

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS

**Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg:
Identifizierung vorteilhafter Produktlinien zur
stofflichen Nutzung unter besonderer
Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren**

K.M. Müller-Sämann¹⁾, G. Reinhardt²⁾, R. Vetter¹⁾, S. Gärtner²⁾



¹⁾Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, Müllheim (IfuL)

²⁾Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU)

Förderkennzeichen: BWA 20002

Das Vorhaben wurde im Rahmen des Förderprojektes „Lebensgrundlage Umwelt und Ihre Sicherung“ (BWPLUS) am Forschungszentrum Karlsruhe mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Januar 2003

I Inhaltsverzeichnis

1 Motivation und Hintergründe des Forschungsvorhabens	1
1.1 Rolle und Bedeutung nachwachsender Rohstoffe	1
1.2 Bedeutung der nachwachsenden Rohstoffe in der Landwirtschaft	3
1.3 Zu Chancen und Risiken nachwachsender Rohstoffe	6
2 Aufgabenstellung und Ziele	9
2.1 Aufgabenstellung	9
2.2 Zielsetzung des Projektes	9
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	11
3.1 Vorgehen und methodischer Ansatz	11
3.2 Identifizierung, Charakterisierung und Auswahl von Kulturen und Produktlinien	12
4 Wissenschaftlich-technischer Stand bei Beginn des Vorhabens	15
4.1 Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen	15
4.1.1 Energetische Nutzung	15
4.1.2 Stoffliche Nutzung	19
4.1.3 Hemmnisse und Strategien für den vermehrten Einsatz nachwachsender Rohstoffe	29
4.2 Beurteilung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe mit stofflicher Nutzung	31
4.2.1 Ökologische Aspekte	31
4.2.2 Ökonomische Aspekte	33
4.2.3 Soziale Gesichtspunkte	34

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	37
5.1 Kooperation zwischen IfUL und IFEU	37
5.2 Kooperation mit anderen Akteuren	38
6 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS	41
7 Methoden und Ergebnisse	43
7.1 Identifizierung von Kulturen und Produktlinien	43
7.1.1 Verfahren und Kriterien der Auswahl	43
7.1.2 Ausgewählte Kulturpflanzen und Produktlinien	45
7.2 Standortcharakterisierung und Ausweisung günstiger Anbaugelände für Kulturen nachwachsender Rohstoffe	48
7.2.1 Ziel	48
7.2.2 Methodischer Ansatz	48
7.2.3 Vorgehen	50
7.2.4 Ergebnisse	57
7.3 Ökobilanzierung zu Produktlinien nachwachsender Rohstoffe	65
7.3.1 Ziele der ökologischen Analyse	65
7.3.2 Grundlagen der ökologischen Bilanzierung	66
7.3.3 Festlegungen und Vorgehensweise	68
7.3.4 Ergebnisse	74
7.3.5 Schwachstellenanalysen	105
7.4 Erweiterung der klassischen ökobilanziellen Betrachtung durch Indikatoren zur Qualität der Landnutzung	111
7.4.1 Problematik und spezifische Aufgabenstellung	111
7.4.2 Ausgewählte Kategorien und Parameter	114
7.4.3 Beschreibung und Herleitung der quantitativen Indikatoren	117
7.4.4 Beschreibung und Herleitung der qualitativen Indikatoren	156
7.4.5 Ergebnisse und Diskussion zur Qualität der Flächenbeanspruchung	184

7.5	Ökonomische Bewertung der Anbauwürdigkeit	205
7.5.1	Methoden und Grundlagen der Berechnungen	206
7.5.2	Deckungsbeiträge für die Kulturen nachwachsender Rohstoffe	207
8	Gesamtbewertung und Diskussion der Ergebnisse	213
8.1	HO-Sonnenblumen	213
8.2	Winterraps und Rapsöl zur stofflichen Verwertung	215
8.3	Winterweizen zur Stärkeerzeugung	216
8.4	Körnermais zur Stärkeproduktion	217
8.5	Hanf zur Fasergewinnung	219
8.6	Flachs/Gesamtfaserlinie	221
8.7	Miscanthus (Chinaschilf)	222
8.8	Fasernessel	224
9	Voraussichtlicher Nutzen und praktische Verwertbarkeit	227
10	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	229
10.1	Posterpräsentationen:	229
10.2	Tagungsbeiträge:	229
10.3	Geplante Veröffentlichungen:	230
11	Literaturverzeichnis	231

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht zu Stoffgruppen Nutzung und Herkunft nachwachsender Rohstoffe mit besonderer Berücksichtigung pflanzlicher Biomasse für die stoffliche Verwertung.	2
Abbildung 1-2: Zusammenstellung häufig genannter Argumente zu Chancen und Risiken eines vermehrten Anbaus und Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.	7
Abbildung 3-1: Ablaufschema des Vorgehens bei den Untersuchungen der Produktlinien nachwachsender Rohstoffe.	13
Abbildung 7-1: Potenziell günstige Anbauggebiete für HO-Sonnenblumen.	57
Abbildung 7-2: Potenziell günstige Anbauggebiete für Winterraps.	58
Abbildung 7-3: Potenziell günstige Anbauggebiete für Winterweizen.	59
Abbildung 7-4: Potenziell günstige Anbauggebiete für Körnermais.	60
Abbildung 7-5: Potenziell günstige Anbauggebiete für Hanf.	61
Abbildung 7-6: Potenziell günstige Anbauggebiete für Flachs.	62
Abbildung 7-7: Potenziell günstige Anbauggebiete für Miscanthus.	63
Abbildung 7-8: Potenziell günstige Anbauggebiete für Fasernessel.	64
Abbildung 7-9: Die Bestandteile einer Produktökobilanz nach DIN EN ISO 14040.	67
Abbildung 7-10: Schema der verkürzten Darstellung beim Lebenswegvergleich.	74
Abbildung 7-11: Lebensweg von Schmierstoffen aus hochölsäurehaltigem (high oleic, HO) Sonnenblumenöl im Vergleich zu herkömmlichen Schmierstoffen (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4; SB steht für „Sonnenblumen“).	76
Abbildung 7-12: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Schmierstoffe aus HO-Sonnenblumenöl“ („SB-Öl“) in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abbildung siehe Abschnitt 7.3.4).	77
Abbildung 7-13: Lebensweg von Hydraulikflüssigkeiten aus Rapsöl im Vergleich zu herkömmlichen Hydraulikölen (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).	79
Abbildung 7-14: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Hydrauliköle aus Winterraps versus konventionelle Hydrauliköle“ in Einwohnerwerten pro 100ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abbildung siehe Abschnitt 7.3.4).	80

Abbildung 7-15: Lebensweg von Kunststoffen aus Weizen versus Polyethylen (PE) bzw. Polypropylen (PP; bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).....	83
Abbildung 7-16: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Kunststoffe aus Weizen versus Polyethylen“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).....	84
Abbildung 7-17: Lebensweg von Kunststoffen aus Mais versus Polyethylen (PE) bzw. Polypropylen (PP; bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).	87
Abbildung 7-18: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Kunststoffe aus Mais versus Polyethylen“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).	88
Abbildung 7-19: Lebensweg von Auto-Innenverkleidungen aus Hanffaser-Verbundstoff versus ABS (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).....	91
Abbildung 7-20: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Hanffaserverbundstoffe für Auto-Innenverkleidungen versus ABS“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).	92
Abbildung 7-21: Lebensweg von Dämmstoffen aus Flachsfasern versus Steinwolle (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).	94
Abbildung 7-22: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Flachs-Dämmstoffe versus Steinwolle“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4.	95
Abbildung 7-23: Lebensweg von Verbundstoffen im Automobil aus Miscanthus versus Holzfaserverbundstoffe (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).....	98
Abbildung 7-24: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Faserverbundstoffe im Automobil aus Miscanthus versus Holzfaserverbundstoffe“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).	99
Abbildung 7-25: Lebensweg von Textilien aus Nesselfasern im Vergleich zu Baumwolltextilien (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).	102
Abbildung 7-26: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Textilien aus Nesselfasern versus Baumwolltextilien“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).	103

Abbildung 7-27: Bandbreite der Lachgas- und Ammoniakemissionen beim Lebensweg von Raps-Hydraulikölen in Einwohnerwerten pro 100 ha (Hinweise und Erklärungen siehe unter 7.3.4.).....	106
Abbildung 7-28: Bandbreite der Lachgas- und Ammoniakemissionen beim Lebensweg von Hanf-Verbundstoffen in Einwohnerwerten pro 100 ha (Hinweise und Erklärungen siehe unter 7.3.4.).....	107
Abbildung 7-29: Umweltwirkungen für die Produktlinien „Sonnenblumen-Schmierstoffe aus Ökolandbau“ bzw. „aus konventionellem Anbau“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Ökolandbaufläche für die Nutzung in Verlustschmierung (bez. Hinweise und Erklärungen siehe Text u. Abschnitt 7.3.4.).....	108
Abbildung 7-30: Veränderungen in den Umweltwirkungen durch Optimierung der Fruchtfolge für die Produktlinien der Kulturen Winterweizen, Körnermais und Winterraps in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche.	110
Abbildung 7-31: Übersichtsschema zu den verwendeten quantitativen Indikatoren zur erweiterten ökobilanziellen Betrachtung durch den differenziellen Vergleich von Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe.....	116
Abbildung 7-32: Übersichtsschema zu den verwendeten qualitativen Indikatoren zur erweiterten ökobilanziellen Betrachtung durch den differenziellen Vergleich von Fruchtfolgen mit- und ohne nachwachsende Rohstoffe.....	116
Abbildung 7-33: Schema zur methodische Herleitung des schlagbezogenen Indikators Bodenerosion für die Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe.....	122
Abbildung 7-34: Schematische Übersicht zur Herleitung des Indikators Nitrataustragspotenzial aus Daten langjähriger Messungen der vorwinterlichen Nitrathinterlassenschaft in Baden-Württemberg (MLR 1989-2000).	133
Abbildung 7-35: Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft (verändert nach BRAUN 2001; gesperrt gedruckte Variablen sind durch ackerbauliche Maßnahmen beeinflussbar).....	140
Abbildung 7-36: Schematische Übersicht zur Herleitung des Indikators „P-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer“ mit Beispielswert 1,8 für den Anreicherungsfaktor von P im Bodenabtrag und einem angenommenen Sedimenteintrag in Gewässer von 15 %.....	144
Abbildung 7-37: Schematische Darstellung zur Herleitung des Indikators „Bodenverdichtungspotenzial“.....	152
Abbildung 7-38: Ermittlung des BVP (Bodenverdichtungspotenzial) anhand der Fruchtfolgeglieder für ein Feld mit nachwachsendem Rohstoff und für die Referenzfruchtfolge mit Stilllegung.	155

Abbildung 7-39: Ableitung qualitativer Indikatoren zur Güte der Flächenbeanspruchung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe in einer erweiterten ökobilanziellen Betrachtung über Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsenden Rohstoff (Erläuterungen in den Kapiteln 7.4.4.2 bis 7.4.4.4).	157
Abbildung 7-40: Ansatz zur Bewertung von Produktionssystemen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe hinsichtlich ihres Beitrags zu natur- und landschaftsschützerischen Zielen auf Landschaftsebene innerhalb der Systemgrenzen von Baden-Württemberg	159
Abbildung 7-41: Bodenerosionspotenziale nachwachsender Rohstoffe.	186
Abbildung 7-42: Nitrat auswaschungspotenziale nachwachsender Rohstoffe.	189
Abbildung 7-43: P-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe.	193
Abbildung 7-44: Bodenverdichtungspotenziale (BVP) von Kulturen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzfruchtfolgen mit Flächenstilllegung ohne den Anbau nachwachsender Rohstoffe.	196

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: In Deutschland und Baden-Württemberg beantragte „Stilllegungsflächen“ für den Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2001 in Hektar (n. BMVEL zit. in VETTER 2001).....	4
Tabelle 1-2: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (n. BMVEL, zit. in VETTER 2001).....	5
Tabelle 4-1: Enderzeugnisse, Neben- und Nachprodukte aus der Verarbeitung, die im Wirtschaftsjahr 2000/2001 in Deutschland durchgeführt und gemeldet wurden (n. BLE 2001; Stand: Sept. 2002; erfasst ca. 50 % der nachwachsenden Rohstoffe).....	17
Tabelle 4-2: Übersicht zu den Potenzialen und zur Nutzung der wichtigsten regenerativen Energien in Deutschland (vorläufige Berechnungen n. HARTMANN & KALTSCHMITT in FNR 2002).....	18
Tabelle 4-3: Produktlinien und stoffliche Anwendungen nachwachsender Rohstoffe (n. FNR 2001; ASKEW 2001).....	20
Tabelle 4-4: Bedeutende Einsatzbereiche von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten (n. FNR 2001).....	22
Tabelle 4-5: Zur Wettbewerbssituation stärkebasierter biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) aus Polymilchsäure (Polylactid) mit PE-Verpackungen nach gegenwärtige möglichem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der neuen Verpackungsverordnung (n. LÖRCKS 2000) ¹⁾	24
Tabelle 4-6: Kulturen nachwachsender Rohstoffe und ihre technische Nutzung.....	28
Tabelle 7-1: Bewertungskategorien und Kriterien zur Beurteilung der Anbauwürdigkeit von Kulturen nachwachsender Rohstoffe für Baden-Württemberg.....	43
Tabelle 7-2: Ausgangsliste von Kulturpflanzen nachwachsender Rohstoffe.....	45
Tabelle 7-3: Liste ausgewählter Kulturen und Produktlinien nachwachsender Rohstoffe für einen möglichen Anbau in Baden-Württemberg.....	47
Tabelle 7-4: Übersicht über die verwendeten, raumbezogenen Daten und ihre räumliche Auflösung.....	52
Tabelle 7-5: Auswahlkriterien zur Ausweisung der günstigen Anbaugebiete für die verschiedenen Kulturen.....	56
Tabelle 7-6: Umweltwirkungen.....	69
Tabelle 7-7: Analysierte Größen.....	70
Tabelle 7-8: Die Systemfestlegungen im Einzelnen.....	71

Tabelle 7-9: Funktionsansprüche an eine Agrarlandschaft und aggregierte Zielgrößen für eine nachhaltige Nutzung (in Anlehnung an MÜHLE et al. 2000).....	114
Tabelle 7-10: Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung von Kulturen nachwachsender Rohstoffe im Rahmen einer erweiterten ökobilanziellen Betrachtung auf Schlagebene (Einzelfelder). ¹⁾	115
Tabelle 7-11: Kenndaten des virtuellen Modellstandorts (Feldschlag) Baden-Württemberg zur Ermittlung der Erosionswerte für verschiedene Fruchtfolgen bzw. Produktlinien nachwachsender Rohstoffe.	120
Tabelle 7-12: Übersicht zu Varianten der ermittelten Bodenabträgen (schlagbezogene Erosionsrisiken) für Fruchtfolgen der HO-Sonnenblume (verwendete Quellen: Gündra et al. 1995; Auerswald et al. 1999).....	123
Tabelle 7-13: Mittlere Nitratgehalte und abgeleitete Nitrat-Kenngrößen von Bodenprofilen bei Herbstbeprobung (0-90 cm Bodentiefe) von Standorten in Baden-Württemberg nach verschiedenen Hauptkulturen (Nitratberichte des MLR 1989–1999; Kolbe 2000).....	132
Tabelle 7-14: Gruppierung der bereinigten Nitratgehalte im Bodenprofil bezüglich der potenziellen Belastung von Grundwasser durch Nitrat aus landwirtschaftlich genutzten Böden (in Anlehnung an MLR 1989-1999).....	136
Tabelle 7-15: Mittlere Reduktion der Nmin-Werte auf landwirtschaftlich genutzten Böden durch spezielle Verfahren und Maßnahmen (Quelle: Nitratbericht MLR 1999, Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg, Stand 07.12.2000).....	137
Tabelle 7-16: Beziehung zwischen jährlicher Bodenerosion und der mittleren Anreicherung von Phosphor (AR) im Bodenabtrag.	142
Tabelle 7-17: Phosphoreintragspotenzial in Oberflächengewässer pro Hektar für verschiedene Fruchtfolgen.....	145
Tabelle 7-18: Entwicklung der Schlepperzulassungen nach Leistungsklassen zwischen 1990 und 1998 (WEIßBACH 2001).	147
Tabelle 7-19: Mittleres Gewicht von Ackerschleppern.....	148
Tabelle 7-20: Landwirtschaftliche Geräte und deren Gewicht zur Berechnung des Verdichtungspotenzials (zusammengestellt nach „top agrar profi“ „Landmaschinenkatalog 2001“ und anderen Quellen).....	150
Tabelle 7-21: Hohlraummaße und Dichten für die Berechnung der Zuladungen landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte.	151
Tabelle 7-22: Ermittlung des Bodenverdichtungspotenzials am Beispiel des Fruchtfolgeglieds Winterweizen.....	154

Verzeichnisse

Tabelle 7-23: Veränderung der ackerbaulichen Flächennutzung in Baden-Württemberg von 1950 bis 1999 (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 1998 und 2001; gerundet auf 100 ha).	158
Tabelle 7-24: Getreide-Anbauflächen in ha auf dem Ackerland in Baden-Württemberg 1999 (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 2001).	158
Tabelle 7-25: Bewertung landschaftsbild-bezogener Erfassungsmerkmale für die Erlebnisraumtypen in der Agrarlandschaft Baden-Württembergs.	166
Tabelle 7-26: Dreistufige Skala für die landschaftsbezogene Bewertung des Beitrags von Kulturen zum Landschaftsbild.	166
Tabelle 7-27: Anzahl gefährdeter Ackerwildkräuter in Baden-Württemberg und in Deutschland (nach HOFMEISTER & GARVE 1998).	167
Tabelle 7-28: Gefährdung der Ackerwildkrautgesellschaften in Deutschland (nach HOFMEISTER & GARVE 1998).	167
Tabelle 7-29: Bewertung der Erfassungsmerkmale für die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft Baden-Württembergs.	174
Tabelle 7-30: Dreistufige Skala für die Bewertung der Artenvielfalt.	175
Tabelle 7-31: Biomassezufuhr auf einer Pseudogley-Parababraunerde unter Apfel unterschiedlicher Bodenpflege und Vorkommen von Regenwurmpopulationen (Zahl erwachsener Tiere/m ² nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).	176
Tabelle 7-32: Körpergewicht und Atmung (bei 15 °C) wichtiger Bodentiergruppen unter Acker (Weizen auf Fahlerde-Kolluvium, NPK-Dünger 260 kg/ha Jahr, Herbizid- und Insektizideinsatz) und Wiese (auf entwässertem Gley-Kolluvium) in Turew, Polen (aus SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, verändert).	179
Tabelle 7-33: Mittlerer Regenwurmbesatz [Individuen/m ²] in unverdichteten Flächen über drei Untersuchungsjahre (1995-1997) mit konventioneller Bearbeitung und pflugloser Bearbeitung an zwei Standorten (aus LANGMAACK 1999, übersetzt).	180
Tabelle 7-34: Bewertung der Erfassungsmerkmale hinsichtlich des Bodenlebens in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.	180
Tabelle 7-35: Punktevergabe für den Einfluss auf das Bodenleben nach Schwellenwerten für das Bodenverdichtungspotenzial (BVP) einzelner Produktionsverfahren (Herleitung siehe Kapitel 7.4.3.4).	181
Tabelle 7-36: Dreistufige Skala für die bodenbezogene Bewertung (Regenwürmer); es sind maximal 5 Punkte erreichbar.	182

Tabelle 7-37: Bewertung der einzelnen nachw. Rohstoffe hinsichtlich der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.	183
Tabelle 7-38: Bodenerosionspotenziale der Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.	186
Tabelle 7-39: Nitratauswaschungspotenziale der Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.	189
Tabelle 7-40: P-Eintragspotenziale in Oberflächengewässer durch nachwachsende Rohstoff-Fruchtfolgen gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.	192
Tabelle 7-41: Bodenverdichtungspotenziale (BVP) von Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.	195
Tabelle 7-42: Landschaftsbezogene Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe sowie der Stilllegungsflächen in den Agrarlandschaft Baden-Württembergs.	199
Tabelle 7-43: Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.	201
Tabelle 7-44: Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich Landschaftsbild und Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.	203
Tabelle 7-45: Bewertung der nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich des Bodenlebens (Indikator Regenwürmer).	204
Tabelle 7-46: Zusammenstellung von Einzeldeckungsbeiträgen der Kulturen nachwachsender Rohstoffe für die stoffliche Verwertung.	207
Tabelle 7-47: Zusammenstellung der mittleren Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen mit und ohne nawaRo und Saldo zugunsten (+) oder zu Ungunsten (-) der nawaRo.	210

IVa KURZFASSUNG

Durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe (nawaRo) auf Ackerflächen können Agrarmärkte entlastet und endliche, fossile Rohstoffe geschont werden. Bei geeigneter Gestaltung von Produktion, Verarbeitung, Verwendung und Entsorgung ergeben sich durch ihren Einsatz beachtliche Möglichkeiten, die Landnutzung und die Wirtschaft umweltfreundlicher zu gestalten. Innovations- und Beschäftigungspotenziale können mobilisiert werden.

Die Chancen lassen sich jedoch nur realisieren, wenn die Förderung bei nachwachsenden Rohstoffen einher geht mit der Konzeption und Umsetzung umfassender Umweltstrategien.

Allgemeingültige Aussagen und Annahmen sind in diesem Zusammenhang wenig hilfreich. Nur eine Einzelfallbetrachtung entlang des gesamten Lebensweges bestimmter Produkte, ausgehend von der landwirtschaftlichen Erzeugung bis hin zur Entsorgung kann über die ökologischen Be- und Entlastungen Auskunft geben, die mit der Substitution von Produkten auf fossiler Rohstoffbasis verbunden sind.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, die Entscheidungsbasis für die weitere Förderung bei nachwachsenden Rohstoffen für stoffliche Verwertung durch belastbare Aussagen zu verbessern. Alternativen werden nach Anbauwürdigkeit, Marktpotenzialen und Wirtschaftlichkeit der Erzeugung, den damit verbundenen Umweltwirkungen und der möglichen Flächenwirkung im Hinblick auf den Erhalt einer flächendeckenden Landwirtschaft einer Analyse und Bewertung unterzogen.

In einem ersten Schritt wurden aus einer Vielzahl von Optionen, und auf der Basis des Sachstandes im Jahr 2000 zunächst die acht nachfolgenden Kulturen mit ihren Produktlinien identifiziert: Hoch-ölsäurereiche Sonnenblumen - technische Schmierstoffe, Faserhanf - Faserverbundstoffe, Faserlein - Dämmstoffe, Winterraps - Hydraulikflüssigkeiten, Winter-Weizen - Biokunststoff für feste Verpackungen, Körnermais - Biokunststoff für Abfalltüten, Miscanthus - Faserverbundstoffe im Spritzguss und Fasernessel - Textile Nutzung.

Mithilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) wurden zu den identifizierten Kulturen digitale Karten erstellt, die in einer ersten Annäherung die Regionen Baden-Württembergs ausweisen, die für den Anbau bestimmter Rohstoffe in Frage kommen. Sie zeigen, dass für alle gewählten Kulturen beträchtliche Gebiete vorhanden sind, die sich für den Anbau eignen.

Die identifizierten Produktlinien (z. B. Kunststoffverpackungen auf der Basis von Maisstärke) wurden einer vergleichenden ökobilanziellen Betrachtung mit Produkten auf fossiler Rohstoffbasis unterworfen (in Anlehnung an ISO 14040-43). Verhältnisse der Produktion in Baden-Württemberg, der Verarbeitung in Deutschland und internationaler Märkte für die Betriebs- und

Kurzfassung

Hilfsstoffe wurden dabei angenommen. Neben- oder Kuppelprodukte wurden nach dem Gutschriftsverfahren berücksichtigt.

Beim Vergleich der Ökobilanzen von Produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe mit Produkten auf fossiler Rohstoffbasis treten große Unterschiede auf. Je nach gewähltem Produkt und Substitut weisen die Produkte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe aber meist mehr oder minder deutliche Vorteile beim Verbrauch erschöpflicher Energie und beim Treibhauspotenzial auf. Bei den Wirkungskategorien Ozonabbau und Ammoniakemissionen schneiden die Produkte auf der Basis nachwachsender Rohstoffe meist deutlich schlechter ab, was vor allem auf Belastungen durch die Produktion und den Einsatz von Mineraldüngern zurückzuführen ist. Das Bild bei den übrigen Wirkungskategorien ist uneinheitlich. Es konnte gezeigt werden, dass in der vermehrten Nutzung biologischer Stickstoffbindung und über effizientere Düngungs- und Anbausysteme noch erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Ökobilanz von Produkten auf biogener Rohstoffbasis gegeben sind. Sie sollten durch gezielte Anstrengungen in Forschung und Beratung genutzt und umgesetzt werden. Beim Vergleich biogener Rohstoffe wies Miscanthus gegen Holzfaser keine Unterschiede auf, Nesselfaser erwies sich gegenüber Baumwolle deutlich umweltfreundlicher.

Das verwendete ökobilanzielle Verfahren wurde für die Beurteilung der Umweltwirkungen von Produkten entwickelt, die typischerweise auf der Basis von Erdöl und Mineralerzen in hohen Stückzahlen auf kleiner Fläche erzeugt werden. In diesen Fällen reichen die dabei berücksichtigten Wirkungen meist aus, um den Lebensweg eines Produktes zu bewerten. Stützt sich die Produktion auf biogene Rohstoffe, so hat das zur Folge, dass große Landflächen durch eine Kultur belegt und auch beeinflusst werden. Für eine umfassende Bewertung der Lebenswege und die im Projekt geforderte Berücksichtigung umweltgerechter Anbauverfahren erwies es sich daher als notwendig, zusätzliche Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung zu entwickeln. Sie wurden, analog zum Vorgehen bei der Ökobilanzierung in Anlehnung an ISO 14040-43 in der Weise gestaltet, dass sie reproduzierbar und quantifizierbar in einen standortunabhängigen Ansatz einbezogen werden können. Die Ergebnisse für die Potenziale Nitrataustrag ins Grundwasser, Phosphor-Austrag in Oberflächengewässer, Bodenerosion und Bodenverdichtung wiesen für alle betrachteten Rohstoffe gegenüber den Fruchtfolgen mit Stilllegung große Differenzen auf. Die Indikatoren sind geeignet, in quantitativer Form auf Gefährdungspotenziale hinzuweisen, die mit der Flächennutzung für den Anbau nachwachsender Rohstoffe verbunden sind.

Für die Kategorien Landschaftsbild, Artenvielfalt und Bodenleben sind standortunabhängige Bewertungen weit schwieriger möglich, weshalb für diese Kategorien qualitative Indikatoren entwickelt wurden, die nachrichtlich als Informationen in Ökobilanzen mitgeführt werden können. Trotz zum teil deutlicher Unterschiede, die vor allem zugunsten von Lein und Raps ausfallen, sind noch weitere Fallstudien zu diesen Themenbereichen nötig, um fundierte, standortu-

nabhängige Einschätzungen der Wirkungen des Anbaus auf Artenvielfalt und Bodenleben treffen zu können.

Die Bewertung der ökonomischen Attraktivität für die landwirtschaftliche Erzeugung konnte sich bei etablierten Kulturen auf belastbare Preise und Kosten stützen, bei Kulturen wie Miscanthus, Nessel und Industriefaserlein waren Berechnungen auf weniger sicherer Datengrundlage nötig. Hoch-ölsäurehaltige Sonnenblumen und mit neuen Vermehrungsverfahren produzierter Miscanthus erwiesen sich bei Betrachtung der Deckungsbeiträge im Rahmen der Fruchtfolge als relativ vorzügliche Kulturen. Sie wurden gefolgt von Körnermais, Weizen, Raps und Hanf. Fasernessel und Industriefaserlein stellen aufgrund hoher Etablierungskosten bzw. niedriger Rohstoffpreise bei den angenommenen Verfahren keine wirtschaftliche Alternative zu gängigen Kulturen dar.

Es wird empfohlen den Anbau von HO-Sonnenblumen entlang der ganzen Wertschöpfungskette regional konzentriert zu fördern. Der Anbau von Miscanthus könnte mit den neuen Vermehrungsverfahren und den sich ergebenden Preisspielräumen wieder attraktiv werden, da neue Märkte erschlossen werden können. Fördermaßnahmen sollten in diesem Fall bei der Erschließung neuer Märkte und Verwendungsmöglichkeiten ansetzen. Bei Raps, Stärkemaïs und Stärkeweizen sind die Chancen für den Einsatz der Kulturen als nachwachsende Rohstoffe am ehesten dadurch zu verbessern, dass die Rahmenbedingungen für den Einsatz umweltfreundlicher, innovativer Produkte, zum Beispiel durch die Honorierung geringerer Entsorgungsprobleme, verbessert werden. Ein vermehrter Anbau der aus ökologischer Sicht sehr wünschenswerten Kulturen Lein und Fasernessel erfordert bei Lein noch Investitionen in die Entwicklung von Verwertungen mit höherer Wertschöpfung. Bei der Fasernessel sollten sich die Anstrengungen auf kostengünstigere Etablierungsstrategien, die Zucht höherer Fasergehalte und auf die parallel dazu notwendige Optimierung der Techniken für die textile Nutzung konzentrieren.

1 Motivation und Hintergründe des Forschungsvorhabens

1.1 Rolle und Bedeutung nachwachsender Rohstoffe

Nachwachsende Rohstoffe (nawaRo) aus der Natur und aus der Land- und Forstwirtschaft stellen bis ins neunzehnte Jahrhundert die Rohstoffbasis für die meisten Produkte des täglichen Lebens dar. Naturfasern, Holz, pflanzliche Farbstoffe und Öle bildeten die Grundlage des verarbeitenden Gewerbes und des Handwerks.

Zur Definition nachwachsender Rohstoffe:

Unter dem Begriff der nachwachsenden Rohstoffe fallen alle biogenen Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel eingesetzt werden, sondern einer stofflichen oder energetischen Nutzung zugeführt werden (LEIBLÉ et al. 2001).

Die bestimmende Rolle der nachwachsenden Rohstoffe änderte sich erst im Verlauf des neunzehnten Jahrhunderts und durchschlagend im zwanzigsten Jahrhundert mit der Erschließung und der Transformation fossiler Rohstoffe. Das petrochemische Industriezeitalter machte bis zum Ende der 50iger Jahre in Europa und in Baden-Württemberg die meisten nachwachsenden Rohstoffe für die stoffliche Nutzung entbehrlich und drängte ihre Produktion bis auf wenige Restflächen zurück.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der energetischen Nutzung der Rohstoffe nur insoweit, als es sich um die Entsorgung (finale Nutzung) der Produkte und Kuppelprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen am Ende ihres Lebenszyklus handelt. Sie beschränkt sich außerdem auf planmäßig produzierte Biomasse pflanzlicher Herkunft. Da sich bei der stofflichen Verwertung aber immer noch schier unüberschaubare Möglichkeiten der Nutzung ergeben, wurde das Stoffspektrum bei Projektbeginn außerdem auf die Produktlinien Fasern, Öle, Fette und Stärke eingengt.

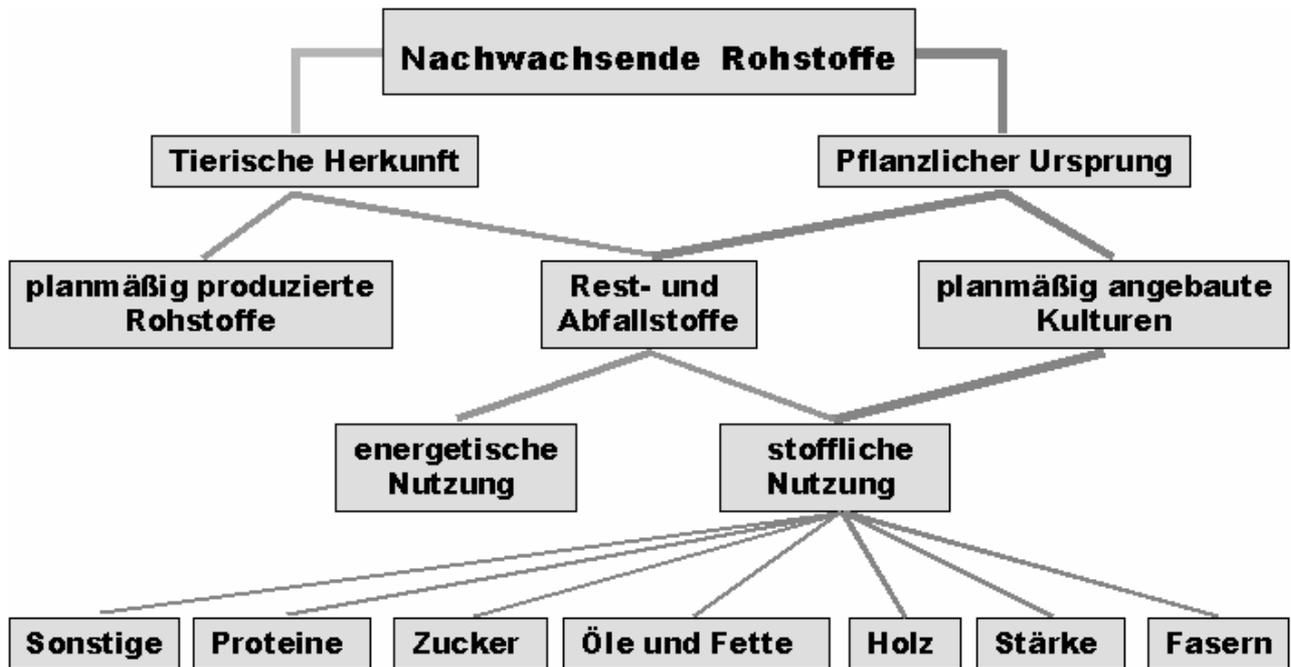


Abbildung 1-1: Übersicht zu Stoffgruppen Nutzung und Herkunft nachwachsender Rohstoffe mit besonderer Berücksichtigung pflanzlicher Biomasse für die stoffliche Verwertung.

Abbildung 1 gibt einen Überblick zur Klassifizierung der nachwachsenden Rohstoffe nach Herkunft, Nutzung und nach Stoffgruppen.

Im Zuge der Ölkrise von 1973/79, welche die enorme Abhängigkeit der heimischen Volkswirtschaft von begrenzt verfügbarem Rohöl offenbarte, setzt erstmals eine gewisse Rückbesinnung auf die Potenziale der nachwachsenden Rohstoffe ein.

Das erneute Interesse galt zunächst fast ausschließlich den Aspekten der Energieerzeugung. Bald stellten sich aber auch neue Fragen wie etwa die der Überproduktion landwirtschaftlicher Nahrungs- und Futtermittel. Durch die Umwidmung von Feldern zur Nahrungsmittelproduktion in Flächen zur Rohstoffproduktion konnten Synergien erzeugt werden zwischen der gewünschten Produktion von Rohstoffpflanzen und der gebotenen Entlastung des zunehmend kostspieligen europäischen und internationalen Agrarmarktes. Zwar haben sich die anfänglichen Erwartungen in die Produktion von Energie, auch wegen unerwartet günstiger Entwicklung der Ölpreise, bisher nicht so erfüllt wie damals angenommen, das Thema der nachwachsenden Rohstoffe blieb aber lebendig. Es verwundert deshalb nicht, dass in den 90iger Jahren auch zunehmend das Potenzial des Anbaus nachwachsender Rohstoffe zur Reduzierung von Umweltbelastungen, zum

angewandten produktiven Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz und zur Erhöhung der pflanzlichen Vielfalt in den zunehmend verarmten Fruchtfolgen erkannt wurde. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe wurde deshalb in den letzten Jahren zunehmend auch Bestandteil einer umfassenden Strategie für eine zukunftsfähige nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft und der Volkswirtschaft insgesamt.

In diesem Rahmen beschäftigt sich auch die vorliegende Arbeit mit den nachwachsenden Rohstoffen und beleuchtet vor dem Hintergrund der Verhältnisse in Baden-Württemberg die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Anbaus und der Verwertung ausgewählter Rohstoffe pflanzlicher Herkunft.

1.2 Bedeutung der nachwachsenden Rohstoffe in der Landwirtschaft

Die in Deutschland landwirtschaftlich genutzte Fläche betrug im Jahr 2001 ca. 17 Mio. ha von denen etwa 11 Mio. ha ackerbaulich genutzt wurden (65 %). Fast zwei Drittel der Ackerflächen dienten der Produktion von Getreide und 10 % der Produktion von Raps. Etwa 680.000 ha oder 6 % der Ackerflächen waren mit nachwachsenden Rohstoffen belegt (BMVEL 2001). Der überwiegende Teil dieser Flächen (465.000 ha) wiederum diente der Erzeugung von Rapsöl, dem mit Abstand bedeutendsten landwirtschaftlich erzeugten nachwachsenden Rohstoff in Deutschland und in Baden-Württemberg. 125.000 ha wurden mit stärke liefernden Pflanzen bebaut, 51.000 ha dienten der Leinölproduktion und 25.000 ha der Erzeugung von Sonnenblumenöl, um nur die wichtigsten Rohstoffkulturen zu nennen.

Nur etwa die Hälfte der nachwachsenden Rohstoffe wurden auf sogenannten „Stilllegungsflächen“ angebaut. Als „Stilllegungsflächen“ werden die aktuell 10 % des Ackerlandes bezeichnet, die im Rahmen der Agenda Beschlüsse des Agrarrates der Europäischen Union für die Wirtschaftsjahre 2001 bis 2006 nicht für den Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen, wohl aber für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt werden dürfen. Die andere Hälfte der nachwachsenden Rohstoffe wurde auf regulären Ackerflächen (sogenannten „Basisflächen“) angebaut, wo sie in ihrer Wirtschaftlichkeit mit normalen Ackerkulturen konkurrieren.

Auf diesen Flächen hat sich in den letzten Jahren, begünstigt durch tendenziell steigende Kosten bei fossilen Rohstoffen, bei der Abfallbeseitigung und getragen von technischen Innovationen

1 Motivation und Hintergründe des Forschungsvorhabens

bei der Produktion, Gewinnung und Weiterverarbeitung nachwachsender Rohstoffe ein wachsendes wirtschaftliches Potenzial entwickelt, das bei geeigneten Rahmenbedingungen eine Ausweitung des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen erwarten lässt.

Wie Tabelle 1-1 zeigt, bestehen auch auf den Stilllegungsflächen, die aktuell zu etwa 70 % als Brachflächen genutzt werden, noch erhebliche Reserven für den Anbau nachwachsender Rohstoffe. Mangels aktueller wirtschaftlicher Anreize, fehlender Bindeglieder zwischen Produktion und Verarbeitung und/oder bürokratischer Hemmnisse werden sie aber derzeit nicht ausgeschöpft.

Tabelle 1-1: In Deutschland und Baden-Württemberg beantragte „Stilllegungsflächen“ für den Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2001 in Hektar (n. BMVEL zit. in VETTER 2001).

Raum	STILLEGUNGSFLÄCHE		
	Gesamt	mit nawaRo	ohne nawaRo
Baden-Württemberg	73.834	21.842 (29 %)	51.992 (71 %)
Deutschland	1.157.439	331.640 (28 %)	825.799 (72 %)

Die aktuelle und kurzfristige Entwicklung des Marktes für nachwachsende Rohstoffe allgemein ist schwer einschätzbar und macht eine detaillierte Betrachtung für verschiedene Rohstoffkategorien und Verwendungen (Produktlinien) notwendig. Wie aus Tabelle 1-2 zu ersehen, hat sich auf Bundesebene aktuell eine Stabilisierung auf einem Niveau von ca. 700.000 ha Anbaufläche für die nachwachsenden Rohstoffe eingestellt, wobei sich allerdings für die verschiedenen Stoffgruppen zum Teil erhebliche Schwankungen ergeben.

Zahlreiche Anwendungen wurden in den letzten Jahren, auch aufgrund von Fördermaßnahmen, durch neue Techniken und Innovationen erschlossen. Trotzdem konnten die neuen Chancen nur bei wenigen Erzeugnissen tatsächlich genutzt werden, da es nach ASKEW (2001) oft an der notwendigen Marktorientierung fehlte bzw. weil es versäumt wurde, ganze Wertschöpfungsketten von der Erzeugung bis hin zum Endverbraucher auch institutionell und organisatorisch zu etablieren.

Tabelle 1-2: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland (n. BMVEL, zit. in VETTER 2001).

Rohstoff	1995		1997		1999		2000		2001	
	Nicht stillgelegte Fläche	Stilllegungsfläche								
Stärke	130.000	2.700	138.000	0	125.000	0	125.000	0	125.000	0
Zucker	8.000	0	9.000	0	7.000	0	7.000	0	7.000	0
Rapsöl	5.000	331.000	80.000	107.000	10.000	359.742	75.000	332.978	135.000	325.000
Sonnenblumenöl	13.000	17.000	20.000	3.100	21.000	7.048	20.000	5.279	20.000	5.000
Leinöl	54.000	3.250	96.000	675	199.000	1.041	107.000	1.096	50.000	0
Flachs und Hanf	3.370	10	6.000	0	4.000	38	4.000	78	2.000	0
Heilstoffe	4.000	800	4.000	0	4.000	899	4.000	606	4.000	0
Sonstige	0	7.100	0	1.000	0	684	0	1.354	242	2.000
Summe	217.370	361.860	242.034	111.775	370.000	369.452	324.000	341.391	343.242	443.000
Insgesamt	579.230		510.034		739.452		683.391		675.242	

Mittel- bis langfristig sind die Rahmenbedingungen so, dass mit einer Ausdehnung der Flächen gerechnet werden muss. Diese Annahme stützt sich, neben dem Zuwachs an technischen Möglichkeiten, auf den möglichen Beitrag, den nachwachsende Rohstoffe zur Erreichung der Ziele in Klima- und Ressourcenschutz leisten können.

Stellvertretend sei hier nur auf das von der Enquete-Kommission des 12. Deutschen Bundestages zum „Schutz der Erdatmosphäre“ formulierte Ziel der Reduktion der CO₂-Emissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 bzw. 70-80 % bis 2050 hingewiesen. Auch das Ziel einer Steigerung des Anteils regenerativer Energien auf 4 % bundesweit bis 2010 oder die für Baden-Württemberg angestrebte Verdoppelung des Anteils regenerativer Energien bis zu diesem Datum wird zu einer verstärkten Nachfrage nach pflanzlich erzeugter Biomasse führen. Nach Angaben der internationalen Energieagentur (LEIBLE et al. 2001) wird außerdem der globale Energiebedarf von derzeit

1 Motivation und Hintergründe des Forschungsvorhabens

9 Mrd. t Rohöläquivalenten bis zum Jahr 2020 auf 14 Mrd. t zunehmen. Die statistische Reichweite der fossilen Rohstoffbasis beträgt aber nach Angaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover für Erdöl nur noch rd. 40 Jahre, die für Erdgas 60 Jahre und für Kohle 170 Jahre.

Aus diesen wenigen Angaben wird deutlich, dass sich die Konkurrenz um die verbliebenen fossilen Rohstoffe verschärfen wird. Sowohl im energetischen als auch im stofflichen Bereich wird dies zu einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit und zu einer zunehmenden Substitution der fossilen, petrochemischen Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe führen.

1.3 Zu Chancen und Risiken nachwachsender Rohstoffe

Kontrovers diskutiert werden die nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich der Chancen und Risiken, die aus einer verstärkten Nutzung erwachsen. Dabei beschränken sich die Befürworter häufig relativ einseitig nur auf die Darstellung von Vorteilen, zu denen z.B. die Einsparung endlicher Ressourcen, die Erschließung neuer Einkommensquellen für den ländlichen Raum, eine höhere Versorgungssicherheit bei den Rohstoffen und die Bereicherung von Fruchtfolgen im Ackerbau gehören.

Die Skeptiker verweisen auf der anderen Seite auf die Gefahr neuer Monokulturen, potenziell neuen Subventionsbedarf und auf die Konkurrenz zu Naturschutzflächen hin, um nur einige Beispiele anzuführen. Wie die Zusammenstellung der häufig in den Diskussionen angeführten Argumente in Abbildung 1-2 zeigt, sind auch in diesem Fall nicht nur Vorteile, sondern auch Nachteile mit der Förderung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe verbunden. Sie können zwingend sein oder auch gemindert und vermieden werden und erfordern deshalb eine genaue und detaillierte Einzelfallbetrachtung. Diese sollte möglichst viele Wirkungsebenen abdecken, den Lebensweg vom Rohstoff bis zur Entsorgung des Endprodukts betrachten und auch die Konkurrenzprodukte berücksichtigen, die durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden sollen.

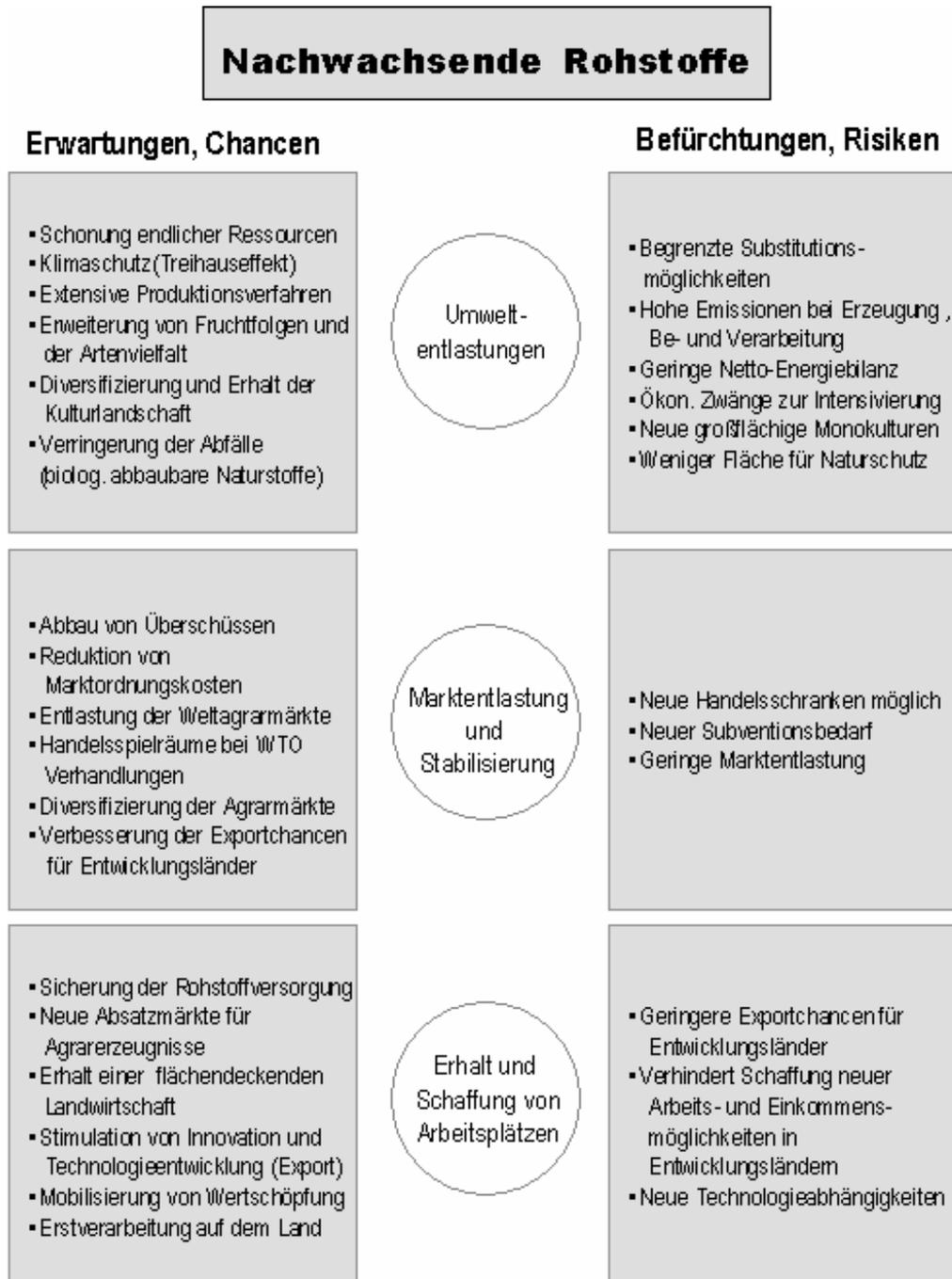


Abbildung 1-2: Zusammenstellung häufig genannter Argumente zu Chancen und Risiken eines vermehrten Anbaus und Einsatzes nachwachsender Rohstoffe in Deutschland.

1 Motivation und Hintergründe des Forschungsvorhabens

2 Aufgabenstellung und Ziele

2.1 Aufgabenstellung

Um qualifizierte Aussagen zur Umweltverträglichkeit des Anbau von nachwachsenden Rohstoffen in Baden-Württemberg treffen zu können, darüber hinaus aber auch Empfehlungen für ökologische Verbesserungen formulieren zu können, ist es deshalb erforderlich

- die in Baden-Württemberg bereits angebauten Kulturen, wie auch für die hiesigen Standortverhältnisse geeignete neue Kulturen zur stofflichen Nutzung zu identifizieren
- ihre Umweltwirkungen systematisch zu erfassen, zu bestimmen und die
- zur Erreichung einer nachhaltigen Landwirtschaft geeigneten Produktionsverfahren abzuleiten.

Eine ökologisch und ökonomisch begründete Entscheidung für oder gegen den Anbau nachwachsender Rohstoffe ist allerdings nicht ausschließlich auf der Basis der von der landwirtschaftlichen Produktion ausgehenden Umweltwirkungen zu treffen. Vielmehr muss, wie bereits erwähnt, der gesamte Lebensweg der aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Produkte erfasst und einer objektiven Analyse unterzogen werden.

Die Bewertung der relativen Vor- und Nachteile der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen hat sinnvoll im Vergleich zu konkurrierenden Produkten auf fossiler Rohstoffbasis zu erfolgen.

2.2 Zielsetzung des Projektes

Ziel des vorliegenden Projektes ist es eine belastbare Entscheidungsbasis für die weitere Förderung bei nachwachsenden Rohstoffen zu erstellen, um diese mit den Erfordernissen nach ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen.

2 Aufgabenstellung und Ziele

Dies erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit anhand einer systematischen Analyse zu ausgewählten Produktlinien. Die weitere Entwicklung bei nachwachsenden Rohstoffen soll auf dieser Grundlage mit Konzepten zur Umsetzung umfassender Umweltstrategien verknüpft werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden die nachwachsenden Rohstoffe und deren Produktketten vor dem Hintergrund der naturräumlichen und strukturellen Verhältnisse des Landes Baden-Württemberg hinsichtlich Anbaueignung, Produktionsverfahren und der technischen Verarbeitungs- und Anwendungsmöglichkeiten untersucht.

Die Umweltverträglichkeit exemplarischer Produktlinien/Produktketten nachwachsender Rohstoffe (z.B. Maisproduktion - Stärkegewinnung - Polylactidherstellung - Kunststoffartikel - Gebrauch und Entsorgung) werden mittels des dazu geeigneten Instruments der ökobilanziellen Analyse entlang des Lebensweges der Produkte für festgelegte Umweltkategorien quantifiziert und bewertet.

Um die ökobilanzielle Betrachtung darüber hinaus in einen weiteren Zusammenhang stellen zu können, werden für den Bereich des landwirtschaftlichen Anbaus außerdem ökonomische Aspekte und die Qualität der Flächenbeanspruchung anhand neuentwickelter Indikatoren untersucht.

Die Umweltwirkungen werden auf der Grundlage der genannten Untersuchungen umfassend analysiert und wie in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt, einer Bewertung zugänglich gemacht.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

3.1 Vorgehen und methodischer Ansatz

Methodisch gliedert sich das Projekt in drei große Arbeitsschritte und einen Bewertungsteil mit Handlungsempfehlungen. Die Bearbeitung der Arbeitsschritte erfolgte durch die zwei Projektpartner, das Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim (IfuL) und das Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) in ihren jeweiligen Sachgebieten und in Abstimmung mit Akteuren in Politik und Wirtschaft, die in zwei Treffen zur Mitte und gegen Ende der Projektlaufzeit zum Sachstand des Projektes informiert und konsultiert wurden.

Der erste Arbeitsschritt bestand in der Identifizierung, Charakterisierung und Auswahl von Produktlinien und der Beschreibung von Produktionsszenarien zu den nachwachsenden Rohstoffen. Dieser Arbeitsschritt wurde vom Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim übernommen. Die ökologische Bewertung anhand von Übersichtsökobilanzen als zweites großes Arbeitsfeld wurde vom Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg bearbeitet. Diese Arbeiten wurden durch Kenngrößen zur Qualität der Flächenbeanspruchung landwirtschaftlich erzeugter Rohstoffe durch das IfuL ergänzt. Die ökonomische Bewertung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf betrieblicher Ebene erfolgte als dritter bedeutender Arbeitsschritt ebenfalls durch das IfuL.

Der systemanalytische Ansatz (siehe Abb. 3-1), der für die Untersuchung gewählt wurde, berücksichtigte vor dem Hintergrund der Verhältnisse in Baden-Württemberg Verwertungs- und Wertschöpfungspotenziale, die sich nach gegenwärtigem oder in naher Zukunft zu erwartendem Stand der Technik ergeben. Wie im Ablaufschema in Abb. 3-1 aufgezeigt, konzentriert sich der analytische Teil auf die Erarbeitung von Kennwerten zu Ökonomie und Umwelt ausgewählter Produktlinien. Im Zentrum der Untersuchung stand die ökobilanzielle Analyse der Umweltwirkungen (im Vergleich zu konventionellen Alternativen auf petrochemischer Basis) entlang des gesamten Lebensweges. Die ökonomische Analyse und Bewertung erfolgte detailliert nur zur landwirtschaftlichen Produktion und aufgrund einer Po-

tenzialabschätzung für die Auswahl und Bewertung der Produktlinien hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen und sozialen Attraktivität.

3.2 Identifizierung, Charakterisierung und Auswahl von Kulturen und Produktlinien

Zur Identifizierung von für Baden-Württemberg interessanten Kulturpflanzen wurde zunächst aus Informationen zum aktuellen Anbau und zu experimentell angebauten nachwachsenden Rohstoffen eine Urliste von etwa 30 Pflanzen zusammengestellt. Aus dieser Urliste wurden unter Zuhilfenahme zahlreicher Quellen und anhand einer Liste mit Kriterien zur Beurteilung von Kulturpflanzen hinsichtlich der Attraktivität und Eignung als nachwachsende Rohstoffpflanzen (siehe Kap. 7.1) eine Aufstellung potenziell förderungswürdiger Kulturen gemacht. Den Kulturen und pflanzlichen Rohstoffen wurden dann in einem weiteren Schritt aussichtsreiche Verwertungs- und Aufarbeitungsoptionen mit einem konkreten Marktprodukt zugeordnet. Die so ermittelten Produktlinien und Lebenswege wurden nach Rücksprache mit Fachvertretern und Aussprache mit Repräsentanten aus den Bauernverbänden, der Wirtschaft und der Politik der in Abb. 3-1 skizzierten und in Abschnitt 7.3 bis 7.5 ausführlich dargestellten Analyse zugeführt und anschließend einer ersten Bewertung unterzogen.

Ergänzend zu den im Projektentwurf dargelegten Planungen zur Umweltbewertung nachwachsender Rohstoffe wurden zusätzlich zu den Kennwerten der Übersichtsökobilanzen in Anlehnung an ISO 14040-43 weitere Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung entwickelt und in die Bewertung mit aufgenommen (Kap. 7.4).

Dies geschah aufgrund der Überlegung, dass die Methode der Ökobilanzierung, welche die Umweltwirkungen von Produktion, Konsum und Entsorgung bestimmter Güter analysiert, eine zunächst für industrielle Produktionsverfahren entwickelte Methodik darstellt. Die dabei berücksichtigten Umweltwirkungskategorien (siehe Kap. 7.3) reichen in der Regel aus, um die Vor- und Nachteile industriell erzeugter Produkte auf der Basis fossiler Rohstoffquellen zu charakterisieren, weil diese typischerweise in großer Stückzahl auf einer kleinen Produktionsfläche hergestellt werden.

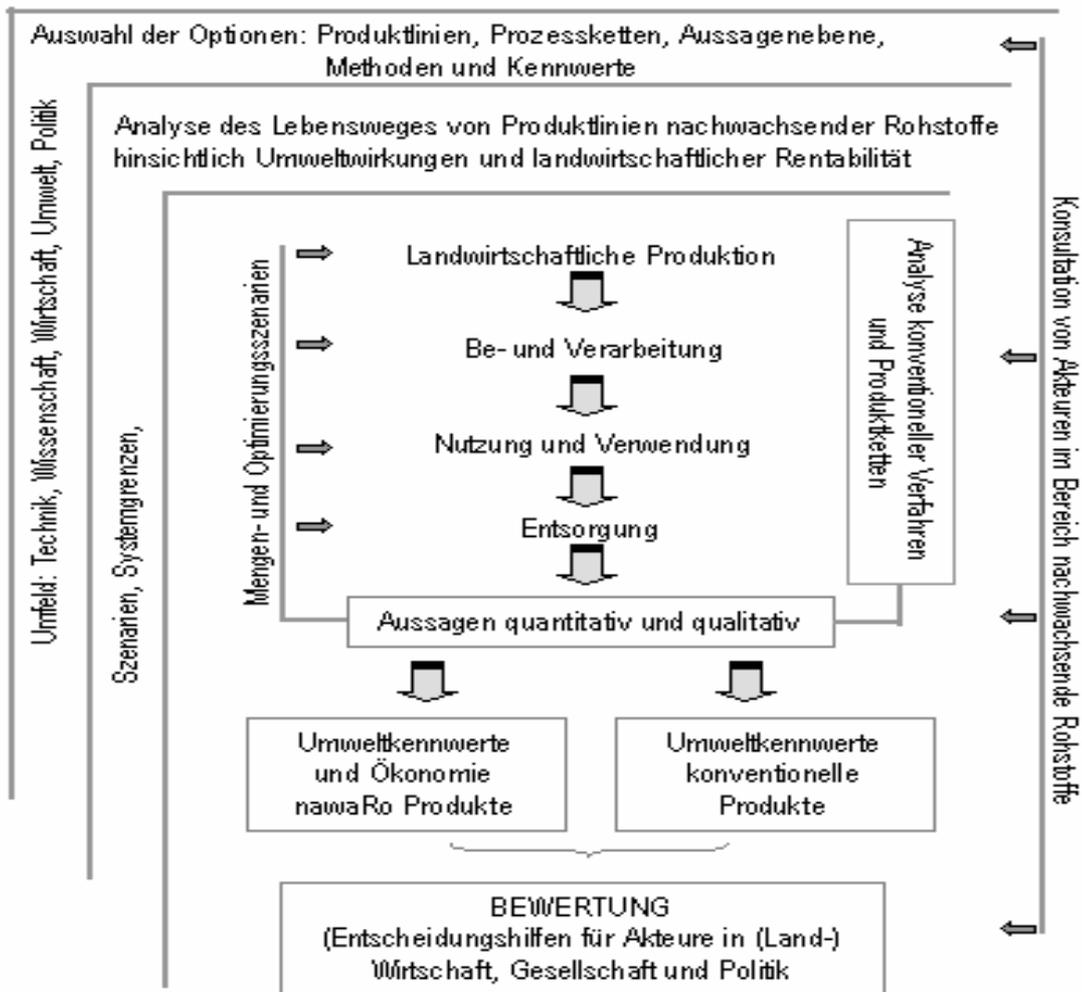


Abbildung 3-1: Ablaufschema des Vorgehens bei den Untersuchungen der Produktlinien nachwachsender Rohstoffe.

Stammen die industriellen Rohstoffe dagegen aus landwirtschaftlicher Produktion, so werden große Flächen in Anspruch genommen und hinsichtlich ihrer ökologischen Funktionen und des Beitrags zum Landschaftsbild beeinflusst. Es versteht sich deshalb von selbst, dass unter diesen Voraussetzungen eine möglichst umfassende Abschätzung der Umweltwirkungen eines Produktes nur dann gegeben ist, wenn die etablierten Parameter und Wirkungskategorien der ökobilanziellen Betrachtung durch Indikatoren zum Wesen und zur Qualität der Flächen- oder Landnutzung ergänzt werden.

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich bei einer „erweiterten ökobilanziellen Betrachtung“ aus der Tatsache, dass diese Indikatoren bei Aufrechterhaltung des weitgehend standortunabhängigen ökobilanziellen Grundansatzes ebenfalls „standortunabhängig“, „auf Einzel-

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

feldbetrachtung basierend“, quantifizierbar und reproduzierbar sein müssen. Dies schränkt die Möglichkeiten der Berücksichtigung und die Aussagekraft von Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung zwar ein, macht sie jedoch innerhalb definierter Systemgrenzen, wie sie auch in ökobilanziellen Verfahren angewendet werden, aber nicht unmöglich. Sie erlauben es, unabhängig vom konkreten Standort des möglichen Anbaus, Aussagen zu potenziellen Vorteilen und Risiken zu machen, die mit gewissen Produktionsverfahren verbunden sind. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Parameter Nitratauswaschungspotenzial, Bodenerosionspotenzial, Bodenverdichtungspotenzial, Phosphataustragspotenzial, Landschaftsbild, Artenvielfalt und Bodenleben zur erweiterten ökobilanziellen Betrachtung entwickelt und angewandt. Die Herleitung dieser Parameter und die Kennwerte zu den einzelnen Kulturen sind in Kap. 7.4 dargelegt.

4 Wissenschaftlich-technischer Stand bei Beginn des Vorhabens

4.1 Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe umfassen Nutzungen stofflicher Art wie auch energetischer Art (siehe Abb. 1-1).

4.1.1 Energetische Nutzung

Festbrennstoffe, und hier vor allem das Holz, sind die am häufigsten eingesetzten biogenen Brennstoffe. Zunehmende Bedeutung erlangten in den letzten Jahren auch Pflanzenöle, die gezielt für energetische Nutzung angebaut werden und wie die Zusammenstellung in Tabelle 4-1 zeigt, mengenmäßig die Anwendungen im stofflichen Bereich (Schmierstoffe, Farben und Lacke etc.) schon bei weitem übertreffen.

Vor allem Rapsöl und zu einem geringeren Anteil auch Sonnenblumenöl wird, begünstigt durch steuerliche Erleichterungen, in großem Umfang zu Biodiesel (Fettsäure-Methylester) verarbeitet und in Verbrennungsmotoren eingesetzt. Noch größer sind die Potenziale bei der energetischen Nutzung von Biomasse, z.B. aus Zuckerrüben und Getreidestärke zur Ethanolgewinnung (siehe Tabelle 4-2). Sie werden aber bisher kaum genutzt.

Die Verwendung von speziell angebauten pflanzlichen Rohstoffen für die energetische Verwertung spielen aufgrund begrenzter Wettbewerbsfähigkeit mit fossilen Brennstoffen oder wegen hoher Anfangsinvestitionen noch eine relativ geringe Rolle. Zu diesem Marktsegment zählen z.B. der Anbau von Miscanthus (Energiepflanzen) und der Anbau schnellwachsender Gehölze (Energieholz) wie Weiden oder Pappeln, die auf speziellen Umtriebsflächen für die Biomasseverbrennung oder Vergasung bereitgestellt werden. Bei der um-

4 Wissenschaftlich-technischer Stand bei Beginn des Vorhabens

weltfreundlichen Verbrennung von Biomasse und silikatreichem Halmgut wurden in der Prozessführung und Technik in den letzten Jahren sehr große Fortschritte gemacht. Eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Nutzung der Biomasse ist deshalb vor allem im ländlichen Raum mit kurzen Transportwegen und ausreichendem Platzangebot aussichtsreich und machbar (DEIMLING & KALTSCHMITT in FNR o.J.).

Aus Stärke und zuckerhaltigen Pflanzen lässt sich Ethanol gewinnen. Über Vergasungsverfahren kann aus trockener Biomasse Methanol hergestellt werden. Die Alkohole Ethanol und Methanol eignen sich hervorragend als Kraftstoffe für Benzinmotoren, Methanol besitzt ein großes Potenzial bei der Verwendung in Brennstoffzellen.

Die größten Potenziale für nachwachsende Rohstoffe in der energetischen Verwertung liegen derzeit in der Nutzung von Rest- und Abfallstoffen, zu denen bei großzügiger Auslegung neben Restholz und Schnittabfällen auch das Getreidestroh gerechnet werden kann. Nach LEIBLE et al. (2001a) fällt den biogenen Stoffen in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten die bedeutendste Rolle unter den regenerativen Energieträgern zu. Über deren Nutzung bei Co-Verbrennung (Beimischung zu anderen Brennstoffen), Co-Vergärung (Zugabe biogener Abfälle in Biogasanlagen) und z.B. in der energetisch sehr effizienten Vergasung trägt diese Verwertung zum Klimaschutz und zur Entlastung bei der Abfallbeseitigung bei. Sie ist deshalb auch aus dieser Sicht wünschenswert.

Tabelle 4-1: Enderzeugnisse, Neben- und Nachprodukte aus der Verarbeitung, die im Wirtschaftsjahr 2000/2001 in Deutschland durchgeführt und gemeldet wurden (n. BLE 2001; Stand: Sept. 2002; erfasst ca. 50 % der nachwachsenden Rohstoffe).

Ausgangs- erzeugnis	Enderzeugnis	Menge (t)	Neben- und Nachprodukt	Menge (t)
Raps	Methylester	191.340	Schrot	548.435
	Technische Öle	8.195	Glycerin	26.682
	Fettsäuren	13 855	Mischfett	124
	Schmiermittel	7.432		
	Papierhilfsstoff	10.000		
	Dest. Fettsäuren	3.546		
	Fettsäurederivate	13.734		
	Schmieröladditive	1.773		
	Kraftstoffe aus Rohöl (BHKW)	1.123		
	Arzneimittelgrundstoffe	976		
	Talgfettsubstitute	520		
	Farben/Lacke	644		
	Techn. Bindemittel	310		
Sonnenblume	Methylester	1.184	Schrot	5.295
	Fettsäuren	5.473	Glycerin	733
	dest. Fettsäuren	803	Schlämme/Reste	
	Fettsäurederivate	381	Mischfett	25
	technische Öle (Kühl-, Trennmittel)	117		
	Kraftstoff aus Rohöl	13		
Öllein	Holzschutzmittel	2.111	Schrot	851
	Fettsäure	480	Glycerin	80
Hanf	Dämmstoffe	9	Schäben	5
Körnermais	Verpackungsmaterial	154	Maismehl/Kleie	142
	Zusatzstoff Zahnpflege (Sorbitol)	30.684		

Tabelle 4-2: Übersicht zu den Potenzialen und zur Nutzung der wichtigsten regenerativen Energien in Deutschland (vorläufige Berechnungen n. HARTMANN & KALTSCHMITT in FNR 2002).

