch den Zwischenfruchtanbau vor Sommergerste, ansonsten treten durch die Teilnahme am umweltschonenden Ackerbau in diesem Bereich keine Veränderungen auf. Dadurch erhöht sich bei allen Fruchtarten mit Ausnahme der Sommergerste die Grenzproduktivität der Arbeit. Die Nährstoffbilanzen erhöhen sie sich bei allen Fruchtarten mit Ausnahme der Sommergerste leicht. Dieselbe Wirkung zeigt auch die Veränderung des potentiellen Nitratgehaltes des Sickerwassers.

Tabelle 56: Ausgewählte Kennziffern der Fruchtfolge des Modellbetriebes Westerwald bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Fruchtart		Raps	WW	SG	WW	WG
Ertrag	dt/ha	32	62	48	64	58
Standardabweichung	dt/ha	5	11	8	11	11
Variationskoeffizient	%	17	18	17	17	19
Marktleistung	€/ha	772	638	606	657	530
Düngung gesamt	€/ha	149	98	74	138	91
PSM Gesamt	€/ha	130	100	55	142	77
Var. Masch.-Kosten	€/ha	116	89	105	114	109
Var. Spezialkosten	€/ha	456	397	329	506	375
Ausgleichszahlung	€/ha	301	301	301	301	301
Agrarumweltprämie	€/ha	102	102	102	102	102
Deckungsbeitrag	€/ha	720	644	625	555	558
Standardabweichung DB	€/ha	174	147	137	149	130
Variationskoeffizient DB	%	24	23	22	27	23
Arbeitseinsatz	Akh/ha	9	7,5	9,5	9	8,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	80	86	66	62	66
N-Bilanz	kg/ha	38	0	-13	17	13
P-Bilanz	kg/ha	-58	10	15	19	14
K-Bilanz	kg/ha	168	-37	25	32	-35
Pot. Nitratgehalt	mg/l	26	25	31	21	20

Quelle: Eigene Berechnungen

Variante „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“

Da im Modellbetrieb weder Mais noch Zuckerrüben angebaut werden, kommt die Teilnahme an dieser Maßnahme für den Betrieb nicht in Frage.

Variante „Anlage von Ackerrandstreifen“

Bei Teilnahme an dieser Variante der Agrarumweltmaßnahmen werden für den Modellbetrieb Westerwald die gleichen Annahmen getroffen wie für den Modellbetrieb Maifeld. Das sich daraus ergebende neue Anbauprogramm des Betriebes sowie die Kennzahlen im Laufe des Verpflichtungszeitraumes bei Teilnahme an dieser Maßnahmen sind in Anhang 25 dargestellt.

Die Auswirkungen einer Programmteilnahme entsprechen den Auswirkungen des Modellbetriebes Maifeld. Allerdings liegt der durchschnittliche Deckungsbeitrag der Ackerrandstreifen im Modellbetrieb Westerwald über dem von Getreide und die Grenzproduktivität der Arbeit ist vorteilhafter.

Variante „Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen“

Wie im Modellbetrieb Maifeld werden bei Teilnahme an dieser Maßnahme zwei Hektar aus der Produktion genommen und unter den gleichen Annahmen mit einer mehrjährigen

Begrünungsmischung eingesät. Eingeschränkt wird hierfür der Anbau von Wintergerste und Winterweizen jeweils um einen Hektar.

Die Kennzahlen bei Teilnahme an dieser Maßnahme sind in Anhang 25 dargestellt. Auch hier entsprechen die Auswirkungen einer Programmteilnahme den Auswirkungen des Modellbetriebes Maifeld.

7.2.2 Darstellung der gesamtbetrieblichen Ergebnisse

Wie schon bei den Auswertungen der Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen beziehen sich die im folgenden aufgeführten Kennzahlen auf die gesamtbetrieblichen Auswertungen der jeweiligen Modellbetriebe.

7.2.2.1 Modellbetrieb Maifeld

Tabelle 57 zeigt die gesamtbetrieblichen flächenbezogenen Kennzahlen des Modellbetriebes Maifeld bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Die entsprechenden Kennzahlen für die typische Fruchtfolge des Betriebes sind in Anhang 25 dargestellt.

Tabelle 57: Kennzahlen des Modellbetriebes Maifeld bei den einzelnen Maßnahmen

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Mulch ZR	Rand- streifen	Saum- strukturen
Gesamtertrag	GE/ha	96	82	96	94	94
Deckungsbeitrag	€/ha	985	997	985	978	975
Standardabweichung	€/ha	132	118	132	128	129
Variationskoeffizient	%	13	12	13	13	13
N-Bilanz	kg/ha	4,1	0,2	4,2	4,0	3,9
P-Bilanz	kg/ha	-54,5	-44,9	-54,3	-52,8	-52,7
K-Bilanz	kg/ha	-53,1	-49,8	-52,8	-51,8	-51,8
PSM-Aufwand	€/ha	109	103	112	106	106
Arbeitsaufwand	Akh/ha	9,2	8,8	9,2	9,1	9,1
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	107	113	108	107	108
Zwischenfrüchte	%	0	0	0	0	0
Pot. Nitratgehalt	mg/l	0,88	1,52	0,95	2,02	2,43
Kulturpflanzen- diversität		1,42	1,68	1,42	1,42	1,41
Strukturelemente	%	0	5	0	2,5	2,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Der *Gesamtertrag* reduziert sich durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ um 15 %. Dies liegt an dem Ertragsrückgang durch den Verbot des Wachstumsreglereinsatzes im Getreidebau und durch den Pflugverzichtes bei den Zuckerrüben, an dem

Anbau der ertragsschwächeren Fruchtarten Sommerweizen und Körnererbsen, sowie an dem deutlich geringeren Ertrag der ökologischen Ausgleichsflächen. Der leichte Ertragsrückgang der Rüben durch die Maßnahme „Mulchsaat bei Mais und Zuckerrüben“ hat keinen nennenswerten Einfluß auf den gesamtbetrieblichen Ertrag. Bei Teilnahme an den Varianten „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Saum und Bandstrukturen“ reduziert sich der Gesamtertrag um zwei Prozent, da hier die entsprechenden Flächen komplett aus der Produktion herausgenommen werden. An den Erträgen der übrigen Fruchtarten ändert sich nichts.

Die *Deckungsbeiträge* liegen bei allen Maßnahmen in etwa auf gleichem Niveau. Die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ führt zu einem leichten Anstieg des Gesamtdeckungsbeitrages. Die Verluste der Marktleistung durch die Ertragsrückgänge bei Getreide und Zuckerrüben und die Umstellung der Fruchtfolge, sowie der geringere Deckungsbeitrag der ökologischen Ausgleichsflächen können insgesamt durch zurückgehende variable Spezialkosten und die gezahlten Förderprämien kompensiert werden.

Hinzu kommt, daß bei Winterraps keine Verluste bei der Marktleistung entstehen und so die Prämie bei diesem Produktionsverfahren fast vollständig einkommenswirksam wird. Beim Mulchsaatverfahren von Mais und Zuckerrüben werden die Ertragsverluste beim Produktionsverfahren Zuckerrüben durch einen etwas höheren Rübenmischpreis, etwas geringere variable Spezialkosten und die gezahlte Förderprämie kompensiert, so daß im gesamtbetrieblichen Ergebnis keine Veränderungen auftreten. Bei den Varianten „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Saum und Bandstrukturen“ reduziert sich der Gesamtdeckungsbeitrag leicht, da der durchschnittliche Deckungsbeitrag dieser Maßnahmen etwas geringer als der Deckungsbeitrag im Getreidebau ist.

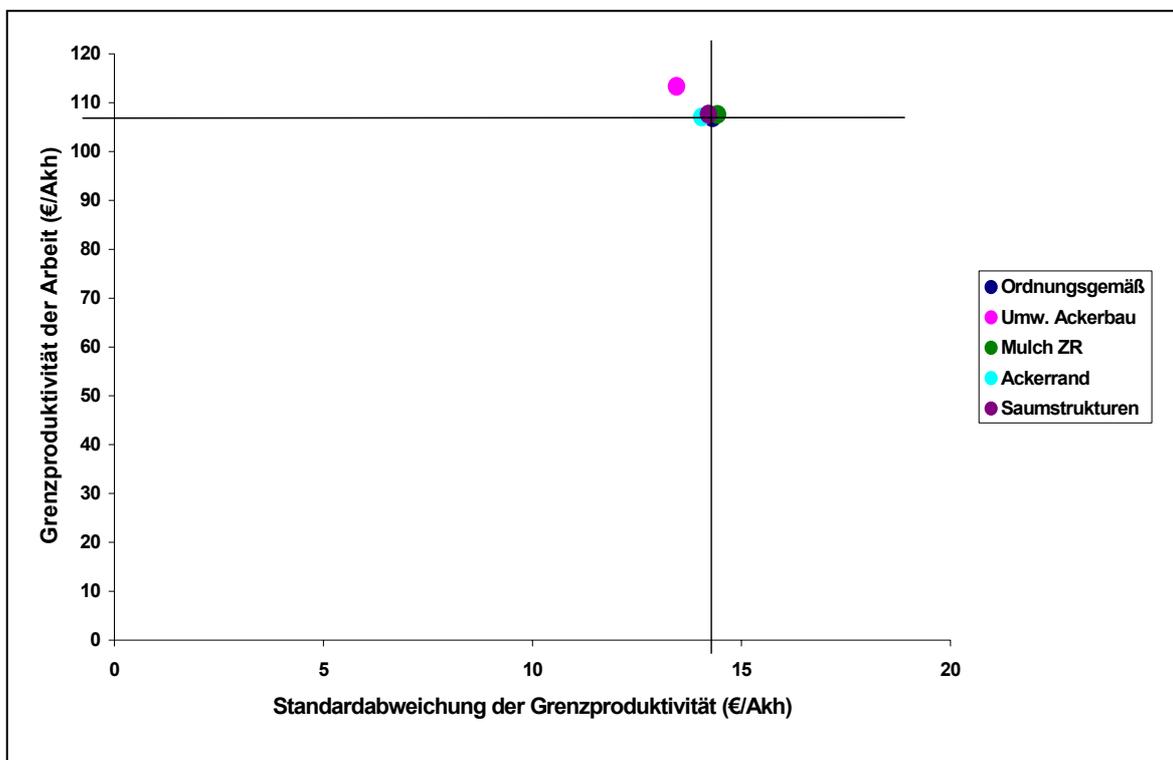
Die *Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge* bewegen sich wie die Deckungsbeiträge selbst bei allen Maßnahmen auf gleichem Niveau. Lediglich beim „umweltschonenden Ackerbau“ sinkt er ganz leicht ab. Da beim Winterraps keine Wirkungen auf den Ertrag und dessen Variabilität entstehen, wird der Variationskoeffizient des Deckungsbeitrages durch die Förderprämie gesenkt. Bei den übrigen Produktionsverfahren wird die Erhöhung der Ertragsvarianz durch die Prämien beim Deckungsbeitrag kompensiert. Die Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Saum und Bandstrukturen“ führen zu keinen Änderungen der Ertragsvarianzen der einzelnen Fruchtarten. Einer Erhöhung des Variationskoeffizienten durch den Rückgang des Deckungsbeitrages bei diesen Maßnahmen kann durch die gezahlte Prämie entgegen gewirkt werden.

Beim *Arbeitsaufwand* treten bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ebenfalls keine großen Veränderungen auf. Beim „umweltschonenden Ackerbau“ reduziert sich der Arbeitseinsatz um 4 %, trotz eines erhöhten Verwaltungs- und Kontrollaufwandes. Hier spielt vor allen Dingen die Einsparungen bei der Umstellungen des Zuckerrübenanbaus auf Mulchsaatverfahren und des damit verbundenen Verzichtes auf den Pflugeinsatz und der etwas geringere Arbeitsaufwand der Produktionsverfahren Körnererbsen und Sommerweizen im Vergleich zu Stoppelweizen und Winterroggen eine Rolle. Des weiteren ist auch der geringere Zeitaufwand zur Pflege der ökologischen Ausgleichsflächen von Bedeutung. Bei

Teilnahme an der Maßnahme „Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben“ resultiert der geringe Rückgang beim Arbeitsaufwand aus dem bereits erwähnten Pflugverzicht bei Zuckerrüben. Die Anlage von Ackerrandstreifen und von Saum- und Bandstrukturen benötigen im Durchschnitt der Vertragslaufzeit einen geringeren Zeitaufwand als die übrigen Produktionsverfahren, daher reduziert sich der Zeitbedarf bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“ um 1 % und bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ um 2 %.

Die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf den Deckungsbeitrag und den Arbeitsaufwand führen zu den Veränderungen bei der *Grenzproduktivität der Arbeit*. Übersicht 37 zeigt die Grenzproduktivität der Arbeit des Deckungsbeitrag und die dazu gehörende Standardabweichung.

Übersicht 37: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der einzelnen Maßnahmen im Modellbetrieb Maifeld

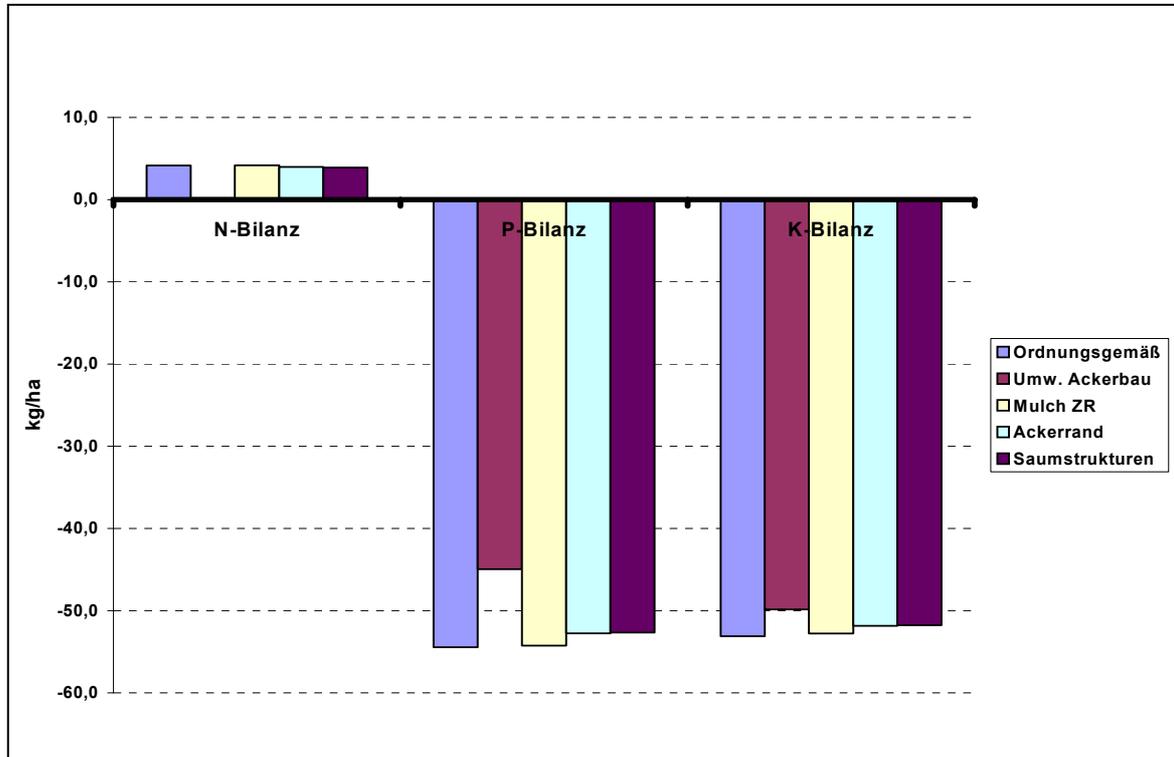


Quelle: Eigene Darstellung

Man erkennt, daß die betrachteten Kenngrößen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Teilnahme an den Maßnahmen „Mulchsaatverfahren Mais und Zuckerrüben“, „Anlage von Ackerrandstreifen“ und Anlage von „Saum- und Bandstrukturen“ auf gleichem Niveau liegen, d.h. aus ökonomischer Sicht entstehen keine Veränderungen bei der Programmteile an den einzelnen Maßnahmen. Durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ hat der Modellbetrieb leichte ökonomische Vorteile, da hier die Grenzproduktivität der Arbeit steigt und die dazugehörige Standardabweichung sinkt.

In Übersicht 38 sind die Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen dargestellt.

Übersicht 38: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Maifeld bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung

Auch hier sind nur marginale Unterschiede zwischen den einzelnen Programmteilen zu erkennen. Lediglich bei der Teilnahme am umweltschonenden Ackerbau sind kleine Veränderungen festzustellen. Die *N-Bilanz* reduziert sich leicht, da der N-Düngerbedarf der neu in das Produktionsprogramm aufgenommenen Fruchtarten Körnererbsen und Sommerweizen deutlich geringer ist als der von Stoppelweizen (Winterweizen) und Winterroggen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Dem geringeren Ertrag bei den übrigen Getreidearten und bei Zuckerrüben steht eine etwas niedrigere N-Düngung gegenüber und bei den ökologischen Ausgleichflächen führt die Abfuhr des Enteguts bei Verzicht auf jegliche Form der Düngung zu negativen N-Bilanzen. Die *P-Bilanzen* und die *K-Bilanzen* erhöhen sich bei Teilnahme an dieser Maßnahme leicht, da bei gleichbleibender Grunddüngung die Erträge zurück gehen. Bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ resultieren die nur sehr geringen Auswirkungen bei der N-Bilanz aus dem Verzicht der Düngung auf den entsprechenden Flächen und bei den P- und K-Bilanzen aus dem niedrigeren Gesamtertrag.

Durch die nur geringfügigen Veränderungen der N-Bilanz bei den einzelnen Maßnahmen treten auch nur geringe Veränderungen beim *potentiellen Nitratgehalt* des Sickerwassers auf. Dieser steigt jedoch im Gegensatz zur N-Bilanz bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ leicht an, da hier bei den Produktionsverfahren

Körnererbsen ein höherer Wert festgestellt wird. Da die Körnererbsen Stickstoff aus der Luft binden können, steht hier nach Ernte eine größere Menge Stickstoff zur Verfügung, die zunächst aufgrund des fehlenden Aufwuchses nicht verwertet werden kann und somit der Gefahr der Auswaschung ausgesetzt ist. Bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ führt der fehlende Stickstoffentzug durch die Abfuhr von Ernteprodukten zu einem höheren potentiellen Nitratgehalt im Sickerwasser. Die Gewässergefährdung ist jedoch bei allen Maßnahmen als „sehr gering“ einzustufen.

Der *monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand* sinkt bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ um 5 %. Hier erhöhen sich zwar bei den Zuckerrüben aufgrund der Mulchsaat und der damit verbundenen Erhöhung des Unkrautdruckes die Herbizidkosten, beim Getreide verringern sich jedoch die Pflanzenschutzkosten aufgrund des Wachstumsreglerverzichtes und durch den Anbau von Sommerweizen anstelle von Stoppelweizen die Fungizidkosten. Durch den Anbau von Körnererbsen anstelle des Winterroggens treten in diesem Bereich keine nennenswerten Effekte auf. Des weiteren werden auf den ökologischen Ausgleichsflächen keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Bei der Teilnahme am „Mulchsaatverfahren von Mais und Zuckerrüben“ erhöht sich aus den oben erwähnten Gründen der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand um 3 %. Die Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ führen durch den Verzicht des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf den entsprechenden Flächen zu einem Rückgang der gesamten Pflanzenschutzmittelkosten um 2 %.

Im Modellbetrieb werden bei keiner Maßnahme *Zwischenfrüchte* angebaut. Zu einer Veränderung dieser Größe würde es beim „umweltschonenden Ackerbau“ führen, wenn der Betriebsleiter als Bodenschutzverfahren vor Sommerungen das Verfahren „Zwischenfruchtanbau“ auswählen würde. Dies hätte aber auch Auswirkungen auf die weiteren Indikatoren. So steigt hierbei der Arbeitsaufwand deutlich (Anbau von Zwischenfrüchten, Pflugeinsatz bei Sommerweizen und Körnererbsen). Durch den Pflugeinsatz erhöhen sich die Erträge zwar leicht, auf der anderen Seite steigen aus den erwähnten Gründen die Kosten, so daß der Deckungsbeitrag und vor allem die Arbeitverwertung des Deckungsbeitrages sinkt. Bei der Teilnahme an der Agrarumweltmaßnahme „Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben“ stehen den höheren Kosten und größeren Arbeitsaufwand bei der Wahl des Bodenschutzverfahrens „Zwischenfruchtanbau“ eine höhere Förderprämie entgegen.

Die *Kulturpflanzendiversität* erhöht sich im Modellbetrieb durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“, da hier neue Fruchtarten in das Produktionsprogramm aufgenommen werden und sich die Anbauumfänge der einzelnen Fruchtarten verändern. Durch Teilnahme an den übrigen Maßnahmen treten keine Veränderungen dieser Größe im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung auf.

Der *Anteil der Landschaftsstrukturelemente* verändert sich durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ durch die Ausweisung der ökologischen Ausgleichsflächen. Hierdurch beträgt der Anteil der Strukturelemente an der gesamten Landwirtschaftlichen Nutzfläche des Modellbetriebes 5 %. Durch die Anlage der

Ackerrandstreifen und der Saum- und Bandstrukturen beträgt der Anteil der Landschaftsstrukturelemente 2,5 %.

Bei der *produktionsbezogenen Betrachtung* der Indikatoren (vgl. Anhang 24) fällt auf, daß hier sich bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand und der Arbeitsaufwand aufgrund des niedrigeren Gesamtertrages im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung erhöhen, d.h. bezogen auf die geernteten Mengen werden mehr Pflanzenschutzmittel eingesetzt und mehr Arbeit benötigt. Bei der Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ treten bei dieser Betrachtungsweise keine Veränderungen beim monetären Pflanzenschutzmitteleinsatz und beim Arbeitseinsatz im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ein.

7.2.2.2 Modellbetrieb Westerwald

Die gesamtbetrieblichen flächenbezogenen Kennzahlen des Modellbetriebes Westerwald bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen und bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sind in Tabelle 58 dargestellt. Die entsprechenden Kennzahlen für die typische Fruchtfolge sowie für den Gesamtbetrieb und die produktionsbezogenen Indikatoren werden im Anhang 25 aufgezeigt.

Bei der Teilnahme des Modellbetriebes am „umweltschonenden Ackerbau“ reduziert sich der *Gesamtertrag* im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung um 8 %. Dieser Ertragsrückgang ist durch den Verzicht auf Wachstumsregler im Getreidebau und durch den niedrigeren Ertrag der ökologischen Ausgleichflächen bedingt. Die Varianten „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ führen jeweils zu einem Rückgang des Gesamtertrages um 3 %, da hier die entsprechenden Flächen komplett aus der Produktion herausgenommen werden.

Der *Gesamtdeckungsbeitrag* erhöht sich bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ um 10 %, d.h. die durch die Bewirtschaftungsauflagen bedingten Mindererträge werden durch die gezahlten Förderprämien überkompensiert, da im Betrieb kaum Umstellungen nötig sind und geringe Ertragsrückgänge aufgrund des Wachstumsreglerverzicht zu verzeichnen sind. Verluste entstehen nur durch die Anlage der ökologischen Ausgleichflächen, wo trotz höherer Förderprämie ein geringerer Deckungsbeitrag als bei Getreide entsteht. Bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“ ändert sich der Gesamtdeckungsbeitrag im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nicht. Hier werden die Verluste, die durch die Herausnahme der Flächen aus der Produktion verursacht werden, durch die gezahlte Förderprämie ausgeglichen. Bei der Teilnahme an der Variante „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ werden diese Verluste aufgrund der niedrigeren Förderprämie dieser Maßnahme nicht ganz kompensiert.

Die *Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge* reduzieren sich bei Teilnahme am umweltschonenden Ackerbau leicht, da hier der Anteil der (sicheren) Förderprämien bei nur geringem Rückgang der (unsicheren) Marktleistung steigt. Durch die Teilnahme an den

Tabelle 58: Kennzahlen des Modellbetriebes Westerwald bei den einzelnen Maßnahmen

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Rand- streifen	Saum- strukturen
Gesamtertrag	GE/ha	62	57	60	60
Deckungsbeitrag	€/ha	561	620	561	554
Standardabweichung	€/ha	97	95	94	94
Variationskoeffizient	%	17	15	17	17
N-Bilanz	kg/ha	11,5	7,0	11,1	10,9
P-Bilanz	kg/ha	-4,9	-5,3	-4,9	-5,3
K-Bilanz	kg/ha	39,4	36,5	38,4	39,5
PSM-Aufwand	€/ha	104	97	101	101
Arbeitsaufwand	Akh/ha	8,4	8,3	8,3	8,2
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	67	74	68	68
Zwischenfrüchte	%	0	21	0	23
Pot. Nitratgehalt	mg/l	23	23	23	23
Kulturpflanzendiversität		1,31	1,27	1,31	1,31
Strukturelemente	%	0	5	3	3
Pot. Bodenabtrag	dt/ha	5	4	5	5

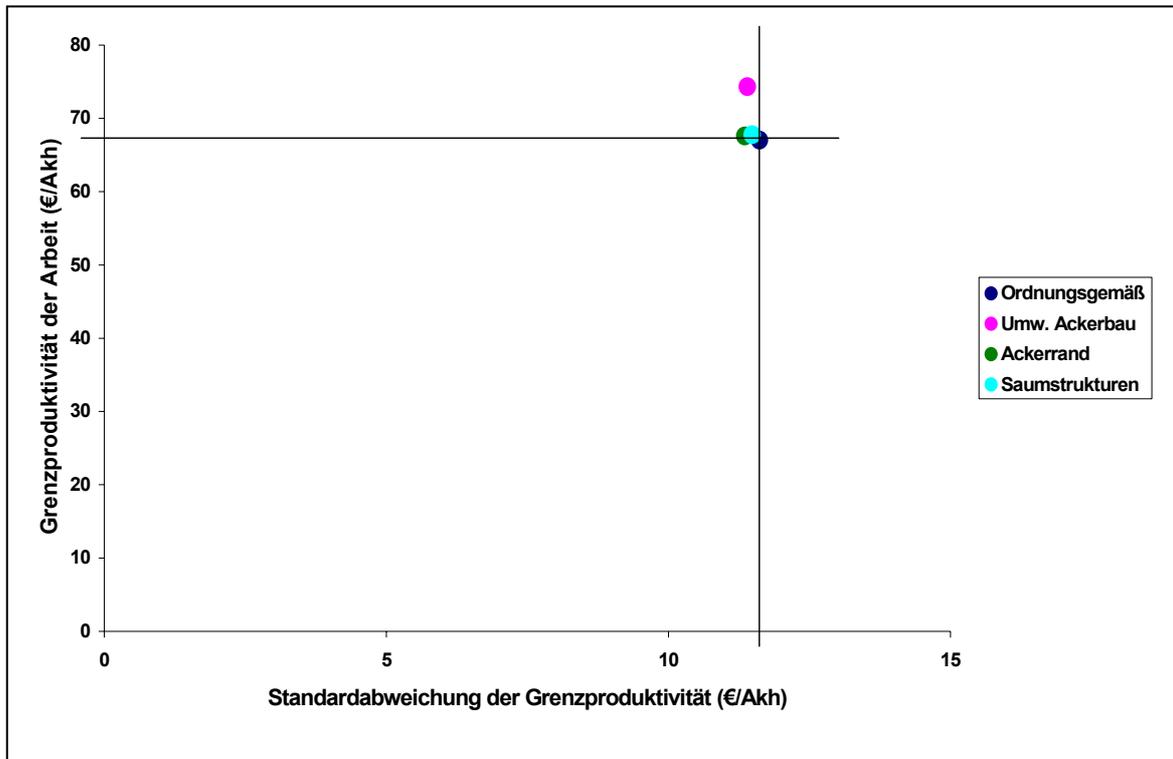
Quelle: Eigene Berechnungen

Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ treten in diesem Bereich keine Veränderungen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ein.

Der *Arbeitseinsatz* wird durch die Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nur ganz leicht beeinflusst. Bei der Teilnahme am umweltschonenden Ackerbau wird der etwas erhöhte Zeitaufwand für den Zwischenfruchtanbau und für Verwaltung und Kontrolle durch den geringeren Zeitbedarf für die Bewirtschaftung der ökologischen Ausgleichflächen mehr als kompensiert. Die Anlage der Ackerrandstreifen erfordert ebenfalls einen geringeren Zeitaufwand für die Bewirtschaftung der Flächen als die übrigen Produktionsverfahren, wodurch auch hier der Arbeitseinsatz leicht zurückgeht. Zur Bewirtschaftung der Saum- und Bandstrukturen ist der Zeitbedarf zur Bewirtschaftung der Flächen noch etwas niedriger, was zu einem weiteren Rückgang des Arbeitseinsatzes für den Gesamtbetrieb führt.

Aus den Veränderungen des Deckungsbeitrages und des Arbeitseinsatzes bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen resultieren die Veränderungen der *Grenzproduktivität der Arbeit* und der dazu gehörenden Standardabweichung, die in Übersicht 39 dargestellt sind.