Energiequelle:	Wärmebereitstellung		Stromerzeugung	
	in PJ/a		in TWh/a	
	Endenergiepotenzial	Nutzung	Endenergiepotenzial	Nutzung
Solar	136	ca. 4,5	35 - 40	0,09
Umgebungsluft	1.755	ca. 6,0		
Biogene Festbrennstoffe	ca. 1.100	167	115	0,31
Biotreibstoffe	max. 48 ^{b)}	0,11	7,8 ^{b)}	0,004
	max. 110 ^{c)}		17,9 ^{c)}	
Organische Nebenprodukte und Abfälle	ca. 400 ^{d)}	4,6	42-46	0,920
				2,65 ^{e)}
Wasserkraft	-	-	23,5	20,5
Erdwärme (oberflächennah)	1316	ca. 5	119	-
Windenergie			35-40	11,5

TWh/a = Terrawattstunden/a = 10^9 kWh

PJ/a = Penta Joule pro Jahr = 10^{15} J/a

- a) dezentrale Systeme zur Wärmebereitstellung
- b) Pflanzenöl und RME in BHKW auf max. 2 Mio ha
- c) Alkohol aus Zuckerrübe und Weizen in BHKW max. 2 Mioha
- d) Biogas einschließlich Energiepflanzen auf 2 Mio ha
- e) Müllverbrennungen in denen auch anderes biogenes Material mitverbrannt wird

Bei der kombinierten Strom-Wärmegewinnung aus Biomasse spielt die Nutzung von Depo- nie und Klärgas in Blockheizkraftwerken (BHKW) eine dominierende Rolle. Über diese Nutzung lassen sich Treibhausgase und viele Schadstoffe unwirksam machen bzw. zerstö-

ren. Sie stellen damit, im Gegensatz zur Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen, kein unkalkulierbares Risiko mehr für die Landwirtschaft (und den Verbraucher) dar.

Insgesamt wird der Anfall an biogenen Abfällen, der einer energetischen Nutzung zugeführt werden kann, in Deutschland auf 70-80 Mio. t Trockenmasse pro Jahr geschätzt, was in etwa einem Drittel der jährlichen oberirdischen Biomasseproduktion in Deutschland entspricht (210 Mio. t/a organische Trockensubstanz). Zwei Drittel der energetisch nutzbaren Abfallbiomasse, die nach LEIBLE et al. (2001) zehn Prozent des deutschen Energiebedarfs decken könnte, stammen aus der Land- und Forstwirtschaft und werden gegenwärtig aufgrund noch bestehender logistischer, technischer und wirtschaftlicher Hemmnisse nur in sehr geringem Umfang genutzt. Nach vorläufigen Berechnungen von HARTMANN & KALTSCHMITT (FNR 2001) beläuft sich das technische Energiepotenzial regenerativer Quellen bei Strom auf etwa 30-60 % der Bruttostromerzeugung und auf ca. 60 % beim Wärmeenergiebedarf, wobei den biogenen Energieträgern vom Potenzial, den Kosten, dem Stand der Technik und der bedarfsgerechten Bereitstellung eine Schlüsselrolle zukommt.

4.1.2 Stoffliche Nutzung

Im Gegensatz zur energetischen Nutzung, bei der die Situation über die Verwendungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe noch relativ übersichtlich ist, gibt es bei der stofflichen Verwertung nachwachsender Rohstoffe eine große und kaum überschaubare Vielfalt an Ausgangsstoffen, Produktlinien und Einsatzmöglichkeiten. Es ist deshalb zweckmäßig, die Stoffgruppen zunächst in Kategorien wie Fasern, Öle und Fette, Stärke, Zucker, Farbstoffe und sonstige Inhaltsstoffe einzuteilen (siehe hierzu auch Abb. 1-1 in Kap. 1 und Tabelle 4-3).

Tabelle 4-3: Produktlinien und stoffliche Anwendungen nachwachsender Rohstoffe (n. FNR 2001; ASKEW 2001).

Produktlinie	Anwendungsfelder
Fasern	Textilien, technische Textilien und Vliese (Filter, Geotextilien), Zellstoff, Papier, Formteile, Verbundwerkstoffe, Bau- und Dämmstoffe
Stärke/Zucker	Klebstoffe, Bindemittel, Tenside, Kunststoffe, Füllstoffe, Verpackungen, Beschichtungen, Papier- und Kartonprodukte, Vergärung (Fermentation)
Öle und Fette	Schmierstoffe, Hydrauliköle, Schalöle, Tenside, Kunststoffe, Lacke, Farben, Kosmetikartikel, Bodenbeläge (Linoleum), Lösungsmittel, Polymere, chem. Synthesegrundstoffe
Proteine	Polymere, Tenside, Klebstoffe, Anstriche, Folien, Verpackungen, Waschmittel, Kosmetika
besondere Inhaltstoffe	Naturfarben, Kosmetik, Pharmaka, Lebensmittelzusatzstoffe, Pflanzenschutzmittel, technische Anwendungen, Duftstoffe

Im Rahmen dieses Projektes wurden Kulturen und Produktlinien genauer untersucht, die den Kategorien Öle und Fette, Stärke und Fasern zuzuordnen sind.

4.1.2.1 Öle und Fette

Im Jahr 2001 waren bei der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe 230 biogene Schmierstoffe auf der förderfähigen Positivliste registriert. Pflanzenöle und modifizierte pflanzliche Öle können herkömmliche Schmierstoffe auf Mineralölbasis (z.B. Sägekettensägenöle, Weichenschmierstoffe und Schmierfette) ersetzen. Daneben können Hydrauliköle, Kühlschmierstoffe in der Metallverarbeitung und Motorenöle substituiert werden. Besonders in sensiblen Umweltbereichen, wie etwa beim Einsatz an Gewässern, bei der Verwendung als Verlustschmierstoff oder bei der Zementverschalung kommen die Vorteile pflanzlicher Öle wegen der guten biologischen Ab-

baubarkeit besonders zum Tragen (etwa die Hälfte der Altölschmierstoffe in Deutschland wird nicht durch Altölsammlungen erfasst, sondern gelangt in die Umwelt).

Die großen Marktpotenziale liegen aktuell aber im Bereich der Hydraulikflüssigkeiten und bei Schmierstoffen für Verbrennungsmotoren. Gemäß einer Studie des Marktforschungsunternehmens Frost & Sullivan (FNR 2001) und nach ASKEW (2001) betrug der Einsatz von Schmierstoffen in der EU im Jahr 2001 etwa 370.000 t und wurde zu etwa 10 % durch nachwachsende Rohstoffe abgedeckt. Der Umsatz für biologisch abbaubare Schmierstoffe belief sich im Jahr 2000 auf ca. 300 Mio. €/Jahr und wird bis 2006 auf voraussichtlich 600-700 Mio. €/Jahr ansteigen.

Insgesamt beziffert sich der EU-Markt für non-food-Anwendungen (ohne Baustoffe) auf etwa 3 Mio. t/Jahr. Neben den Produktlinien Schmierstoffe und Hydrauliköle existieren auch erhebliche Potenziale bei der Substitution von Lösungsmitteln. Aktuell werden von möglichen 12-13 % des Marktpotenzials Kohlenwasserstoff basierter Lösungsmittel (1,9 Mio. t/a) nur ca. 1,5 % von biologisch abbaubaren Lösungsmitteln abgedeckt.

Auch auf dem expandierenden Markt für Bodenbeläge, bei welchem allein in Deutschland pro Jahr 50-60 Mio. m² Bodenbelag aus Polyvinylchlorid (PVC) hergestellt werden, ist durch den zunehmenden Einsatz dieser in der Entsorgung umweltproblematischer Materialien durch Linoleum ein erhebliches Marktpotenzial vorhanden. Nach ASKEW (2001) wird der Bedarf EU-weit bis 2003 auf 56 Mio m² Linoleum geschätzt, was einer Steigerung der Nachfrage nach Leinöl um 64 % für die Herstellung entsprechen würde.

Maßgeschneiderte Öle mit nur einer Hauptfettsäure oder hohen Anteilen spezieller Fettsäuren (z.B. Petroselinensäure, Calendulasäure, Ölsäure) besitzen gute Marktchancen in Spezialanwendungsgebieten oder bei der Verwendung als Ausgangsstoffe in der chemischen Industrie. Da die chemische Zusammensetzung der Pflanzenöle weitgehend genetisch festgelegt ist, unterliegt sie bei züchterisch bearbeiteten Pflanzen nur noch geringen umweltbedingten Schwankungen. Wenn die Qualität der Öle schon auf die spätere Verwendung „zugeschnitten“ ist, bringen sie einen hohen Mehrwert schon vom Feld mit, der bei petrochemisch erzeugten Spezialfettsäuren meist mit großem Aufwand und mit entsprechenden Kosten geschaffen werden muss.

Bei der indirekten Nutzung werden Öle in Fettsäuren und Glycerin zerlegt und ihren chemischen Eigenschaften entsprechend verwendet. Anwendungsgebiete sind die Kunststoff-, Leder- und Gummiindustrie. Ein traditionell sehr wichtiges Einsatzgebiet für pflanzliche Öle sind auch Wasch- und Reinigungsmittel sowie Seifen.

Tabelle 4-3 gibt einen Überblick zu aktuellen Verwendungsmöglichkeiten pflanzlicher Öle im stofflichen Bereich.

Tabelle 4-4: Bedeutende Einsatzbereiche von Pflanzenölen und Pflanzenölderivaten (n. FNR 2001).

<u>Schmierstoffe und Trennmittel</u>		
Hydrauliköl	Getriebeöl	Kompressorenöl
Motorenöl	Sägekettenöl	Betontrennmittel
Schneidöl	Turbinenöl	Schmierfette
Kühlschmierstoffe	Weichen-Schmierstoff	Food-Contact-Öle
<u>Reinigungsmittel</u>		
Tenside	Emulgatoren	Spülmittel
Waschmittel		
<u>Kunststoffe und Kunststoffadditive</u>		
Polyamide	Polyurethane	Weichmacher
Trennmittel	Gleitmittel	
<u>Kosmetika und Pharmazeutika</u>		
Cremes/Salben	Badeöle	Lotionen
Körperpflegemittel	Sonnenmilch	Rasiercremes
Make up		
<u>Sonstige</u>		
Linoleum	Lösungsmittel	Harze
Bohrhilfsmittel	Lacke	Lederverarbeitung
Klebstoffe		

4.1.2.2 Stärke und Zucker

Der wohlstrukturierte und organisierte EU-Markt für Stärke und Kohlehydrate hatte im Jahr 2000/2001 ein Volumen von etwa 7,3 Mio. t. Davon entfielen auf den non food-Bereich etwa 3,7 Mio. t.; 1,4 Mio. t gingen in die Papier- und Pappindustrie; 1,1 Mio. t in die Kunststoff- und Waschmittelherstellung und weitere 1,2 Mio. t in die Fermentation und sonstige Anwendungen.

Nach Cellulose, die meist aus Holz gewonnen wird, ist Stärke der bedeutendste organisch-chemische Rohstoff. Interessant und zukunftssträchtig, wenn auch aktuell betriebswirtschaftlich erst in Ausnahmefällen rentabel, ist die Verarbeitung von Stärke zu biologisch abbaubaren Kunststoffen, die in vielen Wirtschaftsbereichen die Abfallproblematik mindern werden (LÖRCKS 2000).

Heute verfügbare Stärkegrundstoffe lassen sich mit konventionellen geringfügig modifizierten Extrusionsanlagen und etablierten Verfahren der Kunststoffverarbeitung zu Hohlkörpern, Formteilen, Schäumen und Folien verarbeiten und können sehr vielfältig eingesetzt werden. Vorteile für biologisch abbaubare Kunststoffe sind vor allem in Marktsegmenten zu erwarten, in denen das Recycling schwierig ist, es sich um kurzlebige Güter handelt, die biologische Abbaubarkeit eine Anwendungsvoraussetzung oder einen Vorteil darstellt oder die getrennte Erfassung leicht möglich ist (IENICA 2001). Solche Märkte existieren z.B. bei Verpackungen, Hygieneprodukten, Einmalwindeln, Kunststoffen in Landwirtschaft und Gartenbau, bei Papierbeschichtungen und bei „slow-release“-Trägersubstanzen, die Wirkstoffe nur langsam freisetzen und sich danach in CO₂ und Wasser auflösen.

Durch die Kombination mit Faservliesen und technischen Textilien zur Materialverstärkung lassen sich Form- und Verpackungsteile mit neuen Eigenschaften erzeugen, die den Einsatz von Biopolymeren noch einmal erheblich erweitern. Besonders vielseitig und vielversprechend sind die Einsatzmöglichkeiten von Polylactidkunststoffen, die auf der Basis pflanzlicher Stärke durch Fermentation und Polymerisation gewonnen werden können. Schon seit Jahren werden Polylactide (PLA) in der Medizin z.B. bei Prothesen eingesetzt. Der Markt für Massenprodukte blieb diesem umweltfreundlichen Kunststoff mit sehr variablen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten bisher aber aufgrund geringer Wettbewerbsfähigkeit verwehrt.

Momentan liegen die Preise für Polylactidkunststoffe auch mit optimierten neuen Verfahren mit ca. 2,2 €/kg noch bei etwa dem Doppelten des Preises von Massenkunststoffen, wie z.B. petrochemisch basiertes Polyethylenterephthalat (PET) mit ca. 1,20 €/kg. Wie die Kostenaufstellung in Tabelle 4-5 zeigt, lassen die nachfolgend beschriebenen neuen Verfahren mit weiterer Kostensenkung aber insbesondere dann volle Konkurrenzfähigkeit erwarten, wenn bei einem Preisvergleich auch die Entsorgungskosten berücksichtigt werden. Unter diesen Voraussetzungen erscheint es mittelfristig durchaus realistisch, dass bald auch die Massenmärkte für Verpackungstüten (ca. 380.000 t/a in der EU) und PP/PET Verpackungsschalen (ca. 150.000 t/a) von Kunststoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe ersetzt werden können (ENTENMANN 1994).

Tabelle 4-5: Zur Wettbewerbssituation stärkebasierter biologisch abbaubarer Werkstoffe (BAW) aus Polymilchsäure (Polylactid) mit PE-Verpackungen nach gegenwärtige möglichem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der neuen Verpackungsverordnung (n. LÖRCKS 2000)¹⁾.

Kunststoff	Produktpreis/kg	Entsorgungspreis/kg	Gesamtkosten
BAW (PLA)	1,5–1,75 €	0,25 €	1,75 –2 €
PE (Polyethylen)	1 €	1,5 €	2,5 €

¹⁾ Preise von DM in € umgerechnet

Neue Herstellungsverfahren mit kontinuierlicher, nicht absätziger Fermentation wurden technisch bereits soweit entwickelt und erprobt, dass sie das Potenzial besitzen, die Kosten auf ein Niveau nahe bei Polyamiden und Polyethylenterephthalat zu senken (ca. 1,20 €/kg). Die Verbreitung von PLA-Kunststoffen auf den Massenmärkten für Folien, Einwegbehältnisse und im Bereich der Kunststofffasern wäre nach der großtechnischen Realisierung dieser Verfahren in greifbare Nähe gerückt (siehe auch Kap. 7.1).

Aus landwirtschaftlicher Sicht interessant ist die mögliche Verwertung nicht recycling-fähiger, leicht abbaubarer BAW-Kunststoffe als Zusatz (Co-Ferment) in Biogasanlagen, wodurch der Kreislauf zurück in die Landwirtschaft wieder geschlossen wäre.

Stärke wird auch bei der Wasserreinigung, in der Kosmetik, Pharmazie, bei Farben und Agrarchemikalien eingesetzt, wobei es sich meist um Anwendungen mit hoher Wertschöpfung, aber begrenzten Bedarfsmengen handelt.

Zucker kann in der Zement- und Betonverarbeitung z.B. als Abbindeverzögerer oder in Schalungsmitteln und für Kleb- und Farbstoffe eingesetzt werden. Auch wird er sehr häufig und umfangreich bei Fermentationen und in der Tensid- und Kunststoffproduktion eingesetzt.

4.1.2.3 Fasern

Die Einsatzmöglichkeiten der heimischen Fasern von Flachs, Hanf und Brennnessel liegen zum einen im traditionellen Textilbereich, der aktuell klar von Baumwolle und Wolle dominiert wird. Die Fasern kommen ferner in der Papierindustrie und zunehmend auch bei technischen Textilien zur Anwendung, wo in den letzten Jahren neue Märkte im Bereich technischer Naturfaservliese und Verbundstoffe entstanden sind.

Der Textilfasermarkt wurde in der EU im Jahr 2001 auf 7,9 Mio. t geschätzt, wovon 3,2 Mio. t auf Naturfasern entfielen (ASKEW 2001).

Die heimischen Fasern Flachs und Hanf sind in Nischenmärkten zuhause und können als relativ grobe Bastfasern bei der Trockenverspinnung feiner Garne mit einer hohen Wertschöpfung nur sehr begrenzt eingesetzt werden (ALEX et al. 2001).

Nesselstoffe wurden früher mit viel Handarbeit in hoher Feinheit, ähnlich der von Baumwolle hergestellt (BLENZINGER 1917; WENDLER 1917; BREDEMANN 1959). Erst in jüngerer Zeit wurde die Nessel, von der Zuchtlinien mit erhöhtem Fasergehalt von 12-15 % existieren (DREYER 1999), als Faserpflanze zur Herstellung von Nesselstoffen wiederentdeckt. Aussichtsreiche Absatzmöglichkeiten werden vor allem in hochpreisigen textilen Nischenmärkten gesehen (Anonymus 2002).

Neue und interessante Märkte, die nicht mit den Langfaseranwendungen bei Flachs und Hanf konkurrieren, bei welchen Frankreich, Belgien und die Niederlande als traditionelle Anbauländer den Markt beherrschen, wurden im industriellen Bereich mit der Kurz- bzw. Gesamtfaserlinie

4 Wissenschaftlich-technischer Stand bei Beginn des Vorhabens

erschlossen. Bei dieser Produktlinie wird nicht mehr zwischen Lang- und Kurzfasern unterschieden und die Faser lässt sich mit wesentlich geringerem Ertrags- und Qualitätsrisiko mit neuen und schlagkräftigen Ernte- und Verarbeitungstechniken erzeugen. Die Anwendungen im nicht-textilen Bereich erlauben auch den Anbau auf Stilllegungsflächen, der sonst nur bei Nessel zugelassen ist. Die Fasern werden hierbei teils ohne oder nach nur kurzer Röste mechanisch aufgeschlossen (Faserlängen 40-100 mm) und dann zu Vliesen, Filzen und Nadelfilzen verarbeitet. Sie können anstelle von Glasfasern und Holzfasern in Verbundstoffen eingesetzt werden, worunter Stoffe zu verstehen sind, bei denen in einen (Bio-) Kunststoff- oder eine Epoxidharzgrundsubstanz (Matrix) die Faservliese hineingegeben werden, um so duroplastische oder thermoplastische Formteile herzustellen (Autoinnenverkleidungen, Motorradhelme, Bootskörper, Schutzkappen usw.).

Nach einer Untersuchung des NOVA-Instituts (FNR 2000) beträgt der Einsatz von Flachs und Hanf in diesen Anwendungen EU-weit mittlerweile etwa 21.000 t/a, während er 1996 noch bei etwa 4.000 t/a lag. 1999 wurde der Bedarf zu etwa 30 % aus EU-Produktion und zu ca. 70 % aus Osteuropa und Asien bedient (ASKEW 2001).

1999 lag der Marktanteil dieser technischen Produktlinien, die vorwiegend von den neuen Anbauländern für Flachs und Hanf bedient werden, zu denen auch Deutschland zählt, in der EU bei etwa 10 %. Er soll nach Prognosen der europäischen Faserproduzenten bis 2005 auf 30-40 % des insgesamt wachsenden Marktes ansteigen. Gefördert wird ein solcher Trend durch die Entwicklung neuer Aufschlussverfahren und durch bessere und neue Verfahren der Faserverarbeitung (STEFFES 2000).

Da Verbundstoffe nur begrenzt recyclebar sind und heute noch weitgehend über die thermische Verwertung entsorgt werden müssen, ist das weitere Wachstum vor allem im Automobilbau entgegen früheren Prognosen begrenzt.

Nach dem ab 01. Juli 2001 gültigen Altfahrzeuggesetz (Umsetzung der EU-Richtlinie vom September 2000) müssen ab dem Jahr 2006 bis zu 85 % eines Fahrzeugs wiederverwertbar und 80 % stofflich verwertbar sein. Dem Einsatz von Verbundwerkstoffen für die thermische Verwertung (z.B. Schreddern und Verbrennen) sind damit enge Grenzen gesetzt worden, die entweder neue Verbundstoffe erfordern, die chemisch oder enzymatisch aufgeschlossen werden können oder aber durch andere recycelbare Materialien wie z.B. geschäumtes Aluminium ersetzt werden müssen.

Da Verbundstoffe nahezu vollständig auch aus Naturfasern und Kunststoffen auf pflanzlicher Basis hergestellt werden können und sich perfekt für eine energetische, rückstandsarme und CO₂-neutrale Verbrennung eignen, dürfte ihnen trotz dieses Hemmnisses auch außerhalb des Automobilbaus mittelfristig ein höherer Marktanteil sicher sein.

Die wichtigsten Märkte für Flachskurzfasern aus den traditionellen Anbauländern der EU sind der Zellstoffbereich (45 %), der Bekleidungs- und Textilbereich mit 20 % und der Export in nicht EU-Länder mit ebenfalls 20 %. Bei Hanf ist noch der Spezialzellstoffbereich zu erwähnen, der 87 % der Produktion aufnimmt (FNR 2000).

ALEX et al. (2000) verweisen auf die enormen Potenziale der Bastfasern, falls es gelingen sollte, sie in großindustriellem Maßstab durch ein auf Pilotebene schon erprobtes Verfahren des Dampfdruckaufschlusses (engl. STEX-Verfahren) in hoher Feinheit und homogener Qualität aus den Faserbündeln zu vereinzeln. Den auf diesem Wege erzeugten feinen Fasern würde dann der Weg in fast alle textilen Anwendungen mit hoher Wertschöpfung geöffnet. Umweltfreundlich erzeugte Fasern, z.B. von Hanf, könnten dann kostengünstig die weithin umweltbelastende Baumwolle ersetzen. Den Erzeugern könnte bei dann geringerer Bedeutung des Rohstoffpreises und wachsender Bedeutung von Qualität und Liefersicherheit ein Erzeugerpreis angeboten werden, der den Anbau für Erzeuger und Erstverarbeiter auch ohne Beihilfen wieder lukrativ machen würde (0,6 bis 0,75 €/kg Rohstoff).

Tabelle 4-6 zeigt eine Übersicht über die Kulturen mit stofflicher Nutzung, die für Baden-Württemberg als aussichtsreich identifiziert wurden (für die Begründung der Auswahl siehe Kap. 7.1).

Tabelle 4-6: Kulturen nachwachsender Rohstoffe und ihre technische Nutzung.

Kultur	Beschreibung
HO-Sonnenblume	Aus der Familie der Korbblütler; HO steht für „high oleic“, d. h. einem hohen Ölsäureanteil im Samen, der das Öl sehr geeignet für verschiedene technische Anwendungen macht. Das Öl der Samen wird verarbeitet zu Schmierölen, Weichmachern, Härtingsölen und Treibstoffen. Das bei der Extraktion des Öls anfallende Sonnenblumenschrot wird als Tierfutter verwendet.
Raps	Aus der Familie der Kreuzblütler; das Öl der Samen ist verwendbar als Treibstoff (oft als Rapsölmethylester–Biodiesel), als Schmiermittel und in der Chemieindustrie, z.B. für Farben, Lacke und Weichmacher. Das bei der Extraktion des Öls anfallende Rapsschrot findet als Tierfutter Verwendung.
Mais	Aus der Familie der Süßgräser; die aus den Samen gewonnene Stärke wird als Basis für extrudierte Produkte sowie als Klebe- und Bindemittel (unter anderem in der Papierindustrie) und in der Alkoholherstellung eingesetzt. Aus dem Keimöl können Kosmetika hergestellt werden, Maiskleber wird als Viehfutter verwendet.
Weizen	Aus der Familie der Süßgräser; die aus den Samen gewonnene Stärke kann industriell wie beim Mais genutzt werden (siehe dort). Das Keimöl des Weizens findet unter anderem Verwendung in Kosmetika; der Kleber kann an Vieh verfüttert werden. Das Stroh kann als Tierstreu verwendet werden.
Hanf	Aus der Familie der Hanfgewächse; das Öl der Samen wird in Kosmetika und Pharmazeutika, teils auch für Ölfarben oder Reinigungsmittel angewandt. Die Fasern werden zur Herstellung von technischen und Bekleidungstextilien, von Formteilen, Dämmstoffen und Papier verwendet. Der Holzanteil der Pflanze (Schäben) kann ebenfalls als Dämmstoff, für Leichtbauplatten, Bodenplatten oder als Tierstreu genutzt werden.
Flachs (Faserlein)	Aus der Familie der Leingewächse; das Öl der Samen kann für Firnis, Lacke, Farben und Linoleum verwendet werden. Die Fasern können wie die Fasern von Hanf eingesetzt werden, mehr als dort aber in der Textilindustrie oder für Bremsbeläge. Die Schäben werden zur Spanplattenherstellung, als Verpackungsmaterial oder Tierstreu genutzt.
Chinaschilf (Miscanthus)	Aus der Familie der Süßgräser; in seinem Herkunftsgebiet Südostasien vielfältig verwendet; u.a. zur Bodenbefestigung, als Sicht- und Windschutz und als Rohstoff zur Herstellung von Matten und Flechtwerk sowie als Viehfutter. In Mitteleuropa Nutzung als Energiepflanze, Faserpflanze und zunehmend auch als Bau- und Füllstoff (Leichtbeton, Dämm- und Verbundstoffe).
Nessel	Aus der Familie der Brennnesselgewächse; Verwendung der Fasern zur Herstellung von Verbundstoffen und für technische und Bekleidungstextilien.

4.1.3 Hemmnisse und Strategien für den vermehrten Einsatz nachwachsender Rohstoffe

Trotz langfristig günstiger Perspektiven für den vermehrten Einsatz nachwachsender Rohstoffe (Klimaschutz, mittel- bis langfristige Verteuerung fossiler Rohstoffe, Verschärfung der Abfallproblematik, Begrenzung der Nahrungs- und Futtermittelproduktion in der EU) ist ihr Einsatz in der Wirtschaft bisher erst punktuell und in begrenztem Umfang gelungen. Nach Einschätzung des „Interaktiven europäischen Netzwerkes für nachwachsende Rohstoffe und ihre Anwendung“ (IENICA 2001) wurden in den letzten Jahren zwar erhebliche Mittel in die Erzeugung und Entwicklung leistungsfähiger Kulturpflanzen und in die Erforschung von stofflichen Nutzungsmöglichkeiten investiert, es mangelte aber an parallelen Anstrengungen, um diese in Handel und Industrie einzuführen. Die dadurch entstandene „Transferlücke“ resultiert nach ASKEW (2001) aus einer ungenügenden Charakterisierung der Märkte, mangelhafter Anpassung an Industriebedürfnisse und in den technischen Eigenschaften der nachwachsenden Rohstoffe. Als Beispiel führt der Autor an, dass es bei nachwachsenden Rohstoffen im Gegensatz zur Beschaffung anderer Rohstoffe selten möglich ist, diese Produkte je nach Bedarf einfach auf kundenfreundlichen Märkten zu ordern.

Von Seiten der verarbeitenden Industrie können

- Fehlen finanzieller Notwendigkeiten und Anreize zum Wechsel,
- bereits getätigte hohe Investitionen in marktgängige Technologien,
- Unsicherheiten auf beiden Seiten über die weitere Entwicklung bei nachwachsenden Rohstoffen (Angebot, Nachfrage, Rahmenbedingungen) und
- unzureichende Organisation der Märkte und der Versorgungssicherheit ausgemacht werden.

Dabei ist nach Meinung mehrerer Experten oft nicht der Preis das entscheidende Hemmnis, sondern die technischen Eigenschaften der angebotenen Rohstoffe bzw. deren unzureichende Homogenität werden genannt. Zurückhaltung von Industrie und Verbrauchern gegenüber dem „Neuen, Ungewohnten“, dem mit Aufklärung zu begegnen ist, spielt nach Ansicht der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe ebenso eine wichtige Rolle (FNR 2001).

Wie im Rahmen der Fachgespräche zu diesem Projekt außerdem deutlich wurde, kann bei biogenen Produkten und Rohstoffen im technischen Bereich - im Gegensatz zur Verwendung im

4 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS

Nahrungs-, Textil- und Wohnbereich - auch nicht mit einem positiven Imageeffekt für diese Produkte beim Verbraucher gerechnet werden.

Die Marktdurchdringung bzw. die Kaufentscheidungen in den technischen Anwendungen hängt auf diesen Märkten vielmehr fast ausschließlich von den Qualitätseigenschaften, den aktuellen Preisverhältnissen und den objektiven Vorteilen bei der Verwendung ab (LUTHER & KESSELER mündl. Mitt.). WIELAND et al. (2000) verweisen auf die Problemfelder der unübersichtlichen Marktlage, der Unklarheit bei den Zulassungskriterien vieler Stoffe und Produkte, der unzureichenden Produktinformationen und der hohen Fertigungskosten bei neuen (Pilot-) Anlagen hin.

Strategien zur Überwindung von Hemmnissen für den vermehrten Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Industrie sollten insbesondere den nachfolgend genannten Punkten Rechnung tragen:

1. Aufbau einer Infrastruktur, die unterstützend wirkt für die Integration von Produktion, Verarbeitung und Vertrieb.
2. Entwicklung neuer Produkte und von Produktlinien, bei denen auch die Nebenprozesse und -produkte erfasst werden, um auf diese Weise den Nutzen ökonomisch und für die Umwelt zu optimieren.
3. Schaffung formaler, vertikaler Partnerschaften für abgestimmtes Vorgehen von der Produktion bis zur Endnutzung nachwachsender Rohstoffe.
4. Erarbeitung eines besseren Verständnisses des pflanzlichen Stoffwechsels und der genetischen Grundlagen für die Nutzung und Weiterentwicklung oder die Identifizierung neuer wertgebender Inhaltstoffe.
5. Prüfung von Forschungs- und Fördermaßnahmen auf die Konsistenz mit Markterfordernissen.
6. Entwicklung von Instrumenten, die eine bessere Abstimmung von Angebot und Nachfrage bringen (Regeln und Grenzen für Preise, Volumen, geografische Verortung und Qualitätsstandards auf jährlicher Basis festlegen und definieren).

In einer speziellen Untersuchung für den Bereich der nachwachsenden Rohstoffe im Bauwesen kommen DEIMLING & VETTER (2002) zu ähnlichen Schlüssen. Auch sie fordern einen verstärkten Zusammenschluss von Produktion, Aufarbeitung und Verarbeitung und darüber hinaus Vereinfachungen bei den Zulassungsverfahren für Baustoffe und eine Reduzierung der Kosten für die Zulassungen. Anreizprogramme in Verbindung mit einer verbesserten Markttransparenz, die Schaffung positiver Leitbilder und die Berücksichtigung von Entsorgungskosten schon bei der

Planung stellen weitere Forderungen dar, um die Hemmnisse beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe abzubauen.

4.2 Beurteilung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe mit stofflicher Nutzung

4.2.1 Ökologische Aspekte

Nachwachsende Rohstoffe werden allgemein als ökologisch günstiger gegenüber konventionellen Materialien angesehen und wie viele Untersuchungen zeigen konnten, ist die vorteilhafte Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen anstelle von petrochemischen Grundstoffen auch häufig gegeben (FNR o.J.). Sie ist jedoch nicht zwingend nur mit Vorteilen für die Umwelt verbunden.

Die Ausbeutung von endlichen Ressourcen, die sich im Laufe von Jahrmillionen gebildet haben, wird verringert, Umweltrisiken durch Aufbereitung, Transport und Lagerung sind gegenüber Rohöl geringer. Oftmals erlaubt die Rohstoffproduktion gegenüber sonstiger Landnutzung auch intensivere Produktionsweisen, so dass Belastungen durch Agrarchemikalien geringer ausfallen als bei gängigen landwirtschaftlichen Marktfrüchten. Gegenüber einer Stilllegung ist die Bereitstellung der nachwachsenden Rohstoffe (wie bei anderen Rohstoffen auch) aber stets mit Umwelteffekten verbunden.

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen bieten auch oft vorteilhafte Möglichkeiten des Recyclings oder bessere biologische Abbaubarkeit (Naturfasern, Biokunststoffe, Pflanzenöle) als konventionelle Produkte und sind damit potenziell weniger umweltbelastend. Eine Regionalisierung von Anbau, Verarbeitung und Nutzung schafft außerdem günstige Voraussetzungen dafür, dass Nebenprodukte dezentral wieder in die natürlichen Stoffkreisläufe rückgeführt werden können (z.B. Aschen aus Verbrennung, Co-Substrate bei Biogaserzeugung). Allerdings ist mit der Produktion und dem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen auch immer zwingend eine hohe Flächenbeanspruchung verbunden. Sie bringt potenziell Umweltbelastungen durch Bodenemissionen und die Anwendung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Treibstoffen mit sich, deren Bereitstellung wiederum mit speziellen Umweltbelastungen verbunden ist. Das Ausmaß der Umweltbeeinträchtigungen hängt dabei im Einzelfall sehr stark von der Art des angebauten

4 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS

Rohstoffs und dem zu seiner Erzeugung notwendigen Aufwand ab. Er kann bei Dauerkulturen relativ gering sein, bei annuellen Kulturen mit hohem Pflege- und Düngeranspruch aber auch beträchtliche Ausmaße erreichen.

Dabei ist die stoffliche Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen in ihren Umweltwirkungen sehr viel schwerer zu beurteilen als der Einsatz von Biomasse zur Energiegewinnung. Bei letzterem ergibt sich oft folgendes Bild: deutliche Vorteile der nachwachsenden Rohstoffe gegenüber fossilen Energieträgern bei der Ressourcenschonung und beim Treibhauseffekt, Nachteile bei der Versauerung, der Eutrophierung, dem stratosphärischen Ozonabbau und dem Flächenverbrauch, falls ihre Produktion auf ansonsten ungenutzten Stilllegungsflächen oder naturnahen Brachen angenommen wird. Bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sind die Verhältnisse nicht immer so eindeutig, da hier die Art des konventionellen Produktes und seine Produktionsweise einen erheblichen Einfluss haben. Aufwändige Aufarbeitungs- und Weiterverarbeitungsschritte können bei Faserverwendungen die Vorteile in Produktion und Entsorgung unter Umständen aufzehren oder neutralisieren. Ein spezielles Pflanzenöl, das schon im Feld die gewünschten Eigenschaften und die für eine Anwendung erforderliche Zusammensetzung mitbringt, ist vorteilhaft, weil die technisch kostspieligen chemischen Aufarbeitungsschritte eingespart werden können (FRISCHE 2001).

Die ökologischen Wirkungen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf Biodiversität, Kulturlandschaft und den ländlichen Raum hängen stark von der Form des Anbaus, der räumlichen und zeitlichen Gestaltung der Fruchtfolgen und der jeweiligen Anbauumwelt (Agrarlandschaft) ab. Monokulturen sind bei den noch begrenzten Märkten der stofflichen Verwertung weniger plausibel als viel mehr die Möglichkeit, einseitig gewordene Getreidefruchtfolgen in Marktfruchtbetrieben durch (Wieder-)einführung von Pflanzen zur Produktion nachwachsender Rohstoffe erneut vielfältiger und abwechslungsreicher zu machen (in Kap. 7.4 werden Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung diskutiert und beschrieben). Wird der Anbau auf Stilllegungsflächen betrieben, so ist durch den Ersatz von einjährigen Grünbrachen kaum eine Reduktion der Arten und Strukturvielfalt gegeben, eine höhere Erosionsgefahr und ein Anstieg der Verwendung von Agrarchemikalien ist dagegen möglich.

Monokulturen sind auch deshalb nicht zu befürchten, weil der Flächenanteil von Stilllegungsflächen, der für nachwachsende Rohstoffe zur Verfügung steht, momentan auf 10 % beschränkt ist. Falls der Anbau auf regulären Flächen erfolgt, so ist gegenüber der Produktion anderer Kulturen eher mit einer Verminderung des Aufwandes zu rechnen als mit einer Erhöhung, da bei der Rohstoffnutzung die Anforderungen an die Qualität in der Regel nicht so streng sind wie bei Nah-

rungsmitteln. So kann z.B. der Befall der Ähren mit Fusarium-Pilzen bei der Stärkeverwendung toleriert werden, während die niederen Toleranzgrenzen für das Mykotoxin (Pilzgift) Deoxynivalenol (5 mg/kg bei der Verfütterung an Rinder und nur 0,5 mg/kg bei der Verwendung als Speisegetreide) eine vorbeugende Fungizidbehandlung des Getreides bei ungünstigen Witterungsverhältnissen zur Blüte des Getreides fast unabdingbar machen. Optische Beeinträchtigungen am Erntegut oder qualitative Schäden, z.B. durch Fraß, können häufig toleriert werden. Bei Rohstoffpflanzen wie Hanf, Miscanthus und HO-Sonnenblumen kommen von Natur aus weniger Dünger und Pflanzenschutzmittel zum Einsatz als bei vielen andere Kulturen.

4.2.2 Ökonomische Aspekte

Die Diskussion der ökonomischen Vor- und Nachteile des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen ist neben aktuellen handelspolitischen Fragen stark von strategischen Überlegungen geprägt.

Aus handelspolitischer Sicht ist es vorteilhaft, dass durch eine Umnutzung der Ackerflächen weniger Agrarüberschüsse produziert werden. Die Weltagrarmärkte, die gegenwärtig durch die Produktion von Überschüssen belastet werden, können dadurch entlastet werden und es ergeben sich Spielräume für internationale Handelsverhandlungen, ohne dass strategisch wichtige Kapazitäten in der Landwirtschaft abgebaut werden müssen. Die Einkünfte für die heimische Landwirtschaft werden bei dieser Vorgehensweise über die Produktion nachwachsender Rohstoffe erzielt. Volkswirtschaftliche Gewinne verspricht man sich aus der Öffnung der Agrarmärkte und verbesserten Handelsbeziehungen zu agrarexportabhängigen Volkswirtschaften der Entwicklungsländer.

Aus strategischer Sicht ist die Versorgungssicherheit der heimischen Wirtschaft mit Rohstoffen guter Qualität ein wichtiger Aspekt. Obwohl aktuell keine akuten Versorgungsengpässe bestehen, ist eine gewisse Grundversorgung und langfristig sogar eine vermehrte Verwendung nachwachsender Rohstoffe gewünscht oder erforderlich. Die wissenschaftliche und technische Beschäftigung mit den Rohstoffen der Zukunft liefert in dieser Perspektive auch einen Beitrag zur Sicherung des innovativen Vorsprungs unserer Wirtschaft.

Wie bereits in Kap. 1 ausgeführt, sind die Strukturen dafür noch nicht im gewünschten Umfang gegeben, weshalb der Einsatz auf betrieblicher Ebene oftmals noch erheblich hinter den heute schon existierenden Möglichkeiten für nachwachsende Rohstoffe zurückbleibt. Bereits am Markt etablierte Anbieter, z.B. von Chemieprodukten, haben Fertigungslinien auf konventioneller Rohstoffbasis etabliert und diese noch nicht abgeschrieben oder diese sind nicht ausgelastet. Sie haben deshalb wenig Interesse daran, neue Produktlinien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe aufzulegen. Neue kleine, häufig im ländlichen Raum angesiedelte Unternehmen sind in Bezug auf den Einsatz nachwachsender Rohstoffe wirtschaftlich oft erfolgreicher, da sie flexibler und innovativer von den neuen Möglichkeiten Gebrauch machen.

Neue stabile Absatzmärkte für Agrarprodukte im Bereich nachwachsender Rohstoffe können bei entsprechenden Verträgen zwischen Anbietern und Nachfragern entstehen und die Einkommen der Landwirtschaft diversifizieren und stabilisieren. Dabei muss es sich nicht immer um einen großen Markt handeln (z.B. EU-Markt für „non-food“-Stärke), sondern es können auch relativ kleine Nischenmärkte mit mittlerem Wachstumspotenzial entstehen. Ein Spezialverarbeiter von HO-Sonnenblumen z.B. konnte 1999 und 2000 etwa zweitausend Tonnen Sonnenblumensaat guter Qualität (90 % Ölsäuregehalt) zu sehr attraktiven Preisen in drei Anbaugebieten aufkaufen. Dies entsprach einer Fläche von etwa 800 ha (FRISCHE 2001). Ein französischer Hersteller von Bitumenersatzstoffen auf der Basis von umweltfreundlichem Sonnenblumenöl rechnet für sein Produkt „Bioflux“ mit einem stabilen Absatzmarkt für eine Fläche von 700 ha Sonnenblumen pro Jahr (LA FRANCE AGRICOLE, 15. Dez. 2000). Durch regionale Partnerschaften zwischen Produzenten und erfindungsreichen Verarbeitern nachwachsender Rohstoffe können auf diesem Weg unter Umständen erhebliche Wertschöpfungspotenziale mobilisiert werden. Erheblich können allerdings auch die Risiken sein, denn die Unternehmungen sind häufig mit sehr hohen Investitionen und entsprechenden Startkosten für die Beteiligten verbunden.

4.2.3 Soziale Gesichtspunkte

Wenn junge Unternehmen mit der Schaffung innovativer Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen am Markt erfolgreich sind, so führt das in Produktion, Beratung, Transport und evtl. auch durch die Erstverarbeitung bei den Erzeugern sowohl im ländlichen Raum, als auch in städtischen Gebieten (Planung, Maschinenteknik, Produktentwicklung, Marketing) zu neuer Beschäftigung, die auf dem Land und in der Stadt dringend benötigt wird, um die Verluste durch Rationalisierungsmaßnahmen in etablierten Betrieben und Produktionszweigen wenigstens teilweise auffangen zu können.

Alleine in der Landwirtschaft ist nach Angaben einer vom BMVEL im Jahr 1999 gestarteten „Arbeitsmarktpolitischen Initiative für die Land- und Forstwirtschaft und den ländlichen Raum“ für die nächsten zehn bis fünfzehn Jahre mit einem Abbau von durchschnittlich 20.000 Arbeitskräften pro Jahr zu rechnen. Die Entwicklung birgt die Gefahr in sich, dass die 80 % der Flächen Deutschlands, die durch Land- und Forstwirtschaft genutzt werden, nicht mehr als Kulturlandschaft gepflegt und erhalten werden können, obwohl gerade aus der Übernahmen von „Subfunktionen“ nach TSCHIEDEL (zit. in VON HOFE 2001) Chancen für die „Reorganisation des ländlichen Raumes auf der Basis endogener Ressourcen“ gegeben sind. Arbeitsplätze in nachgelagerten Bereichen der landwirtschaftliche Produktion, wie sie potenziell bei der Auf- und Weiterverarbeitung nachwachsender Rohstoffe gegeben sind, können hier einen wichtigen Beitrag liefern zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zum Erhalt von Arbeitskraft „zur Bereitstellung der Subfunktionen des ländlichen Raumes“ und mithin zu einer nachhaltigen Entwicklung.

Die Sicherung einer flächendeckenden Landwirtschaft als Voraussetzung für den (finanziell tragbaren) Erhalt von Kulturlandschaft wird durch Einkünfte aus der Produktion und Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen erleichtert und begünstigt. Die Produktion der Rohstoffe steht damit anderen wirtschaftlichen Einkommensalternativen im ländlichen Raum (wie Tourismus und Naherholung) nicht entgegen, sondern wirkt komplementär.

Schließlich würde der ländliche Raum durch die vermehrte Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen für Industrie und Energieversorgung auch wieder mehr in die volkswirtschaftlichen Kreisläufe eingebunden, was sicherlich auch zu einer Imageverbesserung der Landwirtschaft und des ländlichen Raumes beitragen könnte.

Da die Rückbesinnung auf die Vorteile und den Nutzen nachwachsender Rohstoffe nicht mit einer Rückkehr zu alten Techniken verbunden sein kann, sondern neue, innovative, umweltfreundliche Technologien bei Produktion und Verarbeitung erfordert, führt die Förderung von Wertschöpfungsketten nachwachsender Rohstoffe auch zu neuen und potenziell exportfähigen Technologien. Bei der energetischen Nutzung z.B. sind Holzschnitzelfeuerungsanlagen aus Österreich und Strohverbrennungsanlagen aus Dänemark Exportartikel geworden. Bei der stofflichen Nutzung könnte Ähnliches bei Anlagen zur Herstellung von Biopolymeren oder bei Anlagen und Techniken für den Faseraufschluss bevorstehen. Viele Arbeitsplätze wären im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe wegen des oft erheblichen Platzbedarfs für die Aufarbeitung, Zwischenlagerung und Nutzung nachwachsender Rohstoffe fest an den ländlichen Raum gebunden. Für eine Erstbearbeitung und Aufbereitung im ländlichen Raum spricht auch die verbesserte

4 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS

Nutzungsmöglichkeit von Rest- und Abfallstoffen, die dann leichter wieder in die Stoffströme und Kreisläufe zurückgeführt werden können.

Nach LÖRCKS (2000) könnten in Deutschland alleine durch die Ausschöpfung des Marktpotentials von Biokunststoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe 20.000 neue Arbeitsplätze geschaffen werden.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

5.1 Kooperation zwischen IfUL und IFEU

Das Projekt wurde in Partnerschaft zwischen dem IfuL (Müllheim/Baden) und dem IFEU-Institut (Heidelberg) durchgeführt.

In mehreren Arbeitstreffen wurde das gemeinsame Vorgehen auf der Basis des Projektantrages geplant und abgestimmt. Die Aufgaben zu den einzelnen Arbeitspaketen wurden konkretisiert und die Zuständigkeiten vergeben. Die Abstimmung der fachlichen Fragen erfolgte telefonisch und eingehend auch im Rahmen mehrerer Projekttreffen, die abwechselnd bei einem der Projektpartner stattfanden.

Zu den Aufgaben des IfuL zählten

- Identifizierung und Auswahl der Kulturen,
- agronomische Charakterisierung und Definition der Produktionsverfahren und ihre Optimierung,
- Erfassung der Standortbedingungen und Anbaustatistiken in Baden-Württemberg und die vorläufige Kartierung günstiger Anbaugelände,
- die Erhebung und Ableitung der landwirtschaftlichen Basisdaten für die Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung,
- die Herleitung und Bestimmung von zusätzlich aufgenommenen Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung durch den Anbau der Kulturen,
- die Abschätzung der Marktpotenziale und die ökonomische Bewertung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren,
- das Projektmanagement mit Finanzberichterstattung, Finanzverwaltung, Koordination von Terminen und Veranstaltungen mit anderen Akteuren und in Zusammenarbeit mit dem IFEU die Berichterstattung zum Projektverlauf.

Gemeinsam erarbeiteten das IFEU und das IfuL die Arbeitspakete

- Publikationen und Vorträge,
- die Ermittlung der Produktlinien und der erforderlichen Aufbereitungs- und Herstellungstechnologien,
- die Erhebung und Ableitung von Basisdaten zur Sachbilanzierung und Wirkungsabschätzung,
- die Vorbereitung und inhaltliche Ausgestaltung der Fachgespräche mit Akteuren auf dem Gebiet nachwachsender Rohstoffe und die Berichterstattung zur Arbeit des Projektes.

Aufgaben des IFEU waren:

- Ableitung der Basisdaten zu den Aufbereitungs- und Herstellungstechnologien und zu den Vorketten landwirtschaftlicher Betriebshilfsmittel,
- Festlegung der Systemgrenzen und Wirkungsparameter für die Bilanzierung,
- die Erhebung und Ableitung von Basisdaten zu den Substituten auf fossiler Rohstoffbasis,
- Durchführung und Bewertung der Übersichtsökobilanzen zu den Produktlinien nachwachsender Rohstoffe und zu den Alternativen auf petrochemischer Basis.

5.2 Kooperation mit anderen Akteuren

Die Kooperation mit Akteuren außerhalb des Projektes bezog sich vor allem auf die Beschaffung von Informationen und die Konsultation und Information von Handelnden auf dem Gebiet des Anbaus und der Verwertung nachwachsender Rohstoffe.

Forschungseinrichtungen, die sich mit nachwachsenden Rohstoffen und ihrer Verwertung beschäftigen, Produzenten, Verarbeiter und Hersteller wurden telefonisch, schriftlich und im Rahmen von Fachtagungen konsultiert.

Die Ergebnisse der ersten Phase des Projektes, welches die Identifikation von Kulturen und Produktlinien nachwachsender Rohstoffe zum Ziel hatte, wurden, ebenso wie die methodischen Ansätze im Rahmen eines Fachgesprächs, das am 15. Mai 2001 im Ministerium für Ernährung und

Ländlichen Raum in Stuttgart stattfand, zur Diskussion gestellt. Bei dieser Besprechung waren auch Vertreter der Bauernverbände, der Faser- und Schmierstoffindustrie und der Ministerien für Umwelt und Verkehr anwesend. Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) als Förderleitstelle des Bundes in Sachen nachwachsende Rohstoffe wurde informiert und um eine Einschätzung der getroffenen Auswahl von Produktlinien gebeten, die zustimmend ausfiel.

Ein zweites Fachgespräch fand zwei Monate vor Ende der Projektlaufzeit statt. In dessen Verlauf hatten Akteure auf dem Gebiet der nachwachsenden Rohstoffe noch einmal Gelegenheit, sich vor Abschluss des Projektes mit Anregungen und ihrer Einschätzung der erzielten Ergebnisse einzubringen.

Vertreter der Naturschutzverbände waren zu beiden Terminen eingeladen, waren aber leider jeweils nicht erschienen.

6 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS

Hauptziel des Förderprogramms BWPLUS ist „die nachhaltige Entwicklung am Standort Baden-Württemberg durch Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen“. Die vorliegende Arbeit zu Produktlinien nachwachsender Rohstoffe liefert durch Betrachtung von Rohstoffen vom Anbau (mit Erfassung der Vorketten landwirtschaftlicher Produktion) bis hin zur Entsorgung von Artikeln auf biogener Basis eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für umweltpolitische Entscheidungen auf diesem Gebiet. Fehlentwicklungen bei der Förderung und Begleitung von Initiativen zum Anbau und zur Verarbeitung nachwachsender Rohstoffe können dadurch schon im Vorfeld von Entscheidungen besser erkannt und Fehlentscheidungen vermieden oder reduziert werden. Kostspielige Nachbesserungen ökologisch und ökonomisch unerwünschter Entwicklungen können dadurch leichter ausgeschlossen werden.

Kenndaten zur Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Produktion, zu Ressourcenschutz, Stoffströmen, Emissionen, Be- und Entlastungen von Böden und Gewässern im Zuge der Produktion und Verarbeitung von nachwachsenden Rohstoffen werden im Rahmen dieses Projektes quantifiziert und bewertet und als Grundlage umweltpolitischer Entscheidung bereitgestellt.

Über die klassische, ökobilanzielle Lebenswegbetrachtung hinaus (Kap. 7.3) wurden im Projekt auch methodische Ansätze erarbeitet, die geeignet sind, die ökologischen Konsequenzen des Anbaus bestimmter Kulturen hinsichtlich der Qualität der Flächenbeanspruchung zu ergänzen (Kap. 7.4).

Die Untersuchungen liefern damit einen Beitrag zum Ziel von BWPLUS, zu ökonomisch und ökologisch tragfähigen Problemlösungen zu kommen und Initiativen zur Mobilisierung innovativer, volkswirtschaftlich leistungsfähiger Potenziale mit ökologischen Erfordernissen für eine nachhaltige Entwicklung in Einklang zu bringen.

Der Umsetzbarkeit der Ergebnisse in die Praxis wurde dadurch Rechnung getragen, dass im Zuge der Erarbeitung des Projektes Entscheidungsträger aus Politik, Verwaltung und Wirt-

6 Beitrag der Ergebnisse zu den Zielen des Förderprogramms BWPLUS

schaft konsultiert und informiert wurden, mit dem Ziel, die Relevanz und Plausibilität der vorliegenden Arbeit sicherzustellen.

Dabei verfolgte das Projekt einen interdisziplinären Ansatz an der Nahtstelle von Landwirtschaft, Umwelt- und Naturschutz.

Durch den Abgleich der Ansprüche der Kulturpflanzen mit den standörtlichen Verhältnissen in Baden-Württemberg (GIS-gestützte Kartierung der günstigen Anbauggebiete) wurden in einer ersten Annäherung die Gebiete für die Produktion der behandelten Rohstoffpflanzen ausgewiesen. Die Zuordnung der Profile einzelner Produktlinien zu bestimmten Landschaften oder „landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten“ erleichtert die Umsetzung der Projektergebnisse. Die ökonomischen und ökologischen Beiträge, Be- und Entlastungen, die mit nachwachsenden Rohstoffen verbunden sind, können im Kontext, z.B. HO-Sonnenblumen am Oberrhein, besser eingeschätzt werden. Die Konsequenzen der Umsetzung in die Praxis können genauer analysiert, vorhergesagt und bewertet werden.

Dem Standortbezug Baden-Württemberg wurde auch dadurch Rechnung getragen, dass die erweiterte ökobilanzielle und ökonomische Betrachtung der Produktlinien nachwachsender Rohstoffe nicht, wie allgemein üblich, an bundesdeutschen Gegebenheiten, sondern an den Verhältnissen im Bundesland orientiert war. Bei der Produktion wurden die betrieblichen Verhältnisse der Landwirtschaft in Baden-Württemberg zugrundegelegt, die sich z.T. erheblich von den Verhältnissen in anderen Bundesländern unterscheiden (Betriebsgröße, Feldgröße, Maschinenausstattung, Einsatz von Betriebsmitteln, Erträge etc.). Auch für die Indikatoren zu Erosion, Nitrat-, Phosphatbelastung, Artenschutz und Landschaftsbild wurde auf Daten und Modellrechnungen für Baden-Württemberg zurückgegriffen (Nitratberichte, Bodenerosionsatlas, Leitarten, historische Agrarlandschaften etc.).

Die Relevanz der vorliegenden Arbeit für Entscheidungsträger in Politik, Verwaltung und (Land-) Wirtschaft als Adressaten des Projektes ist dadurch verbessert und die Umsetzung der Ergebnisse erleichtert.

7 Methoden und Ergebnisse

7.1 Identifizierung von Kulturen und Produktlinien

7.1.1 Verfahren und Kriterien der Auswahl

Zur Identifizierung interessanter und potenziell förderungswürdiger Kulturpflanzen wurde zunächst aus Informationen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), aus Landesstatistiken, anhand von Informationen der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, auf der Basis der am IfuL vorliegenden Erfahrungen, nach Auswertung von Fachinformationen einschlägiger Tagungen und Konferenzen und des Studiums themenbezogener Veröffentlichungen, auch zu nur experimentell angebauten nachwachsenden Rohstoffen, eine erste Urliste von etwa dreißig in Frage kommenden Pflanzen zusammengestellt (Tabelle 7-2).

Tabelle 7-1: Bewertungskategorien und Kriterien zur Beurteilung der Anbauwürdigkeit von Kulturen nachwachsender Rohstoffe für Baden-Württemberg.

Bewertungskategorien	Kriterien
Anbaueignung (Ertrag und Qualität)	Temperatur- und Bodenansprüche, Niederschlagsmenge und -verteilung
Funktion im Agrarökosystem, Matrix, qualitative Wirkung auf...	Diversität Tierwelt, Diversität Pflanzenwelt, Landschaft als Lebensraum, Artenschutz, Refugiencharakter
betriebliche Bewertung	Arbeitswirtschaft, Investitionsbedarf, Funktion im Anbausystem (Fruchtfolgewirkung, Bodenlockerung, Humuswirkung, Unkrautregulierung etc.), Rentabilität, Arbeitsproduktivität
Möglichkeiten der stofflichen Verwertung	Hauptprodukt, Kuppelprodukte, jeweilige Syntheseverleistung, Stoffkonzentration, Lagerfähigkeit (kontinuierliche Verfügbarkeit)
Wirtschaftliche und soziale Perspektiven der Produktlinien	Wertschöpfungs-, Arbeitsplatz- und Flächenpotenzial, existierende Märkte, neue Märkte, Stabilität der Märkte, Wettbewerbsfähigkeit

Aus dieser Urliste wurde unter Zuhilfenahme zahlreicher Quellen und anhand der in Tabelle 7-1 aufgeführten Kriterien, die neben der Anbauwürdigkeit auch den voraussichtlichen ökologischen Beitrag, betriebliche Aspekte, Möglichkeiten der stofflichen Verwertung, wirtschaftliche und soziale Potenziale und eine relevante Anbaufläche berücksichtigten, eine erste Aufstellung möglicher förderungswürdiger Kulturen gemacht.

Offensichtlich problematische Kandidaten wurden von einer eingehenderen Analyse ausgeschlossen. Dies betraf z.B. die Kulturen Kenaf, *Euphorbia lagascae* und das Pfahlrohr, bei denen früh deutlich wurde, dass ein Anbau in Baden-Württemberg aktuell und in naher Zukunft unter Beachtung der angelegten Kriterien wenig aussichtsreich wäre.

Die verbliebenen Kulturen wurden zusammen mit möglichen Produktlinien, d.h. bei paralleler Betrachtung der technischen Möglichkeiten und den Marktperspektiven der daraus herstellbaren Produkte, einer genaueren Analyse unterzogen (Abb.7-1). Zu dieser Analyse wurden Fachzeitschriften, öffentlich zugängliche Fachinformationen und persönliche Recherchen bei Forschungseinrichtungen, Verarbeitern und Herstellern herangezogen. Für wenig bekannte Kulturen, wie z.B. Fasernessel und Rhabarber, mussten Datenprofile (sie sind im Anhang aufgeführt) zu den Kulturen und deren Verwendungsmöglichkeiten als Entscheidungsgrundlage erst zusammengestellt werden. Bei bereits etablierten und gut dokumentierten Kulturen wie Weizen, Raps oder Mais konnte darauf verzichtet werden und es wurde auf bereits bestehende Monographien zurückgegriffen. Die Dokumentation erfolgte dabei nicht bei allen Kulturen mit derselben Tiefe. Traten z.B. im Zuge der Nachforschungen und Expertenbefragungen Sachverhalte auf, die eine weitere Vertiefung wenig aussichtsreich erscheinen ließen, wurde der Dokumentationsprozess abgebrochen. So wurde zum Beispiel im Fall des Rhabarber (*Rheum* sp.), aus dessen Wurzel ein ökologisch umweltverträglicher Gerbstoff gewonnen werden kann, die Recherche und Sammlung von Daten „auf halbem Weg“ eingestellt. Nach Analyse der Preissituation bei alternativen Phyto-Gerbstoffen, von deren Umweltfreundlichkeit in Anbau und Gewinnung, der voraussichtlichen Marktentwicklung und der bereits auf diesem Markt vorhandenen Kapazitäten, war in diesem Fall klar geworden, dass das Potenzial begrenzt ist, der verbleibende Nischenmarkt bereits von anderen Akteuren besetzt ist und diesbezügliche Initiativen in Baden-Württemberg deshalb wenig Erfolgsaussichten hätten (siehe Kulturartenprofil zu Rhabarber im Anhang).

Zusammenfassend wurde anhand der zusammengetragenen Informationen und des Schemas in Abb. 7-1 eine Potenzialabschätzung der einzelnen Kulturen und der dazu identifizierten Produktlinien vorgenommen. Die Auswahl der Kulturen für die eingehende Betrachtung anhand von Übersichtsökobilanzen und einer Analyse der Wirtschaftlichkeit des Anbaus erfolgte auf der Basis dieser Potenzialabschätzung, die sich methodisch an Arbeiten von EHLERS et al. (1997) orientierte.

7.1.1.1 Theoretisches Potenzial



Abbildung 7-1: Ablauf der Entscheidungsfindung zur Beurteilung des Potenzials von Produktlinien nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen Verwertung (in Anlehnung an EHLERS et al. 1997).

7.1.2 Ausgewählte Kulturpflanzen und Produktlinien

Tabelle 7-2 zeigt die Ausgangsliste der in Betracht gezogenen Kulturen für die stoffliche Nutzung.

Tabelle 7-2: Ausgangsliste von Kulturpflanzen nachwachsender Rohstoffe.

Chinaschilf	Markerbse	Rohrkolben (<i>Typha</i>)
Euphorbia lagascae	Mondviole (<i>Lunaria</i>)	Saflor
Flachs	Nachtkerze	Soja
Gerste	Nessel	Sonnenblume
Hafer	Öllein	Triticale
Hanf	Pappel	Weide
Johanniskraut	Blauglockenbaum	Winterraps
Kartoffel	Pfahlrohr (<i>Arundo</i>)	Winterweizen
Krambe	Rhabarber	Zuckerrübe
Leindotter	Ringelblume	
Mais	Roggen	

Die nach dem Auswahlprozess für die Detailanalyse verbliebenen Kulturen sind in der Tabelle 7-3 aufgeführt. Sie stellen mit ihren Produktlinien, Kuppelprodukten und Substituten die Basis für die Ökobilanzierung dar. Die dazugehörigen produktionstechnischen Daten sind gültig für den Anbau nach „guter fachlicher Praxis“ in Baden-Württemberg. Bei nicht im Anbau befindliche Kulturen wurden diese in Anlehnung an den Produktionsgrundsatz der guten fachlichen Praxis neu zusammengestellt. Die Datenprofile geben Auskunft über Botanik, Standortansprüche, Anbau, Mechanisierung, Pflanzenschutz, Verarbeitung, Rohstoffqualitäten, Einsatzmöglichkeiten, Märkte, Flächenpotenziale und mögliche Auswirkungen auf Boden, Gewässer und Artenschutz.

Tabelle 7-3: Liste ausgewählter Kulturen und Produktlinien nachwachsender Rohstoffe für einen möglichen Anbau in Baden-Württemberg.

Kultur (Bot. Name)	Produktlinie (Verwendung)	Substitut	Kuppelprodukt (Verwendung)
HO-Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>)	HO-Sonnenblumenöl (Verlustschmierstoffe)	mineralische Schmierstoffe	Extraktionsschrot (Futtermittel und org. Dünger)
Faserhanf (<i>Cannabis sativa</i>)	Kurzfaser (Verbundstoffe, Automobil- innerverkleidung)	Glasfaser	Hanfschäben (Leichtbauplatten, Pfer- deeinstreu) Presskuchen, Hanföl (Futtermittel, Speiseöl)
Faserlein (<i>Linum usitatissimum</i>)	Kurzfaser (Dämmstoffmatten)	Steinwollmatte	Flachsschäben (Pferdeeinstreu, Leicht- bauplatten), Leinsamen (SB Saat)
Fasernessel (<i>Urtica dioica</i>)	Textilfaser (Bekleidung)	Baumwollfaser	Wurzel (Arzneidroge "Urtica radix")
Winterraps (<i>Brassica napus</i>)	Rapsöl (gesättigte synth. Ester als Hydraulikflüssigkeiten)	Hydraulikflüssigkeiten auf Mineralölbasis	Rapsschrot (Futtermittel) Glyzerin (chem. Grundstoff)
Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>)	Weizenstärke (PLA-Kunststoffe für steife Verpackungen)	PET/PP Verpackungsschalen oder Anzuchtgefäße	Weizenkleber Grieskleie (Futtermittel)
Körnermais (<i>Zea mays</i>)	Maisstärke (kompostierbare Müllsäcke aus Polymilchsäure)	Müllsäcke aus PE-Folien	Maisgluten (Tierfutter) Maiskeimöl (Speiseöl)
Chinaschilf (<i>Miscanthus x giganteus</i>)	Kurzfaser (thermoplastische Spritzguss- Verbundstoffe)	Holzfaser	Reststoffe (Kompostregulierung)

7.2 Standortcharakterisierung und Ausweisung günstiger Anbaugelände für Kulturen nachwachsender Rohstoffe

7.2.1 Ziel

Es sollen die Gebiete Baden-Württembergs ausgewiesen werden, die sich aktuell oder potenziell für den Anbau nachwachsender Rohstoffe der Kulturen Mais, Weizen, Winterraps, Sonnenblume, Flachs, Hanf, Fasernessel und Miscanthus eignen. Um dies zu bewerkstelligen war es notwendig, die außerordentlich differenzierten Standortverhältnisse im Land zunächst zu erfassen, zu dokumentieren und sie mit den Ansprüchen der Kulturen für eine in Ertrag und Qualität befriedigende Produktion abzugleichen. Ergebnis dieses Verfahrens sollten Karten sein, welche die begünstigten Anbaugelände für die einzelnen Kulturen ausweisen.

7.2.2 Methodischer Ansatz

7.2.2.1 Kartierung mit einem GIS auf der Basis detaillierter Grunddaten

Ideal zur Kartierung der geeigneten Standorte wäre ein auf einem Geografischen Informationssystem (GIS) basierendes, digitales Oberflächenprofil Baden-Württembergs, in dem mit hoher Rasterauflösung Standorteigenschaften wie Temperaturen, Frosttage, Niederschläge, Exposition, Höhenlage, Bodenzahlen etc. ausgewiesen sind. Dadurch könnten durch Abfragen und Verschneiden verschiedener Standortansprüche die Gebiete ermittelt werden, die den Ansprüchen der Kulturpflanzen am besten entsprechen.

Durch die weitere Verschneidung mit digitalen Informationen zu Fertigungs- oder Verarbeitungseinrichtungen oder zu Hauptverkehrsstraßen ließen sich weitere Kriterien der Standortwahl für die Produktion nachwachsender Rohstoffe in beliebiger Hierarchie hinzufügen, so dass eine dem Profil des Rohstoffs entsprechende fallweise Kartierung das Ergebnis wäre.

Vorteile eines solchen Vorgehens lägen in der sachgerechten, flexiblen und aktualisierbaren Zusammenführung von Information aus verschiedenen Disziplinen in einem Ansatz, der darüber hinaus jederzeit durch zusätzliche, eventuell nur für Teilgebiete vorhandene Daten ergänzt werden könnte. Als nachteilig bei diesem Ansatz erwiesen sich der im Rahmen dieses Projektes zu hohe (Erst-) Erstellungsaufwand, hohe Kosten der Datenbereitstellung und die teilweise nicht flächendeckend vorhandene Datengrundlage, die zu einem unkalkulierbaren Zeitrisko geführt hätten. Das Verfahren konnte deshalb nicht in dieser idealen Weise im Pro-

jekt realisiert werden, es sollte aber für spätere Planungen und Detailanalysen im Vorfeld von Investitionsentscheidungen in Betracht gezogen werden.

7.2.2.2 Ökologische Standortkartierung

Die ökologische Standortkartierung nach WELLER & DURWEN (1994) wurde u.a. für die Ausweisung günstiger Obstanbaugebiete verwendet. Sie gibt in relativ hoher Auflösung (1:250.000) Auskunft über die naturräumliche Ausstattung von Gebieten in Baden-Württemberg bezüglich der Ansprüche von Kulturpflanzen. Sie basiert auf einer Mischung aus physikalischen Einzelgrößen, phänologischen Kennwerten und transformierten bzw. schon bezüglich der Anbaufrage interpretierten und klassifizierten Parametern (zum Beispiel Aussagen über Feuchteregime und Bodeneigenschaften über regionale Pflanzengesellschaften usw.). Dem geübten und sachkundigen Anwender vermittelt sie ein gutes, flächendeckendes Bild von den Standorteigenschaften in Baden-Württemberg und kann von diesem Personenkreis auch für den Abgleich der Standorteigenschaften mit den physiologischen Ansprüchen der Kulturpflanzen verwendet werden.

Als nachteilig für die Anwendung auf die nachwachsenden Rohstoffe können aus heutiger Sicht die starren und über weite Strecken durch Augenschein und Erfahrung vorgenommenen Kartiereinheiten angesehen werden, deren Entstehen schwer nachvollziehbar ist bzw. viel Spezialwissen erfordert. Die Kartiereinheiten lassen sich außerdem mit gängigen nationalen oder internationalen Klassifizierungssystemen oder pflanzenbaulichen Wachstumsmodellen kaum in Einklang bringen. Da die Grundgrößen außerdem nicht mehr als individuelle Werte, sondern als Bereichsangaben oder transformierte Größen vorliegen, lässt sich das System nicht leicht an verschiedene Kulturpflanzen anpassen. Auch sind interdisziplinäre Fragestellungen mit zusätzlichen Informationen aus anderen Gebieten schwer einzuarbeiten. Die GIS-Verarbeitung erfolgte mit einem nicht mehr gebräuchlichen und relativ komplexen Programm. Für die weitere Betrachtung wurde die Standortkartierung für diese Fragestellung deshalb nicht verwendet. Die Karten können aber sinnvoll und sachdienlich zu Konsultationen herangezogen werden.

7.2.2.3 Kartierung auf Grundlage der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete in Baden-Württemberg

Die von landwirtschaftlichen Betriebswirten verwendeten „Vergleichsgebiete“ Baden-Württembergs untergliedern das Land anhand geologischer, topografischer und klimatischer

Merkmale in Gebiete gleicher natürlicher, landwirtschaftlicher Ertragsfähigkeit. Zu jedem der Gebiete, die einen Landschaftsnamen führen, liegen repräsentative Angaben zu Höhenlage, Bodenqualität, Niederschlägen und zu jährlich aktualisierten betriebswirtschaftlichen Kenngrößen vor. Die Einteilung gibt damit räumlich aggregiert und überschaubar Auskunft über die wichtigsten Eckdaten für dieses Projekt und wurde deshalb für eine erste Grobkartierung als Grundlage gewählt (MLR 1999).

Durch die Digitalisierung der 21 Vergleichsgebietsgrenzen, die Überführung in ein Geografisches Informationssystem (GIS) und die Zuordnung von Gemeinden zu den Vergleichsgebieten war es außerdem möglich, neben den naturräumlichen und betrieblichen Sachdaten auch die Daten des Statistischen Landesamtes in den Auswahlprozess mit einzubeziehen. Sie geben unter anderem Auskunft über die Anbauflächen landwirtschaftlicher Kulturen, die Betriebsausstattung, die Kulturflächenanteile sowie die Ackerzahlen und konnten das Instrumentarium zur Ausweisung geeigneter Anbaugebiete dadurch entscheidend ergänzen und verbessern. Insgesamt wurden den Vergleichsgebieten auf dieser Grundlage 29 Parameter als Informationshintergrund zugewiesen (siehe Tabelle 7-4), die zu jeder Einheit auf den erstellten Karten abgefragt oder auch miteinander kombiniert werden können. Im Hinblick auf die weitere Nutzung des GIS erlaubt der gewählte Ansatz damit auch die laufende Aktualisierung von Daten, so dass die digitalen Karten stets auf dem neuesten Stand gehalten werden können. Die Basis für die Überführung der Vergleichsgebiete in ein GIS und die ergänzenden Informationen bildeten die Daten aus dem „Räumlichen Informations- und Planungssystem“ (RIPS) der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU).

7.2.3 Vorgehen

Je nach Datenlage wurden die günstigen Anbaugebiete aus unterschiedlichen Parametern bestimmt. Für Weizen wurden z.B. Daten zum Ertrag und dem Anteil Ackerfläche, den Weizen bereits jetzt an der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmacht, verwendet.

Die erstellten Karten sind eine erste Annäherung zur Ausweisung der potenziell günstigsten Anbaugebiete in Baden-Württemberg und müssen im Rahmen der Implementierung von Flächenmaßnahmen auf der Basis genauerer Daten (z.B. Tagestemperatursummen, monatliche Niederschlagsverteilung) möglichst noch verfeinert werden.

7.2.3.1 Datengrundlage und Verarbeitung in ArcView 3.1

Die Daten lagen als Vektorfiles (shapefiles) für das GIS ArcView vor. Jede räumliche Einheit ist als Polygon dargestellt, dem in der zugehörigen Sachdatentabelle (im dbf-Format) unter-

schiedliche Sachinformationen (z.B. Jahrestemperatur, Höhenlage) zugeordnet werden können.

Die vorhandenen Tabellen wurden durch Sachdaten (aus MLR 2000; STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 1999; LFU 2001) ergänzt, so dass insgesamt die in der folgenden Tabelle 7-4 aufgeführten, für die o.g. Kulturen verwendbaren Daten zur Verfügung standen.

Die Ausweisung der günstigen Anbauggebiete für eine Kultur erfolgte meist durch Verwendung unterschiedlicher „Shapefiles“, die zuerst miteinander verschnitten werden mussten. Die verschnittenen „Shapefiles“ erhielten dadurch die Sachdaten beider Ausgangsdateien und wurden auch nach den Ausgangsdateien benannt, aus denen sie generiert wurden (z.B. „vgl_geb_und_gemeinden.shp“ für die Datei der Vergleichsgebietsflächen, die auch die Gemeindeflächen mit den dazugehörigen Sachdaten enthält, „vggr_und_gem.shp“ für den shapefile mit Vergleichsgebietsgruppen und den Gemeinden, „vgl_gem_und_jahrnie.shp“ für die Datei, die außerdem über die mittleren jährlichen Niederschläge Auskunft gibt).

Aus den verschnittenen Shapefiles wurden über eine „Query“-Abfrage diejenigen Gebiete herausgesucht, welche die Kriterien für günstige Anbauggebiete erfüllen. Das waren bei Fasernessel z.B. die Gebiete mit einer mittleren Höhe (Untergrenze pro Vergleichsgebiet) von <750 m ü. NN und einem mittleren Jahresniederschlag von ≥ 850 mm. Diese Gebiete wurden in einem eigenen Shapefile (z.B. pot_anbauggeb_fasernessel) gespeichert und als Karten zusammen mit den Umrissen von Baden-Württemberg, den größeren Städten und Flüssen dargestellt. Bei allen anderen Kulturen wurde analog verfahren, wobei die Auswahlkriterien individuell verschieden waren.

Tabelle 7-4: Übersicht über die verwendeten, raumbezogenen Daten und ihre räumliche Auflösung.

Daten	Räumliche Auflösung	Datenquelle
Physikalisch – geografische Kennzahlen		
Mittlere Höhe (Ober- und Untergrenze) / m ü. NN	Vgl_geb ¹	/MLR 2000/
Mittlere Jahrestemp. (Ober- und Untergrenze) / °C	Vgl_geb	/MLR 2000/
Mittlerer Jahresniederschlag (Ober- und Untergrenze) / mm	Vgl_geb	/MLR 2000/
Bodenklimazahl (Ober- und Untergrenze)	Vgl_geb	/MLR 2000/
Ackeranteil (Ober- und Untergrenze) / % der LF	Vgl_geb	/MLR 2000/
Boden/ Geologie (Text)	Vgl_geb	/MLR 2000/
Ertragsdaten		
Getreide ohne Körnermais / dt/ha	Vggr ²	/MLR 2000/
Körnermais / dt/ha	Vggr	/MLR 2000/
Zuckerrüben / dt/ha	Vggr	/MLR 2000/
Winterraps / dt/ha	Vggr	/MLR 2000/
Landwirtschaftliche Betriebe		
Anzahl	Vggr	/MLR 2000/
Grössenkl. <2,2-10,10-30,30-50,>50 ha	Vggr	/MLR 2000/
Anbauflächen		
Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) insgesamt	gem ³	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Ackerfläche insgesamt (AF) / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Getreide gesamt incl. Körnermais / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Weizen / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Hackfrüchte insges / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Ölfrüchte insges. / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/

¹ Vgl-geb = Vergleichsgebiete. B.-W. ist in insgesamt 21 Vergleichsgebiete eingeteilt

² Vggr = Vergleichsgebietsgruppen. Um aussagekräftige betriebswirtschaftliche Daten zu erhalten werden Vergleichsgebiete bei Bedarf zu 8 repräsentativen Vergleichsgebietsgruppen zusammengefasst.

³ gem = Gemeinden. B.-W. hat 1.111 Gemeinden, so dass diese Daten in hoher räumlicher Auflösung vorlagen.

Winterraps / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Futterpflanzen insges. / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Silomais / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Brache / ha	gem	/Stat. Landesamt B.-W. 1999/
Ackerzahl (repr. Wert)	gem	/MLR 1982/
Grünlandzahl (repr. Wert)	gem	/MLR 1982/
Thematische Karten		
Bodenübersichtskarte BÜK 395	BÜK	/LFU 2001/
Jährlicher Niederschlag mm	1 km ² -Raster	/LFU 2001/
Städte		/LFU 2001/
Fliessgewässernetz		/LFU 2001/
Eisenbahnnetz		/LFU 2001/

7.2.3.2 Auswahlkriterien

Je nach Datenlage und den Ansprüchen der Kulturpflanzen an eine in Ertrag und Qualität befriedigende oder gegenüber anderen Gebieten vorteilhafte Produktion wurden für die Kartierung der günstigen Anbauggebiete unterschiedliche Auswahlkriterien herangezogen. Dadurch sind die Ergebnisse räumlich auch unterschiedlich hoch oder gering aufgelöst, je nachdem wie detailliert die Ausgangsdaten für die Erstellung der Karten vorlagen.

Im Folgenden sind die Auswahlkriterien für die Kartierung potenziell günstiger Anbauggebiete der untersuchten Kulturen kurz beschrieben und erläutert.

7.2.3.2.1 Sonnenblume

Auswahlkriterien: Ackerzahl >50; Untergrenze mittlere Jahrestemperatur $\geq 8.0^{\circ}\text{C}$, weil gesicherte, hohe Erträge und eine gute Abreife einen Boden mit gesicherter Wasserversorgung und ausreichender Vegetationszeit erfordern.

7.2.3.2.2 Weizen und Winterraps

Weizen und Winterraps sind weit verbreitete Kulturen, zu denen gesicherte Daten zu den Anbauflächen (ha) in jeder Gemeinde und zu den mittleren Erträgen (dt/ha) in den Vergleichsgebieten vorliegen. Sie widerspiegeln die naturräumlichen Gegebenheiten und die betrieblichen

Verhältnisse für einen erfolgreichen Anbau gut. Um einen von der Größe der Gemeinde unabhängigen Wert zu erhalten, wurden die Anbauflächen von Weizen bzw. Winterraps durch die gesamte Landwirtschaftliche Nutzfläche (LF) geteilt. Als günstige Anbauggebiete wurden die Gemeinden ausgewiesen, die sowohl im Ertrag als auch im Anteil der Ackerfläche Weizen/Winterraps an der LF über dem Durchschnitt liegen.

7.2.3.2.3 Körnermais

Für Körnermais gilt dasselbe wie für Weizen und Winterraps, allerdings lagen für Körnermais direkt keine Anbauflächen, sondern nur Erträge vor. Die günstigen Anbauzonen wurden aus dem Verschnitt der Gebiete mit überdurchschnittlichen Körnermais-Erträgen und aus der Anbaufläche Getreide gesamt inkl. Körnermais minus der Anbaufläche Weizen grob abgeschätzt. Die potenziellen Anbauflächen sind hierbei eher etwas größer als dies der Realität entspricht, da auch noch Gerstenanbauggebiete erfasst sind, in denen überdurchschnittliche Körnermaiserträge möglich sind, für die aber auf Gemeindeebene keine gesonderte Statistik wie bei Weizen vorlag.

7.2.3.2.4 Hanf

Für wärmebedürftigen Hanf sollte die Wasserversorgung in den Hochsommer Monaten noch gesichert sein und er sollte auf Böden angebaut werden, die nicht flachgründig sind oder unter Staunässe oder Strukturschäden leiden. Zur Eingrenzung der potenziell günstigen Anbauggebiete wurden deshalb die Standorte den nachfolgend aufgeführten Eigenschaften als potenziell günstig eingestuft:

Ackerzahl >50 , Untergrenze mittlere Jahrestemperatur $\geq 8.0^{\circ}\text{C}$, Jahresniederschlag über 750 mm, Ausschluss der Bodentypen Gleye, Pseudogleye, Rendzinen und Pelosole.

7.2.3.2.5 Flachs

Auch Flachs und die nachfolgenden Kulturen sind nur wenig verbreitet, so dass die potenziell günstigen Anbauggebiete, wie bei Hanf, auch nicht aus Anbaustatistiken abgeleitet, sondern anhand von physikalisch-geografischen Kenndaten ermittelt werden mussten. Hierbei wurden die günstigen Anbauggebiete aus einer Gegenüberstellung des Anforderungsprofils für eine befriedigende Faserproduktion und den vorliegenden Daten abgeleitet, bei Flachs wurden Gebiete mit mittleren Böden, ausreichenden Niederschlägen und nicht zu hohen Temperaturen ausgewiesen, die den folgenden Mindestanforderungen genügten:

Mittlerer Jahresniederschlag ≥ 800 mm, mittlere Höhenlage ≥ 400 m ü. NN, Ackerzahl zwischen 30 und 60.

7.2.3.2.6 Miscanthus

Miscanthus benötigt für eine hohe Biomasseproduktion ausreichend Wärme, reichliche Niederschläge und Böden, die nicht zu flachgründig sind sowie frei von Staunässe und mangelhafter Durchlüftung. Als Anforderungen wurden deshalb die folgenden Standorteigenschaften definiert:

Untergrenze mittlere Höhenlage ≤ 700 m ü. NN, mittlerer Jahresniederschlag über 800 mm, nicht auf den folgenden Böden: keine Gleye, Pseudogleye und Rendzinen.

7.2.3.2.7 Fasernessel

Die Fasernessel ist sehr anpassungsfähig. Als Gebiete mit guten Voraussetzungen für Wachstum und Ernte wurden Vergleichsgebiete mit einer Untergrenze der mittleren Höhe von kleiner 750 m ü. NN und mit mittleren Jahresniederschlägen von über 850 mm ausgewiesen.

In der nachfolgenden Tabelle 7-5 sind die Kriterien der Auswahl von potenziell geeigneten Anbaubieten auf Basis der Angaben zu den Vergleichsgebieten und der Gemeindestatistiken noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 7-5: Auswahlkriterien zur Ausweisung der günstigen Anbauggebiete für die verschiedenen Kulturen.

Kultur	Auswahlkriterien	Kürzel	räumliche Auflösung
Sonnenblume	a) Untergrenze mittl. Jahrestemperatur ≥ 8.0 °C b) Ackerzahl ≥ 50	Temp_min ZAckerzahl	vgl_geb gem
Weizen	a) Ertrag Getreide $> 55,74$ dt/ha (=arithm. Mittel) b) Anteil Anbaufläche Weizen a. d. Landwirtschaftlichen Nutzfläche $> 0,126$ (=arithm. Mittel)	Ertr_getr AF_weiz/lf	vggr gem
Winterraps	a) Ertrag Raps $> 34,77$ dt/ha (=arithm. Mittel) b) Anteil Anbaufläche Winterraps a. d. Landwirtschaftlichen Nutzfläche $> 0,032$ (=arithm. Mittel)	Ertr_raps AFwraps/ lf	vggr gem
Körnermais	a) Ertrag Körnermais $\geq 78,6$ dt/ha (=arithm. Mittel) b) Anteil Anbaufläche von Getreide ohne Weizen an der Landwirtschaftlichen Nutzfläche $\geq 0,302$ (=arithm. Mittel)	Ertr_körn Zgetr-weiz (AF Getr- AF Weiz) / LF	vggr gem
Hanf	a) Ackerzahl ≥ 50 b) Mittl. Jahresn ≥ 750 mm c) Untergrenze mittl. Jahrestemperatur ≥ 8.0 °C d) Geeignete Böden ⁴	ZAckerzahl Gridcode Temp_min Ke	gem 1km ² - Raster vgl_geb BÜK 365
Flachs	a) Untergrenze mittl. Höhe ≥ 400 m ü. NN b) Mittl. Jahresn ≥ 800 mm c) Ackerzahl zwischen 30 und 60	H_min Gridcode ZAckerzahl	vgl_geb 1km ² - Raster gem
Miscanthus	a) Untergrenze mittl. Höhe ≤ 700 m ü. NN b) Mittl. Jahresn ≥ 800 mm c) Geeignete Böden ⁵	H_min Gridcode Ke	vgl_geb 1km ² - Raster BÜK 365
Fasernessel	a) Untergrenze mittl. Höhe < 750 m ü. NN b) Mittl. Jahresn ≥ 850 mm	H_min Gridcode	vgl_geb 1km ² - Raster

⁴ Als geeignet ausgewiesen wurden alle Böden außer staunassen (Gleye, Pseudogleye), flachgründigen (Rendzinen), schweren (Pelosole) Böden, Seeoberflächen und Ortslagen.

⁵ Als geeignet ausgewiesen wurden alle Böden außer staunassen (Gleye, Pseudogleye) flachgründigen (Rendzinen) Böden, Seeoberflächen und Ortslagen.

7.2.4 Ergebnisse

7.2.4.1 Potenziell günstige Anbauggebiete für HO-Sonnenblumen

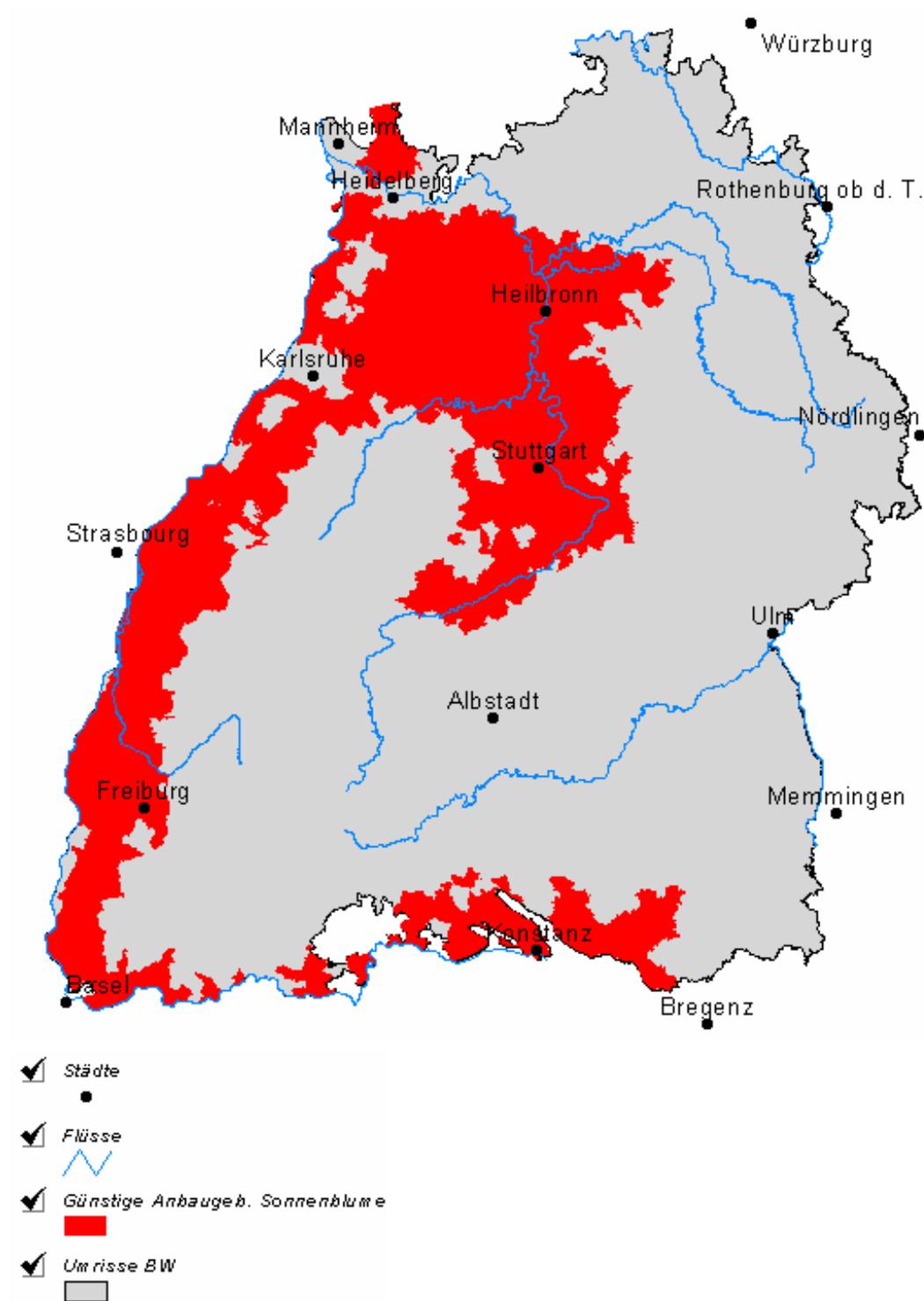


Abbildung 7-1: Potenziell günstige Anbauggebiete für HO-Sonnenblumen.

7.2.4.2 Potenziell günstige Anbauggebiete für Winterraps

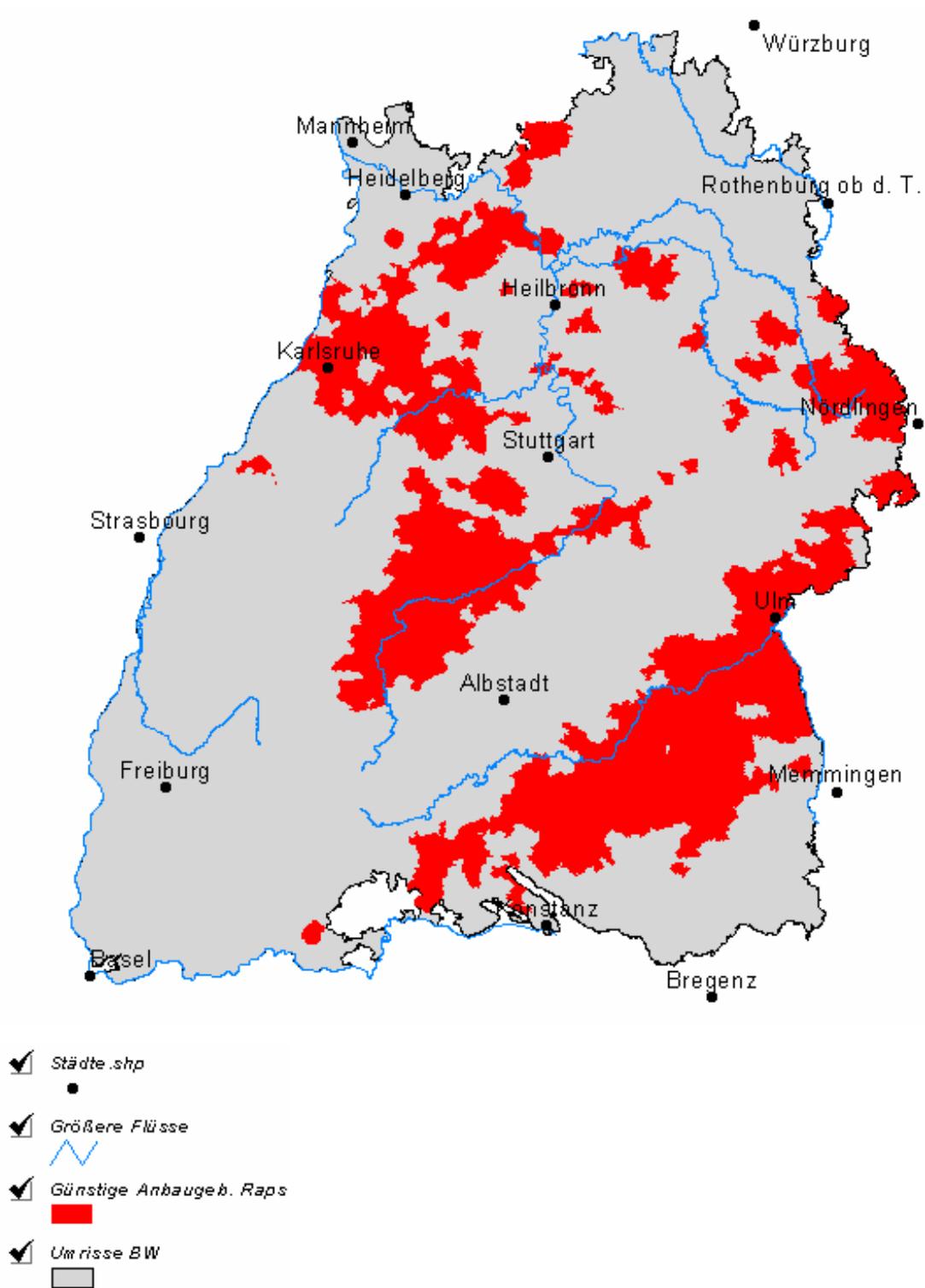


Abbildung 7-2: Potenziell günstige Anbauggebiete für Winterraps.

7.2.4.3 Potenziell günstige Anbauggebiete Winterweizen

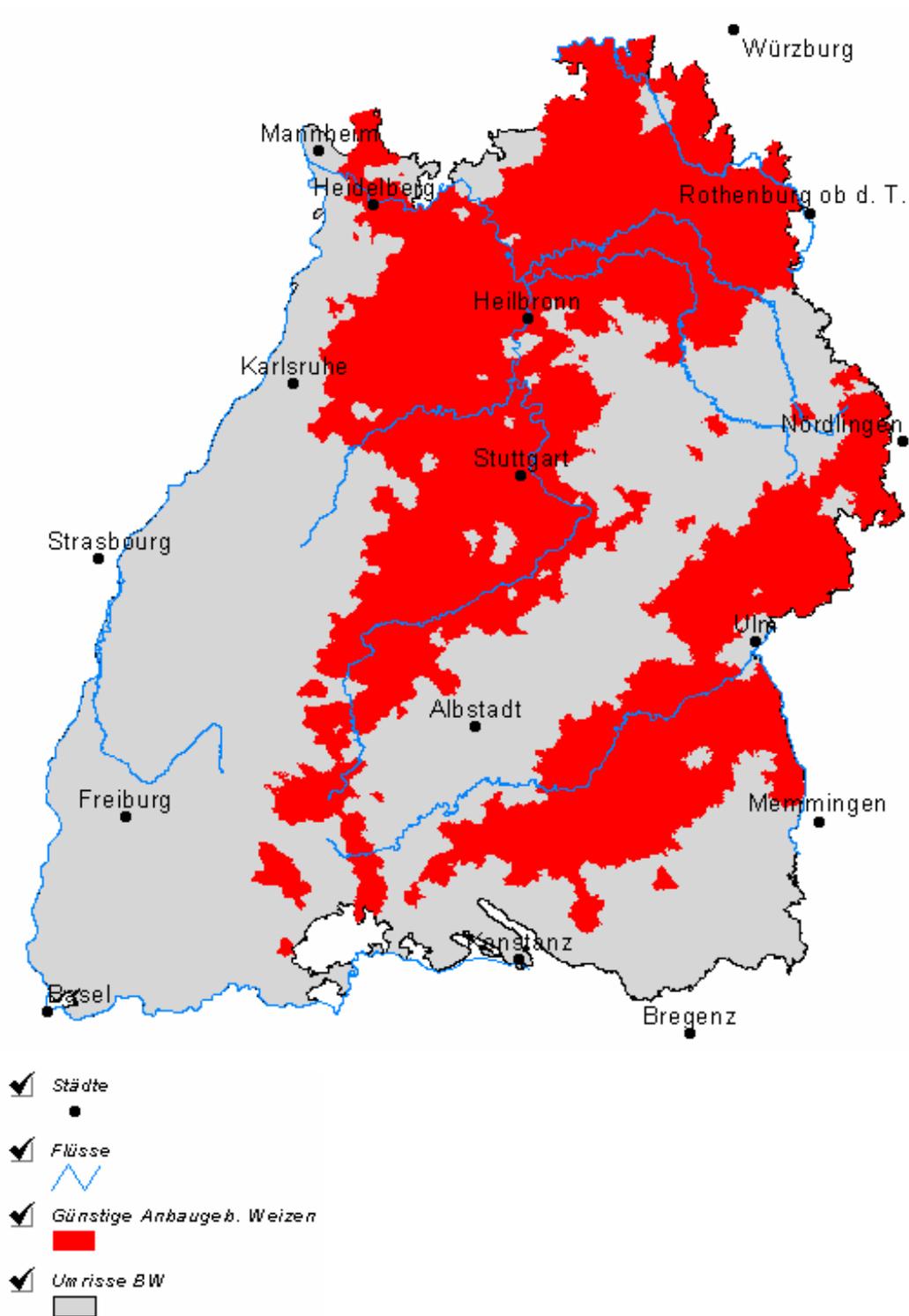


Abbildung 7-3: Potenziell günstige Anbauggebiete für Winterweizen.

7.2.4.4 Potenziell günstige Anbauggebiete Körnermais

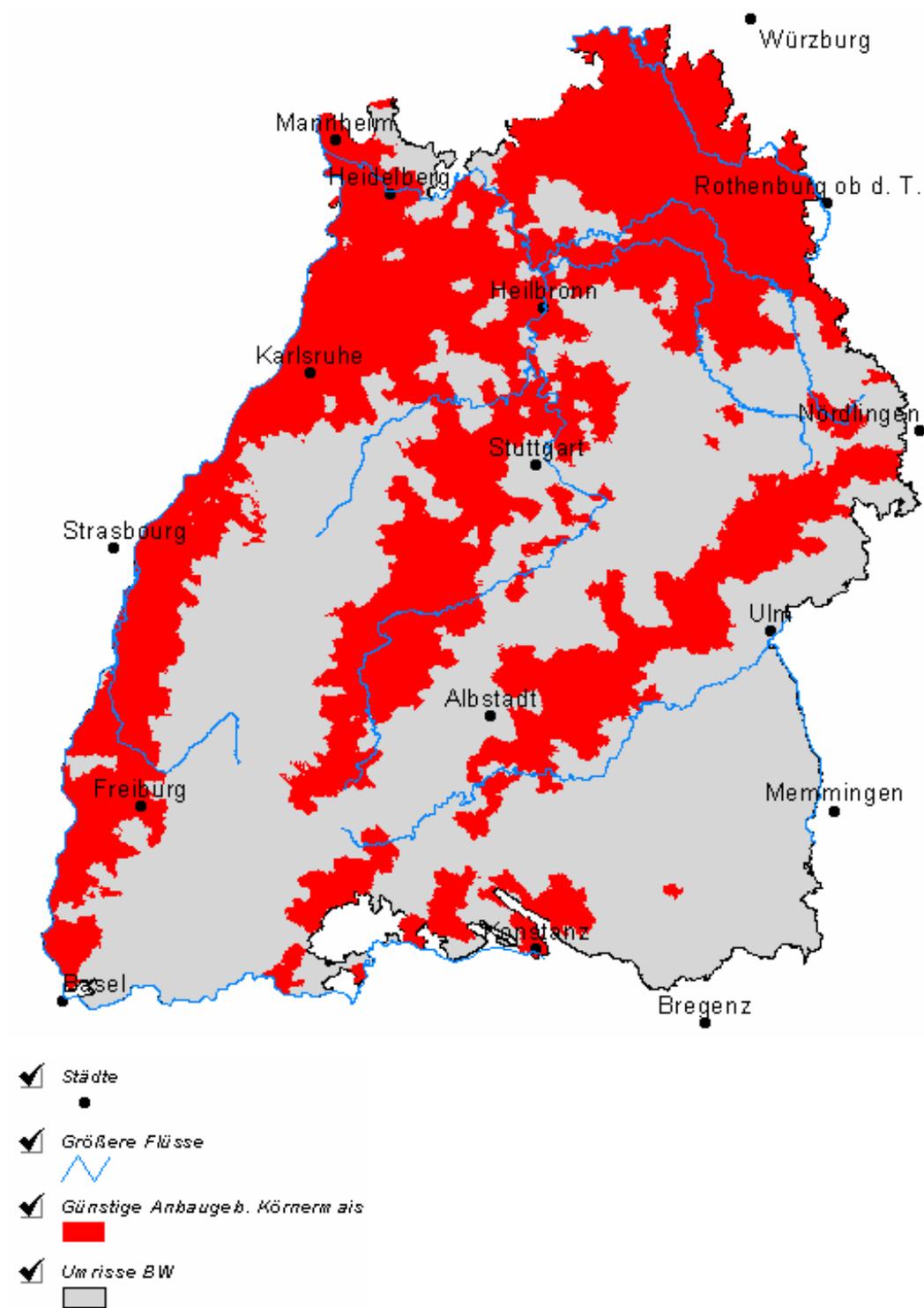


Abbildung 7-4: Potenziell günstige Anbauggebiete für Körnermais.

7.2.4.5 Potenziell günstige Anbauggebiete Hanf

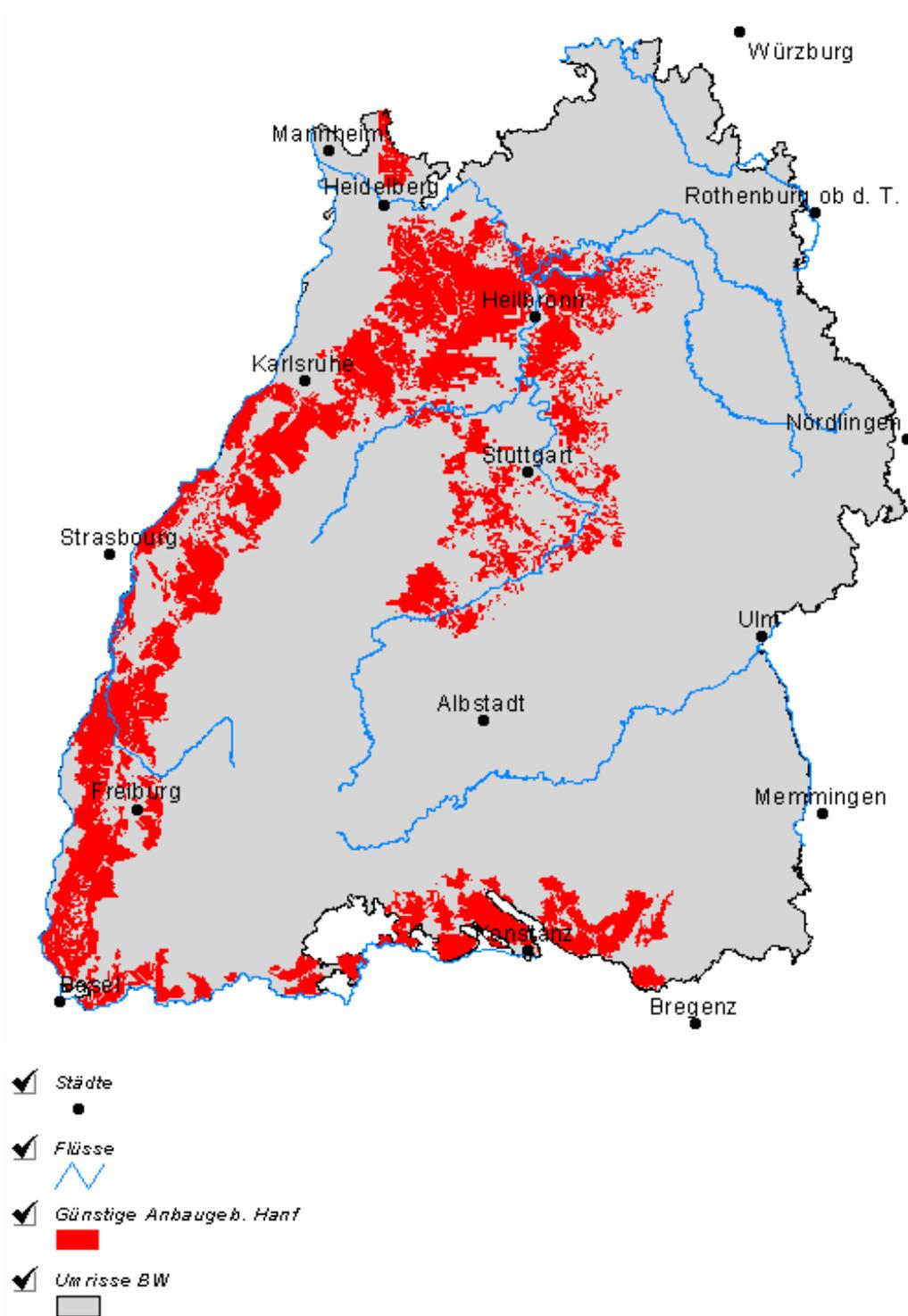


Abbildung 7-5: Potenziell günstige Anbauggebiete für Hanf.

7.2.4.6 Potenziell günstige Anbaugelände für Flachs

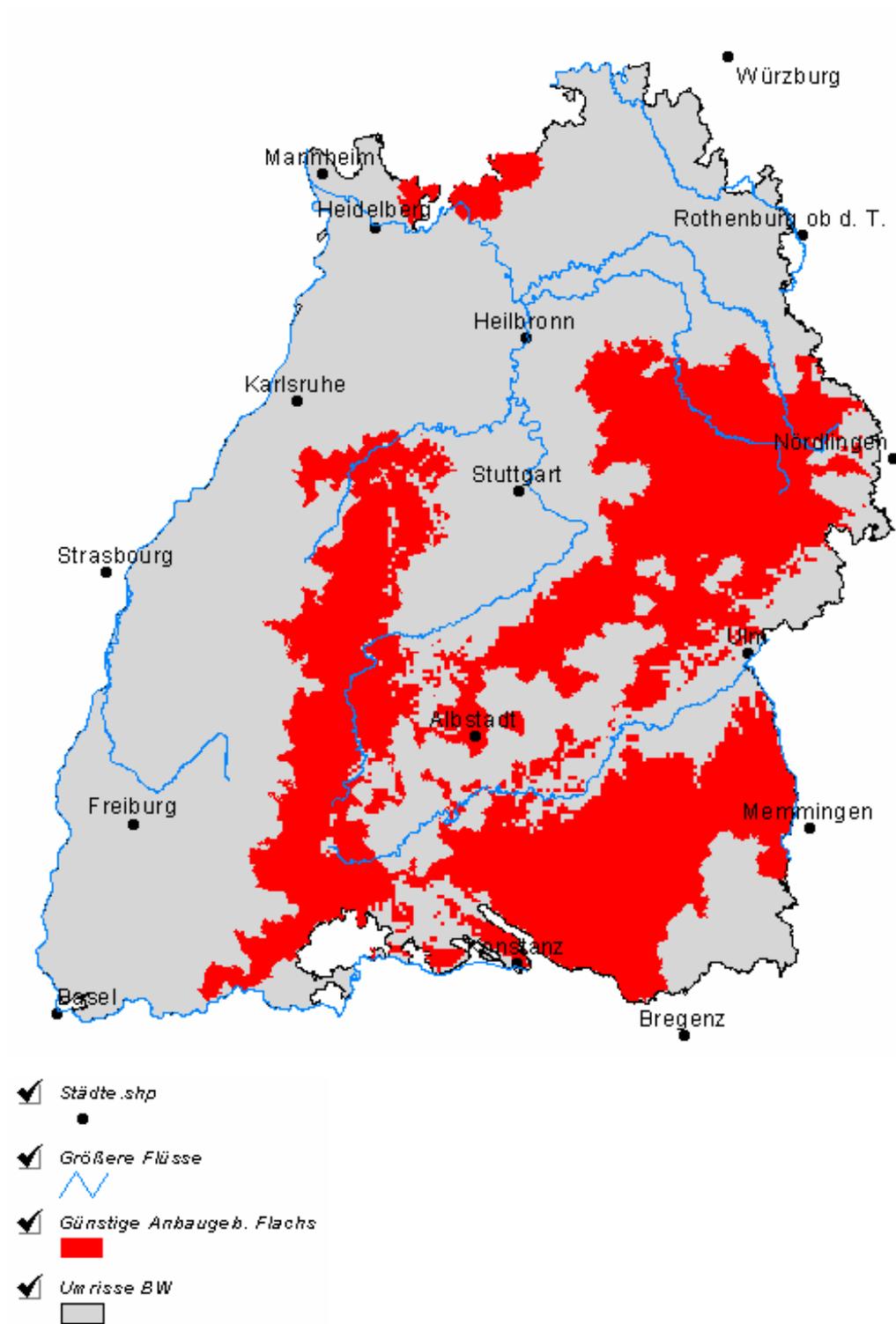


Abbildung 7-6: Potenziell günstige Anbaugelände für Flachs.

7.2.4.7 Potenziell günstige Anbauggebiete Miscanthus

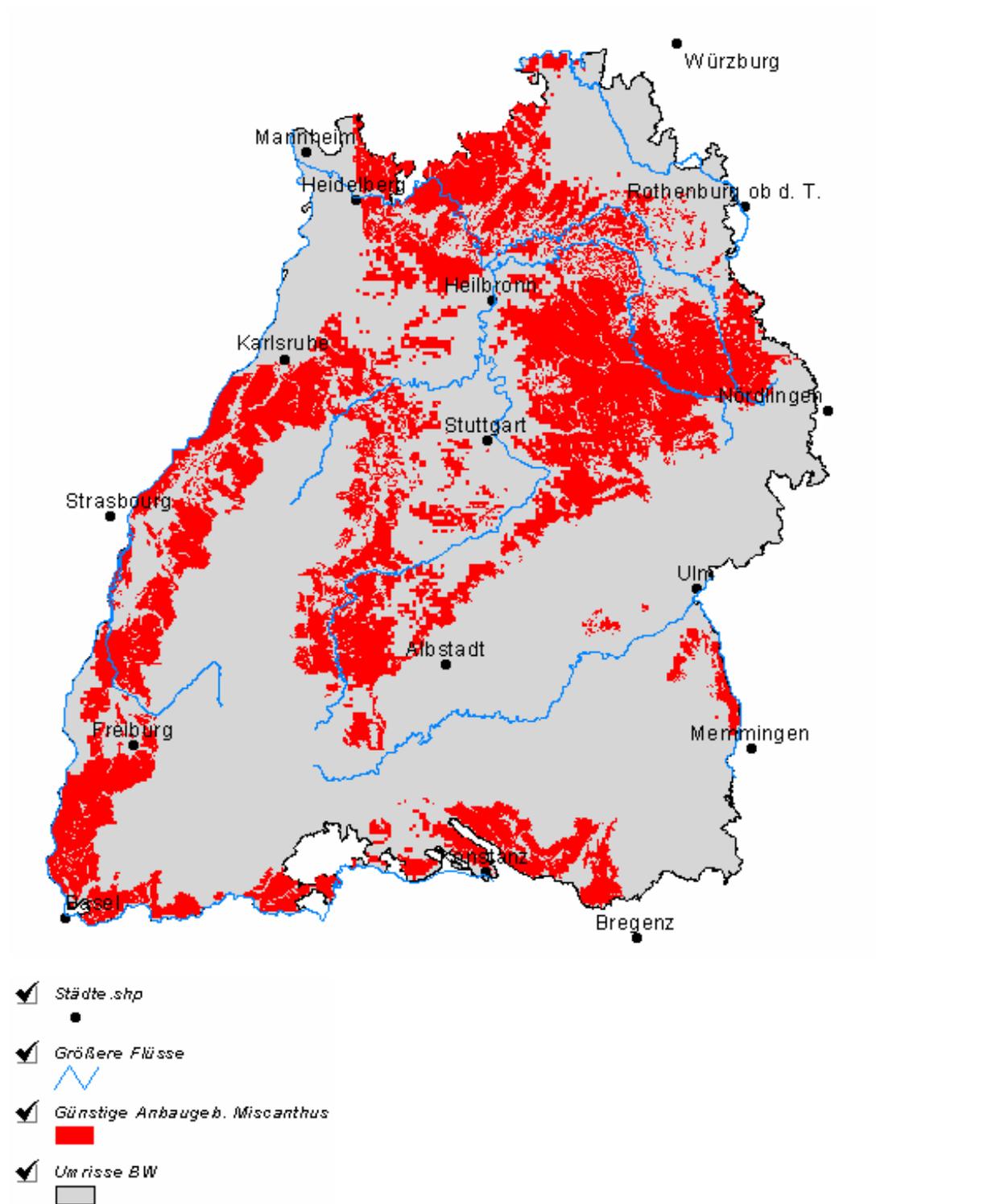


Abbildung 7-7: Potenziell günstige Anbauggebiete für Miscanthus.

7.2.4.8 Potenziell günstige Anbauggebiete Fasernessel

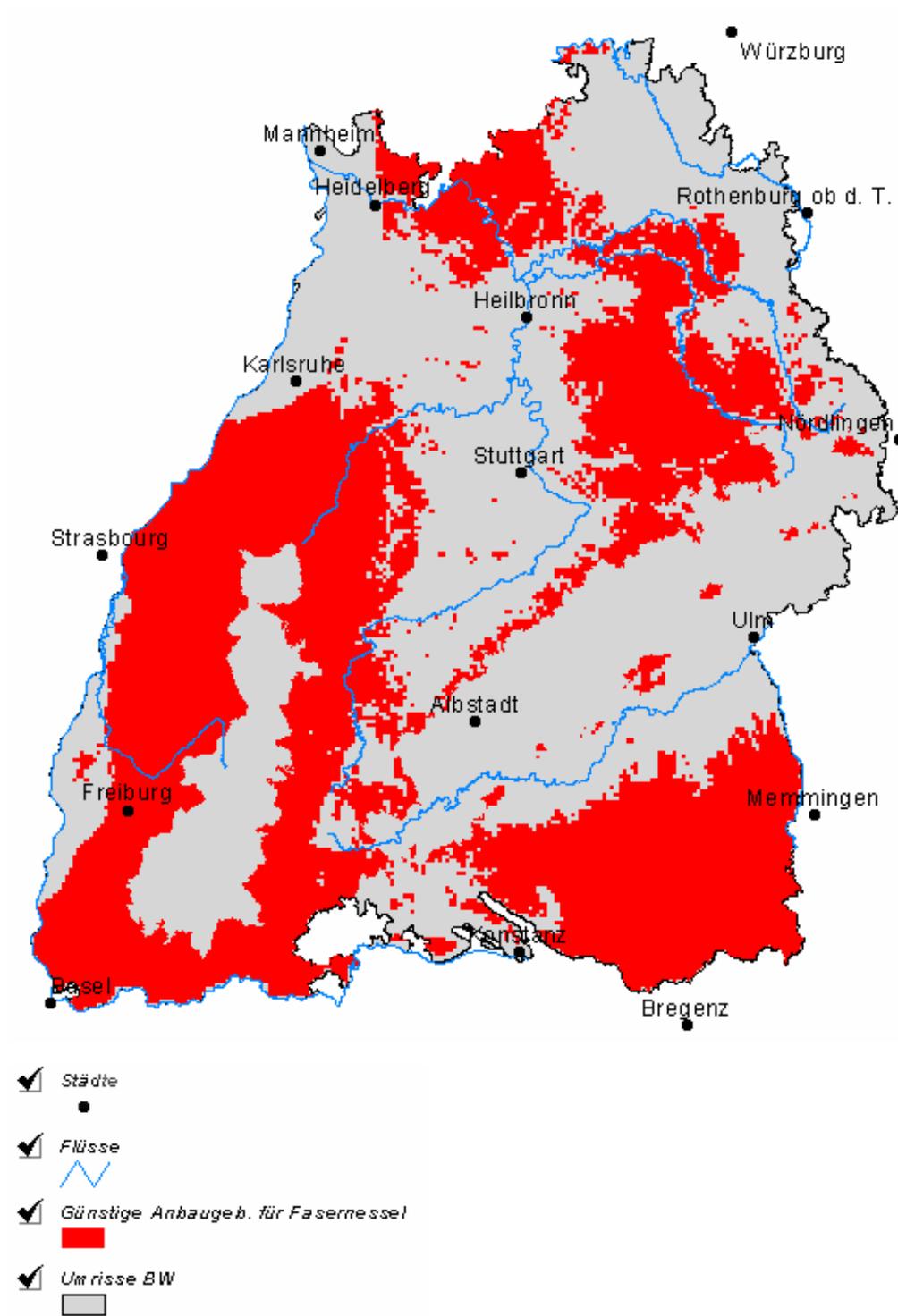


Abbildung 7-8: Potenziell günstige Anbauggebiete für Fasernessel.

7.3 Ökobilanzierung zu Produktlinien nachwachsender Rohstoffe

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Untersuchung der Umweltwirkungen ausgewählter Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich mit den Umweltwirkungen derjenigen konventionellen Produkte, die durch nachwachsende Rohstoff-Produkte ersetzt werden können. Dabei werden die Schritte von der Rohstoffgewinnung und dem landwirtschaftlichen Anbau über verschiedene Verarbeitungs- und Transportprozesse und die Nutzung bis hin zur Entsorgung erfasst. Auch eventuell anfallende Nebenprodukte werden mit einbezogen. Im Abschnitt 7.3.4 werden die einzelnen Produkte und die Ergebnisse der Analysen im Detail beschrieben.

7.3.1 Ziele der ökologischen Analyse

Die hier durchgeführte ökologische Analyse hat folgende Ziele:

- **Vergleichende Bilanzierung des Lebensweges** von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen und ihren konventionellen Vergleichsprodukten.

Es werden z.B. Dämmstoffe aus Flachsfasern mit solchen aus Steinwolle verglichen. Dabei werden alle Prozesse für die Produktion, die Nutzung und Entsorgung, aber auch alle Hilfsstoffe auf ihre Umweltwirkungen untersucht, die Ergebnisse für beide Produkte summiert und dann die Differenz gebildet.

- **Schwachstellenanalyse** (Hot-spot analysis) der Bilanzen.

Die einzelnen Prozesse entlang des Produktlebensweges werden untersucht auf ihren Beitrag zum Gesamtergebnis in den verschiedenen Umweltwirkungen, auf die Bandbreite prozessspezifischer Größen und auf die Bedeutung, die dem Prozess innerhalb des Lebenswegs zukommt.

- **Sensitivitätsanalyse** verschiedener Produkt- oder Produktionsvarianten innerhalb der Lebenswege.

Finden sich in einem Lebensweg Schwachstellen, dann können diese in einer Sensitivitätsanalyse auf ihren quantitativen Einfluss auf das Ergebnis untersucht werden. Im Falle des Flachsdämmstoffs wird z.B. dessen Dichte in den Grenzen variiert, von der die für einen bestimmten Nutzen benötigte Menge abhängt. Ferner existieren in bestimmten Fällen Unsicherheiten bei den Basisdaten, so z.B. bei der Frage, wie viel Lachgas durch die Verwendung von mineralischen N-Düngemitteln freigesetzt wird. In solchen Fällen werden Min-Max-Analysen durchgeführt, um den Einfluss der potenziellen Schwankungsbreite auf das Endergebnis festzustellen.

- Ableitung von **Optimierungsvorschlägen** für Produktions- und Einsatzbedingungen.

Die Basis bilden die Schwachstellen- und Sensitivitätsanalysen. Die Optimierungsvorschläge können alle Lebenswegabschnitte von der Produktion bis zur Nutzung betreffen, sofern alternative technische Verfahren, Nutzungsweisen usw. bestehen, z.B. die energetische statt stoffliche Nutzung eines Kuppelproduktes, eine Reduktion des Einsatzes von mineralischem Stickstoffdünger durch Ökolandbauverfahren, Strom- statt Heizenergiegewinnung bei der Verbrennung (Entsorgung) des nachwachsenden Rohstoffes etc..

- Ableitung von **Handlungsempfehlungen**.

Auf der Basis der erhaltenen Ergebnisse der Lebenswegvergleiche, der Sensitivitäts- und Schwachstellenanalyse sowie der Optimierungsmöglichkeiten werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

7.3.2 Grundlagen der ökologischen Bilanzierung

Zur Analyse der ökologischen Effekte von Produkten, Industrieanlagen, Dienstleistungen etc. existiert eine Reihe von Bewertungsinstrumenten, wie beispielsweise die Umweltverträglichkeitsprüfung, die Ökobilanz, die Technikfolgenabschätzung, die Risikoanalyse oder auch die Produktlinienanalyse.

Für eine detaillierte Analyse der Umweltwirkungen von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu ihren konventionellen Konkurrenten ist die Produkt-Ökobilanz am geeignetsten.

Die wichtigsten Charakteristika der Produkt-Ökobilanz sind:

- Die Umweltwirkungen eines Produktes werden im Wesentlichen (aber nicht ausschließlich) über die In- und Outputströme entlang des „Lebensweges“ (siehe unten) des Produktes aus der bzw. in die natürliche Umwelt erfasst, etwa Ressourcenverbrauch und Emissionen.
- Es werden die vollständigen „Lebenswege“ der Produkte von der Förderung der Rohstoffe über die eigentliche Produktherstellung und seine Nutzung bis zur Entsorgung bzw. dem Recycling der Produkte nach Ende der Nutzungsphase („von der Wiege bis zur Bahre“) betrachtet. Daher werden Ökobilanzen im Englischen als „Life Cycle Assessment“ (LCA) bezeichnet. Damit sollen auch mittelbare Umweltwirkungen erfasst werden, etwa die der Rohstoffförderung oder der Abfallbeseitigung.
- Es werden möglichst alle Arten von Umweltwirkungen (unterteilt in Umweltwirkungskategorien wie Treibhauseffekt oder Versauerung) erfasst und gegebenenfalls wertend zueinander in Relation gesetzt.

Im Unterschied zu anderen Instrumenten der Umweltanalyse sind für die Ökobilanz die Grundzüge der Vorgehensweise durch internationale Normen (ISO 14040-43) festgeschrieben, an deren Vorgaben sich die hier diskutierten Analysen weitgehend anlehnen (Abbildung 7-9 zeigt die Struktur).

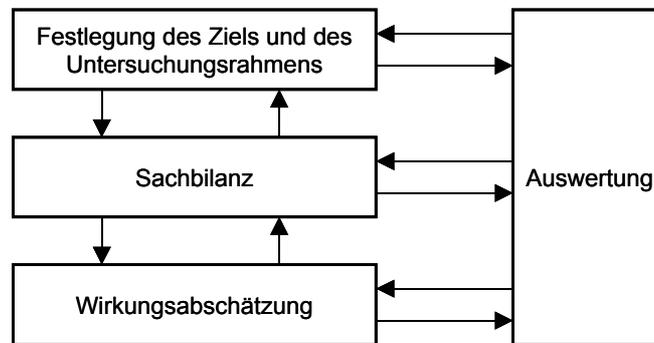


Abbildung 7-9: Die Bestandteile einer Produktökobilanz nach DIN EN ISO 14040.

- In der **Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens** werden sowohl Hintergrund, Zweck, Zielgruppe der Studie usw. festgelegt, als auch die Funktionale Einheit (Bezugsmenge des untersuchten Produktes; z.B. 1 t Dämmmaterial), die gesamten Lebenswege, geografische und zeitliche Systemgrenzen, betrachtete Umweltwirkungskategorien und Parameter usw. definiert.
- Die Erstellung der **Sachbilanz** umfasst im Wesentlichen das Sammeln und Aufbereiten der Lebenswegdaten des Produktes (d.h. der Energieverbrauch, Emissionen usw. der einzelnen Prozesse) und die Berechnung der Gesamt-Energie-, Emissions-, und Abfallbilanzen.
- In der **Wirkungsabschätzung** werden die in der Sachbilanz für Stoffe mit gleicher Wirkung (Beispiel: CO₂, Methan und Lachgas sind treibhauswirksam) erhaltenen Daten zu Indikatorgrößen (Beispiel: CO₂-Äquivalente) zusammengefasst. Dazu werden die Emissionsmengen mit Faktoren multipliziert, welche die relative Wirksamkeit, bezogen auf eine ausgewählte Substanz, wiedergeben und die Produkte addiert (Beispiel Treibhauseffekt: CO₂ Faktor 1 (Referenz), Methan Faktor 21, da Methan 21-mal so „treibhauswirksam“ ist wie CO₂). Für die Wirkungskategorien Versauerung („saurer Regen“) oder Eutrophierung (Nährstoffeintrag in Böden und Gewässer) wird die Wirkungsabschätzung analog durchgeführt.
- Im letzten Schritt findet die **Auswertung** der Ergebnisse statt. Dabei soll ein Gesamturteil auf Basis der Berechnungen der vorangegangenen Schritte gefunden werden. Abhängig davon, wie weit die Auswertung geht (ggf. bis zu einer konkreten Handlungsempfehlung) und wie uneinheitlich ökologische Vor- und Nachteile zwischen

den Optionen verteilt sind, treffen in diesem Schritt wissenschaftliche Datengrundlage, gesellschaftliche Werthaltungen und politische Rahmenbedingungen aufeinander.

Einige spezielle methodische Probleme werden im folgenden Abschnitt im Zusammenhang der hier verwendeten Ansätze diskutiert.

7.3.3 Festlegungen und Vorgehensweise

Im Folgenden werden die Festlegungen zu den untersuchten Umweltwirkungen und die räumlichen und zeitlichen Systemgrenzen dokumentiert. Daran schließt sich die Diskussion spezieller Aspekte der Ökobilanzierung in der Landwirtschaft an. Abschließend wird die ökologische Optimierung von Produktlinien mit Hilfe der Ökobilanz beschrieben.

7.3.3.1 Umweltwirkungen und Bilanzierungsgrößen

Tabelle 7-6 enthält eine kurze Beschreibungen der nach dem deutschen Normierungsausschuss DIN-NAGUS zu betrachtenden Umweltwirkungen; eine tabellarische Zusammenfassung der in dieser Studie erfassten Wirkungen, Indikatoren usw. findet sich in Tab. 7-7.

Zahlreiche Substanzen wirken in unterschiedlicher Weise auf die Umwelt ein. Zum Beispiel sind in Tab. 7-7 Stickoxide und Ammoniak unter Versauerung und unter Eutrophierung aufgeführt. Zusätzlich sind es Gifte für Organismen einschließlich des Menschen. In solchen Fällen muss jeweils die gesamte Menge in allen Kategorien berücksichtigt werden.

Aus der großen Zahl der Umweltgifte, die in der Produktion von Energie und Waren freigesetzt werden, wird hier eine Auswahl von vier Luftschadstoffen (Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und Dieselpartikel) dargestellt. Die zusätzlich erstellten Bilanzen der Emissionen von Stäuben, Formaldehyd, Benzol und Dioxine basieren teilweise auf nicht oder nur wenig belastbaren Datengrundlagen oder haben eine nur geringe Aussagekraft und werden daher hier nicht ausgewiesen.

Tabelle 7-6: Umweltwirkungen.

Umweltwirkung	Beschreibung
Ressourcenverbrauch	<p>Nutzung von endlichen Rohstoffquellen. Grob lassen sich die Ressourcen in drei Gruppen einteilen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mineralische Ressourcen – alle aus der Erde geförderten Stoffe, die als Rohstoffe für die Produktion benötigt werden. Sie werden hier nicht analysiert. • Ressource Energie – fossile und erneuerbare Energieträger sowie Uranerz. In dieser Untersuchung werden die nicht erneuerbaren Brennstoffe Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran in Energieeinheiten bilanziert. • Ressource Naturraum – der Flächenverbrauch pro Produktnutzen. Da in der Landwirtschaft der Verbrauch des Naturraums eine große Rolle spielt, wird dieser im Rahmen dieser Untersuchung als Bezugsgröße für die übrigen Umweltwirkungen herangezogen.
Naturraumbeanspruchung	Nutzung von Land, das dann der Natur nicht mehr vollständig zur Verfügung steht. Da noch kein allgemein anerkanntes Bewertungsverfahren existiert, wird diese Umweltwirkung im Rahmen dieser Untersuchung nicht analysiert, bzw. in der erweiterten Betrachtung in Abschnitt 7.4 diskutiert.
Treibhauseffekt	Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von bestimmten Gasen. Wichtigstes Treibhausgas: Kohlendioxid (CO ₂) aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern. Hier werden CO ₂ , Methan und Lachgas erfasst.
Abbau der Ozon-schicht	Zerstörung des schützenden Ozons in der Stratosphäre durch bestimmte Gase wie FCKW oder Lachgas. Da in allen Lebenswegen außer Lachgas keine nennenswerten Mengen an ozonwirksamen Gasen freigesetzt werden, wird hier nur Lachgas erfasst.
Versauerung	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch Eintrag säurebildender Gase. Erfasst werden Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff.
Eutrophierung	Einbringung von Nährstoffen in Böden und Gewässer. Erfasst werden Emissionen von Stickoxiden und Ammoniak.
Sommersmog	Bildung von Photooxidantien, u.a. Ozon, unter dem Einfluss von Sonnenstrahlung in der bodennahen Atmosphäre. Diese Kategorie wird hier nicht betrachtet.
Lärm	Belastung von Umwelt und Bevölkerung durch Geräuschentwicklung. Die Methodologie der Bilanzierung dieser Umweltwirkung ist in der Fachwelt noch strittig, daher wird hier auf eine Bilanzierung verzichtet.
Human- und Öko-toxizität	Direkte schädigende Wirkung von Stoffen auf Mensch und Umwelt. Da verschiedene Substanzen völlig unterschiedliche toxische Wirkungen haben, ist die Bewertungsmethodik strittig. Hier werden daher die Größen Schwefeldioxid, Stickoxide, Ammoniak und Dieselpartikel getrennt ausgewiesen.

Tabelle 7-7: Analyisierte Größen.

Kategorie	Indikator	Sachbilanzgröße	Formel	Äquivalenzfaktor
Ressourcenverbrauch	Kumulierter Energieaufwand aus erschöpflichen Quellen	Erdöl Erdgas Steinkohle Braunkohle Uranerz	—	—
Treibhauseffekt	CO ₂ -Äquivalent (Kohlendioxid-Äquivalent)	Kohlendioxid fossil	CO ₂	1
		Lachgas (Distickstoffoxid)	N ₂ O	310
		Methan	CH ₄	21
Abbau der Ozonschicht	—	Lachgas (Distickstoffoxid)	N ₂ O	—
Versauerung	SO ₂ -Äquivalent (Schwefeldioxid-Äquivalent)	Schwefeldioxid	SO ₂	1
		Stickoxide	NO _x	0,7
		Ammoniak	NH ₃	1,88
		Chlorwasserstoff	HCl	0,88
Eutrophierung	PO ₄ -Äquivalent (Phosphat-Äquivalent)	Stickoxide	NO _x	0,13
		Ammoniak	NH ₃	0,346
Human- und Ökotoxizität	—	Schwefeldioxid Stickoxide Ammoniak Dieselpartikel	SO ₂ NO _x NH ₃ —	—

7.3.3.2 Funktionelle Einheiten und Systemfestlegungen

Wenn zwei verschiedene Produkte miteinander verglichen werden sollen, ist es notwendig, den Produktnutzen (und damit seine Funktion) genau festzulegen. Dies geschieht mit Hilfe der funktionellen Einheit. Diese beschreibt eine spezifische Produktmenge oder Produktdienstleistung, die nötig ist, um den betrachteten Produktnutzen zu erzeugen. In dieser Untersuchung, die von der landwirtschaftlichen Produktion ausgeht, wird als funktionelle Einheit jeweils der Produktnutzen gewählt, der sich aus dem Anbau von 100 Hektar nachwachsendem Rohstoff in einem Durchschnittsjahr ergibt. Das bedeutet z.B. für den Vergleich von Hydraulikflüssigkeiten, dass über die gesamte Lebenszeit einer Hydraulik das darin eingesetzte Volumen von biogenem und fossilem Hydrauliköl als Vergleichsbasis dient.

Den zeitlichen Bezug für die betrachteten Produktionsweisen, den Energieverbrauch, Emissionen usw. bildet das Jahr 2000. In einigen Fällen, in denen noch in der Entwicklung befindliche neue Technologien analysiert werden mussten, ist der Rahmen in die nähere Zukunft bis etwa 2005 ausgedehnt worden.

Tabelle 7-8: Die Systemfestlegungen im Einzelnen.