Übersicht 39: Grenzproduktivität der Arbeit und die dazugehörige Standardabweichung der einzelnen Maßnahmen im Modellbetrieb Westerwald

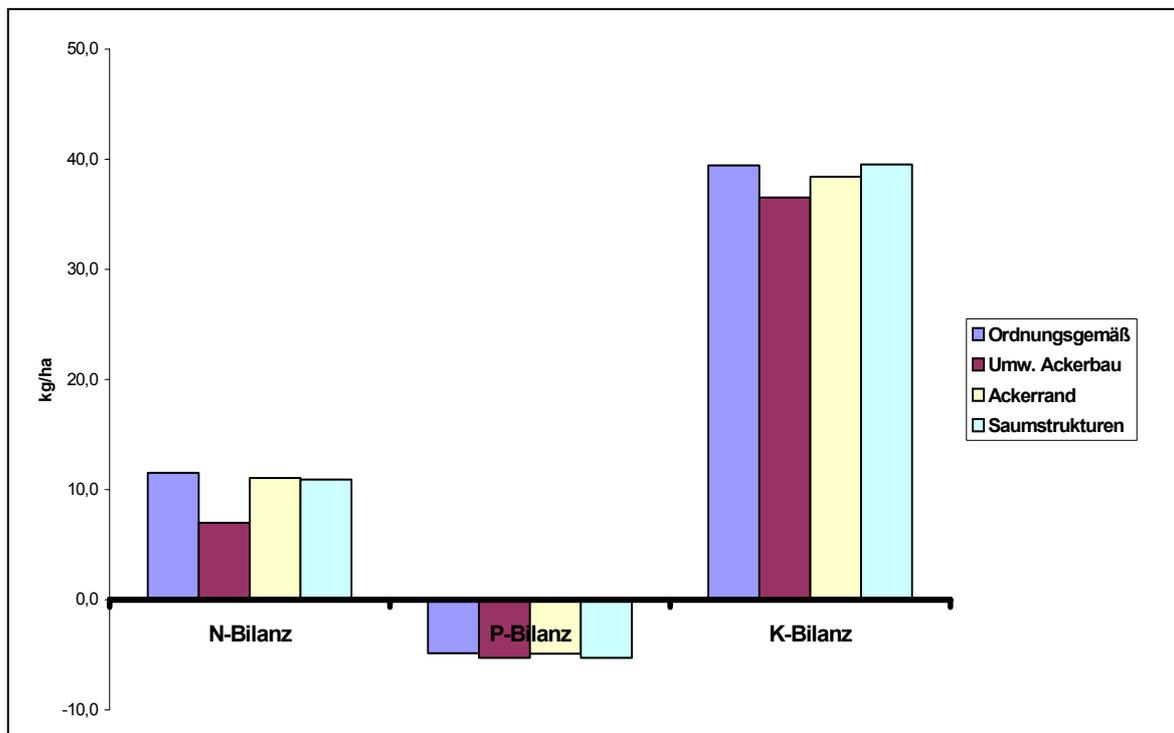


Quelle: Eigene Darstellung

Man erkennt im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung eine deutliche Steigerung der Grenzproduktivität der Arbeit bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ bei gleichzeitigen Rückgang der entsprechenden Standardabweichung, d.h. aus ökonomischer Sicht ist diese Maßnahme eindeutig vorteilhafter. Bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ treten insgesamt nur sehr kleine Verbesserungen durch die Teilnahme an den jeweiligen Maßnahmen in diesem Bereich auf. Bei den Saum- und Bandstrukturen führt der geringere Zeitaufwand für die Bewirtschaftung der Flächen zur gleichen Grenzproduktivität der Arbeit wie bei den Ackerrandstreifen, obwohl diese einen höheren Gesamtdeckungsbeitrag liefern.

Übersicht 40 zeigt die Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes bei Teilnahme an den einzelnen Varianten. Die *N-Bilanz* verringert sich bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Dies ist zum einen durch die ökologischen Ausgleichsflächen bedingt, da hier keine Düngung erlaubt ist. Zum anderen reduziert sich bei den Getreidearten trotz leichten Ertragsrückgang und damit verbundenen geringeren Entzug der Saldo aufgrund der ebenfalls geringeren Düngung. Bei den *P-Bilanzen* und den *K-Bilanzen* treten nur marginale Unterschiede zwischen den einzelnen Maßnahmen auf. Der jeweils leichte Rückgang bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ ist auf die Reduktion der N-Düngung der Sommergerste zurückzuführen, die durch die Umstellung der Fruchtfolge und des dadurch bedingten

Übersicht 40: Nährstoffbilanzen des Modellbetriebes Westerwald bei Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung

höheren N_{Min} -Gehaltes vor der Sommergerste verursacht werden. Da der Stickstoff über Mehrnährstoffdünger zugeführt wird, reduzieren sich auch gleichzeitig die gedüngten P- und K-Mengen. Die Wirkungen der Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ auf die Nährstoffbilanzen entsprechen den Wirkungen des Modellbetriebes Maifeld.

Die nur geringeren Veränderungen bei den N-Bilanzen führen zu einem gleich hohen *potentiellen Nitratgehalt* bei allen Maßnahmen. Auch hier zeigt sich, daß bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ trotz eines etwas niedrigeren N-Bilanz-Saldo der eingesetzte Stickstoff nicht so effizient verwertet werden kann und die gleiche Menge potentiell ausgewaschen wird, wie bei der ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Insgesamt liegen die Werte hier aufgrund der Standorteigenschaften auf einem höheren Niveau als im Modellbetrieb Maifeld und es liegt eine „mittlere“ Gewässergefährdung vor.

Der *monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand* reduziert sich bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung durch den Verzicht auf Wachstumsregler um 7 %. Bei Teilnahme an den übrigen Maßnahmen reduziert er sich um 3 %, da auf den entsprechenden Flächen keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden.

Bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ wählt der Modellbetrieb als Bodenschutzverfahren den Zwischenfruchtanbau. Dadurch erhöht sich der

Zwischenfruchtanteil bei Teilnahme an dieser Maßnahme auf 23 %. Die übrigen Maßnahmen haben keinen Einfluß auf diesen Indikator.

Die *Kulturpflanzendiversität* wird durch Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen kaum beeinflusst, lediglich durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ ist ein leichter Rückgang aufgrund von Veränderungen der Anbauumfänge der einzelnen Fruchtarten zu erkennen.

Der *Anteil der Strukturelemente* erhöht sich im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung durch die Anlage der ökologischen Ausgleichsflächen beim „umweltschonenden Ackerbau“ auf 5 %, durch die Anlage von Ackerrandstreifen und von Saum- und Bandstrukturen jeweils um 3 %.

Das bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ gewählte Bodenschutzverfahren „Zwischenfruchtanbau“ führt im Modellbetrieb zu keiner Veränderung beim *potentiellen Bodenabtrag*, da die Zwischenfrüchte bereits frühzeitig (ab 1. November) umgebrochen werden dürfen, d.h. hier treten keine Veränderungen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ein. Änderungen des potentiellen Bodenabtrag ergeben sich bei Teilnahme an dieser Maßnahme nur durch die geringen Umstellungen bei der Fruchtfolge und durch die Anlage der ökologischen Ausgleichsflächen. Die Fruchtfolgen der erosionsgefährdeten Schläge und die daraus sich ergebenden C-Faktoren sind im Anhang 26 dargestellt. Insgesamt reduziert sich der potentielle Bodenabtrag bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ um 18 %. Um eine Verringerung des Bodenabtrages durch das Bodenschutzverfahren vor Sommerungen zu erreichen, müsste entweder der Umbruchtermin der Zwischenfrüchte nach hinten verschoben werden, oder der Betrieb müsste das Bodenschutzverfahren „Stoppelbrache“ wählen, bei dem kein Pflugeinsatz erlaubt ist. Die Aufnahme dieses Verfahrens würde allerdings auch Veränderungen bei den anderen Indikatoren hervorrufen. Die Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ führen im Modellbetrieb zu keinen Veränderungen beim potentiellen Bodenabtrag, da diese Maßnahmen zum Teil auch auf nicht erosionsgefährdeten Flächen durchgeführt werden. Tendenziell haben die Ackerrandstreifen keinen Einfluß auf den Bodenabtrag, da diese im Regelfall mit Getreide bestellt werden und sich dadurch kein Einfluß auf die Erosion im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ergibt. Die Einsatz der Saum- und Bandstrukturen mit einer Gräsermischung führt (wie das extensive Dauergrünland der ökologischen Ausgleichsflächen) tendenziell zu einem geringeren Bodenabtrag. Eine noch größere erosionsmindernde Wirkung könnte durch die Saum- und Bandstrukturen erzielt werden, wenn diese als Erosionsschutzstreifen quer zum Hang angelegt werden. Dies hätte dann Einfluß auf den P-Faktor der Bodenabtragsgleichung. Insgesamt liegen die Werte des potentiellen Bodenabtrages deutlich unter dem Wert des tolerierbaren Bodenabtrages von 50 dt/ha.

Bei der Betrachtung der produktionsbezogenen Indikatoren (vgl. Anhang 25) ist im Gegensatz zur flächenbezogenen Betrachtung zu erkennen, daß durch die Teilnahme am „umweltschonende Ackerbau“ der monetären Pflanzenschutzmittelaufwand, der Arbeitsaufwand und der potentiellen Nitratgehalt höhere Werte als bei der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung erzielt, d.h. je produzierte Einheit werden mehr

Pflanzenschutzmittel eingesetzt, mehr Arbeit benötigt und mehr Stickstoff (potentiell) ausgewaschen. Der potentielle Bodenabtrag sinkt im Vergleich zur ordnungsgemäßer Bewirtschaftung nicht so stark wie bei der flächenbezogenen Betrachtung.

8. Bewertung und Diskussion

In diesem Kapitel werden zunächst die allgemeinen Auswirkungen der einzelnen Varianten der Agrarumweltprogramme beschrieben. Anschließend folgt eine Effizienzbewertung der eingesetzten Fördermittel. Dabei wird unter ökonomischen Gesichtspunkten die faire Prämie für die einzelnen Modellbetriebe bei Teilnahme an den verschiedenen Varianten der Agrarumweltmaßnahmen ermittelt. Bei der ökologischen Bewertung werden die erzielten Umweltwirkungen den gezahlten Förderprämien gegenüber gestellt.

Bei der ökonomischen und ökologischen Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen ist grundsätzlich festzuhalten, daß nur solche Programme dauerhaft etabliert werden können, die dem teilnehmenden Landwirten ein gesichertes Einkommen ermöglichen. Daher steht die ökonomische Bewertung der Maßnahmen zunächst im Vordergrund. Programme, die zu Einkommensverlusten führen, werden von den Betrieben nicht angenommen und somit können auch keine positiven Auswirkungen auf die Umwelt entstehen. Daneben müssen zur Legitimation der eingesetzten Fördermittel die Programme allerdings zu einer deutlichen Verbesserung der Umweltwirkung der landwirtschaftlichen Produktion führen.

Abschließend erfolgt noch eine Bewertung des eingesetzten Simulationsmodells zur Beurteilung der Agrarumweltmaßnahmen

8.1 Allgemeine Programmauswirkungen

Im folgenden werden die allgemeinen Auswirkungen der Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen dargestellt und die für die Modellbetriebe nicht quantifizierbaren Probleme, die mit einer Programmteilnahme verbunden sind, diskutiert. Bei der Beschreibung der Programmauswirkungen ist es wichtig, die Bezugseinheit (Fläche oder produzierte Menge) zu definieren. Im Regelfall werden hier, gerade unter dem Gesichtspunkt der in der Vergangenheit oft diskutierten Überschussproduktion bei den wichtigsten landwirtschaftlichen Fruchtarten, die Indikatoren auf die Fläche bezogen. Unter dem Gesichtspunkt, daß eine gewisse Menge an Nahrungsmittel produziert werden muß, ist es aber auch wichtig, die produktionsbezogenen Indikatoren zu betrachten. Durch die Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen entstehen z.B. bei bestimmten ökologischen Indikatoren bei Bezug auf die Fläche Vorteile gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung, allerdings verursachen sie aufgrund der geringeren Erträge einen höheren Flächenbedarf.

8.1.1 Verzicht auf Herbizide

Die Teilnahme an der nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahme „Verzicht auf Herbizide“ führt in beiden Modellbetrieben zu einem Rückgang der Erträge bei allen in den Betrieben angebauten Fruchtarten und zu einem Anstieg der dazugehörigen Variationskoeffizienten. Das Einkommen bleibt im Modellbetrieb Düren im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung gleich, im Modellbetrieb Bergisches Land erhöht es

sich leicht. Die relative Einkommensvariabilität in Form des Variationskoeffizienten des Deckungsbeitrages verändert sich durch die Programmteilnahme nur marginal, wobei die entsprechende Standardabweichung als Kennzahl für die absolute Einkommensvariabilität im Modellbetrieb Düren leicht zurück geht, im Modellbetrieb Bergisches Land leicht ansteigt. Der Arbeitsaufwand steigt bei beiden Modellbetrieben durch die Teilnahme an der Maßnahme sehr stark an. Dies wird vor allem durch den erhöhten manuellen Aufwand bei der Unkrautbekämpfung der Hackfrüchte verursacht, da diese Tätigkeiten neben den Lohnarbeitskräften auch vom Betriebsleiter durchgeführt werden, um eine Kontrolle der durchgeführten Arbeiten zu gewährleisten. Der hohe Arbeitseinsatz und die damit verbundene geringe Grenzproduktivität der Arbeit dieser Maßnahme führt dazu, daß sich eine Programmteilnahme für beide Betriebe aus ökonomischen Gesichtspunkten nicht lohnt, auch wenn das absolute Risiko in Form der Standardabweichung des Deckungsbeitrages im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung zurück geht. Insgesamt kann man sagen, daß der Rückgang der Grenzproduktivität der Arbeit mit sinkendem Anteil an Hackfrüchten kleiner wird, so daß die Teilnahme an dieser Maßnahme für reine Getreide und Raps anbauende Betriebe aus ökonomischer Sicht lohnend sein kann. Bei der Unkrautbekämpfung muß gerade bei den Hackfrüchten noch beachtet werden, daß nur eine gewisse Zeitspanne für die optimale Bekämpfung zur Verfügung steht. Bei einem hohen Hackfruchtanteil müssen also viele Arbeitskräfte zu der entsprechenden Zeitspanne verfügbar sein, wobei diese durch ungünstige Witterung noch weiter verkürzt werden kann. Bei der Bewertung der Einkommenswirkung muß außerdem berücksichtigt werden, daß die Betrachtung auf der Ebene des Deckungsbeitrages durchgeführt wird, bei der der Fixkostenblock unberücksichtigt bleibt. Für die Teilnahme an dieser Maßnahme sind Getreidestriegel und Hackgeräte für Zuckerrüben und Kartoffeln nötig. Je nach der betrieblicher Situation müssen solche Geräte, falls sie nicht im Betrieb vorhanden sind, entweder angeschafft werden oder die Arbeiten müssen von einem Lohnunternehmen durchgeführt werden.

Unter ökologischen Gesichtspunkten führt die Teilnahme an dieser Maßnahme sowohl in Bezug auf die Fläche als auch auf die produzierte Einheit zu einem deutlichen Rückgang bei den Pflanzenschutzkosten und den eingesetzten Pflanzenschutzmitteln. Bei den Nährstoffbilanzen treten keine Veränderungen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ein, dagegen steigt der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers leicht an. Die übrigen ökologischen Indikatoren werden durch eine Programmteilnahme nicht beeinflusst.

8.1.2 Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel

Die Teilnahme an dieser Variante der Agrarumweltmaßnahmen führt in den beiden Modellbetrieben zu einem deutlichen Rückgang der Erträge und zu einer Erhöhung der dazugehörigen Variationskoeffizienten. Dabei ist der Ertragsrückgang im ersten Jahr der Teilnahme nicht so hoch wie in den Folgejahren. Die Höhe des Ertragsrückganges ist abhängig von der Menge der zur Verfügung stehenden organischen Düngemittel. Das Einkommen der Modellbetriebe sinkt im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung deutlich, die entsprechenden Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge steigt im Modellbetrieb Düren deutlich im Modellbetrieb Bergisches Land leicht, wobei sich die

Standardabweichung des Deckungsbeitrag in beiden Betrieben reduziert. Der Arbeitsaufwand bei der Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme steigt leicht an. Für beide Modellbetriebe lohnt sich aus ökonomischen Gesichtspunkten eine Programmteilnahme nicht, da trotz der leichten Reduktion des absoluten betrieblichen Risikos sowohl das Einkommen in Form des Deckungsbeitrages als auch die Grenzproduktivität der Arbeit deutlich unter der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung liegen. Die Höhe des Einkommensrückganges ist auch hier davon abhängig, welche Mengen an organischen Düngemitteln im Betrieb zur Verfügung stehen und ob bereits die zur Ausbringung benötigte Technik im Betrieb vorhanden ist. Weiterhin spielt der Anteil von Leguminosen (z.B. als Zwischenfrüchte) im Betrieb eine wichtige Rolle. Unter ökonomischen Gesichtspunkten kann sich eine Programmteilnahme für einen Betrieb lohnen, wenn dieser im Vergleich zu seiner Ackerfläche bereits über eine große Menge organischer Dünger verfügt. Viehlose Betriebe, die bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung Stroh verkaufen, sollten bei Teilnahme an dieser Maßnahme auf den Verkauf verzichten, um den zusätzlichen Nährstoffexport zu vermeiden. Dies führt zu einem zusätzlichen Einkommensverlust. Ein weiteres Problem entsteht für Betriebe, die Qualitätsweizen mit einem hohen Proteingehalt anbauen. Der Anbau gestaltet sich ohne die Zufuhr von mineralischen N-Düngern äußerst schwierig, so daß diese Betriebe auf den Anbau von Futterweizen umstellen und dadurch ggf. Einkommensverluste erleiden müssen.

Die Programmteilnahme führt unter ökologischen Gesichtspunkten auf die Fläche bezogen zu einem Rückgang des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes und damit verbunden der eingesetzten Pflanzenschutzmittel. Je produzierter Einheit Erntegut liegt der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand jedoch höher als bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung. Die Stickstoff- und Phosphorbilanzen gehen bei einer Programmteilnahme deutlich zurück, wobei hier die absolute Höhe des Rückgangs durch die eingesetzte Menge an organischen Dünger und den Anteil der mit Leguminosen bestellten Ackerflächen bestimmt wird. Dabei kann eine verstärkte organische Düngung auch zu einem Anstieg der Bilanzen führen. Aufgrund des hohen K-Gehaltes der in den Modellbetrieben ausgebrachten Milchviehgülle steigt die Kaliumbilanz in beiden Betrieben an. Die negativen N-Bilanzen der Modellbetriebe führen zu geringeren potentiellen Nitratgehalten, wobei auch diese Größe durch eine verstärkte Ausbringung organischer Dünger und einen vermehrten Anbau von Leguminosen beeinflusst wird. Im Modellbetrieb Düren führt die Aufnahme von Leguminosen in das Produktionsprogramm zu einer Erhöhung der Kulturpflanzendiversität. Die übrigen ökologischen Indikatoren werden durch die Programmteilnahme nicht direkt beeinflusst, wobei der potentielle Bodenabtrag bezogen auf die produzierte Einheit im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung ansteigt.

Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Produktionsweise bei Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel ist anzuführen, daß dauerhaft negative Nährstoffbilanzen, wie sie in den beiden Modellbetrieben vorliegen, negativ zu beurteilen sind, da hier dem Produktionsfaktor Boden mehr Nährstoffe entzogen als zugeführt werden. Da der natürlichen Nachlieferung der Nährstoffe Grenzen gesetzt sind, führt dies, ohne weitere Anpassungsmaßnahmen der Betriebe, zu einer Aushagerung des Bodens.

8.1.3 Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel

Insgesamt addieren sich bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme die Auswirkungen der Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“, wobei die Auswirkungen des Verzichts auf die ertragsichernden Betriebsmittel Fungizide und Insektizide hinzukommen: Die Erträge reduzieren sich bei allen Fruchtarten im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung deutlich und die Variationskoeffizienten der Erträge steigen. Die Ertragsverluste steigen im Laufe des fünfjährigen Verpflichtungszeitraumes an. Trotz einer höheren Förderprämie sinkt im Modellbetrieb Düren die Deckungsbeiträge, im Modellbetrieb Bergischen Land liegt er auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Die dazugehörigen Variationskoeffizienten steigen in beiden Modellbetrieben an. Die gesamten Ertrags- und Deckungsbeitragsrückgänge sind von der zur Verfügung stehenden organischen Düngermenge abhängig, der zusätzliche Zeitaufwand und der dadurch bedingte Rückgang der Grenzproduktivität der Arbeit vom Anteil der Hackfrüchte (Zeitaufwand für manuelle Unkrautbekämpfung). Die Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme lohnt sich aus ökonomischer Sicht für beiden Betriebe nicht, da die Grenzproduktivität der Arbeit trotz niedriger dazugehöriger Standardabweichung deutlich unter der der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung liegt.

Die Auswirkungen einer Programmteilnahme auf die ökologischen Parameter sind ähnlich den Auswirkungen der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“. Die N- und P-Bilanzen sowie die potentiellen Nitratgehalte gehen stark zurück, die K-Bilanzen steigt an. Allerdings reduziert sich der monetäre Pflanzenschutzmitteleinsatz im Modellbetrieb Düren sehr stark bzw. im Modellbetrieb Bergisches Land werden überhaupt keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Die übrigen Indikatoren werden durch die Programmteilnahme nicht direkt beeinflusst, allerdings steigt der potentielle Bodenabtrag unter produktionsbezogener Betrachtungsweise im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung an.

8.1.4 Anlage von Schonstreifen

Durch die Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme treten keine großen Veränderungen bei den betrachteten ökonomischen und ökologischen Indikatoren ein. Dies ist unter anderem dadurch bedingt, daß nur ein geringer Teil der Ackerflächen von den Bewirtschaftungsauflagen betroffen sind. Aus ökonomischer Sicht reicht die Förderprämie dafür aus, die Deckungsbeitragsverluste auf schlechteren bis mittleren Standorten zu kompensieren, auf guten Ackerbaustandorten treten leichte Verluste auf.

Aus ökologischer Sicht führt der Verzicht auf den Betriebsmitteleinsatz auf diesen Flächen zu einer leichten Verbesserung bei den entsprechen Indikatoren (Nährstoffbilanzen, Pflanzenschutzmitteleinsatz). Der Anteil der Strukturelemente steigt, auf den potentiellen Bodenabtrag haben die Ackerrandstreifen keinen Einfluß. Durch die Programmteilnahme können jedoch noch positive Auswirkungen auf weitere - in dieser Arbeit nicht erfasste Größen - wie die Artenvielfalt entstehen. So führt gerade die Einsaat von blühfreudigen Arten zu einer Erhöhung der Artenzahl bei Flora und Fauna und bietet einen Rückzugsraum für wild lebende Tiere. Zur Bewertung der Auswirkungen auf Artenvielfalt,

Rote Listen Arten, Vorkommen von Nützlingen etc. der Schonstreifen, aber auch von Rotationsbrachen, ökologische Ausgleichflächen und ähnlichen Strukturelementen sei auf Arbeiten von OESAU, (1998) OESAU (1999), LÜTTMANN (1994), THIES ET AL. (2000) sowie von LEOPOLD und ULBER (2000) verwiesen.

Eine Entscheidung für eine Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme ist aber auch von anderen Aspekten abhängig. So muß die Maßnahme in die „Betriebsorganisation passen“, d.h. es müssen geeignete Flächen für die Anlage der Schonstreifen zur Verfügung stehen, es darf kein zu großer Aufwand durch die Bearbeitung dieser Flächen entstehen und die mit Schonstreifen angelegten Flächen waren bereits vorher nicht ertragsstark. Des weiteren können auch gesetzliche Vorgaben, wie z.B. Abstandstandsregelungen zu bestimmten ökologisch wertvollen Biotopen oder zu Fließgewässern dazu führen, daß die Ackerränder mit Schonstreifen angelegt werden, da auf diesen Flächen ein Verbot zur Ausbringung bestimmter Betriebsmittel vorliegt, und durch Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme der Betrieb eine Prämie für diese Fläche erhält.

8.1.5 Erosionsschutz

Eine Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme ist nur für Betriebe möglich, die Flächen innerhalb der förderfähigen Gebietskulisse des Landes Nordrhein-Westfalen haben. Für den betroffenen Modellbetrieb lohnt sich aus ökonomischer Sicht die Programmteilnahme, weil trotz leicht niedrigerer Erträge das Einkommen deutlich steigt und der benötigte Arbeitsaufwand leicht zurückgeht. Die Einkommensvarianz steigt jedoch im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung an, d.h. eine Programmteilnahme führt zu einem höheren betrieblichen Risiko. Probleme können bei Teilnahme an dieser Maßnahme dadurch entstehen, daß bei dauerhaften Pflugverzicht die Herbizidkosten weiter steigen.

Bei den ökologischen Indikatoren führt die Programmteilnahme zu einer deutlichen Reduktion des potentiellen Bodenabtrages. Negativ zu beurteilen ist jedoch die Erhöhung des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes. Die übrigen Indikatoren werden durch diese Maßnahme nicht direkt beeinflusst, wobei der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers etwas ansteigt, da der eingesetzte Stickstoff aufgrund des etwas geringeren Ertrages nicht so effizient verwertet wird.

8.1.6 Umweltschonender Ackerbau

Die Teilnahme an dieser rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahme führt in beiden betrachteten Modellbetrieben zu einem Rückgang der Gesamterträge. Dieser Ertragsrückgang kann jedoch im Modellbetrieb Maifeld durch die gezahlten Förderprämien kompensiert werden, im Modellbetrieb Westerwald kann das Einkommen sogar deutlich gesteigert werden, da hier keine großen betrieblichen Veränderungen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung nötig sind. Die Einkommensvarianz und der Arbeitsaufwand sinken in beiden Modellbetrieben, so daß aus ökonomischer Sicht die Programmteilnahme für beide Modellbetriebe sinnvoll ist. Für den Modellbetrieb Maifeld

muß allerdings beachtet werden, daß den hier nur geringen ökonomischen Vorteilen größere Veränderungen in der Betriebsorganisation (Aufnahme von zwei neuen Fruchtarten, Umstellung der Saattechnik bei Zuckerrüben etc.) entgegenstehen. Die ermittelten Verbesserungen des Modellbetriebes in den Bereichen Einkommen und Arbeitsaufwand sind vor allem auf die Wahl des Bodenschutzverfahrens „Stoppelbrache“ vor Sommerungen bzw. beim Mulchsaatverfahren vor Mais und Zuckerrüben zurückzuführen. Würde hier das Verfahren Zwischenfruchtanbau gewählt, dann würde der Arbeitseinsatz deutlich größer werden und damit die Grenzproduktivität der Arbeit sinken. Insgesamt ist zu erkennen, daß eine Programmteilnahme auf schlechteren Standorten ökonomisch zu empfehlen ist, auf besseren Standorten entstehen nur geringe Einkommensvorteile womit eine Entscheidung für eine Programmteilnahme abhängig von den betrieblichen Anpassungsmaßnahmen ist. Weiterhin ist es wichtig zu beachten, ob der Betrieb vorher verstärkt Qualitätsweizen angebaut hat. Durch den Verzicht auf Wachstumsregler und der damit verbundenen Verringerung der Stickstoffdüngung ist die Erzeugung von Qualitätsweizen nur noch eingeschränkt möglich.

Die Programmteilnahme führt bei den ökologischen Indikatoren nur zu geringen Veränderungen. Die Nährstoffbilanzen und der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand gehen leicht zurück, bezogen auf die geernteten Mengen erhöht sich der monetäre Pflanzenschutzmitteleinsatz jedoch gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Die Kulturpflanzendiversität steigt im Modellbetrieb Maifeld leicht an, da hier neue Fruchtarten in das Produktionsprogramm aufgenommen werden müssen, im Modellbetrieb Westerwald sind bereits bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung die Fruchtfolgevorgaben erfüllt, so daß hier keine Veränderung bei dieser Größe auftritt. Die Auswirkungen einer Programmteilnahme auf den potentiellen Bodenabtrag sind abhängig vom gewählten Bodenschutzverfahren vor Sommerungen, daher ist hier keine generelle Aussage möglich. Grundsätzlich kann man feststellen, daß der Zwischenfruchtanbau im Modellbetrieb Westerwald zwar den zur Beurteilung der Bodenerosion indirekten Indikator Zwischenfruchtanteil deutlich erhöht, jedoch aufgrund des frühen Umbruchtermins der Zwischenfrüchte nur einen sehr geringen Einfluß auf den Bodenabtrag hat. Der Anteil der Strukturelemente erhöht sich durch die Anlage der ökologischen Ausgleichsflächen. Hier sind allerdings, wie bei der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“, weitere in dieser Arbeit nicht erfasste positive Auswirkungen auf den Bereich Artenvielfalt sowie die Erhaltung und Schaffung von Rückzugsgebieten wildlebender Tiere möglich.

8.1.7 Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben

Durch eine Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme werden nur die Produktionsverfahren Zuckerrüben und Mais beeinflusst. In den untersuchten Modellbetrieben ist nur der Zuckerrübenanbau im Betrieb Maifeld betroffen. Die Programmteilnahme führt hier aus gesamtbetrieblicher Sicht zu einem nur sehr leichten Rückgang des Gesamtertrages. Das im Modellbetrieb gewählte Bodenschutzverfahren führt weder zu einer Veränderung des Einkommens noch zu einer Veränderung des Arbeitsaufwandes. Die Einkommensvarianz steigt aufgrund der Umstellung auf die Mulchsaat geringfügig an. Bei der Wahl des Bodenschutzverfahrens „Zwischenfrucht“ stehen den etwas höheren Kosten und dem höheren Arbeitsaufwand des

Zwischenfruchtanbaus eine höhere Förderprämie entgegen, so daß auch hier für den Modellbetrieb aus ökonomischer Sicht keine Veränderungen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung auftreten.

Die ökologischen Indikatoren werden durch die Programmteilnahme mit Ausnahme des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes nicht beeinflusst. Der Pflanzenschutzmittel-einsatz steigt aufgrund der zusätzlichen Herbizidbehandlung in Folge des Pflugverzichts. Da die Schläge im betroffenen Modellbetrieb keiner Hangneigung unterliegen, entstehen auch keine Auswirkungen auf den potentiellen Bodenabtrag. Bei Schlägen, die einer Hangneigung unterliegen, führt dieser Programmteil zu einer Reduktion des potentiellen Bodenabtrages.