Systemannahme	Beschreibung
Zieldefinition	vergleichende Produktökobilanz verschiedener Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen gegenüber jeweils einem konventionellen Produkt und bei „guter fachlicher Praxis“ in der Landwirtschaft. Potenziell zu realisierende Vor- und Nachteile einer Verwendung nachwachsender Rohstoffe für dieses Produkt sollen aufgezeigt werden.
Funktionelle Einheit	jeweiliger Produktnutzen
Zeitlicher Bezug	Jahrtausendwende oder kurz danach, 2000–2005
Systemgrenzen	Anbau der nachwachsenden Rohstoffe: Baden-Württemberg; Weiterverarbeitung, Nutzung und Entsorgung: Deutschland, fossile Rohstoffe nach realen Bedingungen auf dem Weltmarkt.
Kuppelprodukte	Anrechnung der Umweltwirkungen mit Hilfe des Gutschriftverfahrens (Ersatz gleichwertiger Produkte) auf die eigentlichen Produkte
Bilanzierungstiefe	Abschneidekriterium: < 3 Massenprozent, Nicht-Berücksichtigung der Infrastruktur (Bau von Fertigungsanlagen, Verkehrswegen etc.)

Die räumlichen Systemgrenzen sind auf den Rahmen des Projekts abgestimmt. Der Anbau nachwachsender Rohstoffe erfolgt in Baden-Württemberg, die Weiterverarbeitung, Nutzung und Entsorgung ohne weitere regionale Spezifizierung in Deutschland. Die Bereitstellung der Betriebs- und Hilfsstoffe wie auch der konventionellen Vergleichsprodukte wird nach realen Gegebenheiten deutschland- bzw. weltweit bilanziert.

In Tabelle 7-8 sind die beschriebenen Systemfestlegungen zusammengefasst. Zu Basisdaten für die Durchführung der Bilanzen, insbesondere zur Produktion der Düngemittel und anderer Betriebsmittel sowie den vorgelagerten Prozessen siehe im Wesentlichen PATYK & REINHARDT (1997); BORKEN et al. (1999) und BIFA, IFEU & FLO-PAK (2002).

7.3.3.3 Behandlung von Kuppelprodukten

Ein nicht nur für die landwirtschaftliche Produktion relevantes Problem stellt die Behandlung von Kuppelprodukten dar. Wenn z.B. die Fasern von Flachs für Dämmmaterial verwendet werden sollen, zusätzlich aber auch verwertbares Öl und Schäben anfallen, sollten die Umweltauswirkungen „fairerweise“ nicht vollständig den Fasern zugeschrieben werden. Es ist möglich, die Umweltwirkungen in so einem Fall zwischen diesen Kuppelprodukten nach Masse, Wert oder anderen Kriterien aufzuteilen („Allokationsverfahren“). Diese Analyse wählt einen erweiterten, in den ISO-Normen empfohlenen Ansatz, die sogenannte Äquivalenzprozessbilanzierung, in der die durch die Kuppelprodukte ersetzten, konventionellen Produkte erfasst werden. Die durch den Wegfall der konventionellen Produkte eingesparten Res-

sources und Emissionen werden dem untersuchten nachwachsenden Rohstoff gutgeschrieben, d.h. von seinen Umweltwirkungen abgezogen. Dies wird daher auch als „Gutschriftverfahren“ bezeichnet. Nur in Fällen, wo das nicht möglich oder sinnvoll ist, wird die Allokation angewandt.

7.3.3.4 Bilanzierung über Fruchtfolgen und Wahl des Referenzsystems

Jeder technische Prozess nimmt Flächen in Anspruch, die damit nicht mehr als natürliches Land bestehen (s. Abschnitt 7.3.2, Naturraumbeanspruchung). Dies fällt weniger ins Gewicht bei industriellen Produktionsanlagen, da deren Flächenverbrauch pro gefertigter Tonne Produkt relativ klein ist. Im Bereich der Landwirtschaft liegen die Verhältnisse anders, da nur wenige Tonnen Pflanzenmaterial (und teils weniger als eine Tonne Endprodukt) auf einem Hektar Ackerfläche pro Jahr produziert werden können.

Es stellt sich also die Frage, was mit der landwirtschaftlichen Fläche gemacht würde, wenn der betrachtete nachwachsende Rohstoff nicht produziert würde und welche Umweltwirkungen damit verbunden wären. Hier wird eine Fruchtfolge mit einer Grünbrache angenommen, d.h. die Fläche wird in einem Jahr nicht wirtschaftlich genutzt, sondern nur aktiv begrünt. Solche Stilllegungsflächen sind dem Landwirt ab einer mittleren Betriebsgröße gesetzlich vorgeschrieben. Die anderen Jahre der Fruchtfolge sind so gestaltet, dass sie im Fall der Grünbrache wie im Fall des Anbaus nachwachsender Rohstoffe exakt gleiche Erträge liefern. Damit reduziert sich im Saldo der Betrag der Umweltwirkungen auf die Differenz zwischen dem Anbau des nachwachsenden Rohstoffs und der Grünbrache, d.h. in der Bilanz werden die Umweltwirkungen durch die angebaute Kultur um die Umweltwirkungen einer einjährigen Zwischenbrache verringert.

Einen Spezialfall stellen hier der Anbau von Winterweizen zur Stärkeproduktion und der von Hanf dar. Da die gesetzlichen Bestimmungen keinen Landbau dieser Kulturen auf Stilllegungsflächen erlauben, werden sie, um größtmögliche Vergleichsmöglichkeiten zu gewährleisten, nicht durch eine Fruchtfolge mit Grünbrache ersetzt, sondern durch dieselbe Fruchtfolge mit einer anderen Kultur als Ersatz. Der Ertrag dieser Kultur muss dann auf einem anderen Feld erwirtschaftet werden, welches wiederum statt einer Grünbrache geschieht. Der Saldo der Umweltwirkungen auf dem zweiten Feld wird dann dem Saldo der Umweltwirkungen auf dem ersten Feld hinzugezählt.

Dabei müssen die Mengen des Alternativprodukts, die auf beiden Feldern produziert werden, über einen festen Zeitraum (z.B. 30 Jahre) gleich sein. Wenn die Fruchtfolgen unterschiedlich lang sind wie im Beispiel des Weizenanbaus zur Stärkeproduktion 6 Jahre, während es 5 Jahre mit Weizenanbau zur Brotproduktion als Alternativprodukt sind, wird eine entsprechende Skalierung vorgenommen.

7.3.3.5 Ökobilanzen zur Optimierung von Produktlinien

Durch ihre Eigenschaft, eine Produktlinie von den Ausgangs- und Hilfsstoffen über die verschiedenen Schritte der Produktion bis hin zur Nutzung und Entsorgung zu verfolgen, bietet die Produkt-Ökobilanz die Möglichkeit, in Schwachstellenanalysen jeden einzelnen Prozess und Lebenswegabschnitt auf seine Relevanz bezogen auf die Umweltwirkungen der gesamten Prozesskette zu untersuchen. Bei Prozessen, die einen großen Anteil an einer Umweltwirkung haben, wirken sich kleine Veränderungen in den Prozesseigenschaften oft drastisch im Endergebnis aus. Diese Auswirkungen, also die Sensitivität des Ergebnisses auf die Eingangsgrößen, werden in Sensitivitätsanalysen untersucht. Dies ermöglicht die Optimierung der verschiedenen Produktlinien hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen.

In dieser Studie werden die Umweltwirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher und industrieller Herstellungs- und Aufbereitungsverfahren ermittelt und einander gegenübergestellt. Im Bereich der Landwirtschaft z.B. wirken sich Verringerungen des Mineraldünger-Einsatzes deutlich emissionsmindernd und ressourcenschonend aus. Nach den Optimierungen im landwirtschaftlichen Bereich werden dann die gesamten Produktlinien noch einmal ökologisch bilanziert.

7.3.4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Bilanzergebnisse dokumentiert und diskutiert. Zusätzlich werden die einzelnen Lebenswege kurz beschrieben.

Zu den Lebenswegen

Ein Teil jedes Unterkapitels ist die Beschreibung der hier untersuchten vollständigen Lebenswege der konventionellen Produkte und der aus erneuerbaren Rohstoffen an Hand eines Fließschemas. Für das biogene Produkt werden die Prozessschritte, die auf die Landwirtschaft folgen, kurz beschrieben. Hierbei ist folgendes zu beachten:

- Auf Grund der Komplexität der Lebenswege können in den Fließschemata nicht alle einzelnen Prozessschritte dargestellt werden. Daher werden einige Schritte nicht abgebildet oder Produkte mit den Vorketten ihrer Herstellungsverfahren und Ausgangsstoffe zu Aggregationen zusammengefasst.
- In den Fließschemata bedeuten einfache Pfeile „wird zu ...“ bzw. „wird ... zugeführt“, Doppelpfeile „ersetzt das Produkt ...“. Kuppelprodukte, für die Gutschriften entstehen, und die durch diese Kuppelprodukte substituierten konventionellen Produkte werden durch Doppelpfeile verbunden, um deutlich zu machen, dass es sich hierbei um eine Gutschrift (mathematische Differenz) handelt. Die gutgeschriebenen Produkte (in der Berechnung negativ) sind mit dunklem Hintergrund dargestellt.

Beispiel:

Bei vielen der untersuchten Lebenswege und Szenarien wird das Produkt am Lebensende zur Energiegewinnung genutzt, wodurch in der Regel ein fossiler Energieträger eingespart wird (dementsprechend wird also dem nachwachsenden Rohstoff eine Gutschrift erteilt). Aus Platzgründen wird oft eine verkürzte Darstellung wie folgt gewählt:

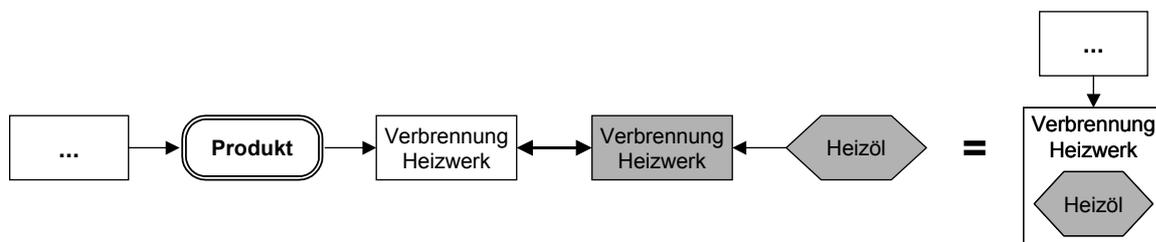


Abbildung 7-10: Schema der verkürzten Darstellung beim Lebenswegvergleich.

- Die Abkürzung PSBM bedeutet „Pflanzenschutz- und Behandlungsmittel“, T steht für „Transport“. Produktspezifische Abkürzungen sind SB für „Sonnenblumen“, PLA für Polylactid und „Heizöl S“ für „schweres Heizöl“.
- Zur Bedeutung des landwirtschaftlichen Referenzsystems siehe Abschnitt 7.3.2.

Zur Ergebnisdarstellung

- Die Ergebnisse werden grafisch als Salden der Bilanzen der Produkte aus erneuerbaren Rohstoffen und der konventionellen Produkte dargestellt. Dabei stellen negative Werte Vorteile für die biogenen Produkte dar; sie symbolisieren also die vermiedenen Umweltwirkungen oder Einsparungen von z.B. fossilen Energieträgern im Vergleich zu den konventionellen Produkten.
- Zur Interpretation werden die Ergebnisse in sogenannten Einwohnerwerten dargestellt, das sind die Emissionen bzw. die Verbrauchswerte, die pro Bundesbürger und Jahr durchschnittlich in Deutschland freigesetzt bzw. konsumiert werden. Die zu Grunde liegenden Daten stammen aus: AGE (2001), UBA (2001), STAT. LANDESAMT B.-W. (1999), Statistik von Baden- Württemberg, Landwirtschaftszählung 1999 sowie Gemeindestatistik 2000.
- Im Einzelnen sind dies: Kumulierter Energieaufwand: 172 GJ erschöpfbare Primärenergie; Treibhauspotenzial: 11,8 t CO₂-Äquivalent; Versauerungspotenzial: 38 kg SO₂-Äquivalent; Eutrophierungspotenzial: 5,1 kg PO₄-Äquivalent; stratosphärischer Ozonabbau: 1,7 kg Distickstoffmonoxid; Human- und Ökotoxizität: 10 kg Schwefeldioxid, 19 kg Stickoxide, 7,6 kg Ammoniak, 0,25 kg Dieselpartikel (TREMODO 2002).
- Zu den dargestellten Umweltwirkungen siehe Abschnitt 7.3.2.
- Die durch den Einsatz von Stickstoffdünger aus dem Boden freigesetzten Lachgas- und Ammoniakemissionen zeigen eine große Bandbreite, die sich aus dem Einfluss von Faktoren wie den Boden- und Witterungsverhältnissen und der Art der eingesetzten Düngemitteln ergibt. In Abschnitt 7.3.5.1 wird darauf näher eingegangen.
- Die über die Balken der Salden gelegten Bandbreitenindikatoren drücken die Bandbreite der Ergebnisse aller betrachteten Varianten aus.
- Die Ergebnisse der Optimierung im Bereich der Landwirtschaft werden im Anschluss an die einzelnen Kulturen in den Abschnitten 7.3.5.2 und 7.3.5.3 dargestellt.
- In der Interpretation werden die Ergebnisse dann als nicht eindeutig ausgewiesen, wenn sie weniger als 10 % der Einzelbilanzen in der jeweiligen Wirkungskategorie ausmachen.

7.3.4.1 HO-Sonnenblume: Schmierstoffe versus konventionelle Schmierstoffe

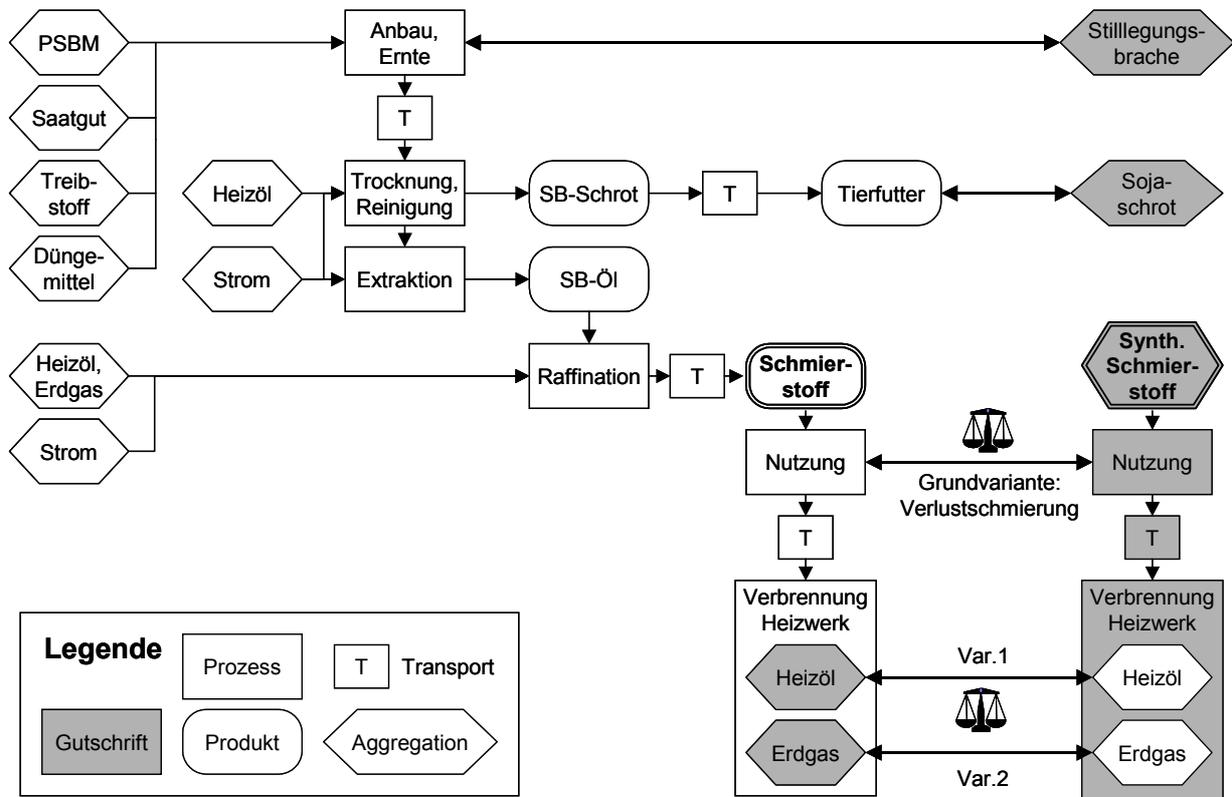


Abbildung 7-11: Lebensweg von Schmierstoffen aus hochölsäurehaltigem (high oleic, HO) Sonnenblumenöl im Vergleich zu herkömmlichen Schmierstoffen (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4; SB steht für „Sonnenblumen“).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Die geerntete Sonnenblumensaart wird zum Hof transportiert, gereinigt, getrocknet und anschließend gekühlt gelagert. Die Ölgewinnung erfolgt zentral in einer Ölmühle durch Pressung mit Extraktion und anschließender Raffinierung zu Schmieröl. Das bei der Extraktion anfallende Kuppelprodukt Sonnenblumenschrot ersetzt aus den USA importiertes Sojaschrot auf der Basis von Protein-Äquivalenz.

Nutzung: Die Schmierstoffe werden typischerweise in Verlustschmierung z.B. als Kettensägeöle eingesetzt. Der Lebensweg ist dann mit der Nutzung beendet. Alternativ kann die Nutzung in Umlaufschmierungen erfolgen; dann wird nach einer bestimmten Lebensdauer eine Entsorgung erforderlich (Varianten 1 und 2).

Entsorgung: In den Varianten 1 und 2 werden die Schmierstoffe gesammelt und in Heizwerken zur Gewinnung von industrieller Prozesswärme verbrannt. Dadurch kann u.a. leichtes Heizöl oder Erdgas ersetzt werden.

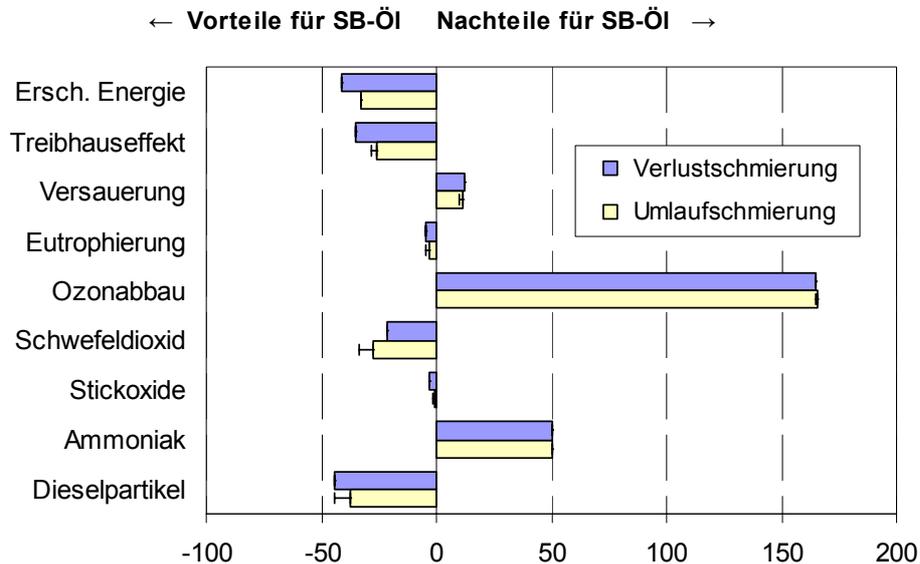


Abbildung 7-12: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Schmierstoffe aus HO-Sonnenblumenöl“ („SB-Öl“) in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abbildung siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Sonnenblumenöl anstelle von fossilen Ölen als Schmiermittel mit Verlustschmierung werden pro 100 ha angebaute Sonnenblumen im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von etwa 40 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

Grundvariante: Verlustschmierung

Variante 1: Umlaufschmierung und Entsorgung des Altöls durch thermische Nutzung in Industrie-Heizwerken, Substitution von Heizöl

Variante 2: Umlaufschmierung und Entsorgung des Altöls durch thermische Nutzung in Industrie-Heizwerken, Substitution von Erdgas

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Die Energie- und Treibhausgasbilanz fallen auf Grund des hohen Beitrags der Mineralölproduktion deutlich zu Gunsten von Sonnenblumenöl aus. Für die Kategorien Versauerung und Ozonabbau ergeben sich, bedingt vor allem durch die Emissionen aus der Landwirtschaft, Nachteile für Schmierstoffe aus Sonnenblumenöl. Die Eutrophierung wird gleichermaßen von der Landwirtschaft wie auf der anderen Seite von der Mineralölproduktion bestimmt und zeigt keine wesentlichen Vor- oder Nachteile.

Für die Emissionen von toxischen Luftschadstoffen zeigt sich ein uneinheitliches Bild: Vorteile für den biogenen Schmierstoff ergeben sich bei den Schwefeldioxid- und den Dieselpartikelemissionen, Nachteile bei Ammoniak. Die Schwefeldioxidbilanz wird durch die Produktion der fossilen Schmiermittel bestimmt, die von Ammoniak überwiegend (zu über zwei Dritteln) von der landwirtschaftlichen Produktion (Düngemittelproduktion und Emissionen aus dem Feld). Für Stickoxide resultiert kein eindeutiges Ergebnis.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse – je nach Wirkung Vor- oder Nachteil für das biogene Schmiermittel – kann keine wissenschaftlich begründete, „objektive“ Entscheidung für oder gegen Schmierstoffe aus HO-Sonnenblumenöl erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden, etwa: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzter saurer Regen“. Wenn z.B. der Minderung des Verbrauchs fossiler Energieressourcen und des anthropogenen Treibhauseffekts eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, lässt sich eine Entscheidung für das Sonnenblumen-Schmiermittel ableiten.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

- Bei Nutzung in einer Umlaufschmierung zeigt der biogene Schmierstoff gegenüber einer Verlustschmierung für Energieaufwand und Treibhauseffekt weniger deutliche Vorteile (bei marginalen Änderungen in den anderen Wirkungen) als bei der Verbrennung des Altöls zur Energiegewinnung (Bandbreiten-Indikator im Diagramm). Das heißt, aus ökologischer Sicht ist eine Verlustschmierung der Umlaufschmierung vorzuziehen.
- Bei der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen treten oft signifikante Änderungen in den Ergebnissen je nach ersetztem Brennstoff auf. Im Fall der energetischen Entsorgung des Sonnenblumenöls zeigen sich für unterschiedliche ersetzte fossile Brennstoffe nur minimale Unterschiede der Ergebnisse.
- Wird HO-Sonnenblumenöl auf anderenfalls stillliegenden Flächen des Öko-Landbaus nach EU-Richtlinien produziert, zeigt sich ein Vorteil beim Energieeinsatz und

Nachteile oder nicht eindeutige Ergebnisse in allen anderen Umweltwirkungen. Das heißt, dass der Ökolandbau in diesem Fall deutlich schlechter abschneidet als der konventionelle Landbau, wenn nicht die Schonung fossiler Energieträger als wichtigstes bzw. ausschlaggebendes Umweltkriterium betrachtet wird. Die Ergebnisse hängen hier insbesondere mit dem eingesetzten Rizinusschrot als Stickstoffdünger im viehlosen Betriebsszenario zusammen. Insofern ist es weiteren Arbeiten vorbehalten, nach anderen Düngerstrategien zu suchen, die im Sinne einer Optimierung des ökologischen Landbaus zu günstigeren Ergebnissen führen. Eine detaillierte Darstellung findet sich in Abschnitt 7.3.5.2 .

7.3.4.2 Winterraps: Hydrauliköle versus konventionelle Hydrauliköle

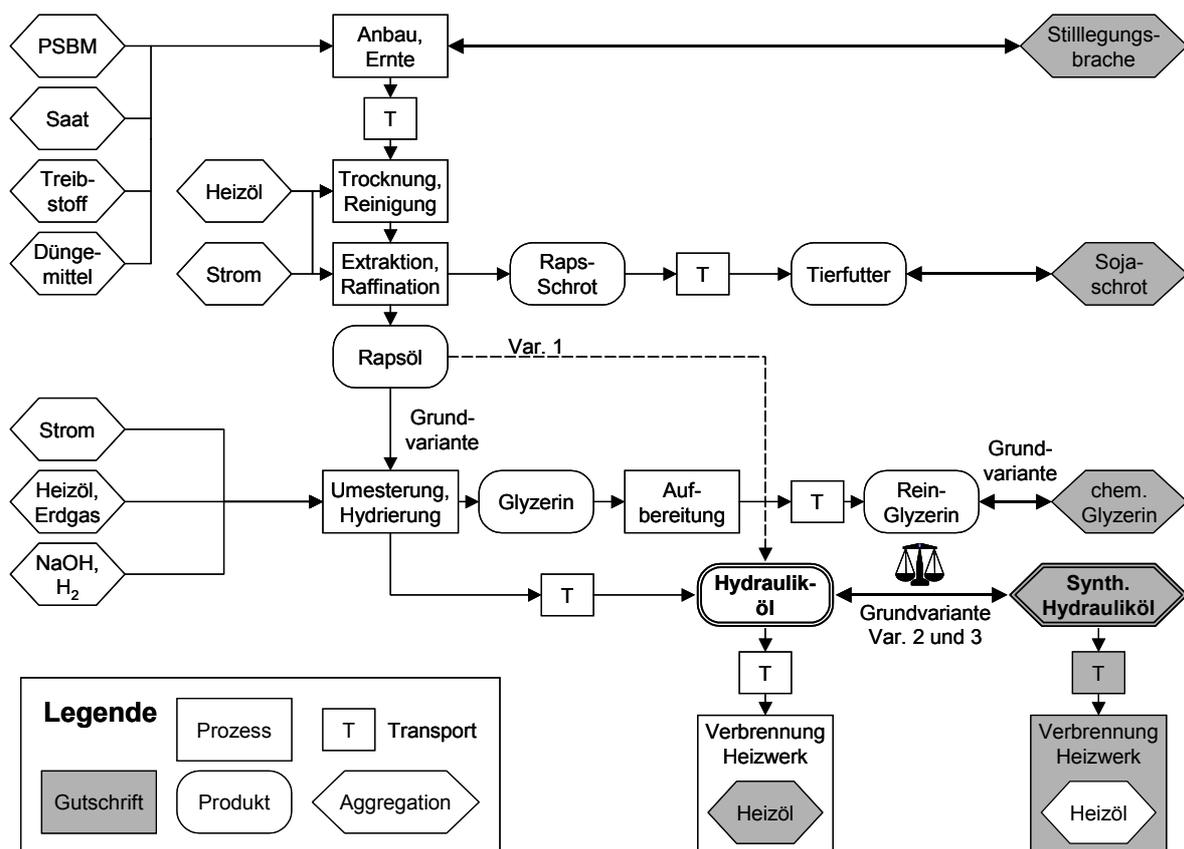


Abbildung 7-13: Lebensweg von Hydraulikflüssigkeiten aus Rapsöl im Vergleich zu herkömmlichen Hydraulikölen (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Die geerntete Rapssaat wird zum Hof transportiert, gereinigt und getrocknet und anschließend gekühlt gelagert. Die Ölgewinnung erfolgt zentral in einer Ölmühle durch eine Pressung mit Extraktion und anschließender Raffinierung zu Hydrauliköl. Das bei der Extraktion anfallende Kuppelprodukt Rapschrot wird als Tierfutter genutzt und ersetzt Sojaschrot. In der Grundvariante wird Rapsöl durch Umesterung und Hydrierung für höhere Anforderungen modifiziert. Dabei wird Glycerin als Kuppelprodukt gebildet, das petrochemisch produziertes Glycerin ersetzt. Eine Variante nutzt das Rapsöl direkt als Hydraulikflüssigkeit.

Nutzung: Die Hydrauliköle werden in Anwendungen des Niedertemperaturbereichs eingesetzt, wo ihre biologische Abbaubarkeit (z.B. bei Leckagen etc.) von Bedeutung ist, etwa in der Forstwirtschaft. Die Varianten 2 und 3 gehen von einer verringerten Lebensdauer des Rapsöls gegenüber Mineralöl aus.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Hydrauliköle gesammelt und in Industrie-Heizwerken zur Gewinnung von Heizenergie verbrannt. Dabei wird leichtes Heizöl ersetzt.

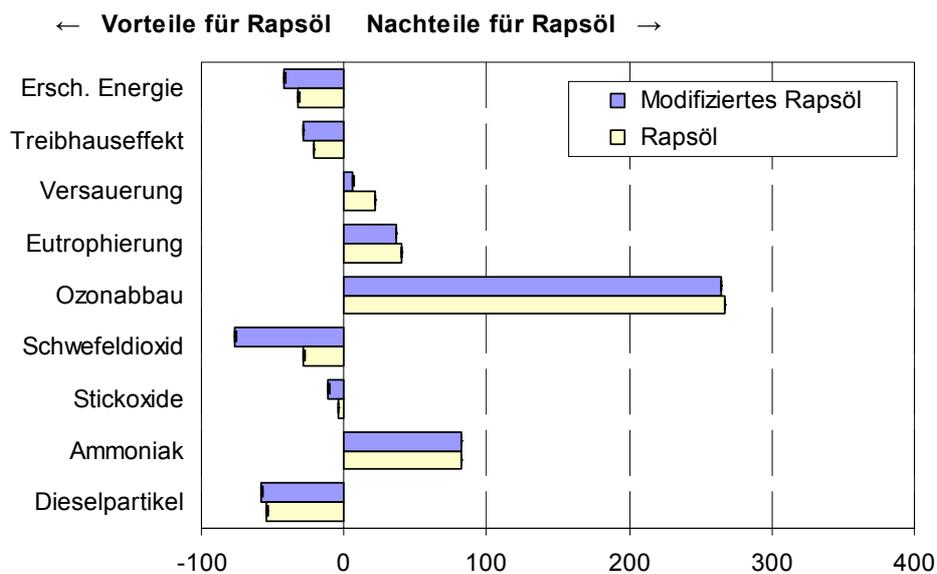


Abbildung 7-14: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Hydrauliköle aus Winterraps versus konventionelle Hydrauliköle“ in Einwohnerwerten pro 100ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abbildung siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Rapsöl anstelle von fossilen Ölen als Hydraulikflüssigkeiten werden pro 100 ha angebautem Raps im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart wie sie von etwa 40 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

- Grundvariante: Nutzung des modifizierten Rapsöls in hydraulischen Systemen
- Variante 1: Nutzung reinen Rapsöls in hydraulischen Systemen
- Variante 2: Grundvariante mit kürzerem Ölwechselintervall (um ein Drittel reduzierte Haltbarkeit) des modifizierten Rapsöls
- Variante 3: Variante 1 mit kürzerem Ölwechselintervall (um ein Drittel reduzierte Haltbarkeit) des Rapsöls

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Die Energie- und Treibhausgasbilanz fallen auf Grund der Gutschrift für synthetisches Glycerin, besonders aber durch die Gutschrift des bei der Entsorgung ersetzten Heizöls deutlich zu Gunsten von Rapsöl aus. Für die Kategorien Eutrophierung, Ozonabbau und Versauerung ergeben sich, bedingt vor allem durch die Emissionen aus der Landwirtschaft, Nachteile für Rapsöl, bei der Versauerung jedoch am wenigsten ausgeprägt. Für die Emissionen von toxischen Luftschadstoffen zeigt sich ein uneinheitliches Bild: Vorteile für den biogenen Schmierstoff ergeben sich bei den Schwefeldioxid- und den Dieselpartikelemissionen, Nachteile bei Ammoniak. Die Schwefeldioxidbilanz wird durch die Gutschrift synthetischen Glycerins dominiert, die von Ammoniak zu über 90 % von der landwirtschaftlichen Produktion (Düngemittelproduktion und Emissionen aus dem Feld). Für Stickoxide resultiert ein leicht vorteilhaftes Ergebnis, das v.a. aus der Sojaschrot-Gutschrift stammt.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse – je nach Wirkung Vor- oder Nachteil für das biogene Hydrauliköl – kann keine wissenschaftlich begründete, „objektive“ Entscheidung für oder gegen Hydraulikflüssigkeiten aus Rapsöl erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden, etwa: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzter saurer Regen“. Wenn z.B. der Minderung des Verbrauchs fossiler Energieressourcen und des anthropogenen Treibhauseffekts eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, dann lässt sich eine Entscheidung für die Hydraulikflüssigkeiten aus Raps ableiten.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

- Die Hydraulikflüssigkeit aus reinem Rapsöl schneidet ungünstiger ab als die aus hydrierten Rapsölestern. Das hängt insbesondere mit der Glyzeringutschrift bei den Rapsölestern zusammen.
- Das oft zitierte Problem des häufigeren Ölwechsels beim Einsatz biogenen Hydrauliköls ist im Hinblick auf die Umweltwirkungen gering. Die Verschlechterungen, die sich in allen Umweltwirkungen zeigen, betragen bei den Umweltwirkungen mit eindeutigen Ergebnissen weniger als 5 % vom Saldo bei einer Verkürzung der Ölwechselintervalle um ein Drittel.
- Einige der für die modifizierten Raps-Hydraulikflüssigkeiten ungünstigen Ergebnisse wie Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau und Ammoniakemissionen werden stark von der landwirtschaftlichen Produktion – und dort durch den Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel – bestimmt. Hier ließen sich bessere Ergebnisse erzielen, wenn durch Optimierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft der Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel deutlich reduziert werden könnte. Eine detaillierte Analyse dazu findet sich in Abschnitt 7.3.5.3 .

7.3.4.3 Winterweizen: PLA-Verpackungen versus PE/PP-Produkte

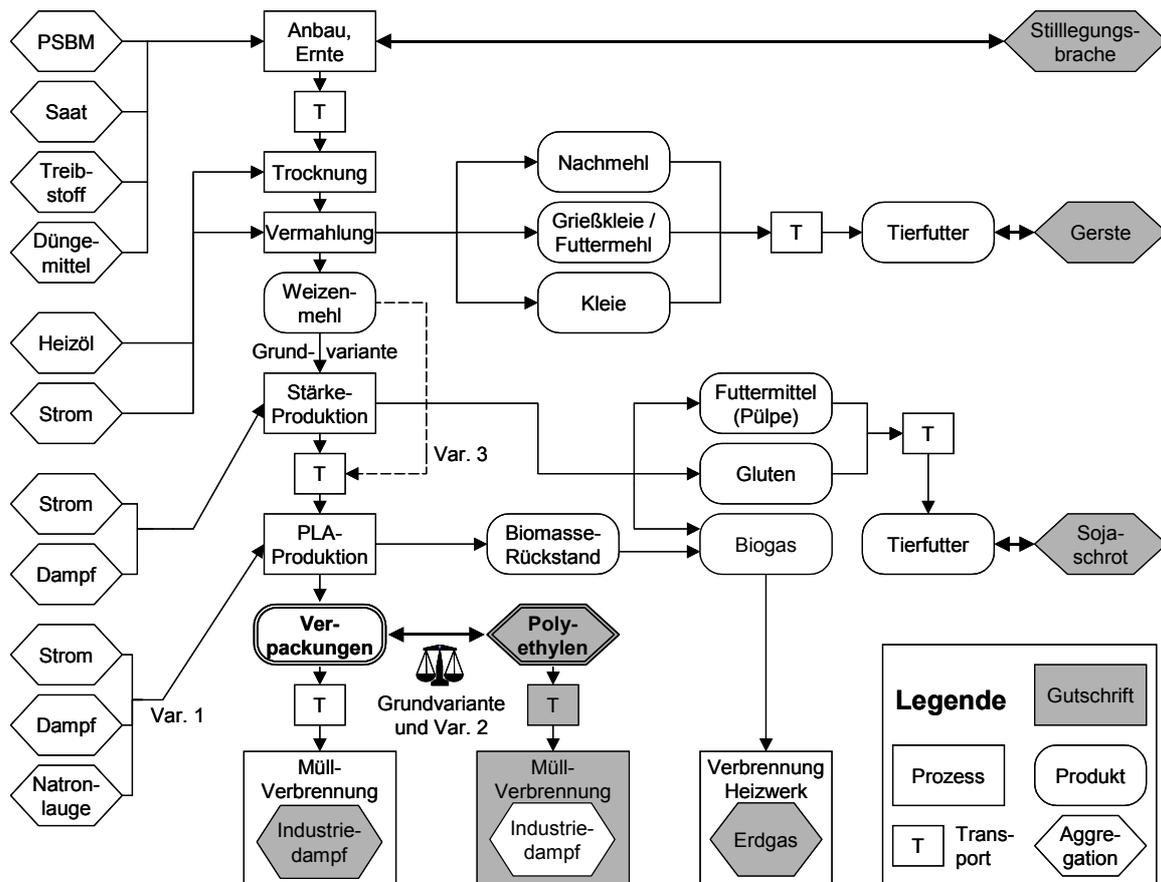


Abbildung 7-15: Lebensweg von Kunststoffen aus Weizen versus Polyethylen (PE) bzw. Polypropylen (PP; bez Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Der geerntete Weizen wird nach Trocknung und Lagerung zentral in der Stärkefabrik oder Mühle vermahlen. Dabei fallen verschiedene Nebenprodukte wie Kleie an, welche als Tierfutter genutzt werden und Gerste in Energieäquivalenz ersetzen. In der Grundvariante wird das Weizenmehl im Nassverfahren zu Stärke umgewandelt. Dabei entstehen Gluten und Pülpe, welche als Futtermittel genutzt werden und Sojaschrot in Proteinäquivalenz ersetzen. Die Stärke wird zu Polylactid-(PLA-) Kunststoff fermentiert. Variante 1 analysiert dies für unterschiedlich hohe Energiebedarfe. Ferner fallen Rückstände an, aus denen Biogas gebildet wird, das Erdgas in Heizwerken ersetzt.

Nutzung: Die Weizen-Kunststoffe werden als Verpackungsmaterialien (Lebensmittelschalen und Müllsäcke) an Stelle derselben Produkte aus Polyethylen bzw. Polypropylen eingesetzt. In Variante 2 werden unterschiedliche Gewichte der beiden Verpackungen betrachtet.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Verpackungen in Müllverbrennungsanlagen unter Heizenergiegewinnung verbrannt. Dabei wird Industriedampf ersetzt.

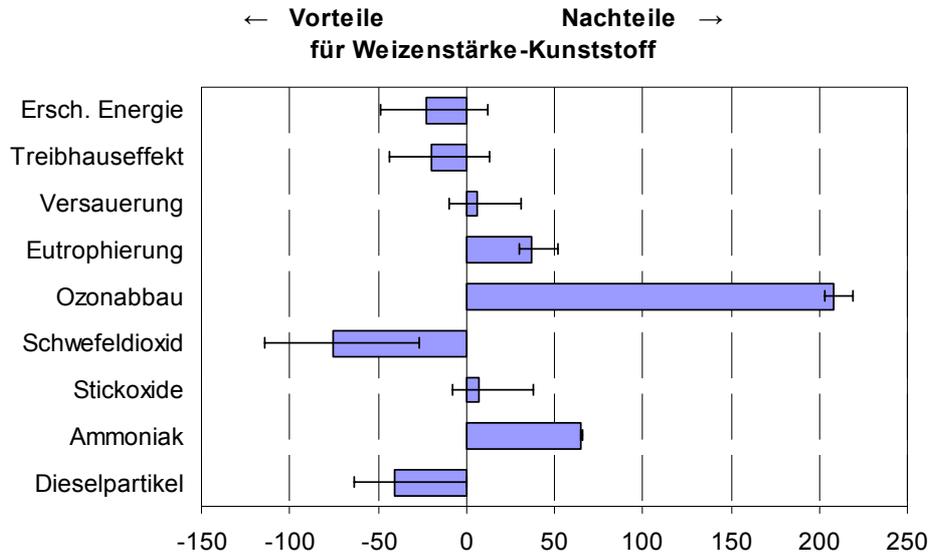


Abbildung 7-16: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Kunststoffe aus Weizen versus Polyethylen“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abbildung und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Verpackungen aus Weizen-Polylactid anstelle von Polyethylen-Verpackungen werden pro 100 ha angebauten Weizens im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von etwa 25 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

Grundvariante: Produktion von Polylactid aus Weizenstärke

Variante 1: Doppelter bzw. halber Energiebedarf bei der Biokunststoff-Produktion

Variante 2: Um ein Viertel verringertes bzw. um ein Drittel erhöhtes Gewicht des Vergleichsprodukts

Variante 3: Direkte Verarbeitung des gemahlten Weizens in der Biokunststoff-Produktion

Variante 4: Konventionelle Verpackung aus Polypropylen anstelle von Polyethylen

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Für die Energie- und die Treibhausgasbilanz resultieren Vorteile für den Biokunststoff. In den Kategorien Eutrophierung und Ozonabbau ergeben sich deutliche Nachteile für den nachwachsenden Rohstoff, während die Versauerung nahezu unverändert ist. Die Salden der Energie- und Treibhausgasbilanz werden dadurch bestimmt, dass die Produktion des ersetzten Produkts Polyethylen große Aufwendungen erfordert und die Entsorgung des Biokunststoffs eine hohe Gutschrift verursacht. Für Eutrophierung und Ozonabbau spielt besonders die Landwirtschaft eine nachteilige Rolle für den Biokunststoff. Die Emissionen von Schwefeldioxid und Dieselpartikel werden durch die Produktion des Polyethylen, die von Ammoniak durch die Landwirtschaft bestimmt. Die Stickoxidemissionen zeigen kein eindeutiges Ergebnis.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse – je nach Wirkung Vor- oder Nachteil für Biokunststoff – kann keine wissenschaftlich begründete, „objektive“ Entscheidung für oder gegen Biokunststoff erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden, etwa: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzter saurer Regen“. Wenn z.B. der Minderung des Verbrauchs fossiler Energieressourcen und des anthropogenen Treibhauseffekts eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, lässt sich eine Entscheidung für den Biokunststoff ableiten.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

Da die Biokunststoffproduktion noch eine sehr junge Technologie ist und die Inputdaten mit entsprechenden Unsicherheiten verbunden sind, wurden einige Varianten untersucht: Höherer bzw. niedrigerer Energieeinsatz bei der Produktion des Biokunststoffs; unterschiedlich hoher Materialbedarf beim Einsatz in der Nutzung; Produktion des Biokunststoffs direkt aus Weizenmehl statt aus Weizenstärke. Die Ergebnisse sind als Bandbreite ins Diagramm eingetragen.

- Wenn die Herstellung des Biokunststoffs mehr Energie erfordert als in der Grundvariante, fallen nahezu durchgängig alle Ergebnisse ungünstiger aus, bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen ergeben sich dabei im Einzelfall sogar Nachteile des Biokunststoffs gegenüber den konventionellen Produkten. Bei niedrigerem Energieeinsatz hingegen ergeben sich deutlich günstigere Ergebnisse. Das zeigt zum einen, dass den Stärkeaufbereitungsverfahren in Zukunft größte Aufmerksamkeit im Sinne einer Minimierung des Energieverbrauchs entgegengebracht werden muss, sowie zum anderen, dass für das jeweils eingesetzte Verarbeitungsverfahren eine Detailbilanz erstellt werden muss.

7 Methoden und Ergebnisse

- Qualitativ zeigt sich das gleiche Bild, wenn der Biokunststoff gegenüber Polyethylen bei gleichem Verwendungszweck ein deutlich höheres oder niedrigeres Gewicht hat. Auch hier gilt somit, dass verallgemeinernde Aussagen über alle Einsatzmöglichkeiten der Biokunststoffe nicht möglich sind und nur jeweils für den Einzelfall abgeleitet werden können.
- Die Gewinnung des Biokunststoffs direkt aus dem Weizenmehl, die nach dem bilanzierten neuartigen Verfahren möglich ist, ändert kaum etwas an den Bilanzergebnissen, da die Gutschriften durch das Kuppelprodukt Tierfutter den Aufwand der Stärkegewinnung aufwiegen.
- Auch wenn statt Polyethylen Polypropylen als Basis für die konventionellen Produkte ersetzt wird, ändern sich die Ergebnisse nicht wesentlich.
- Einige der für die Biokunststoffe ungünstigen Ergebnisse wie Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau und Ammoniakemissionen werden stark von der landwirtschaftlichen Produktion - und dort durch den Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel - bestimmt. Hier ließen sich bessere Ergebnisse erzielen, wenn durch Optimierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft der Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel deutlich reduziert werden könnte. Eine detaillierte Analyse dazu findet sich in Abschnitt 7.3.5.3 .

7.3.4.4 Körnermais: PLA-Verpackungen versus PE/PP-Produkte

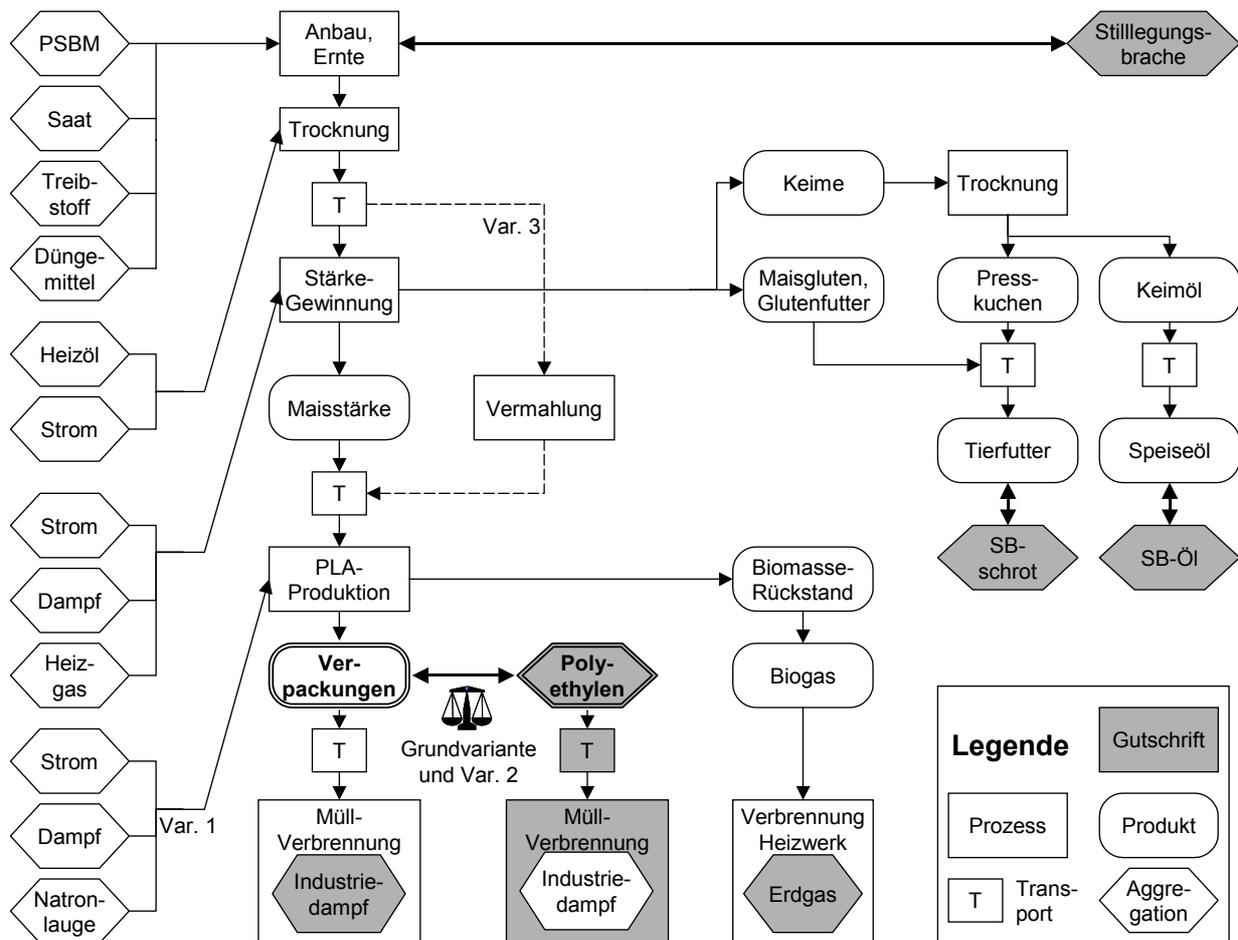


Abbildung 7-17: Lebensweg von Kunststoffen aus Mais versus Polyethylen (PE) bzw. Polypropylen (PP; bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Der geerntete Mais wird zum Hof transportiert, getrocknet und anschließend gelagert. Die Stärkegewinnung erfolgt zentral in der Stärkefabrik im Nassverfahren. Dabei fallen Keime und Glutenfutter als Nebenprodukte an. Die Keime werden nach einer Trocknung zu Speiseöl verarbeitet, welches Sonnenblumenöl ersetzt. Der entstandene Presskuchen wird – wie auch das Glutenfutter – als Tierfutter benutzt und ersetzt Sonnenblumenschrot. Maisstärke bzw. Mehl werden nun zu Polylactid-(PLA-) Kunststoffen verarbeitet. Das anfallende Biogas ersetzt Erdgas in Heizwerken.

Nutzung: Die Mais-Kunststoffe werden als Verpackungsmaterialien (Lebensmittel-Schalen und Müllsäcke) an Stelle derselben Produkte aus Polyethylen und Polypropylen eingesetzt. Variante 2 geht von unterschiedlichen Gewichten der PLA- bzw. PE-Verpackungen aus.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Biokunststoffe in Müllverbrennungsanlagen unter Dampfgewinnung verbrannt. Dabei wird Industriedampf ersetzt.

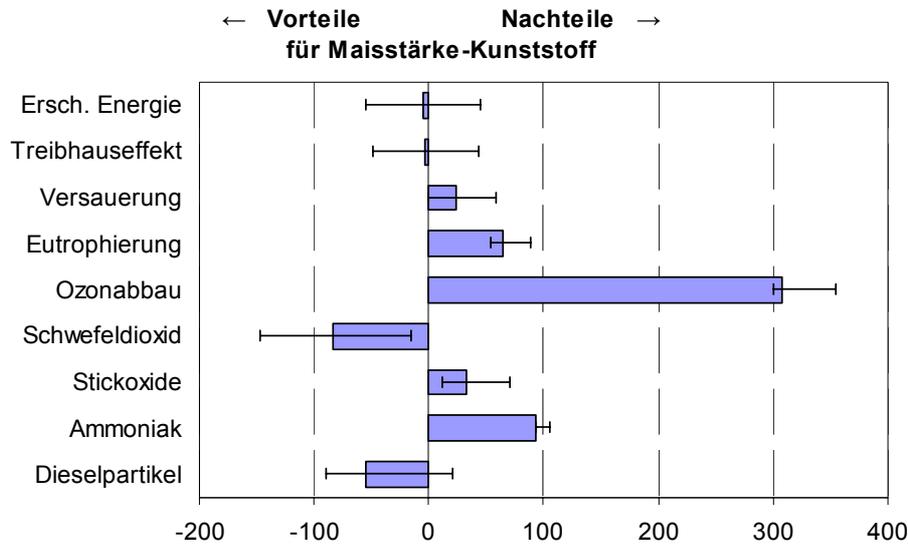


Abbildung 7-18: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Kunststoffe aus Mais versus Polyethylen“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den *fünften* Balken: Durch die Nutzung von Verpackungen aus Maisstärke-Polylactid anstelle von Polyethylen-Verpackungen werden pro 100 ha angebauten Mais im Saldo so viele Schwefeldioxidemissionen eingespart, wie sie von etwa 80 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verursacht werden.

Varianten

- Grundvariante: Produktion von Polylactid aus Maisstärke
- Variante 1: Doppelter bzw. halber Energiebedarf bei der Biokunststoff-Produktion
- Variante 2: Um ein Viertel verringertes bzw. um ein Drittel erhöhtes Gewicht des Vergleichsprodukts
- Variante 3: Vermahlung des Mais statt Stärkegewinnung
- Variante 4: Konventionelle Verpackung aus Polypropylen anstelle von Polyethylen

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

In der Grundvariante zeigen die Energie- und die Treibhausgasbilanz keine signifikanten Vor- oder Nachteile für das eine oder andere Material. Die anderen Umweltwirkungen sind deutlich nachteilig für den nachwachsenden Rohstoff. Dies liegt zum einen an den hohen Aufwendungen für die Stärkegewinnung und Kunststoffherstellung, die sich besonders in einem hohen Ressourcenverbrauch und hohen Treibhausgasemissionen niederschlagen. Zum anderen spielt auch die Landwirtschaft eine die Bilanz belastende Rolle, und zwar bei der Versauerung, der Eutrophierung und dem Ozonabbau. Bei den toxischen Emissionen hat der Biokunststoff aus Mais Vorteile beim Schwefeldioxid und den Dieselpartikeln, während Stickoxid- und Ammoniakemissionen, verursacht durch die Landwirtschaft, nachteilig für das Mais-Produkt sind.

Aus diesen Ergebnissen heraus kann wie bei den vorherigen Produktlinien keine objektive, wissenschaftlich begründbare Entscheidung für oder gegen Verpackungen aus Mais-Kunststoff erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden, etwa: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzter saurer Regen“. Wenn z.B. der Minderung der karzinogenen Dieselpartikel eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, lässt sich eine Entscheidung für den Biokunststoff ableiten. In diesem Fall ist es aber auch offensichtlich, dass bei anderen Werthaltungen durchaus aber gegen den Biokunststoff entschieden werden kann.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

Da der Herstellungsprozess des Stärke-Kunststoffs, auf dem diese Analyse beruht, wie beim Winterweizen noch nicht industriell ausgereift ist, ist zu untersuchen, inwiefern ein veränderter Energieeinsatz bei der Produktion, ein unterschiedlich hoher Materialbedarf beim Einsatz in der Nutzung oder die direkte Nutzung von Maismehl zur Biokunststoffherstellung die Ergebnisse beeinflussen.

- Wenn die Herstellung des Biokunststoffs mehr Energie erfordert als in der Grundvariante, dann fallen nahezu durchgängig alle Ergebnisse ungünstiger aus, bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen ergeben sich dann eindeutige Nachteile des Biokunststoffs gegenüber den konventionellen Produkten. Bei niedrigerem Energieeinsatz hingegen ergeben sich deutlich günstigere Ergebnisse. Das zeigt zum einen, dass den Verfahren der Biokunststoffproduktion in Zukunft größte Aufmerksamkeit im Sinne einer Minimierung des Energieverbrauchs entgegengebracht werden muss und zum anderen, dass für das jeweils eingesetzte Verarbeitungsverfahren eine Detailbilanz erstellt werden muss. Dementsprechend ist in Zukunft sicherzustellen, dass höchstens

der hier zugrundegelegte Energieverbrauch auftritt und davon ausgehend, große Anstrengung unternommen werden, um diesen zu reduzieren. Dann erst kann sich bei entsprechender Werthaltung der Biokunststoff ökologisch behaupten.

- Qualitativ zeigt sich das gleiche Bild, wenn der Biokunststoff gegenüber Polyethylen bei gleichem Verwendungszweck ein deutlich höheres oder niedrigeres Gewicht hat. Auch hier gilt somit, dass verallgemeinernde Aussagen über alle Einsatzmöglichkeiten der Biokunststoffe nicht möglich sind und nur jeweils für den Einzelfall abgeleitet werden können.
- Die Gewinnung des Biokunststoffs direkt aus vermahlenem Mais, die nach dem bilanzierten neuartigen Verfahren potenziell möglich ist, hebt die Vorteile des Biokunststoffs bei den Dieselpartikeln weitgehend auf, hat aber in den anderen Umweltwirkungen keine signifikanten Konsequenzen, da die Gutschriften durch das Kuppelprodukt Tierfutter den zusätzlichen Aufwand der Stärkegewinnung weitgehend kompensieren können.
- Auch wenn statt Polyethylen Polypropylen als Basis für die konventionellen Produkte ersetzt wird, ändern sich die Ergebnisse nicht wesentlich.
- Einige der für die Biokunststoffe ungünstigen Ergebnisse wie Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau und Ammoniakemissionen werden stark von der landwirtschaftlichen Produktion - und dort durch den Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel - bestimmt. Hier ließen sich bessere Ergebnisse erzielen, wenn durch Optimierungsmaßnahmen in der Landwirtschaft der Einsatz stickstoffhaltiger Mineraldüngemittel deutlich reduziert werden könnte. Eine detaillierte Analyse dazu findet sich in Abschnitt 7.3.5.3 .

7.3.4.5 Faserhanf: Autotür-Innenverkleidungen aus Verbundstoff versus ABS

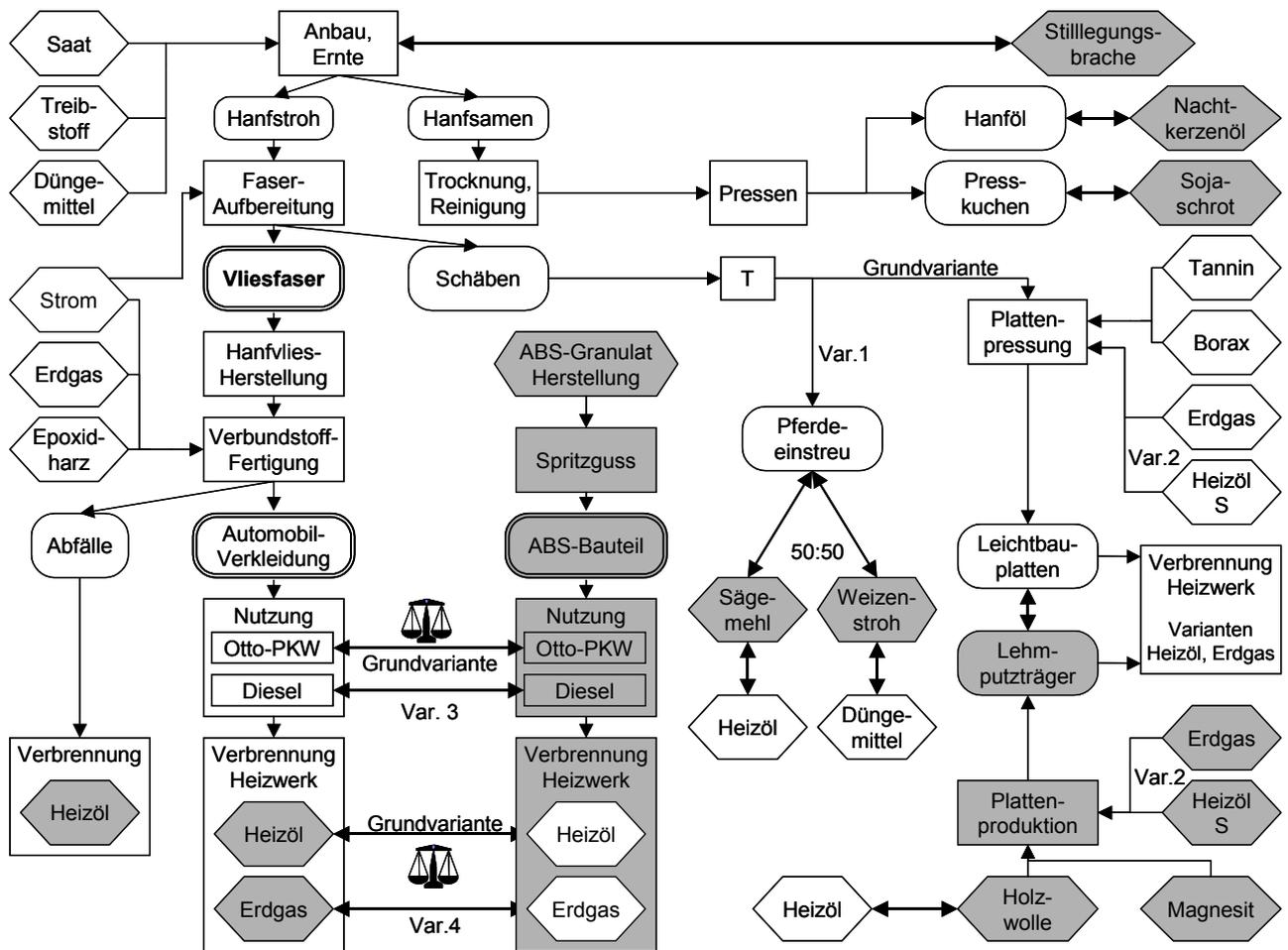


Abbildung 7-19: Lebensweg von Auto-Innenverkleidungen aus Hanffaser-Verbundstoff versus ABS (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Das Kuppelprodukt Hanfsamen wird zu Hanföl verarbeitet, welches Nachtkerzenöl ersetzt. Der hierbei anfallende Presskuchen ersetzt Sojaschrot. Das Hanfstroh wird in der zentralen Faseraufbereitung in Fasern und Schäben getrennt. Die Fasern werden vervliest und mit Epoxidharz zu Automobil-Innenverkleidungen verarbeitet. Die bei der Fertigung entstehenden Abfälle werden zur Energiegewinnung unter Ersetzung von Heizöl verbrannt. Die Schäben des Hanfstrohs werden in der Grundvariante zu Leichtbauplatten verarbeitet, die konventionelle Lehmputzträgerplatten ersetzen.

Nutzung: Die Verbundstoffe werden als Automobil-Innenverkleidungen genutzt, in der Grundvariante in einem Ottomotor-PKW, in Variante 3 in einem Diesel-Fahrzeug.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Verbundstoffe unter Gewinnung von Energie in Heizwerken verbrannt. Hierdurch wird Heizöl oder Erdgas ersetzt.

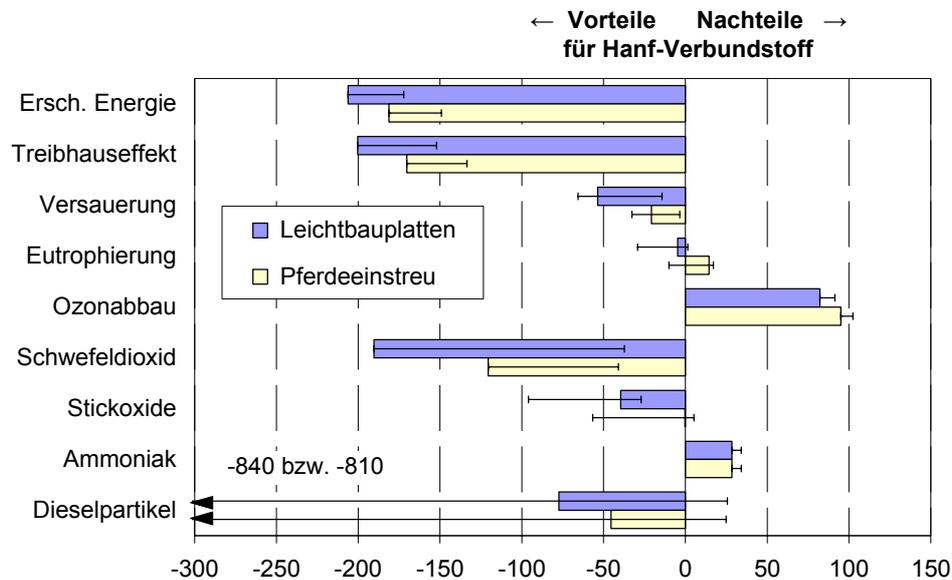


Abbildung 7-20: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Hanffaserverbundstoffe für Auto-Innenverkleidungen versus ABS“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Hanf-Verbundstoffen anstelle von ABS-Kunststoff als Auto-Innenverkleidung werden pro 100 ha angebaute Hanf im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von gut 200 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

Grundvariante: Nutzung von Auto-Innenverkleidungen aus Hanf-Verbundstoffen in Otto-motor-PKWs mit Nutzung der Hanfschäben zur Leichtbauplatten-Herstellung, Trocknung von diesen unter Einsatz von schwerem Heizöl und Entsorgung des Verbundstoffs und der Platten unter Substitution von Heizöl.

Variante 1: Nutzung der Hanfschäben als Pferdeeinstreu

Variante 2: Energiebereitstellung zur Trocknung der Leichtbauplatten durch Erdgas

Variante 3: Grundvariante und Variante 1 mit Nutzung des Produkts in Diesel-PKWs

Variante 4: Grundvariante und Variante 1 mit Entsorgung des Produkts unter Ersetzung von Erdgas

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Die Hanffaser-Verbundstoffe zeigen Vorteile gegenüber ABS-Kunststoff in nahezu allen Wirkungskategorien. Den größten Anteil an diesen Vorteilen hat die Nutzungsphase im PKW. Da eine Verkleidung aus dem Hanffaser-Verbundmaterial leichter ist als eine ähnlich haltbare aus ABS, ergibt sich ein Gewichtsersparnis, die zu einem etwas verminderten Kraftstoffverbrauch führt. Auf die Lebenszeit des Fahrzeugs gerechnet wird dies – außer bei Lachgas und Ammoniak – zum stärksten Faktor in der Bilanz. Bei den Schadstoffen zeigt sich beim Einsatz von Hanf statt ABS eine Verringerung von Schwefeldioxid (hauptsächlich getragen von der Produktion des ABS), während die Ammoniakemissionen ansteigen, verursacht fast ausschließlich durch landwirtschaftliche Emissionen. Stickoxide und Dieselpartikel zeigen kaum Abweichungen.

Aus diesen Ergebnissen heraus kann keine objektive, wissenschaftlich begründbare Entscheidung für oder gegen Autoverkleidungen aus Hanffaser-Verbundstoff erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden, etwa: „Das Weltklima ist wichtiger als regional begrenzte Auswirkungen durch den Luftschadstoff Ammoniak“. Entscheidet man sich aber z.B. auf Grund seiner Werthaltung dafür, Ozonabbau und Ammoniakemissionen nicht die höchste Priorität einzuräumen, dann folgt mit genau dieser Werthaltung, dass die Nutzung von Verkleidungen aus Hanf der von solchen aus ABS aus ökologischen Gründen eindeutig vorzuziehen ist.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

- Die heute gleichrangig zur Diskussion stehenden Varianten „Schäben zu Tierstreu“ und „Schäben zu Leichtbauplatten“ zeigen deutliche Unterschiede. In allen untersuchten Umweltwirkungen hat es Vorteile, die Schäben zu Leichtbauplatten zu verarbeiten und damit herkömmliche magnesitgebundene Holzwolle-Leichtbauplatten zu ersetzen. Lediglich bei den Ammoniakemissionen gibt es minimale Abweichungen.
- Da die Herstellung der Leichtbauplatten aus Hanfschäben noch eine relativ junge Technologie ist, stellt sich die Frage, inwieweit sich eine andere Technologie auf das Ergebnis auswirkt. Die Trocknung der Platten und ihres Ersatzproduktes kann durch mit schwerem Heizöl gefeuerte Brenner erfolgen oder mit moderneren Gasbrennern. Hier zeigt sich bei der Nutzung von Gasbrennern ein Rückgang der Vorteile für alle Umweltwirkungen, besonders beim Schwefeldioxid und der Versauerung.
- Bei Nutzung in einem Diesel-PKW statt einem Benziner werden auf Grund der veränderten Emissionen des Fahrzeugs der Ozonabbau und die Ammoniakemissionen nachteiliger, während sich die Stickoxid- und Dieselpartikelemissionen in den Bereich

der Vorteile für das Hanfmaterial verschieben. Je nach Werthaltung kann die Entscheidung somit für die eine oder andere Option ausfallen

- Bei der energetischen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen treten oft signifikante Änderungen in den Ergebnissen je nach ersetzttem Brennstoff auf. Wird bei der Entsorgung der Innenverkleidungen wie auch der Leichtbauplatten durch die energetische Nutzung Erdgas statt Heizöl ersetzt, dann ändert sich die Bilanz in diesem Fall, anders als beispielsweise bei der energetischen Nutzung von Anbaubiomasse - allerdings nur unwesentlich.

7.3.4.6 Faserlein: Dämmstoffe versus Steinwolle

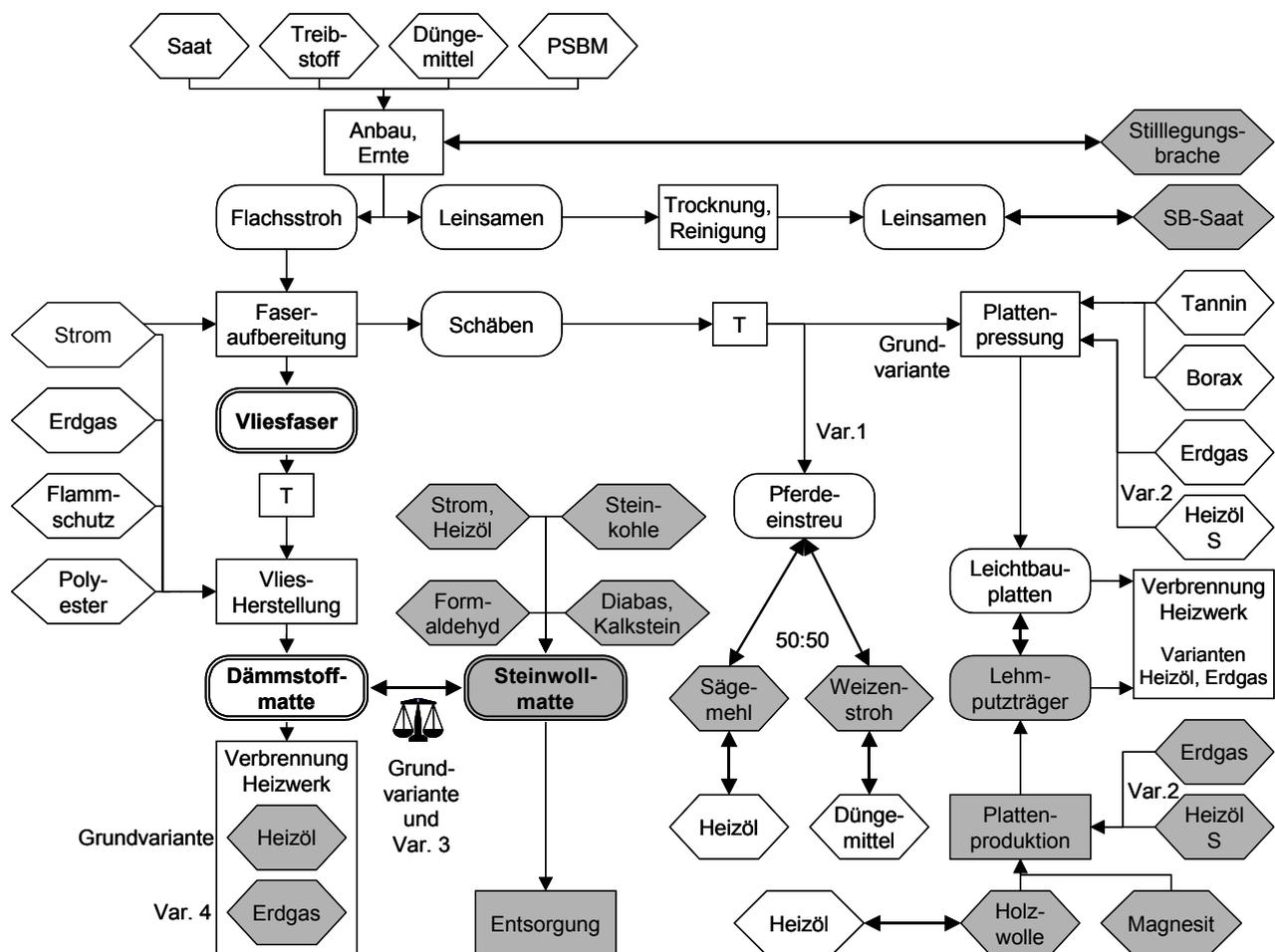


Abbildung 7-21: Lebensweg von Dämmstoffen aus Flachsfasern versus Steinwolle (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Nach der Ernte wird das

Flachsstroh in der zentralen Faseraufbereitung in Fasern und Schäben getrennt, während das Kuppelprodukt Leinsamen Sonnenblumensaat als Vogelfutter ersetzt. Die Fasern werden mit Polyesterfasern als Stützfasern vervliest und zu Dämmstoffmatten verarbeitet. Die Schäben des Flachsstrohs werden in der Grundvariante zu Leichtbauplatten verarbeitet, die Lehmputzträger-Platten ersetzen. In Variante 1 werden die Schäben alternativ als Pferde-Einstreu unter Ersetzung von Sägemehl und Weizenstroh genutzt.

Nutzung: Die Flachs-Vliese werden als Dämmstoffmatten im Hausbau an Stelle von Steinwolle bei gleicher Dämmwirkung verwendet. Variante 3 variiert die Gewichte der Vliese.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Dämmmatten in Heizwerken unter Energiegewinnung verbrannt. In der Grundvariante wird hierdurch Heizöl oder Erdgas ersetzt.

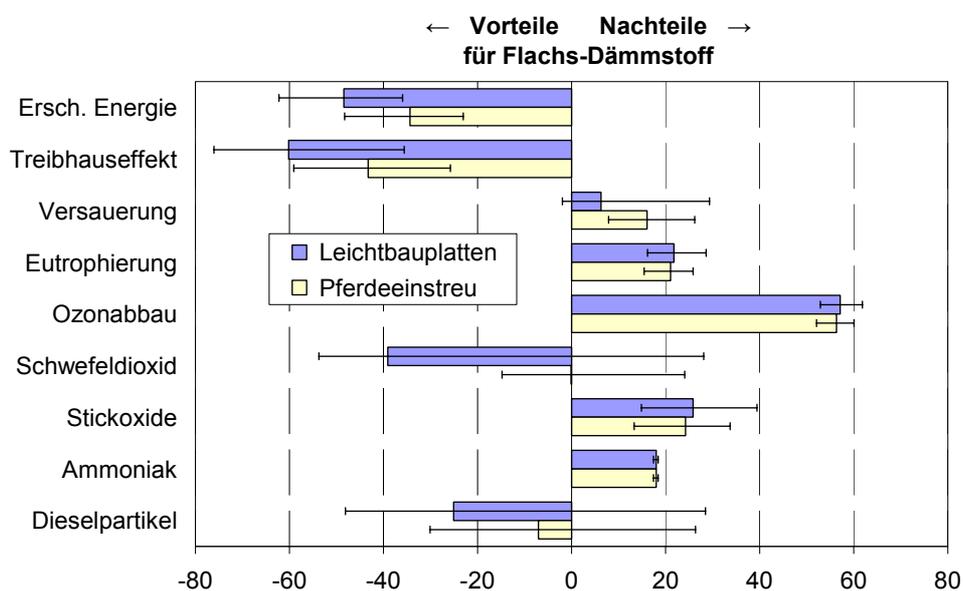


Abbildung 7-22: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Flachs-Dämmstoffe versus Steinwolle“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4.

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Flachs-Dämmstoffen anstelle von Steinwolle im Hausbau bei gleichzeitiger Nutzung der Schäben in Leichtbauplatten werden pro 100 ha angebautem Flachs im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von knapp 50 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

- Grundvariante: Nutzung der Flachsschäben zur Leichtbauplatten-Herstellung, Trocknung von diesen mit Hilfe von schwerem Heizöl und Entsorgung des Dämmstoffs und der Platten unter Ersetzung von Heizöl
- Variante 1: Nutzung der Flachsschäben als Pferdeeinstreu
- Variante 2: Energiebereitstellung zur Trocknung der Leichtbauplatten durch Erdgas
- Variante 3: Grundvariante und Variante 1 mit um ein Drittel erhöhter bzw. um ein Viertel verringertem Gewicht des Produkts
- Variante 4: Grundvariante und Variante 1 mit Entsorgung des Produkts unter Ersetzung von Erdgas

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Der Flachsfaser-Dämmstoff zeigt Vorteile gegenüber Steinwolle beim Energieaufwand und beim Treibhauseffekt, Nachteile bei den Umweltwirkungen Eutrophierung und Ozonabbau. Die Ergebnisse für die Versauerung sind nicht eindeutig. Bei den Emissionen toxischer Luftschadstoffe zeigt sich ebenfalls ein uneinheitliches Bild: Vorteile für Flachs ergeben sich bei den Schwefeldioxid- und Partikelemissionen, Nachteile bei den Stockoxiden und Ammoniak. Praktisch durchgängig zeigt sich, dass beim Ozonabbau und den Ammoniakemissionen die Landwirtschaft und bei allen anderen Größen die Produktion der Flachsmatten den jeweils ergebnisbestimmenden Anteil tragen.

Aus diesen Ergebnissen heraus kann keine objektive, wissenschaftlich begründbare Entscheidung für oder gegen Flachsfaser-Dämmstoff erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Sowohl diese Kriterien wie auch die Gesamtbewertung sind unvermeidlich subjektiv, da keine Wirkzusammenhänge zwischen verschiedenen Wirkungskategorien bestehen und daher Werthaltungen angewendet werden. Wenn z.B. der Minderung des Verbrauchs fossiler Energieressourcen und des anthropogenen Treibhauseffekts eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, dann lässt sich eine Entscheidung für Flachsdämmstoff ableiten.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

- Die heute gleichrangig zur Diskussion stehenden Varianten „Schäben zu Tierstreu“ und „Schäben zu Leichtbauplatten“ zeigen deutliche Unterschiede. In allen untersuchten Umweltwirkungen hat es Vorteile, die Schäben zu Leichtbauplatten zu verarbeiten und damit herkömmliche magnesitgebundene Holzwolle-Leichtbauplatten zu ersetzen. Lediglich bei den Ammoniakemissionen gibt es minimale Abweichungen.
- Da die Herstellung der Leichtbauplatten aus Flachs noch eine relativ junge Technologie ist, stellt sich die Frage, inwieweit sich eine andere Technologie auf das Ergebnis

auswirkt. Die Trocknung der Platten und ihres Ersatzproduktes kann durch mit schwerem Heizöl gefeuerten Brenner erfolgen oder mit moderneren Gasbrennern. Hier zeigt sich bei der Nutzung von Gasbrennern ein Rückgang der Vorteile für alle Umweltwirkungen, insbesondere beim Schwefeldioxid und der Versauerung.

- Bei den hier untersuchten unterschiedlichen Gewichten (Variante 3) ergeben sich die insgesamt größten Bandbreiten. Aufgrund dieser extrem ausgeprägten Abhängigkeit der Ergebnisse von den in der Realität jeweils vorhandenen Dichten und verbauten Stärken der Dämmmaterialien kann eine verallgemeinernde Aussage zur ökologischen Bewertung nicht getroffen werden. Lediglich mit Hilfe von Detailbilanzen kann für den Einzelfall, also für einzelne Dämmmaterialien bzw. deren Nutzungsanwendungen, eine abschließende Bewertung abgeleitet werden.
- Wenn die Energiegewinnung bei der Entsorgung des Flachsdämmstoffs, der Leichtbauplatten und der nicht als Tierstreu genutzten Sägespäne Heizöl anstelle Erdgas ersetzt, dann fällt die Bilanz insgesamt schlechter aus, ohne jedoch das Ergebnis qualitativ zu beeinflussen.

7.3.4.7 Miscanthus: Faserverbundstoff versus Holzfaserverbundstoff

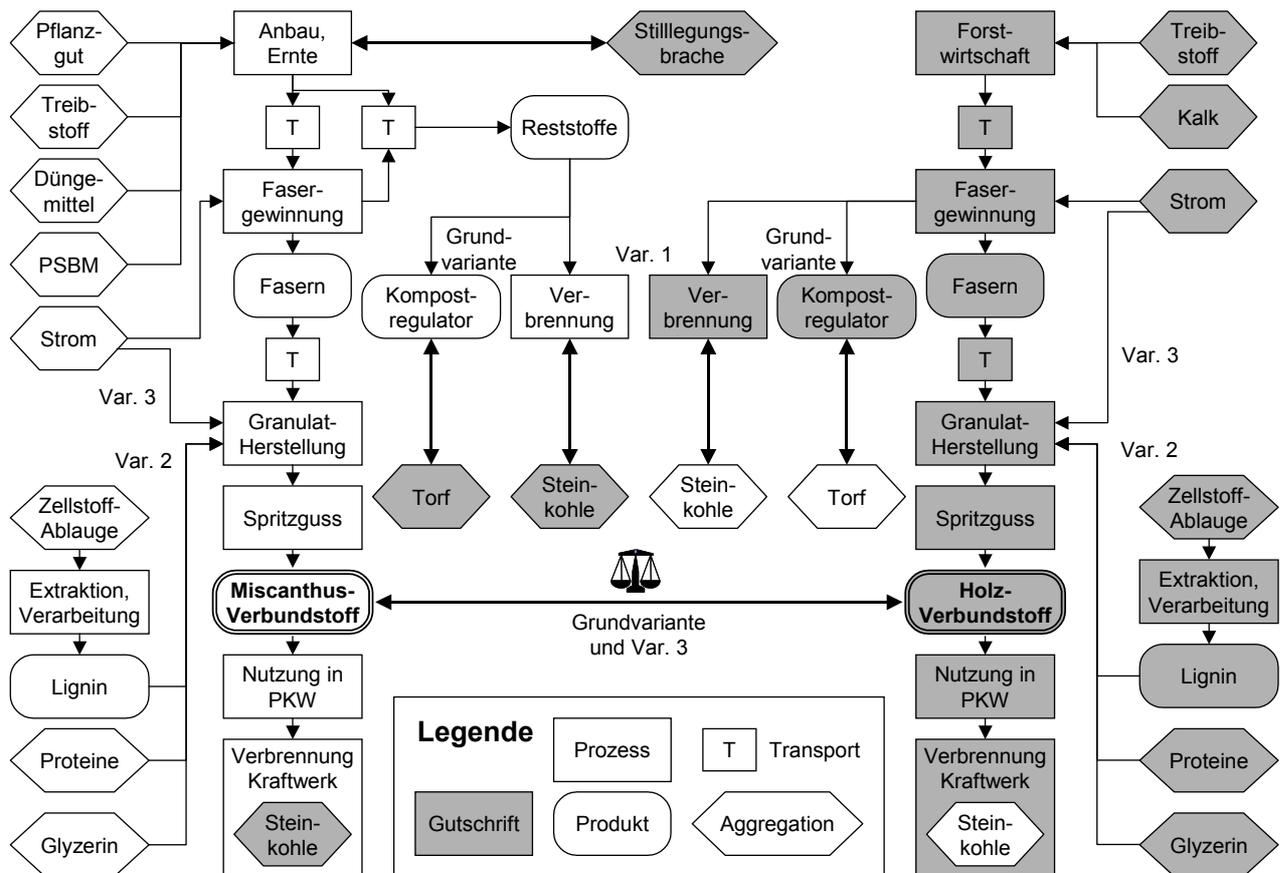


Abbildung 7-23: Lebensweg von Verbundstoffen im Automobil aus Miscanthus versus Holzfaserverbundstoffe (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Nach der Ernte werden die Fasern aus dem Stroh gewonnen. Hierbei anfallende Reststäube dienen in der Grundvariante als Kompostregulatoren und ersetzen Torf, in Variante 1 werden sie zur Stromgewinnung unter Ersetzung von Steinkohle verbrannt. Unter Verwendung von Lignin als Reststoff aus der Zellstoffproduktion wird ein rein biogenes Verbundmaterial in Granulatform hergestellt (Variante 2 variiert die Anteile zwischen Faser- und Matrixmaterial), aus dem der Miscanthus-Verbundstoff spritzgegossen wird. Dieser ersetzt das gleiche Verbundmaterial mit Holzfasern als Armierung.

Nutzung: Die Verbundstoffe werden im Automobil (Ottomotor-PKW und Diesel) verwendet.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Verbundstoffe in Kraftwerken zur Stromproduktion verbrannt. Dabei wird Steinkohle ersetzt.

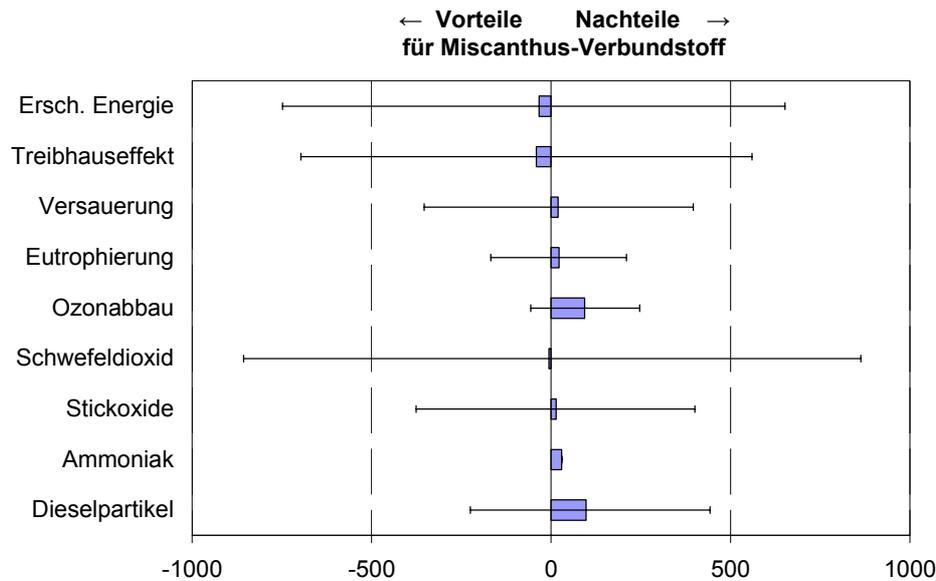


Abbildung 7-24: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Faserverbundstoffe im Automobil aus Miscanthus versus Holzfaserverbundstoffe“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den fünften Balken (Ozonabbau): Durch die Nutzung von Miscanthus-Verbundstoffen anstelle von Holz-Verbundstoffen im PKW wird pro 100 ha angebaute Miscanthus im Saldo so viel Lachgas zusätzlich freigesetzt, wie etwa 100 Bundesbürger jährlich im Durchschnitt verursachen.

Varianten

- Grundvariante: Nutzung von Miscanthus-Verbundstoffen in PKW unter Verwendung des Miscanthus- bzw. Holzfaser-Reststaubs als Kompostregulator
- Variante 1: Thermische Nutzung des Miscanthus- bzw. Holzfaser-Reststaubs zur Energiegewinnung
- Variante 2: Variierende Anteile von Matrixmaterial zu Fasern (Grundv: 50:50)
- 2 a: Miscanthus-Verbundstoff (50:50), Holzfaserverbundstoff (30:70)
- 2 b: Miscanthus-Verbundstoff (30:70), Holzfaserverbundstoff (50:50)
- Variante 3: Unterschiedlich hoher Energiebedarf bei der Verbundstoffproduktion:
- 3 a: 25 % bei Miscanthus geringer und bei Holz höher
- 3 b: 25 % bei Miscanthus höher und bei Holz geringer

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

In der Grundvariante zeigen die Ergebnisse ein ähnliches Verhalten wie viele nachwachsende Rohstoffe: Vorteile bei der Schonung fossiler Energien und beim Treibhauseffekt und Nachteile bei den anderen Umweltgrößen. Die eingezeichneten Unsicherheitsbalken in Abb. 7-24 machen jedoch deutlich, dass hier eine klare Positionierung für oder gegen einen der beiden betrachteten Verbundstoffe nicht einmal für eine einzige Umweltkategorie möglich ist. Zu groß ist die Bandbreite möglicher Variationen, aber auch der Unsicherheiten bei einigen Basisdaten – insbesondere beim Energiebedarf für die Verbundstoffproduktion (s. unten).

Insofern kann in diesem Fall zusammengefasst werden, dass lediglich Detailbilanzen für einen bestimmten Einzelfall zu solideren Ergebnissen führen könnten.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

Die Frage nach dem Einfluss von veränderten Szenarien ist in diesem Fall besonders interessant; gibt es Optionen, die Miscanthus in diesem Vergleich günstiger abschneiden lassen? Denkbar sind zunächst unterschiedliche Zusammensetzungen der Produkte.

- Unterschiedlich hohe Anteile des organischen Lignin-Matrixmaterials, die je nach Festigkeitsanforderungen und Faserart nötig sind, werden durch eine Minimum-Maximum-Analyse berücksichtigt. Die sich ergebenden Abweichungen sind gering und noch am ehesten beim Schwefeldioxid und damit auch bei der Versauerung zu beobachten. Damit ist es in jedem Fall vorteilhaft für die Umwelt, den Faseranteil so hoch wie möglich werden zu lassen.
- Unterschiedliche Verwendung der Reststäube, die bei der Fasergewinnung anfallen, nämlich als Kompostregulator im Gartenbau oder als Energieträger in Kraftwerken verändern die Ergebnisse praktisch nicht.
- Eine veränderte Nutzungsphase, z.B. in einem Diesel-PKW statt in einem Wagen mit Ottomotor, wirkt sich nicht wesentlich auf die Bilanz aus, da die Gewichte der beiden Verbundstoffe in etwa dieselben sind. Würden sich allerdings durch technologische Fortentwicklung deutliche Gewichtsunterschiede ergeben, so würde dies zu signifikanten Änderungen in den Ergebnissen führen.

- Den mit Abstand größten Anteil an den dargestellten Bandbreiten besitzt Variante 3: Da der Herstellungsprozess der Verbundstoffe, auf dem diese Analyse beruht, noch nicht industriell ausgereift ist, ist zu untersuchen, inwiefern ein veränderter Energieeinsatz bei der Produktion die Ergebnisse beeinflussen. Wenn die Herstellung des Bioverbundstoffs aus Miscanthus mehr Energie erfordert als in der Grundvariante, dann fallen die Ergebnisse durchgängig deutlich ungünstiger aus. Bei niedrigerem Energieeinsatz hingegen ergeben sich deutlich günstigere Ergebnisse. Das zeigt zum einen, dass den Verfahren der Verbundstoffproduktion in Zukunft größte Aufmerksamkeit im Sinne einer Minimierung des Energieverbrauchs entgegengebracht werden muss und zum anderen, dass für das jeweils eingesetzte Verarbeitungsverfahren eine Einzelbilanz erstellt werden muss. Auf dieser Basis lässt sich dann eine ökologische Bewertung durchführen.

7.3.4.8 Fasernessel: Textilien versus Baumwolltextilien

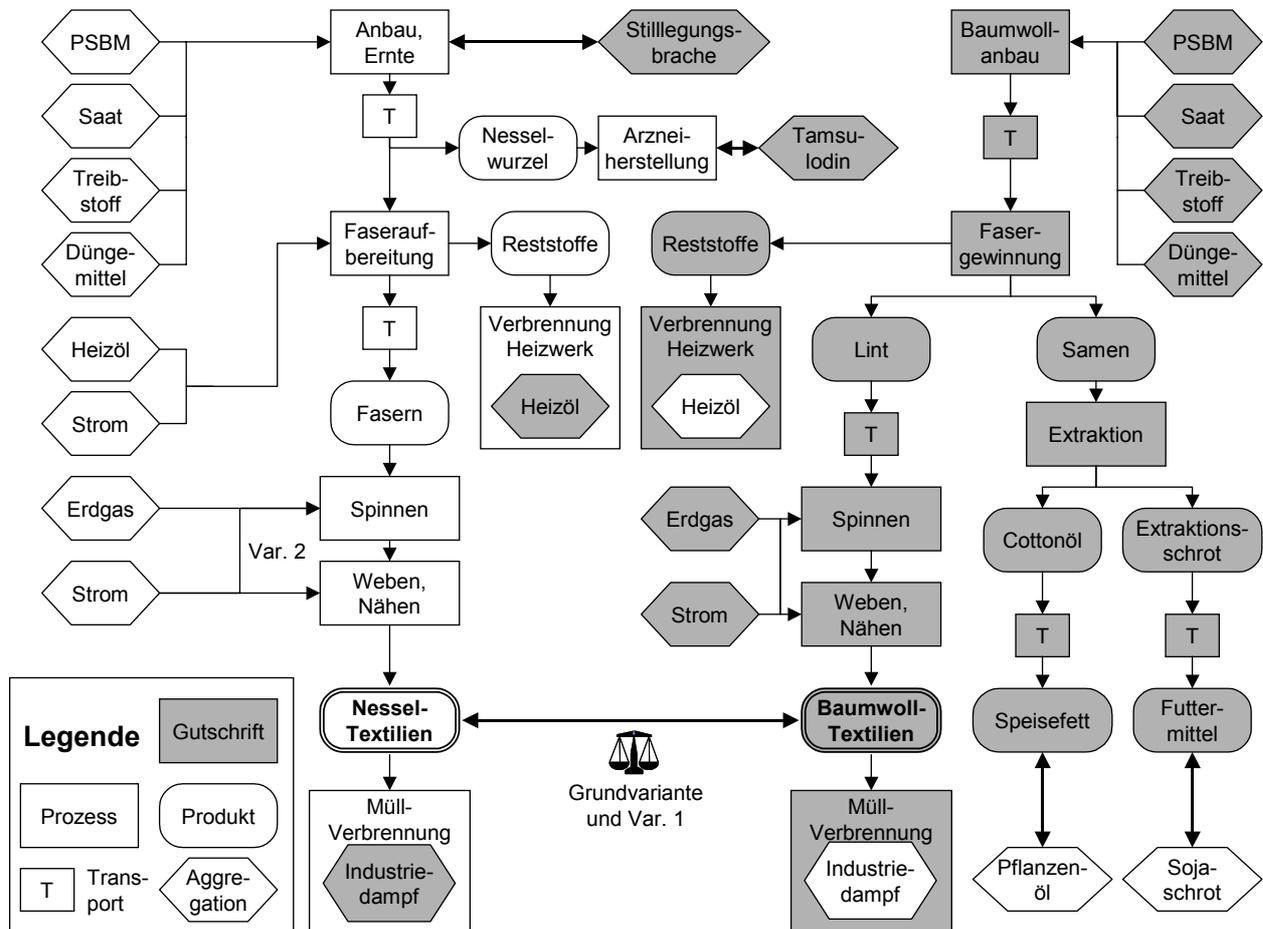


Abbildung 7-25: Lebensweg von Textilien aus Nesselfasern im Vergleich zu Baumwolltextilien (bez. Hinweise und Erklärungen zu Abb. und Text siehe Abschnitt 7.3.4).

Produktion und Verarbeitung: Der Anbau wird für in Baden-Württemberg typische, durchschnittliche Verhältnisse bei guter fachlicher Praxis bilanziert. Nach der Ernte erfolgt zentral die Fasergewinnung. Die am Ende der Anbauperiode geernteten Wurzeln dienen nach Extraktion als Arzneimittel (Alpha-Blocker) und ersetzen Tamsulodin, ein Prostata-Mittel. Bei der Fasergewinnung anfallende Reststoffe werden unter Ersetzung von Heizöl in Heizwerken zur Energiegewinnung verbrannt. Die Fasern werden gesponnen und zu Textilien verarbeitet.

Nutzung: Die Nesseltextilien werden an Stelle von Baumwolltextilien als Bekleidung – mit unterschiedlichen Haltbarkeiten (Var. 1) – eingesetzt.

Entsorgung: Nach der Nutzungsphase werden die Textilien zur Energiegewinnung thermisch genutzt und ersetzen Industriedampf.

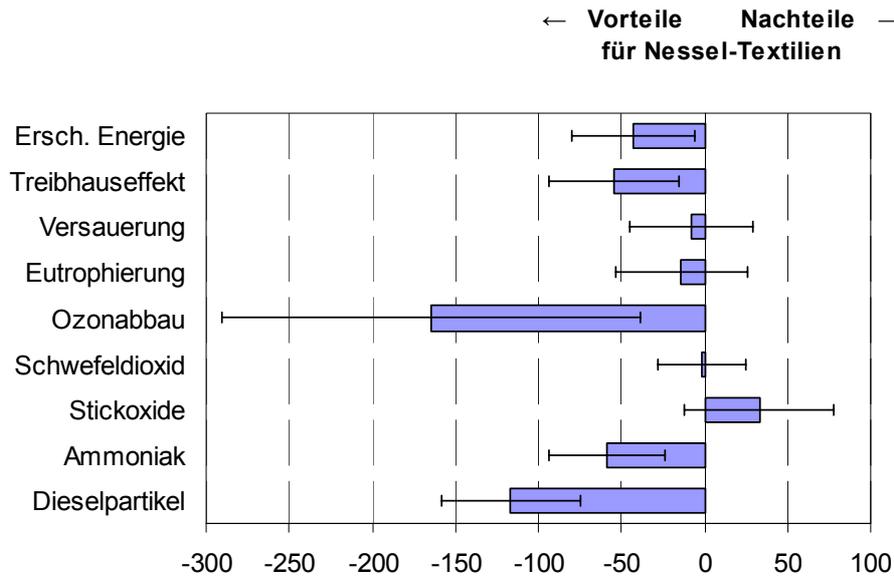


Abbildung 7-26: Umweltwirkungen für die Produktlinie „Textilien aus Nessel Fasern versus Baumwolltextilien“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche (bez. Hinweise und Erklärungen zur Abb. siehe Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Nessel-Textilien anstelle von Baumwolltextilien werden pro 100 ha angebaute Nessel im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von gut 50 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Varianten

Grundvariante: Gleicher Aufwand bei Faseraufbereitung und gleiche Haltbarkeit von Nessel- und Baumwoll-Textilien

Variante 1: Veränderte Haltbarkeit der Nessel-Textilien gegenüber Baumwolle

1a: 25 % geringere Haltbarkeit von Nessel-Textilien

1b: 25 % höhere Haltbarkeit von Nessel-Textilien

Variante 2: Unterschiedlich hoher Energiebedarf bei der Nessel-Textilproduktion:

2a: 25 % geringerer Energiebedarf für die Produktion von Nessel-Textilien

2b: 25 % höherer Energiebedarf für die Produktion von Nessel-Textilien

Ergebnisse: Lebenswegvergleich

Die Nessel-Textilien zeigen Vorteile gegenüber Baumwolle in fast allen Umweltwirkungen. Dass die ansonsten oft für den nachwachsenden Rohstoff negativ ausfallenden Umweltwirkungen wie Versauerung, Ammoniakemission oder Ozonabbau in diesem Fall positiv für die Nessel ausfallen, hängt mit den im Verhältnis deutlich höheren Aufwendungen in der Landwirtschaft bei der Baumwolle zusammen. Der Nachteil bei den Stickoxiden begründet sich aus den Emissionen, die bei der energetischen Nutzung der Reststoffe, die bei der Nesselerarbeitung entstehen, freigesetzt werden – sofern sie in heutigen Standard-Industrieheizwerken als Brennstoff genutzt werden.

Damit kann festgehalten werden, dass Textilien aus Nessel unter dem hier zugrundegelegten Lebenswegvergleich aus ökologischer Sicht dann eindeutig günstiger abschneiden als Baumwolltextilien, wenn sichergestellt werden kann, dass die anfallenden Reststoffe als Bioenergieträger in Anlagen genutzt werden, bei denen die Stickoxidemissionen gegenüber den heutigen Grenzwerten deutlich reduziert werden. Wenn dies nicht sichergestellt werden kann, lässt sich keine objektive, wissenschaftlich begründbare Entscheidung für oder gegen Nessel-Textilien treffen. Gerade in der Nutzung der Reststoffe liegt somit die Möglichkeit, die vorhandenen ökologischen Potenziale der Fasernessel auszuschöpfen.

Ergebnisse: Varianten und Optimierungen

- Der mit Abstand größte Einfluss auf das Ergebnis bildet die Nutzung der Reststoffe bei der Faserbereitstellung sowohl bei der Nessel als auch bei der Baumwolle d.h., unterschiedliche Nutzungen der Reststoffe können das Ergebnis signifikant verändern. Aus diesem Grunde ist es zwingend notwendig für andere Nutzungen der Reststoffe entsprechende Bilanzen aufzustellen.
- Unterschiedliche Lebensdauern der Nessel- bzw. Baumwolltextilien beeinflussen ebenfalls das Ergebnis (s. Bandbreiten in der Abbildung): bei höherer Haltbarkeit der Nesseltextilien stellt sich das Ergebnis noch vorteilhafter für die Nessel dar, während es im umgekehrten Fall zu einer Verminderung der Vorteile kommt. Das zeigt zum einen, dass der Optimierung der Haltbarkeit in Zukunft große Aufmerksamkeit entgegengebracht werden muss bzw. zum anderen, dass solche Einsatzzwecke für die Textilien definiert werden können, bei denen die Vorzüglichkeit der Nesseltextilien garantiert ist.
- Da der Herstellungsprozess von Textilien auf Baumwolle optimiert und die Verarbeitung von Nesselfasern noch nicht ausgereift ist, ist zu untersuchen, inwiefern ein veränderter Energieeinsatz bei der Produktion die Ergebnisse beeinflusst. Wenn die Herstellung des Nessel-Textils mehr Energie erfordert als in der Grundvariante, dann fallen die Ergebnisse durchgängig ungünstiger aus. Bei niedrigerem Energieeinsatz hin-

gegen ergeben sich deutlich günstigere Ergebnisse. Dementsprechend sollte in Zukunft der Optimierung des Energieaufwands bei der Nesselverarbeitung eine hohe Aufmerksamkeit entgegengebracht werden.

7.3.5 Schwachstellenanalysen

In diesem Abschnitt werden an Hand der Ergebnisse des vorigen Abschnitts die speziellen Charakteristika der landwirtschaftlichen Produktion diskutiert und Optimierungsvorschläge abgeleitet.

7.3.5.1 Bandbreite der Lachgas- und Ammoniakemissionen

Auf Grund des Einsatzes von stickstoffhaltigen Düngemitteln kommt es durch mikrobiologische Aktivität zur Freisetzung von Lachgas und Ammoniak. Die Mengen, die dabei an die Atmosphäre abgegeben werden, schwanken in Abhängigkeit der verwendeten Düngemittel, Boden- und Witterungsverhältnisse. Nach IPCC (1995) werden pro kg Düngemittel-Stickstoff durchschnittlich 12,5 g Lachgas-Stickstoff frei. Aus ECETOC (1994) lassen sich durchschnittlich 40 g Ammoniak, die pro kg Düngemittel-Stickstoff freigesetzt werden, ableiten. Diese Werte sind Grundlage der Ergebnisdiskussionen in Abschnitt 7.3.4. Im Folgenden werden Minimum-Maximum-Abschätzungen durchgeführt, die am Beispiel eines für den nachwachsenden Rohstoff besonders günstigen und eines besonders ungünstigen Falles dieser Größen aufzeigen, in welchem Bereich die Schwankungsbreite liegt. Für die Lachgasemissionen wird auf Basis von IPCC (1995) eine Bandbreite von 0 bis 22,5 g Lachgas-Stickstoff pro kg Düngemittel-Stickstoff berechnet. Die Ammoniakemissionen werden an Hand von ECETOC (1994) zwischen den Extremwerten von 5 bis 100 g pro kg Düngemittel-Stickstoff untersucht. Im Folgenden wird exemplarisch für Raps-Hydrauliköle und Hanffaser-Verbundstoffe aufgezeigt, in welcher Bandbreite sich diese beiden Emissionen und die davon beeinflussten Umweltwirkungen bewegen.

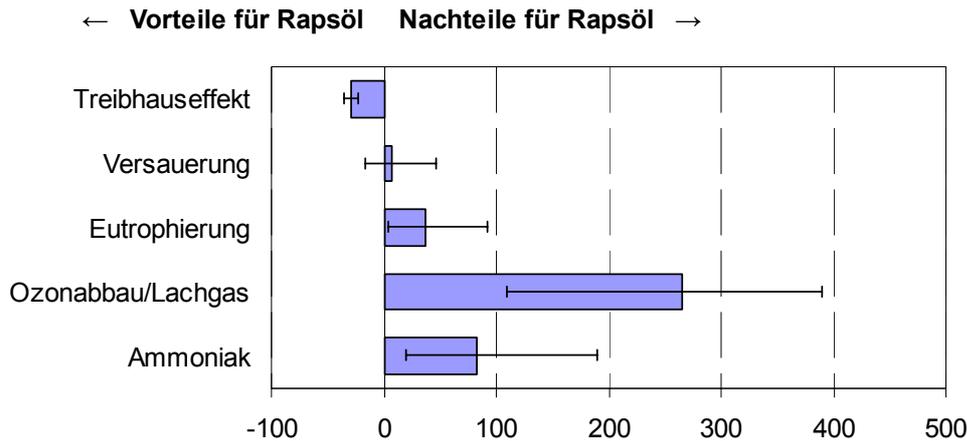


Abbildung 7-27: Bandbreite der Lachgas- und Ammoniakemissionen beim Lebensweg von Raps-Hydraulikölen in Einwohnerwerten pro 100 ha (Hinweise und Erklärungen siehe unter 7.3.4).

Abbildung 7-27 zeigt für die Produktlinie der Hydrauliköle aus Rapsöl die beiden Emissions-Bandbreiten in der Grundvariante sowie deren Auswirkungen auf Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung. Im günstigsten Fall gehen die Mehremissionen gegenüber dem fossilen Hydrauliköl um die Hälfte bis drei Viertel zurück, ohne allerdings ihren nachteiligen Charakter für den Raps einzubüßen, im ungünstigsten Fall steigen sie deutlich. Davon beeinflusst werden besonders stark die Versauerung, für die im günstigsten Fall das Rapsöl Vorteile gegenüber fossilen Hydraulikölen bekommt, und die Eutrophierung, deren Saldo im günstigsten Fall kein eindeutiges Ergebnis für oder gegen Rapsöl bringt.

In Abbildung 7-28 werden die Schwankungsbreiten von Lachgas und Ammoniak in der Grundvariante der Hanf-Verbundstoffe bei Verwendung im Automobilbereich gezeigt. Hier werden im Fall der jeweils geringsten Feldemissionen die Werte für Lachgas und Ammoniak vorteilhaft für die Hanf-Verbundstoffe. Im Fall der höchsten Feldemissionen wird die Lachgasfreisetzung deutlich zum Nachteil für die Hanf-Verbundstoffe, während es bei maximalen Ammoniakemissionen zu keiner qualitativen Änderung kommt und auch die übrigen Umweltwirkungen nur quantitativ beeinflusst werden. Die scheinbar große Bandbreite bei den Lachgas- und Ammoniakemissionen begründen sich darin, dass die Emissionen des Ottomotors in der Nutzungsphase stark zu Buche schlagen und eine Gutschrift für die leichteren Hanf-Bauteile bewirken. Tatsächlich ist die Bandbreite bei den Lachgasemissionen (etwa ± 90 Einwohnerwerte) für den Hanf-Verbundstoff kleiner als für das Rapsöl (etwa ± 140 Einwohnerwerte), für das mehr Stickstoff-Düngemittel pro Anbaufläche eingesetzt werden.

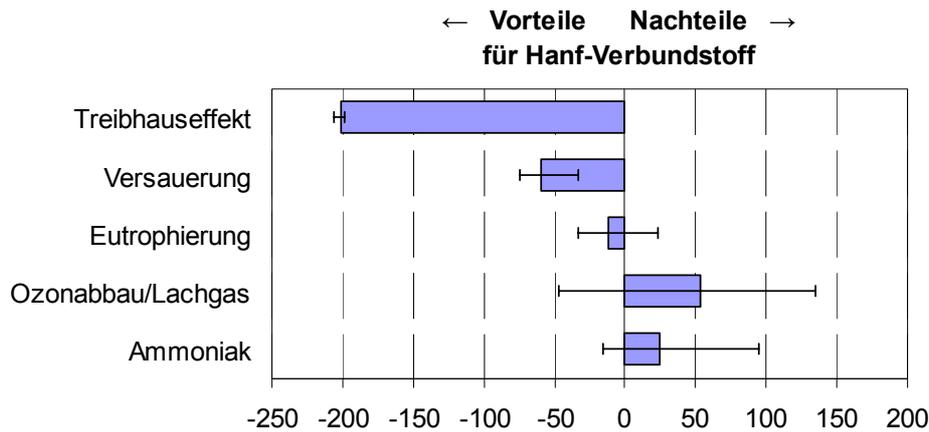


Abbildung 7-28: Bandbreite der Lachgas- und Ammoniakemissionen beim Lebensweg von Hanf-Verbundstoffen in Einwohnerwerten pro 100 ha (Hinweise und Erklärungen siehe unter 7.3.4.).

Damit lässt sich festhalten, dass sich die Ergebnisse bei unterschiedlichen Lachgas- bzw. Ammoniakemissionen an sich deutlich verändern können. Andererseits wurden für die hier dargestellte Minimum-Maximum-Analyse Werte eingesetzt, die zwar möglicherweise im Einzelfall auftreten, nicht aber als häufige niedrige oder hohe Werte gelten. Bei einer kleineren Bandbreite typischer Emissionswerte ergeben sich zum Teil deutlich geringere Ergebnisschwankungen ohne Vorzeichenwechsel.

Zusammengefasst: Die in dieser Studie dargestellten Ergebnisse können trotz einer gewissen Unsicherheit bei den durchschnittlichen Emissionen von Lachgas und Ammoniak durchaus als vorzeichenstabil angesehen werden. Unter bestimmten Rahmenbedingungen, wie der Verwendung nur eines einzigen Düngemittels anstelle des durchschnittlichen Düngemittel-Mixes, besonderen klimatischen Verhältnissen etc., können sich die Bilanzergebnisse deutlich, zum Teil bis hin zum Vorzeichenwechsel verändern, was in Einzelfallbetrachtungen analysiert werden müsste. Hiermit lassen sich gegebenenfalls dann auch landwirtschaftliche Optimierungsmöglichkeiten und –strategien ableiten.

7.3.5.2 Ökolandbau am Beispiel der HO-Sonnenblume

An den Ergebnissen in Abschnitt 7.3.4. lässt sich erkennen, dass für gewisse Produktlinien die Landwirtschaft einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat, insbesondere hinsichtlich der Lachgas- und Ammoniakemissionen sowie der Versauerung und Eutrophierung. Welchen Einfluss hat nun eine Umstellung der landwirtschaftlichen Produktion auf die Bilanzergebnisse? Eine mögliche Veränderung ist der Anbau nach ökologischen Richtlinien, ein Ansatz, der hier am Beispiel der HO-Sonnenblume vorgestellt und analysiert wird.

Lebenswegabschnitte

Landwirtschaft: Der landwirtschaftliche Anbau der HO-Sonnenblumen findet nach EU-Richtlinien statt. Der Stickstoffentzug, der in der Fruchtfolge nicht durch Gründüngung ausgeglichen wird, wird durch Zufuhr von Rizinusschrot kompensiert, welches aus Indien importiert wird. Bei dessen Produktion wird zusätzlich Rizinusöl hergestellt, das fossiles Schmieröl ersetzt.

Verarbeitung und Nutzung: Der übrige Lebensweg ist identisch mit dem im konventionellen Anbau analysierten. Als Art der Schmierung wird hier die optimale Variante „Verlustschmierung“ gewählt.

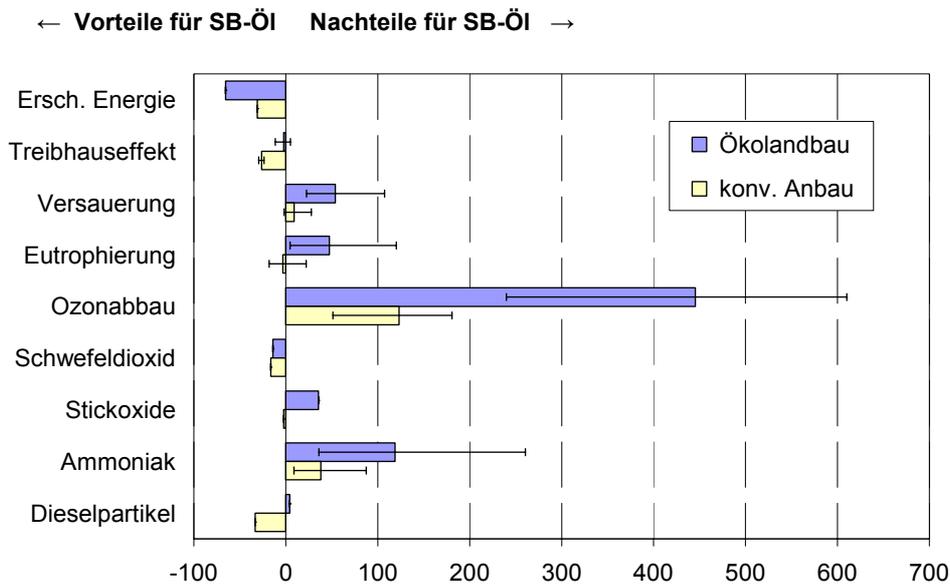


Abbildung 7-29: Umweltwirkungen für die Produktlinien „Sonnenblumen-Schmierstoffe aus Ökolandbau“ bzw. „aus konventionellem Anbau“ in Einwohnerwerten pro 100 ha Ökolandbaufläche für die Nutzung in Verlustschmierung (bez. Hinweise und Erklärungen siehe Text u. Abschnitt 7.3.4).

Lesebeispiel für den ersten Balken: Durch die Nutzung von Sonnenblumenöl aus ökologischem Anbau anstelle von fossilen Ölen als Schmiermittel mit Verlustschmierung werden pro 100 ha angebaute Sonnenblumen im Saldo so viele nicht erneuerbare Energieressourcen eingespart, wie sie von knapp 70 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden, während die gleiche Menge Sonnenblumenöl aus konventionellem Anbau so viele nicht erneuerbare Energieressourcen einspart, wie sie von etwa 30 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.

Ergebnisse

Außer für den Verbrauch fossiler Energieträger fallen alle Ergebnisse der hier bilanzierten ökologischen Parameter zu Gunsten des konventionell produzierten Sonnenblumenöls aus. Das hängt damit zusammen, dass bei dem in dieser Arbeit zugrundegelegten Rahmenbedingungen des ökologischen Landbaus im viehlosen Marktfruchttrieb erhebliche Mengen an Rizinusschrot als Stickstoffdüngemittel gegeben werden. Weiteren Arbeiten muss es vorbehalten bleiben, nach anderen Düngestrategien zu suchen, die im Sinne einer Optimierung des ökologischen Landbaus zu günstigeren Ergebnissen führen.

Die in 7-29 angegebenen Bandbreitenindikatoren zeigen die Ergebnisse einer Maximum-Minimum-Abschätzung der Lachgas- und Ammoniakemissionen, wie sie im Abschnitt 7.3.5.1 berechnet wurde. Es wird hier deutlich, dass auch bei minimalen Emissionen aus dem Feld die Umweltwirkungen kaum an die Ergebnisse für den konventionellen Anbau heranreichen.

Damit ergibt sich für einen Vergleich „Sonnenblumen-Schmierstoffe: Ökolandbau versus konventioneller Anbau“ zumindest für den viehlos wirtschaftenden Marktfruchtbetrieb das seltene Bild, dass die Energiebilanz und die Treibhausgasbilanz gegenläufig sind. Ferner sprechen bis auf die Energiebilanz alle betrachteten Umweltwirkungen gegen den Ökolandbau. Auf Basis der dargestellten Ergebnisse kann somit keine wissenschaftlich begründete, „objektive“ Entscheidung für oder gegen HO-Sonnenblumenöl aus Ökolandbau statt aus konventionellem Anbau erfolgen. Erst mit zusätzlichen Kriterien ist eine zusammenfassende Gesamtbewertung möglich. Wenn z.B. auf Grund dieser Kriterien der Minderung des Verbrauchs fossiler Energieressourcen eine eindeutig größere ökologische Bedeutung zugemessen wird als den anderen Umweltwirkungen, dann lässt sich daraus eine Entscheidung für das Sonnenblumen-Schmiermittel aus Ökolandbau ableiten.

7.3.5.3 Ökologische Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion

Nachdem zumindest im Fall der HO-Sonnenblume die Ergebnisse des Ökolandbaus kaum eine Optimierung im Sinne größerer Vorteile in möglichst vielen Umweltwirkungen darstellen, stellt sich die Frage, inwieweit eine andere Form der Optimierung in der Landwirtschaft vorgenommen werden kann. Großen Einfluss auf die Energie- und Emissionsbilanz hat innerhalb der Landwirtschaft die Produktion und der Einsatz mineralischen Stickstoffdüngemittels. Eine Möglichkeit, den Einsatz mineralischer Stickstoffdüngemittel zu reduzieren, besteht darin, einen größeren Teil des Nährstoff- (insbesondere Stickstoff-)Entzugs durch Gründüngung mit Hilfe von Zwischenfrüchten auszugleichen.

Durch Änderung bei den Zwischenfrüchten wird teilweise eine Anpassung der Fruchtfolgen (Änderung einiger angebauter übriger Feldfrüchte) nötig, was sich im Saldo allerdings nicht auswirkt, da dies auch dem Vergleichssystem, der Fruchtfolge mit Stilllegungsbrache,

zugrunde liegt. Abbildung 7-30 zeigt die Ergebnisse für drei Kulturen, die einen großen Einfluss der Landwirtschaft auf die Ergebnisse aufweisen. Sie sind dargestellt als Differenz zwischen den Ergebnissen optimierter und nicht optimierter Landwirtschaft.

Die Ergebnisse zeigen sich als nicht unabhängig von den angebauten nachwachsenden Rohstoffen; dabei ist die Höhe der Vorteile proportional zur Menge des eingesparten mineralischen Stickstoffdüngers für alle signifikanten Umweltwirkungen. Die Auffälligkeit bei den Dieselpartikelemissionen ist auf einen erhöhten Bedarf an maschineller Feldarbeit zur Pflege der Zwischenfrüchte zurückzuführen. Dies ist auch der Grund für die verschwindend kleinen Vorteile beim Einsatz erschöpflicher Energie.

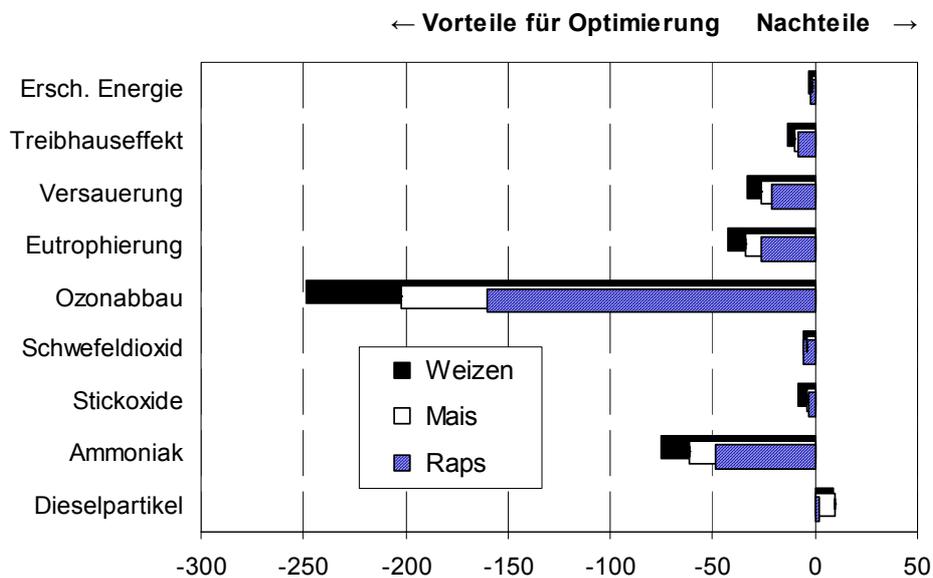


Abbildung 7-30: Veränderungen in den Umweltwirkungen durch Optimierung der Fruchtfolge für die Produktlinien der Kulturen Winterweizen, Körnermais und Winterraps in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche.

Lesebeispiel für den dritten Balken: Durch den Anbau von Weizen, Mais oder Raps in einer optimierten Fruchtfolge werden pro 100 ha Anbaufläche gegenüber einem konventionellen Anbauverfahren im Saldo so viele Versauerungsgase vermieden, wie sie von 25 bis 40 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verursacht werden.

Die Optimierung der Landwirtschaft durch vermehrten Anbau von stickstoffbindenden Zwischenfrüchten lohnt sich also aus ökobilanzieller Sicht bei den betrachteten Umweltwirkungen ohne Einschränkung.

Es bleibt zu betonen, dass diese Form der Optimierung nicht auf den Anbau nachwachsender Rohstoffe beschränkt ist, sondern in jeder Fruchtfolge durchgeführt werden kann. Auf diese

Art lassen sich generell die in vergleichenden Ökobilanzen landwirtschaftlicher Produkte gegenüber fossilen Produkten oft nachteilige Umweltwirkungen Versauerung, Eutrophierung und Ozonabbau mildern oder sogar zu Vorteilen für das biogene Produkt machen.

7.4 Erweiterung der klassischen ökobilanziellen Betrachtung durch Indikatoren zur Qualität der Landnutzung

7.4.1 Problematik und spezifische Aufgabenstellung

Die ökologische Analyse von Produktlinien nachwachsender Rohstoffe erfolgt (wie in Kap. 7.3 beschrieben) nach normierten Vorgaben für Produkt-Ökobilanzen und wurde für die Bewertung der Umweltwirkungen von Produktion, Konsum und Entsorgung („life cycle assessment“) industriell erzeugter Produkte entwickelt. Wird dieses Verfahren für die Beurteilung von Gütern auf fossiler Rohstoffbasis verwendet, dann reichen die betrachteten Wirkungskategorien in der Regel aus, um Vor- und Nachteile alternativer Produktlebenswege zu charakterisieren, denn die industrielle Produktion ist durch Prozesse und Stoffströme gekennzeichnet, bei denen auf kleiner Fläche hohe Stückzahlen produziert werden.

Anders verhält es sich bei Produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe. Für deren Bereitstellung müssen große Landflächen in Anspruch genommen werden, die durch die Kulturen und die zu ihrer Erzeugung angewandten Produktionsverfahren und Fruchtfolgen entscheidend beeinflusst werden. Es versteht sich von selbst, dass in einer solchen Situation eine vernünftige und möglichst umfassende Abschätzung der potenziellen Umweltwirkungen nur dann möglich wird, wenn die klassischen, ökobilanziellen Kategorien durch Parameter/Indikatoren zum Charakter und zur Qualität der Flächenbeanspruchung ergänzt werden (VETTER et al. 2002).

Eine besondere Schwierigkeit ergibt sich bei Beachtung dieser Forderung aus der Tatsache, dass die Parameter einer „erweiterten ökobilanziellen Betrachtung“ im Rahmen des verwendeten ökobilanziellen Bewertungsverfahrens quantifizierbar und reproduzierbar sein müssen. Die Bewertung hat innerhalb der gewählten Systemgrenzen (siehe Kap. 7.3.3.2) auch standortunabhängig zu erfolgen. Daraus ergeben sich zwangsläufig gewisse Einschränkungen, denn absolut quantifizierbare Aussagen, etwa zum Bodenabtrag durch Erosion auf einem Maisfeld,

sind standortunabhängig nicht möglich und erlauben deshalb auch keinen direkten zahlenmäßigen Vergleich mit konventionellen Substituten.

Die Parameter und Indikatoren der „erweiterten ökobilanziellen Betrachtung“ nachwachsender Rohstoffe wollen und können deshalb auch keine Werte zu den Wirkungen an einem individuellen Standort liefern. Sie zielen vielmehr darauf ab, für relative Vergleiche zwischen den Produktionsverfahren oder für Alternativen zur Bereitstellung eines pflanzlich erzeugten Rohstoffs mit unterschiedlichen Kulturen realistische, quantifizierbare Größen zu liefern, die sich aus Modellszenarien für den „Standort Baden-Württemberg“ ableiten lassen. Gegenüber einem nur qualitativen Wert haben die so ausgewiesenen Parameter den Vorteil, dass sie noch mit weiteren Variablen verknüpft werden können, so dass sich aus den Werten des Bodenerosionspotenzials über die Verknüpfung, z.B. mit mittleren Cadmiumgehalten oder Herbizidrückständen, auch der Abtrag von Schwermetallen oder Herbiziden schätzen lässt.

Durch die Ableitung der Parameter aus einem einheitlichen Modellszenario soll erreicht werden, dass die Indikatorwerte auch aufzeigen, ob überhaupt ein signifikantes Gefährdungspotenzial gegeben ist und wie hoch dieses ist - zum Beispiel für die potenzielle Nitratauswaschung.

Schließlich wurde darauf geachtet, dass die so ermittelten Parameter, analog zu den klassischen Größen der Ökobilanz, in den Vergleich der Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe integriert werden können. Durch den Vergleich von Fruchtfolgen kann durch die Indikatoren das mit dem Anbau eines nachwachsenden Rohstoffs gegenüber Stilllegung gegebene Gefährdungspotenzial in quantitativer Form aufgezeigt werden. Aussagen zum Bodenverdichtungspotenzial z.B. werden aus den für die Sachbilanzierung formulierten Produktionsverfahren durch die Verknüpfung mit Maschinengewichten errechnet (siehe Kap. 7.4.3.4). Sie führen zu einem Richtwert, der mit der Erzeugung eines Rohstoffs verbunden ist. In seiner tatsächlichen Größe wird der Wert aber stark vom Standort, der Bereifung und den Einsatzbedingungen bestimmt.

Die Aussagekraft und Vollständigkeit des ökobilanziellen Ansatzes für Produkte auf landwirtschaftlicher Rohstoffbasis lässt sich durch die ergänzenden Information verbessern. Aussagen zu den umweltrelevanten Wirkungskategorien Bodenerosion, Nitratauswaschung, Phosphat- austrag und Bodenverdichtung, wie sie bei den meisten ökologischen Bewertungsverfahren für die Landwirtschaft Berücksichtigung finden, können in den Bilanzierungsansatz aufgenommen werden (ECKERT et al. 1999; GEIER 2000; GIRARDIN 2001; GUJER 2001; STOLZE et al. 2000).

Unabhängig von den gemeinhin als belastend oder umweltfreundlich eingestuften Formen der Betriebsorganisation (konventionell, integriert, biologisch) erlaubt der gewählte Ansatz außerdem eine objektive, ergebnisorientierte Betrachtung der einzelnen Wirkungskategorien. Er kommt damit dem von PRESCHER & BUCHS (2000) und VON ALVENSLEBEN (2000) und anderen geforderten differenzierten und ergebnisorientierten Vorgehen bei der Beurteilung von Umweltwirkungen der Landwirtschaft entgegen, das sich auf Indikatoren zu wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Aspekten stützen sollte.

Durch die differenzierte Betrachtung einzelner Wirkungskategorien können außerdem der Handlungsbedarf und die Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Verfahren hin zu mehr Nachhaltigkeit aufgezeigt werden. Änderungen der Produktionsverfahren können in ihren Wirkungen auf einzelne Umweltwirkungen, wie in der klassischen Ökobilanz, erfasst und dargestellt werden.

Schwieriger als die stofflich-physikalischen Implikationen der Flächennutzung sind im Rahmen einer standortunabhängigen Bewertung biologisch geprägte Naturschutzziele erfassbar und messbar. Hinweise zu diesen Auswirkungen sind aber erwünscht, da sie neben den Ertragsleistungen als Umweltleistungen der Landwirtschaft zunehmend von der Gesellschaft eingefordert werden (MÜHLE et al. 2000; FRIEBEN 2000).

Ein erheblicher Mangel an gesicherten Kenntnissen der Zusammenhänge zwischen der Landnutzung und den biotischen Faktoren einerseits (WERNER & PLACHTER 2000) und die Betrachtung der Problematik auf Schlagebene (einzelnes Feld) erschweren hier ein methodisches Vorgehen. Wie in Kapitel 7.4.4 beschrieben, lassen sich jedoch auch solche Kategorien in begrenztem Umfang über eine qualitative Bewertung anhand von Boniturwerten in einem ökobilanziellen Ansatz mitführen. Die Aussagen zu den in dieser Studie betrachteten Wirkungen der nachwachsende Rohstoff-Kulturen auf das Landschaftsbild, die Artenvielfalt und das Bodenleben sind aber weniger belastbar, da sie auf teilweise subjektiven Einschätzungen und auf Einzelfallstudien beruhen (z.B. PFEIFFNER et al. 2000; PRESCHER & BUCHS 2000).

Prinzipiell ist es aber auch hier für eine Anzahl von Parametern gelungen, den Ansatz zur Bewertung soweit zu entwickeln, dass auch diese Wirkungen nachvollziehbar und reproduzierbar in den Vergleich von Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe einbezogen werden können.

Die potenziellen Be- und Entlastungen, die mit der Erzeugung der Rohstoffe auf großen Flächen verbunden sind, können damit im Rahmen einer „erweiterten ökobilanziellen Betrachtung“

tung“ umfassender und vollständiger und im Vorfeld von Entscheidungen erfasst und bewertet werden.

7.4.2 Ausgewählte Kategorien und Parameter

Bei der Auswahl relevanter Kriterien und Indikatoren wurden zunächst in Anlehnung an MÜHLE et al. (2000) die Funktionsansprüche an eine Agrar-Kulturlandschaft formuliert und die Grundziele wie in Tabelle 7-9 dargestellt auf einer ersten Ebene aggregiert.

Tabelle 7-9: Funktionsansprüche an eine Agrarlandschaft und aggregierte Zielgrößen für eine nachhaltige Nutzung (in Anlehnung an MÜHLE et al. 2000).

Artenschutz und Biodiversität	Schutz abiotischer Ressourcen	Ökonomische und soziale Tragfähigkeit
Kulturen	Boden	Wirtschaftlichkeit (Deckungsbeiträge)
Wildkräuter	Wasser	Wettbewerbsfähigkeit (komparative Vorteile)
Wildfauna	Luft	Soziale Sicherheit und Nachhaltigkeit
Bodenleben		

Auf Grundlage der formulierten Funktionen und Zielgrößen mussten dann in einem weiteren Schritt zu den gewählten Landnutzungsoptionen (Kulturen nachwachsender Rohstoffe) Indikatoren definiert werden, die geeignet sind, den Beitrag der Kulturen zu diesen Zielgrößen zu beschreiben.

Da die meisten Arbeiten zu agrarökologischen Kenngrößen weder von Einzelfeldbetrachtungen ausgehen, noch Standort unabhängig erhoben werden, musste auch in diesem Fall eine Auswahl getroffen werden, die sich in den hier verfolgten ökobilanziellen Ansatz integrieren lässt.

In Anlehnung an Arbeiten von ALFÖLDI et al.(2001); BOCKSTALLER & GIRARDIN (2000); ECKERT et al. (1999); GEIER (2000); GUJER (2001); STOLZE et al. (2000) und an politische Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie der EU, das Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) wurden für die vorliegende Studie die in Tabelle 7-10 genannten Indikatoren für die Bewertung des Beitrags nachwachsender Rohstoffe ausgewählt.

Tabelle 7-10: Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung von Kulturen nachwachsender Rohstoffe im Rahmen einer erweiterten ökobilanziellen Betrachtung auf Schlagebene (Einzelfelder).¹⁾

Indikator/Parameter	Einheit
Potenzial von	
Nitratauswaschung	kg NO ₃ -N *ha ⁻¹ (0-90 cm)
Bodenerosion	t TM *ha ⁻¹ *a ⁻¹
Phosphataustrag in Gewässer	kg P ₂ O ₅ * ha ⁻¹ *a ⁻¹
Bodenverdichtung	t * h * ha ⁻¹
Landschaftsbild	Punktbewertung (6 Kriterien)
Artenvielfalt	Punktbewertung (11 Kriterien)
Bodenleben	Punktbewertung (5 Kriterien)

1) Erläuterungen zur Herleitung der Indikatoren siehe Kap. 7.4.3 und Kap. 7.4.4

Auf der folgenden Seite ist die Herleitung der quantitativen und der qualitativen Indikatoren zur standortunabhängigen Bewertung der Qualität der Flächenbeanspruchung durch die Produktion eines nachwachsenden Rohstoffs gegenüber einem Szenario mit Flächenstilllegung noch einmal in einer grafischen Übersicht wiedergegeben. Analog zum Ansatz des ökobilanziellen Ansatzes und in Anlehnung an die Normen ISO 14040–43 erfolgt die Bewertung auch hierbei für ganze Fruchtfolgen (Erläuterungen hierzu in Abschnitt 7.3.3.4).