8.1.8 Anlage von Ackerrandstreifen und Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen

Die Auswirkungen einer Teilnahme an diesen beiden Agrarumweltmaßnahmen sind ähnlich den Auswirkungen der nordrhein-westfälischen Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“. Da hier nur ein kleiner Teil der Ackerflächen von den entsprechenden Bewirtschaftungsaufgaben betroffen ist, verändern sich die ökonomischen und ökologischen Indikatoren nur geringfügig. Die Deckungsbeiträge reduzieren sich auf dem besseren Standort leicht, auf dem schlechteren Standort liegen sie in etwa auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Die Maßnahme Anlage von „Saum und Bandstrukturen auf Ackerflächen“ führt dabei jeweils zu einem etwas geringeren Deckungsbeitrag als die Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“, da die Förderprämie geringer ist. Aufgrund des etwas niedrigeren Arbeitseinsatz bei dieser Maßnahme ist die Grenzproduktivität der Arbeit des Deckungsbeitrag bei beiden Agrarumweltmaßnahmen ungefähr gleich hoch. Die Einkommensvariabilität in Form des Variationskoeffizienten des Deckungsbeitrages wird durch die Teilnahme an den beiden Maßnahmen nicht beeinflusst.

Bei der Betrachtung der ökologischen Indikatoren erhöht sich bei beiden Varianten der Anteil der Strukturelemente, die übrigen Größen werden nicht beeinflusst, wobei sich auch hier weitere positive Effekte z.B. auf die Artenvielfalt ergeben können (vgl. Kapitel 8.1.4). Des weiteren können gerade bei der Anlage der Saum- und Bandstrukturen positive Einflüsse auf den potentiellen Bodenabtrag entstehen, wenn diese quer zum Hang als „Pufferstreifen“ angelegt werden.

Resümee

Insgesamt zeigt sich bei den Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen, daß hier mit Ausnahme der „Anlage von Schonstreifen“ und den „Erosionsschutzmaßnahmen“ zum Teil deutliche Einkommensverluste für die teilnehmenden Betrieben entstehen. So lassen sich auch die in Kapitel 3.3.3 aufgeführten sehr geringen Teilnehmerzahlen an diesen Maßnahmen erklären. Bei den rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen zeigt sich, daß hier gerade auf den schlechteren Standorten zum Teil deutliche Einkommensgewinne entstehen, auf die die große Teilnehmerzahl in den Höhegebieten zurückzuführen ist.

8.2 Ökonomische Bewertung

Bei der ökonomische Bewertung der einzelnen Agrarumweltmaßnahmen wird die Effizienz der eingesetzten Fördermittel betrachtet. Dies erfolgt durch die Berechnung der fairen bzw. notwendigen Prämie für die einzelnen Modellbetriebe, d.h. es wird der Förderbetrag berechnet, mit dem die durch die Bewirtschaftungsauflagen bedingten Einkommenseinbußen und der Mehraufwand abgegolten werden (vgl. 3.1.1: Berechnung der Beihilfen für die Agrarumweltmaßnahmen). Ein zusätzlicher finanzieller Anreiz, wie ihn die Verordnung (EG) Nr. 445/2002 vorsieht, wird in die Berechnung nicht mit aufgenommen. Ebenso wird auch eine Honorierung von ökologischen Leistungen hier nicht berücksichtigt.

Zur Bestimmung der fairen Prämie wird für jeden Modellbetrieb und jede Agrarumweltmaßnahme folgendermaßen vorgegangen:

- Berechnung des Gesamtdeckungsbeitrages ohne Agrarumweltprämie.
- Berechnung des Deckungsbeitragverlustes gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung.
- Bestimmung des Mehraufwandes an Arbeit.
- Faire Prämie = Deckungsbeitragsverlust + Kosten für Mehrarbeit.

Die mehrgeleistete Arbeit wird hier mit einem Stundenlohn von 15 €/h bewertet. Bei teilflächenbezogenen Agrarumweltmaßnahmen wird der gesamtbetriebliche Verlust berechnet und die faire Prämie danach wieder auf die prämierechtige Fläche bezogen. Dadurch können die Auswirkungen der betrieblichen Anpassungsmaßnahmen, die sich durch eine Programmteilnahme auf die durch die Agrarumweltmaßnahme nicht direkt beeinflussten Flächen ergeben, berücksichtigt werden.

In Tabelle 59 sind die fairen Prämien der nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen für die jeweiligen Modellbetriebe im Vergleich zu den tatsächlich gezahlten Förderprämien dargestellt.

Tabelle 59: Tatsächliche und faire Prämien für die Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen

Maßnahme	Tatsächliche Prämie	Faire Prämie Düren	Faire Prämie Bergisches Land
Ohne Herbizide	92 €/ha	199 €/ha	98 €/ha
Ohne Dünger	92 €/ha	341 €/ha	176 €/ha
Ohne Chemie	153 €/ha	439 €/ha	224 €/ha
Schonstreifen	715 €/ha	957 €/ha	783 €/ha
Erosionsschutz	102 €/ha	-	0 €/ha

Quelle: Eigene Berechnungen

Im Modellbetrieb Düren besteht bei allen Maßnahmen eine große Diskrepanz zwischen den tatsächlichen Prämien und den fairen Prämien. Das bedeutet, daß es sich hier aus ökonomischen Gründen nicht lohnt, an den Maßnahmen teilzunehmen. Auf dem schlechteren Standort Bergisches Land sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Prämien geringer. Bei den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Anlage von Schonstreifen“ sind die fairen Prämien relativ nahe an der tatsächlichen Prämie, jedoch sind auch hier bei den übrigen Agrarumweltmaßnahmen mit Ausnahme der „Erosionsschutzmaßnahmen“ Verluste zu verzeichnen. Bei letzterem entstehen dem Betrieb auch ohne Förderprämien keine Verluste durch niedrigeres Einkommen und Mehrarbeit. Dies liegt aber im speziellen Fall daran, daß der Betrieb nur wenig Anpassungsmaßnahmen durchführen muß, um die Bewirtschaftungsauflagen zu erfüllen. Für andere Betriebe, die größere Umstellung leisten müssen, ist hier eine entsprechende Förderprämie zu rechtfertigen.

Tabelle 60 zeigt die faire Prämie für die rheinland-pfälzischen Modellbetriebe, sowie die tatsächlich gezahlten Förderprämien bei Teilnahme an den entsprechenden Agrarumweltmaßnahmen. Bei der Maßnahme „umweltschonender Ackerbau“ wird angenommen, daß die Förderprämie für die ökologischen Ausgleichsflächen konstant bleibt (255,65 €/ha); die faire Prämie wird hier nur für die „umweltschonend“ bewirtschafteten Flächen berechnet.

Tabelle 60: Tatsächliche und faire Prämien für die Agrarumweltmaßnahmen in Rheinland-Pfalz

Maßnahme	Tatsächliche Prämie	Faire Prämie Maifeld	Faire Prämie Westerwald
Umw. Ackerbau	102 €/ha	89 €/ha	40 €/ha
Mulchsaat Mais und ZR	46 €/ha	43 €/ha	-
Ackerrandstreifen	665 €/ha	931 €/ha	667 €/ha
Saumstrukturen	409 €/ha	807 €/ha	637 €/ha

Quelle: Eigene Berechnungen

Hier liegen beim „umweltschonenden Ackerbau“ die fairen Prämien unterhalb der tatsächlich gezahlten Förderprämien. Besonders für den Modellbetrieb Westerwald entstehen deutliche Einkommensgewinne. Im Modellbetrieb Maifeld kann die höhere tatsächliche Prämie durch den in Kapitel 3.1.1 beschriebenen Einkommensanreiz von 20 % der aufgrund der Verpflichtung anfallenden Einkommensverluste und zusätzlichen Kosten, die die Verordnung (EG) Nr. 445/2002 vorsieht, begründet werden. Bei der Maßnahme „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“ entspricht die faire Prämie bei dem im Modellbetrieb gewählten Bodenschutzverfahren in etwa der tatsächlichen Prämie. Das gleiche gilt bei der Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“ für den Betrieb auf dem schlechteren Standort. Auf den besseren Standort müssten deutlich höhere Prämien gezahlt werden, um aus ökonomischer Sicht die Einkommensverluste zu kompensieren. Um bei einer Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ die Einkommensverluste auszugleichen, müssten auf beiden Standorten die Prämien erhöht werden. Obwohl bei Teilnahme an dieser Maßnahme im Vergleich zur Maßnahme „Anlage

von Ackerrandstreifen“ nur geringfügig niedrigere Einkommensverluste entstehen, liegt die tatsächliche Prämie deutlich unterhalb der Förderung für die Ackerrandstreifen.

Resümee

Allgemein ist zu erkennen, daß auf den schlechteren Standorten eine geringere Prämie notwendig ist, die Verluste und den Mehraufwand auszugleichen, d.h. die Kosten zur Erzielung ökologischer Leistung bei einer handlungsorientierten Ausgestaltung der Agrarumweltprogramme sind hier kleiner. Auf der anderen Seite bedeutet das, daß eine einheitliche Förderprämie z.B. auf Ebene eines Bundeslandes nicht zu einer flächendeckenden Beteiligung an Agrarumweltmaßnahmen führt, da gute Standorte monetär benachteiligt werden, es dagegen auf schlechteren Standorte zu „Mitnahmeeffekten“ kommen kann. Hier könnte eine regionale Unterteilung der Prämien Abhilfe schaffen.

Die Methodik zur Berechnung der fairen Prämie für die Modellbetrieb kann unter zur Hilfenahme von Durchschnittszahlen aus einer Region auch zur Berechnung der fairen Agrarumweltprämie für eine Region heran gezogen werden.

8.3 Ökologische Bewertung

Bei der ökologischen Bewertung wird die Effizienz der eingesetzten Fördermittel hinsichtlich Umweltwirkungen, die aus der Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen resultieren, ermittelt. Dabei werden die gezahlten Förderprämien den erzielten Umweltwirkungen gegenüber gestellt. Dies erfolgt unter ceteris paribus Bedingungen, d.h. es wird jeweils nur ein Wirkungsbereich betrachtet und die übrigen Auswirkungen der Programmteilnahme werden nicht berücksichtigt.

Die Umweltwirkungen werden aus den Programmzielen abgeleitet. Dabei werden jedoch nicht die spezifischen Ziele der einzelnen Maßnahmen herangezogen, sondern die in den Kapiteln 3.3.2 und 3.4.2 aufgeführten allgemeinen Ziele des nordrhein-westfälischen Kulturlandschaftsprogramms bzw. des rheinland-pfälzischen Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß so die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf alle Umweltwirkungsbereiche (vgl. Kapitel 2) abgebildet werden können, auch wenn die betrachtete Maßnahme nicht explizit auf diesen Bereich abzielt.

Allgemein können für den Bereich Ackerbau für die Teilnahme an den Agrarumweltmaßnahmen folgende Ziele abgeleitet werden:

- Umweltschonende landwirtschaftliche Produktionsverfahren einzuführen, z.B. durch die Verringerung des Einsatzes von Dünge- und Pflanzenschutzmittel,
- die Bodenerosion zu vermindern und den Boden als wichtigste Produktionsgrundlage zu schützen und
- die Artenvielfalt zu erhalten, bzw. einen Beitrag zur Biodiversität zu leisten.

Daraus lassen sich folgende Effizienzkriterien ableiten:

- Gezahlte Förderprämie (€/ha)/Reduktion der N-Bilanz (kg/ha).
- Gezahlte Förderprämie (€/ha)/Reduktion des monetären PSM-Aufwandes (€/ha).
- Gezahlte Förderprämie (€/ha)/Reduktion des potentiellen Bodenabtrages (kg/ha).
- Gezahlte Förderprämie (€/ha)/Erhöhung des Anteils von Strukturelementen (%).

Die Reduktion der N-Bilanz wird hier als indirekter Indikator zur Verringerung des Düngemittleinsatzes und des damit verbundenen Nährstoffaustrages verwendet. Aus der Reduktion des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes kann auf eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und damit des Austrages dieser Mittel geschlossen werden. Diese Größe dient somit als Hinweis auf die Verringerung des mit dem Pflanzenschutzmitteleinsatz verbundenen Risikos auf die Umwelt. Mit beiden Größen können Auswirkungen der Programmteilnahme auf die Umweltwirkungsbereiche Luft und Wasser abgebildet werden, wobei beim Einsatz von Pflanzenschutzmittel auch Auswirkungen auf den Umweltwirkungsbereich Arten- und Biotopvielfalt möglich sind.

Die Verringerung der Bodenerosion kann über die Reduktion des potentiellen Bodenabtrages bestimmt werden. Diese Größe bildet die Auswirkung auf den Umweltwirkungsbereich Boden ab. Indirekt wird auch der Umweltwirkungsbereich Wasser, durch diese Größe beeinflusst, da erodierte Bestandteile des Bodens und darin enthaltene Nährstoffe und Pflanzenschutzmittelrückstände in das Oberflächengewässer gelangen können.

Die Auswirkungen auf den Umweltwirkungsbereich Arten- und Biotopvielfalt werden durch die Größe Erhöhung des Anteils von Strukturelementen ausgedrückt, wobei es sich hierbei um einen indirekten Indikator handelt.

Als Prämie wird der Betrag verwendet, den der Betrieb je ha Ackerfläche erhält, d.h. die gesamte Agrarumweltförderung, die der Betrieb erhält wird durch die gesamte Ackerfläche des Betriebes dividiert. Ebenso werden auch bei teilflächenbezogenen Maßnahmen die gesamtbetrieblichen Auswirkungen herangezogen, um wie bei der Berechnung der optimalen Prämie die Auswirkungen der Anpassungsmaßnahmen, die auf den übrigen Flächen stattfinden, zu berücksichtigen.

In Tabelle 61 sind die Prämien-Wirkungsbeziehungen der einzelnen nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen unter *ceteris paribus* Bedingungen für die jeweiligen Modellbetriebe dargestellt. Die hier ermittelten Werte beschreiben, was die an der Finanzierung beteiligten Institutionen (EU, Bund und Bundesländer) zur Zeit an öffentlichen Mitteln im Rahmen der jeweiligen Agrarumweltmaßnahmen ausgeben, um die entsprechenden Umweltwirkungen zu erreichen. In Klammern sind die Kosten angegeben, die für den Landwirt zur Erreichung der jeweiligen Ziele anfallen. Hier wird anstelle der tatsächlichen Prämie für die Agrarumweltmaßnahmen die in Kapitel 8.2 errechneten faire Prämien für die jeweiligen Modellbetriebe eingesetzt.

Tabelle 61: Prämien-Wirkungsbeziehung der nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen

	Einheit	Ohne Herbizide	Ohne Dünger	Ohne Chemie	Schon- streifen	Erosions- schutz
Prämie je kg reduzierter N-Bilanz						
Düren	€/kg	-	3,67 (13)	7,05 (20)	-	
Bergisches Land	€/kg	-	2,87 (5,49)	5,42 (7,92)	-	-
Prämie je € reduzierter PSM-Aufwand						
Düren	€/€	1,03 (2,22)	2,48 (9,21)	0,86 (2,46)	5,77 (7,72)	
Bergisches Land	€/€	1,30 (1,38)	2,85 (5,45)	1,11 (1,62)	7,12 (7,79)	--
Prämie je kg reduzierter pot. Bodenabtrag						
Düren	€/kg	-	-	-	-	
Bergisches Land	€/kg	-	-	-	-	1,64 (0)
Prämie je Prozent erhöhter Strukturelementeanteil						
Düren	€/%	-	-	-	7,15 (9,57)	
Bergisches Land	€/%	-	-	-	7,15 (7,83)	-

- : Umweltwirkung tritt bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme nicht (bzw. nur marginal) ein

--: Umweltwirkung verschlechtert sich bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme
(Klammerwerte geben die Kosten an, die dem Landwirt anfallen)

Quelle: Eigene Berechnungen

Durch die Teilnahme an den Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ und „Anlage von Schonstreifen“ werden in beiden Modellbetrieben die N-Bilanzen nicht bzw. nur marginal beeinflusst, wobei die Reduzierung der Nährstoffbelastung nicht Hauptziel dieser Maßnahmen sind. Dagegen führen die Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ zu einer deutlichen Reduktion der N-Bilanzen. Hier fallen in beiden Betrieben bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ aufgrund der höheren Förderprämie und der geringeren Reduktion der N-Bilanz höhere öffentliche Aufwendungen je reduzierter Einheit an. Die Prämien-Wirkungsbeziehungen der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ betragen 3,67 €/kg im Modellbetrieb Düren und 2,87 €/kg im Modellbetrieb Bergisches Land. Für die Reduktion der N-Bilanz um 1 kg bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ werden für den Betrieb Düren 7,05 € und für den Betrieb Bergisches Land 5,42 € aufgewendet. Da im Modellbetrieb Bergisches Land eine höhere Reduktion der N-Bilanz erreicht wird, sind die Kosten je reduzierte Einheit niedriger als im Modellbetrieb Düren. Durch die Teilnahme an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ im Modellbetrieb Bergisches Land tritt keine Umweltwirkung in diesem Bereich auf.

Untersuchungen von WEINGARTEN ET AL. (1995) zur Abschätzung der Auswirkungen von Vorsorgestrategien zum Grundwasserschutz zeigen, daß bei Einführung einer Stickstoffabgabe auf Mineraldünger und Gülleüberschüsse bei gleichzeitiger Einführung

einer Ausgleichzahlung die Prämien-Wirkungsbeziehung je kg reduzierter N-Bilanz in der Größenordnung von 2,20 €/kg liegt (vgl. WEINGARTEN ET AL, 1995, S. 11).

Die Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“ führt in beidem Betrieben zu einem Rückgang der Pflanzenschutzmittelkosten. Für die Reduktion des monetären Aufwandes um einen Euro werden für den Modellbetrieb Düren 1,03 €, für den Modellbetrieb Bergisches Land 1,30 € Förderprämie gezahlt. Die Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ führt in beiden Betrieben zu etwas höheren Kosten je Euro reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz, bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ fallen aufgrund der großen Auswirkungen nur geringe Kosten je reduzierter Einheit an. Durch die Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ werden die monetären Pflanzenschutzkosten nur indirekt und damit auch nur geringfügig beeinflusst, so daß hierbei deutlich höhere Kosten anfallen. Die Teilnahme des Modellbetriebes Bergisches Land an den „Erosionsschutzmaßnahmen“ wirkt auf diesen Umweltwirkungsbereich entgegengesetzt, d.h. hier erhöhen sich die Pflanzenschutzmittelkosten. Insgesamt ist bei diesem Wirkungsbereich festzustellen, daß die Prämien-Wirkungsbeziehung bei allen Agrarumweltmaßnahme im Modellbetrieb Düren günstiger sind, da hier bei gleicher Prämienhöhe, eine größere Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes erreicht wird.

Der potentielle Bodenabtrag wird nur durch die explizit auf diesen Wirkungsbereich ausgerichtete Variante „Erosionsschutzmaßnahme“ reduziert. Alle anderen Maßnahmen haben keinen Einfluß hierauf. Je kg Reduktion des potentiellen Bodenabtrages werden für den Modellbetrieb Bergisches Land 1,64 € Förderprämie gezahlt.

Ebenso wird der Anteil der Landschaftsstrukturelemente nur durch Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ erhöht. Die Kosten zur Veränderung dieser Größe sind unabhängig vom Standort, da es sich nur um eine relative Größe handelt und nur durch die Prämienhöhe und den Anteil der entsprechenden Flächen an der Gesamtfläche beeinflusst wird.

Tabelle 62 zeigt die Prämien-Wirkungsbeziehungen der rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen unter ceteris paribus Bedingungen.

Die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ führt in beiden Modellbetrieben nur zu einer geringen Reduktion der N-Bilanz, deshalb wird hier je kg reduzierter N-Bilanz mit 28 €/kg im Modellbetrieb Maifeld und 24 €/kg im Modellbetrieb Westerwald ein hoher Förderbetrag zur Erreichung dieses Umweltzieles aufgebracht. Durch Teilnahme an den übrigen rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen wird die N-Bilanz nur marginal beeinflusst.

Größere Wirkungen treten durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ im Bereich Reduktion des Pflanzenschutzmittelaufwandes auf. Hier beträgt die Prämie im Modellbetrieb Maifeld 19 € und im Modellbetrieb Westerwald 15 € je Euro reduzierter monetärer Pflanzenschutzmittelaufwand. Die Teilnahme an der Maßnahme „Mulchsaat bei

Tabelle 62: Prämien-Wirkungsbeziehung der rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen

	Einheit	umw. Ackerbau	Mulch Mais und ZR	Ackerrand- streifen	Saum- strukturen
Prämie je kg reduzierter N-Bilanz					
Maifeld	€/kg	28 (21)	-	-	-
Westerwald	€/kg	24 (8,32)		-	-
Prämie je € reduzierter PSM-Aufwand					
Maifeld	€/€	19 (14)	--	6,11 (8,56)	3,93 (7,76)
Westerwald	€/€	15 (5,12)		6,37 (6,40)	3,47 (5,35)
Prämie je kg reduzierter pot. Bodenabtrag					
Maifeld	€/kg	-	-	-	-
Westerwald	€/kg	12 (4,19)		-	-
Prämie je Prozent erhöhter Strukturelementanteil					
Maifeld	€/%	22 (17)	-	6,65 (9,31)	4,09 (8,07)
Westerwald	€/%	21 (7)		8,90 (8,93)	5,47 (8,45)

- : Umweltwirkung tritt bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme nicht (bzw. nur marginal) ein

--: Umweltwirkung verschlechtert sich bei Teilnahme an dieser Agrarumweltmaßnahme
(Klammerwerte geben die Kosten an, die dem Landwirt anfallen)

Quelle: Eigene Berechnungen

Mais und Zuckerrüben“ widerspricht dem Ziel des Rückgangs des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, da hier im von der Maßnahme betroffenen Betrieb Maifeld der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand steigt. Die Prämien-Wirkungsbeziehung im Bereich Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes für die Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Ackerrandstreifen“ liegt im Modellbetrieb Maifeld bei 6,11 € und im Modellbetrieb Westerwald bei 6,37 € je Euro reduzierten monetären Pflanzenschutzmittelaufwand. Bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ ist die Prämien-Wirkungsbeziehung aufgrund der niedrigeren Prämienhöhe günstiger.

Einfluß auf den potentiellen Bodenabtrag hat bei den untersuchten rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen nur die Teilnahme des Modellbetriebes Westerwald am „umweltschonenden Ackerbau“. Hier beträgt die Prämien-Wirkungsbeziehung 12 €/kg reduzierten potentiellen Bodenabtrag.

Durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ erhöht sich der Anteil der Strukturelemente durch die Ausweisung der ökologischen Ausgleichsflächen, bei Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ durch die Anlage der nach den Bewirtschaftungsauflagen dieser Maßnahmen bewirtschafteten Flächen. Die Unterschiede zwischen den Standorten bei den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen ist mit dem unterschiedlichen Anteil der nach den entsprechenden Vorgaben dieser Agrarumweltmaßnahmen bewirtschafteten Flächen an der gesamten Ackerfläche der Betriebe zu begründen. Auch hier ist die Prämien-

Wirkungsbeziehung der Saum- und Bandsteifen aufgrund der geringeren Förderprämie dieser Maßnahme günstiger.

Resümee

Eine generelle Aussage über die Unterschiede der Effizienz der eingesetzten Fördermittel hinsichtlich der Umweltwirkungen auf verschiedene Standorte kann im Gegensatz zur ökonomischen Bewertung nicht getroffen werden. Hier liegt ein differenziertes Ergebnis hinsichtlich Standort, Umweltwirkungsbereich und Agrarumweltmaßnahme vor.

Die nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen zeigen auf den ersten Blick günstigere Prämien-Wirkungsbeziehungen. Allerdings ist dies vor allem im Vergleich zur optimalen Prämie teilweise deutlich niedrigeren tatsächlichen Prämien bedingt. Dies relativiert sich jedoch bei Einbeziehung der fairen Prämie in die Prämien-Wirkungsbeziehungen. Hier sind die Unterschiede zwischen den beiden Bundesländern geringer.

8.4 Bewertung des Modells

Zielsetzung der Modellentwicklung war es, ein eigenständig lauffähiges Computermodell zu programmieren, das die Auswirkungen der Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen im Bereich des Ackerbaus auf einzelbetrieblicher Ebene mit Hilfe von ökonomischen und ökologischen Indikatoren für verschiedene Standorte analysiert. Diese Zielsetzung wird von dem vorliegenden Simulationsmodell erfüllt. Potentielle Anwender des Programms sind Landwirte, landwirtschaftliche Berater und politische Entscheidungsträger. Für Landwirte und Berater bietet das Modell die Möglichkeit, zunächst einmal die bisherigen Produktionsverfahren ökonomisch und ökologisch zu analysieren, aber auch zu untersuchen, ob eine mögliche Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen für den Betrieb sinnvoll ist. Dem politischen Entscheidungsträger kann das Modell die Auswirkungen der Agrarumweltmaßnahmen an verschiedenen Standorten aufzeigen und ihn bei der Festlegung der notwendigen Prämie für die jeweiligen Maßnahmen unterstützen.

Begrenzend wirkt auf das Modell, daß es nur die Maßnahmen im Bereich Ackerbau der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz auswertet. Hier wäre als weitere Ausbaustufe die Analyse der Programme weiterer Bundesländer und auch weiterer Agrarumweltmaßnahmen (z.B. im Bereich der Grünlandwirtschaft) vorstellbar.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für das Modell sind neben der Analyse der Agrarumweltmaßnahmen die Bewertung der Maßnahmen der Modulation sowie zur einzelbetrieblichen Bewertung der Umweltverträglichkeit landwirtschaftlicher Produktionsverfahren generell.

9. Zusammenfassung

In der Europäischen Union werden *Agrarumweltmaßnahmen* seit 1992 als flankierende Maßnahmen angeboten. Seit dem Jahr 2000 sind sie Teil der Entwicklungspläne für die ländlichen Räume. Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, die Wirkungszusammenhänge zwischen den angebotenen Maßnahmen und dem landwirtschaftlichen Einkommen sowie den Umwelteinfluss der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf einzelbetrieblicher Ebene zu analysieren. Damit wird ein Teilbereich der in den für die Agrarumweltmaßnahmen zuständigen Verordnungen der Europäischen Union (Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 und Verordnung (EG) Nr. 1750/1999 bzw. Verordnung (EG) Nr. 445/2002) geforderten Evaluierung der angebotenen Maßnahmen abgebildet.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit beschränken sich auf die in den Bundesländern *Nordrhein-Westfalen* und *Rheinland-Pfalz* angebotenen Maßnahmen im Bereich Ackerbau. Dabei handelt es sich um folgende Programmteile:

- Nordrhein-Westfalen (Kulturlandschaftsprogramm):
 - Extensivierung im Ackerbau (Verzicht auf Herbizide, Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel und Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel),
 - Anlage von Schonstreifen,
 - Erosionsschutz im Ackerbau.
- Rheinland-Pfalz (Förderprogramm umweltschonende Landbewirtschaftung FUL):
 - umweltschonender Ackerbau,
 - Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben,
 - Anlage von Ackerrandstreifen,
 - Anlage von Saum- und Bandstrukturen auf Ackerflächen.

Die Analyse der Wirkungszusammenhänge erfolgt mit einem *Simulationsmodell zur Bewertung der Umweltwirkung landwirtschaftlicher Produktionsverfahren*. Die Auswirkungen einer Programmteilnahme werden anhand ökologischer und ökonomischer Indikatoren dargestellt.

Zur *ökologischen Bewertung* der Programme werden zunächst die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Produktion auf die *Umweltwirkungsbereiche* Boden, Wasser sowie Arten- und Biotopvielfalt dargestellt. Hier zeigen sich sowohl positive als auch negative Effekte durch eine landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Anhand einer Literaturanalyse werden verschiedene Konzepte von Agrarumweltindikatoren bzw. Indikatorensysteme aufgezeigt. Hier bestehen zur Zeit vielfältige Ansätze. Zur Auswahl der im Modell verwendeten Agrarumweltindikatoren werden folgende Kriterien herangezogen:

- Einhalten der administrativen Vorgaben,
- Wissenschaftliche Absicherung,
- Praktikabilität bei der Erhebung,
- Abdeckung aller durch die angebotenen Maßnahmen betroffenen Umweltwirkungsbereiche.

Dies führt zur Auswahl folgender ökologischer Indikatoren:

- N-Flächenbilanz,
- P-Flächenbilanz,
- K-Flächenbilanz,
- Monetärer Pflanzenschutzmittelaufwand,
- Potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser,
- Potentieller Bodenabtrag,
- Kulturpflanzendiversität,
- Anteil von Strukturelementen.

Für bestimmte Indikatoren wird neben der Bezugseinheit „Fläche“ auch die Bezugseinheit „produzierte Menge“ gewählt. Auf die Angabe von Toleranzbereichen, Grenzwerten und Optimalwerten wird verzichtet, falls in der Literatur Grenzwerte für bestimmte Indikatoren angegeben werden, werden sie in dieser Arbeit als Anhaltspunkt aufgeführt. Auf eine Aggregation der einzelnen Indikatoren zu einem Gesamtindikator wird ebenfalls verzichtet, um die Wichtigkeit und Unabhängigkeit der einzelnen Umweltwirkungsbereiche herauszustellen.

Die *ökonomische Bewertung* einer Programmteilnahme erfolgt mit ökonomischen Kennzahlen, die auf der Basis der Kostenrechnung (Teilkostenrechnung) ermittelt werden. Neben Kennziffern zur Bewertung der Einkommensveränderungen werden auch Kennzahlen zur Betrachtung des (Einkommens-) Risikos, das mit einer Programmteilnahme verbunden ist, herangezogen. Im Modell werden folgende ökonomische Indikatoren verwendet:

- Deckungsbeitrag,
- Standardabweichung bzw. Variationskoeffizient des Deckungsbeitrags,
- Arbeitseinsatz,
- Grenzproduktivität der Arbeit.

Grundlage zur Ermittlung der ökologischen und ökonomischen Indikatoren bilden standortspezifische *Ertrags- und Varianzfunktionen* für verschiedene Fruchtarten in Abhängigkeit von Stickstoffdüngung und Pflanzenschutzmitteleinsatz. Zur Ermittlung dieser Funktionen werden verschiedene in der Literatur vorgefundene Konzepte kombiniert und erweitert. Ausgehend von einem linear-limitationalen Ansatz werden mit Hilfe von Simulationsläufen, in die sowohl sichere Größen (N-Gehalt der Kulturen, eingesetzte N-Düngermenge) als auch unsichere Größen (mobilisierter Bodenvorrat, standortspezifischer Maximalertrag der Kultur) eingehen, quadratische Ertrags- und Varianzfunktionen in Abhängigkeit vom Stickstoffeinsatz gebildet. Zur Ermittlung des Einfluss des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in die Ertragsfunktion werden die Verteilungsfunktionen der Erträge mit vollständigen PSM-Einsatz und mit Verzicht auf PSM-Mittel herangezogen. Hierbei wird eine Lognormalverteilung der Erträge unterstellt und aus verschiedenen Pflanzenschutzversuchen Mittelwert und Standardabweichung der

Erträge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung sowie der Wert des 5 % Quantils ermittelt. Anschließend wird untersucht, welches Quantil dieser Wert bei der Verteilung der Erträge ohne Pflanzenschutzmittel darstellt. Mit Hilfe dieser Quantilverschiebung kann jetzt für jeden beliebigen Standort Mittelwert und Standardabweichung für eine Verteilung der Erträge bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel unter Kenntnis des Mittelwertes und der Standardabweichung der Erträge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung ermitteln werden. Dies geschieht unter der Annahme, daß sich durch den Verzicht auf Pflanzenschutzmittel der untere Bereich der Verteilung (5 % Quantil) verschiebt, der obere Bereich (95 % Quantil) jedoch konstant bleibt.

Die Umsetzung der theoretischen Grundlagen zur ökonomischen und ökologischen Bewertung erfolgt in einem eigenständig laufenden Computerprogramm. Das Modell ist in drei inhaltliche Module unterteilt. Im Modul *Ertragsfunktion* werden für die einzelnen Fruchtarten die Ertrags- und Varianzfunktionen bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, bei Verzicht auf Herbizide, Wachstumsregler und bei vollständigen Verzicht auf Pflanzenschutzmittel sowie bei Mulchsaat ermittelt. Hierzu müssen vom Anwender die erzielten Erträge, die Produktpreise, die N-Düngerpreise, die eingesetzten N-Düngermengen, die N_{Min} -Frühjahrswerte und die Faustzahlen für die N-Nachlieferung des Bodens eingegeben werden. Die Variationskoeffizienten der Erträge bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung, die N-Gehalte der Kulturen, sowie der Variationskoeffizient des mobilisierten Bodenvorrats werden vom Modell vorgegeben. Die Quantilverschiebungen bei Verzicht auf Pflanzenschutzmittel und bei Mulchsaat werden aus Versuchsergebnissen ermittelt und ebenfalls im Modell vorgegeben. Das Modul *ökonomische Kennwerte* berechnet die ökonomischen Indikatoren des Modells für die ordnungsgemäße Bewirtschaftung sowie die einzelnen Agrarumweltmaßnahmen. Grundlage hierzu bilden die ermittelten Ertrags- und Varianzfunktionen. Vom Anwender müssen die benötigten Daten zur Deckungsbeitragsberechnung, des Arbeitseinsatzes sowie der organischen Düngung und der mineralischen P- und K-Düngung zu den angebauten Fruchtarten eingegeben werden. Die eingesetzte mineralische N- Düngermenge wird nach der Bedingung der optimalen speziellen Intensität ermittelt. Neben den angebauten Hauptfruchtarten werden auch die Zwischenfrüchte, die Flächenstilllegung und die Strukturelemente wie ökologische Ausgleichsflächen, Randstreifen etc. erfaßt. Für das Produktionsverfahren Zuckerrüben wird in Abhängigkeit von der Quotenerfüllung ein Mischpreis und eine dazugehörige Standardabweichung berechnet. Zur Bestimmung der gesamten Einkommensvarianz werden die Korrelation der Erlöse der einzelnen Fruchtarten untereinander ermittelt und im Modell vorgegeben. Im Modul *ökologische Kennwerte* werden die ökologischen Indikatoren für die jeweiligen Maßnahmen ermittelt. Neben den Daten, die bereits zur Berechnung der ökonomischen Kennzahlen zur Verfügung stehen, werden hier schlagspezifische Daten zur Bestimmung des potentiellen Bodenabtrags nach der allgemeinen Bodenabtragsgleichung ABAG und des potentiellen Nitratgehaltes des Sickerwassers benötigt. In diesem Modul ist ein N-Boden-Modell hinterlegt, in dem die Zufuhr- und Abfuhrquellen sowie die Umwandlungen des Stickstoffs im Boden dargestellt sind.

Die Ermittlung der Auswirkungen einer Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung erfolgt mit Hilfe von *Modellbetrieben*. Dabei werden für die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und

Rheinland-Pfalz jeweils ein Betrieb auf einen Gunststandort (Düren und Maifeld) und auf einen Grenzstandort (Bergisches Land und Westerwald) für Ackerbau ausgewählt.

Die Auswertungen des Modells erfolgen auf der Ebene einer für den jeweiligen Betrieb vorgegebenen typischen Fruchtfolge und auf gesamtbetrieblicher Ebene für den fünfjährigen Verpflichtungszeitraum. Bei einer Programmteilnahme sind für die Betriebe eine Reihe von Anpassungsmaßnahmen notwendig. Die hierdurch hervorgerufenen Veränderungen der ökonomischen und ökologischen Kennwerte der einzelnen Produktionsverfahren werden anhand der typischen Fruchtfolge dargestellt.

Die gesamtbetrieblichen Auswertungen zu den Agrarumweltmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen zeigen, daß im *Modellbetrieb Düren* die Erträge bei Teilnahmen an allen Maßnahmen im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung zurück gehen. Die Gesamtdeckungsbeiträge reduzieren sich bei den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“. Bei den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Anlage von Schonstreifen“ liegen die Gesamtdeckungsbeiträge auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Die Variationskoeffizienten der Deckungsbeiträge liegen bei allen Maßnahmen in etwa auf der gleichen Höhe, lediglich bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ steigt dieser deutlich an. Der Arbeitsaufwand ändert sich bei Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ nur marginal, bei der Maßnahme „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ ist er leicht erhöht, bei den Maßnahmen „Verzicht auf Herbizide“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ steigt er aufgrund des hohen Zeitaufwands für die manuelle Unkrautbekämpfung bei den Hackfrüchten sehr stark an. Durch den gestiegenen Arbeitsaufwand sinkt auch die Grenzproduktivität der Arbeit bei den entsprechenden Maßnahmen. Aus ökonomischer Sicht lohnt sich eine Teilnahme an den einzelnen Maßnahmen im Rahmen der Extensivierung im Ackerbau für den Betrieb nicht, da trotz des geringeren absoluten Risikos in Form der Standardabweichung des Deckungsbeitrages die Grenzproduktivität der Arbeit im Vergleich zur ordnungsgemäßen Bewirtschaftung stark zurück geht. Lediglich die Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“ führt zu nur kleinen Veränderungen der betrachteten Größen. Die Nährstoffbilanzen reduzieren sich bei Teilnahme an den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ zum Teil deutlich, bei den übrigen beiden Maßnahmen treten nur marginale Veränderungen auf. Der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers liegt bei allen Maßnahmen auf einem sehr niedrigen Niveau. Der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand sinkt bei allen Maßnahmen, wobei bei den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ und „Verzicht auf Herbizide“ sehr deutliche Rückgänge zu verzeichnen sind. Der Anteil der Zwischenfrüchte wird durch die Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen nur indirekt beeinflusst. Die Kulturpflanzendiversität ändert sich durch den Anbau der Körnererbsen bei Teilnahme an den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“. Der Anteil der Strukturelemente erhöht sich durch Teilnahme an der Maßnahme „Anlage von Schonstreifen“. Da die Flächen des Modellbetriebes eben sind, wird der potentielle Bodenabtrag nicht berechnet.

Die Auswirkungen des *Modellbetriebes Bergisches Land* bei Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen sind ähnlich. Unterschiedlich ist hier, daß sich der Gesamtdeckungsbeitrag bei Teilnahme an der Maßnahme „Verzicht auf Herbizide“ gegenüber der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung zwar erhöht, aufgrund des hohen Arbeitseinsatzes ist die Grenzproduktivität der Arbeit aber auch hier deutlich schlechter. Da die Flächen des Modellbetriebes innerhalb der förderfähigen Gebietskulisse liegen, kann der Betrieb an der Maßnahme „Erosionsschutz im Ackerbau“ teilnehmen. Hier entstehen dem Betrieb deutliche Einkommensgewinne, allerdings steigt die Standardabweichung des Deckungsbeitrages an. Weitere Unterschiede zum Modellbetrieb Düren liegen darin, daß im Modellbetrieb Bergisches Land die P- und K-Bilanzen der Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ aufgrund der erhöhten organischen Düngung bei geringerem Ertragsniveau ansteigen. Außerdem sinkt der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers bei Teilnahme an diesen beiden Maßnahmen stärker. Bei der Kulturpflanzendiversität treten keine Veränderungen auf. Der potentielle Bodenabtrag reduziert sich durch Teilnahme an der Maßnahme „Erosionsschutz im Ackerbau“ deutlich, durch die übrigen Maßnahmen wird dieser Indikator nur marginal beeinflusst.

Die gesamtbetrieblichen Auswertungen der Teilnahme an den rheinland-pfälzischen Maßnahmen zeigen, daß im *Modellbetrieb Maifeld* die Erträge zurückgehen. Durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ entstehen aufgrund der Förderprämien leichte Einkommensgewinne bei einem niedrigeren Variationskoeffizienten des Deckungsbeitrages. Die Teilnahme an der Maßnahme „Mulchsaat bei Mais und Zuckerrüben“ führt zu keinen Veränderungen bei diesen Größen, bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ sinken die Deckungsbeiträge leicht, die Variationskoeffizienten ändern sich nicht. Der Arbeitsaufwand reduziert sich bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ leicht, bei den übrigen Maßnahmen verändert er sich nur marginal. Die Grenzproduktivität der Arbeit steigt bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ an, bei Teilnahme an den übrigen Maßnahmen liegt er auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Eine Teilnahme an den einzelnen Programmteilen spricht aus ökonomischen Gründen nichts entgegen. Bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ reduziert sich die N-Bilanz, die P- und K-Bilanzen steigen an, durch die Teilnahme an den übrigen Maßnahmen treten im Bereich der Nährstoffbilanzen keine Veränderungen auf. Der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand reduziert sich bei der „Anlage von Ackerrandstreifen“ und bei der „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ leicht, beim „umweltschonenden Ackerbau“ etwas stärker. Bei der Teilnahme an der Maßnahme „Mulchsaat von Mais und Zuckerrüben“ erhöht sich der monetäre Pflanzenschutzmittelaufwand. Der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers liegt bei allen Maßnahmen in einem niedrigen Bereich. Die Kulturpflanzendiversität ändert sich nur durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ durch Aufnahme der Fruchtarten Körnererbsen und Sommerweizen in das Produktionsprogramm. Beim „umweltschonenden Ackerbau“ und bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ erhöht sich der Anteil der Strukturelemente.

Die Auswirkungen der Teilnahme an den einzelnen Programmteilen auf dem Grenzstandort *Westerwald* ähnlich dem Modellbetrieb Maifeld. Allerdings ist hier ein

deutlich höherer Einkommensgewinn durch die Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ zu verzeichnen, d.h. eine Programmteilnahme ist hier aus ökonomischer Sicht zu empfehlen. Bei Teilnahme an den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Schonstreifen“ liegen die Grenzproduktivität der Arbeit der Deckungsbeiträge auf dem Niveau der ordnungsgemäßen Bewirtschaftung. Der potentielle Nitratgehalt des Sickerwassers liegt hier im Vergleich zum Modellbetrieb Maifeld auf einem deutlich höheren Niveau, durch die Teilnahme an den einzelnen Agrarumweltmaßnahmen treten allerdings keine Veränderungen in diesem Bereich auf. Im Modellbetrieb Westerwald verringert sich bei der Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“ die Kulturpflanzendiversität, dagegen steigt der Anteil der Zwischenfrüchte aufgrund des gewählten Bodenschutzverfahren vor Sommerungen bei dieser Maßnahme an. Der potentielle Bodenabtrag verringert sich hier nur leicht, durch die übrigen Maßnahmen wird dieser Indikator nicht beeinflusst.

Zur *ökonomischen Beurteilung* der untersuchten Agrarumweltmaßnahmen werden die optimalen Prämien für die jeweiligen Modellbetriebe und Programmeile ermittelt, d.h. es wird der Betrag berechnet, mit dem die Einkommensverluste und der Mehraufwand ausgeglichen werden. Hier zeigt sich, daß die optimalen Prämien der nordrhein-westfälischen Agrarumweltmaßnahmen zum Teil sehr deutlich über den tatsächlichen Prämien liegen, d.h. für die Betriebe bestehen keine Anreize an den Maßnahmen teilzunehmen. Nur bei den Erosionsschutzmaßnahmen übersteigt die tatsächliche Prämie deutlich die faire Prämie. Bei den rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen liegen die optimalen Prämien für den „umweltschonenden Ackerbau“ für beide Betriebe unterhalb der tatsächlichen Prämien, beim „Mulchsaatverfahren von Mais und Zuckerrüben“ entsprechen sich die optimale und die tatsächliche Prämie. Für den Modellbetrieb Maifeld sind die optimalen Prämien bei den Maßnahmen „Anlage von Ackerrandstreifen“ und „Anlage von Saum- und Bandstrukturen“ deutlich höher als die tatsächliche Prämien, im Modellbetrieb Westerwald liegen sie jeweils nur leicht darüber. Allgemein ist hier zu erkennen, daß auf schlechteren Standorten geringere Prämien zur Kompensation der Verluste durch die Auflagen und den Mehraufwand notwendig sind.

Zur *ökologischen Beurteilung* der Agrarumweltmaßnahmen werden die gezahlten Förderprämien den erzielten Umweltwirkungen unter ceteris paribus Bedingungen gegenüber gestellt. Hier zeigen sich gerade bei den nordrhein-westfälischen Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“ in den Bereichen Reduktion der N-Bilanz und Reduktion des monetären Pflanzenschutzmitteleinsatzes sowie durch die „Erosionsschutzmaßnahmen“ im Bereich Reduktion des potentiellen Bodenabtrages günstige Prämien-Wirkungsbeziehungen. Bei den rheinland-pfälzischen Agrarumweltmaßnahmen sind die Auswirkungen auf die Umweltwirkungsbereiche geringer, wodurch hier ungünstigere Prämien-Wirkungsbeziehungen vorliegen. Bei der ökologischen Beurteilung kann allerdings keine generelle Aussage über Unterschiede der Effizienz der eingesetzten Fördermittel auf verschiedenen Standorten getroffen werden.

Literaturverzeichnis

- AID (1995): Landwirtschaft - Partner des Naturschutzes. Bonn
- AK ACKERBAU DÜREN (versch. Jgg.): Auswertungen der Schlagkarteien Zuckerrüben, Getreide und Stilllegung. Düren
- ANDERSON, J.R.; DILLON, J.L.; HARDAKER, B.: (1977): Agricultural Decision Analysis. Iowa State University Press, Ames, Iowa
- BASTIAN, O., SCHREIBER, K.-F. (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Stuttgart
- BAUDOUX, P. (2000): Beurteilung von Agrarumweltprogrammen am Beispiel von Baden-Württemberg und Brandenburg. Diss. Hohenheim
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (versch. Jgg.): Versuchsergebnisse aus Bayern. München
- BERG, E. (1997): Der Einfluß von Unsicherheit und Risikoeinstellung auf die Intensität und das Produktionsprogramm im Ackerbau. Bonn
- BERG, E.; KUHLMANN, F. (1993): Systemanalyse und Simulation. Stuttgart
- BERGSCHMIDT, A.; PLANKL, R. (1999): Evaluierung der Agrarumweltmaßnahmen gemäß der Beschlüsse der Agenda 2000. In Berichte über die Landwirtschaft, Band 77(4), Dezember 1999, S. 570-590
- BEYWL, W. (1999): Handbuch der Evaluationsstandards. Opladen
- BML (2000), Referat 522: Nationaler Evaluationsrahmen der Evaluation der Entwicklungspläne für den Ländlichen Raum in Deutschland. Bonn
- BÖHMER, M. (1980): Der Mineralstickstoffgehalt von Böden mit Feldgemüse und seine Bedeutung für die Stickstoffernährung der Pflanze. Diss. Hannover
- BORLAND (2001): Borland® Delphi™ 6 für Windows - Einführung. Langen
- BRÄUTIGAM, H. (1998): Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Unkraut und Zuckerrüben – Auftreten, Ursachen und Konsequenzen für die Unkrautregulierung. Diss. Göttingen
- DABBERT, S.; HERRMANN, S.; KAULE, G.; SOMMER, M. (1999): Landschaftsmodellierung für die Umweltplanung - Methodik, Anwendung und Übertragbarkeit am Beispiel von Agrarlandschaften. Berlin
- DIEPENBROCK, W.; HÜLSBERGEN, K.J.; ROST, D. (1998): Entwicklung eines Informationssystem „Agrar-Umweltindikatoren“ für das Land Sachsen-Anhalt. Forschungsbericht zu den Projekten Informationssystem „Agrar-Umweltindikatoren“

und Betriebsbilanzierungsmodell „REPRO“. Berichtszeitraum Mai 1997 bis Dezember 1998, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

- DIEPENBROCK, W.; HÜLSBERGEN, K-J.; ROST, D. (1999): Forschungsbericht zu den Projekten Informationssystem "Agrar-Umweltindikatoren" und Betriebs-Bilanzierungsmodell "REPRO". Halle/Saale
- DOLESCHEL, P. (1993): Fruchtfolgeoptimierung zur Einhaltung von Bodenabtragstoleranzen. Diss. München
- DOLUSCHITZ, R. (1992): Potentialabschätzung in der Pflanzenproduktion und dessen Ausschöpfung bei stärker ökonomisch oder ökologisch ausgerichteter Agrarpolitik. In: Agrarwirtschaft 41 (1992), Heft 7, S. 187-197
- DÜNGEVERORDNUNG (1998): Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Bonn
- ECKERT et al. (1997): Analyse und Bewertung der Umweltverträglichkeit der Beispielbetriebe mit Hilfe des Verfahrens „Kritische Umweltbelastungen Landwirtschaft“. In KNICKEL, K.; PRIEBE, H.: Praktische Ansätze zur Verwirklichung einer umweltgerechten Landnutzung. Frankfurt am Main
- ECKERT, H.; BREITSCHUH, G.; SAUERBECK, D. (1999): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) - ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. In Agribioloical Research (1999), 52(1), S. 57 - 76
- ENGEL, T. (1997): Nutzung von Informatik und Elektronik zur Systemanalyse und Unterstützung einer nachhaltigen Landbewirtschaftung. Informationsmanagement in den Agrarwissenschaften, 9. Bonn
- ENGELS, Th. (1993): Nitratauswaschung aus Getreide- und Zuckerrübenflächen bei unterschiedlichen N-Angebot. Diss. Hannover
- EU-KOMMISSION (1999): Evaluation of rural development programmes 2000-2006 supported from the European Agricultural Guidance and Guarantee Fund - Guidelines. Directorate General for Agriculture, Draft, 29.06.1999. Brüssel
- EU-KOMMISSION (2000a): Mitteilungen der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament: Indikatoren für die Integration von Umweltbelangen in die gemeinsame Agrarpolitik. KOM (2000) 20 endgültig. Brüssel
- EU-KOMMISSION (2000b): Gemeinsame Bewertungsfragen mit Kriterien und Indikatoren - Bewertung von Programmen zur Entwicklung des ländlichen Raums, die von 2000 bis 2006 durchgeführt und durch den Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds gefördert werden. Brüssel
- EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFTEN (2003b): Fact Sheet: Überblick über die Umsetzung der Politik zur Entwicklung des ländlichen Raums im Programmplanungszeitraum 2000-2006. Luxemburg

- EVERDING, C. (1998): Kennzeichnung des Erosionsverhaltens und der Erosionsanfälligkeit verschieden texturierter Ackerböden Nordrhein-Westfalens mit Hilfe von Feldberegnungen. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen. Bonn
- FAL (2003): Auswirkungen der Luxemburger Beschlüsse auf ländliche Räume, Agrarumweltmaßnahmen und die Ausgleichszulage. Arbeitsbericht 9/2003 des Instituts für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume. Braunschweig
- FINCK, A. (1992): Dünger und Düngung - Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen; 2.Auflage. Weinheim
- FREDE, H.-G.; DABBERT, S. (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Landsberg
- FUCHS, C.; LÖTHE, K. (1996): Einfluss der Form von Produktionsfunktionen auf die Ermittlung der optimalen speziellen Intensität und die ökologischen Wirkungen in der Pflanzenproduktion. In: Schriften der GEWISOLA, Band 32: Agrarstrukturentwicklung und Agrarpolitik. Berlin
- GEBAUER, J.; BÄUERLE, S. (2000): Betriebliche Umweltinformationstechniken für die Landwirtschaft. In Berichte über Landwirtschaft, Band 78 (3) September 2000, S. 454 - 492
- GOOS, J. (2000): Ökonomische Effizienz der Grünlandextensivierungs- und Naturschutzprogramme im Mittelgebirge Nordrhein-Westfalens. Berichte aus der Betriebswirtschaft. Aachen
- GUTSCHE, V., ROSSBERG, D. (1999). Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel (SYNOPS). In REUS, J. ET AL.: Comparing Environmental Risk Indicators for Pesticides: Results of the European CAPER Project. Utrecht, The Netherlands: Centre for Agriculture and the Environment. 69-82.
- HABER, W.; SALZWEDEL, J. (1992): Umweltproblem der Landwirtschaft - Sachbuch Ökologie. Stuttgart
- HANF, C.-H. (1986): Entscheidungslehre. München
- HARTMANN, E.; THOMAS, F.; LUICK, R.; BIERER, J.; POPPINGA, O. (2003): Kurzfassung der nach Verordnung EG 1257/1999 kofinanzierten Agrarumweltprogramme der Bundesländer (Stand Februar 2003). BfN-Skripten 87. Bonn
- HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSNER, K.H.: (1998): Statistik - Lehr und Handbuch der angewandten Statistik. 11. Auflage, München
- HEILMANN, H. (1992): Betriebswirtschaftliche Analyse und Beurteilung einzelbetrieblicher Möglichkeiten zur Reduzierung von Nitratauswaschung und Bodenerosion. Diss. Hohenheim
- HENRICHSMEYER, W.; WITZKE, H.P. (1991): Agrarpolitik Band 1 - Agrarpolitische Grundlagen. Stuttgart

- HESSELBACH, J.; EISGRUBER, L.M. (1967): Betriebliche Entscheidungen mittels Simulation - Landwirtschaftliches Simulationsmodell und Anwendungsbeispiele. Hamburg
- HEYLAND, K.U. (1991): Integrierte Pflanzenproduktion. Stuttgart
- HOEGEN, B.; BRENK, C.; BOTSCHKE (1995), J.: Bodenerosion in Nordrhein-Westfalen - Gefährdung und Schutzmaßnahmen. Forschungsberichte, Heft Nr. 30 des Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortangepaßte Landwirtschaft“ an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- HYDRO AGRI (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. 12. Auflage. Dülmen
- INPRISE (1998): Borland® Delphi™ 4 für Windows 95 & Windows NT - Objekt Pascal Sprachreferenz. Langen
- JAROSCH, J. (1990): Methodik, Einsatzmöglichkeiten und Anwendung von ökologisch-ökonomischen Planungsmodellen. Reihe Landwirtschaft und Umwelt, 6. Kiel
- KACHEL, K. U. (1999): Wirkung der Förderung umweltgerechter landwirtschaftlicher Nutzung von Ackerflächen - Betriebswirtschaftliche Untersuchungen zu ausgewählten Förderprogrammen in Landwirtschaftsbetrieben im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin. Diss. Berlin
- KAZENWADEL, G. (1999): Ökonomisch/ökologische Beurteilung von regionalen Agrar- und Umweltprogrammen in der Europäischen Union. Sonderheft Agrarwirtschaft 153. Bergen/Dumme
- KERKHOF, F. (1996): Betriebswirtschaftliche Beurteilung unterschiedlich umweltverträglicher Systeme des Ackerbaus. Diss. Göttingen
- KERSEBAUM, K.C. (1989): Die Simulation der Stickstoffdynamik von Ackerböden. Diss. Hannover
- KILGER, W. (1987): Einführung in die Kostenrechnung, 3. Auflage, Stuttgart
- KILIAN, B. (2000): Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen für einen flächendeckenden Gewässerschutz. Sonderheft Agrarwirtschaft 165. Bergen/Dumme
- KIRSCHKE, D (1998): Weiterentwicklung der EU Agrarpolitik, Aussichten für die neuen Bundesländer. Kiel, 1998
- KORR, V. (1997): Auswirkungen direkter und indirekter Regulierungsmaßnahmen auf Ressourcenkonkurrenz und Artenvielfalt der Unkrautflora in extensiven Landnutzungssystemen. FAM Bericht 14. Aachen
- KRAYL, E. (1993): Strategien zur Verminderung der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft. Kiel
- KTBL, (2002a): Betriebsplanung Landwirtschaft 2002/2003, 18. Auflage. Darmstadt

- KTBL, (2002b): Ökologischer Landbau - Kalkulationsdaten. Darmstadt
- KUHLMANN, F. (1992): Zum 50. Todestag von Friedrich Aerobe: Einige Gedanken zur Intensitätslehre. In Agrarwirtschaft 41 (1992) Heft 8/9, S. 222-230
- LANDESAMT FÜR DATENVERARBEITUNG UND STATISTIK NRW (versch. Jgg.): Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf
- LEOPOLD, J.; ULBER, B. (2000): Randstreifen als Lebensraum: Abundanz und Dispersion der Laufkäferfauna sowie der Einfluss auf den Blattlausbefall in Winterweizen. In: GEROWITT, B.; STEINMANN, H.-H.: Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes, S. 157-186. Duderstadt
- LIEBIG, J. (1855): Die Grundsätze der Agrikulturchemie. Braunschweig
- LINDE, R. (1981): Produktion II: Produktionsfunktionen. In Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft, Band 6. Stuttgart
- LK RHEINLAND (1995): Empfehlungen für die Düngung von Acker- und Grünland nach Bodenuntersuchungen. 7. Auflage. Bonn
- LK RHEINLAND (2001): Auswertung der Schlagkartei für Getreide - Ernte 2001. Bonn
- LK RHEINLAND (2002b): Auswertung der Schlagkartei für Getreide - Ernte 2002. Bonn
- LK RHEINLAND (2003): Erfahrungssätze für den überbetrieblichen Maschineneinsatz. Bonn
- LK RHEINLAND (versch. Jgg., a): Auswertungen der Pflanzenschutzversuche. Bonn
- LK RHEINLAND (versch. Jgg., b): Landes Sorten Versuche. Bonn
- LK RHEINLAND (versch. Jgg., c): Auswertung der Schlagkartei für Getreide. Bonn
- LK RHEINLAND (versch. Jgg., d): Agrarstatistische Übersichten. Bonn
- LK WESTFALEN LIPPE (versch. Jgg.): Berichte über Feldversuche. Münster
- LPP (1998): Sachgerechte Düngung für Acker- und Grünland. Mainz
- LÜTKE ENTRUP, N.; ONNEN, G.; TEICHGRÄBER, B. (1998): Zukunftsfähige Landwirtschaft - Integrierter Landbau in Deutschland und Europa. Studie zur Entwicklung und den Perspektiven. Bonn
- LÜTTMANN, J. (1994): Zur Bedeutung von Ackerrainen für die Fauna in Agrarlandschaften - Ein Beitrag zum Biotopverbund. Diss Hannover
- MEINCK, S. (1999): Speisekartoffelbau im Ökologischen Landbau – Optimierung des Anbauverfahrens durch Sortenwahl und Phytophthora-Prophylaxe. Diss. Kassel
- MITSCHERLICH, E.A. (1916): Zum Gesetz des Pflanzenwachstums. Landwirtschaftliche Jahrbücher 49

- MOLITOR (1982): Der Mineralstickstoffgehalt von Löß- und Geestböden in Niedersachsen – Faktoren und Bedeutung für die Ernährung der Pflanze. Diss. Hannover
- MUF (2001): Grundsätze des Landes Rheinland Pfalz für die Anlage von Ackerrandstreifen des Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) Programmteil X. 2. Auflage, Mainz
- MÜNCHHAUSEN, H.; NIEBERG, H. (1997): Agrar-Umweltindikatoren: Grundlagen, Verwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse einer Expertenbefragung. In DIEPENBROCK (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Fachtagung am 11. und 12. Juli 1996 in Wittenberg; schriftliche Fassung der Beiträge, S. 13-29. Osnabrück
- MUNLV (2000): NRW Programm „Ländlicher Raum“ - Plan des Landes Nordrhein-Westfalens zur Entwicklung des Ländlichen Raums. Düsseldorf
- MUNLV (2001): Wegweiser durch das Kulturlandschaftsprogramm Nordrhein-Westfalen. Fördermöglichkeiten für die Landwirtschaft. 2. überarbeitete Auflage. Düsseldorf
- MWVLF (2001): Grundsätze des Landes Rheinland Pfalz für den umweltschonenden Ackerbau des Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) Programmteil I. 2. Auflage, Mainz
- MWVLF (2001): Grundsätze des Landes Rheinland Pfalz für die Anlage von Saum- und Bandstrukturen des Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) Programmteil XI. 2. Auflage, Mainz
- MWVLF (2001): Grundsätze des Landes Rheinland Pfalz für Mulchsaatverfahren bei Mais und Zuckerrüben des Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung (FUL) Programmteil IX. 2. Auflage, Mainz
- MWVLW, MUF (2000): ZIL - Zukunftsinitiative für den ländlichen Raum. Mainz
- NEUBAUER, W.: (2001): Aktueller Stand zur kostensparenden und strukturschonenden Bodenbearbeitung zu Kartoffeln. In Kartoffeltrends 2001. S. 19-25 Bergen/Dumme
- OECD (1994): Environmental Indicators - OECD Core Set. Paris
- OESAU, A (1998): Ackerwildkräuter in Rheinland-Pfalz erhalten und fördern. Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Heft Nr. 7. Bad Dürkheim
- OESAU, A. (1999): Zur Flora und Vegetation von Rotationsbrachen und deren Folgekulturen. Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz Heft Nr. 8. Mainz
- OLFS, H.W. (1992): Charakterisierung des N-Umsatzes im Boden durch mikrobiologische und chemische Parameter und Bedeutung dieser Kenngrößen für die Ableitung von N-Düngebedarfsprognosen. Diss. Bonn