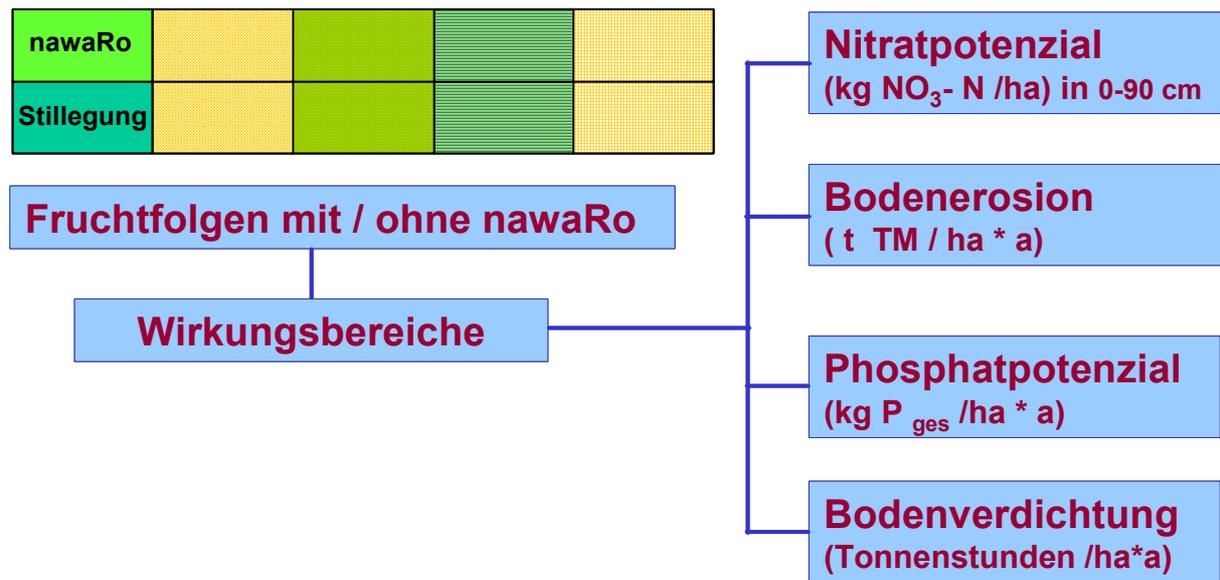


Abbildung 7-31: Übersichtsschema zu den verwendeten quantitativen Indikatoren zur erweiterten ökobilanziellen Betrachtung durch den differenziellen Vergleich von Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe.

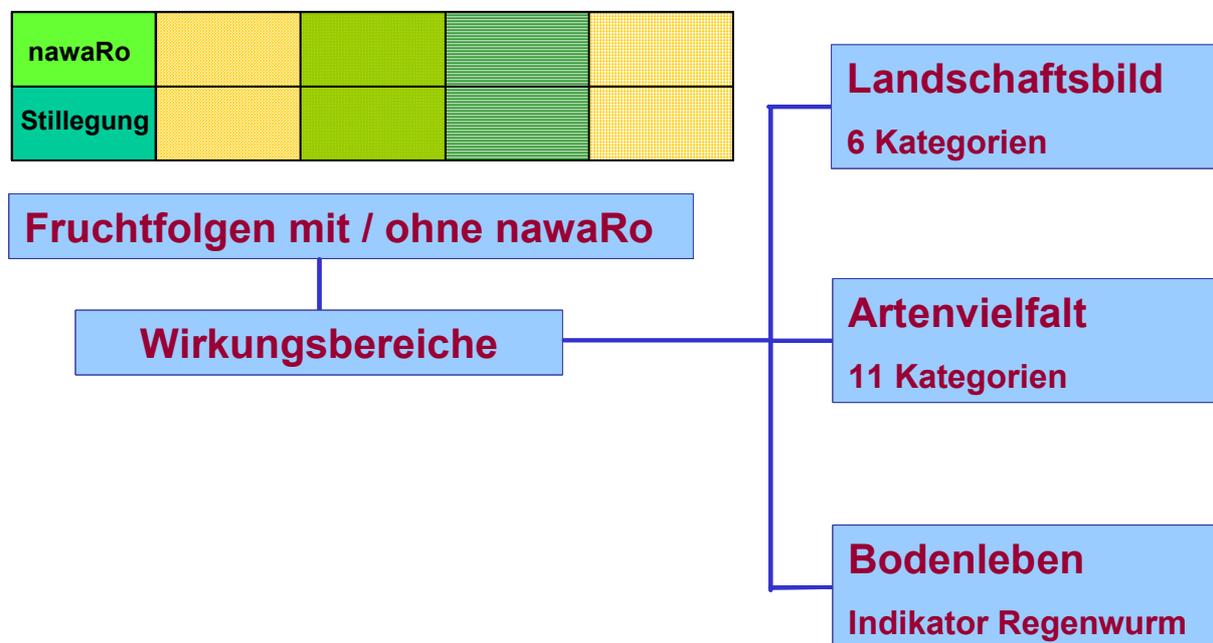


Abbildung 7-32: Übersichtsschema zu den verwendeten qualitativen Indikatoren zur erweiterten ökobilanziellen Betrachtung durch den differenziellen Vergleich von Fruchtfolgen mit- und ohne nachwachsende Rohstoffe.

7.4.3 Beschreibung und Herleitung der quantitativen Indikatoren

7.4.3.1 Bodenerosionspotenzial

Wirkungskategorie:	Bodenschutz/Bodenfunktionen
Indikatortyp:	indirekt, standortunabhängig, quantifiziert
Indikatorbezeichnung:	Bodenabtrag (Bodenerosion)
Herleitung:	Anwendung der ABAG (=Allgemeine Bodenabtragsgleichung) auf Fruchtfolgen
Einheit:	Tonnen Bodenabtrag pro Hektar und Jahr ($t \cdot ha^{-1} \cdot Jahr^{-1}$)

Bezüglich der Nachhaltigkeit der Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen sind die Wirkungen auf den Boden des Produktionsstandorts von großer Bedeutung. Neben Rückstandsbelastungen stellt die Gefährdung durch Bodenerosion die Nachhaltigkeit in Frage.

Bei nahezu allen gängigen Kulturen und Anbauverfahren wird den Böden, zumindest vorübergehend, die schützende Vegetationsdecke entzogen, sie werden freigelegt, die Bodenteilchen werden zertrümmert und gelockert. Das hat zur Folge, dass Bodenteilchen vom Wind weggeblasen oder - bedeutender in Baden-Württemberg - durch aufprallendes Regenwasser aus dem Verband gelöst und weggeschwemmt werden.

Da die Bodenbildung durch Verwitterung, Staub- und Biomasseeintrag nur gering ist und weniger als 1 t/ha und Jahr betragen kann, sind Bodenverluste immer Substanzverluste. Sie beeinträchtigen über kurz oder lang die ökologischen Funktionen der Böden als Nährstoff- und Wasserspeicher für das Pflanzenwachstum, als Filter für Schadstoffe, als Lebensraum für Bodenlebewesen und als Ausgleichskörper für den Wasserhaushalt einer Landschaft, um nur einige wichtige Funktionen zu nennen.

Gelangen die Sedimente in Gewässer, verursachen abgeschwemmte Bodenteilchen und die daran anhaftenden Nährstoffe und Pflanzenschutzmittelrückstände Verschmutzungen in Fließgewässern und Seen. Bodenerosion sollte deshalb nach Möglichkeit grundsätzlich vermieden oder vermindert werden.

Da bei Ackerbau eine völlige Kontrolle des Bodenabtrags praktisch nicht möglich ist, wird zur Beurteilung der Nachhaltigkeit der Landnutzung der tolerierbare Bodenabtrag (in t pro Hektar und Jahr) verwendet. GÜNDRA et al. (1995) schlagen in Anlehnung an AUERSWALD (1986) diesen Indikator als Bezugsgröße zur Beurteilung der Nachhaltigkeit vor. Er ist vor allem wirtschaftlich begründet und bezeichnet ein Erosionsniveau als nachhaltig, bei dem in 300-500 Jahren keine entscheidende Schwächung der Ertragsfähigkeit der Böden auftritt. Es ist von der Tiefe und Qualität der Ackerböden abhängig und wird wie folgt beschrieben:

Tolerierbarer Bodenabtrag in $t \cdot ha^{-1} \cdot Jahr^{-1} = \frac{\text{Ackerzahl (Grünlandzahl)}}{8}$ ¹⁾

8

Demzufolge können z.B. auf einem tiefgründigen Lößlehm mit der Ackerzahl 80 in Bezug auf dessen langfristige Ertragsfähigkeit bis zu 10 t/ha Bodenabtrag pro Jahr toleriert werden, während es auf einem flachgründigen Standort mit der Bodenzahl 35 nur 4,3 t/ha und Jahr sind.

Aus dem Verhältnis der geschätzten Erosion zur tolerierbaren Erosion lässt sich daraus ein Index errechnen, der zur Beurteilung der Nachhaltigkeit einer Fruchtfolge bezüglich der Bodenerosion herangezogen werden kann. Er ist wie folgt definiert:

$Index_{ABAG} = \frac{\text{errechneter Bodenabtrag (t/ha*Jahr)}}{\text{tolerierbarer Bodenabtrag (t/ha*Jahr)}}$

Zur Interpretation der erhaltenen Werte wird folgender Rahmen empfohlen:

¹⁾ aus Daten der Reichsbodenschätzung dokumentiert im ALB des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg

- a) Für einen Index <1 gilt bezüglich der Ertragsfähigkeit der Böden,²⁾ dass der Wert der technisch nicht völlig vermeidbaren Verluste als tolerierbar gelten kann.
- b) Liegt der Index zwischen 1 und 2, so ist der im Modell errechnete und ausgewiesene Bodenverlust, auch im Rahmen der Fehlerstreuung, bei der Schätzung als relativ hoch einzustufen und Maßnahmen zur Verringerung der Bodenverluste sollten ergriffen werden.
- c) Ist der Wert >2 , so kann, auch unter Berücksichtigung möglicher Fehler bei der Abschätzung, davon ausgegangen werden, dass Nachhaltigkeit nicht mehr gegeben ist. Es besteht dringender Handlungsbedarf zur Änderung der Verfahren, z.B. durch Einführen von Minimalbodenbearbeitung, durch Neugestaltung der Fruchtfolge, oder es müssen weniger anfällige Standorte für die Erzeugung der Rohstoffe gewählt werden (ebene Lagen).

Nach GÜNDRA et al. (1995) schwanken die Werte für den Bodenabtrag in Baden-Württemberg etwa zwischen 3 t/ha auf mittleren Standorten und 9 t/ha auf Lössstandorten. Mittlere Verlustwerte von 3-6 t/ha und Jahr können als charakteristisch für Baden-Württemberg angesehen werden.

Außer dem Boden nehmen auch die Niederschlagsverhältnisse großen Einfluss auf das Erosionsgeschehen. In Abhängigkeit von Menge und Intensität (erosive Energie) werden sie im ABAG Modell mit dem R-Faktor beschrieben. Werte um 70 sind gemäß Bodenerosionsatlas relativ typisch für die Ackerbaugebiete Baden-Württembergs und werden im Modell verwendet.

Die unterschiedlich ausgeprägte Anfälligkeit der Böden (K-Faktor) bezüglich der Erosion ist ebenfalls von Bedeutung. Großen Einfluss auf den K-Faktor, der die Erodierbarkeit der Böden beschreibt, hat die Bodenart. Böden mit hohen Schluff- und Feinsandanteilen (leichte Lehmböden) sind anfällig, schwere tonreiche Böden, steinige Äcker und Sande dagegen weniger.

Im Gegensatz zum Niederschlagsfaktor kann der K-Faktor in gewissen Grenzen durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden. Maßnahmen zur Erhöhung des Humusgehalts im Boden, zur Krümelbildung und die Vermeidung von Verdichtungen verringern die Anfälligkeit, die für die Modellsituation in Baden-Württemberg mit $K=0,4$ angenommen wurde. Die Werte streuen in Baden-Württemberg typischerweise zwischen 0,2 in Mittelgebirgslagen

²⁾ nur bedingt gilt dies auch für Gewässerschutz und andere Wirkungskategorien, wo Toleranzschwellen oft nicht existieren oder schwer festzustellen sind, wo aber auch Auswirkungen von Bodenerosion auftreten.

bis über 0,3 bis 0,4 im Südosten und im zentralen Landesteil bis zu 0,6 in Lössgebieten des Kraichgau und am mittleren Neckar.

Weitere Annahmen für die Berechnung der Bodenverluste anhand eines Modellstandorts sind die Einflussfaktoren Hanglänge (L), für den ein Wert von 145 m angenommen wurde (Schlaggröße 2 ha), und die Hangneigung (S), die mit 5 % (leicht gewellte, hügelige Landschaftsform) angenommen wurde.

Insgesamt ergeben sich damit für den Modellstandort Baden-Württemberg die in der folgenden Tabelle 7-11 zusammengestellten Werte.

Tabelle 7-11: Kenndaten des virtuellen Modellstandorts (Feldschlag) Baden-Württemberg zur Ermittlung der Erosionswerte für verschiedene Fruchtfolgen bzw. Produktlinien nachwachsender Rohstoffe.

Bodenart:	sandiger Lehm	Schlaggröße:	2 ha
Zustandsstufe:	3	Hanglänge:	145 m
Entstehung:	Diluvium	Hangneigung:	5 % (sanft gewellt)
Bodenzahl:	65	Bodenerodierbarkeit:	K=0,4
Niederschlag:	750 mm/Jahr	Niederschlagserosivität:	R=71

Der Bodenbedeckungs- oder Fruchtfolgefaktor C und der P-Faktor, der für hangparallele Bewirtschaftung und andere spezielle Schutzmaßnahmen zum Erosionsschutz steht, unterliegen dem Einfluss der einzelnen Kulturen und der angewandten Anbauverfahren und stellen im Wesentlichen das Instrumentarium des Bauern dar, um Erosionsverluste zu vermindern. Sie sind verfahrensabhängig und gehen deshalb nicht in das Szenario ein, sondern werden im Modell zur Berechnung der Erosionsrisiken berücksichtigt.

Erläuterungen zur Bewertung von Fruchtfolgen bezüglich des C-Faktors:

Die Bodenverluste sind auf der Grundlage der „Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung“ (ABAG) mit dem von AUERSWALD et al. (1999) für Bayern und Süddeutschland angepassten und entwickelten PCABAG Programm in der Version 2.0 errechnet.

Die ermittelten Werte stellen Modellschätzungen des schlagbezogenen Bodenabtrags dar und gehen von den für die nachwachsende Rohstoff-Produktion definierten Verfahren und Fruchtfolgen aus, wobei in Bio-Betrieben nur Getreide-, Hackfrucht- und Feldfutterbauanteile unterschieden werden. Bei konventionellen Fruchtfolgen steht eine Vielzahl von Szenarien bereit, die eine hohe Anpassung an die erstellten Produktionsszenarien erlaubten. Für die Fasernessel wurden Werte verwendet, die anhand der anderen Kulturen abgeschätzt wurden, weil dazu keine empirischen Daten zum Erosionsgeschehen vorlagen. Für Biobetriebe gelten alle Kulturen mit weitem Reihenabstand als Hackfrüchte (Mais, Sonnenblumen, Rüben, Kartoffeln, Lupinen, Gemüsekulturen). Als mehrjähriges Ackerfutter gelten Kulturen wie Klee, Klee gras, Luzerne etc., die zumeist als Untersaat gesät und dann überjährig oder noch länger genutzt werden.

Außerdem berücksichtigt das Modell Ernterückstände und den Anbau von Zwischenfrüchten zur Beurteilung der Fruchtfolgen bezüglich der Erosionswirkung. Dabei werden die folgenden Kategorien unterschieden:

Günstig: nach der Ernte verbleiben die Ernterückstände auf dem Boden oder werden nur flach eingemischt. Zwischenfruchtsaat in raues Saatbett. Der Zeitraum zwischen der Pflugfurche und der Aussaat der Folgekultur ist kurz.

Ungünstig: keine oder wenig Ernterückstände auf der Bodenoberfläche (z.B. Silomaisfruchtfolgen), Zwischenfruchtansaat in feines oder gewalztes Saatbett, langer Zeitraum zwischen Umbruch und Aussaat der Folgekultur.

Mittel: keine eindeutige Einordnung in günstig oder ungünstig.

Die Herleitung des beschriebenen Indikators Bodenerosion, der stets für den Vergleich ganzer Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsenden Rohstoff ermittelt wurde, ist in Abbildung 7-33 schematisch wiedergegeben.

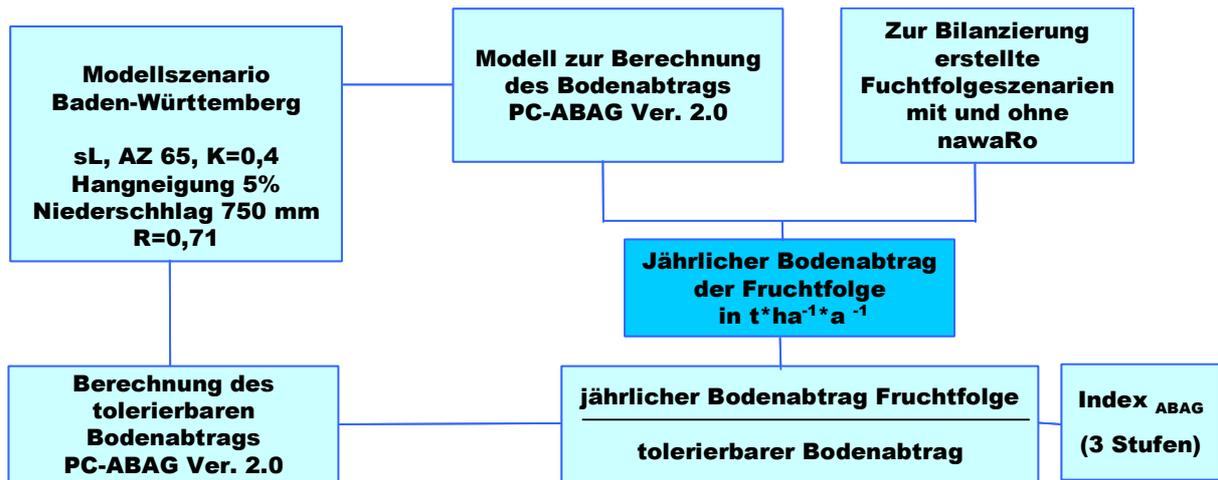


Abbildung 7-33: Schema zur methodische Herleitung des schlagbezogenen Indikators Bodenerosion für die Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe.

Im Folgenden sind beispielhaft die mit PC-ABAG errechneten Bodenverluste für die Produktion von HO-Sonnenblumenöl mit verschiedenen Produktionsszenarien dargestellt. Die Blätter mit ausführlichen Informationen zu den einzelnen Berechnungen finden sich im Anhang 11.3. Die zusammengefassten Ergebnisse für den Indikator Bodenerosion finden sich in Kapitel 7.4.5.

Tabelle 7-12: Übersicht zu Varianten der ermittelten Bodenabträgen (schlagbezogene Erosionsrisiken) für Fruchtfolgen der HO-Sonnenblume (verwendete Quellen: Gündra et al. 1995; Auerswald et al. 1999).

Produktlinie	Bodenabtrag ⁷ -----t/ha*Jahr -----	tolerierbarer Abtrag	Nachhaltigkeits- Index ⁸
<i>Variante 1a) Sonnenblume Szenario 9 % Hangneigung/200 m Hanglänge</i>			
Konv.-FF. ohne nawaRo	6,9	7,6	0,91
Konv.-FF. mit nawaRo	9,5	7,6	1,25
<i>Differenz durch nawaRo</i>	<i>+2,6</i>	<i>-</i>	<i>+0,34</i>
<i>Variante 1b) Sonnenblume Szenario 9 % Hangneigung/200 m Hanglänge</i>			
Öko.-FF. ohne nawaRo	6,4	7,6	0,84
Öko.-FF. mit nawaRo	10,7	7,6	1,41
<i>Differenz durch nawaRo</i>	<i>+4,3</i>	<i>-</i>	<i>+0,57</i>
<i>Variante 2a) Sonnenblume Szenario 5 % Hangneigung/145 m Hanglänge</i>			
Konv.-FF. ohne nawaRo	2,8	7,6	0,37
Konv.-FF. mit nawaRo	3,8	7,6	0,50
<i>Differenz durch nawaRo</i>	<i>+1,0</i>	<i>-</i>	<i>+0,13</i>
<i>Variante 2b) Sonnenblume Szenario 5 % Hangneigung/145 m Hanglänge</i>			
Öko.-FF. ohne nawaRo	2,6	7,6	0,34
Öko.-FF. mit nawaRo	4,3	7,6	0,57
<i>Differenz durch nawaRo</i>	<i>+1,7</i>	<i>-</i>	<i>+0,23</i>

Wie die Zusammenstellung der Ergebnisse für den nachwachsenden Rohstoff Sonnenblumenöl zeigt, führt der Anbau von Sonnenblumen gegenüber einer Fruchtfolge mit einjähriger Flächenstillegung (Begrünung durch Weidelgras) in allen untersuchten Varianten zu einer Zunahme des Bodenabtrags.

⁷ Werte für schlagbezogenes Erosionsrisiko in t/ha*Jahr wurden mit dem PCABAG Programm (AID, 1998) ermittelt.

⁸ Werte <1: nachhaltig, tolerierbar ; Werte 1-2 Verbesserungsbedarf; Werte >2: unnachhaltig, dringender Handlungsbedarf

7 Methoden und Ergebnisse

In der Variante 1 wurde unterstellt, dass der Anbau bei einem Gefälle von 9 % und auf einem Feld von 100 m Breite und 200 m Länge in Gefällerrichtung erfolgt. Die zuvor noch in der Toleranz liegenden Werte wurden mit Sonnenblume jeweils leicht überschritten. Die Zunahme des Bodenverlusts betrug für den konventionellen Anbau 2,6 t/ha und für den Öko-Anbau 4,3 t/ha. Die Werte liegen noch im Bereich der Fehlerstreuung, aber schon über der Unbedenklichkeitsschwelle (siehe Erklärung weiter oben). Die höheren Werte im Öko-Anbau sind im Wesentlichen durch den Einsatz des Pfluges schon im Herbst und durch die mechanischen Hackarbeiten zu erklären. Der Einsatz des Schwergrubbers mit anschließender Kreiselegge im Frühjahr und die geringere mechanische Unkrautkontrolle bewirkten einen schwächeren Anstieg bei der konventionellen Variante.

Wurden die Sonnenblumen, wie in Variante 2 angenommen, dagegen auf Feldern mit geringerer Hangneigung (5 %) und auf quadratischen Feldern mit nur 145 m Hanglänge in Gefällerrichtung angebaut, so lagen die Erosionswerte der Fruchtfolgen mit den Sonnenblumen in beiden Anbauformen im tolerierbaren und nachhaltigen Bereich (Nachhaltigkeitsindex 0,5 - 0,57). Im Sinne eines vorsorgenden Erosionsschutzes sollten Sonnenblumen auf Standorten mit mittlerer Erosionsgefährdung demnach nur dann empfohlen werden, wenn die Hangneigung bei 200 m Feldlänge weniger als 9 % beträgt. Ein Anstieg der Erosion gegenüber Stilllegung mit Weidelgras ist aber in allen untersuchten Szenarien gegeben.

Anmerkung:

Der hier verwendete Begriff der Nachhaltigkeit des Bodenabtrags bezieht sich nur auf die landwirtschaftliche Produktionsfunktion des Bodens und sagt nichts über die Nachhaltigkeit bezüglich anderer Umweltwirkungen der Bodenerosion aus. So können beispielsweise unerwünschte Wirkungen auf die Gewässerökologie unter Umständen schon bei wesentlich niedrigeren Erosionswerten auftreten. Die Nachhaltigkeit der Wirkungen des Bodens als Filter für Schadstoffeinträge aus der Luft kann dagegen auch bei höheren Werten noch gegeben sein.

7.4.3.2 Nitratauswaschungspotenzial

Wirkungskategorie:	Wasserqualität/Grundwasserschutz Nitratgefährdung des Grundwassers und angrenzender grundwassergespeister Oberflächengewässer
Indikatortyp:	indirekt, standortunabhängig, schlagbezogen quantifiziert
Indikatorbezeichnung:	Nitratauswaschungspotenzial (nutzungsbedingt)
Herleitung :	Zusammenstellung mittlerer Kennzahlen aus langjährigen Untersuchungen in Baden-Württemberg zum mittleren Nitratgehalt von Ackerbodenprofilen bei Herbstbeprobung (MLR 1989-2000).
Einheit:	kg NO ₃ -N *ha ⁻¹ (0-90 cm Tiefe)

Problematik

Von Seiten der Politik und der Wasserwirtschaft wird zunehmend ein vorsorgendes Handeln zum Schutz der Gewässer gefordert, mit dem Ziel, die Schadstoffeinträge zu mindern und durch Maßnahmen an den Emissionsquellen flächendeckend zu verringern.

Die Landwirtschaft, als ein wichtiger Akteur auf dem Gebiet, muss sich in besonderer Weise mit dieser Aufgabe auseinandersetzen, denn sie bewirtschaftet etwa 50 % der Flächen, die über die aktuelle und zukünftige Qualität der Ressource Wasser mitentscheiden. Auch für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe leitet sich daraus die Forderung ab, schon in der Phase der Planung die ins Auge gefassten Produktlinien auf den Gewässerschutz hin zu prüfen.

7 Methoden und Ergebnisse

Dies geschieht im Rahmen dieses Projektes durch die Erweiterung der ökobilanziellen Betrachtung anhand von Indikatoren zur Nitratbelastung und zur Gefährdung von Oberflächengewässern durch Phosphateinträge aus dem Ackerbau.

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

Hohe Nährstoffeinträge führen zur Eutrophierung von Oberflächengewässern mit der Folge vermehrten Algenwachstums und daraus entstehendem periodischem Sauerstoffmangel. Empfindliche Wasserorganismen, Pflanzen und Tiere können verdrängt werden. Kommt es zu "Algenblüten", dann können danach sogar toxische Wirkungen auftreten.

Letzteres gilt auch für Nitrat im Grundwasser. Es begünstigt, in hoher Konzentration über das Trinkwasser aufgenommen, die Entstehung von Nitrosaminen, die krebserregende und erbgutverändernde Wirkung haben können. Eine Hauptursache übermäßiger Nitratbelastung des Grundwassers ist die zu den Ackerkulturen vorgenommene mineralische oder auch organische Stickstoffdüngung. Düngerausbringung und Nährstoffmobilisierung durch Bodenbearbeitung (-belüftung) in Zeiten, in denen die Pflanzen den Stickstoff nicht aufnehmen, führen zu Nitratanreicherungen im Bodenprofil. In der niederschlagsreichen Winterzeit können Nitrate mit der Versickerung überschüssiger Niederschläge unter die Durchwurzelungszone und in das Grundwasser verlagert werden.

Wie viel Nitrat tatsächlich aus dem Bodenprofil in das Grundwasser gelangt, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die in zwei Gruppen getrennt werden können.

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

Sie stellen demnach auch das Instrumentarium zur umweltgerechten Gestaltung und Optimierung der Produktionsverfahren im Hinblick auf den Indikator Nitratpotenzial dar. Teilweise

stößt die Anwendung der genannten Maßnahmen aber auch auf Grenzen, da bei manchen Kulturen, bei speziellen Böden oder in einem bestimmten Klima ihr Einsatz nicht möglich ist.

Im zeitlichen Ablauf ist vor allem die Winterperiode von November bis April bedeutend. Treffen in diesem Zeitraum hohe Nitratrückstände im Bodenprofil mit hohen Sickerwassermengen zusammen, so kommt es zu starker Auswaschung.

Untersuchungsergebnisse zur Nitratproblematik

Bei Untersuchungen in der Schweiz fanden STAUFFER & SPIESS (2001) bei Lysimetermessungen im Sickerwasser von ackerbaulich typischen Fruchtfolgen Auswaschungswerte zwischen 77 und 143 kg N/ha und Jahr, während unter *Miscanthus* nur 2 kg N/ha und Jahr und unter Klee gras nur 29 kg/ha und Jahr gemessen wurden. Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit ähnlichen Untersuchungen aus Bayern überein, wo bei mit Gülle gedüngten Klee grasbeständen und Grünbrachen gegenüber gängigen Ackerfruchtfolgen bis 10-fach geringere Auswaschungsverluste gemessen wurden (EDER 2000). Sie fanden auch, dass die bei der Herbstbeprobung gemessenen Nitratunterschiede im Bodenprofil stärker ausgeprägt waren als die Unterschiede der Auswaschung mit dem Sickerwasser.

Durch den Anbau von Zwischenfrüchten und noch mehr durch den Anbau von Zwischenfruchtfutter, bei dem der noch verbliebene Reststickstoff abgefahren wird, können Nitrat- austräge gemindert werden. Dies gilt für leicht zersetzbare Zwischenfrüchte allerdings nur, wenn sie nicht zu früh wieder eingearbeitet werden (STAUFFER & SPIESS 2001). Ansonsten kann der Effekt von Gründüngung unter Umständen sogar nitratfördernd wirken. Durch die Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Saat und zur Einarbeitung wird der Boden belüftet und es kann die Mineralisation von Stickstoff angeregt werden. Wird die Zwischenfrucht noch vor dem Winter eingearbeitet, so wird der darin gebundene Stickstoff freigesetzt und die Gehalte des Bodens steigen lange vor der Vegetationsperiode wieder an. Fruchtfolgen mit fachgerecht eingebautem Zwischenfruchtfutterbau verursachen dagegen nur etwa 50 % der Nitrat- auswaschung von Fruchtfolgen ohne Winterzwischenfrucht- bau. Es verwundert deshalb nicht, dass die Autoren zu dem Schluss kommen, dass, von einigen Ausnahmen abgesehen, mehr noch als den Kulturen selbst, den Übergängen zwischen den Kulturen eine Schlüsselrolle beim Management der Nitratproblematik zukommt. ÜBELHÖR & WALTER (1998) rechnen auf der Basis langjähriger Messungen in Baden-Württemberg durch Einsatz von Nicht-Leguminosen- Zwischenfrüchten mit einer mittleren Nitratreduktion im Herbst von 12,5 kg/ha.

Auch die mittleren herbstlichen Nitrathinterlassenschaften im Bodenprofil von nach AGÖL Richtlinien, ökologisch wirtschaftenden Betrieben, in denen der Einsatz leicht löslicher Stickstoff-Dünger stark eingeschränkt ist, liegen im Allgemeinen deutlich niedriger. Sie erreichen nach Daten, die KOLBE (2000) zusammengestellt hat, mit mittleren Hinterlassenschaften von 8 bis 29 kg N/ha und Jahr Werte, die im tolerierbaren Bereich liegen, weshalb die ökologische Wirtschaftsweise eine ökonomisch günstige Option zur Verringerung von Nitratbelastungen darstellt. Wie neuere Untersuchungen mit ökologisch bewirtschafteten Fruchtfolgen in Schleswig-Holstein gezeigt haben, ist dies vor allem (aber nicht immer!) in viehlos wirtschaftenden Betrieben mit viel Leguminosen in der Fruchtfolge der Fall. In den ökologisch bewirtschafteten Fruchtfolgen mit 33-50 % Leguminosenanteil war die mittlere N-Hinterlassenschaft im Herbst mit 59 kg N/ha nur unwesentlich niedriger als mit 61 kg/ha im konventionellen Anbau (RUHE et al.2001). Dies bedeutet bei geringeren Erträgen sogar eine deutliche Zunahme der Nitratbelastung pro produzierter Ertragseinheit. Im Bereich nachwachsender Rohstoffe wird eine ökologische Wirtschaftsweise auch dadurch erschwert, dass die Produzenten von den industriellen Abnehmern, im Gegensatz zur Situation bei Arznei- und Nahrungspflanzen, in der Regel keine besseren Preise für Öko-Ware erhalten und inhomogene Erntepartien oft sogar zu Preisabschlägen führen.

Regelungen zum Schutz der Gewässer vor Nitratbelastungen

In der bundesweit gültigen Düngemittelverordnung vom 26. Januar 1996 und den nachfolgenden Änderungen und Ergänzungen wurde bereits geregelt, dass die Düngung "nach guter fachlicher Praxis" zu erfolgen hat, das heißt, dass sie nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf der Pflanzen, unter Berücksichtigung der im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanz, sowie den Standort- und die Anbaubedingungen ausgerichtet wird. Außerdem verpflichtet das in Baden-Württemberg gültige Wassergesetz (WG) jedermann zum sorgfältigen Umgang mit den Gewässern. Zur Umsetzung dieser Ziele durch die Landwirtschaft in Wasserschutzgebieten wurde die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung SchALVO (1988 mit nachfolgender Novellierung 2001) erlassen. Ziel der Verordnung ist es, das Grundwasser vor Beeinträchtigungen durch Stoffeinträge aus der Landbewirtschaftung zu schützen. Zeitpunkt, Menge und Art der Stickstoffzufuhren in Wasserschutzgebieten unterliegen dabei Beschränkungen und Regelungen, die über die gute fachliche Praxis hinausgehen. Da dies in der Regel zu Mehrkosten oder geringeren Erträgen führt, nach TIMMERMANN (1995) führte die um 20 % verminderte Düngung zu Ertragsrückgängen von ca. 5-13%, wird die Auflage mit der Gewährung von Ausgleichszahlungen verknüpft.

Die niederen Werte der Stickstoff-Düngerverwertung, die von ISERMANN (1993, zitiert in FREDE & DABBERT 1998) am Anfang der 90er Jahre für die Landwirtschaft in Deutschland insgesamt auf nur 30 % geschätzt wurden (und seither eine Verbesserung erfahren haben),

sind Herausforderung und Chance zugleich, um die N-Belastungen der Umwelt aus landwirtschaftlichen Quellen zu vermindern. N-Effizienzzraten von 70-80 % und eine P-Effizienz von 80-90 % gelten unter praktischen Bedingungen als machbar, wenn die technischen Möglichkeiten dazu genutzt werden (FELDWISCH & FREDE 1998).

Bei der Analyse von Hoftorbilanzen in Baden-Württemberg fand ZEDDIES (1997 zit. in KOLBE 2000) für die Jahre 1984/85 noch Überschüsse von 170 kg N/ha und Jahr, während es für die Jahre für 1994/95 deutlich geringere Überschüsse von 110 kg/ha waren. Dies bestätigt den Trend zu einer deutlich verbesserten Düngepraxis, unter anderem durch die Einführung betrieblicher Bilanzierungsverfahren. Für Deutschland betrug der Saldo aus zugeführten N-Nährstoffen und Abfuhr für Ackerflächen im Jahr 1987 im Mittel + 112 kg N/ha, wovon schätzungsweise 55-71 kg N/ha in die Hydrosphäre eingetragen wurden. Die Überschüsse waren auf ertragsschwachen Standorten höher als auf guten Böden.

Ableitung der Größen des Indikators Nitratauswaschungspotenzial

Seit dem Inkrafttreten der oben erwähnten SchALVO wurden in Baden-Württemberg bis heute jährlich tausende⁹ von Bodenproben auf zahlreichen Standorten in fast allen Kulturen gezogen, um den Nitratgehalt der Böden vor Winterbeginn zu bestimmen. Diese Werte eignen sich gut als Indikator zur Gefährdung der Grundwasser und Oberflächengewässern durch Nitrat.

Aufgrund der Vielzahl und Dauer der Beobachtungen stellen diese Daten eine äußerst zuverlässige und wertvolle Quelle zur Beurteilung der Anbauverfahren hinsichtlich der Gewässergefährdung durch Nitrat dar. Aus den Messungen (mehrere hundert bis über 10.000 pro Kulturpflanze und Jahr) lassen sich kulturartenspezifische Werte für die vorwinterliche Hinterlassenschaft an mineralischem Stickstoff im Boden ermitteln. Außerdem geben die Daten, allerdings nur in aggregierter Form, auch Auskunft zu den Wirkungen bestimmter Kulturmaßnahmen auf die Nitrathinterlassenschaft, wodurch die Daten auch zur Optimierung von Anbauverfahren von großem Nutzen sind.¹⁰ Wurde beispielsweise nach Getreide noch eine Zwischenfrucht eingesät, so führte das in den Jahren 1989/1990 im Landesmittel zu einer Nitratreduktion von 25 bzw. 12,5 kg pro Hektar. Für die Ableitung des vorliegenden Indikators und aufgrund der oben erwähnten Untersuchungen von ÜBELHÖR & WALTER (1998) wurde

⁹ 1995 waren es z.B. über 90.000 Proben von 101.000 ha (MLR 1996)

¹⁰ Durch die Möglichkeit internetbasierter Abfragen der Datenbank über boolesche Operatoren ließen sich die Daten noch in weit besserem Maße zur Planung, Modellierung und Optimierung von Anbausystemen bezüglich möglicher Nitratriskiken verwenden.

der Einfachheit halber mit einer Reduktion von 10 kg Nitrat-N bei Zwischenfruchtanbau (Nicht-Leguminosen) gerechnet.

Neben der Anzahl der Messungen und der beprobten Fläche zu jedem Wert (hier nicht aufgeführt) sind in den Nitratberichten (MLR 1989 bis 2000) die Nitratgehalte für den Ober-, Mittel- und Unterboden und die des Gesamtprofils von 0-90 cm wiedergegeben. Sie bilden für die Ableitung des Indikators die Bewertungsgrundlage.

Die in den Nitratberichten aufgelisteten, durchschnittlichen Stickstoff-Hinterlassenschaften ($\text{kg NO}_3\text{N/ha}$)¹⁾ machen es möglich, *standortunabhängige, kulturartentypische Kennwerte* anzugeben, wie sie in Tabelle 7-13 aufgeführt sind. Sie entsprechen damit dem Anliegen der Ökobilanzierung, verfahrensbedingte Kennwerte zur Gewässergefährdung zu identifizieren und allgemeingültige Aussagen über die Qualität der Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen zu treffen¹¹. Auch ist eine hohe Transparenz des Indikators und ein enger Bezug zu den verursachenden Größen hergestellt, wie dies bei Indikatoren erwünscht ist (GEIER 2000). Da die Daten aus Baden-Württemberg stammen, repräsentieren sie auch in hohem Maße die Situation innerhalb der gewählten Systemgrenzen (virtueller Standort Baden-Württemberg).

Wie von GEIER (2000) vorgeschlagen, sollten Nitratbelastungen, soweit sie auch „natürlich“, d.h. unabhängig vom Ackerbau auftreten, nicht in die Ökobilanz eingehen, da die nachwachsenden Rohstoffe dadurch gegenüber den fossil/industriellen Produktlinien unangemessen belastet würden. Um dem Rechnung zu tragen, könnten mittlere Werte unter landschaftstypischen Urwäldern als Klimaxvegetation ungestörter Ökosysteme herangezogen werden, was jedoch wegen des Fehlens solcher Vergleichsmöglichkeiten nicht durchführbar ist. Außerdem sind Wälder in Deutschland nicht „nur“ mit 15-45 kg Stickstoff-Deposition aus der Luft belastet, wie dies bei Ackerflächen unterschiedlicher Regionen Deutschlands der Fall ist, sondern es kann von mittleren Mehrbelastungen von 20 kg N/ha ausgegangen werden, wobei vor allem in Nadelwäldern aufgrund des Auskämmens der belasteten Luft hohe Werte gemessen wurden.

Für die Bereinigung der ackerbaulich bedingten Nitratwerte wurde deshalb ein mittlerer Belastungswert von 18 kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$ angenommen, was in etwa dem Verlustpotenzial einer Naturlandschaft oder Dauerstilllegung entspricht (KOLBE 2000). Für die Bilanzierung wurde die-

¹⁾ kg mineralisierter Stickstoff in 0-90 cm Bodentiefe auf 1 ha

¹¹ Als absolut verlässliche Größen dürfen die Werte nicht Verwendung finden, denn was tatsächlich an einem individuellen Standort passiert, kann stark von Landesmittelwerten abweichen.

ser *bereinigte Nitrataustrag* als Kenngröße für die kulturartenbedingte Nitrathinterlassenschaft verwendet (Tabelle 7-13). In Abbildung 7-26 ist die Herleitung des Indikators Nitratauswaschungspotenzial in schematischer Form wiedergegeben.

Tabelle 7-13: Mittlere Nitratgehalte und abgeleitete Nitrat-Kenngrößen von Bodenprofilen bei Herbstbeprobung (0-90 cm Bodentiefe) von Standorten in Baden-Württemberg nach verschiedenen Hauptkulturen (Nitratberichte des MLR 1989–1999; Kolbe 2000).

Vorhergehende Hauptkultur der Fruchtfolge	Herbstnitratgehalt auf Ackerschlägen (0-90 cm) in kg NO ₃ -N* ha ⁻¹	Landwirtschaftlich bedingte Nitratgehalte ¹² in kg NO ₃ -N* ha ⁻¹ [-18 kg N*ha ⁻¹]
Winterweizen	38	20
Winterraps ^{a)}	57	39
Wintergerste	34	16
Sommergerste	36	18
Hafer	40	20
Ackerbohne	65	48
Futtererbse ^{*)}	55	38
Sonnenblume ^{b)}	43	25
Körnermais	65	48
Miscanthus ^{c)}	13	(-7)
Hanf ^{d)}	49	31
Faserlein ^{d)}	31	9
Fasernessel ^{g)}	13	(-7)
Rotklee ^{d)}	33	15
Kleegras ^{d)}	22	4
Stilllegung (2-5-jährig) ^{d)}	20	2
Weidelgras ^{d)}	26	8
Ödland (Brache >5J.) ^{e)}	30	12
naturnahe Landschaft/ Dauerstilllegung (Referenz)	18	0
Wald/Forst ^{f)}	(18)	0
Zwischenfrüchte		-10
Leguminosen-Zwischenfrucht (winterhart)		+5

a) von 1989 bis 1990 aggregierte Tabellenwerte für Ölfrüchte, zu denen auch noch prozentual wenig Sonnenblumen- und Ölleinflächen gehörten; b) Werte nur für sechs Jahre getrennt ausgewiesen; c) Daten von 1997 und 1998; d) Daten von 1997 bis 1999; e) Daten 1996 bis 1999; f) Daten 1991 bis 1999; es lagen keine Messungen vor; aufgrund von pers. Informationen von Anbauversuchen in Göttingen (SCHMIDTKE 2001) und aufgrund ähnlicher Verhältnisse mit Rückverlagerung der Nährstoffe in Rhizome wurden vorläufig die gleichen Werte wie bei Miscanthus angenommen; *) bei Futtererbsen wurden 10 kg weniger N-Hinterlassenschaft angenommen als bei Ackerbohnen.

¹² Nitratwert nach Abzug eines real auftretenden mittleren Nitratgehaltes unter Dauerstilllegung/naturnahe Landschaft (nach KOLBE 2000).

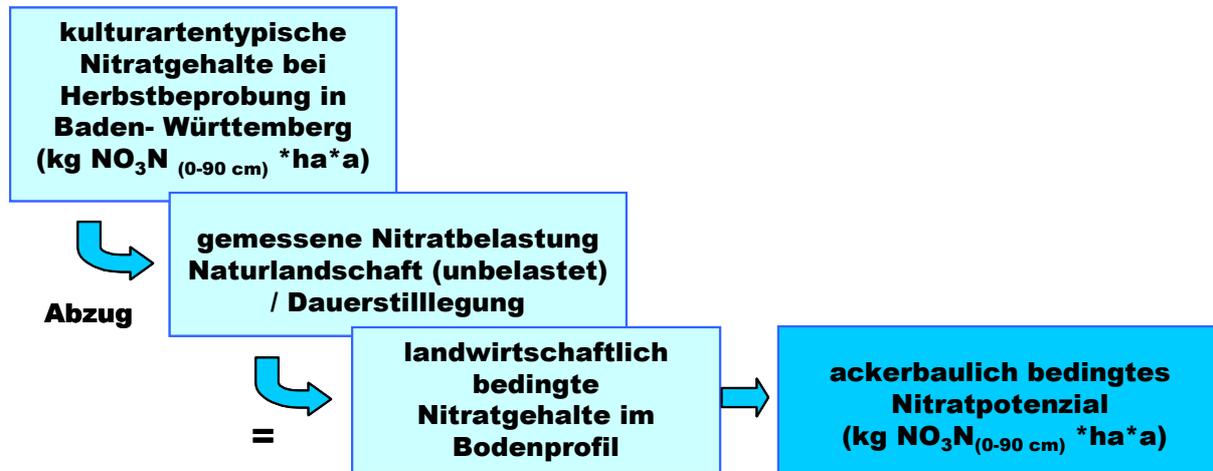


Abbildung 7-34: Schematische Übersicht zur Herleitung des Indikators Nitrataustragspotenzial aus Daten langjähriger Messungen der vorwinterlichen Nitrat hinterlassenschaft in Baden-Württemberg (MLR 1989-2000).

Berechnung des Indikators Nitratauswaschungspotenzial für die nachwachsende Rohstoff Fruchtfolgen

Bei der Bewertung des Nitratpotenzials der Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe wurde für jedes Fruchtfolgejahr der bereinigte Nitratwert der Hauptkultur als Wert verwendet. Dazu kamen Zu- oder Abschläge für die Zwischenfrüchte. Diese Zahlen wurden dann für Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe aufaddiert. In einem weiteren Schritt wurden dann die Differenzen aus den Werten der Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe gebildet. Negative Werte weisen Vorteile für den nachwachsenden Rohstoff gegenüber einer begrüneten Flächenstilllegung aus, positive Zahlen zeigen die Mehrbelastungen durch die Erzeugung des nachwachsenden Rohstoffes.

Unterschiede in den pflanzenbaulichen Produktionsverfahren (wie z.B. Varianten bei der Bodenbearbeitung oder Unkrautbekämpfung etc.) konnten dabei nicht im Detail berücksichtigt werden, da die Werte zu den Kulturpflanzen nicht für unterschiedliche Verfahren ausgewiesen werden können.

Ein Beispiel für die Berechnung des Indikators für den nachwachsenden Rohstoff Stärkemais ist in Abbildung 7-35 wiedergegeben. Es zeigt, dass gegenüber einer angenommenen Stille-

gung mit Weidelgras die potenzielle Belastung des Grundwassers zunimmt. Der absolute Wert für Mais liegt mit 48 kg Nitrat-N/ha im Bereich der mittleren Grundwassergefährdung (siehe Abb. 7-27) und fordert dazu auf, Maßnahmen, wie etwa reduzierte Bodenbearbeitung, zu ergreifen, um das Belastungsniveau zu senken. Wo diese Maßnahmen wegen standörtlicher Beschränkungen nicht möglich sind, sollte demgemäß der Mais nur mit Vorbehalt für die Erzeugung von Stärke empfohlen werden. Das Beispiel zeigt auch, dass mit einer einzelnen Durchschnittszahl für Mais, nicht differenziert nach Varianten der Bodenbearbeitung etc., die Anwendung des Indikators zur genaueren Darstellung der Produktionsverfahren und auch zur Optimierung der Nachhaltigkeit der Produktion noch zu grob und zu wenig differenzierend ist.

Fruchtfolge mit Stärkemais	Nitratpotenzial kg NO₃/ha *Jahr
Körnermais (Stärke)	48.00
Winterweizen	20.00
Zwischenfrucht Senf	-5.00
Körnermais	48.00
Winterweizen	20.00
Kalkung Fruchtfolge	0.00
Zwischenfrucht Phazelia	-5.00
	126.00
Fruchtfolge mit Flächenstilllegung	Nitratpotenzial kg NO₃/ha *Jahr
W.-Weidelgras/ Stilllegung	8.00
Winterweizen	20.00
Zwischenfrucht Senf	-5.00
Körnermais	48.00
Winterweizen + nachfolgende Begrünung	20.00
Kalkung Fruchtfolge	0.00
	91.00
Differenz der Fruchtfolgen	35

Abb. 7-27: Beispiel zur rechnerischen Ermittlung des Indikators Nitratauswaschungspotenzial am Beispiel einer Fruchtfolge zur Erzeugung von Stärkemais gegenüber einer Fruchtfolge mit begrünter Stilllegung.

Bewertung der Indikatorwerte zum Nitratpotenzial

Die im Rahmen der Umsetzung der Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) in Wasserschutzgebieten Baden-Württembergs entnommenen Bodenproben zur Bestimmung des Nitratgehalts enthalten zu jeder Probe auch zusätzlich Informationen zum Standort. Sie geben die Auskunft über die Hauptfrucht des Vorjahres, über Mulch- oder Direktsaat, konventionelle Bestellung, über Zwischenfrüchte und ihre Handhabung, vorhergegangene organische Düngung und über die Bodenverhältnisse, sind aber in den Nitratberichten nicht differenziert für einzelne Kulturen dargestellt .

Die Untersuchungswerte geben für einzelne Kulturen ein Bild von den mittleren Nitrathinterlassenschaften in den Bodenprofilen bei ordnungsgemäßer Düngung in Wasserschutzgebieten, wo Beschränkungen bezüglich der einmaligen Menge (60 kg N) und der Gesamtmenge (Standard minus 20 %) bestanden.

Werte von 45 kg Nitrat/ha im Bodenprofil werden als tolerierbar angesehen, Werte >45 kg/ha gelten als Überschreitung und führen zu Verschärfungen der Auflagen bzw. zur Reduzierung von Ausgleichszahlungen für die Einhaltung von umweltschonenden Stickstoffdüngungsverfahren.

Für die Ökobilanzierung wurden diese Werte herangezogen, weil

- a) davon ausgegangen werden kann, dass ein entsprechendes Stickstoffmanagement im Sinne guter fachlicher Praxis möglich ist.
- b) weil die kulturartenspezifischen Risiken in den Zahlen gut zum Ausdruck kommen.

Bewertung der Indikatoren:

Kulturen mit *bereinigten* Werten bis 20 kg NO₃/ha (ca. 38 kg NO₃/ha Gesamtbelastung) können noch als grundwasserfreundlich angesehen werden. Hinterlassenschaften bis 40 kg NO₃/ha können als mittlere Grundwassergefährdung und Werte über 60 kg NO₃/ha als hohe Grundwassergefährdung eingestuft werden.

Tabelle 7-14: Gruppierung der bereinigten Nitratgehalte im Bodenprofil bezüglich der potenziellen Belastung von Grundwasser durch Nitrat aus landwirtschaftlich genutzten Böden (in Anlehnung an MLR 1989-1999)

Bereinigter Nitratwert Bodenprofil (NO ₃ (0-90 cm) in kg/ha)	Gefährdung des Grundwassers durch Nitratreintrag
0-10	sehr gering (natürliche Belastung)
10-20	geringe (tolerierbare) Grundwassergefährdung
20-40	mäßige Grundwassergefährdung
40-60	mittlere Grundwassergefährdung
>60	hohe Grundwassergefährdung

Nitratpotenziale und Optimierung von Anbauverfahren

Für die Optimierung der Anbauverfahren können die in den Nitratberichten über alle Kulturpflanzen gemittelten Richtwerte zur Nitratverminderung durch spezielle Kulturmaßnahmen herangezogen werden. Sie sind in den veröffentlichten Nitratberichten allerdings nicht mit der erforderlichen Differenziertheit ausgewiesen, so dass hier noch Handlungsbedarf zur Verbesserung des Indikators besteht.

Vorwinterliche Nitrathinterlassenschaft im Bodenprofil

Neben der Beschreibung des Status quo war es auch ein Ziel der vorliegenden Studie, Wege zur Optimierung von Anbauverfahren im Sinne der Nachhaltigkeit aufzuzeigen.

In Bezug auf die Nitratbelastungen kann dies durch die Variation der Anbauverfahren geschehen, sofern dies aus betriebswirtschaftlicher und pflanzenbaulicher Sicht machbar erscheint. Möglichkeiten zur Verminderung der Nitratgehalte bestehen zum Beispiel über Untersaaten, den Anbau von Zwischenfrüchten, die Erhöhung des Leguminosenanteils, Ersatz des Pflügens durch reduzierte Bodenbearbeitung, Änderungen des Düngeplans, der Fruchtfolge und über die Einarbeitung von Ernterückständen.

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

Düngerbemessung erleichtert wird (n. DUNKA 2000 zit. in INFODIENST LANDWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG, Stand 7.12.2000).

Für zahlreiche Kulturen liegen Messreihen zu den quantitativen Wirkungen verschiedener Anbau- bzw. Bodenbearbeitungsverfahren vor. Sie ermöglichen es, die mittleren Auswirkungen bestimmter Kulturmaßnahmen auf Erträge und Stickstoffhinterlassenschaft und damit ihr Potenzial zur Verminderung der Nitratbelastung zu bewerten. Sie lassen sich aber nicht beliebig addieren, weil sie in den Nitratberichten des MLR (1989-2000) über alle Anbauverfahren gemittelt sind. Durch ein Aufaddieren würde es zu einer Überschätzung der Wirkungen kommen. Die Werte aus den Nitratberichten lassen sich aber einzeln betrachtet gut als Richtwerte für die relative Wirksamkeit bestimmter Änderungen im Anbauverfahren verwenden. Ideal wäre, wie schon oben erwähnt, die Möglichkeit einer freien Abfragemöglichkeit zu diesen Daten aus einer Datenbank durch Kombination von Suchkriterien, weil damit auch Abfragen zur Wirksamkeit von Maßnahmenkombinationen und zur Wirkung in bestimmten Anbaugebieten oder Böden möglich würden. In Tabelle 7-15 sind einige Informationen zusammengestellt, die darüber Auskunft geben, welche Reduktionseffekte bei der Nitratbelastung mit welchen pflanzenbaulichen Maßnahmen zu erzielen sind.

Tabelle 7-15: Mittlere Reduktion der N_{min}-Werte auf landwirtschaftlich genutzten Böden durch spezielle Verfahren und Maßnahmen (Quelle: Nitratbericht MLR 1999, Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg, Stand 07.12.2000).

Verfahren/Verfahrensänderung	Ø Reduktion N _{min} (0-90 cm) in kg/ha
• Zwischenfrucht nach Getreide	-5 bis -12,5 kg/ha (Abschlag)
• Winterzwischenfruchtgemenge mit Leguminosen, im Frühjahr eingearbeitet (z.B. Landsberger Gemenge)	-5 kg/ha
• überjährige Kleezwischenfrucht mit Einarbeitung im Frühjahr (Schätzwert in Anlehnung an RUHE et al. 2001)	+5 kg (Zuschlag)
• Ersatz der Herbstfurche durch Mulchsaaten (Kraichgau, Pararendzina)	-15 kg/ha (Abschlag)

7.4.3.3 Phosphoreintragspotenzial in Oberflächengewässer

Wirkungskategorie:	Wasserqualität/Eutrophierung von Gewässern (Potenzielle Phosphorbelastung von Oberflächengewässern durch landwirtschaftliche Nutzung von Ackerböden)
Indikatortyp:	indirekt, standortunabhängig, schlagbezogen quantifiziert
Indikatorbezeichnung:	Phosphor-Eintragspotenzial (Phosphoreintragspotenzial in Oberflächengewässer)
Herleitung:	Der Phosphor-Austrag mit dem erodierten Oberboden wird mit einem Modellwert verknüpft (Sedimenteintragsverhältnis), der den Anteil bezeichnet, der in die Oberflächengewässer gelangt
Einheit:	kg Phosphor*ha ⁻¹ *Jahr ⁻¹

Problematik:

In natürlichen Ökosystemen sind die Gewässer arm an Phosphaten und als Folge davon auch relativ frei von Algen und frei lebenden Bakterien. Die Knappheit an Phosphat begrenzt damit das Wachstum von Organismen, die bei einem Überhandnehmen die biologische, ökologische und hygienische Qualität der Fließgewässer verschlechtern. Durch Phosphoreinträge aus Industrie, Haushalten und durch die Landwirtschaft wird dieses Gleichgewicht gestört, und die Qualität der Gewässer verschlechtert sich bezüglich der Nutzbarkeit durch den Menschen und als Lebensraum für höhere Organismen und Lebensgemeinschaften.

Phosphoreintrag aus Ackerflächen in Oberflächengewässer

Nach Zahlen des Umweltbundesamtes (UBA 1995 zit. in FREDE & DABBERT 1998) stellen Phosphoreinträge durch Bodenerosion - nur diese sind im Rahmen der Produktion nachwachsender Rohstoffe Gegenstand der Betrachtung - über 85 % der ackerbaulich bedingten Phosphoreinträge in die Fließgewässer dar. Daneben treten noch Belastungen durch Dränwasser,

Grundwasser (bedeutend auf Moor- und Sandböden) und Belastungen durch direkte Einleitungen auf (Gülle, Abspülungen, Abwässer, Sickersäfte).

Von den 50 % der diffusen Phosphoreinträge in deutsche Gewässer, die 1995 durch die Landwirtschaft verursacht wurden, ist also die erosionsbedingte Belastung mit Abstand die bedeutendste. FELDWISCH et al. (1998) bewerten deshalb den Bodenabtrag aus der Sicht des Gewässerschutzes kritischer als in seinen Auswirkungen auf die Produktivität der Böden. Aus Sicht der Oberflächengewässer stufen sie Erosionswerte bis 2 t/ha als sehr gering gefährdend, 4,0-6 t/ha als mittel gefährdend und Werte über 8 t/ha als potenziell hoch gefährdend für die Gewässer ein. Welche Belastungen durch diese auf Schlagebene auftretenden Erosionswerte tatsächlich entstehen, ist bei einer standortunabhängigen Betrachtung aber kaum vorhersagbar. Der Prozentsatz an erodiertem Boden, welcher die Fließgewässer und kleinen Seen als Sedimentfracht tatsächlich erreicht, hängt vom Boden, von der Intensität der Niederschläge, von Zeitpunkt und Art der Düngung, von der Landschaftsstruktur, dem Gewässernetz, den Grünflächenstreifen und Feldgehölzen entlang von Gewässern und nicht zuletzt von den P-Konzentrationen des erodierten Bodens ab (GRÜNIG & PRASUHN 2001; MORGAN 1999). Durch Ausbringung der Grunddüngung und unmittelbar folgende Einarbeitung lässt sich die Akkumulation hoher Konzentrationen an der erosionsgefährdeten Oberfläche vermeiden und die Phosphorfracht des erodierten Bodens verringern.

Die folgende Übersicht (Abbildung 7-35) nach BRAUN (2001) zeigt schematisch auf, wie Phosphorverluste von Ackerflächen zustande kommen bzw. vermindert werden können und welche Parameter Einfluss nehmen auf die potenzielle Gewässerbelastung.

Der Anteil des Bodens, der nach der Erosion von der Feldfläche in den Gewässern landet, wird als „Sedimenteintragsverhältnis“ (von „sediment delivery ratio“) bezeichnet oder auch einfach als „prozentualer Gewässereintrag“ (MORGAN 1999; GRÜNIG & PRASUHN 2001). Über seine Größe liegen wegen der komplexen Fragestellung wenige Untersuchungen vor. Nach MORGAN (1999) schwankt der Anteil global betrachtet zwischen 3 und 90 %, wobei der Prozentsatz, der die Gewässer erreicht, mit zunehmender Größe des betrachteten Einzugsgebiets kleiner wird (viele Sedimentationsmöglichkeiten, lange Wege, geringere Transportgeschwindigkeiten). Ökologisch wirksam sind aber schon die Phosphateinträge, die kleinräumig auftreten und kleine Bachläufe und Gräben belasten.

Parameter:

Gebietshydrologie
Boden
Topographie
Lage zum Einleiter



Standortbedingte Phosphorverluste

+

Bodennutzung
Betriebsstruktur
Pflanzenbauliche Verfahren
Schutzmaßnahmen



Bewirtschaftungsbedingte Phosphorverluste

+

Niederschlagsereignisse
Bodenzustand
Düngung



Austragungs- und ereignisbedingte
Phosphorverluste



Gesamte Phosphorverluste
=
Risiko für Gewässerbelastung mit Phosphor

Abbildung 7-35: Modell zur Verknüpfung der Gewässerbelastung mit der Landwirtschaft (verändert nach BRAUN 2001; gesperrt gedruckte Variablen sind durch ackerbauliche Maßnahmen beeinflussbar).

Formulierung des Modells und Annahmen

GRÜNIG & PRASUHN (2001) ermittelten in einem 360 ha großen Einzugsgebiet mit etwa 75 % Ackerland und 15 % Grünland westlich von Bern ein Sedimenteintragsverhältnis von 18 %. In Vorstudien zwischen 1987-1989 waren 10-20 % ermittelt worden. Für die Schätzung der Gewässerbelastung wird im Folgenden von einem Modellwert von 15 % ausgegangen.

Bei der Berechnung der potenziellen Gewässergefährdung ist außerdem zu beachten, dass der Erosionsprozess selektiv verläuft. Kleine Bodenteile, Humuskolloide, Schluff, Feinsand und Ton werden leichter abgetragen und sind in den Sedimenten angereichert. Da Phosphate und organisches Phosphor aber vor allem an diese Teilchen gebunden sind, kommt es relativ zum Ausgangsboden auch zu einer höheren Phosphorkonzentration in den Sedimenten. Nach Untersuchungen von AUERSWALD (1989, 1991 zit. in FREDE & DABBERT 1999) verläuft die Selektivität nicht streng linear, sondern lässt sich für süddeutsche Ackerböden mit der folgenden Formel beschreiben:

$$P_a = A^{0,79} * P_{konz} * AR * 10$$

Dabei ist:

P_a	=	Phosphorabtrag (kg/ha* Jahr)
A	=	Bodenabtrag (t/ha* Jahr)
P_{konz}	=	Phosphorkonzentration des Bodens (P_{gesamt}) in Prozent
AR	=	Anreicherungsfaktor
		$AR = \text{Konstante } 2,53 * A^{-0,21}$ (siehe Tabelle 7-16)
10	=	Korrekturfaktor zur Darstellung der richtigen Einheit

Tabelle 7-16: Beziehung zwischen jährlicher Bodenerosion und der mittleren Anreicherung von Phosphor (AR) im Bodenabtrag.

A (Erosion in t/ha*a)	Anreicherungsfaktor für Phosphorgehalt gegenüber dem Ackerboden (AR= 2,53*A ^{-0,21})
2	2,19
3	2,01
4	1,89
5	1,80
6	1,74
7	1,68
8	1,63
9	1,59
10	1,56
11	1,53
12	1,50
13	1,48
14	1,45
15	1,43

Für die Ackerböden Baden-Württembergs können mittlere Erosionswerte von 4-5 t/ha als relativ repräsentativ gelten (GÜNDRA et al. 1995), und es treten außerdem je nach Bodenart und Bodentyp noch starke Schwankungen auf. Zur Vereinfachung des Schätzverfahrens könnte deshalb u.U. auch ein mittlerer Anreicherungsfaktor von 1,8 für weitere Berechnungen in Betracht gezogen werden. Wie eine Sensitivitätsanalyse ergab, würden sich dadurch mit den verwendeten Modellannahmen aber im Bereich der Bodenabtragswerte von 1 bis 15 t/ha im unteren Bereich Unterschätzungen der P-Belastung von 30 % und im oberen Bereich Überschätzungen von etwa 25 % ergeben. Da dies nicht mehr zu vernachlässigende Abweichungen sind, wurden die Werte für die Gewässerbelastung deshalb anhand der exakten Formel ermittelt.

Als mittlerer P Gehalt des Bodens werden 0.06 % P_{gesamt} angenommen:.

Der Wertebereich liegt bei Ackerböden etwa zwischen 0,1 % (sehr hohe Gehalte) und 0,02 % (niedere P_{gesamt}-Gehalte). Nach Angaben der LUFA-Augustenberg (2000) sind 43 % der Ackerböden in Baden-Württemberg der mittleren Versorgungsstufe C zuzuordnen, 27 % liegen darunter und 30 % darüber.

Für reines pflanzenverfügbares Phosphat, das auch in Gewässern schnell wirksam wird, dessen Gehalte aber deutlich niedriger liegen als die für die Berechnung herangezogenen Werte an Gesamtphosphor, entspricht dies bei mineralischen Ackerböden 13-24 mg Phosphat ($P_2O_5/100$ g Boden) und damit 0,2 kg/t Ackerboden).

Abschätzung der potenziellen Gefahr der Gewässereutrophierung durch ackerbaulich bedingte Phosphateinträge:

Ähnlich wie bei der Bodenerosion sind quantifizierbare, absolute Werte auf Schlagebene nicht exakt zu ermitteln, weshalb für die Wirkungskategorie Gewässereutrophierung ebenfalls, ausgehend von einer Modellsituation, ein quantitativer Schätzwert ermittelt wird.

Hierbei wird aufbauend auf den bisherigen Ausführungen von folgendem Szenario ausgegangen:

**Rechenvorschrift: Phosphor-Eutrophierungspotenzial
(von Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe)**

Phosphoreintragspotenzial in Oberflächengewässer(kg P/ha* Jahr)

P_E (kg Phosphor *ha ⁻¹ *Jahr ⁻¹)	=	$A^{0,79} * P_{konz} * AR * 10 * SEV$
------------------------------------------------------------	---	---------------------------------------

$$P_a \quad (\text{P-Austrag}) \quad = A^{0,79} * (P_{konz} * AR * 10)$$

$$P_E \quad (\text{P-Eintrag}) \quad = A^{0,79} * (P_{konz} * AR * 10) * SEV$$

Wobei:

A= Bodenerosion in t/ha *a= ermittelte Werte der Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe

(Indikator: Bodenerosionspotenzial in t/ha*a)

$$P_{konz} \text{ (P-Gehalt des Bodens)} = 0,06 \%$$

$$AR \text{ (Anreicherungsfaktor)} = \text{Konstante } 2,53 * A^{-0,21}$$

10 (Korrekturfaktor zur Darstellung der richtigen Einheit)

$$SEV \text{ (Sedimenteintragsverhältnis)} = 0,15 \text{ (15 \%)}$$

Abbildung 7-36 zeigt noch einmal in schematischer Form die Herleitung des schlagbezogen (für Einzelfeldbetrachtungen) entwickelten verfahrensabhängigen Indikators „Phosphor-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer“.