- PAEFFGEN, S. (1994): Verfahren der pflanzenbaulichen Produktion in Baden-Württemberg und Modellierung der Agrarproduktion auf Kreisebene. Wendlingen
- PALISADE CORPORATION (2001): Benutzerhandbuch für @Risk - Risikoanalysen und Simulations-Add-In für Microsoft Excel. Version 4.0 Newfield USA
- PFADENHAUER, J.; GANZERT, C. (1992): Konzept einer integrierten Naturschutzstrategie im Agrarraum. In PFADENHAUER (Hrsg.): Untersuchungen zur Definition und Quantifizierung landespflegerischen Leistungen der Landwirtschaft nach ökologischen und ökonomischen Kriterien. Weihenstephan
- PIORR, A.; WERNER, W. (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme im Vergleich: Bewertung anhand von Umweltindikatoren. Schriftenreihe agrarspectrum, Band 28. Frankfurt am Main
- PIORR, A.; WERNER, W. (1999): Nachhaltige Landbewirtschaftungssysteme im Vergleich - Bewertung anhand von Umweltindikatoren. In: DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT: Nachhaltige Landwirtschaft - Wege zum neuen Leitbild. DLG Band 195. Frankfurt
- PIORR, H. P. (1998): Zur Entwicklung eines Rahmenwerkes von Indikatoren zur Analyse von Agrarlandschaften. In INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK BORNIM E.V. (Hrsg.): Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung - Methoden, Indikatoren, Fallbeispiele. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 21, S. 70-76. Potsdam-Bornim
- PRECHT, M.; KRAFT, R. (1992): Bio-Statistik 1, 5. Auflage. München
- PRECHT, M.; KRAFT, R. (1993): Bio-Statistik 2, 5. Auflage. München
- RASMUSSEN, S. (1990): Yield and price variability for various enterprises in Danish agriculture – An empirical analysis. Kopenhagen
- REITER, K.; ESSMANN, S.; ROGGENDORF, W.: Evaluierung von Agrarumweltmaßnahmen zur Förderung ländlicher Räume: Methodik der Halbzeitbewertung der 6-Länder-Evaluierung. Beitrag zur 43. Jahrestagung der GEWISOLA vom 29.09. bis 01.10.2003 in Hohenheim
- REITMAYR, T. (1995): Entwicklung eines rechnergestützten Kennzahlensystems zur ökonomischen und ökologischen Beurteilung von agrarischen Bewirtschaftungsformen - dargestellt an einem Beispiel. Sonderheft Agrarwirtschaft 147. Frankfurt
- REMMERT, H. (1989): Ökologie. Vierte Auflage, Berlin
- RENGER, M.; WESSOLEK, G.; KÖNIG, F.; SWARTJES, C.; FAHRENHORST, B.; KASCHANIAN, B. (1990): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung - Endbericht zum BMFT-Projekt 03 74 34 3. Bonn

- RENNINGS, K. (1994): Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung. Diss. Münster
- RING, H. (1992): Ausgewählte Betrachtungen des Problemfeldes Grundwasserschutz und Landbewirtschaftung aus ökonomischer Sicht. Diss. München
- RINTELEN, P. (1938): Das Risiko im landwirtschaftlichen Betrieb. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 144. Berlin
- RUDOLPH, B. (1995): Derivative Finanzinstrumente. Stuttgart
- SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (versch. Jgg): Landesortenversuche. Dresden
- SAUERBORN, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland - Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. Bonner Bodenkundliche Abhandlungen. Bonn
- SCHANZENBÄCHER, B. (1995): Ermittlung externer ökologischer Effekte der Landwirtschaft und ökonomische und ökologische Auswirkungen von Maßnahmen zu deren Internalisierung. Frankfurt am Main
- SCHARPF, H.C. (1977): Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Diss. Hannover
- SCHEELE, M.; ISERMEYER, F. und SCHMITT, G. (1993): Umweltpolitische Strategien zur Lösung der Stickstoffproblematik in der Landwirtschaft. In Agrarwirtschaft, 42, Heft 8/9
- SCHERRER, G. (1991): Kostenrechnung, 2. Auflage. Stuttgart
- SCHLAUDERER, R.; ACKERMANN, I. (1997): SimCrop - Ein Entscheidungsunterstützungsmodell zur Gestaltung von Pflanzenbauverfahren. In: DOLUSCHITZ, R. NÖLL, C.: Referate der 18. GIL-Jahrestagung in Hohenheim, Stuttgart. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 10, S. 152, 155
- SCHLEEF, K.H. (1999): Auswirkungen von Stickstoffminderungsmaßnahmen - modellgestützte Abschätzungen der betrieblichen Wirkungen von Stickstoffüberschüssen aus der Landwirtschaft. Münster-Hiltrup
- SCHLIEPER, P. (1997): Ertragsausfallversicherung und Intensität pflanzlicher Produktion. Diss. Bonn
- SCHMITZ, P.M.; HARTMANN, M. (1993): Landwirtschaft und Chemie. Kiel
- SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT (1998): Evaluation der Ökomaßnahmen und Tierhaltungsprogramme. Erster Zwischenbericht. Bern
- SCHWERTMANN, U.; VOGL, W.; KAINZ, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Auflage. Stuttgart

- STAATSKANZLEI RHEINLAND-PFALZ (1995): Landesentwicklungsprogramm III. Mainz
- STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (SLEF) SACHSEN (1997): Fortentwicklung Programm Umweltgerechte Landwirtschaft im Freistaat Sachsen (UL); Teil A: Bericht zur Begleitung und Bewertung. Dresden
- STATISTISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ (2002): Die Landwirtschaft 2001 - Mit Vergleichszahlen seit 1949. Bad Ems
- STOYKE, C. (1995): Die Ökonomik einzelbetrieblicher Anpassungsmaßnahmen an Extensivierungsaufgaben in der Pflanzenproduktion – Eine empirische Analyse am Beispiel der Stickstoff-Quotierung. Diss. Göttingen
- THIES, C.; DENYS, C.; TSCHARNTKE, T. (2000): Randstreifen als Lebensraum: Vegetation, Insektenartenreichtum und Schädlings-Nützlings-Interaktion in Raps und Hafer. In: GEROWITT, B.; STEINMANN, H.-H.: Ackerbau in der Kulturlandschaft - Funktionen und Leistungen. Ergebnisse des Göttinger INTEX-Projektes, S. 135-156. Duderstadt
- THÜNEN, J. R. (1842): Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie. Neudruck (1966), Stuttgart
- THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT (TMLNU) (1999): Erhaltung der Kulturlandschaft, umweltgerechte Landwirtschaft, Naturschutz und Landschaftspflege. Erfurt
- TREMEL, S. (2000): Umweltcontrolling für landwirtschaftliche Unternehmen. Aachen
- TRENKEL, E.H. (1999): Kostenanalyse und Erfolgsfaktoren im Betriebszweig Zuckerrübenanbau. Bergen/Dumme
- TURGOT (1766): Réflexion sur la formation et la distribution des richesses. Zitiert in: SELLIEM, R. und SELLIEM, H. (1971): Wirtschaftslexikon, Wiesbaden
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1997): Grundlagen für ein nationales Umweltindikatoren-system - Weiterentwicklung von Indikatorensystemen für die Umweltberichterstattung. Berlin
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1998): Nachhaltiges Deutschland – Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. Berlin
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2000): Erarbeitung von Beurteilungskriterien und Messparametern für nutzungsbezogene Bodenqualitätsziele. Berlin
- VDLUFA (1998): Kriterien umweltverträgliche Landbewirtschaftung. Darmstadt
- VERORDNUNG (EG) NR. 1257/1999 des Rates vom 17. Mai 1999 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtung- und Garantiefond für die Landwirtschaft (EAGFL) und zur Änderung bzw. Aufhebung bestimmter Verordnungen. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 160, S. 80-102. Brüssel

- VERORDNUNG (EG) NR. 1750/1999 der Kommission vom 23. Juli 1999 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 des Rates über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtung- und Garantiefond für die Landwirtschaft (EAGFL). In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 214, S. 31-52. Brüssel
- VERORDNUNG (EG) NR. 445/2002 der Kommission vom 26. Februar 2002 mit Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 1257/1999 des Rates über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums durch den Europäischen Ausrichtung- und Garantiefond für die Landwirtschaft (EAGFL). In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 74, S. 1-34. Brüssel
- VERORDNUNG (EWG) 2078/1992 des Rates vom 30. Juni 1992 für umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende landwirtschaftliche Produktionsverfahren. In: Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 215, S. 85-90. Brüssel
- VOLK, T. (1998): Umweltschonender Pflanzenschutz mit dem Expertensystem PRO_PLANT. In Spindler, E.A.: Agrar-Öko-Audit: Praxis und Perspektiven einer umweltorientierten Land- und Forstwirtschaft, S. 367-379. Berlin
- WEGENER, U. (2001): Dauerhafte Bodenbearbeitungsverfahren in Zuckerrübenfruchtfolgen - Ertragsbildung, Rentabilität, Energiebilanz und Bodenerosion im Vergleich. Diss. Göttingen
- WEINGARTEN, P. (1995): Grundwasserschutz und Landwirtschaft - eine quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen. Kiel
- WEINGARTEN, P.; HENRICHSMEYER, W.; MEYER, R. (1995): Abschätzung der Auswirkungen von Vorsorgestrategien zum Grundwasserschutz im Bereich Landwirtschaft. In Agrarwirtschaft 44 (1995) Heft 4/5, S. 191-203. Frankfurt am Main
- WEINSCHENCK, G. (1964): Die optimale Organisation des landwirtschaftlichen Betriebes. Hamburg
- WINNER, C. (1981): Zuckerrübenanbau. Frankfurt
- WODSAK, H.P. (1997): Untersuchungen zum organisch gebundenen Stickstoffvorrat und Stickstoffnachlieferungsvermögen von Böden in Wassereinzugsgebieten des Rheinlandes. Diss. Bonn
- ZEDDIES, J.; DOLUSCHITZ, R. (1996): Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (MEKA). – Wissenschaftliche Begleituntersuchung zu Durchführung und Auswirkung. Agrarforschung in Baden-Württemberg, Band 25. Stuttgart
- ZMP (2001): ZMP Marktbilanz 2001, Kartoffeln. Bonn
- ZMP (2003): ZMP Marktbilanz 2003 -Getreide, Ölsaaten, Futtermittel. Bonn
- ZMP (versch. Jgg., a): ZMP Bilanz Getreide, Ölsaaten, Futtermittel. Bonn

ZMP (versch. Jgg., b): ZMP Marktbilanz Kartoffeln. Bonn

Sonstiges

BAYERISCHE FUTTERSAATBAU GMBH (2003): Mündliche Mitteilungen

KERSEBAUM, K.C. (2002): Schriftliche Mitteilungen

LK NORDRHEIN-WESTFALEN (2004): Schriftliche Mitteilungen

LK RHEINLAND (2002a), Referat für Landbau: Schriftliche Mitteilungen: N_{Min} Werte verschiedener Fruchtarten für die Jahre 1995-2001

MWVLF (2004): Mündliche Mitteilungen Frau Hohn-Braun

RWZ MONREAL (2003): Mündliche Mitteilungen

SLVA AHRWEILER/MAYEN-KOBLENZ (2002): Schriftliche Mitteilungen: N_{Min} Werte verschiedener Fruchtarten für die Jahre 1995-2001

SLVA MONTABAUR-ALTENKIRCHEN (2002): Schriftliche Mitteilungen: N_{Min} Werte verschiedener Fruchtarten für die Jahre 1995-2001

Internetquellen

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2003a):

http://europa.eu.int/comm/agriculture/rur/countries/index_de.htm

VDLUFA (2003): http://www.tll.de//kul/kul_idx.htm

VERSUCHSWESEN PFLANZENBAU RHEINLAND-PFALZ (versch. Jgg):

<http://www.agrarinfo.rpl.de/pflanzenbau/>

Anhang

Anhang 1: Bewertungsfragen und Kriterien zur Evaluierung von Agrarumweltmaßnahmen	217
Anhang 2: Literaturlauswertung zu Agrarumweltindikatoren.....	219
Anhang 3: OECD Indikatorenkatalog	223
Anhang 4: Herleitung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser.....	224
Anhang 5: Kurz- und langfristige Relativ-Ertragsfunktionen	226
Anhang 6: Methode zur Herleitung von N_{max} zur Bestimmung einer Absolut- aus einer Relativ-Ertragsfunktion	227
Anhang 7: Tabellen und Vorgaben zur Herleitung des C-Faktors der ABAG.....	229
Anhang 8: Modellteil Ertragsfunktion.....	232
Anhang 9: Tabellenblätter im Modellteil <i>Fruchtfolge</i>	234
Anhang 10: Modellteil Erosion	240
Anhang 11: Modellteil Ergebnisse	241
Anhang 12: Herleitung der Quantilverschiebung am Beispiel Herbizidverzicht von Winterweizen.....	243
Anhang 13: Berechnung der Nährstoffgehalte der Organischen Dünger.....	244
Anhang 14: Kombinierte Korrelationsmatrix für Preise und Erträge.....	246
Anhang 15: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz-funktionen für den Modellbetrieb Düren.....	247
Anhang 16: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz-funktionen für den Modellbetrieb Bergisches Land.....	249
Anhang 17: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz-funktionen für den Modellbetrieb Maifeld.....	250
Anhang 18: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz-funktionen für den Modellbetrieb Westerwald.....	252
Anhang 19: Arbeitsgänge Modellbetrieb Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung	253
Anhang 20: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Düren	255
Anhang 21: Getreideeinheitenschlüssel	258
Anhang 22: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Bergisches Land	259

Anhang 23: Fruchtfolgen und C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge des Modellbetriebes Bergisches Land	262
Anhang 24: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Maifeld.....	263
Anhang 25: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Westerwald	267
Anhang 26: Fruchtfolgen und C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge des Modellbetriebes Westerwald	270

Anhang 1: Bewertungsfragen und Kriterien zur Evaluierung von Agrarumweltmaßnahmen

Fragen	Kriterien
<p>In welchem Umfang sind natürliche Ressourcen geschützt worden... ...und zwar durch die Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen auf die Bodenqualität?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerung der Bodenerosion. • Die Verunreinigung des Bodens durch chemische Stoffe wurde verhindert oder verringert. • Durch den Schutz des Bodens haben sich weitere Vorteile für die landwirtschaftlichen Betriebe oder die Gesellschaft ergeben.
<p>...und zwar durch die Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen auf die Qualität des Grund- und Oberflächenwassers?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerter Einsatz von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln, die Wasser potentiell verunreinigen. • Die Transportwege, auf denen chemische Stoffe (vom Oberboden landwirtschaftlicher Flächen oder dem Wurzelraum) in die Grundwasserschichten gelangen, sind ausgeschaltet worden (Auswaschung, Oberflächenabflüsse, Erosion). • Verbesserte Qualität des Oberflächen- und/oder Grundwassers. • Durch den Gewässerschutz haben sich weitere Vorteile für die landwirtschaftliche Betriebe oder die Gesellschaft ergeben.
<p>...und zwar durch die Auswirkungen von Agrarumweltmaßnahmen auf den Umfang der Wasserressourcen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Nutzung (Entnahme) von Wasser zum Zwecke der Entwässerung ist verringert bzw. eine Erhöhung ist vermieden worden. • Schutz von Wasserressourcen, was deren Menge betrifft. • Durch den Schutz von Wasserressourcen haben sich weitere Vorteile ergeben.

<p>In welchem Umfang ist auf Grund der Agrarumweltmaßnahmen die biologische Vielfalt (Artenvielfalt) erhalten oder verbessert worden... ... durch den Schutz von Flora und Fauna auf landwirtschaftlichen Flächen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Verringerung (bzw. eine Vermeidung der Erhöhung) des Einsatzes landwirtschaftlicher Produktionsmittel zum Vorteil von Flora und Fauna ist erreicht worden. • Anbaumuster landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, die für die Flora und Fauna von Vorteil sind, sind erhalten oder wiedereingeführt worden. • Die Fördermaßnahmen sind erfolgreich auf die Erhaltung schutzbedürftiger Arten ausgerichtet worden.
<p>... durch Schutz von Habitaten, die für die Natur sehr wichtig sind, auf landwirtschaftliche Flächen, durch Schutz oder Verbesserung der Umweltinfrastruktur oder durch Schutz von Feuchtgebieten bzw. aquatischen Habitaten, die an landwirtschaftliche Flächen angrenzen (Habitatvielfalt)?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Habitats, die für die Natur sehr wichtig sind, sind auf landwirtschaftlichen Flächen erhalten worden. • Ökologische Infrastrukturen einschließlich Ackerrandstreifen oder nicht bewirtschaftete Schläge landwirtschaftlicher Flächen, denen eine Habitatfunktion zukommt, sind geschützt oder verbessert worden. • Wertvolle Feuchtgebiete oder aquatische Habitats sind vor Auswaschung, Oberflächenabflüssen oder Sedimenteintrag der angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen geschützt worden.
<p>...durch Sicherung des Fortbestehens gefährdeter Tierrassen oder Pflanzensorten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das Fortbestehen gefährdeter Rassen/Arten ist gesichert worden.
<p>In welchem Umfang sind aufgrund der Agrarumweltmaßnahmen Landschaften erhalten oder geschützt worden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die mit den Sinnen wahrzunehmende/kognitive Kohärenz der landwirtschaftlichen Flächen mit den natürlichen/biologischen Merkmalen eines Gebietes ist erhalten oder verstärkt worden. • Die wahrzunehmende Differenzierung der landwirtschaftlichen Flächen ist erhalten oder verbessert worden. • Die kulturelle Eigenart der Flächen ist erhalten bzw. verbessert worden. • Durch den Schutz der Landschaftsstrukturen und -funktionen in Zusammenhang mit den landwirtschaftlichen Flächen ergeben sich Vorteile für die Gesellschaft.

Quelle: Eigene Darstellung nach EU-KOMMISSION, 2000b, S. B-13ff

Anhang 2: Literaturlauswertung zu Agrarumweltindikatoren

Düngung

Indikator	Literatur
N-Bilanz Saldo - Schlag - Hoftor - Feld-Stall	- Kachel (1999) - Kirschke (1998) - Schweizer Bundesamt (1998) - Münchhausen und Nieberg (1997) - Umweltbundesamt (1997) - Stoyke (1995) - TMLNU (1999) - Kerkhof (1996) - Zeddies und Doluschitz (1996)
Gemessene Nitratbelastung im Grundwasser	- Schweizer Bundesamt (1998)
Restnitratgehalt im Boden	- SLEF Sachsen (1997) - Zeddies und Doluschitz (1996)
Anwendung von Meß- und Kontrollmaßnahmen zur Feinsteuerung der N-Düngung(z.B. N _{min} , Düngerfenster)	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Durchschnittlicher N _{Min} Gehalt des Bodens vor Winter	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Höhe der Stickstoffdüngung bei Wintergetreide und Winterraps im Herbst	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Höhe der N-Spätdüngung	- Kerkhof (1996)
Anteil der Früchte mit potentiell hohen Rest-Nitratmengen an der Ackerfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Monetärer Düngemittelaufwand	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Ausgebrachte Stickstoffmenge	- Kerkhof (1996) - Zeddies und Doluschitz (1996)
N-Reallokation (relatives Düngungsniveau zwischen Intensiv- und Extensivfrüchten)	- Stoyke (1995)
Anlage von nicht gedüngten Uferrandstreifen	- Kerkhof (1996)
P-Bilanz Saldo	- Schweizer Bundesamt (1998) - Münchhausen und Nieberg (1997) - Umweltbundesamt (1997) - TMLNU (1999)
Gemessene Phosphatbelastung im Grundwasser	- Schweizer Bundesamt (1998)
Durchschnittliche Phosphor-Versorgung der Böden (nach Versorgungsstufen)	- Münchhausen und Nieberg (1997)
K-Bilanz Saldo	- TMLNU (1999)
Gehaltsklassen von N, K und Mg	- TMLNU (1999)
Boden-pH-Stufe	- TMLNU (1999)

Pflanzenschutzmitteleintrag

Indikator	Literatur
Pflanzenschutzmittelaufwand (monetär und Wirkstoffmenge)	- SLEF Sachsen (1997) - Schweizer Bundesamt (1998) - Münchhausen und Nieberg (1997) - Umweltbundesamt (1997) - TMLNU (1999) - Kerkhof (1996)
Applikationshäufigkeit	- Kirschke (1998) - Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Aufwand an Fungizid- und Insektizidwirkstoffen	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil der LF, der nicht mit chemischen Pflanzenschutzmitteln behandelt wurde	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil pflanzenschutzextensiver Früchte an der AF	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil mechanischer, thermischer und biologischer Pflanzenschutzmaßnahmen an allen Pflanzenschutzmaßnahmen (differenziert nach Kulturart)	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Anteil der Teilflächenbehandlung an allen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen (differenziert nach Kulturart bzw. Präparatgruppen)	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Anteil der Behandlungen mit nützlingschonenden Mitteln an allen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Berücksichtigen von Schadenswellen	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Anlage von Spritzfenster	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Anteil der Behandlungen mit giftigen und sehr giftigen Mitteln (T, T+) an allen chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Aufwandmenge mal Substrattoxizität	- Kerkhof (1996)
PSM-Indikator (relatives Einsatzniveau von PSM zu einer Vergleichsgruppe)	- Stoyke (1995)
PSM-N-Relation	- Stoyke (1995)
Erfassbare PSM-Konzentration in ausgewählten Gewässern	- Schweizer Bundesamt (1998)
Resistenzeigenschaften bei der Sortenwahl	- Kerkhof (1996)

Bodennutzung und Bodenzustand

Indikator	Literatur
Hanglänge,	- Kirschke (1998)
Hangneigung	- Kirschke (1998) - Zeddies und Doluschitz (1996)
Mittlerer jährlicher Bodenabtrag	- SLEF Sachsen (1997) - Zeddies und Doluschitz (1996)
Wasserabfluss	- Zeddies und Doluschitz (1996)
Erosionsbilanz	- Kachel (1999)
Erosionsdisposition	- TMLNU (1999)
Maßnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtungen	- Kerkhof (1996)
Durchführung von Erosionsschutzmaßnahmen in Reinkulturen	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Anteil der (dauerhaft) pfluglos bewirtschafteten Ackerfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Durchschnittliche Anzahl der Bodenbearbeitungsmaßnahmen nach der Ernte	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Verdichtungsgefährdung	- TMLNU (1999)
Bodennutzungsverhältnis	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Dauer/Anteil der Schwarzbrache	- SLEF Sachsen (1997) - Kerkhof (1996)
Fruchtartenverhältnis auf der Ackerfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Durchschnittliche Dauer der Zwischenbrache je ha Ackerfläche	- SLEF Sachsen (1997) - Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil der nicht begrüneten Ackerfläche während der Herbst- und Wintermonate	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil der Reihenfrüchte an der Ackerfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil humuszehrender Fruchtarten an der Ackerfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anzahl der Fruchtfolgeglieder	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Kerkhof (1996)
Flächenanteil der Extensivfrüchte	- Stoyke (1995) - Kerkhof (1996)
Flächenanteil der Zwischenfrüchte	- Stoyke (1995)
Humusbilanz	- Kachel (1999) - Kerkhof (1996)
Median Feldgröße	- TMLNU (1999)

Arten und Biotopvielfalt sowie Landschaftsstrukturelemente

Indikator	Literatur
Anzahl ausgewählter Tier- und Pflanzenarten	- Schweizer Bundesamt (1998)
Vielfalt der Flächennutzung	- Kerkhof (1996)
- Diversitätsindex	- Kirschke (1998) - TMLNU (1999)
- Spezialisierungsmaß	- Stoyke (1995)
Biotoppotential von Fruchtarten	- Kirschke (1998)
Anteil der Stilllegungsfläche	- Kirschke (1998)
Anteil der aus der Nutzung fallenden Fläche	- Kirschke (1998)
Durchschnittliche Schlaggröße	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Verteilungsdichte von Feldrainen mit mehr als 2 m Breite (laufende Meter je ha LF)	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Verteilungsdichte von Hecken	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Verteilungsdichte von Feldgehölzen, Baumgruppen und Gebüsch	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Verteilungsdichte von Teichen und Tümpeln	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Flächenanteil der Landschaftselemente in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche	- Münchhausen und Nieberg (1997) - Umweltbundesamt (1997) - Kerkhof (1996)
Anteil extensiver Grünlandflächen am Grünland insgesamt	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil der LF, die in Naturschutz- oder Extensivierungsprogramme eingebracht wird	- Münchhausen und Nieberg (1997)
Anteil ökologisch landes-kulturelle Vorrangflächen	- TMLNU (1999)

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Anhang 3: OECD Indikatorenkatalog

Bereich	Indikator
Düngung	Mineraldünger und Wirtschaftsdüngeraufwand
Pflanzenschutzmittel	Applikation von Pflanzenschutzmitteln
Klimarelevante Gase	Quellen, Menge und Anreicherung klimarelevanter Gase
Wasserqualität	Nitratkonzentration, Phosphatkonzentration, Risiko der Wasserbelastung durch N-Einträge und PSM-Einträge
Wasserverbrauch	Beregnungs- und Bewässerungsintensität, Wasserverknappung, Effizienz von Beregnung und Bewässerung, Reaktionen der Politik und Versorger auf Verknappung
Bodenqualität	Risiko der Wassererosion und Winderosion, Bodenproduktivität
Bodenschutz	Wasserhaltekapazität, Off-farm Bodenabfluss
Biodiversität	Genetische Diversität domestizierter Arten, Diversität der natürlichen Fauna und Flora in Agrarlandschaften, Änderung der Zahl gefährdeter Arten in Agrarökosystemen, Einfluß der Biodiversität auf Produktionsverfahren, Einfluß des Off-farm Bodenabflusses auf die Biodiversität
Habitate der natürlichen Fauna und Flora	Intensiv landwirtschaftlich bewirtschaftete Habitate, seminatürliche landwirtschaftliche Habitate, unkultivierte landwirtschaftliche Habitate, Heterogenität (Größe) der Habitate, Variabilität der Habitate (Habitattypen/Flächeneinheit)
Landschaft	Natürliche Eigenschaften, Kulturmerkmale und Management von Agrarlandschaften, Landschaftstypen, Evaluierung gesellschaftlicher Landschaftspräferenzen
Betriebliche Potentiale	Standards für umweltrelevante Produktionsverfahren, Ausgaben für Agrarumweltforschung, Ausbildungsstand der Landwirte, Zahl der Berater mit Ausbildung zu umweltverträglichen Produktionsverfahren
Betriebsmanagement	Elemente (Matrix) umweltverträglicher Produktionsverfahren (mit Nährstoff-, PSM-, Wasser-, Bodenmanagement), Index der Implementierung umweltverträglicher Produktionsverfahren
Betriebliche Finanzmittel	Öffentliche und private Ausgaben für Agrar-Umweltbelange, betrieblicher Finanzausgleich, Anpassung der betrieblichen Einkommensquellen an die Reduzierung des Verbrauchs an natürliche Ressourcen und der Umweltbelastung
Soziokulturelle Aspekte (Lebensfähigkeit des ländlichen Raums)	Anteil des landwirtschaftlichen Einkommens im Verhältnis zum Gesamteinkommen ländlicher Haushalte, Einstieg neuer Landwirte in die Landwirtschaft, Sozialkapital in landwirtschaftlichen und ländlichen Gemeinden

Quelle: Eigene Darstellung nach: PIORR (1998), S. 76; DIEPENBROCK et al. (1998), S. 8

Anhang 4: Herleitung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

1. Schritt: Bestimmung der Bodenartenuntergruppe

2. Schritt: Nutzbare Feldkapazität bzw. das pflanzenverfügbare Wasser bestimmen

Durch Multiplikation der in Volumenprozent angegebenen nutzbaren Feldkapazitäten mit dem jeweiligen Bodenvolumen (10 cm = 100 Liter oder mm) kann die nutzbare Feldkapazität des durchwurzelbaren Bodens (nFK_{WE}) berechnet werden.

Bei grundwasserbeeinflussten Böden muß auch noch der kapillare Aufstieg berechnet werden. Dieser errechnet sich aus der kapillaren Aufstiegsrate multipliziert mit der Zeitspanne des Hauptwachstums (Getreide 60 Tage, Getreide incl. Zwischenfrüchte 120 Tage, Hackfrüchte 90 Tage). Durch Addition der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum und der kapillaren Aufstiegsmenge wird das pflanzenverfügbare Bodenwasser ermittelt.

Tabelle A4-1: Feldkapazität (FK), nutzbare Feldkapazität (nFK) und effektive Durchwurzelungstiefe (in dm) der Bodenartenuntergruppen

Hauptgruppe	Untergruppe	Kurzzeichen	FK (%)	nFK (%)	Tiefe
Sand	reiner Sand	Ss	18	12	6
	schwach schluffiger Sand	Su2	24	16	7
	schwach lehmiger Sand	Sl2	24	16	7
	mittel lehmiger Sand	Sl3	24	16	8
	schwach toniger Sand	St2	24	16	8
	mittel schluffiger Sand	Su3	29	21	7
	stark schluffiger Sand	Su4	29	21	7
Lehm	schluffig-lehmiger Sand	Slu	31,5	21	9
	stark lehmiger Sand	Sl4	29	16	9
	mittel toniger Sand	St3	29	16	9
	schwach sandiger Lehm	Ls2	33	15,5	10
	mittel sandiger Lehm	Ls3	33	15,5	10
	stark sandiger Lehm	Ls4	33	15,5	10
	schwach toniger Lehm	Lt2	41	14,5	10
	sandig toniger Lehm	Lts	41	14,5	10
Schluff	reiner Schluff	Uu	36	24,5	10
	sandiger Schluff	Us	33	23,5	10
	schwach toniger Schluff	Ut2	36	24,5	11
	mittel toniger Schluff	Ut3	36	24,5	11
	sandig-lehmiger Schluff	Uls	33	23,5	11
	stark toniger Schluff	Ut4	36	20,5	11
	schluffiger Lehm	Lu	36,5	17	11
	Ton	mittel toniger Lehm	Lt3	40	15,5
mittel schluffiger Ton		Tu3	40	15,5	11
stark schluffiger Ton		Tu4	40	15,5	
lehmiger Ton		Tl	50	14,5	
schwach schluffiger Ton		Tu2	50	14,5	

Quelle: Eigene Darstellung nach FREDE und DABBERT, 1998, S. 41f

Tabelle A4-2: Zuschlag zur FK bzw. nFK bei Humusgehalten von mehr als 1 %

Humusgehalt (%)	Bodenart	FK (%)	nFK (%)
1 bis 2	alle außer Tt	2,0	0,5
	Tt	3,5	2,0
2 bis 4	alle außer Tt	4,0	1,5
	Tt	7,5	5,0
4 bis 8	alle außer Tt	9,0	3,5
	Tt	13,0	10,5
8 bis 15	alle außer Tt	12,5	7,0

Quelle: Eigene Darstellung nach FREDE und DABBERT, 1998, S. 43

3. Schritt: Sickerwassermenge ermitteln

Lässt sich näherungsweise mit Hilfe des pflanzenverfügbaren Wassers, der Winter- und Sommerniederschlagsmenge und der potentiellen Evapotranspiration nach HAUDE bestimmen. Falls es keine Angaben zu letzterer Größe gibt, kann hier mit einem Wert von 500 gerechnet werden.

Berechnung der Sickerwassermenge unter Acker (vgl. RENGER et al., 1990):

$$V = 0,92 \cdot W_j + 0,61 \cdot S_j - 153 \cdot \log(W_{pfl}) - 0,12 \cdot E_{Haude} + 109$$

Alternativ bei Grünland (vgl. RENGER et al., 1990):

$$V = 0,90 \cdot W_j + 0,52 \cdot S_j - 286 \cdot \log(W_{pfl}) - 0,10 \cdot E_{Haude} + 330$$

mit: V = Sickerwassermenge bzw. Grundwasserneubildung in mm/a

W_j = Winterniederschlag in mm (01.10. - 31.03.)

S_j = Sommerniederschlag in mm (01.04 - 30.09.)

W_{pfl} = Pflanzenverfügbares Bodenwasser

E_{Haude} = Potentielle Evapotranspiration nach HAUDE

4. Schritt: Austauschhäufigkeit (AH) des Bodenwassers bestimmen

$$AH = (\text{Sickerwassermenge}/FK_{WE}) \cdot 100$$

Bei einer Austauschhäufigkeit unter 100 % entspricht der Austauschfaktor (AF) dem Relativwert der Austauschhäufigkeit, bei Werten über 100 % entspricht er 1

Quelle: FREDE und DABBERT, 1998, S. 40ff

Anhang 5: Kurz- und langfristige Relativ-Ertragsfunktionen

Funktionstyp $Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$

Kurzfristige normierte Relativ-Ertragsfunktion

Kulturart	a	b	c
Winterweizen	0,56003	0,87995	-0,43997
Sommerweizen	0,63715	0,72569	-0,36285
Wintergerste	0,55628	0,88745	-0,44372
Sommergerste	0,60382	0,79236	-0,39618
Winterroggen	0,61858	0,76284	-0,38142
Hafer	0,60609	0,78783	-0,39391
Mais	0,65631	0,68739	-0,34369
Winterraps	0,64041	0,71917	-0,35959
Ackerbohnen	0,60981	0,78038	-0,39019
Sonnenblumen	0,60981	0,78038	-0,39019
Zuckerrüben	0,66875	0,66251	-0,33125
Futtermüben	0,66342	0,67316	-0,33658
Kartoffeln	0,67920	0,64160	-0,32080
Ölrettich	0,33680	1,32640	-0,66320
Kleegrass	0,35393	1,29214	-0,64607
2-Schnitt Grünland	0,41391	1,17218	-0,58609
3-Schnitt Grünland	0,37070	1,25860	-0,62930
4-Schnitt Grünland	0,31640	1,36719	-0,68360

Quelle: Eigene Darstellung nach KRAYL, 1993, S. 100

Langfristige normierte Relativ-Ertragsfunktion

Kulturart	a	b	c
Winterweizen	0,46261	1,07478	-0,53739
Sommerweizen	0,46654	1,06691	-0,53346
Wintergerste	0,45898	1,08204	-0,54102
Sommergerste	0,43403	1,13195	-0,56597
Winterroggen	0,52053	0,95894	-0,47947
Hafer	0,43620	1,12761	-0,56380
Mais	0,50053	0,99894	-0,49947
Winterraps	0,54279	0,91441	-0,45721
Ackerbohnen	0,54795	0,90411	-0,45205
Sonnenblumen	0,54795	0,94011	-0,45205
Zuckerrüben	0,60845	0,78311	-0,39155
Futtermüben	0,54597	0,90806	-0,45403
Kartoffeln	0,61937	0,76126	-0,38063
Ölrettich	0,21334	1,57333	-0,78666
Kleegrass	0,45393	1,09214	-0,54607
2-Schnitt Grünland	0,51391	0,97218	-0,48609
3-Schnitt Grünland	0,52070	0,95860	-0,47930
4-Schnitt Grünland	0,51640	0,96720	-0,48360

Quelle: Eigene Darstellung nach KRAYL, 1993, S. 102

Anhang 6: Methode zur Herleitung von N_{\max} zur Bestimmung einer Absolut- aus einer Relativ-Ertragsfunktion

Gegeben:

- Relativ-Ertragsfunktion (langfristig) nach KRAYL (1993) auf Punkt (1/1) normiert

$$Y_{\text{rel}} = a_{\text{rel}} + b_{\text{rel}} \cdot N_{\text{rel}} + c_{\text{rel}} \cdot N_{\text{rel}}^2$$
- Standortabhängiges Ertragsoptimum der Absolut-Ertragsfunktion mit dazugehöriger N-Düngung

$$Y_{\text{opt}}, N_{\text{opt}}$$
- P_P : Produktpreis
- P_N : Faktorpreis
- Beziehungen aus der Definition der Absolut- und der Relativ-Ertragsfunktion:

$$a_{\text{abs}} = a_{\text{rel}} \cdot Y_{\text{max}}, \quad b_{\text{abs}} = b_{\text{rel}} \cdot Y_{\text{max}} / N_{\text{max}} \quad \text{und} \quad c_{\text{abs}} = c_{\text{rel}} \cdot Y_{\text{max}} / N_{\text{max}}^2$$

Damit könnte die Absolut-Funktion bei Kenntnis von N_{\max} und Y_{\max} abgeleitet werden. Diese sind aber nicht bekannt.

Gesucht:

- Verlauf der Absolut-Ertragsfunktion für den jeweiligen Standort

$$Y_{\text{abs}} = a_{\text{abs}} + b_{\text{abs}} \cdot N_{\text{abs}} + c_{\text{abs}} \cdot N_{\text{abs}}^2$$

Herleitung:

Die Erlösfunktion stellt sich folgendermaßen dar:

$$E(N) = Y_{\text{abs}} \cdot P_P - N_{\text{abs}} \cdot P_N - \text{Fixkosten}$$

Für die optimale spezielle Intensität gilt bei abnehmenden Grenzerträgen, wie sie hier gegeben sind (c ist immer negativ):

Aus:

$$\frac{dY}{dN} = 2 \cdot c_{\text{abs}} \cdot N + b_{\text{abs}} \Rightarrow$$

$$0 = E'(N) = (2 \cdot c_{\text{abs}} \cdot N_{\text{opt}} + b_{\text{abs}}) \cdot P_P - P_N$$

Diese Beziehung kann folgendermaßen umgeformt werden

$$N_{\text{opt}} = \frac{P_N - b_{\text{abs}} \cdot P_P}{2 \cdot c_{\text{abs}} \cdot P_P} \quad (1)$$

Durch Einsetzen der Umformungen der relativen in absolute Parameter:

$$N_{\text{opt}} = \frac{P_N - b_{\text{rel}} \cdot \frac{Y_{\text{max}}}{N_{\text{max}}} \cdot P_P}{2 \cdot c_{\text{rel}} \cdot \frac{Y_{\text{max}}}{N_{\text{max}}^2} \cdot P_P} \quad (2)$$

$$2 \cdot c_{\text{rel}} \cdot \frac{Y_{\text{max}}}{N_{\text{max}}^2} \cdot P_P \cdot N_{\text{opt}} = P_N - b_{\text{rel}} \cdot \frac{Y_{\text{max}}}{N_{\text{max}}} \cdot P_P \quad \left[\cdot N_{\text{max}}^2 \right] \quad (2^*)$$

$$2 \cdot c_{\text{rel}} \cdot Y_{\text{max}} \cdot P_P \cdot N_{\text{opt}} = N_{\text{max}}^2 \cdot P_N - b_{\text{rel}} \cdot Y_{\text{max}} \cdot P_P \cdot N_{\text{max}} \quad (3)$$

$$Y_{\text{max}} \cdot (2c_{\text{rel}} \cdot P_P \cdot N_{\text{opt}} + b_{\text{rel}} \cdot P_P \cdot N_{\text{max}}) = N_{\text{max}}^2 \cdot P_N \quad (4)$$

$$Y_{\max} = \frac{N_{\max}^2 \cdot P_N}{2c_{rel} \cdot P_P \cdot N_{opt} + b_{rel} \cdot P_P \cdot N_{\max}} \quad (5)$$

(N_{opt}/Y_{opt}) ist ein Punkt auf der Absolutfunktion. Damit besteht folgende Beziehung zwischen N_{opt} und Y_{opt} :

$$Y_{opt} = a_{abs} + b_{abs} \cdot N_{opt} + c_{abs} \cdot N_{opt}^2 \quad (6)$$

Diese Beziehung kann umgeformt werden zu:

$$Y_{opt} = a_{rel} \cdot Y_{\max} + b_{rel} \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}} \cdot N_{opt} + c_{rel} \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}^2} \cdot N_{opt}^2 \quad \left[\cdot N_{\max}^2 \right] \quad (7)$$

$$Y_{opt} \cdot N_{\max}^2 = a_{rel} \cdot Y_{\max} \cdot N_{\max}^2 + b_{rel} \cdot Y_{\max} \cdot N_{opt} \cdot N_{\max} + c_{rel} \cdot Y_{\max} \cdot N_{opt}^2 \quad (8)$$

$$Y_{\max} = \frac{Y_{opt} \cdot N_{\max}^2}{a_{rel} \cdot N_{\max}^2 + b_{rel} \cdot N_{opt} \cdot N_{\max} + c_{rel} \cdot N_{opt}^2} \quad (9)$$

Setzt man Gleichung (5) und (9) gleich so erhält man folgende Formel:

$$\begin{aligned} P_N \cdot (a_{rel} \cdot N_{\max}^2 + b_{rel} \cdot N_{opt} \cdot N_{\max} + c_{rel} \cdot N_{opt}^2) \\ = Y_{opt} \cdot (2c_{rel} \cdot P_P \cdot N_{opt} + b_{rel} \cdot P_P \cdot N_{\max}) \end{aligned} \quad (10)$$

Gleich 0 gesetzt ergibt sich:

$$\begin{aligned} P_N \cdot a_{rel} \cdot N_{\max}^2 + P_N \cdot b_{rel} \cdot N_{opt} \cdot N_{\max} + P_N \cdot c_{rel} \cdot N_{opt}^2 - Y_{opt} \cdot 2c_{rel} \cdot P_P \cdot N_{opt} \\ - Y_{opt} \cdot b_{rel} \cdot P_P \cdot N_{\max} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Nach N_{\max} aufgelöst ergibt sich:

$$\begin{aligned} (P_N \cdot a_{rel}) \cdot N_{\max}^2 + (P_N \cdot b_{rel} \cdot N_{opt} - Y_{opt} \cdot b_{rel} \cdot P_P) \cdot N_{\max} \\ + (P_N \cdot c_{rel} \cdot N_{opt}^2 - Y_{opt} \cdot 2c_{rel} \cdot P_P \cdot N_{opt}) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} N_{\max 1,2} = \frac{Y_{opt} \cdot b_{rel} \cdot P_P - P_N \cdot b_{rel} \cdot N_{opt}}{2P_N \cdot a_{rel}} \pm \\ \frac{\sqrt{(P_N \cdot b_{rel} \cdot N_{opt} - Y_{opt} \cdot b_{rel} \cdot P_P)^2 - 4P_N \cdot a_{rel}(c_{rel} \cdot N_{opt}(P_N \cdot N_{opt} - 2Y_{opt} \cdot P_P))}}{2P_N \cdot a_{rel}} \end{aligned} \quad (13)$$

Somit lassen sich zwei verschiedene N_{\max} aus gegebenen Variablen berechnen. N_{\max} nimmt einen unrealistischen Wert an, wenn der Ausdruck unter der Wurzel addiert wird, nur eine Subtraktion dieses Ausdruckes ergibt realistische Werte. Somit wird nur das betreffende N_{\max} verwendet. Das andere wird diskriminiert. Y_{\max} bestimmt sich darauf aufbauend aus (9). Mit diesen beiden Werten lassen sich die Parameter der Absolutfunktion für den jeweiligen Standort berechnen.

Anhang 7: Tabellen und Vorgaben zur Herleitung des C-Faktors der ABAG

Tabelle A7-1: Summenprozent der R-Faktoren-Anteile (relative Verteilung) anhand bayerischer Verhältnisse

Tag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
1	0,01	0,12	0,73	1,5	4,6	15,0	43,7	63,8	84,6	94,2	97,4	98,9
2	0,01	0,12	0,74	1,5	4,8	15,9	44,2	64,3	85,0	94,2	97,4	98,9
3	0,01	0,13	0,74	1,5	4,9	16,2	45,0	65,4	85,4	94,2	97,5	98,9
4	0,02	0,13	0,74	1,5	5,3	17,9	45,6	66,9	85,5	94,6	97,5	98,9
5	0,03	0,15	0,74	1,5	5,7	18,1	46,2	67,7	85,7	94,7	97,5	98,9
6	0,03	0,16	0,74	1,6	6,0	18,6	46,9	68,4	86,0	94,7	97,6	98,9
7	0,03	0,16	0,77	1,7	6,2	19,7	47,9	68,7	86,5	94,7	97,6	98,9
8	0,03	0,17	0,77	1,7	6,3	21,0	48,3	69,2	87,1	94,7	97,6	99,0
9	0,05	0,37	0,77	1,8	7,1	22,7	48,7	70,2	87,1	94,8	97,7	99,1
10	0,05	0,42	0,77	1,9	7,2	24,1	49,0	71,0	88,0	95,3	97,7	99,2
11	0,05	0,45	0,79	2,0	7,3	24,8	49,4	71,4	88,6	95,5	97,7	99,2
12	0,07	0,49	0,85	2,1	7,4	25,0	50,2	72,7	89,0	95,5	97,7	99,2
13	0,07	0,49	0,85	2,1	7,8	25,3	20,3	73,9	89,5	95,6	97,8	99,2
14	0,07	0,49	0,86	2,1	8,3	26,1	50,9	75,2	89,9	95,6	97,8	99,3
15	0,07	0,49	0,86	2,1	8,9	26,7	51,5	75,3	90,2	96,0	97,9	99,4
16	0,07	0,49	0,87	2,2	9,1	27,6	53,0	75,8	90,4	96,1	97,9	99,5
17	0,07	0,49	0,89	2,2	9,5	28,0	54,2	77,6	91,1	96,1	97,9	99,6
18	0,08	0,49	0,92	2,7	10,2	28,3	54,8	78,1	91,1	96,4	97,9	99,6
19	0,08	0,49	0,93	2,7	10,7	31,0	55,5	78,7	91,7	96,4	98,0	99,6
20	0,08	0,53	1,03	2,8	10,9	32,0	55,8	79,5	91,8	96,7	98,4	99,6
21	0,08	0,55	1,09	2,9	11,2	33,5	56,9	80,4	91,9	96,7	98,7	99,6
22	0,08	0,57	1,10	3,0	11,8	34,5	57,3	81,1	92,2	96,7	98,7	99,6
23	0,08	0,58	1,11	3,2	11,9	36,5	58,7	81,7	92,3	96,8	98,8	99,6
24	0,08	0,58	1,12	3,5	12,2	37,3	60,1	82,3	93,2	96,8	98,9	99,6
25	0,09	0,58	1,26	3,6	12,5	38,3	60,3	82,7	93,4	96,9	98,9	99,6
26	0,10	0,61	1,27	3,8	13,0	38,5	61,0	83,0	93,4	96,9	98,9	99,7
27	0,10	0,70	1,27	3,9	13,3	40,5	61,6	83,2	93,7	97,0	98,9	99,8
28	0,10	0,72	1,38	4,3	14,0	41,8	62,0	83,7	93,8	97,1	98,9	99,9
29	0,11		1,47	4,4	14,3	42,1	62,7	84,1	94,0	97,3	98,9	99,9
30	0,12		1,48	4,5	14,6	42,8	63,7	84,1	94,1	97,3	98,9	100
31	0,12		1,49		14,8		63,7	84,3		97,3		100

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 45

Tabelle A7-2: Einteilung der Kulturartenperioden

Periode	Nr.	Erläuterung
Bodenbearbeitung (BB) bis Saatbett (SB) wendend	1a	Zeit zwischen wendender Bodenbearbeitung und Aussaat der folgenden Frucht
BB bis SB nicht wendend	1b	Tritt an Stelle von 1a, wenn statt wendender BB eine nicht wendende BB erfolgt Bei Direktsaat entfällt Periode 1 vollständig
SB bis 10 % Bodenbedeckung	2	Zeit von der Saatbettbereitung bis zu einer Bodenbedeckung von 10 % durch die Kulturpflanze
10 % bis 50 %	3	Zeit von 10 bis 50 % Bodenbedeckung
50 % bis 75 %	4	Zeit von 50 bis 75% Bodenbedeckung
75 % bis Ernte	5	Zeit von 75 % Bodenbedeckung bis zur Ernte
Ernte bis Bodenbedeckung	6	Für diese Periode gibt es folgende Möglichkeiten: <ul style="list-style-type: none"> • Liegenlassen von Stoppeln und Stroh bis BB • flaches Einarbeiten von Stoppeln und Stroh bis BB • Einarbeiten von Stoppeln und Stroh mit Grubber und anschl. Gründüngung (ohne feines Saatbett für die Gründüngung)

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 41

Tabelle A7-3: Mittlerer Beginn der Perioden (Bayerische Verhältnisse)

Frucht und Bestelltechnik	2	3	4	5	6
W-Weizen	20.10.	10.03.	15.04.	24.04.	15.08.
S-Weizen	15.03.	15.04.	25.04.	01.05.	20.08.
W-Gerste	20.09.	10.10.	10.11.	10.03.	20.07.
S-Gerste	20.03.	15.04.	25.04.	01.05.	05.08.
W-Roggen	01.10.	20.10.	25.11.	25.03.	10.08.
W-Raps	20.08.	05.09.	10.10.	15.11.	20.07.
Kartoffeln	10.04.	30.05.	15.06.	22.06.	20.09.
Zuckerrüben	01.04.	02.06.	15.06.	26.06.	20.10.
Leguminosen	20.03.	15.04.	25.04.	01.05.	15.08.

Quelle: Eigene Darstellung nach SCHWERTMANN ET AL., S. 46

Der Beginn der Periode 1 hängt vom Zeitpunkt der Bodenbearbeitung nach der Vorfrucht ab und kann daher nicht generell angegeben werden

Tabelle A7-4: Relativer Bodenabtrag der einzelnen Perioden für die verschiedenen Kulturpflanzen

Frucht und Bestelltechnik	1a	1b	2	3	4	5	6
Getreide konv.	32	-	46	38	3	1	2
Getreide minimal BB		8	8	6	1	1	2
Raps	32	-	46	38	3	1	2
Kartoffeln	32	-	80	40	5	7,5	44
Zuckerrüben	32	-	85	45	5	3	44
ZR Mulchsaat	20	8	9	6	3	3	15

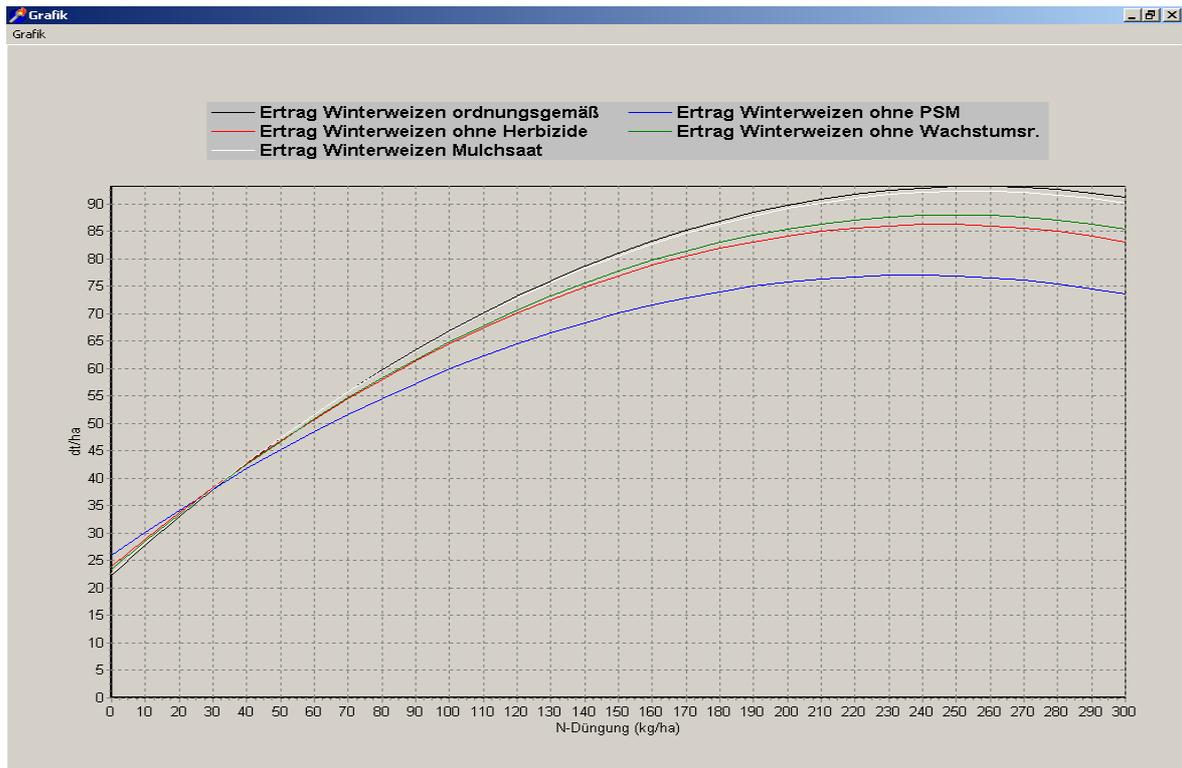
Quelle: eigene Darstellung nach SCHWERTMANN ET AL., 1990, S. 41

Anhang 8: Modellteil Ertragsfunktion

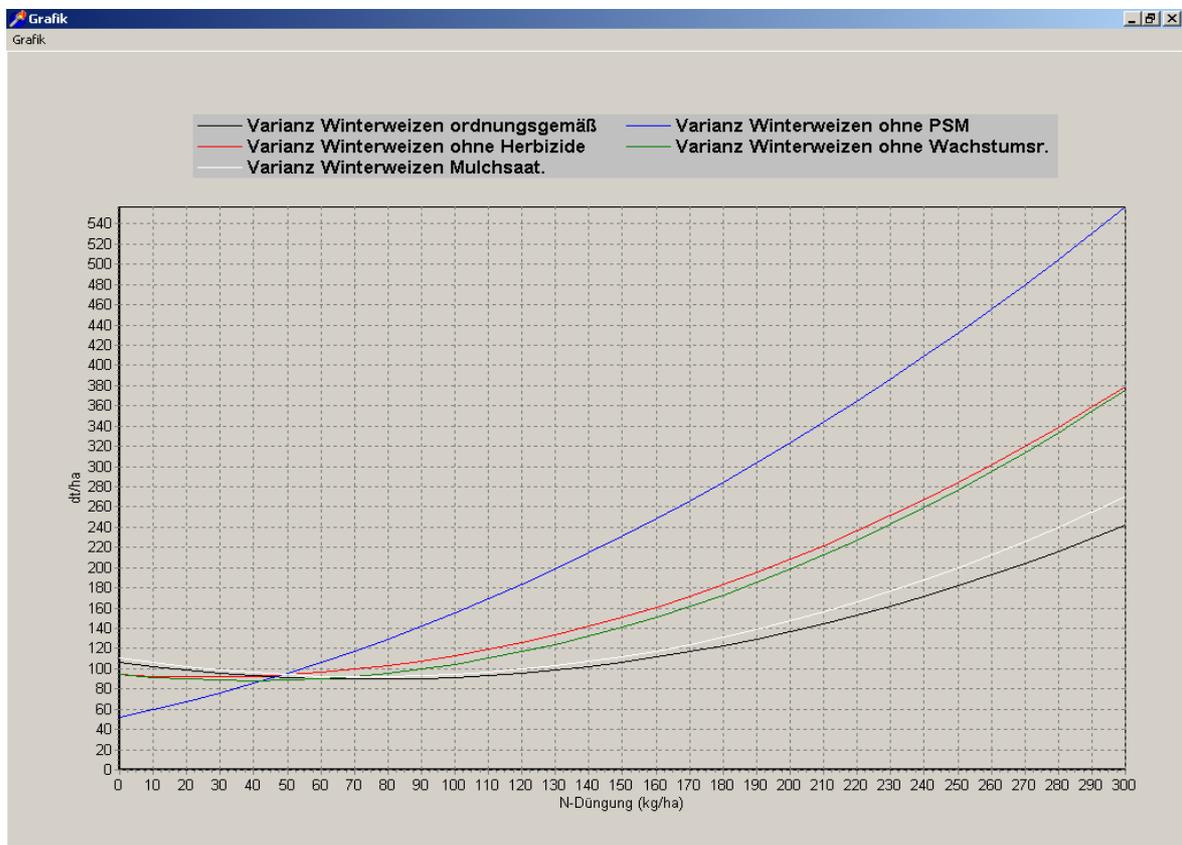
Tabellenblatt Ertragsfunktion Winterweizen

C:\NT4\Profiles\busenkell\Eigene Dateien\Modellbetriebe\NRW\Düren\Ertragsfunktionen\Düren_Daten.vts									
Datei Bearbeiten Ansicht Format Ertragsfunktion Hilfe									
B3 89									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Fruchtart	Winterweizen							
2	Jahr	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Mittelwert
3	Ertrag	89,00	86,00	93,00	87,50	95,00	85,00	107,00	91,79
4	Produktpreis	14,52	14,67	13,80	13,10	12,26	12,62	12,07	13,29
5	N-Dünger	195	177	185	185	181	194	181	185,43
6	N-Min	48	51	50	60	30	60	55	50,57
7	N-Preis	0,59	0,64	0,58	0,51	0,46	0,55	0,66	0,57
8		a-rel	b-rel	c-rel					
9	Parameter	0,46261	1,07478	-0,53739					
10	Y-opt	91,79							
11	N-opt	236,00	AZ	76					
12	Y-max	92,44	N-Nachlieferung in Abhängigkeit von Ackerzahl						
13	N-max	266,70	AZ < 40	AZ 40 -<60	AZ > 60				
14	VK Ertrag	15,37	0	0	10				
15	Standardabweichung	14,21	ohne WR	ohne Herbizide	ohne PSM	Mulch			
16	Y-Log	4,52	4,44	4,43	4,29	4,50			
17	STAW-Log	0,16	0,20	0,21	0,29	0,17			
18	N-Gehalt Kultur	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41			
19	N-Nachlieferung	10	10	10	10	10			
20	VK Nachlieferung	40	40	40	40	40			
21	a-abs	22,42	23,52	23,96	25,99	22,71			
22	b-abs	0,55227	0,51706	0,50856	0,42921	0,54674			
23	c-abs	-0,00108	-0,00104	-0,00104	-0,00090	-0,00107			
24	Bestimmtheitsmaß	0,99690	0,99719	0,99771	0,99334	0,99693			
25	Varianzfunktion								
26	a	106,46	94,35	94,10	52,48	111,18			
27	b	-0,44864	-0,31556	-0,19140	0,70015	-0,51723			
28	c	0,00300	0,00418	0,00381	0,00327	0,00349			
29	Bestimmtheitsmaß	0,90083	0,95048	0,92348	0,94680	0,92519			

Grafik Ertragsfunktion Winterweizen



Grafik Varianzfunktion Winterweizen



Quelle: Delphi Modell

Anhang 9: Tabellenblätter im Modellteil *Fruchtfolge*

Tabelleblatt „Übersicht“

Betrieb	Einheit	Düren 2004	2005	2006	2007	2008
Jahr						
Fläche	ha	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Wintergerste	ha	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Winterweizen	ha	34,00	34,00	34,00	34,00	34,00
Winterroggen	ha					
Sommergerste	ha					
Sommerweizen	ha					
Winterraps	ha					
Zuckerrüben	ha	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Kartoffeln	ha	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Ackerbohnen	ha					
Körnererbsen	ha					
Zwischenfrüchte	ha	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Stillegung	ha	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Ökologische Ausgleichsflächen	ha					
Schon- und Ackerrandstreifen	ha					
Erosionsgefährdete Flächen	Anzahl Schläge					
Zuckerrübenkontingente						
A-Quote	dt	10.890				
B-Quote	dt	3.270				
A-Rübenpreis	€/dt	5,47				
B-Rübenpreis	€/dt	3,52				
C1-Rübenpreis	€/dt	1,47				
C2-Rübenpreis	€/dt	0,74				