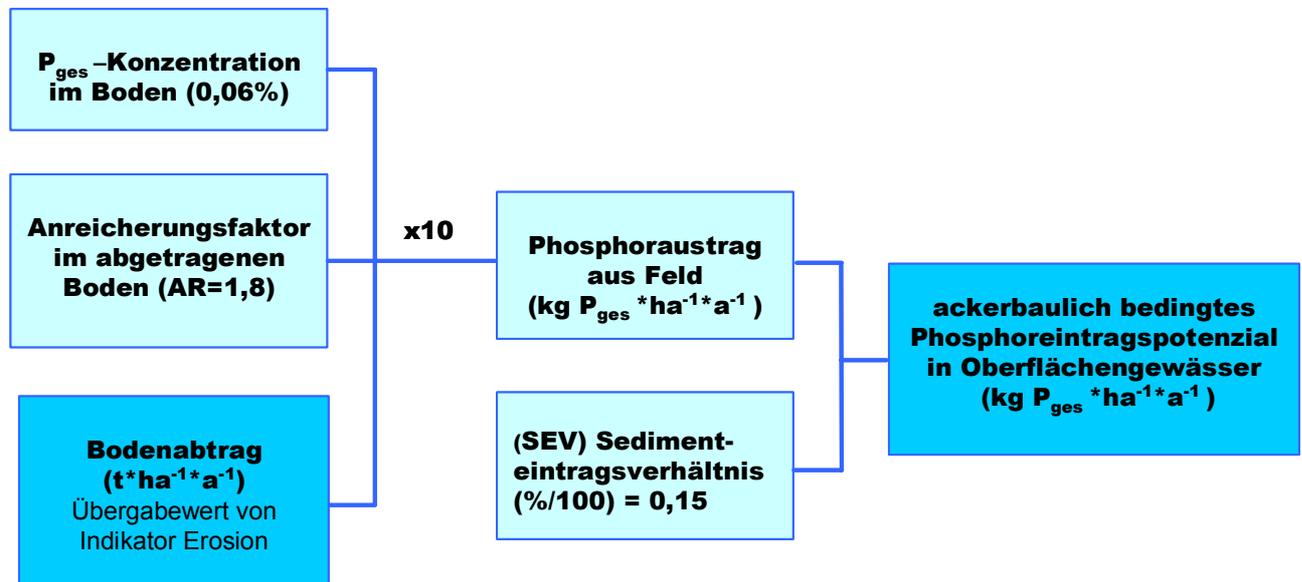


Abbildung 7-36: Schematische Übersicht zur Herleitung des Indikators „P-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer“ mit Beispielswert 1,8 für den Anreicherungsfaktor von P im Bodenabtrag und einem angenommenen Sedimenteintrag in Gewässer von 15 %.

Für die Erosionswerte der Sonnenblumenfruchtfolgen ergeben sich damit beispielhaft die in Tabelle 7-17 aufgeführten Eutrophierungspotenziale.

Beispielrechnungen zum Indikator:

Tabelle 7-17: Phosphoreintragspotenzial in Oberflächengewässer pro Hektar für verschiedene Fruchtfolgen.

Fruchtfolge	Bodenabtrag (t *ha ⁻¹)	P _a (P-Austrag) (kg P _{gesamt} *ha ⁻¹ *Jahr ⁻¹)	P _e (P-Eintrag) (kg P _{gesamt} *ha ⁻¹ *Jahr ⁻¹)
Konv. ohne nawaRo	6,9	4,65	0,70
Konv. mit HO-Sonnenblumen	9,5	5,92	0,84
Öko ohne nawaRo	6,4	4,33	0,67
Öko mit HO-Sonnenblumen	10,7	6,5	0,90

Wie zu erwarten war, verlaufen die Werte weitgehend parallel zum Erosionsgeschehen; durch den selektiven Austrag aber nicht ganz linear. Die relative Belastung gegenüber dem Bodenabtrag ist bei niedrigen Erosionswerten relativ höher, bei hohen Bodenabtragswerten relativ geringer. Auch für diesen Indikator gilt, dass er in seiner absoluten Größe nur bedingt aussagekräftig ist. Er besitzt aber für relative Vergleiche zwischen Fruchtfolgen durchaus Aussagekraft.

Zur Optimierung der Anbauverfahren stehen grundsätzlich alle schlagbezogen wirksamen Techniken des Erosionsschutzes zur Verfügung, darüber hinaus spielt aber auch die vom Düngermanagement abhängige Konzentration von Phosphat an der Bodenoberfläche eine Rolle.

Die standortbedingten Phosphorverluste (Abb. 7-36) entziehen sich dagegen der Einflussnahme auf Schlagebene und verlangen nach Optimierung der Umweltfreundlichkeit durch landschaftsgestalterische Elemente (z.B. Schaffung von Sedimentationsenken etc.) und können deshalb nur in einer standortbezogenen Bewertung in Optimierungsstrategien (Verringerung des Sedimentaustrags) berücksichtigt werden.

7.4.3.4 Bodenverdichtungspotenzial (BVP)

Wirkungskategorie:	Bodenschutz/Bodenfunktionen
Indikatortyp:	indirekt, standortunabhängig, quantifiziert
Indikatorbezeichnung:	Bodenverdichtungspotenzial (BVP)
Herleitung:	Verknüpfung der Daten zum Maschineneinsatz in den Produktionsverfahren, Maschinengewichten und deren Einsatzdauer
Einheit:	$t \cdot h \cdot ha^{-1}$ (Tonnenstunden/ha)

Problematik:

Eine fachgerechte und bodenschonende Bewirtschaftung hat nach Grundsätzen der guten fachlichen Praxis zu erfolgen, wie sie in § 7 des Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) formuliert sind. Für deren Umsetzung stehen vielfältige produktionstechnische Maßnahmen und Techniken zur Verfügung, die allerdings Verdichtungen des Bodens durch hohe Radlasten und häufiges Befahren nicht ausschließen.

Kommt es zu Bodenverdichtungen, so hat dies negative Auswirkungen auf die Bodenfunktionen: Ertragsfunktion bezüglich Pflanzenwachstum, Filterfunktion, Pufferfunktion und Lebensraumfunktion (Bodenlebewesen). Sie müssen deshalb in Anbetracht der Trends zu höheren Achslasten als potenzielle Bedrohung der Nachhaltigkeit gesehen werden (ORTMEIER & SOMMER 2000). Wie die Zusammenstellung in Tabelle 7-18 zeigt, besteht ein deutlicher Trend zu leistungsstärkeren und damit auch schwereren Maschinen mit höheren Radlasten. Während ein Schlepper mit 50 kW ohne zusätzliche Ballastierung rund 1.000 kg auf dem Hinterrad abstützt, steigen die Radlasten bei 250 kW auf bis auf 2.800 kg und erreichen bei der zulässigen Radlast Werte bis 5.000 kg (WEIßBACH 2001).

Tabelle 7-18: Entwicklung der Schlepperzulassungen nach Leistungsklassen zwischen 1990 und 1998 (WEIBBACH 2001).

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

Bodenverdichtungen auf Ackerflächen

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

Der Parameter Bodendichte (g/cm^3) beschreibt die Verdichtungen nur unzureichend, denn je
nach Boden können die funktional entscheidenden Parameter, wie etwa die Relation von Bo-
denwasser/-luft, Porengrößenverteilung etc., recht verschieden sein. Außerdem liegen Daten
zur Veränderung der Bodendichten in Abhängigkeit von Produktionsverfahren nicht vor.

Böden reagieren je nach Bodenzustand, Durchwurzelung und Bodenfeuchte sehr unterschied-
lich auf mechanische Einflüsse, so dass zur Variabilität des Bodens die Variabilität des Bo-
denzustandes hinzu tritt. Es liegt auf der Hand, dass unter solchen Bedingungen eine standort-
und situationsunabhängige Bewertung der Produktionsverfahren im Bezug auf die Bodenver-
dichtung nur schwer möglich ist. Auch das elastische Rückstellvermögen unterschiedlicher
Böden ist situationsunabhängig kaum zu bewerten. Indikatoren müssen sich deshalb bei der
Ökobilanzierung auf standortunabhängige, aussagekräftige Parameter stützen.

Ausgehend von der einfachen Überlegung, dass mit zunehmender summarischer Belastung
(Strecke und Dauer der Fahrzeugbewegungen auf dem Feld, Gewicht der Fahrzeuge) das Ri-
siko von Verdichtungen ansteigt, schlagen DOMSCH et al. (2000) die „Belastungsgrößen“
 $t \cdot h/\text{ha}$ oder $t \cdot \text{km}/\text{ha}$ als Indikatoren vor.

Die Gestaltung des Fahrwerkes könnte standortunabhängig auch noch in die Bewertung ein-
fließen, wurde aber hier wegen noch fehlender Praktikabilität nicht berücksichtigt. Darin ge-
hen die Anzahl der Räder mit den jeweiligen Radlasten, eine Bezugsradlast, der Reifenin-
nendruck und ein Bezugs-Reifeninnendruck für die Feldfahrzeuge ein. Sie bestimmen zu-
sammen mit der Wahl der Reifenart und Reifenbreite weitgehend wie die Belastung auf den
Boden übertragen wird und damit auch das Ausmaß der tatsächlichen Schädigung, das durch
das „Bodenverdichtungspotenzial“ ($t \cdot h/\text{ha}$) entstehen kann RKL (2001).

Der Indikator „Bodenverdichtungspotenzial“ gibt also keine Auskunft über die im Einzelfall
tatsächlich auftretende Schädigung, sondern quantifiziert ein Schädigungspotenzial und deutet

damit auf Schwachstellen und auf eventuell nötigen Handlungsbedarf bei den einzelnen Produktionsverfahren hin.

Ermittlung des Verdichtungspotenzials

Das Bodenverdichtungspotenzial wird aus der *Dauer* der Fahrzeugbewegungen auf dem Feld und dem *Gewicht* der Schlepper und Landmaschinen errechnet.

In der Verfahrensbeschreibung zu den Kulturen nachwachsender Rohstoffe sind für die einzelnen Arbeitsgänge bereits die *Schleppertypen* und die sonst *benötigten Landmaschinen* (Düngerstreuer, Egge, Mähdrescher etc.) angegeben.

Außerdem sind zu jedem Arbeitsschritt die *Arbeitszeiten pro ha* angegeben, so dass der Indikator „Bodenverdichtungspotenzial“ ($t \cdot h/ha$) unmittelbar aus den Grunddaten des neu zu ermittelnden Gewichtes und Gewicht und den bekannten Arbeitszeiten/ha abgeleitet werden kann.

Bei der Berechnung wurde wiederum vom „Modellstandort Baden-Württemberg“ mit einer Schlaggröße von 2 ha ausgegangen.

Schleppergewicht

Für die Verfahrensbeschreibung wurde angenommen, dass für den mittleren Betrieb in Baden-Württemberg drei Schlepper mit 50, 90 und 120 PS zur Verfügung stehen. Deren mittlere Gewichte wurden anhand eines Sonderheftes „Traktoren im Überblick“ des dlz- agrarmagazin¹³ ermittelt.

Tabelle 7-19: Mittleres Gewicht von Ackerschleppern.

Schlepper/Nennleistung/Ausführung	mittleres Gewicht *)
Schlepper 37kW/50PS/Hinterradantrieb	2.362 kg
Schlepper 66kW/90PS/Allrad	3.672 kg
Schlepper 88kW/120PS/Allrad	4.594 kg

*) Gewichte aller Standard-Ausführungen der entsprechenden PS-Klasse gemittelt.

Bei 50 PS-Schleppern wurden nur Ausführungen mit Hinterradantrieb berücksichtigt, bei 90- und 120 PS-Schleppern nur Allrad-Ausführungen; die Gewichtsangaben sind inklusive halbvollem Kraftstofftank.

¹³ BLV VERLAGSGESELLSCHAFT mbH [Hrsg.] (2001): Traktoren im Überblick. - dlz agrarmagazin 51, 54-115, München

Gewichte der Landmaschinen

Die verwendeten Maschinen und Gerätegewichte wurden der CD-Rom von „*top agrar profi*“ „Landmaschinenkatalog 2001“ entnommen. Es wurden die Gewichte der Maschinen des benötigten Typs, der entsprechenden Arbeitsbreite mit dem entsprechenden Vorratstankinhalt usw. gemittelt.

Bei gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Bodenbearbeitung wurde kein Gewicht hinzugerechnet, da sie nicht als Last auf den Boden wirken und zur Lockerung des Oberbodens eingesetzt werden. In diesen Fällen wurden nur die Gewichte der Zugmaschinen bei der Berechnung des Indikators berücksichtigt.

Bei Maschinen mit Vorratstankinhalt wurde standardmäßig das Gewicht inklusive halbvollem Tank berechnet. In Fällen, bei denen die für 2 ha benötigte Menge kleiner war als der Vorrat, wurde nur die halbe Menge an Ernte-, Düngemittel- und Spritzmittelmengen berücksichtigt.

Das Gewicht der Mähdrescher ist inklusive halber Kraftstofftank- und Vorratstankfüllung. Für die Berechnung der Tankfüllungen wurden die in Tabelle 7-20 angegebenen Dichten bzw. Hohlraummaße verwendet.

Beim Mähdrusch wurde in der Regel davon ausgegangen, dass die zum Abtransport benötigten Anhänger am Feldrand beladen werden. Daher geht deren Gewicht nicht in die Berechnung des Bodenverdichtungspotenzials mit ein.

Für den Hanfanbau sind noch kaum Maschinen im Handel. Daher wurden die Gewichte der entsprechenden Maschinen für Grünland (Wender, Schwader) und für Stroh (Quaderballenpresse) verwendet. Für die Ernte wurde eine 240 PS Mähdrescher angenommen. Für das Gewicht des Hanf-Schneidwerks wurde gegenüber einem Getreideschneidwerk mit einem Zuschlag von 500 kg gerechnet (pers. Information des Konstrukteurs, Herrn Götz).

In der folgenden Tabelle 7-20 sind einige der landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte mit ihren durchschnittlichen Gewichten für die Berechnung des Verdichtungspotenzials zusammengestellt. Gezogene, bodenlockernde Geräte wurden als nicht bodenverdichtend eingestuft. Ihr Eigengewicht wurde nicht in bei der Berechnung des Indikators berücksichtigt.

Tabelle 7-20: Landwirtschaftliche Geräte und deren Gewicht zur Berechnung des Verdichtungspotenzials (zusammengestellt nach „top agrar profi“ „Landmaschinenkatalog 2001“ und anderen Quellen).

Geräte/ Gerätetyp	Gewicht
Sämaschinen	
Integrierte Kreiseleggen-Säkombination	-
Einzelkornsägerät 4R	700 kg
Einzelkornsägerät 6R/ pneum. Saatguteinzelung	940 kg
Maschinen zum Düngen, Spritzen und Kalken	
Düngerstreuer 10-36 m/1000 l	274 kg
Kalk- Großbehälterstreuer 18 m/3500 l	1.900 kg
Pflanzenschutzspritze 12-28 m/800 l	488 kg
Güllewagen 10 m ³ /Vakuumfass	3.702 kg
Mistdüngerstreuer 7,4 m ³ /6 t	1.758 kg
Erntemaschinen	
Mähdrescher 3-4,8 m/4.000 l/ Strohhäcksler mit Getreideschneidwerk	7.606 kg
Mähdrescher 3 m/4.000 l/4R mit Pflücker f. Mais/Sonnenblume	7.637 kg
Mähdrescher 3-4,8 m/4.000 l mit Rapsvorsatz	8.193 kg
Mähdrescher 3-4,8 m/7.200l mit Hanfdreschvorsatz	13.261
Bodenbearbeitungsmaschinen	
Walze 3 m	855 kg
Cambridgewalze 6 m	2.899 kg
Mulchgerät 3 m	1.032 kg
Egge, Kulturegge	-
Schwergrubber	-
Striegel	-
Hacksterngerät	-
Drillmaschine	-
Saatbettkombination	-
Mechanische Hacke	-
Pflug (mit Packer)	-
Fräse	-
Sonstige	
Wender/Kreiselheuer 3-4 m	295
Schwader 6,0-6,4 m	1.190
Quaderballenpresse 1,2 m breite Ballen	7.133
Anhänger 8 t/5,8 t Zuladung	2.200

Die Berechnung der Transportgewichte erfolgte anhand der Werte der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 7-21: Hohlraummaße und Dichten für die Berechnung der Zuladungen landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte.

	mittl. Dichte	verwendete Quellen-
Mais	0,70 kg/l	¹⁴
Weizen	0,77 kg/l	3
Gerste	0,61 kg/l	3
Raps, Hanf	0,79 kg/l	3
Gülle	1,1 kg/l	¹⁵
Dünger (Kalkammonsalpeter/NPK-Dünger)	1 kg/l	3
Pflanzenschutzmittel (wässrige Lsg.)	1 kg/l	4
Kalk	1,75 kg/l	3
Extraktionsschrot	0,7 kg/l	4
Diesel	0,88 kg/l	¹⁶

Bestimmung des Bodenverdichtungspotenzials

Das *Gesamtgewicht* wurde, unter Beachtung der genannten Ausnahmen für Bodenbearbeitungsgeräte, aus dem Gewicht der Landmaschine plus dem Gewicht des dafür benötigten Schleppers berechnet. Bei Selbstfahrern (Maschinen mit Eigenantrieb) ergibt sich das Gewicht direkt.

Vorgehen: Wie Abbildung 7-37 grafisch dargestellt, wurde zunächst für jeden Arbeitsgang das Bodenverdichtungspotenzial aus dem *Gesamtgewicht multipliziert mit der Maschinenarbeitszeit/ha* (Mh/ha) errechnet. Die *Summe der so errechneten Verdichtungspotenziale* aller Arbeitsgänge wurde dann zum *Bodenverdichtungspotenzial* pro Fruchtfolgeglied (Produktionsverfahren) zusammengefasst. Im nächsten Schritt wurden die Bodenverdichtungspotenziale aller Fruchtfolgeglieder für die Fruchtfolgen - a) mit nachwachsendem Rohstoff und b) ohne nachwachsenden Rohstoff - zum Gesamtverdichtungspotenzial der Fruchtfolgen zusammengefasst. Analog zum Vorgehen bei den anderen Indikatoren und bei der Ökobilanzierung (Kap 7.3) wurde dann in einem abschließenden Schritt die Differenz aus den Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsendem Rohstoff gebildet. Negative Werte weisen Vorteile (weniger potenzielle Bodenverdichtung) für den nachwachsenden Rohstoff gegenüber der Stille-

¹⁴ Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau (1983)

¹⁵ angenommen

¹⁶ E DIN 51606 - Dieselmotoren

gung aus, positive Werte bezeichnen mehr Bodenverdichtungsrisiken durch den Anbau der nachwachsenden Rohstoffe.

Da die Ackerflächen in den Fruchtfolgen in der Regel nur ein Jahr für den nachwachsenden Rohstoff genutzt werden, ergeben sich die Differenzen bei nahezu allen Rohstoffen aus der Differenz gegenüber Stilllegung in diesem Jahr (plus eventuell sich ergebender Änderungen der Verfahren davor und danach infolge der nachwachsenden Rohstoff Kultur). Um nun bei mehrjährigen Kulturen wie Miscanthus(15 Jahre) und Fasernessel (10 Jahre) die Unterschiede gegenüber annuellen Kulturen nicht vielfach überhöht darzustellen, wurde bei diesen Kulturen die Differenz der Fruchtfolgen abschließend noch durch die Anzahl der Nutzungsjahre geteilt. Dadurch wird auch für die Dauerkulturen die Differenz ausgewiesen, die durch ein Jahr des nachwachsenden Rohstoff-Anbaus gegenüber einer Stilllegung bzw. Offenhaltung entsteht.

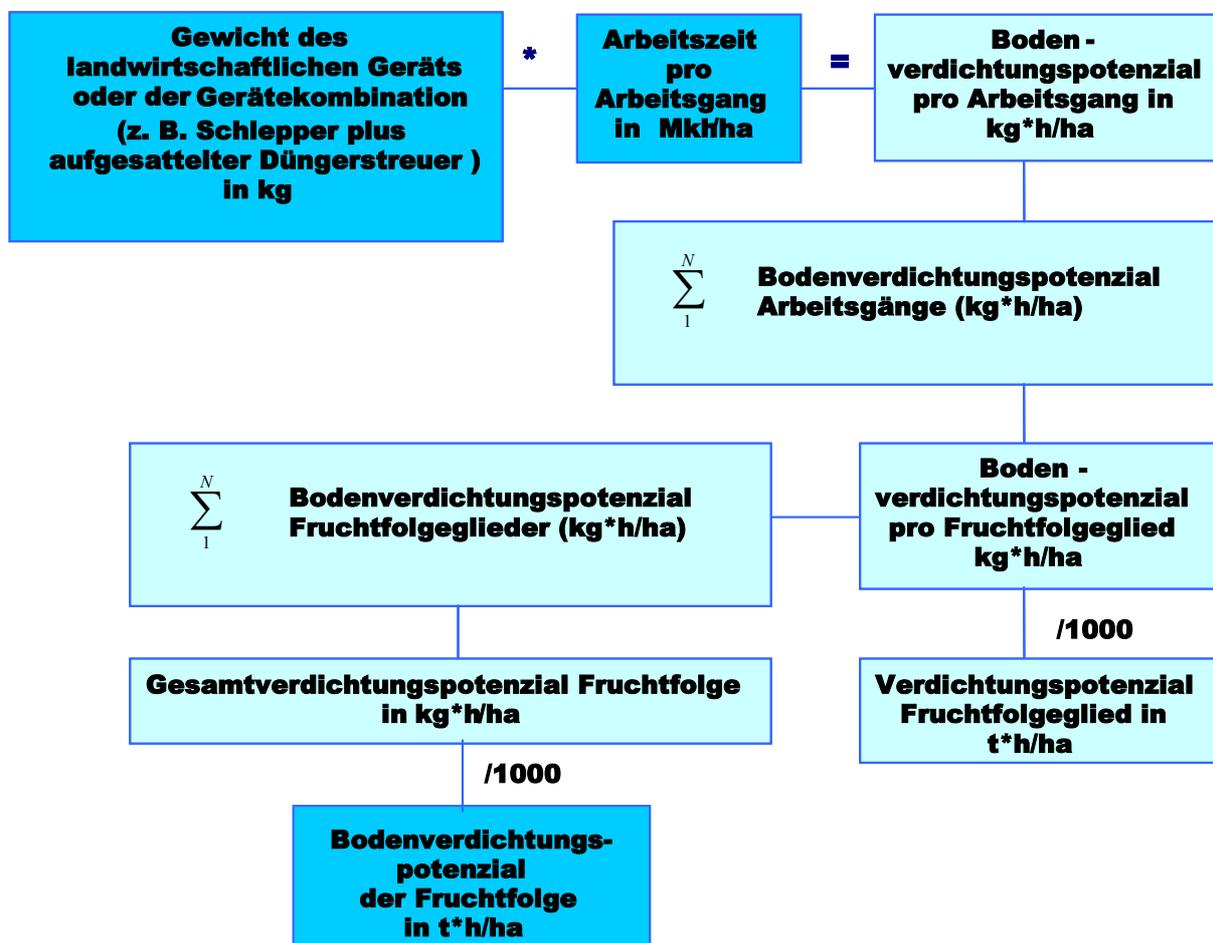


Abbildung 7-37: Schematische Darstellung zur Herleitung des Indikators „Bodenverdichtungspotenzial“.

In Tabelle 7-22 ist die Berechnung des Bodeverdichtungspotenzials beispielhaft für das Produktionsverfahren Winterweizen dargestellt..

Abbildung 7-38 zeigt die Zusammenstellung der Werte für die Fruchtfolgen zur Erzeugung von hoch-ölsäurehaltigen Sonnenblumen und die Referenzfruchtfolge ohne den nachwachsenden Rohstoff (mit begrünter Stilllegung durch Weidelgras).

Gegenüber der Stilllegung ergibt sich in diesem Beispiel durch die Produktion des Sonnenblumenöls eine Erhöhung des Verdichtungspotenzial um $14,651 \text{ t} \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1}$. Der Wert lässt sich schon allein durch den Einsatz des Mähdreschers erklären, der bei Stilllegung nicht zum Einsatz kommt. Die Differenz ist damit nicht auf Verfahrensmängel, sondern auf unvermeidbar mit dem Anbau verbundene Risiken zurückzuführen.

Beispiel für die Ermittlung des Verdichtungspotenzials

Tabelle 7-22: Ermittlung des Bodenverdichtungspotenzials am Beispiel des Fruchtfolgeglieds Winterweizen.

Arbeitsgang Art der Feldarbeit	Schlepper typ	Akh /ha	Schlepper kg	Gerät kg	Zula- dung	Gesamt. Gew. kg	Boden- verd. Poten- zial
Kreisel DNG-Streuer 1000 l 0,6 t	50 PS/H	0,43	2.362	274	500	3.136	1.348,5
4Schar Drehpflug 1,4 m, mit Packer	120 PS/A	1,7	4.594			4.594	7.809,8
Kultiegge 4 m	90 PS/A	0,55	3.672			3.672	2.019,6
Kreiseleggen-Drillsaat 3 m	120 PS/A	1,3	4.594			4.594	5.972,2
K.-DNG-Streuer 1000 l 0,3 t	50 PS/H	0,22	2.362	274	300	2.936	645,9
Pfl.-schutzspritze 12 m 400 l/ha	50 PS/H	0,47	2.362	488	400	3.250	
Kreisel DNG-Streuer 1000 l 0,3 t	50 PS/H	0,22	2.362	274	300	2.936	645,9
Kreisel DNG-Streuer 1000 l 0,3 t	50 PS/H	0,22	2.362	274	300	2.936	645,9
Pfl.-schutzspritze 12 m, 400 l/ha	50 PS/H	0,56	2362	488	400	3250	1820,0
Mähdrusch 3 m mit Anbauhäcksler	100 PS	1,7		7.606	1.540	9.146	15.548,2
Transport und Abkippen 75 dt/ha	120 PS/A	0,25					
Stroh einarbeiten Schwergrubber 3 m	120 PS/A	0,68	4.594			4.594	3.123,9

SUMME

(Bodenverdichtungspotenzial

Fruchtfolgeglied in kg*h/ha)

34.694,8

Bodenverdichtungspotenzial (BVP) für HO-Sonnenblume

HO- Sonnenblume (konventionell, gute fachliche Praxis)

Bezug: pro Kultur / Vegetationszyklus und pro ha

mit nachwachsendem Rohstoff

Anbau- zyklus	Pflanze	BVP kg* Mh /ha
1	HO-Sonnenblume	36,191
1	Kalkung Fruchtfolge	2,936
2	Winterweizen +nachfolgend Zf	34,694
2	Zwischenfrucht Phazelia	5,972
3	Körnermais	36,063
4	Winterweizen +nachfolgend Zf	34,694
4	Zwischenfrucht Phazelia	5,972
		0
		0
		0
	Summe	156,523

Standard: Stilllegung mit Begrünung

Bezug: pro Kultur / Vegetationszyklus und pro ha

ohne nachwachsenden Rohstoff

Anbau- zyklus	Pflanze	BVP kg* Mh /ha
1	W. Weidelgras (Stilllegung)	21,099
1	Kalkung Fruchtfolge	2,936
2	Winterweizen + nachfolgend Zf	41,107
2	Zwischenfrucht Phazelia	5,972
3	Körnermais	36,063
4	Winterweizen +nachfolgend Begrünung	34,694
		0
		0
		0
		0
	Summe	141,872

Abbildung 7-38: Ermittlung des BVP (Bodenverdichtungspotenzial) anhand der Fruchtfolglieder für ein Feld mit nachwachsendem Rohstoff und für die Referenzfruchtfolge mit Stilllegung.

7.4.4 Beschreibung und Herleitung der qualitativen Indikatoren

7.4.4.1 Aufgabenstellung

Mit der Verabschiedung des neuen Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) am 01.02.02. wurden in Ergänzung zu den bereits gesetzlich geregelten Vorgaben zur „guten fachlichen Praxis“ der Landwirtschaft in der Düngung beim Boden- und Pflanzenschutz auch erstmals Mindeststandards aus Sicht des Naturschutzes festgelegt.

Mit dem Gesetz wird der Tatsache Rechnung getragen, dass landwirtschaftliche Aktivitäten auf ca. 50 % der Gesamtfläche in Deutschland den Landschaftshaushalt in starkem Maß beeinflussen und wichtige anthropogen geprägte Biotope hervorgebracht haben. Für ackerbau-lich genutzte Flächen wird in § 5 BNatSchG deshalb unter anderem gefordert, dass die Nutzung standortangepasst und unter Ausschluss vermeidbarer Beeinträchtigungen von Biotopen zu erfolgen hat. Die Standortausstattung, zu der neben Boden und Wasser auch Flora und Fauna gehören, soll nicht stärker belastet werden als dies zur Erzielung eines nachhaltigen Ertrages notwendig ist.

Ergänzend zum Anspruch einer möglichst umfassenden Charakterisierung nachwachsender Rohstoffe in ökobilanziellen Verfahren (KALTSCHMITT & REINHARDT 1997) ist damit auch von gesellschaftlicher Seite die Forderung formuliert, die Bereitstellung nachwachsender Rohstoffe auf natur- und landschaftsschützerische Ziele hin zu charakterisieren.

Zielsetzung

Für die betrachteten acht nachwachsende Rohstoff-Kulturen leitet sich daraus die Aufgabe und das Ziel ab, diesbezüglich qualitative Urteile oder Prognosen zum Anbau von Rohstoffen zu erstellen. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wird deshalb der Versuch unternommen, Aussagen zu machen zu den potenziellen Wirkungen der nachwachsenden Rohstoffe auf

- Landschaftsbild,
- Artenvielfalt
- und Bodenleben vorzunehmen.

Die Wirkungsprognosen sollen sachlich begründet und nachvollziehbar sein und stützen sich dabei (s.o.) vorwiegend auf die schlagbezogene und standortunabhängige Charakterisierung von Produktionsverfahren.

In Übereinstimmung mit dem Bilanzierungsansatz für die konventionellen Wirkungskategorien (Kap. 7.3) und die quantitativen Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung (z.B. Kap. 7.4.3.1) wurde auch bei den qualitativen Indikatoren von einer Modellackerfläche mit 2 ha Größe ausgegangen. Die nachwachsenden Rohstoffe werden dabei innerhalb einer Fruchtfolge alternativ zur Einsaat von Stilllegungsflächen mit Weidelgras (Referenzsystem) angebaut und bewertet. Einjährige nachwachsenden Rohstoffe ersetzen einjährige Stilllegungen mit zweimaligem Mulchen im Juni und Oktober, mehrjährige nachwachsenden Rohstoffe ersetzen mehrjährige Stilllegungsflächen (10-15 Jahre) mit einmaligem jährlichem Mulchen im August.

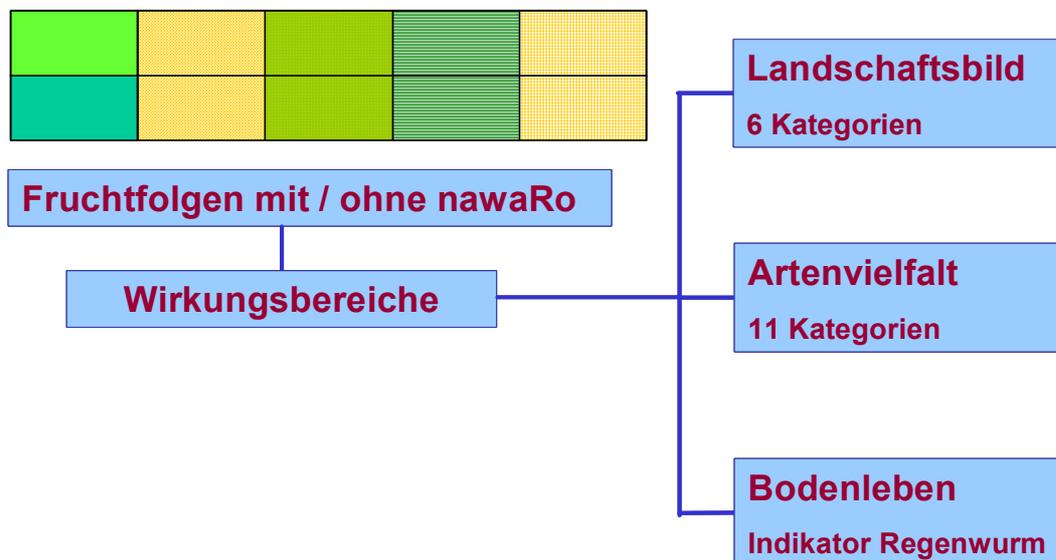


Abbildung 7-39: Ableitung qualitativer Indikatoren zur Güte der Flächenbeanspruchung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe in einer erweiterten ökobilanziellen Betrachtung über Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsenden Rohstoff (Erläuterungen in den Kapiteln 7.4.4.2 bis 7.4.4.4).

Kontext

Den Hintergrund bilden die Verhältnisse in Baden-Württemberg (Systemgrenzen), wo die Landnutzung zwischen 1950 bis in die 90er Jahre durch die Abnahme landwirtschaftlicher Fläche insgesamt und die Zunahme des Anteils von Ackerflächen an der landwirtschaftlichen

Nutzfläche gekennzeichnet ist. Zwischen 1991 und 1999 nahmen die Ackerflächen auch absolut zu (Tabelle 7-23). Die 60 % Ackerfläche, denen rein flächenbezogen eine zunehmende Bedeutung für das Landschaftsbild und die Artenvielfalt zukommt, waren 1999 überwiegend mit wenigen, noch wettbewerbsfähigen Kulturen bestellt. Dies waren zu 63 % Getreidearten, unter denen Weizen mit 40 % gegenüber Gerste mit 35 % und Mais mit ca. 20 % eine dominierende Rolle einnimmt (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 1998 und 2001).

Tabelle 7-23: Veränderung der ackerbaulichen Flächennutzung in Baden-Württemberg von 1950 bis 1999 (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 1998 und 2001; gerundet auf 100 ha).

	1950	1999	Zu- (+)/Abnahme (-)
Landwirtschaftliche genutzte Fläche (LN) [ha]	1.970.200	1.406.800	-563.400 -29 %
Ackerland [ha]	1.062.800	849.500	-213.300 -20 %
Anteil des Ackerlandes an der gesamten LN	54 %	60 %	+6 %

Tabelle 7-24: Getreide-Anbauflächen in ha auf dem Ackerland in Baden-Württemberg 1999 (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 2001).

Ackerland	Getreide (mit Körnermais/ Corn-Cob-Mix)	Weizen	Roggen	Wintergerste	Sommergerste	Hafer
849.547	538.555	210.600	10.510	96.456	102.538	40.263
100 %	63,4 %	24,8 %	1,2 %	11,4 %	12,1 %	4,7 %

Arbeitshypothese zur Ableitung der Indikatoren auf der Basis von Einzelfeldinformationen:
Ziel des gewählten Ansatzes ist es, ausgehend von einer Einzelfeldbetrachtung (Fruchtfolge mit nachwachsendem Rohstoff gegenüber Referenzsystem mit Stilllegung) Aussagen zu den Indikatoren Landschaftsbild, Artenschutz und Bodenleben zu machen. Dabei wird von der Grundhypothese ausgegangen, dass der Charakter eines Feldes Rückschlüsse auf dessen Bei-

trag zu agrarökologischen Qualitäten auf den nächsten Skalenebenen (Betrieb, Landschaft, Region) zulässt.

Dadurch wird es möglich, auch den Anbau auf Einzelflächen hinsichtlich des Beitrags zu charakterisieren, den die Fläche zu Zielgrößen liefert, die sinnvoll nicht oder nur eingeschränkt auf der Ebene eines Einzelfeldes beurteilt werden können (siehe Abbildung 7-40).

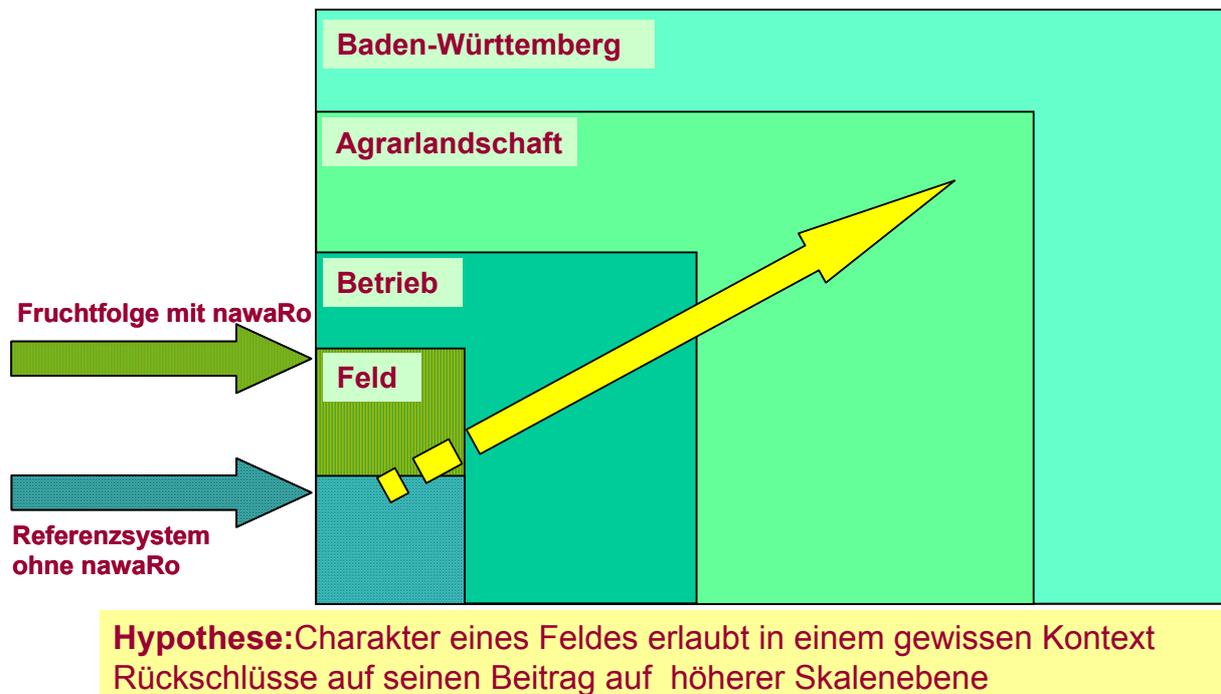


Abbildung 7-40: Ansatz zur Bewertung von Produktionssystemen des Anbaus nachwachsender Rohstoffe hinsichtlich ihres Beitrags zu natur- und landschaftsschützerischen Zielen auf Landschaftsebene innerhalb der Systemgrenzen von Baden-Württemberg.

Agrarökologische Bewertungsverfahren in der Landwirtschaft und ökobilanzielle Betrachtung:

In den letzten Jahren wurden mehrere methodische Ansätze entwickelt, um die ökologischen Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe auf verschiedenen Skalenebenen zu bewerten. Sie sind im Folgenden kurz und zusammenfassend dargestellt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die inhaltlichen Kriterien und auf die Anforderungen des Projektes nach einer verfahrensabhängigen Bewertung auf der Basis von Einzelfeldbetrachtungen gelegt.

7 Methoden und Ergebnisse

Der "Ökologische Leistungsnachweis" (ÖLN; GUJER 2001) wurde in der Schweiz entwickelt und listet Kriterien und Standards auf, die als Voraussetzung von Ausgleichszahlungen für ökologische Leistungen erfüllt sein müssen. Er ist stark betrieblich ausgerichtet, erstreckt sich auf Nährstoffbilanzen, Fruchtfolgen, den Pflanzenschutz und auf das Vorhandensein von Ausgleichsflächen, die bestimmten Auflagen genügen müssen. Er konnte im Rahmen des Projektes Anregungen geben, bietet aber keine Indikatoren zum Beispiel zum Komplex Bodenleben, die im Projekt Verwendung finden konnten.

Beim Verfahren der "Agrarökologische Indikatoren" nach BOCKSTALLER (2001) und BOCKSTALLER & GIRARDIN (2000) handelt es sich um einen ebenfalls schlagbezogenen Bewertungsansatz, der die Indikatoren Feldeinteilung, Fruchtfolge, organische Substanz, Phosphor, Stickstoff, Pflanzenschutzmittel, Bewässerung und Energie berücksichtigt. Kulturartenvielfalt und Schlaggröße werden als relevante Faktoren "für die Bewahrung der biologischen Vielfalt und den qualitativen Erhalt der Landschaft" angesehen, sind aber ohne Naturraumbezug dargestellt und müssen im Einzelfall auf dem Betrieb erhoben werden. Die Methodik war damit im vorgegebenen Untersuchungsrahmen nicht anwendbar.

Gleiches gilt für den Bewertungsansatz nach FRIEBEN (2000), der überwiegend ergebnisorientiert ist. Im Hinblick auf Biotop- und Artenschutz wird z.B. bei Äckern das Auftreten typischer Ackerwildkräuter auf dem individuellen Standort bewertet. Das Landschaftsbild und das Bodenleben spielen keine Rolle.

Die „Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung“ (KUL) nach ECKERT et al. (1999) und GEIER & KÖPKE (2000) stellen ein stark betrieblich und ackerbaulich orientiertes Bewertungsverfahren dar. Das Bodenleben spielt keine Rolle. Gefährdungspotenziale wie Bodenverdichtung, Humusverarmung, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Bodenreaktion und Nährstoffbilanzen finden Eingang in das Verfahren. Landschaftsvielfalt und Kulturartendiversität werden einzelbetrieblich ohne Landschaftsbezug bewertet. Die Artenvielfalt wird über den Anteil ökologisch-landeskultureller Vorrangflächen, d. h. landwirtschaftlich nicht genutzte Flächen bzw. extensiv genutzte Flächen wie Magerrasen und Raine erfasst. Extensiv genutzte Ackerflächen spielen keine Rolle. Die Methodik ist damit im vorgegebenen Untersuchungsrahmen nicht anwendbar.

ÖKABB steht für „Ökologische Analyse, Bewertung und Bilanzierung“ (POINTEREAU et al. 1999). Das Umweltbewertungsverfahren wurde zunächst speziell für Betriebe in Mittelgebirgslandschaften Nordrhein-Westfalens entwickelt und später an Flachlandregionen angepasst. Das Landschaftsbild per se und das Bodenleben spielen keine Rolle. Zwar werden u.a.

die Unterkriterien Seltenheit/Gefährdung der Arten, Seltenheit/Gefährdung der Biotoptypen sowie relative Arten- und Strukturvielfalt berücksichtigt, dabei wird aber immer das vorhandene Inventar erfasst. Die Methodik ist damit im vorgegebenen Rahmen ebenfalls nicht anwendbar.

Der "Ökologischer Betriebsspiegel" mit "Naturbilanz" nach OPPERMANN (2001) berücksichtigt nicht den Einfluss einzelner Kulturen auf das Landschaftsbild, bewertet allerdings die Strukturausstattung der Betriebsflächen. Das Bodenleben spielt keine Rolle. Ackerland wird nur ohne Pestizideinsatz bewertet, bei der N- Düngung wird nur mit und ohne Düngung unterschieden. Die Artenvielfalt orientiert sich am tatsächlichen Artenvorkommen auf den Flächen. Die Methodik ist damit im vorgegebenen Untersuchungsrahmen nicht anwendbar.

Das Umweltbewertungsverfahren SALAGRO wurde in und für Frankreich entwickelt (POINTEREAU et al. 1999). Der Einfluss einzelner Kulturen auf das Landschaftsbild wird nicht berücksichtigt, es wird nur die grobe Strukturausstattung der Betriebsflächen bewertet. Das Bodenleben spielt keine Rolle. Der Bewertung der Artenvielfalt wird die Besatzstärke (GVE/ha Futterbaufläche) sowie der Anteil an mehr als zweijährigem Grünland zugrunde gelegt. Die Methodik ist im vorgegebenen Untersuchungsrahmen nicht anwendbar.

Als Fazit lässt sich aus den genannten Beispielen folgern, dass es bereits eine Anzahl von Bewertungsverfahren gibt, die auch jeweils Bewertungsschemata zu wenigstens einem der drei untersuchten Kriterien aufgestellt haben. Die Bewertungen beziehen sich jedoch fast immer auf die betriebliche Ebene und/oder auf tatsächliche, im Einzelfall zu erhebende Sachverhalte, wie das tatsächliche Vorkommen von Pflanzenarten. Auf anbau- und verfahrensbedingte Möglichkeiten, die das Vorkommen solcher Arten begünstigen, wird nicht eingegangen. Aufgrund dieses methodisch unterschiedlichen Ansatzes sind die geprüften Verfahren für den gewählten ökobilanziellen Ansatz, der auf die verfahrensabhängigen Potenziale ausgerichtet ist, nicht anwendbar.

Bei der Bewertung wird meist auch die in der Landespflege gängige Praxis vernachlässigt, Ackerflächen in ihrer Ganzheitlichkeit (z.B. landschaftsbezogene Schlaggröße, landschaftsbezogene Fruchtfolge, Kulturart) als Landschaftselement zu charakterisieren und zu bewerten. Auch die „landschaftliche Vielfalt“ und „Artenvielfalt“ wird ohne landschaftlichen Bezug verwendet, was die Aussagekraft relativiert.

Die potenziell hohe Bedeutung extensiver oder umweltschonender Bewirtschaftungsformen von Ackerflächen oder der Beitrag traditioneller Kulturen und Anbauverfahren für die Artenvielfalt wird nicht oder kaum abgebildet, wodurch die Tatsache ignoriert wird, dass auch Ackerflächen selbst, je nach ihrer Beschaffenheit und Bewirtschaftung, wichtige und schutzwürdige Lebensräume darstellen können (KAULE 1986). Als Folge können kulturarten- und verfahrensbedingte Umwelleistungen auf Einzelfeldebene mit den genannten Bewertungsverfahren nicht angesprochen werden, obwohl in diesem Bereich klare Optimierungspotenziale liegen.

Im vorliegenden Projekt, das den Ansatz verfolgt, den ökobilanziellen Ansatz im Hinblick auf die Kategorien Landschaftsbild, Artenvielfalt und Bodenleben zu erweitern, wurde deshalb ein eigenständiger methodischer Ansatz gewählt. Er wird in den folgenden Abschnitten hergeleitet und erläutert.

7.4.4.2 Landschaftsbild

Einführung zum Landschaftsbild

Die Bewertung und methodische Behandlung des Landschaftsbildes ist bis heute problematisch (KÖPPEL et al. 1998). Ausgangspunkt für die Bewertung des Landschaftsbildes sind die in § 1 Absatz 1 des LNatSchG B.-W. genannten Begriffe "Vielfalt, Eigenart, Schönheit" (KÜNKELE et al. 1992; KONERMANN 2001). Ihre Relevanz zur Erfassung des landschaftsästhetischen Eigenwertes erhalten diese Begriffe

- als Ausdruck für das Bedürfnis nach Information (Vielfalt; perzeptive Ebene),
- als Ausdruck für das Bedürfnis nach Heimat (Eigenart; symbolische Ebene) und
- als Ausdruck für das Bedürfnis nach Schönheit (stark subjektiv geprägte Ebene).

Die drei Aspekte sollten nicht unabhängig voneinander bewertet werden, vielmehr ist die Erhaltung und Entwicklung des Landschaftsbildes eines Raumes an dessen Eigenart zu orientieren. Indem die Eigenart eines jeden Landschaftsraumes erhalten bzw. entwickelt wird, entstehen individuell geprägte Landschaften, durch die eine Vielfalt an unterschiedlichen Erlebnisraumtypen gebildet wird, die aus der Sicht der landschaftsbezogenen Erholung als Leitbilder (Landschaftsstrukturen) angesehen werden können. So macht es etwa in der Regel keinen Sinn, eine von der Eigenart unabhängige Vielfältigkeit zu bewerten (KONERMANN 2001).

Nach HOISL et al. (2000) hat sich auch das Landschaftsmerkmal „Naturnähe“ als landschaftsästhetisch besonders wirksam erwiesen. Die Naturnähe soll im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht weiter berücksichtigt werden, weil differenzierende Aussagen zu den jeweiligen Anbaukulturen nicht zu erwarten sind.

Anmerkung:

„Eigenartige“ Landschaften sind schon immer stark durch die landwirtschaftliche Nutzung geprägt („Strohgäu“, „Wacholderheiden“). Die Entstehung und der Erhalt solcher, vor allem von naturschützerischer Seite typischer und schöner Landschaften ist deshalb auch starker Dynamik ausgesetzt, wenn sich die Bezugsgrößen für landwirtschaftliches Handeln (Märkte, technische Innovationen, züchterischer Fortschritt, Lohnkosten etc.) ändern. Der Erhalt typischer Agrarlandschaften ist im Rahmen landwirtschaftlicher Tätigkeit also nur so lange gesichert, als dies auch wirtschaftlich tragfähig, d.h. nachhaltig ist. Sind diese Bedingungen nicht mehr gegeben, bleiben historisch typische und je nach biologischer Eigenheit oder gesellschaftlicher Einstellung auch „schützenswerte“ Naturräume zurück. Für ihren Erhalt muss die Gesellschaft Leistungen erbringen, damit sie im Kontext „landwirtschaftlicher“ Tätigkeit als Dienstleistung gepflegt und erhalten werden können (Beispiel: Schafhaltung auf der Alb bei komparativen Kostennachteilen auf offenen Agrarmärkten).

Bestimmung des landschaftlichen Referenzzustandes

Die Aufgabenstellung im Rahmen des Projektes führt, u. a. im Hinblick auf die obigen Ausführungen nach KONERMANN (2001), zu erheblichen methodischen Problemen. Die Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe beschränkt sich auf die Ebene von Einzelschlägen, die flächige Grundelemente der Landschaft darstellen. Als Basis des Landschaftsbildes bestimmen die Grundelemente in ihrer Gesamtheit den Grad der Vielfalt in einem landschaftsästhetischen Funktionsraum.

Flächige Ackerlagen traditioneller Prägung könnten je nach räumlichem Zusammenhang z.B. als charakteristische Elemente beschrieben werden (s. unten). Neu eingeführte Elemente wie z.B. *Miscanthus* werden nicht als charakteristisch oder typisch eingestuft, weil sie (noch) nicht zum Naturraum gehören.

Da sich in ästhetischen Erlebnissen immer auch persönliche Betroffenheit äußert, darf der für die Bestimmung charakteristischer Elemente notwendige landschaftliche Vergleichszustand nicht zu weit zurückliegen. Als Referenzzeitraum ist daher von einem Landschaftszustand auszugehen, wie er bis vor zwei Generationen - um 1950 - existierte (KNAUER 1988);

(KÖPPEL et al. 1998). Der Zeitbezug "1950" legt damit eine vergleichsweise "idealisierte" Landschaft zugrunde, die aber – zumindest aus Sicht von Naturschutz und Landschaftspflege - im Vergleich zu vorindustriellen Landschaften als Kompromiss zwischen Landschaftsschutz und Bewirtschaftungsansprüchen verstanden werden kann.

Das jeweilige Grundelement eines „nachwachsenden Rohstoff –Feldes“ soll unabhängig von seinem konkreten visuellen Wirkraum, d.h. den Flächen, von denen aus der Schlag wahrgenommen werden kann, bewertet werden. Kulturhistorische Nutzungsformen, Gestalt und Verteilung des Nutzungsmusters sowie Acker-Grünland- und Wald-Offenland-Verteilung und -Übergänge bleiben in diesem Zusammenhang unberücksichtigt. Der konkrete visuelle Wirkraum bleibt unbestimmt. Gleichwohl wären diese Kriterien für eine konkret landschaftsbezogene Bewertung erforderlich.

So sind nur verallgemeinernde, grobe Prognosen (bzw. Bewertungen) möglich, die einen landesweiten Bezug für die Bewertung zugrunde legen, aber keinen direkten Raumbezug aufweisen. Die ausgesprochen grobe Bezugsebene wird zur Schaffung einer Referenz im Folgenden näher beschrieben und typisiert. Ein alle nachwachsende Rohstoffe umfassendes Leitbild wurde nicht erstellt, da die Besonderheiten der einzelnen Kulturen kaum sinnvoll zusammenzufassen bzw. zu vergleichen sind. Gleichwohl kann die Bewertung die wahrscheinlichen Anbauschwerpunkte mitberücksichtigen, wie sie in Kapitel 7.2 beschrieben sind, wodurch wieder ein etwas besser definierter landschaftlicher Kontext für die Bewertung hergestellt werden kann.

Die vielfältigen Agrarlandschaften Baden-Württembergs umfassen den Anbau von Getreide, Hack- und Ölfrüchten, Futterpflanzen und zahlreichen Sonderkulturen sowie die verschiedenen Formen der Grünlandnutzung (STATISTISCHES LANDESAMT B.-W. 1988). Nach KONERMANN (2001) lassen sich, übertragen auf Baden-Württemberg, entsprechend den jeweils beteiligten Landschaftsbildnern im Zusammenhang mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe zwei Erlebnisraumtypen mit wesentlichen Anteilen an Ackerland unterscheiden (siehe auch HOISL et al. 2000):

- a) -Wald-Offenland-Mosaik-Kulturlandschaft: In diesen Räumen sind sowohl deutliche Wald- wie Offenlandanteile vorhanden (mindestens 20 %). Sie sollen das Erlebnis einer vielfältigen, harmonischen Kulturlandschaft vermitteln. Die ästhetische Wirkung entsteht durch Struktur- und Nutzungsvielfalt. Hauptproblem ist derzeit die Tendenz einer zunehmenden Bewaldung und einer Reduzierung der Offenlandanteile. Hierdurch besteht die Gefahr einer Nivellierung der Landschaft und somit eines Eigenart- und Vielfaltverlustes,

der sich negativ auf den Erlebniswert der Landschaft auswirkt. Dies gilt im besonderen für Blickbeziehungen von den Offenlandbereichen aus, die hierdurch verloren gehen können (s. auch MATTERN 1992).

- b) Offene Agrarlandschaft: In diesen Räumen geht es um das Erlebnis der Weite und Offenheit. Ästhetische Wirkung entsteht hier durch Nutzungsvielfalt, aber auch durch großflächige Einheitlichkeit (Eigenart: Weitererlebnis in großen Ackerlandschaften). Hauptprobleme dieser typischerweise intensiv landwirtschaftlich genutzten Räume sind die Seltenheit extensiver Nutzungen und die Armut an landschaftsgliedernden und -belebenden Strukturen sowie die starke Sichtbarkeit von technisch-baulichen Störelementen.

Beide Erlebnisraumtypen werden in Baden-Württemberg großenteils vom Getreideanbau geprägt (vgl. Tab. 7-24). Als Referenz ("Ist-Zustand", abweichend vom oben genannten Referenzzeitraum) der landespflegerischen Bewertung bzw. als Konkretisierung der "Eigenart" dient daher die vom Getreideanbau dominierte Agrarlandschaft Baden-Württembergs mit eingeschalteten Stilllegungsflächen. Die Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe ("potenzieller Zustand") beschränkt sich methodisch auf die Ebene von Einzelschlägen, denen als "Ist-Zustand" eine einjährige oder mehrjährige Stilllegungsfläche mit 2 ha Größe und mit *Lolium*-Einsaat gegenüber gestellt wird (s. Kap. 7.4.4.1). Die Bewertung basiert einerseits auf der oben dargestellten aktuellen Landnutzung (Stilllegungsfläche), andererseits werden auch Elemente "historischer" und "ästhetischer" Leitbilder einbezogen (positiv bewertet wird z.B. der Wiederaufbau ehemaliger Kulturarten, die in den letzten Jahrzehnten nicht mehr oder fast nicht mehr angebaut wurden); dabei wird der Referenzzeitraum "1950" zugrunde gelegt.

Landschaftsbild-bezogene Bewertung

Um die Nachvollziehbarkeit der Bewertung zu gewährleisten, werden "Ist-Zustand" (Stilllegung) und "potenzieller Zustand" (nachwachsender Rohstoff-Anbau) nach Erfassungsmerkmalen beschrieben. Tabelle 7-25 zeigt die Auflistung der Aspekte, die bei der Bewertung der einzelnen Erfassungsmerkmale berücksichtigt sind.

Tabelle 7-25: Bewertung landschaftsbild-bezogener Erfassungsmerkmale für die Erlebnisraumtypen in der Agrarlandschaft Baden-Württembergs.

Erfassungsmerkmal	Punktzahl
Landschaftsästhetischer Blühaspekt (Bildung optisch attraktiver Blüten oder Blütenstände)	
1. Nah- und	1
2. Fernwirkung	1
3. Bereicherung der Formen-/Strukturvielfalt in einer von Getreide-/Gräsern geprägten Agrarlandschaft (dikotyle Blattstrukturen, etwa Fiederblätter; Sprossverzweigungen; Nahwirkung)	1
4. charakteristisches Landschaftselement einer "historischen" Agrarlandschaft (um 1950)	1
5. historische (um 1950), heute mehr oder weniger "ausgestorbene" Kulturart (Faserhanf)	1
6. Fruchtfolge: Vier und mehr landschaftscharakteristische bzw. historische Kulturen in sechs Jahren (vgl. auch Koordinationsgruppe Richtlinien Deutschschweiz 1999)	1
7. Sichtbeziehungen ganzjährig möglich (Bestandeshöhe <2 m)	1

Die Ermittlung des landschaftsbild-bezogenen Eigenwerts geschieht über die additive Zusammenfassung der für die beteiligten Kriterien ermittelten Einzelwerte. Für die abschließende qualitative Bewertung sind die Eigenwerte auf eine dreistufige Skala zurückgeführt (Tab. 26).

Tabelle 7-26: Dreistufige Skala für die landschaftsbezogene Bewertung des Beitrags von Kulturen zum Landschaftsbild.

Bewertungsklasse	Übereinstimmung zwischen "Soll" und "Ist"	Gesamtbewertung
0-2	geringer Beitrag	I
3-5	Mittlerer Beitrag	II
6-7	hoher Beitrag	III

7.4.4.3 Artenvielfalt

Einführung zur Artenvielfalt

Ackerbiotope sind rein anthropogene Ökosysteme. Im Verlauf von mehr als 5.000 Jahren bildeten sich in Anpassung an die ackerbaulichen Maßnahmen artenreiche kurzlebige Pflanzengemeinschaften mit großer Strukturvielfalt heraus, die von einer für Äcker charakteristischen Fauna besiedelt werden. Die Organismengemeinschaften der Acker-Ökosysteme sind von der Bewirtschaftung des Menschen abhängig (KOHLER 1986; POTT 1995; OECD 2001). Diese Lebensgemeinschaften könnten sich nicht halten, wenn ihnen der Landwirt nicht ständig neuen Lebensraum verschaffen würde ("Kulturbiotope"). Die heutigen, intensiv bewirtschafteten Ackerbaugebiete sind im Vergleich zu früheren Agrarlandschaften strukturell und in ihrem biotischen Inventar allerdings verarmt (BILLEN 2000; ANONYMUS 2001). Dies wird deutlich an der Zahl gefährdeter Ackerwildkräuter bezogen auf einen Gesamtbestand von bundesweit 323 Arten (Tab. 27) bzw. hinsichtlich gefährdeter Ackerwildkrautgesellschaften (Tab. 28; HOFMEISTER & GARVE 1998; vgl. auch SCHNEIDER et al. 1994). Den größten Teil von ihnen bilden mit 109 Sippen sogenannte "Getreidebegleiter".

In Baden-Württemberg kommen ca. 220 Ackerwildkrautarten vor, wovon rund 50 % aufgrund ihrer Gefährdung in der Roten Liste aufgeführt sind (MLR 1992). Auch hier handelt es sich großenteils um Arten extensiv bewirtschafteter Getreideäcker (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ B.-W. 1998). Baden-Württemberg trägt dabei auch eine besondere Verantwortung für die Spelz-Trespe (*Bromus grossus*), die in das Europäische ökologische Schutzgebietssystem Natura 2000 aufgenommen ist (MLR 2000). Damit kommt einer extensiven Nutzung im Getreidebau eine hohe Bedeutung für die Erhaltung bedrohter Segetalarten zu.

Tabelle 7-27: Anzahl gefährdeter Ackerwildkräuter in Baden-Württemberg und in Deutschland (nach HOFMEISTER & GARVE 1998).

Gebiet	Gefährdungskategorie					Summe
	0 ausgestorben /verschollen	1 vom Aus- sterben bedroht	2 stark gefährdet	3 gefährdet	R extrem selten	
Baden- Württemberg	16	18	20	45	1	100
Deutschland	9	13	18	31	-	71

Tabelle 7-28: Gefährdung der Ackerwildkrautgesellschaften in Deutschland (nach HOFMEISTER & GARVE 1998).

Gefährdungskategorie	Ackerwildkrautgesellschaft
0 ausgestorben/ verschollen	Leinlolch-Gesellschaft (<i>Sileno linicolae-Linetum</i>)
1 vom Aussterben bedroht	Adonisröschen-Gesellschaft (<i>Caucalido-Adonidetum flammae</i>) Weinbergslauch-Gesellschaft (<i>Geranio-Allietum vinealis</i>) Lämmersalat-Gesellschaft (<i>Teesdalia-Arnoseridetum minimae</i>)
2 stark gefährdet	Ackerlichtnelken-Gesellschaft (<i>Papaveri-Melandrietum noctiflorae</i>) Tännelkraut-Gesellschaft (<i>Kickxietum spuriae</i>) Sandmohn-Gesellschaft (<i>Papaveretum argemones</i>)
3 gefährdet	Kamillen-Gesellschaft (<i>Aphano-Matricarietum chamomillae</i>) Fingerhirsen-Gesellschaft (<i>Digitarietum ischaemi</i>) Ackerkrummhals-Gesellschaft (<i>Lycopsietum arvensis</i>) Saatwucherblumen-Gesellschaft (<i>Spergulo-Chrysanthemetum segetum</i>) Glanzehrenpreis-Gesellschaft (<i>Thlaspio-Veronicetum politae</i>)
nicht gefährdet	Stechhohlzahn-Gesellschaft (<i>Galeopsis tetrahit</i> -Gesellschaft) Vielsamengänsefuß-Gesellschaft (<i>Oxalido-Chenopodietum polyspermi</i>) Erdrauch-Gesellschaft (<i>Thlaspio-Fumarietum officinalis</i>) Franzosenkraut-Gesellschaft (<i>Setario-Galinsogetum parviflorae</i>) Bingelkraut-Gesellschaft (<i>Mercurialietum annuae</i>)

Entsprechend einem globalen Trend (BASTIAN 1996) hat die Zahl gefährdeter Arten der Farn- und Blütenpflanzen in jüngster Zeit bundesweit weiterhin zugenommen. Das ist Ausdruck der anhaltenden allgemeinen Florenverarmung und standörtlichen Entdifferenzierung. Relativ wenige, sehr erfolgreiche Arten (Ubiquisten) bestimmen zunehmend das Landschaftsbild. Daneben steigt die Zahl der Arten, die nur noch an wenigen, für sie optimalen Standorten zu finden sind; dies gilt auch für Agrarlandschaften (KORNECK et al. 1996). Nach KAULE (1986) reduzierte sich die durchschnittliche Zahl der die Kulturart begleitenden höheren Pflanzen von 30 bis 50 pro 100 m² in vielen Fällen auf weniger als 10 meist schwer bekämpfbare Arten. Ursachen für den Arten- bzw. Gesellschaftsrückgang in den Agrarlandschaften sind bezogen auf die Blütenpflanzen nach KAULE (1986); KOHLER (1986); HÖLZINGER (1987a); HABER & SALZWEDEL (1992); PLACHTER (1992); POTT (1995); HABER (1996); KORNECK et al. (1996); UMWELTBUNDESAMT (1997); HOFMEISTER & GARVE (1998); MLR B.-W. (1999); HOISL et al. (2000); KNICKEL et al. (2001); OECD (2001):

- Standortnivellierung (z.B. durch Entwässerung),
- Zunahme des Herbizideinsatzes (z.B. => Rückgang auch der Kornblume *Centaurea cyanus*),
- Vermehrte Düngierzufuhr (insbesondere Stickstoff; => z.B. Verlust von Magerkeitszeigern wie Einjähriger Knäuel *Scleranthus annuus*),
- eingeeengter Fruchtwechsel (=> z.B. positive Selektion von Wildgräsern zu Ungunsten von Wildkräutern),
- verbesserte Saatgutreinigung (=> z.B. Aussterben der Kornrade *Agrostemma githago*),
- Aufgabe von Kulturarten (insbesondere Leinanbau, => z.B. Aussterben von Flachs-Leinkraut *Silene linicola*),
- Anbau neuer Kulturpflanzen (=> Beeinträchtigung traditioneller Unkrautgesellschaften z.B. durch vermehrten Anbau von Raps)
- Verlust der Stoppeläcker (=> Verlust von Entwicklungs- und Versammlungspotenzial),
- Stilllegung von Ackerflächen infolge landwirtschaftlicher Überproduktion (=> Rückgang des Ackerbaus auf Grenzertragsböden) und
- Ausdehnung von Siedlungs- und Verkehrsflächen (=> endgültiger Lebensraumverlust!).

Weitere Arten in den Agrar-Ökosystemen wie z.B. aus den Gruppen der Moose (LUDWIG et al. 1996), Schmetterlinge (EBERT & RENNWALD 1991; PRETSCHER 1998), Schwebfliegen (SYMANK UND DOCZCAL (1998) und Vögel (WITT et al. 1998) sind durch die Veränderungen der Produktionstechniken ebenfalls gefährdet. Nach KAULE (1986) ging z.B. die Biomasse der Laufkäfer im Wintergetreide auf weniger als 5 % gegenüber der Situation um 1950/51 zurück.

Bewertungskriterien

Als qualitatives Bewertungskriterium für Pflanzen und Tiere der Agrarlandschaften wurde die Artenvielfalt im Verhältnis zum standorttypischen Artenspektrum gewählt. Artengemeinschaften wurden nicht zur Bewertung herangezogen. Es wurde außerdem davon ausgegangen, dass das zu erwartende Artenspektrum im Hinblick auf die im jeweiligen Biotoptyp "landesweit vorhandene" Artenvielfalt zu beurteilen ist. Hierbei wurde eine für die Artenvielfalt idealisierte, optimale Bewirtschaftung zugrunde gelegt (Zielzustand bezüglich Artenvielfalt; BASTIAN 1996). Hierbei ist weniger der Erfüllungsgrad einer "beliebigen" Artenzahl von Bedeutung, sondern vielmehr das Auftreten von ökologisch anspruchsvollen Zielarten (Rote Liste-Segetalarten), die als besonders typisch für das betrachtete Gebiet, hier "Standort Baden-Württemberg", angesehen werden können (KÖPPEL et al. 1998; DEUTSCHER RAT FÜR LANDESPFLEGE 2000; OECD 2001; POTT 2001).

Der rein quantitative Parameter Diversität wurde für die Bewertung als ungeeignet ausgeschlossen, da Diversität per se wenig aussagekräftig bezüglich der Artenvielfalt ist und ohne genaueren Standortbezug im angewandten Ansatz weder erfasst noch sinnvoll interpretiert werden konnte.

Als ebenfalls ungeeignet erwiesen sich Arten- und Individuenzahlen, da es zum Einen aus Naturschutzsicht besonders wertvolle Bereiche gibt, die durch ausgesprochen niedrige Arten- und Individuenzahlen gekennzeichnet sind (z.B. Ackergebiete, deren Brutvogelgemeinschaften wesentlich artenärmer sein können als die eines Friedhofs), zum Anderen, weil keine sachlich fundierte Basis für die Herstellung eines belastungsfähigen Zusammenhangs mit den untersuchten Kulturen auf Landesebene gegeben war. Wertzuweisungen allein aufgrund einer hohen Artenvielfalt und ohne Berücksichtigung der biotopspezifischen Artenausstattung sowie einer regional spezifizierten Einstufung entbehren nach KÖPPEL et al. (1998) und BÜCHS (2001) außerdem einer fachlichen Grundlage.