Tabellenblatt „Nährstoffe“

Jahr	Einheit	Betrieb	Düren		2006	2007	2008
		2004	2005	OrdnungsgeräÙ			
MaÙnahme		OrdnungsgeräÙ	OrdnungsgeräÙ	OrdnungsgeräÙ	OrdnungsgeräÙ	OrdnungsgeräÙ	OrdnungsgeräÙ
Hauptfrüchte							
Fruchtart		Zuckerrüben	Winterweizen	Wintergerste	Kartoffeln	Winterweizen	
Mineral. Düngung							
N(Opt.Int)	kg/ha	124,03	199,71	159,24	166,92	177,25	
P	kg/ha	206,00			140,00		
K	kg/ha	398,00			250,00		
Org. Düngung							
Gülle Schwein	m³/ha						
Gülle Kuh	m³/ha						
Gülle Mastbulle	m³/ha						
Mist Schwein	t/ha						
Mist Kuh	t/ha						
Mist Mastbulle	t/ha						
N(Gesamt)	kg/ha						
N(pflanzenverfügbar)	kg/ha						
P(Gesamt)	kg/ha						
K(Gesamt)	kg/ha						
Zwischenfrüchte							
Fruchtart							Nicht Leguminose
Mineral. Düngung							
N	kg/ha						
P	kg/ha						
K	kg/ha						
Org. Düngung							
Gülle Schwein	m³/ha						
Gülle Kuh	m³/ha						
Gülle Mastbulle	m³/ha						
Mist Schwein	t/ha						
Mist Kuh	t/ha						
Mist Mastbulle	t/ha						
N(Gesamt)	kg/ha						
P(Gesamt)	kg/ha						
K(Gesamt)	kg/ha						
Preise							
N	Eur/kg	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
P	Eur/kg	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
K	Eur/kg	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Abfuhr Erntereste	ja/nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
N-Bilanz							
N-Min-Frühjahr	kg/ha	69,00	30,08	31,44	61,40	53,26	
N-Zufuhr	kg/ha	124,03	199,71	159,24	166,92	177,25	
N-Fixierung	kg/ha						
N-Abfuhr	kg/ha	106,97	188,92	149,64	160,85	196,12	
N-Bilanz	kg/ha	17,06	10,78	9,60	5,07	-18,86	
Pot. Nitratkonzentration	mg/l			0,28	2,07		
P-Bilanz							
P-Zufuhr	kg/ha	206,00			140,00		
P-Abfuhr	kg/ha	59,43	77,11	72,55	70,37	80,05	
P-Bilanz	kg/ha	146,57	-77,11	-72,55	69,63	-80,05	
K-Bilanz							
K-Zufuhr	kg/ha	398,00			250,00		
K-Abfuhr	kg/ha	148,57	57,83	54,41	301,59	60,04	
K-Bilanz	kg/ha	249,43	-57,83	-54,41	-51,59	-60,04	
Bodenartenuntergruppe		Lu3					
Humusgehalt	Masse-%	2,00					
Feldkapazität	Vcl-%	37,00					
nutzbare Feldkapazität	Vcl-%	17,00					
Durchwurzelungstiefe	dm	10,00					
Mittelwert Sommerniederschlag	mm	356,00					
VK Sommerniederschlag	%	26,00					
Mittelwert Winterniederschlag	mm	401,00					
VK Winterniederschlag	%	23,50					
E-Haude	mm	500,00					

Tabellenblatt „Strukturelemente“

Betrieb	Düren	Boden	LS3			
Jahr	Einheit	2004	2005	2006	2007	2008
Maßnahme		Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß
Flächenstilllegung						
Art		Örtlich	Örtlich	Örtlich	Örtlich	Örtlich
Saatgut	Eur/ha	50	50	50	50	50
Maschinenkosten	Eur/ha	92	92	92	92	92
Kosten gesamt	Eur/ha	142	142	142	142	142
Leistung/Prämien	Eur/ha	366	366	366	366	366
DB	Eur/ha	224	224	224	224	224
Arbeitseinsatz	Akh/ha	5	5	5	5	5
N-Min	kg/ha	69	30	31	61	53
N-Fixierung	kg/ha					
N-Bilanz	kg/ha					
Pot. Nitratkonzentration	mg/l	46,69	0,10	1,73	37,59	27,85
Anlage von Schonstreifen auf Einzelflächen (Nordrhein-Westfalen)						
Bestellung mit gleicher Kultur wie Ackerschlag						
Art						
Fläche	ha					
Saatgut	Eur/ha					
Maschinenkosten	Eur/ha					
Kosten gesamt	Eur/ha					
Leistung/Prämien	Eur/ha					
DB	Eur/ha					
Arbeitseinsatz	Akh/ha					
N-Min	kg/ha					
N-Fixierung	kg/ha					
N-Bilanz	kg/ha					
Pot. Nitratkonzentration	mg/l					
Einsatz einer blühfreudigen heimischen Art						
Art						
Fläche	ha					
Saatgut	Eur/ha					
Maschinenkosten	Eur/ha					
Kosten gesamt	Eur/ha					
Leistung/Prämien	Eur/ha					
DB	Eur/ha					
Arbeitseinsatz	Akh/ha					
N-Min	kg/ha					
N-Fixierung	kg/ha					
N-Bilanz	kg/ha					
Pot. Nitratkonzentration	mg/l					
Selbstbegrünung						
Art						
Fläche	ha					
Maschinenkosten	Eur/ha					
Kosten gesamt	Eur/ha					
Leistung/Prämien	Eur/ha					
DB	Eur/ha					
Arbeitseinsatz	Akh/ha					
N-Min	kg/ha					
N-Fixierung	kg/ha					
N-Bilanz	kg/ha					
Pot. Nitratkonzentration	mg/l					

Fortsetzung Tabellenblatt „Strukturelemente“

Ökologische Ausgleichsflächen (Rheinland- Pfalz)					
Art					
Fläche	ha				
Saatgut	Eur/ha				
Maschinenkosten	Eur/ha				
Kosten gesamt	Eur/ha				
Ertrag	dt (TM)/ha				
Leistung	Eur/ha				
Prämien	Eur/ha				
DB	Eur/ha				
Arbeitseinsatz	Akh/ha				
N-Min	kg/ha				
N-Bilanz	kg/ha				
P-Bilanz	kg/ha				
K-Bilanz	kg/ha				
Pot. Nitratkonzentration	mg/l				
Ackerrandstreifen (Rheinland- Pfalz)					
Art					
Fläche	ha				
Saatgut	Eur/ha				
Maschinenkosten	Eur/ha				
Kosten gesamt	Eur/ha				
Leistung/Prämien	Eur/ha				
DB	Eur/ha				
Arbeitseinsatz	Akh/ha				
N-Min	kg/ha				
Pot. Nitratkonzentration	mg/l				
Saum- und Bandstrukturen (Rheinland- Pfalz)					
Art					
Fläche	ha				
Saatgut	Eur/ha				
Maschinenkosten	Eur/ha				
Kosten gesamt	Eur/ha				
Leistung/Prämien	Eur/ha				
DB	Eur/ha				
Arbeitseinsatz	Akh/ha				
N-Min	kg/ha				
Pot. Nitratkonzentration	mg/l				

Tabellenblatt „Varianzen“

Betrieb	Düren	Boden	LS3			
Jahr	Einheit	2004	2005	2006	2007	2008
Maßnahme		Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß	Ordnungsgemäß
Fruchtart		Zuckerrüben	Winterweizen	Wintergerste	Kartoffeln	Winterweizen
Ertrag	dt/ha	594,30	96,39	90,69	502,64	100,06
StdAbw	dt/ha	82,96	12,81	15,10	84,49	12,81
VK	%	14	13	17	17	13
Preis	Eur/dt	4,91	10,25	9,16	10,50	10,25
StdAbw	Eur/dt	0,40	1,54	1,37	6,30	1,54
DB II	Eur/ha	1998,33	911,48	767,02	3125,78	962,15
StdAbw	Eur/ha	471,27	197,98	186,14	3287,28	202,24
VK	%	24	22	24	105	21

Tabelleblatt „Ergebnisse NRW“

Betrieb	Maßnahme	Einheit	Düren		Boden		Ls3		ohne Dünger		ohne Dünger + PSM		Schonstreifen	
			gesamt	pro Jahr	gesamt	ohne Herbizide	pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr	gesamt	pro Jahr	
Ergebnisse Fruchtfolge														
	Deckungsbeiträge	Euro	7.764,76	1.562,95										
	Standardabweichung	Euro	3.370,31	674,06										
	Variationskoeffizient	%	43,41											
	N-Bilanzen	kg	23,65	4,73										
	P-Bilanzen	kg	-13,51	-2,70										
	K-Bilanzen	kg	25,56	5,11										
	PSM-Aufwand	Euro	1.000,00	200,00										
	Arbeitsaufwand	AKH	95,50	19,10										
	Anteil Zwischenfrüchte	% LF	22,50											
	Pot. Nitratkonzentration	mg/l	0,47											
Ergebnisse Fruchtfolge incl. Stillelegung, Ausgleichsflächen etc.														
	Deckungsbeiträge	Euro	7.266,40	1.453,28										
	Standardabweichung	Euro	3.117,54	623,51										
	Variationskoeffizient	%	42,90											
	N-Bilanzen	kg	21,87	4,37										
	P-Bilanzen	kg	-12,50	-2,50										
	K-Bilanzen	kg	23,64	4,73										
	PSM-Aufwand	Euro	925,00	185,00										
	Arbeitsaufwand	Akh	90,21	18,04										
	Anteil Zwischenfrüchte	% LF	22,50											
	Pot. Nitratkonzentration	mg/l	2,14											
	Kulturartendiversität		1,37											

Quelle: Delphi Modell

Anhang 10: Modellteil Erosion

Tabellenblatt Fruchtfolge:

Betrieb	Einheit	Berg-Land		Region	NRW			
Niederschlag Sommer	mm	357	Mai bis Oktober					
VK Niederschlag	%	26						
R-Faktor		48,83						
K-Faktor		0,23						
Erosive Hanglänge	m	125						
Hangneigung	%	5						
Hangneigungsfaktor		0,5						
LS-Faktor		1,09						
Jahr		2004	2005	2006	2007	2008		
Fruchtart		Zuckerrüben	Winterweizen	Wintergerste	Winterweizen	Winterweizen		
Mulchsaat	ja/nein	nein	nein	nein	nein	nein		
Zwischenfrucht	ja/nein	ja	nein	nein	ja	nein		
C-Faktor		0,07	0,07	0,07	0,07	0,07		
P-Faktor		1	1	1	1	1		
Bodenabtrag	t/ha	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90		
Ackerzahl		55						
tol. Bodenabtrag	t/ha	6,88						
Berechnung C-Faktor								
Frucht	Periode	Datum		R-Faktor Anteil		Diff/100	RBA/100	C-Faktor-Anteil
		Beginn	Ende	Beginn	Ende			
Zuckerrüben	BB-SB	15.11	01.04	97,9	1,5	0,036	0,32	0,012
	SB-10%	01.04	02.06	1,5	15,9	0,144	0,85	0,122
	10%-50%	02.06	15.06	15,9	26,7	0,108	0,45	0,049
	50%-75%	15.06	26.06	26,7	38,5	0,118	0,05	0,006
	75%-Ernte	26.06	20.10	38,5	96,7	0,582	0,03	0,017
	Ernte-BB	20.10	25.10	96,7	96,9	0,002	0,44	0,001
Winterweizen	BB-SB	25.10	01.11	96,9	98,9	0,020	0,32	0,006
	SB-10%	01.11	10.03	98,9	0,8	0,019	0,46	0,009
	10%-50%	10.03	15.04	0,8	2,1	0,013	0,38	0,005
	50%-75%	15.04	24.04	2,1	3,5	0,014	0,03	0,000
	75%-Ernte	24.04	10.08	3,5	71,0	0,675	0,01	0,007
	Ernte-BB	10.08	10.09	71,0	88,0	0,170	0,02	0,003
Wintergerste	BB-SB	10.09	20.09	88,0	91,8	0,038	0,32	0,012
	SB-10%	20.09	10.10	91,8	95,3	0,035	0,46	0,016
	10%-50%	10.10	10.11	95,3	97,7	0,024	0,38	0,009
	50%-75%	10.11	10.03	97,7	0,8	0,031	0,03	0,001
	75%-Ernte	10.03	20.07	0,8	55,8	0,550	0,01	0,006
	Ernte-BB	20.07	05.11	55,8	97,5	0,417	0,02	0,008
Winterweizen	BB-SB	05.11	10.11	97,5	97,7	0,002	0,32	0,001
	SB-10%	10.11	10.03	97,7	0,8	0,031	0,46	0,014
	10%-50%	10.03	15.04	0,8	2,1	0,013	0,38	0,005
	50%-75%	15.04	24.04	2,1	3,5	0,014	0,03	0,000
	75%-Ernte	24.04	10.08	3,5	71,0	0,675	0,01	0,007
	Ernte-BB	10.08	01.10	71,0	94,2	0,232	0,02	0,005
Winterweizen	BB-SB	01.10	10.10	94,2	95,3	0,011	0,32	0,004
	SB-10%	10.10	10.03	95,3	0,8	0,055	0,46	0,025
	10%-50%	10.03	15.04	0,8	2,1	0,013	0,38	0,005
	50%-75%	15.04	24.04	2,1	3,5	0,014	0,03	0,000
	75%-Ernte	24.04	10.08	3,5	71,0	0,675	0,01	0,007
	Ernte-BB	10.08	15.11	71,0	97,9	0,269	0,02	0,005
								0,367

Quelle: Delphi Modell

Anhang 11: Modellteil Ergebnisse

Tabellenblatt Betrieb

Betrieb	Düren		Ordnungsgemäß	Ohne Herbizide	Ohne Dünger	Ohne Dünger + PSM	Schonstreifen	Erosionsschutz
	Einheit	Gesamt						
Anbauumfänge								
Fläche	ha	400,00		400,00	400,00	400,00	400,00	Gesamt
Wintergerste	ha	30,00		30,00			25,00	
Winterweizen	ha	170,00		167,50	136,00	136,00	165,00	
Winterroggen	ha							
Sommergerste	ha							
Sommerweizen	ha							
Winterraps	ha							
Zuckerrüben	ha	120,00		122,50	139,00	139,00	120,00	
Kartoffeln	ha	50,00		50,00	50,00	50,00	50,00	
Ackerbohnen	ha							
Kömmerbsen	ha				50,00	50,00		
Zwischenfrüchte	ha	90,00		92,50	114,00	114,00	90,00	
Stillelegung	ha	30,00		30,00	25,00	25,00	30,00	
Ökologische Ausgleichsflächen	ha							
Ackerrandstreifen/Bandstrukturen	ha						10,00	
Ergebnisse flächenbezogen								
Gesamtertrag	GE/ha	108,64		103,64	82,84	79,23	106,39	
Deckungsbeitrag	Eur/ha	1.463,72		1.462,46	1.297,24	1.317,04	1.460,69	
Standardabweichung	Eur/ha	444,99		434,84	415,92	401,08	445,73	
Variationskoeffizient	%	30,40		29,73	32,06	30,45	30,51	
N-Bilanz	kg/ha	8,00		8,03	-16,69	-13,05	7,65	
P-Bilanz	kg/ha	14,08		13,84	-9,18	-7,19	15,92	
K-Bilanz	kg/ha	39,48		38,91	29,43	34,43	40,79	
PSM-Aufwand	Eur/ha	178,58		95,64	143,83	11,25	174,84	
Arbeitsaufwand	Akh/ha	17,65		24,34	19,60	26,15	17,54	
Arbeitsverwertung DB	Eurr/Akh/ha	82,93		60,08	66,18	50,37	83,30	
Anteil Zwischenfrüchte	%	22,50		23,13	28,50	28,50	22,50	
Pot. Nitratkonzentration	mg/l	2,41		6,00	1,76	1,81	2,82	
Kulturartdiversität	%	1,38		1,38	1,44	1,44	1,36	
Pot. Landschaftsstrukturelemente	dü/ha						2,50	
Ergebnisse produktionsbezogen								
N-Bilanz	kg/dt	0,07		0,08	-0,20	-0,16	0,07	
P-Bilanz	kg/dt	0,13		0,13	0,11	-0,09	0,15	
K-Bilanz	kg/dt	0,36		0,38	0,36	0,43	0,38	
PSM-Aufwand	Eur/dt	1,64		0,92	1,74	0,14	1,64	
Arbeitsaufwand	Akh/dt	0,16		0,23	0,24	0,33	0,16	
Pot. Nitratkonzentration	mg/l	0,02		0,06	0,02	0,02	0,03	
Pot. Bodenabtrag	dt/dt							

Tabellenblatt Fruchtfolge

Betrieb	Maßnahme	Einheit	Düren	Ohne Herbizide	Ohne Dünger	Ohne Dünger + PSM	Schonstreifen	Erosionsschutz
	Ergebnisse flächenbezogen							
	Deckungsbeitrag	Eur/ha	1.455,43	1.435,85	1.252,00	1.271,18	1.432,76	
	Standardabweichung	Eur/ha	625,20	599,87	541,56	514,56	608,30	
	Variationskoeffizient	%	42,96	41,78	43,26	40,48	42,46	
	N-Bilanz	kg/ha	4,44	5,88	-16,73	-13,05	4,32	
	P-Bilanz	kg/ha	-2,55	-2,05	-11,33	-9,16	-2,49	
	K-Bilanz	kg/ha	4,59	5,10	19,22	25,21	4,47	
	PSM-Aufwand	Eur/ha	185,00	112,48	134,25	16,88	180,00	
	Arbeitsaufwand	Akh/ha	18,04	23,04	19,16	23,56	17,63	
	Arbeitsverwertung DB	Eur/Akh/ha	80,67	62,33	65,36	53,95	81,29	
	Pot. Nitratkonzentration	mg/l						
	Pot. Bodenabtrag	dt/ha	2,07	7,85	1,12	1,15	2,18	

Quelle: Delphi Modell

Anhang 12: Herleitung der Quantilverschiebung am Beispiel Herbizidverzicht von Winterweizen

	Ertrag behandelt (trendbereinigt) dt/ha	LN (Ertrag)	Ertrag ohne Herbizide (trendbereinigt) dt/ha	LN (Ertrag ohne Herbizide)
	119,1	4,8	119,24	4,78
	110,1	4,7	108,47	4,69
	132,8	4,9	119,43	4,78
	74,9	4,3	67,07	4,21
	101,9	4,6	103,16	4,64
	110,2	4,7	100,88	4,61
	99,1	4,6	84,84	4,44
	106,3	4,7	102,88	4,63
	117,8	4,8	113,17	4,73
	96,4	4,6	98,88	4,59
	87,5	4,5	84,27	4,43
	65,2	4,2	43,25	3,77
	72,2	4,3	61,47	4,12
	94,2	4,5	90,61	4,51
	93,0	4,5	93,50	4,54
	94,9	4,6	95,70	4,56
	112,3	4,7	108,40	4,69
	100,2	4,6	68,10	4,22
	88,0	4,5	82,70	4,42
Mittelwert		4,6		4,5
Standardabweichung		0,18		0,26

mit LN = natürlicher Logarithmus

Wert des 5 % Quantils der behandelten logarithmierten Variante: 4,28

Dieser Wert ist bei der unbehandelten logarithmierten Variante das 21 % Quantil.

Quelle: Eigene Berechnungen (Microsoft Excel)

Anhang 13: Berechnung der Nährstoffgehalte der Organischen Dünger

Tabelle A13-1: Nährstoffgehalte (in kg/dt) abzüglich Ausbringungs- und Lagerungsverluste

Art	Gesamt N abz. Lagerungs- und Ausbringungsverluste	P ₂ O ₅	K ₂ O
Gülle Schwein	0,47	0,33	0,33
Gülle Kuh	0,27	0,15	0,51
Gülle Bulle	0,27	0,17	0,44
Mist Schwein	0,61	0,5	0,8
Mist Kuh	0,42	0,3	1
Mist Bulle	0,45	0,35	1

Quelle: Eigene Berechnung nach LPP 1998, S. 27

Erläuterungen zu der Berechnung:

1 m³ Gülle entspricht 10 dt Gülle.

Lagerungsverluste bei Stickstoff: 10 % bei Gülle und 20 % bei Mist (vgl. LPP, 1998, S. 26).

Ausbringungsverluste bei Stickstoff: 20 % (vgl. LPP, 1998, S. 24).

Tabelle A13-2: Pflanzenverfügbare N-Mengen (in %) im Ausbringungsjahr differenziert nach Fruchtarten

Art	Rüben, Kartoffeln, Sommergetreide	Wintergetreide	Winterraps	Zwischenfrucht
Gülle Schwein	60	55	55	60
Gülle Kuh	60	50	50	60
Gülle Bulle	60	50	50	60
Mist Schwein	45	30	30	40
Mist Kuh	45	30	30	40
Mist Bulle	45	30	30	40

Quelle: Eigene Darstellung nach LK RHEINLAND, 1995, S. 91f

Tabelle A13-3: Pflanzenverfügbare N-Mengen (in kg/dt) im Ausbringungsjahr differenziert nach Fruchtarten

Art	Rüben, Kartoffeln, Sommergetreide	Wintergetreide	Winterraps	Zwischenfrucht
Gülle Schwein	0,28	0,26	0,26	0,28
Gülle Kuh	0,16	0,13	0,13	0,16
Gülle Bulle	0,16	0,13	0,13	0,16
Mist Schwein	0,27	0,18	0,18	0,24
Mist Kuh	0,19	0,12	0,12	0,17
Mist Bulle	0,20	0,13	0,13	0,18

Quelle: Eigene Berechnung

Bei Stallmistausbringung sind im ersten Folgejahr der Ausbringung 15 % und im zweiten Folgejahr 10 % vom Gesamt-N anrechenbar. Bei Gülleausbringung sind im ersten Folgejahr 20 % vom Gesamt-N anrechenbar (vgl. LK RHEINLAND, 1995, S. 91f).

Tabelle A13-4: Pflanzenverfügbare N-Mengen (in kg/dt) im ersten Folgejahr

Art	Rüben, Kartoffeln, Sommergetreide	Wintergetreide	Winterraps	Zwischenfrucht
Gülle Schwein	0,09	0,09	0,09	0,09
Gülle Kuh	0,05	0,05	0,05	0,05
Gülle Bulle	0,05	0,05	0,05	0,05
Mist Schwein	0,09	0,09	0,09	0,09
Mist Kuh	0,06	0,06	0,06	0,06
Mist Bulle	0,07	0,07	0,07	0,07

Quelle: Eigene Berechnung

Tabelle A13-5: Pflanzenverfügbare N-Mengen (in kg/dt) im zweiten Folgejahr

Art	Rüben, Kartoffeln, Sommergetreide	Wintergetreide	Winterraps	Zwischenfrucht
Mist Schwein	0,06	0,06	0,06	0,06
Mist Kuh	0,04	0,04	0,04	0,04
Mist Bulle	0,04	0,04	0,04	0,04

Quelle: Eigene Berechnung

Anhang 14: Kombinierte Korrelationsmatrix für Preise und Erträge

	P WW	P WG	P Roggen	P Raps	P BG	P SW	P Erbsen	P Bohnen	P Ka	P ZR	E WW	E WG	E Roggen	E Raps	E BG	E SW	E Erbsen	E Bohnen	E Ka	E ZR			
P WW	1	0,932	0,916	-0,256	0,545	0,949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P WG	0,932	1	0,932	-0,369	0,457	0,932	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P Roggen	0,916	0,932	1	-0,352	0,451	0,916	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P Raps	-0,256	-0,369	-0,352	1	0,036	-0,256	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P BG	0,545	0,457	0,451	0,036	1	0,545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P SW	0,949	0,932	0,916	-0,256	0,545	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Erbsen	0	0	0	0	0	0	1	0,949	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Bohnen	0	0	0	0	0	0	0,949	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P Ka	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,636	0	0	0
P ZR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E WW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,553	0,439	0,382	0,218	0,727	0,344	0,387	-0,098	-0,35	0,063	0,063	0,063
E WG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,553	1	0,166	0,734	-0,283	0,175	0,344	0,557	-0,063	-0,094	-0,505	-0,505	-0,505
E Roggen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,439	0,166	1	0,107	0,663	0,568	-0,2	0,262	-0,094	-0,094	-0,505	-0,505	-0,505
E Raps	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,382	0,734	0,107	1	-0,291	0,081	0,326	0,585	-0,024	0,077	0,077	0,077	0,077
E BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,218	-0,283	0,663	-0,291	1	0,409	0,098	0,021	0,259	-0,474	-0,474	-0,474	-0,474
E SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,727	0,175	0,568	0,081	0,409	1	0,367	0,267	-0,03	-0,343	-0,343	-0,343	-0,343
E Erbsen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,344	0,344	-0,2	0,326	0,098	0,367	1	0,377	0,278	-0,044	-0,044	-0,044	-0,044
E Bohnen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,387	0,557	0,262	0,585	0,021	0,267	0,377	1	0,348	0,207	0,207	0,207	0,207
E Ka	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,636	0	-0,098	-0,063	-0,094	-0,024	0,259	-0,03	0,278	0,348	1	0,43	0,43	0,43	0,43
E ZR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,35	0,063	-0,505	0,077	-0,474	-0,343	-0,044	0,207	0,43	1	1	1	1

mit E = Ertrag, P = Preis, BG = Braugerste, SW = Sommerweizen, Ka = Kartoffeln, ZR = Zuckerrüben, WG = Wintergerste, WW = Winterweizen,

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 15: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz- funktionen für den Modellbetrieb Düren

Funktionsstyp: $Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$

		ordnungsgemäß	ohne WR	ohne Herbizide	ohne PSM	Mulch
Wintergerste Ertragsfunktion	a	34,85	35,56	35,99	35,92	35,24
	b	0,476	0,446	0,395	0,303	0,461
	c	-0,00108	-0,00101	-0,0009	-0,00069	-0,00104
	B	0,99	0,98	0,98	0,97	0,98
Varianzfunktion	a	145,02	137,28	109,52	65,27	140,18
	b	0,111	0,357	1,117	2,715	0,257
	c	0,00181	0,00161	0,00059	-0,00201	0,00161
	B	0,82	0,87	0,91	0,96	0,85
Winterweizen Ertragsfunktion	a	22,43	23,69	24,07	25,78	22,79
	b	0,553	0,515	0,507	0,434	0,547
	c	-0,00108	-0,00104	-0,00103	-0,00092	-0,00107
	B	0,997	0,997	0,998	0,995	0,997
Varianzfunktion	a	106,25	97,34	92,23	59,86	104,71
	b	-0,450	-0,320	-0,239	0,589	-0,430
	c	0,00307	0,00406	0,00405	0,00368	0,00327
	B	0,92	0,95	0,95	0,96	0,92
Zuckerrüben Ertragsfunktion	a	407,64		402,09	398,69	406,08
	b	1,620		1,536	1,375	1,531
	c	-0,0036		-0,00343	-0,00306	-0,00337
	B	0,99		0,98	0,98	0,98
Varianzfunktion	a	19154,99		18224,52	16638,64	18502,2
	b	-121,64		-106,77	-79,87	-111,32
	c	0,292		0,272	0,221	0,275
	B	0,97		0,93	0,88	0,95
Kartoffeln Ertragsfunktion	a	214,45		217,87	218,66	214,04
	b	2,314		1,984	1,753	2,320
	c	-0,00495		-0,00428	-0,00383	-0,00496
	B	0,99		0,99	0,99	0,99
Varianzfunktion	a	6778,41		5670,74	4875,86	6806,78
	b	-24,18		-1,03	19,36	-23,35
	c	0,1166		0,09695	0,07207	0,11555
	B	0,85		0,91	0,95	0,84

Körnererbbsen						
Ertragsfunktion	a	40,34		37,2	37,05	39,39
	b	0,060		0,052	0,051	0,059
	c	-0,00013		-0,00011	-0,00011	-0,00012
	B	0,99		0,99	0,98	0,98
Varianzfunktion	a	142,4		146,22	150,96	146,85
	b	-0,233		0,062	0,031	-0,264
	c	0,00074		0,00021	0,00036	0,00093
	B	0,58		0,85	0,81	0,63

Mit B = Bestimmtheitsmaß

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 16: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianzfunktionen für den Modellbetrieb Bergisches Land

Funktionstyp: $Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$

		ordnungsgemäß	ohne WR	ohne Herbizide	ohne PSM	Mulch
Wintergerste Ertragsfunktion	a	34,05	33,96	33,48	31,12	33,98
	b	0,264	0,247	0,210	0,164	0,255
	c	-0,00066	-0,00062	-0,00052	-0,0004	-0,00063
	B	0,90	0,90	0,89	0,89	0,90
Varianzfunktion	a	93,37	85,77	74,26	56,91	90,77
	b	0,237	0,516	1,009	2,077	0,348
	c	-0,00019	-0,00083	-0,00182	-0,00412	-0,0004
	B	0,58	0,74	0,89	0,97	0,69
Winterweizen Ertragsfunktion	a	22,31	23,31	23,57	24,48	22,55
	b	0,445	0,399	0,389	0,318	0,436
	c	-0,00103	-0,00093	-0,00091	-0,00075	-0,00101
	B	0,98	0,97	0,97	0,96	0,98
Varianzfunktion	a	60,15	45,01	42,05	17,45	57,23
	b	0,096	0,503	0,604	1,426	0,165
	c	0,00046	-0,0001	-0,00028	-0,00161	0,00039
	B	0,76	0,86	0,87	0,93	0,80
Zuckerrüben Ertragsfunktion	a	362,91		357,95	351,63	358,94
	b	1,304		1,235	1,135	1,276
	c	-0,003		-0,00285	-0,00263	-0,00297
	B	0,97		0,97	0,96	0,97
Varianzfunktion	a	13474,21		12630,82	11984,62	13242,8
	b	-87,31		-71,90	-55,97	-81,45
	c	0,217		0,187	0,158	0,208
	B	0,94		0,86	0,78	0,91

Mit B = Bestimmtheitsmaß

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 17: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz- funktionen für den Modellbetrieb Maifeld

Funktionstyp: $Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$

		ordnungsgemäß	ohne WR	Mulch	
Wintergerste	Ertragsfunktion	a	38,23	38,76	38,53
		b	0,421	0,392	0,406
		c	-0,00098	-0,00091	-0,00094
		B	0,98	0,97	0,97
	Varianzfunktion	a	164,12	154,96	158,36
		b	0,017	0,314	0,189
		c	0,00154	0,00111	0,00122
		B	0,74	0,83	0,79
Winterweizen	Ertragsfunktion	a	24,35	25,65	24,73
		b	0,529	0,483	0,521
		c	-0,0011	-0,0010	-0,0011
		B	0,996	0,995	0,997
	Varianzfunktion	a	108,03	96,29	105,78
		b	-0,313	-0,074	-0,268
		c	0,0023	0,0028	0,0024
		B	0,87	0,92	0,88
Zuckerrüben	Ertragsfunktion	a	413,17		410,9
		b	1,424		1,343
		c	-0,00321		-0,003
		B	0,98		0,98
	Varianzfunktion	a	18078,89		17501,47
		b	-115,95		-105,72
		c	0,280		0,262
		B	0,96		0,95
Winterraps	Ertragsfunktion	a	18,88		18,98
		b	0,200		0,194
		c	-0,00045		-0,00044
		B	0,98		0,98
	Varianzfunktion	a	45,32		43,38
		b	-0,099		-0,060
		c	0,00056		0,00052
		B	0,68		0,75

Winterroggen				
Ertragsfunktion	a	35,18	36,06	35,56
	b	0,45912	0,39747	0,44255
	c	-0,001	-0,001	-0,001
	B	0,97	0,97	0,97
Varianzfunktion	a	136,67	106,32	128,2
	b	0,144	0,989	0,375
	c	0,0012	-0,0002	0,0007
	B	0,78	0,88	0,81
Sommerweizen				
Ertragsfunktion	a	29,38	29,49	29,56
	b	0,371	0,371	0,368
	c	-0,00088	-0,00088	-0,00087
	B	0,96	0,96	0,96
Varianzfunktion	a	104,49	104,15	105,14
	b	-0,268	-0,268	-0,270
	c	0,00106	0,00104	0,00105
	B	0,40	0,37	0,37
Körnererbsen				
Ertragsfunktion	a	33,2		32,41
	b	0,051		0,050
	c	-0,00011		-0,00011
	B	0,97		0,96
Varianzfunktion	a	91,92		94,97
	b	-0,115		-0,127
	c	0,0004		0,0005
	B	0,39		0,51

Mit B = Bestimmtheitsmaß

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 18: Parameter der quadratischen Ertrags- und Varianz- funktionen für den Modellbetrieb Westerwald

Funktionstyp: $Y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$

		ordnungsgemäß	ohne WR	Mulch
Wintergerste				
Ertragsfunktion	a	30,92	30,87	30,88
	b	0,263	0,246	0,254
	c	-0,00066	-0,00062	-0,00063
	B	0,89	0,89	0,88
Varianzfunktion	a	70,55	64,52	68,56
	b	0,354	0,597	0,449
	c	-0,00055	-0,00111	-0,00073
	B	0,69	0,79	0,76
Winterweizen				
Ertragsfunktion	a	23,49	24,23	23,68
	b	0,392	0,347	0,383
	c	-0,00093	-0,00083	-0,00091
	B	0,96	0,96	0,96
Varianzfunktion	a	58,33	44,23	55,58
	b	0,085	0,500	0,159
	c	0,00025	-0,00049	0,00012
	B	0,68	0,84	0,74
Sommergerste				
Ertragsfunktion	a	36,73	36,78	36,62
	b	0,117	0,116	0,118
	c	-0,00031	-0,0003	-0,00031
	B	0,73	0,72	0,72
Varianzfunktion	a	89,7	89,75	89,16
	b	-0,30	-0,30	-0,29
	c	0,001	0,001	0,001
	B	0,36	0,38	0,34
Winterraps				
Ertragsfunktion	a	15,09		15,08
	b	0,162		0,159
	c	-0,00039		-0,00039
	B	0,95		0,94
Varianzfunktion	a	21,45		19,95
	b	0,04		0,08
	c	0,00006		-0,00004
	B	0,68		0,71

Mit B = Bestimmtheitsmaß

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 19: Arbeitsgänge Modellbetrieb Düren bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung

Fruchtart	Zuckerrüben		Fruchtart	Winterweizen	
<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var.</i> <i>Maschinenkosten</i> <i>(€/ha)</i>	<i>Zeit</i> <i>(h/ha)</i>	<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var.</i> <i>Maschinenkosten</i> <i>(€/ha)</i>	<i>Zeit</i> <i>(h/ha)</i>
Grubber	12,20	0,55	Pflug	34,50	1,80
Pflug	34,50	1,80	Frontpacker	3,60	
Schleuderstreuer	2,20	0,24	Kreiselegge + Drillmaschine	21,80	1,30
Saatbett- kombination (2x)	19,00	1,00	Schleuder- streuer	1,80	0,24
ZR Drillmaschine	15,10	1,10	Wasserfaß (6x)	0,30	
PSM-Spritze (4x)	12,00	1,00	PSM Spritze (6x) ¹⁾	18,00	1,50
Wasserfaß (4x)	0,20		Mähdrescher	27,20	1,80
Schleuderstreuer	1,80	0,24	Transport	3,70	0,30
Rüben hacken	9,65	1,20			
Rübenernte	108,00	7,10			
Rübentransport	90,0	9,00			
Summe	304,65	23,23	Summe	110,90	6,94

¹⁾ dreimal nur PSM, zweimal nur AHL, einmal kombiniert

Fruchtart	Zwischenfrucht Senf		Fruchtart	Ölrettich (FSL)	
<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var.</i> <i>Maschinenkosten</i> <i>(€/ha)</i>	<i>Zeit</i> <i>(h/ha)</i>	<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var.</i> <i>Maschinenkosten</i> <i>(€/ha)</i>	<i>Zeit</i> <i>(h/ha)</i>
Grubber	12,20	0,55	Grubber	12,20	0,55
Grubber	12,20	0,55	Pflug	34,50	1,80
Schleuderstreuer	1,80	0,24	Saatbett- kombination	9,50	0,50
Mulchen	13,66	0,70	Kreiselegge + Drillmaschine	21,80	1,30
			Mulchen	13,66	0,70
Summe	39,86	2,04	Summe	91,66	4,85

Fruchtart	Wintergerste		Fruchtart	Kartoffeln	
<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var. Maschinenkosten (€/ha)</i>	<i>Zeit (h/ha)</i>	<i>Arbeitsgänge</i>	<i>Var. Maschinenkosten (€/ha)</i>	<i>Zeit (h/ha)</i>
Grubber	12,20	0,55	Grubber	12,20	0,55
Pflug	34,50	1,80	Grubber	12,20	0,55
Frontpacker	3,60		Schleuderstreuer	2,20	0,24
Kreiselegge+ Drillmaschine	21,80	1,30	Pflug	34,50	1,80
Wasserfaß (5x)	0,25		Walze	7,00	0,80
PSM Spritze (5x) ²⁾	15,00	1,25	Grubber	12,20	0,55
Mähdrescher	27,20	1,80	Kreiselegge (2x)	31,40	2,00
Transport	3,70	0,30	Kartoffelsaat	32,00	1,70
			Häufeln	8,00	0,70
			PSM-Spritze (9x)	27,00	2,25
			Wasserfaß (9x)	0,45	
			Schleuderstreuer (2x)	3,60	0,48
			Kartoffelernte	120,30	20,10
			Transport	28,20	3,50
			Einlagern, Sortieren, Auslagern	159,74	10,00
			Transport	34,26	3,90
Summe	118,25	7,00	Summe	525,25	49,12

²⁾ zweimal nur PSM, zweimal nur AHL, einmal kombiniert

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 20: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Düren

Tabelle A20-1: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Winterweizen	33,5	33,5	33,5	33,5	33,5
Wintergerste	6	6	6	6	6
Kartoffeln	10	10	10	10	10
Senf (Zwf)	22	22	22	22	22
FSL	6	6	6	6	6

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A20-2: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel und Pflanzenschutzmittel“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	26	27	28	29	29
Winterweizen	29	28	27	26	26
Körnererbsen	10	10	10	10	10
Kartoffeln	10	10	10	10	10
Senf (Zwf) ¹⁾	22	23	24	24	21
FSL	5	5	5	5	5

¹⁾ Zwischenfrüchte werden immer vor Rüben angebaut, im letzten Jahr erfolgt der Anbau aufgrund der Rübenanbaufläche des ersten Jahres

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A20-3: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Anlage von Schonstreifen“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	24	24	24	24	24
Winterweizen	33	33	33	33	33
Wintergerste	5	5	5	5	5
Kartoffeln	10	10	10	10	10
Senf (Zwf)	18	18	18	18	18
FSL	6	6	6	6	6
Schonstreifen	2	2	2	2	2

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A20-4: Anbauumfänge (in ha) während des 5-jährigen
Verpflichtungszeitraumes bei den einzelnen Maßnahmen**

	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schon- streifen
Gesamt	400	400	400	400	400
Wintergerste	30	30	0	0	25
Winterweizen	170	167,5	136	136	165
Zuckerrüben	120	122,5	139	139	120
Kartoffeln	50	50	50	50	50
Körnererbsen	0	0	50	50	0
Zwischenfrüchte	90	92,5	114	114	90
Stillegung	30	30	25	25	30
Ackerrandstreifen	0	0	0	0	10

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A20-5: Flächenbezogenen Indikatoren der betrachteten Fruchtfolge

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schon- streifen
Deckungsbeitrag	€/ha	1.327	1.311	1.085	1.108	1.308
Standardabweichung	€/ha	581	560	502	483	565
Variationskoeffizient	%	44	43	46	44	43
N-Bilanz	kg/ha	4,6	5,6	-15,9	-12,5	4,3
P-Bilanz	kg/ha	-2,6	-2,3	-12,8	-10,5	-2,6
K-Bilanz	kg/ha	4,9	4,9	17,5	23,5	4,5
PSM-Aufwand	€/ha	185	112	134	17	181
Arbeitsaufwand	Akh/ha	18,0	23,0	17,8	22,2	17,6
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	74	57	61	50	74
Pot. Nitratgehalt	mg/l	2,98	7,67	1,06	1,08	2,07

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A20-6: Kennzahlen bei den einzelnen Maßnahmen für den Gesamtbetrieb über den betrachteten Zeitraum

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen
Gesamtertrag	GE	43.476	41.440	33.404	31.972	42.540
Deckungsbeitrag	€	552.860	550.548	462.180	485.248	550.436
Standardabweichung	€/	167.416	163.600	156.412	151.932	166.940
N-Bilanz	kg	3.144	3.024	-6.276	-5.040	3.024
P-Bilanz	kg	5.584	5.512	-3.952	-3.156	6.332
K-Bilanz	kg	15.772	15.556	11.500	13.468	16.360
PSM-Aufwand	€	71.428	38.256	57.532	4.500	69.936
Arbeitsaufwand	Akh	7.060	9.736	7.260	9.876	7.016

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A20-6: Produktionsbezogene Indikatoren für den Gesamtbetrieb

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen
N-Bilanz	kg/dt	0,07	0,07	-0,19	-0,16	0,07
P-Bilanz	kg/dt	0,13	0,13	-0,12	-0,10	0,15
K-Bilanz	kg/dt	0,36	0,38	0,34	0,42	0,38
PSM-Aufwand	€/dt	1,64	0,92	1,72	0,14	1,64
Arbeitsaufwand	Akh/dt	0,16	0,23	0,22	0,31	0,16
Pot. Nitratgehalt	mg/l·dt	0,02	0,05	0,02	0,02	0,03

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 21: Getreideeinheitenschlüssel

Die Getreide-Einheit (GE) ermöglicht eine Umrechnung der landwirtschaftlichen Produktion in naturale Gesamtzahlen. Bei der Festlegung des derzeitigen Schlüssels für die Umrechnung wurde insbesondere der Nettoenergiewert berücksichtigt.

Tabelle A21-1: Getreideeinheitenschlüssel der einzelnen Fruchtarten

Einheit	Fruchtart	GE
1 dt	Getreide	1
1 dt	Zuckerrüben	0,25
1 dt	Kartoffeln	0,25
1 dt	Winterraps	2
1 dt	Ackerbohnen	1,2
1 dt	Körnererbsen	1,2
1 dt	Wiesenheu	0,4

Quelle: HYDRO AGRI, 1993, S. 109

Anhang 22: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Bergisches Land

Tabelle A22-1: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf Herbizide“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Winterweizen	41	41	41	41	41
Wintergerste	16	16	16	16	16
FSL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Senf (Zwf)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Kleegras (Zwf)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-2: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	17	17,5	17,5	17,5	17,5
Winterweizen	40,5	40	40	40	40
Wintergerste	16	16	16	16	16
FSL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Senf (Zwf) ¹⁾	17,5	17,5	17,5	17,5	17
Kleegras (Zwf)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5

¹⁾ Senf werden immer vor Rüben angebaut, im letzten Jahr erfolgt der Anbau aufgrund der Rübenanbaufläche des ersten Jahres

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-3: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Zuckerrüben	17,5	18	18	18	18
Winterweizen	40	39,5	39,5	39,5	39,5
Wintergerste	16	16	16	16	16
FSL	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
Senf (Zwf)	18	18	18	18	17,5
Kleegras (Zwf)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-4: Anbauumfänge (in ha) während des 5-jährigen Verpflichtungszeitraumes bei den einzelnen Maßnahmen

	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
Gesamt	400	400	400	400	400	400
Wintergerste	80	80	80	80	80	80
Winterweizen	205	205	200,5	198	195	205
Zuckerrüben	80	82,5	87	89,5	80	80
Zwischenfrüchte	125	130	134,5	137	125	125
Stillegung	35	32,5	32,5	32,5	35	35
Ackerrandstreifen	0	0	0	0	10	0

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-5: Flächenbezogenen Indikatoren der betrachteten Fruchtfolge

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
Deckungsbeitrag	€/ha	770	823	696	769	766	847
Standardabweichung	€/ha	113	122	99	110	110	115
Variationskoeffizient	%	15	15	14	14	14	14
N-Bilanz	kg/ha	17,3	17,7	-15,7	-14,3	16,7	17,0
P-Bilanz	kg/ha	-26,2	-23,6	-4,8	-4,0	-25,5	-25,5
K-Bilanz	kg/ha	19,5	18,8	61,4	62,7	18,9	18,5
PSM-Aufwand	€/ha	126	64	93	0	123	149
Arbeitsaufwand	Akh/ha	11,7	15,6	12,3	15,5	11,5	11,2
Grenzprodukt. Arbeit	€/Akh	66	53	56	50	67	76
Pot. Nitratgehalt	mg/l	30,9	34,8	0,8	0,8	29,8	30,5
Pot. Bodenabtrag	dt/ha	8,9	8,9	9,0	9,0	8,9	3,8

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-6: Kennzahlen bei den einzelnen Maßnahmen für den Gesamtbetrieb über den betrachteten Zeitraum

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
Gesamtertrag	GE	30.284	28.836	22.932	22.156	29.544	29.980
DB	€	318.344	340.016	292.812	318.632	317.668	357.296
Standardabweichung	€/	45.548	49.836	45.304	49.664	44.520	46.840
N-Bilanz	kg	4.552	4.740	-7.220	-5.824	4.632	4.548
P-Bilanz	kg	-10.384	-9.064	-1.980	-1.348	-9.788	-10.168
K-Bilanz	kg	6.532	6.904	24.172	24.792	6.992	6.092
PSM-Aufwand	€	50.796	24.756	38.948	0	49.792	60.044
Arbeitsaufwand	Akh	4.664	6.384	5.044	6.568	4.604	4.500

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A22-7: Produktionsbezogene Indikatoren für den Gesamtbetrieb

	Einheit	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
N-Bilanz	kg/dt	0,15	0,16	-0,31	-0,26	0,16	0,15
P-Bilanz	kg/dt	-0,34	-0,31	-0,09	-0,06	-0,33	-0,34
K-Bilanz	kg/dt	0,22	0,24	1,05	1,12	0,24	0,2
PSM-Aufwand	€/dt	1,68	0,86	1,70	0	1,68	2
Arbeitsaufwand	Akh/dt	0,15	0,22	0,22	0,3	0,16	0,15
Pot. Nitratgehalt	mg/l-dt	0,34	0,41	0,01	0,02	0,35	0,36
Pot. Bodenabtrag	dt/ha	0,13	0,14	0,18	0,19	0,14	0,06

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 23: Fruchtfolgen und C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge des Modellbetriebes Bergisches Land

Tabelle A23-1: Fruchtfolge der erosionsgefährdeten Schläge bei Teilnahme an den Maßnahmen „Verzicht auf chem.-synth. Düngemittel“ und „Verzicht auf chem.-synth. Dünge- und Pflanzenschutzmittel“

Nummer	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
1	ZR	WW	WG+Klee	WW	WW+Senf
2	WW+Senf	ZR	WW+Senf	ZR	WW
3	WW+Senf	ZR	WW	WG	FSL
4	WG+Klee	WW	WW+Senf	ZR	WW
5	WW	WG+Klee ¹⁾	WW ²⁾	WW+Senf	ZR
6	WW+Senf	ZR	WW	WG+Klee	WW
7	FSL	WW+Senf	ZR	WW	WG
8	WW	WW+Senf	ZR	WW	WG+Klee
9	WW	WW+Senf	ZR	WW	WG
10	ZR	WW	WG ³⁾	FSL ⁴⁾	WW+Senf

¹⁾ nur auf 9 ha Klee gras

²⁾ auf 3,5 ha FSL

³⁾ auf 1,6 ha Klee gras

⁴⁾ auf 1,6 ha Winterweizen

Quelle: Eigene Erhebung

Tabelle A23-2: C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge bei den verschiedenen Maßnahmen

Schlagnummer	ord.	ohne Herb.	ohne Dünger	ohne Chemie	Schonstreifen	Erosionsschutz
1	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
2	0,07	0,07	0,105	0,105	0,07	0,03
3	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
4	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
5	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
6	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
7	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
8	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03
10	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 24: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Maifeld

**Tabelle A24-1: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante
„umweltschonender Ackerbau“**

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Winterweizen	27	27	27	27	27
Wintergerste	12	12	12	12	12
Winterraps (incl FSL)	12	12	12	12	12
Zuckerrüben	9	9	9	9	9
Körnererbsen	8	8	8	8	8
Sommerweizen	8	8	8	8	8
Ökol. Ausgleichsflächen	4	4	4	4	4

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A24-2: Ausgewählte Kennziffern für die Produktionsverfahren Winterraps,
Körnererbsen und Sommerweizen im „umweltschonenden Ackerbau“**

Fruchtart	Einheit	Winterraps	Körnererbsen	Sommerweizen
Ertrag	dt/ha	42	37	70
Marktleistung	€/ha	995	520	769
Var. Spezialkosten	€/ha	435	340	372
Deckungsbeitrag	€/ha	964	629	800
Standardabweichung	€/ha	221	156	155
Variationskoeffizient	%	23	25	19
Arbeitseinsatz	Akh	9,5	8	8,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	101	79	94
N-Bilanz	kg/ha	-7	30	-21
P-Bilanz	kg/ha	-12	-40	-56
K-Bilanz	kg/ha	-7	-51	-42

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A24-3: Ausgewählte Kennziffern für die ökologischen Ausgleichsflächen
(extensives Dauergrünland) im „umweltschonenden Ackerbau“**

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Ertrag	dt/ha	15	25	20	20	15
Marktleistung	€/ha	90	150	120	120	90
Saatgut	€/ha	70				
Var. Masch.-Kosten	€/ha	75,50				
Lohnunternehmen	€/ha	146	146	146	146	146
Deckungsbeitrag	€/ha	50	259	229	229	199
Arbeitseinsatz	Akh	6,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	8	200	176	176	153
N-Bilanz	kg/ha	-26	-43	-34	-34	-26
P-Bilanz	kg/ha	-10,5	-17,5	-14	-14	-10,5
K-Bilanz	kg/ha	-37,5	-62,5	-50	-50	-37,5
Pot. Nitratgehalt	mg/l	25	4	2	0	10

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A24-4: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Anlage von
Ackerrandstreifen“**

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Winterweizen	36,5	37	35	35,5	36,5
Wintergerste	11,5	13	13	12,5	12,5
Winterraps (incl FSL)	13	12	13	13	13
Zuckerrüben	9	9	9	9	9
Winterroggen	8	7	8	8	7
Ackerrandstreifen	2	2	2	2	2

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A24-5: Anbauumfänge (in ha) während des 5-jährigen
Verpflichtungszeitraumes bei den einzelnen Maßnahmen**

	ord.	Umw. Ackerbau	Mulch ZR	Rand- streifen	Saum- strukturen
Gesamt	400	400	400	400	400
Wintergerste	65	60	65	62,5	60
Winterweizen	185	135	185	180,5	185
Winterroggen	40	0	40	38	35
Winterraps	65	60	65	64	65
Zuckerrüben	45	45	45	45	45
Körnererbsen		40			
Ökol. Ausgleichsfl.		20			
Ackerrandstreifen				10	
Saumstrukturen					10

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A24-6: Flächenbezogenen Indikatoren der betrachteten Fruchtfolge

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Mulch ZR	Rand- streifen	Saum- strukturen
Deckungsbeitrag	€/ha	1.079	1.081	1.082	1.066	1.062
Standardabweichung	€/ha	138	130	140	134	134
Variationskoeffizient	%	13	12	13	13	13
N-Bilanz	kg/ha	8,3	-1,9	8,1	8,2	7,8
P-Bilanz	kg/ha	-57,1	-46,1	-56,9	-55,7	-55,7
K-Bilanz	kg/ha	-65,3	-61,5	-64,9	-63,7	-63,8
PSM-Aufwand	€/ha	108	103	113	105	105
Arbeitsaufwand	Akh/ha	9,7	9,1	9,6	9,6	9,5
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	111	118	113	111	112
Pot. Nitratgehalt	mg/l	1	4	1	2	2

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A24-7: Kennzahlen bei den einzelnen Maßnahmen für den Gesamtbetrieb über den betrachteten Zeitraum

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Mulch ZR	Rand- streifen	Saum- strukturen
Gesamtertrag	GE	38.436	32.848	38.288	37.512	37.536
Deckungsbeitrag	€	393.804	398.892	393.944	391.144	389.828
Standard- abweichung	€	52.704	47.336	52.868	51.312	51.504
N-Bilanz	kg	1.656	80	1.668	1.596	1.556
P-Bilanz	kg	-21.784	-17.976	-21.708	-21.100	-21.064
K-Bilanz	kg	-21.244	-19.932	-21.112	-20.732	-20.704
PSM-Aufwand	€	43.564	41.232	44.688	42.476	42.524
Arbeitsaufwand	Akh	3.684	3.520	3.664	3.652	3.624

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A24-8: Produktionsbezogene Indikatoren für den Gesamtbetrieb

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Mulch ZR	Rand- streifen	Saum- strukturen
N-Bilanz	kg/dt	0,04	0	0,04	0,04	0,04
P-Bilanz	kg/dt	-0,57	-0,55	-0,57	-0,56	-0,56
K-Bilanz	kg/dt	-0,55	-0,61	-0,55	-0,55	-0,55
PSM-Aufwand	€/dt	1,13	1,26	1,17	1,13	1,13
Arbeitsaufwand	Akh/dt	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10
Pot. Nitratgehalt	mg/l·dt	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 25: Anbauprogramm und Ergebnisse des Modellbetriebes Westerwald

**Tabelle A25-1: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante
„umweltschonender Ackerbau“**

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Winterweizen	26	26	26	26	26
Wintergerste	6	6	6	6	6
Winterraps (incl FSL)	16	16	16	16	16
Sommergerste	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Senf (Zwf)	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Ökol. Ausgleichsflächen	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A25-2: Ausgewählte Kennziffern für die ökologischen Ausgleichsflächen
(extensives Dauergrünland) im „umweltschonenden Ackerbau“**

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Ertrag	dt/ha	15	25	20	20	15
Marktleistung	€/ha	90	150	120	120	90
Saatgut	€/ha	70				
Var. Masch.-Kosten	€/ha	75,50				
Lohnunternehmen	€/ha	146,5	146,5	146,5	146,5	146,5
Deckungsbeitrag	€/ha	54	259	229	229	199
Arbeitseinsatz	Akh	6,8	1,4	1,4	1,4	1,4
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	8	185	164	164	142
N-Bilanz	kg/ha	-25,5	-42,5	-34	-34	-25,5
P-Bilanz	kg/ha	-10,5	-17,5	-14	-14	-10,5
K-Bilanz	kg/ha	-37,5	-62,5	-50	-50	-37,5
Pot. Nitratgehalt	mg/l	25	0	0	0	1

Quelle: Eigene Berechnungen

**Tabelle A25-3: Anbauprogramm (in ha) bei Teilnahme an der Variante „Anlage von
Ackerrandstreifen“**

Fruchtart	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Winterweizen	25,5	26	24	24,5	26
Wintergerste	8	9	9	9	8
Winterraps (incl FSL)	17	15	17	17	17
Sommergerste	12,5	13	1	12,5	12
Ackerrandstreifen	2	2	2	2	2

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A25-4: Kennzahlen der Ackerrandstreifen während des Verpflichtungszeitraums

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Art		Getreide	Brache	Getreide	Getreide	Getreide
Saatgut	€/ha	38		38	38	38
Var. Maschinenkosten	€/ha	95	38	95	95	95
DB	€/ha	532	627	532	532	532
Arbeitseinsatz	Akh/ha	6,8	2,8	6,8	6,8	6,8
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	78	224	78	78	78
Pot. Nitratgehalt	mg/l	16	33	33	33	34

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A25-5: Kennzahlen der Saum- und Bandstrukturen während des Verpflichtungszeitraums

Jahr	Einheit	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
Saatgut	€/ha	255				
Var. Maschinenkosten	€/ha	102	14	14	14	14
DB	€/ha	53	395	395	395	395
Arbeitseinsatz	Akh/ha	7,4	1,2	1,2	1,2	1,2
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	7	329	329	329	329
Pot. Nitratgehalt	mg/l	18	42	44	44	44

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A25-6: Anbauumfänge (in ha) während des 5-jährigen Verpflichtungszeitraumes bei den einzelnen Maßnahmen

	ord.	Umw. Ackerbau	Randstreifen	Saumstrukturen
Gesamt	325	325	325	325
Wintergerste	45	30	43	40
Winterweizen	130	130	126	125
Winterraps	85	80	83	85
Sommergerste	65	67,5	63	65
Zwischenfrüchte		67,5		
Ökol. Ausgleichsfl.		17,5		
Ackerrandstreifen			10	
Saumstrukturen				10

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A25-7: Flächenbezogenen Indikatoren der betrachteten Fruchtfolge

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Rand- streifen	Saum- strukturen
Deckungsbeitrag	€/ha	538	598	541	533
Standardabweichung	€/ha	97	96	94	94
Variationskoeffizient	%	18	16	17	18
N-Bilanz	kg/ha	13,3	8,4	10,4	10,9
P-Bilanz	kg/ha	0,2	-0,9	0,0	0,2
K-Bilanz	kg/ha	31,1	26,1	30,0	30,2
PSM-Aufwand	€/ha	105	95	101	101
Arbeitsaufwand	Akh/ha	8,4	8,4	8,3	8,2
Grenzproduktivität Arbeit	€/Akh	64	71	65	65
Pot. Nitratgehalt	mg/l	24	23	24	25
Pot. Bodenabtrag	dt/ha	3,75	3,74	3,75	3,75

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A-25-8: Kennzahlen bei den einzelnen Maßnahmen für den Gesamtbetrieb über den betrachteten Zeitraum

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Rand- streifen	Saum- strukturen
Gesamtertrag	GE	20.251	18.675	19.617	19.611
Deckungsbeitrag	€	182.257	201.380	182.234	180.031
Standardabweichung	€	31.600	30.891	30.622	30.534
N-Bilanz	kg	3.744	2.272	3.595	3.543
P-Bilanz	kg	-1.576	-1.719	-1.593	-1.713
K-Bilanz	kg	12.815	11.866	12.483	12.851
PSM-Aufwand	€	33.914	31.522	32.871	32.734
Arbeitsaufwand	Akh	2.720	2.711	2.698	2.659

Quelle: Eigene Berechnungen

Tabelle A25-8: Produktionsbezogene Indikatoren für den Gesamtbetrieb

	Einheit	ord.	Umw. Ackerbau	Rand- streifen	Saum- strukturen
N-Bilanz	kg/dt	0,18	0,12	0,18	0,18
P-Bilanz	kg/dt	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09
K-Bilanz	kg/dt	0,63	0,64	0,64	0,66
PSM-Aufwand	€/dt	1,67	1,69	1,68	1,67
Arbeitsaufwand	Akh/dt	0,13	0,15	0,14	0,14
Pot. Nitratgehalt	mg/l·dt	0,37	0,40	0,38	0,38
Pot. Bodenabtrag	dt/dt	0,08	0,07	0,08	0,08

Quelle: Eigene Berechnungen

Anhang 26: Fruchtfolgen und C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge des Modellbetriebes Westerwald

Tabelle A26-1: Fruchtfolge der erosionsgefährdeten Schläge bei Teilnahme am „umweltschonenden Ackerbau“

Nummer	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	5. Jahr
1	WW+ZF	SG	WW	Raps	WW+ZF
2	ext DG				
3	WW+ZF	SG	WW	Raps	WW+ZF
4	WG	Raps	WW+ZF	SG	WW
5	WW	Raps	WW+ZF	SG	WW
6	Raps	WW	WG	WW+ZF	SG
7	Raps	WW+ZF	SG	WW	WG
8	Raps	WW+ZF	SG	WW	Raps
9	SG	WW	Raps	WW+ZF	SG
10	SG	WG	Raps	WW+ZF	SG

Quelle: Eigene Erhebung

Tabelle A26-2: C-Faktoren der erosionsgefährdeten Schläge bei den verschiedenen Maßnahmen

Schlagnummer	ordnungsgemäß	umweltschonender Ackerbau
1	0,061	0,048
2	0,048	0,004
3	0,061	0,048
4	0,061	0,048
5	0,048	0,048
6	0,048	0,048
7	0,048	0,048
8	0,058	0,056
9	0,054	0,043
10	0,048	0,043

Quelle: Eigene Berechnungen