Bestimmung des Leitbildes hinsichtlich der Artenvielfalt

Bei der Bestimmung des Leitbildes wird von der Hypothese ausgegangen, dass nur eine vielfältig genutzte Agrarlandschaft mit historischen und (funktional) extensiven Nutzungsformen eine gute Grundlage für die Erhaltung der Arten- und Lebensraumvielfalt in Baden-Württemberg bietet. In der heutigen Agrarlandschaft können nachwachsende Rohstoffe u.a.

einen Beitrag zur Entwicklung eines funktionsräumlich differenzierten Landnutzungsmusters liefern. Weiterhin wird unterstellt, dass der jeweiligen Feldkultur auch eine direkte Rolle bezüglich der (Kulturpflanzen-) Artenvielfalt zukommt. Als Referenzzustand für das Landschaftsbild liegt der Prognose als Grundannahme eine konventionelle Stilllegungsfläche mit 2 ha Größe und *Lolium*-Einsaat bei 750 mm Jahresniederschlag zugrunde (s. Kap. 7.4.3). Für die Artenvielfalt wird im Folgenden ein landesweites Leitbild vorgestellt und anhand von Leitarten verfeinert.

Das dem Ackerbau in Baden-Württemberg zugeordnete Leitbild für die Artenvielfalt ist eine extensiv bewirtschaftete Getreidefruchtfolge mit artenreicher Ackerbegleitflora und möglichst vielen ackertypischen Tier- und Pflanzenarten der Roten Listen (FRIEBEN 2000; vgl. auch KÖPPEL et al. 1998)). Der Gefährdungsgrad von Arten gemäß den Roten Listen stellt in der Praxis ein wesentliches Bewertungskriterium für Pflanzen und Tiere dar. Landschaftstypische Ackerwildkrautgesellschaften, die in der Regel auch gefährdete Arten enthalten, gewährleisten ein reichhaltiges und mehr oder weniger dauerhaftes, sich zumindest über mehrere Monate erstreckendes Blütenangebot, das für zahlreiche Tierarten attraktiv ist, die wiederum für z.B. Vögel eine unersetzliche Nahrungsgrundlage bilden. Als Leitarten wurden aus einer Vielzahl bewertungsrelevanter, gefährdeter ackertypischer Pflanzen- und Tierarten ausgewählt: Kornblume *Centaurea cyanus* und Spießblättriges Tännel-Leinkraut *Kickxia elatine* sowie Feldlerche *Alauda arvensis* (s. auch RENN et al. 2000) und Rebhuhn *Perdix perdix*. Diese Arten (keine Ubiquisten oder „überall auftretenden Pflanzen“) weisen eine landesweite bzw. möglichst weite Verbreitung in Baden-Württemberg auf.

Eine Schlaggröße von 2 ha scheint für die Erhaltung zumindest einzelner Ackerwildkraut-Arten ausreichend zu sein, wie Erfahrungen mit Feldflorenereservaten, Ackerreservaten und Ackerrandstreifenprogrammen zeigen (vgl. HOFMEISTER & GARVE 1998). Für Tiere dagegen - abgesehen von der Bodenfauna und zu einem geringeren Grad auch für Insekten (VOLKMAR & KREUTER 2000) - stellen Ackerschläge mit 2 ha Größe im Allgemeinen nur Teillebensräume dar. So wird für das Rebhuhn im Jahresverlauf eine Habitatfläche von in der Regel unter 100 ha angegeben (HÖLZINGER 1987b).

Für das nachwachsende Rohstoffe-Projekt wird das grobe, in der räumlichen Abgrenzung durch den Umfang des Verwaltungsgebiets vorgegebene Leitbild anhand der o.g. Leitarten (i.S. von Zielartenkollektiven; KNICKEL et al. 2001; vgl. auch RECK et al. 1996) verfeinert. Bei den Arten handelt es sich um eine fachlich begründete Auswahl: typisch für Ackerbiotope in Baden-Württemberg, auf Ackerlandschaften bezogen (fast) landesweite Verbreitung sowie Bestandsgefährdung. Die Leitarten erlauben eine Aussage über den Zustand ihrer (Acker-) Lebensräume in der Hinsicht, dass das Vorkommen dieser Arten als Hinweis (Indikator) für

das Vorkommen weiterer lebensraumtypischer Arten betrachtet wird. Wichtige projektbezogene Angaben zu den Einzelarten sind in den folgenden Artensteckbriefen zusammengefasst:

Kornblume *Centaurea cyanus* (SEBALD et al. 1996b): Die Kornblume ist ein charakteristisches Ackerwildkraut einjähriger landwirtschaftlicher Kulturen mit Schwerpunkt in Wintergetreidefeldern (v.a. Roggen). Zu den Gefährdungsursachen zählen Aufgabe des Fruchtwechsels, Herbizideinsatz (empfindliche Reaktion bereits auf einfache Wuchsstoffherbizide), starke Düngung (negative Reaktion), evtl. auch Saatgutreinigung beim Getreideanbau und Nutzungsaufgabe ertragsschwächerer Bereiche. Für die Erhaltung der Art ist u.a. die häufige Wiederholung einer winterannuellen Kultur und die Vermeidung von Brachejahren oder mehrjährigen Futterkulturen günstig.

Spießblättriges Tännel-Leinkraut *Kickxia elatine* (SEBALD et al. 1996a): Das Spießblättrige Tännel-Leinkraut hat größere Verbreitungslücken in Baden-Württemberg. Die Art besiedelt Getreideäcker und entwickelt sich auf Stoppelflächen optimal (August als beste Entwicklungszeit). Zu den Gefährdungsursachen zählen der früher Umbruch der Stoppelfelder und die Ausdehnung des Maisanbaus.

Feldlerche *Alauda arvensis* (HÖLZINGER 1999 und JEDICKE 2000): Die Feldlerche ist über ganz Baden-Württemberg weitgehend flächendeckend verbreitet. Bevorzugte Brutbiotope sind abwechslungsreiche Feldfluren, vorzugsweise mit Wintergetreide, Luzerne oder Rotklee, für Zweitbruten auch Sommergetreide, dagegen weit weniger Hackfruchtäcker. Die Art zeigt eine deutliche Präferenz für alle nicht zu dicht stehenden, grasartigen Kulturen (z.B. Weizen und Hafer); eine Vegetationshöhe bis 70 cm und eine Bodenbedeckung von 20-50 % sind für den Nestbau optimal. Bäume und Sträucher fehlen normalerweise, doch werden sie einzelstehend noch geduldet. Während Winterweizen und Hafer im April und Mai als Neststandorte dienen, spielen beide Kulturen im Juni und Juli praktisch keine Rolle mehr. Gleichzeitig dienen in diesen beiden Monaten Maisäcker als Neststandorte. Zu den Gefährdungsursachen zählen intensive Bodenbearbeitung, der Einsatz von Chemikalien, Geländeneivellierungen, frühes Ernten, Anbau weniger Feldfrüchte auf großer Fläche oder großflächige Monokulturen sowie Nutzungsänderungen (vermehrter Anbau von Wintergetreide).

Rebhuhn *Perdix perdix* (HÖLZINGER 19987b): Das Rebhuhn ist in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs als Brutvogel weit verbreitet. Als Kulturfolger ist die Art eng an offene Ackerlandschaften gebunden. Für ganzjährig besetzte Rebhuhn-Reviere sind reichhaltige, lebhaft strukturierte Feld- und Wiesenlandschaften, u.a. durchsetzt mit Gehölzen, kennzeichnend. Das Rebhuhn bevorzugt im Winter und Frühjahr die Wintergetreideflächen, meist Wintergerste, als Nahrungs- und Überwinterungsbiotop. Die Nestanlage erfolgt jedoch bevorzugt in Altgrasbereichen, d.h. außerhalb regelmäßig bewirtschafteter Ackerflächen. Bedingt durch die territoriale Paarbildung lassen Sichtkulissen (bis hin zu Hecken, aber nicht Wald) eine höhere Siedlungsdichte bei sonst gleichen Bedingungen zu. Bei uns kann das Wintergetreide

die Funktion einer Sichtkulisse nicht übernehmen, es ist zu dieser Zeit noch zu niedrig. Vor allem im Winter und bei ungünstigen Witterungsverhältnissen sucht das Rebhuhn gerne schirmförmig gewachsene Hecken auf (besenartig freigestellte Gehölze sind dagegen wertlos). Strukturreichtum und lange Grenzlinien fördern die Ansiedlungsmöglichkeiten der Art. Der Einsatz von Pestiziden im Ackerbau schränkt das Nahrungsspektrum der Rebhühner erheblich ein. Viele Wildkräuter in Hackfrucht- und Getreidefeldern sind fast vollständig verschwunden und damit auch die von ihnen abhängigen Arthropoden (v.a. Insekten). Dies wirkt sich unmittelbar auf die Reproduktion aus, weil die Küken in den ersten Wochen sehr energiereiche Nahrung - ausschließlich in Form von Arthropoden - benötigen. Derzeit zu fördern sind auch verbesserte Winterdeckung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und biotopverträgliche Sichtkulissen.

Bewertung hinsichtlich der Artenvielfalt

Um die Nachvollziehbarkeit der Bewertung zu gewährleisten, werden Leitbild und "potenzieller Zustand" (nachwachsender Rohstoff-Anbau) nach Erfassungsmerkmalen beschrieben. Tab. 7-29 zeigt die Kriterienliste mit den Aspekten, die bei der Bewertung der einzelnen Erfassungsmerkmale berücksichtigt sind.

Tabelle 7-29: Bewertung der Erfassungsmerkmale für die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft Baden-Württembergs.

Erfassungsmerkmal	Punktzahl
Kulturart mit insektenverwertbarem Angebot an Pollen und/oder Nektar	1
(Teil-) Lebensraum für eine Leitart oder wichtige, im Folgenden nicht aufgeführte funktionale Bedeutung für eine Leitart (Pflanzen)	2
(Teil-) Lebensraum für eine Leitart oder wichtige, im Folgenden nicht aufgeführte funktionale Bedeutung für eine Leitart (Tiere)	2
Potenzieller Lebensraum für landes- bzw. bundesweit verschollene oder ausgestorbene Ackerwildkrautarten (Leinbegleiter: gezählter Leindotter <i>Camelina alyssum</i> , Flachs-Seide <i>Cuscuta epilinum</i> , Lein-Lolch <i>Lolium remotum</i> , Flachs-Leinkraut <i>Silene linicola</i>)	1
kein Einsatz von Herbiziden	2
kein Einsatz von Insektiziden	2
reduzierter Einsatz von Dünger (bis maximal 40 kg N/ha u. Jahr; n. KAULE 1986 entspricht dies dem Düngungsniveau Ende der 50er Jahre)	2
Potenzieller Stoppelacker als Winterstruktur/-standort (nach KAULE 1986 als Lichtphase für Ackerwildkräuter und dazugehörige Tiere – und damit auch bedeutsam für die höheren Glieder im Nahrungsnetz)	1
Wintergetreide oder andere Kulturarten als Winterstruktur	1
Fruchtfolge: vier und mehr landschaftscharakteristische bzw. historische Kulturen in sechs Jahren (vgl. PRESCHER & BÜCHS 2000).	1
Bedeutung der Kulturart für die Artenvielfalt innerhalb der angebauten Kulturarten (Referenzjahr 1950)	1

Die Ermittlung des Eigenwerts hinsichtlich der Artenvielfalt geschieht über die additive Zusammenfassung der für die beteiligten Kriterien ermittelten Einzelwerte. Kriterien wie der Verzicht auf Herbizide und reduzierte Düngung (DRL 2000; HOFMEISTER & GARVE 1998; KOHLER 1986; SACHTLEBEN 2001; SEBALD et al. 1996a; UMWELTBUNDESAMT 1997) werden ebenso mit dem Faktor 2 gewichtet wie überragende Kriterien hinsichtlich der Leitarten (hier auch der völlige Verzicht auf Insektizide). Da die Wiederbesiedlung von Leinäckern durch bundesweit ausgestorbene Leinbegleiter bisher nicht festzustellen ist und dies auf Änderungen der neuen im Vergleich zu früheren Anbauweisen zurückgeführt wird (HOFMEISTER &

GARVE 1998), ist diesem allenfalls potenziellen Kriterium nur ein Punkt zuzumessen. An dieser Sichtweise wird festgehalten, auch wenn von ROESCH (1999) eine "Wiederansiedlung der fast verschwundenen flachsspezifischen Fauna und Flora" - jedoch ohne weiterführende Quelle - angegeben wird. Es sind maximal 15 Punkte zu erreichen, da in Bezug auf die Winterstrukturen jeweils ein Punkt alternativ zu vergeben ist. Für die abschließende Bewertung sind die Eigenwerte auf eine dreistufige Skala zurückgeführt (Tab. 30).

Tabelle 7-30: Dreistufige Skala für die Bewertung der Artenvielfalt.

Bewertungsklasse	Übereinstimmung mit dem Leitbild	Gesamtbewertung
0-5	Gering	I
6-10	Mittel	II
11-15	Hoch	III

7.4.4.4 Bodenleben

Einführung zum Bodenleben

Böden entstehen im Zusammenwirken von Geosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre, Biosphäre über die Zeit und sind in stetiger Entwicklung begriffen. Die Böden und die Bodenlebewelt besitzen dabei vielfältige, unersetzliche Regelungsfunktionen (HABER & SALZWEDEL 1992; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992) wie etwa:

- Regelung des Wärmehaushaltes in der untersten Luft- und obersten Bodenschicht,
- Regelung des Wasserhaushaltes (einschließlich Wasserspeicherung und -reinigung),
- Regelung des Stoffhaushaltes (einschließlich Einbau, Umwandlung und Abbau organischer Substanz, Stofftransport etc.) und
- Regelung des Pflanzenwachstums über die Nährstoffbereitstellung und die Bodenstruktur.

Landwirtschaftlich betrachtet ist Boden einerseits Lebensraum für die Pflanzenwurzeln, welcher der Verankerung, der Wasserversorgung und Ernährung der (Kultur-) Pflanzen dient, andererseits lebt hier eine riesige Zahl unterschiedlichster Organismen, die ihrerseits das Pflanzenwachstum beeinflussen können. Die Regenwürmer nehmen mit ca. 95 % den größten Massenanteil an den Bodentieren ein. Sie sind bezüglich der Biomasse (bis 2,5 kg/m² Bodenfläche) neben der Mikroflora die einzige gewichtsmäßig stark vertretene Gruppe. In mineralisch gedüngten Ackerböden kann man 250-300 Individuen/m² mit einem Frischgewicht von ca. 120 g/m² finden, in organisch gedüngten Ackerböden oft über 400 Individuen mit bis zu 180 g/m². Große Regenwurmarten (Lumbriciden) kommen jedoch in grobkörnigem Boden nicht vor, weil Bau und Erhaltung ihrer Röhren hier sehr erschwert sind; sie fehlen auch weitgehend in sehr sauren und stark tonigen Böden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).

Durch Düngung werden Bodenorganismen oft gefördert. Organische Dünger erhöhen das Nährstoffangebot für heterotrophe Organismen direkt, die anorganischen auf dem Umweg über einen vermehrten Anfall von Wurzeln und Pflanzenrückständen, sowie unmittelbar durch die Zufuhr lebensnotwendiger Nährstoffe. Die Größe der Wurmpopulation eines Standortes wird besonders stark vom Angebot organischer Nahrung bestimmt (Tab. 7-31), das bei ackerbaulicher Nutzung meist geringer ist als bei Grünlandnutzung oder krautigen Brachen. Entscheidenden Einfluss hat auch die pH-Regulierung durch Düngungsmaßnahmen.

Tabelle 7-31: Biomassezufuhr auf einer Pseudogley-Parababraunerde unter Apfel unterschiedlicher Bodenpflege und Vorkommen von Regenwurmpopulationen (Zahl erwachsener Tiere/m² nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).

	Grasmulch	Grasabfuhr	Strohmulch	Bearbeitung
Sprosstreu [kg/m ²]	1,1	0,3	1,3	0,5
Wurzelstreu [kg/m ² (geschätzt ohne Baumwurzeln)	0,5	0,5	-	0,1
Lumbricus terr.	21,0	8,0	10,0	4,0
Allolobophora ros.	12,0	4,0	16,0	0,0
übrige Tiefwühler	0,5	2,5	2,4	0,0
Flachwühler	0,9	1,2	4,2	0,0
Summe Lumbriciden	34,4	15,7	32,6	4,0

Regenwürmer zählen zur wühlenden Makrofauna. In Mitteleuropa gibt es fünf Regenwurm-Gattungen, deren Arten sich in drei Lebensformtypen einteilen lassen (HABER & SALZWEDEL 1992; KRÜCK et al. 2001):

- die Streubewohner (epigäisch), nur bis zu 3 cm lang,
- die Mineralbodenbewohner (endogäisch), bis 15 cm lang und
- die Tiefgräber (anektisch), bis 45 cm lang.

Die Mineralbodenbewohner und Tiefgräber sind von großer Bedeutung für die Ausbildung eines optimalen Bodengefüges („Bodenbearbeitung“). Als Bohrgräber schaffen sie z.T. tiefe Röhren bis >1 m Tiefe (LARINK et al. 1995). Da das Bodenmaterial vorrangig auf der Bodenoberfläche abgelegt wird, führt das Wühlen zu einer Lockerung des Bodens. Hierdurch wird vor allem die Belüftung der Böden begünstigt, was insbesondere für schwere Böden bedeutsam ist. Auf 1 m² können so 200-1000 Wurmröhren entstehen. Das Porenvolumen wird durch die Wurmröhren zwar nur geringfügig vergrößert, doch die Dränage der Böden kann erheblich auf das Vier- bis Zehnfache erhöht werden. Regenwürmer schaffen durch ihre Kotablage auf dem Boden außerdem eine meist gleichförmige Lage von Aggregaten, die durch Schleimstoffe stabilisiert sind und mithin der Verschlammung und der Erosion entgegenwirken.

Noch bedeutender ist die Rolle der grabenden Regenwürmer. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der ständigen Durchmischung des Bodens und bei der Humusbildung. Regenwürmer produzieren täglich Kotkrümel in einer Menge von 10-30 % des Lebendgewichtes (Erdfresser). Bereits einzelne Arten kommen auf eine jährliche Kotproduktion von schätzungsweise bis zu über 23 t/ha. Das derart umgelagerte Bodenmaterial erfährt eine intensive Durchmischung organischer Bestandteile und feinkörniger Mineralpartikel. Der Feinboden wird durch Bodenwühler auch homogenisiert. Die Mischung erfolgt im Regenwurmdarm besonders intensiv und fördert die Bildung von relativ stabilen Tonhumusverbindungen (KRÜCK et al. 2001; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992). Die Kotkrümel sind - bei geringerer Lagerungsdichte - stabiler als andere Bodenpartikel und zeichnen sich durch eine verstärkte Besiedelung durch Mikroorganismen, eine erhöhte Konzentration von Nährstoffen und durch höhere Pflanzenverfügbarkeit derselben aus (HABER & SALZWEDEL 1992; KRÜCK et al. 2001 ; LARINK et al. 1995; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; STAHR & STASCH 1996; SÜSS 2000; WITKAMP 1971). Wegen der vielfältigen Bedeutung der Regenwürmer für die Böden wird hinsichtlich des Bodenlebens, der möglichen Ansprache auf Schlagebene, und der engen Beziehung dieses „sichtbaren“ Indikators“ zu Bewirtschaftungsmaßnahmen, nur diese Organismengruppe beim Bodenleben berücksichtigt.

Der landwirtschaftliche Anbau von Nutzpflanzen geht meist mit intensiven mechanischen Eingriffen in den Boden einher. Alle Kulturmaßnahmen stellen aber auch einen mehr oder weniger tiefen Eingriff in den Lebensraum der Organismen dar. Bereits das Befahren von Böden kann zu einer Störung bodeneigener Vorgänge durch Bodenverdichtung führen (insbesondere durch Verminderung des Anteils luftführender Poren und Ausbildung von Verdichtungszonen). Auch der eigentlichen Bodenbearbeitung können ungewollt nachteilige Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften zukommen wie z.B. eine erhöhte Neigung zur Verschlammung auf der obersten Bodenschicht. Die Regenwürmer können dann durch den einhergehenden Sauerstoffmangel sowie direkt durch Druck und mechanische Einwirkungen geschädigt werden. Die negativen Auswirkungen einzelner Bodenverdichtungsereignisses auf die Regenwurmzahlen können jedoch meist in den darauffolgenden zwei Jahren regeneriert werden (LANGMAACK 1999).

Starke Veränderungen in Ackerböden werden vor allem durch die Bodenbearbeitung, den Anbau gleichartig zusammengesetzter Pflanzenbestände mit Unterdrückung der Wildpflanzen, Dünge- und vor allem Pestizideinsatz sowie durch Ent- oder Bewässerung bewirkt. Veränderungen in der Bodenbewirtschaftung haben damit sicher auch dazu beigetragen, dass viele Tierarten in Ackerböden nicht mehr anzutreffen sind. Auf die Mikroorganismen (aeroben Bakterien und Pilze) wirkt sich die Bodenbearbeitung allgemein fördernd aus; der Umsatz an organischer Substanz und damit die CO₂-Produktion steigen an. Anders verhält es sich bei der Bodenfauna. Hier bedeutet jede Bodenbearbeitungsmaßnahme einen erheblichen Eingriff (Verschüttung, Quetschung usw.). Daher ist der Tierbesatz in Ackerböden stets geringer und artenärmer als in vergleichbaren Brache- und Grünlandböden (s. Tab. 32, vgl. auch KNICKEL et al. 2001; STAHR & STASCH 1996). Unter Wiese sind insbesondere Würmer, Milben und viele Insekten deutlich stärker vertreten.

Bodenbearbeitung vermindert unter den Regenwürmern vor allem die Flachwühler, während die Tiefwühler teilweise erhalten bleiben (Tab. 7-31). Verzicht auf regelmäßiges Pflügen bei der Bodenbearbeitung und Direktsaat hat in Lehmböden zu einem erhöhten Regenwurmbesatz und zu erhöhter Unterbodenporung geführt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992), bei pflugloser Bearbeitung steigen die Regenwurmzahlen an (Tab. 33, s.a. KRÜCK et al. 2001; LARINK et al. 1995; STAHR & STASCH 1996). Bei der Umwandlung von Ackerland zu Brache ist ebenfalls ein Anwachsen der Populationsdichte festzustellen (LANGMAACK 1999). Der Verzicht auf Pflugarbeit fördert auch den Mikroorganismenbesatz in den obersten Zentimetern eines Bodens, was aber durch geringeren Besatz weiter unten kompensiert wird und mit erhöhter Denitrifikation verbunden sein kann (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992).

Tabelle 7-32: Körpergewicht und Atmung (bei 15 °C) wichtiger Bodentiergruppen unter Acker (Weizen auf Fahlerde-Kolluvium, NPK-Dünger 260 kg/ha Jahr, Herbizid- und Insektizideinsatz) und Wiese (auf entwässertem Gley-Kolluvium) in Turew, Polen (aus SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, verändert).

Tiergruppe	Trockengew. [mg/m ²]	
	Acker	Wiese
Nematoden	557	817
kl. Borstenwürmer	51	199
Regenwürmer	940	3.840
Milben	11	305
Colembolen	47	66
sonst. Insekten	62	4.883
Summe	1.668	10.110

Bestimmung des Leitbildes hinsichtlich des Bodenlebens

Nur eine reiche Regenwurmfauna bietet eine Grundlage für günstige Eigenschaften der Ackerböden in Baden-Württemberg. Eine besondere Rolle kommt dabei den Tiefgräbern zu. Regenwürmer haben für die Bodenstruktur, die Nährstoffverfügbarkeit und bei der Minderung der Erosionsgefahr eine herausragende Bedeutung (HABER & SALZWEDEL 1992; KRÜCK et al. 2001 ; LARINK et al. 1995; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992; SÜSS 2000; WITKAMP 1971. Entsprechend sollte eine möglichst hohe Wurmdichte ein Ziel der Bewirtschaftung von Ackerflächen sein.

Tabelle 7-33: Mittlerer Regenwurmbesatz [Individuen/m²] in unverdichteten Flächen über drei Untersuchungsjahre (1995-1997) mit konventioneller Bearbeitung und pflugloser Bearbeitung an zwei Standorten (aus LANGMAACK 1999, übersetzt).

Jahr	Standort 1 Regenwürmer/m ²		stat. Signifikanz	Standort 2 Regenwürmer/m ²		stat. Signifikanz
	Bodenbearbeitung mit Pflug	pfluglos		Bodenbearbeitung mit Pflug	pfluglos	
1995	17	34	*	25	33	n.s.
1996	5	11	n.s.	10	63	***
1997	8	24	**	18	43	**
1995-1997	10	23	*	18	46	***

Bewertung hinsichtlich des Bodenlebens

Um die Nachvollziehbarkeit der Bewertung zu gewährleisten, werden "Ist-Zustand" (Stilllegung) und "potenzieller Zustand" (nachwachsender Rohstoff-Anbau) nach Erfassungsmerkmalen beschrieben. Tabelle 7-34 zeigt die Checkliste mit den Aspekten, die bei der Bewertung der einzelnen Erfassungsmerkmale berücksichtigt sind.

Tabelle 7-34: Bewertung der Erfassungsmerkmale hinsichtlich des Bodenlebens in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.

Erfassungsmerkmal	Punktzahl
a) mehrjährig unbearbeitet oder Direktsaat	2
b) reduzierte Bodenbearbeitung (Mulchsaat)	1
c) unterdurchschnittliches Bodenverdichtungspotenzial (<38,25 Maschinentonnenstunden/Vegetationszyklus); siehe Tabelle 10.	1
d) Belassen der Ernterückstände auf dem Schlag/deckende Reststreu	1
e) Fruchtfolge: vier und mehr Kulturen in sechs Jahren	1

Tabelle 7-35 zeigt die Übersicht zu den Bodenverdichtungspotenzialen einzelner Produktionsverfahren, wie sie für die Einstufung des Schwellenwertes beim Bodenverdichtungspotenzial (c) herangezogen wurde.

Tabelle 7-35: Punktevergabe für den Einfluss auf das Bodenleben nach Schwellenwerten für das Bodenverdichtungspotenzial (BVP) einzelner Produktionsverfahren (Herleitung siehe Kapitel 7.4.3.4).

Produktionsverfahren	Bodenverdichtungspotenzial in Tonnenstunden/ha	Punktzahl
Weidelgras mehrjährig	6,1	1
Weidelgras annuell	21,1	1
Hafer pfluglos	30,7	1
Sommergeste pfluglos	33,8	1
Stärkeweizen pfluglos	34,7	1
HO-Sonnenblume	36,1	1
Winterraps opt.	36,1	1
Hafer Pflug	36,4	1
Körnermais pfluglos	36,6	1
Wintergerste	38,2	1
Braugerste	38,5	0
Sommergerste Pflug	38,5	0
Miscanthus	39,6	0
HO-Sonnenblume (ökologischer Anbau)	40,4	0
Futtererbsen	40,7	0
Körnermais Pflug	40,7	0
Stärkeweizen Pflug	41,7	0
Winterraps	44,0	0
Faserhanf	48,0	0
Fasernessel	48,6	0
Körnermais (ökologischer Anbau)	59,9	0
Ackerbohne (ökologischer Anbau)	61,1	0

Die Bewertung geschieht über die additive Zusammenfassung der für die beteiligten Kriterien ermittelten Einzelwerte. Fehlender Bodenbearbeitung wird - als wichtigstem Faktor - doppeltes Gewicht zugemessen. Da ein Punkt alternativ vergeben wird (fehlende Bodenbearbeitung versus reduzierte Bodenbearbeitung), können insgesamt nur fünf Punkte erreicht werden. Für die abschließende Bewertung sind die Eigenwerte wiederum auf eine dreistufige Skala zurückgeführt, auch wenn dies methodisch unbefriedigend bleibt (Tab. 36).

Tabelle 7-36: Dreistufige Skala für die bodenbezogene Bewertung (Regenwürmer); es sind maximal 5 Punkte erreichbar.

Bewertungsklasse	Übereinstimmung zwischen "Soll" und "Ist"	Gesamtbewertung
0-2	geringe oder negative Wirkung	I
3	mittlere Wirkung auf Regenwurmbesatz	II
4-5	fördernde Wirkung auf Regenwurmbesatz	III

Tabelle 7-37: Bewertung der einzelnen nachw. Rohstoffe hinsichtlich der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.

	Mehrfährig unbearbeitet oder Direkt-saat	Reduzierte Bodenbearbeitung	Bodenverdichtungspotenzial <38,25 Maschinen-Tonnenstunden/ha *)	Ernterückstände belassen deckende Reststreu	Fruchtfolge vier oder mehr Kulturen	Summe	Gesamtbe-wertung
Miscanthus	2	0	0	1	0	3	II
Faserhanf	0	1	0	0	1	2	I
Faserlein	0	0	0	0	1	1	I
Fasernessel	2	0	0	0	0	2	I
Körnermais Stärke	0	1	1	1	0	3	II
HO-Sonnenblume	0	1	1	1	0	3	II
Winterraps	0	0	0	1	1	2	I
Winterweizen Stärke	0	0	1	1	1	3	II
Lolium annuell	0	1	1	0	1	3	II
Lolium Offenhaltung	2	1	1	1	0	5	III
Wintergerste	0	0	1	0	1	2	I
Sommergerste	0	0	0	1	1	2	I
Hafer	0	0	1	0	1	2	I
Felderbse	0	1	0	0	1	2	I
Phazelia Zf	0	1	1	0	0	2	I
Senf Zf	0	1	1	1	0	3	II
Kleegras	0	1	1	0	1	3	II
W-Weizen Brot	0	1	0	1	1	3	II

*) Mittelwert aller verrechneten Produktionsverfahren

7.4.5 Ergebnisse und Diskussion zur Qualität der Flächenbeanspruchung

7.4.5.1 Ergebnisse halbquantitative Indikatoren

Wie bereits in Kapitel 7.4.1 und 7.4.3 erläutert, lassen sich die Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe losgelöst vom Einzelfall nicht exakt bestimmen. Sie sind in ihrer letztendlichen Größe kontextabhängig, können aber gleichwohl für relative Vergleiche herangezogen werden. Durch ihre Ermittlung anhand von Modellszenarien lassen sie sich quantifizieren oder bonitieren und können Gefährdungspotenziale aufzeigen. In planerischer Hinsicht geben sie Auskunft über die Unbedenklichkeit oder die Größenordnung potenzieller Risiken, die mit dem nachwachsenden Rohstoff-Anbau in einer geplanten Anbausituation verbunden sind.

Durch die Charakterisierung der Produktionsverfahren anhand der Indikatoren lassen sich Gefahren von vorne herein erkennen und objektiv aufzeigen. Fehlentscheidungen können leichter vermieden werden, weil schon gegengesteuert werden kann, ehe negative Auswirkungen auftreten und kostspielige oder sozial konflikträchtige Korrekturmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Die mit Bonituren bewerteten Indikatoren Landschaftsbild, Artenvielfalt und Bodenleben sind weniger belastbar als die quantifizierten, liefern aber ebenfalls fundierte Hinweise auf Chancen und Risiken, die mit dem Anbau bestimmter Rohstoffe verbunden sein können.

Bodenerosionspotenzial

Die im Folgenden dargestellten Werte sind für den in Kapitel 7.4.3.1 beschriebenen Modellstandort Baden-Württemberg ermittelt. Sie wurden auf Basis der „Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung“ (ABAG) mit Hilfe des Programms PC-ABAG Ver 2.0 (AUERSWALD et al. 1999) ermittelt (siehe Abschnitt 7.4.3.1).

Da die Art des Produktionsverfahrens einzelner Kulturpflanzen auch von der Vorkultur abhängig ist (z.B. nötige Bodenbearbeitung) und Auswirkungen auf die Gestaltung der nachfolgenden Produktionsverfahren nimmt (z.B. Möglichkeit einer Zwischenfrucht), wurden jeweils ganze Fruchtfolgen verrechnet. Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen ergeben sich aus-

schließlich aus dem Anbau eines Rohstoffs anstatt einer Stilllegung und können somit direkt der nachwachsenden Rohstoff-Kultur zugeschrieben werden.

In Fällen wie dem Hanf oder dem Stärkeweizen, in denen ein Anbau auf Stilllegungsflächen nicht erlaubt ist, wurde gegen die Kultur bilanziert, die anstelle des Rohstoffs angebaut wurde. Da der nachwachsende Rohstoff in diesem Fall den Anbau der Kultur verhindert, muss sie (Bilanzansatz) auf einer anderen Fläche angebaut werden, die gegen die Fruchtfolge mit Stilllegung verrechnet wurde. Die Differenz dieser Fruchtfolgen wurde, weil sie auch durch den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs belastet ist, der Differenz aus der ersten Fruchtfolge zugerechnet. Der ermittelte Wert ergibt sich in einem solchen Fall aus der Differenz der Fruchtfolge mit dem nachwachsenden Rohstoff und dem Referenzsystem mit dem nachwachsenden Rohstoff, was im Einzelfall zu hohen/niedrigen Indikatorwerten führen kann, obwohl die Kultur selbst nur indirekte Ursache ist.

Bei der Definition der Fruchtfolgen wurden nach den Grundsätzen guter fachlicher Praxis Fruchtfolgen mit mindestens vier Jahren (Gliedern) erstellt. Empfehlungen der pflanzenbaulichen Fachliteratur wurden berücksichtigt, wie z.B. DACHLER & PELZMANN (1999); HEYLAND (1996); HUGGER (1989); KELLER et al. (1997); LINDEMANN (1999) sowie SPIESS et al. (2000). Außerdem fanden Erkenntnisse zur Anbaupraxis in Baden-Württemberg Eingang, wo die Verhältnisse (z.B. im Fall des Körnermaisbaus) durch engere Fruchtfolgen geprägt sind als dies in der Fachliteratur beschrieben ist.

Bei der Ausgestaltung der Fruchtfolgen wurde überdies berücksichtigt, in welchen Gebieten der nachwachsende Rohstoff schwerpunktmäßig für den Anbau zu empfehlen ist (siehe Karten der günstigen Anbauggebiete nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg in Kapitel 7.2). Die Fruchtfolgen wurden entsprechend vor dem Hintergrund der großräumigen Zuordnung der Anbauggebiete und unter Beachtung der bereits genannten Kriterien zusammengestellt. Eine Zusammenstellung aller verwendeten Fruchtfolgen findet sich in Anhang 11.3.4.

In der folgenden Tabelle 7-38 sind die Ergebnisse die Bodenerosionswirkung des Anbaus der untersuchten nachwachsenden Rohstoffe gegenüber den Referenzsystemen mit Stilllegung wiedergegeben. Abbildung 7-32 zeigt die Ergebnisse in grafischer Form.

Tabelle 7-38: Bodenerosionspotenziale der Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.

Fruchtfolge Jahre	nachwachsender Rohstoff	Bodenerosionspotenzial (t pro ha und Jahr)					Differenz der FF. mit /ohne nawaRo
		mit nawaRo	ohne nawaRo	Korrekturoperationen	tolerierbare Erosion	Index	
4	HO- Sonnenblumenöl	3,80	2,80		7,6	0,50	1,00
6	Winterrapsöl	3,00	2,00		7,6	0,39	1,00
6	Stärkeweizen	5,40	4,40	mit Differenz Weizen/Stilllegung	7,6	0,71	1,00
4	Körnermaisstärke	9,10	2,80		7,6	1,20	6,30
4	Faserhanf (und Hanfsamen)	10,10	9,10	mit Differenz Mais/Stilllegung	7,6	1,33	1,00
7	Flachs Industriefaser	2,45	1,40		7,6	0,32	1,05
15	Miscanthus	3,10	0,30		7,6	0,41	2,80
10	Fasernessel Textilfaser	5,60	0,50		7,6	0,74	5,10

Abbildung 7-41 zeigt anhand einer Grafik die Differenzen der Fruchtfolgen mit den nachwachsenden Rohstoffen gegenüber den Referenzsystemen mit Flächenstilllegung. Die Differenzen zeigen bei positiven Vorzeichen die zusätzliche Erosionsgefährdung, die mit dem Anbau der Rohstoffe anstelle einer Stilllegung verbunden ist. Negative Werte (hier nicht gegeben) weisen eine Verminderung der Erosion gegenüber den Fruchtfolgen mit Stilllegung (Begrünung mit Weidelgras) aus.

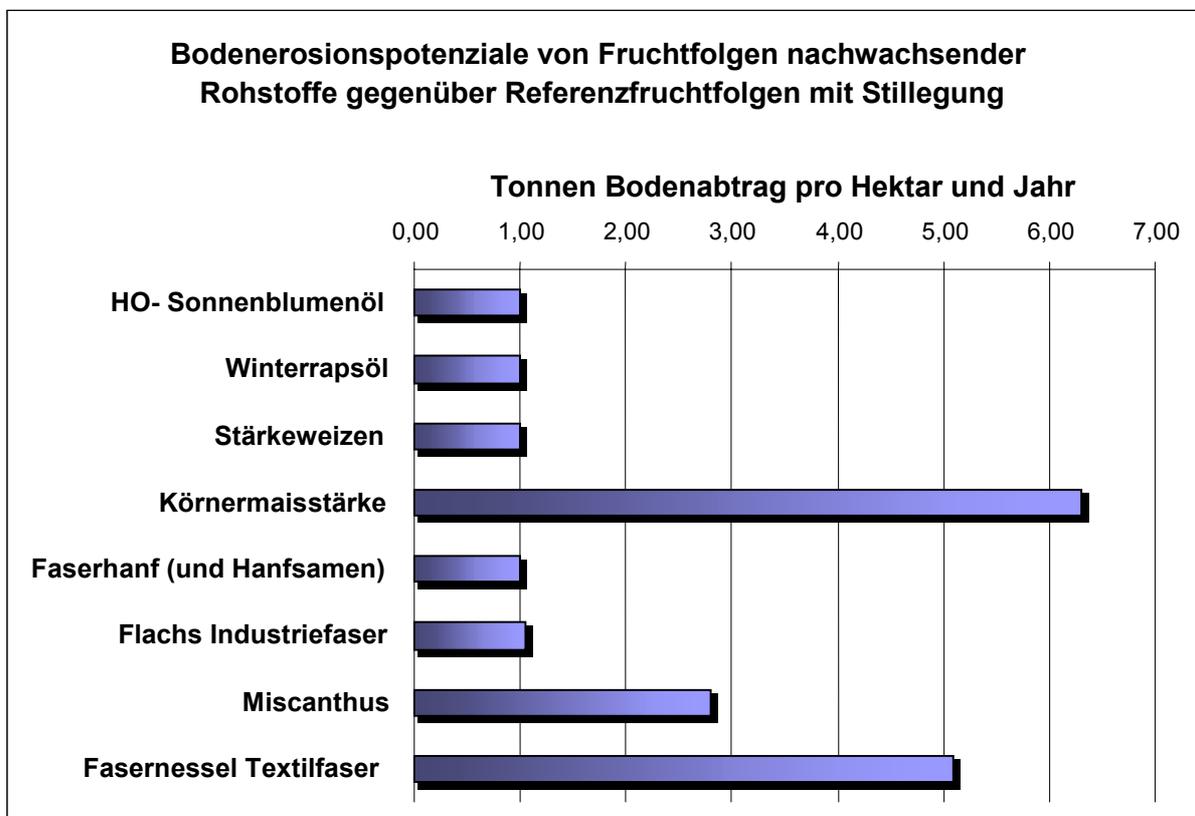


Abbildung 7-41: Bodenerosionspotenziale nachwachsender Rohstoffe.

Ergebnisvergleich

Wie aus Tabelle 7-38 ersichtlich ist, werden die tolerierbaren Erosionswerte nur bei Körnermais zur Stärkegewinnung und bei Fasernessel überschritten.

Relativ hoch und unerwartet sind die Erosionswerte für die Dauerkulturen Miscanthus und Fasernessel. Wie die absoluten Werte in Tabelle 7-38 zeigen, ist die Erosion aber deutlich unter der kritischen Schwelle und die Nachhaltigkeit damit gegeben. Gegenüber dem Referenzsystem schneiden sie, relativ gesehen, deshalb schlechter ab, weil das Referenzsystem der langjährigen Offenhaltung mit nur einmaliger Ansaat in 10 bzw. 15 Jahren gegen Null gehende Erosionswerte aufweist. Dies führt im relativen Vergleich trotz geringer absoluter Werte zu einem Mehr an jährlicher Erosion durch den nachwachsenden Rohstoff als z.B. bei Raps gegenüber einjähriger Stilllegung.

HO-Sonnenblumen schneiden deshalb so günstig ab (die Kultur gilt gemeinhin als erosionsfördernd), weil hier auf der Basis jüngerer Untersuchungen am IfuL (LINDEMANN 1999) ein Produktionsverfahren mit reduzierter Bodenbearbeitung und Mulchsaat bilanziert wurde.

Zusammenfassend kann aus diesen Ergebnissen gefolgert werden, dass bei Einhaltung der zugrundegelegten Produktionsverfahren lediglich bei Körnermais ein erhöhtes Risiko gegeben ist und er deshalb ohne zusätzliche, erosionsvermindernde Maßnahmen nicht für den Anbau auf erosionsgefährdeten Flächen empfohlen werden kann.

Nitratauswaschungspotenzial

Die im Folgenden dargestellten Werte sind gemäß den Angaben in Kapitel 7.4.3.2 für den „Modellstandort Baden-Württemberg“ ermittelt.

Da die Art des Produktionsverfahrens einzelner Kulturpflanzen auch von der Vorkultur abhängig ist (z.B. nötige Bodenbearbeitung) und Auswirkungen auf die Gestaltung der nachfolgenden Produktionsverfahren nimmt (z.B. Möglichkeit einer Zwischenfrucht), wurden jeweils ganze Fruchtfolgen verrechnet. Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen ergeben sich ausschließlich aus dem Anbau eines Rohstoffs anstatt einer Stilllegung und können somit direkt der nachwachsenden Rohstoff-Kultur zugeschrieben werden.

In Fällen wie dem Hanf oder dem Stärkeweizen, in denen ein Anbau auf Stilllegungsflächen nicht erlaubt ist, wurde zunächst gegen die Kultur bilanziert, die anstelle des Rohstoffs angebaut wurde. Da der nachwachsende Rohstoff in diesem Fall den Anbau der Kultur verhindert, muss sie (Bilanzansatz) auf einer anderen Fläche angebaut werden, die gegen die Fruchtfolge mit Stilllegung verrechnet wird. Die Differenz dieser Fruchtfolgen wurde, weil sie auch durch den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs belastet ist, der Differenz aus der ersten Fruchtfolge zugerechnet. Der ermittelte Wert ergab sich in einem solchen Fall aus der Differenz der Fruchtfolge mit dem nachwachsenden Rohstoff und dem Referenzsystem mit dem nachwachsenden Rohstoff. Das kann im Einzelfall zu hohen oder geringen Indikatorwerten führen (z.B. bei Hanf mit dem Referenzsystem einer Fruchtfolge mit Körnermais, Körnermais/Stilllegung), die nicht nur auf die Kultur selbst, sondern auf die gesamten Änderungen der Fruchtfolgen durch den Hanfanbau zurückzuführen ist.

Bei der Definition der Fruchtfolgen wurden nach den Grundsätzen guter fachlicher Praxis Fruchtfolgen mit mindestens vier Jahren (Gliedern) erstellt. Empfehlungen der pflanzenbaulichen Fachliteratur wurden berücksichtigt. Außerdem fanden Erkenntnisse zur Anbaupraxis in Baden-Württemberg Eingang, wo die Verhältnisse (z. B. im Fall des Körnermaisbaus) durch engere Fruchtfolgen geprägt sind, als dies in der Fachliteratur beschrieben ist.

Bei der Ausgestaltung der Fruchtfolgen wurde überdies berücksichtigt, in welchen Gebieten der nachwachsende Rohstoff schwerpunktmäßig für den Anbau zu empfehlen ist (siehe Karten der günstigen Anbauggebiete nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg in Kapitel 7.2). Die Fruchtfolgen wurden entsprechend der großräumigen Zuordnung der Anbauggebiete und unter Beachtung der bereits genannten Kriterien zusammengestellt. Eine Zusammenstellung aller verwendeten Fruchtfolgen findet sich in Anhang 11.3.4.

In der Tabelle 7-39 sind die Ergebnisse zum Nitratauswaschungspotenzial der untersuchten nachwachsenden Rohstoffe gegenüber den Referenzsystemen mit Stilllegung wiedergegeben. Abbildung 7-42 zeigt die Ergebnisse in grafischer Form.

Tabelle 7-39: Nitratauswaschungspotenziale der Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.

Fruchtfolge Jahre	nachwachsender Rohstoff	Nitratpotenziale (kg Nitrat-N pro Hektar und Jahr)			Differenz der FF mit /ohne nawaRo
		mit nawaRo	ohne nawaRo	Korrekturoperationen	
4	HO- Sonnenblumenöl	113,00	96,00		17,00
6	Winterrapsöl	138,00	107,00		31,00
6	Stärkeweizen	150,00	138,00	mit Differenz Weizen/Stilllegung	12,00
4	Körnermaisstärke	126,00	91,00		35,00
4	Faserhanf	142,00	124,00	mit Differenz Mais/Stilllegung	18,00
7	Flachs Industriefaser	129,00	128,00		1,00
15	Miscanthus	10,00	136,00	/15	-8,40
10	Fasernessel Textil	8,00	76,00	/10	-6,80

Abbildung 7-42 zeigt anhand einer Grafik die Differenzen der Fruchtfolgen mit den nachwachsenden Rohstoffen gegenüber den Referenzsystemen mit Flächenstilllegung. Die Unterschiede zeigen bei positiven Vorzeichen eine zusätzliche Nitratgefährdung. Negative Werte weisen eine Verminderung des Nitratpotenzials gegenüber den Fruchtfolgen mit Stilllegung (Begrünung mit Weidelgras) aus.

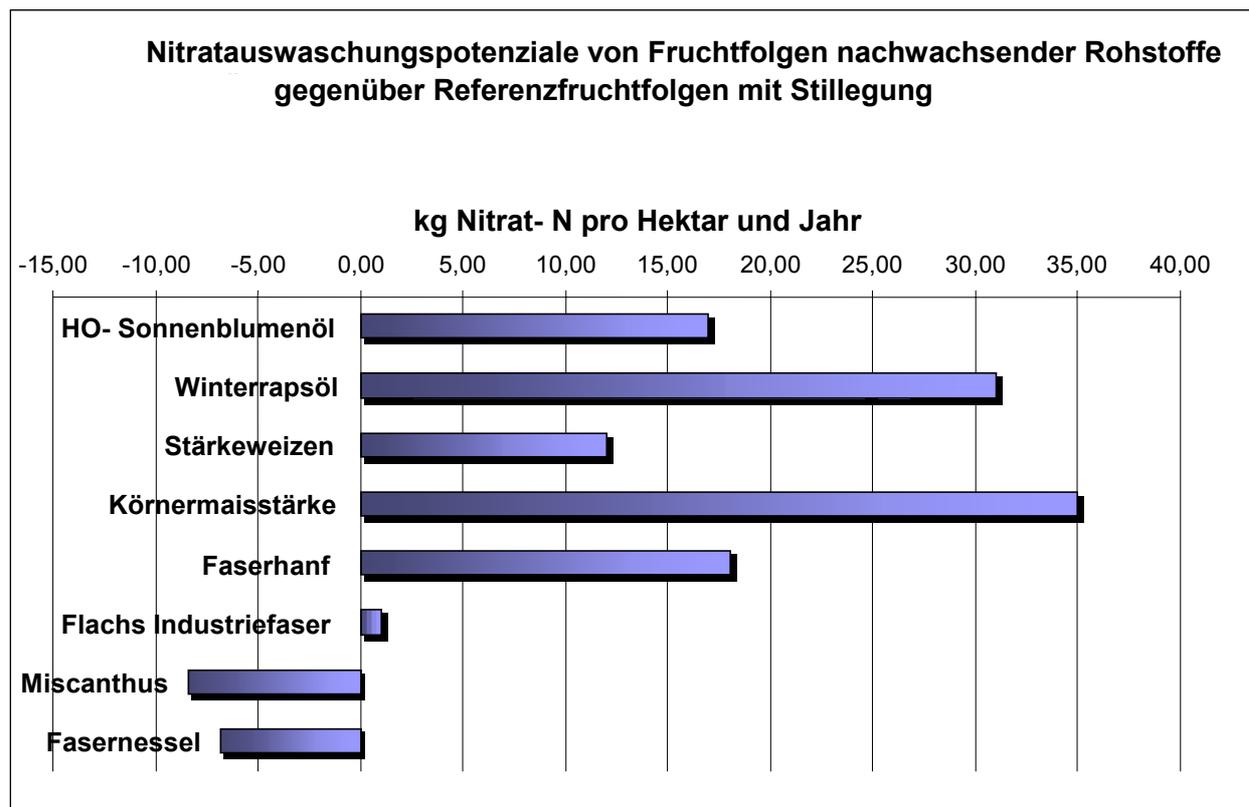


Abbildung 7-42: Nitratauswaschungspotenziale nachwachsender Rohstoffe.

Ergebnisvergleich

Wie aus Abbildung 7-42 ersichtlich, ergeben sich nur bei Winterraps und Körnermais mittlere Gefährdungspotenziale durch den Anbau der nachwachsenden Rohstoffe gegenüber Stilllegungsszenarien ohne Düngieranwendung und mit Grasansaat. Die Zunahmen bei Sonnenblume, Weizen und Hanf (der zusätzlich durch den Anbau von Mais gegenüber einer Stilllegung belastet ist) sind moderat und liegen aufgrund des niederen Ausgangsniveaus bei Stilllegung im tolerablen Bereich (siehe Bewertung der Restnitratmengen in Tabelle 7-14).

Flachs bringt aufgrund der sehr niederen Düngung und geringen Stickstoff-Hinterlassenschaften gegenüber Stilllegungsszenarien faktisch keine Mehrbelastung. Die Dauerkulturen Miscanthus und Fasernessel verringern sogar die potenzielle Grundwassergefährdung durch Nitrat, da sie äußerst N-effizient sind und die überschüssigen Nährstoffe zum Vegetationsende in die Rhizome zurückverlagern. Gegenüber mehrjähriger Offenhaltung mit jährlichem Mulchen (Kolbe 2000) kommt dies noch stärker als bei einjährigen Stilllegungen zum Tragen.

Um die Vergleichbarkeit mit den anderen Rohstoffen zu gewährleisten, wurden die Werte der Dauerkulturen ebenfalls auf ein Jahr Anbau des nachwachsenden Rohstoffs heruntergerechnet (siehe Tabelle 7-39).

Zusammenfassend führt die Produktion von Rapsöl und Stärkemaïs zu einer Zunahme der Nitratbelastung auf mittlerem Gefährdungsniveau. Optimierungen der zugrundegelegten Anbausysteme bzw. der Verzicht auf die Einführung des Anbaus in schon belasteten Gebieten können daraus als Empfehlungen abgeleitet werden. Der Anbau von HO-Sonnenblumen und Stärkeweizen führt nur zu geringen Mehrbelastungen und kann toleriert werden. Flachs und vor allem Miscanthus und Fasernessel können als ausgesprochen grundwasserfreundliche Kulturen eingestuft werden und führen gegenüber Stilllegungsszenarien sogar zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit der Landnutzung.

Phosphor-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer

Die im Folgenden dargestellten Werte sind gemäß den Angaben in Kapitel 7.4.3.3 für den „Modellstandort Baden-Württemberg“ ermittelt und leiten sich von den Werten für den Indikator Bodenerosion ab.

Da die Art des Produktionsverfahrens einzelner Kulturpflanzen auch von der Vorkultur abhängig ist (z.B. nötige Bodenbearbeitung) und Auswirkungen auf die Gestaltung der nachfolgenden Produktionsverfahren nimmt (z.B. Möglichkeit einer Zwischenfrucht), wurden jeweils ganze Fruchtfolgen verrechnet. Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen ergeben sich ausschließlich aus dem Anbau eines Rohstoffs anstatt einer Stilllegung und können somit direkt der nachwachsenden Rohstoff-Kultur zugeschrieben werden.

In Fällen wie dem Hanf oder dem Stärkeweizen, bei denen ein Anbau auf Stilllegungsflächen nicht erlaubt ist, wurde zunächst gegen die Kultur bilanziert, die anstelle des Rohstoffs angebaut wurde. Da der nachwachsende Rohstoff in diesem Fall den Anbau der Kultur verhindert, muss sie (Bilanzansatz) auf einer anderen Fläche angebaut werden, die gegen die Fruchtfolge mit Stilllegung verrechnet wird. Die Differenz dieser Fruchtfolgen wurde, weil sie auch durch den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs belastet ist, der Differenz aus der ersten Fruchtfolge zugerechnet. Der ermittelte Wert ergab sich in einem solchen Fall aus der Differenz der Fruchtfolge mit dem nachwachsenden Rohstoff und dem Referenzsystem mit dem nachwachsenden Rohstoff. Das kann im Einzelfall zu hohen oder geringen Indikatorwerten führen, die nicht nur auf die Kultur selbst, sondern auf die gesamten Änderungen der Fruchtfolgen zurückzuführen ist.

Bei der Definition der Fruchtfolgen wurden nach den Grundsätzen guter fachlicher Praxis Fruchtfolgen mit mindestens vier Jahren (Gliedern) erstellt. Empfehlungen der pflanzenbaulichen Fachliteratur wurden berücksichtigt. Außerdem fanden Erkenntnisse zur Anbaupraxis in Baden-Württemberg Eingang, wo die Verhältnisse, z.B. im Fall des Körnermaisbaus durch engere Fruchtfolgen geprägt sind, als dies in der Fachliteratur beschrieben ist. Bei der Ausgestaltung der Fruchtfolgen wurde überdies berücksichtigt, in welchen Gebieten der nachwachsende Rohstoff schwerpunktmäßig für den Anbau zu empfehlen ist (siehe Karten der günstigen Anbaugebiete nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg in Kapitel 7.2). Die Fruchtfolgen wurden entsprechend der großräumigen Zuordnung der Anbaugebiete und unter Beachtung der bereits genannten Kriterien zusammengestellt. Eine Zusammenstellung aller verwendeten Fruchtfolgen findet sich in Anhang 11.3.4.

In der Tabelle 7-40 sind die Ergebnisse zum Phosphor-Eintragspotenzial in Oberflächengewässern der untersuchten nachwachsenden Rohstoffe gegenüber den Referenzsystemen mit Stilllegung wiedergegeben. Abbildung 7-43 zeigt die Ergebnisse in grafischer Form. Da bei der Bodenerosion und dem daraus abgeleiteten Indikator für den Phosphor-Eintrag in Oberflächengewässern ein Modell verwendet wurde, das die mittlere jährliche Erosion für die gesamte Fruchtfolge als Ergebnis ausweist, war in diesem Fall ein Herunterrechnen auf ein Jahr nachwachsenden Rohstoff-Anbaus nicht notwendig.

Tabelle 7-40: P-Eintragspotenziale in Oberflächengewässer durch nachwachsende Rohstoff-Fruchtfolgen gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.

Fruchtfolge Jahre	nachwachsender Rohstoff	P-Austragspotenzial in Oberflächengewässer (kg P pro ha und Jahr)			
		mit nawaRo	ohne nawaRo	Korrekturoperationen	Differenz der FF. mit /ohne nawaRo
4	HO- Sonnenblumenöl	0,49	0,41		0,08
6	Winterrapsöl	0,43	0,34		0,09
6	Stärkeweizen	0,61	0,45	mit Differenz Weizen/Stilllegung	0,16
4	Körnermaisstärke	0,82	0,41		0,41
4	Faserhanf (und Hanfsamen)	0,87	0,82	mit Differenz Mais/Stilllegung	0,05
7	Flachs Industriefaser	0,38	0,28		0,10
15	Miscanthus	0,44	0,23		0,21
10	Fasernessel Textilfaser	0,62	0,23		0,39

Abbildung 7-43 zeigt anhand einer Grafik die Differenzen der Fruchtfolgen mit den nachwachsenden Rohstoffen gegenüber den Referenzsystemen mit Flächenstilllegung. Die Unterschiede zeigen bei positiven Vorzeichen eine zusätzliche Gefährdung. Negative Werte (hier nicht auftretend) weisen eine Verminderung des Phosphor-Eintragspotenzials gegenüber den Fruchtfolgen mit Stilllegung (Begrünung mit Weidelgras) aus.

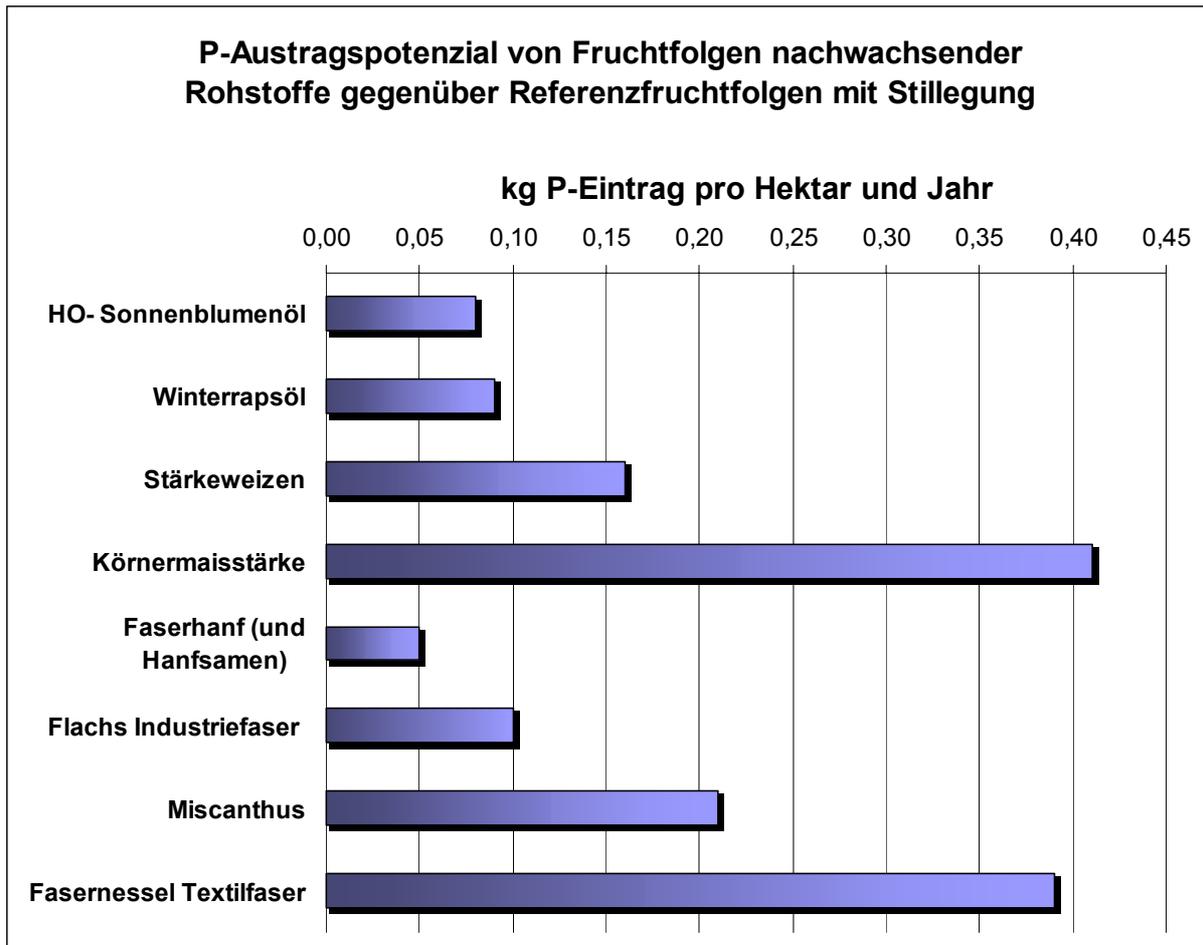


Abbildung 7-43: P-Eintragspotenzial in Oberflächengewässer durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe.

Ergebnisvergleich

Wie aus Abbildung 7-43 ersichtlich ist, ergeben sich nur bei Stärkemais und Fasernessel relativ hohe Werte. Im Falle des Mais sind sie auch durch absolut hohe Erosionswerte bedingt. Im Falle der Fasernessel erklärt sich die relativ hohe Differenz zum Referenzsystem durch die absolut sehr geringen Werte der Erosion im Referenzsystem, in welchem bei langjähriger begrünter Offenhaltung mit jährlichem Mulchen nur verschwindend geringe Erosionswerte auftreten. Dies ist auch für die relativ hohen Differenzen durch den nachwachsenden Rohstoff Anbau bei Miscanthus die Ursache. Die moderaten, gegenüber den restlichen Kulturen leicht erhöhten Werte bei Stärkeweizen sind durch das Referenzsystem mit dem Zuschlag für die Weizenproduktion gegen Stilllegung auf einem anderen Schlag entstanden, da Stärkeweizen

nicht auf Stilllegungsflächen produziert werden kann.

Zusammenfassend weisen die Indikatoren nur auf Handlungsbedarf bei Mais hin, der auf geeigneten Flächen deshalb nicht oder nur mit speziellen Anbaumaßnahmen, wie z.B. reduzierter Bodenbearbeitung und/oder Untersaaten, angebaut werden sollte.

Bodenverdichtungspotenzial

Die im Folgenden dargestellten Werte sind gemäß den Angaben in Kapitel 7.4.3.1 für den „Modellstandort Baden-Württemberg“ ermittelt.

Da die Art des Produktionsverfahrens einzelner Kulturpflanzen auch von der Vorkultur abhängig ist (z.B. nötige Bodenbearbeitung) und Auswirkungen auf die Gestaltung der nachfolgenden Produktionsverfahren nimmt (z.B. Möglichkeit einer Zwischenfrucht), wurden jeweils ganze Fruchtfolgen verrechnet. Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen ergeben sich ausschließlich aus dem Anbau eines Rohstoffs anstatt einer Stilllegung und können somit direkt der nachwachsenden Rohstoff-Kultur zugeschrieben werden.

In Fällen wie dem Hanf oder dem Stärkeweizen, in denen ein Anbau auf Stilllegungsflächen nicht erlaubt ist, wurde zunächst gegen die Kultur bilanziert, die anstelle des Rohstoffs angebaut wurde. Da der nachwachsende Rohstoff in diesem Fall den Anbau der Kultur verhindert, muss sie (Bilanzansatz) auf einer anderen Fläche angebaut werden, die gegen die Fruchtfolge mit Stilllegung verrechnet wird. Die Differenz dieser Fruchtfolgen wurde, weil sie auch durch den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs belastet ist, der Differenz aus der ersten Fruchtfolge zugerechnet. Der ermittelte Wert ergab sich in einem solchen Fall aus der Differenz der Fruchtfolge mit dem nachwachsenden Rohstoff und dem Referenzsystem mit dem nachwachsenden Rohstoff. Das kann im Einzelfall zu hohen oder geringen Indikatorwerten führen, die nicht nur auf die Kultur selbst, sondern auf die gesamten Änderungen der Fruchtfolgen durch diese Kultur zurückzuführen sind.

Bei der Definition der Fruchtfolgen wurden nach den Grundsätzen guter fachlicher Praxis Fruchtfolgen mit mindestens vier Jahren (Gliedern) erstellt. Empfehlungen der pflanzenbaulichen Fachliteratur wurden berücksichtigt. Außerdem fanden Erkenntnisse zur Anbaupraxis in Baden-Württemberg Eingang, wo die Verhältnisse (z.B. im Fall des Körnermaisbaus) durch engere Fruchtfolgen geprägt sind, als dies in der Fachliteratur beschrieben ist.

Bei der Ausgestaltung der Fruchtfolgen wurde überdies berücksichtigt, in welchen Gebieten der nachwachsende Rohstoff schwerpunktmäßig für den Anbau zu empfehlen ist (siehe Karten der günstigen Anbauggebiete nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg in Kapitel 7.2). Die Fruchtfolgen wurden entsprechend der großräumigen Zuordnung der Anbauggebiete und unter Beachtung der bereits genannten Kriterien zusammengestellt. Eine Zusammenstellung aller verwendeten Fruchtfolgen findet sich in Anhang 11.3.4.

In der Tabelle 7-41 sind die Ergebnisse zum Bodenverdichtungspotenzial (BVP) der untersuchten nachwachsenden Rohstoffe gegenüber den Referenzsystemen mit Stilllegung wiedergegeben.

Tabelle 7-41: Bodenverdichtungspotenziale (BVP) von Fruchtfolgen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzsystemen mit Stilllegungsfläche.

Fruchtfolge Jahre	nachwachsender Rohstoff	Bodenverdichtungspotenzial (BVP) in t ^h *ha ⁻¹			Bodenverdichtungspotenzial (BVP) gegenüber Referenzsystem ohne nawaRo
		mit nawaRo	ohne nawaRo	Korrekturoperationen	
4	HO- Sonnenblumenöl	156,52	141,87		14,65
6	Winterrapsöl	270,06	256,98		13,08
6	Stärkeweizen	284,35	263,81	mit Differenz Weizen/Stilllegung	20,54
4	Körnermaisstärke	156,40	145,59		10,81
4	Faserhanf (und Hanfsamen)	188,87	170,33	mit Differenz Mais/Stilllegung	18,57
7	Flachs Industriefaser	331,88	298,62		33,27
15	Miscantus	594,38	97,70	/15	33,11
10	Fasernessel Textilfaser	562,32	73,24	/10	48,90

Abbildung 7-44 zeigt anhand einer Grafik die Differenzen der Fruchtfolgen mit den nachwachsenden Rohstoffen gegenüber den Referenzsystemen mit Flächenstilllegung. Die Unterschiede zeigen bei positiven Vorzeichen ein zusätzliches Verdichtungspotenzial. Negative Werte (hier nicht auftretend) weisen eine Verminderung des Verdichtungspotenzials gegenüber den Fruchtfolgen mit Stilllegung (Begrünung mit Weidelgras) aus.

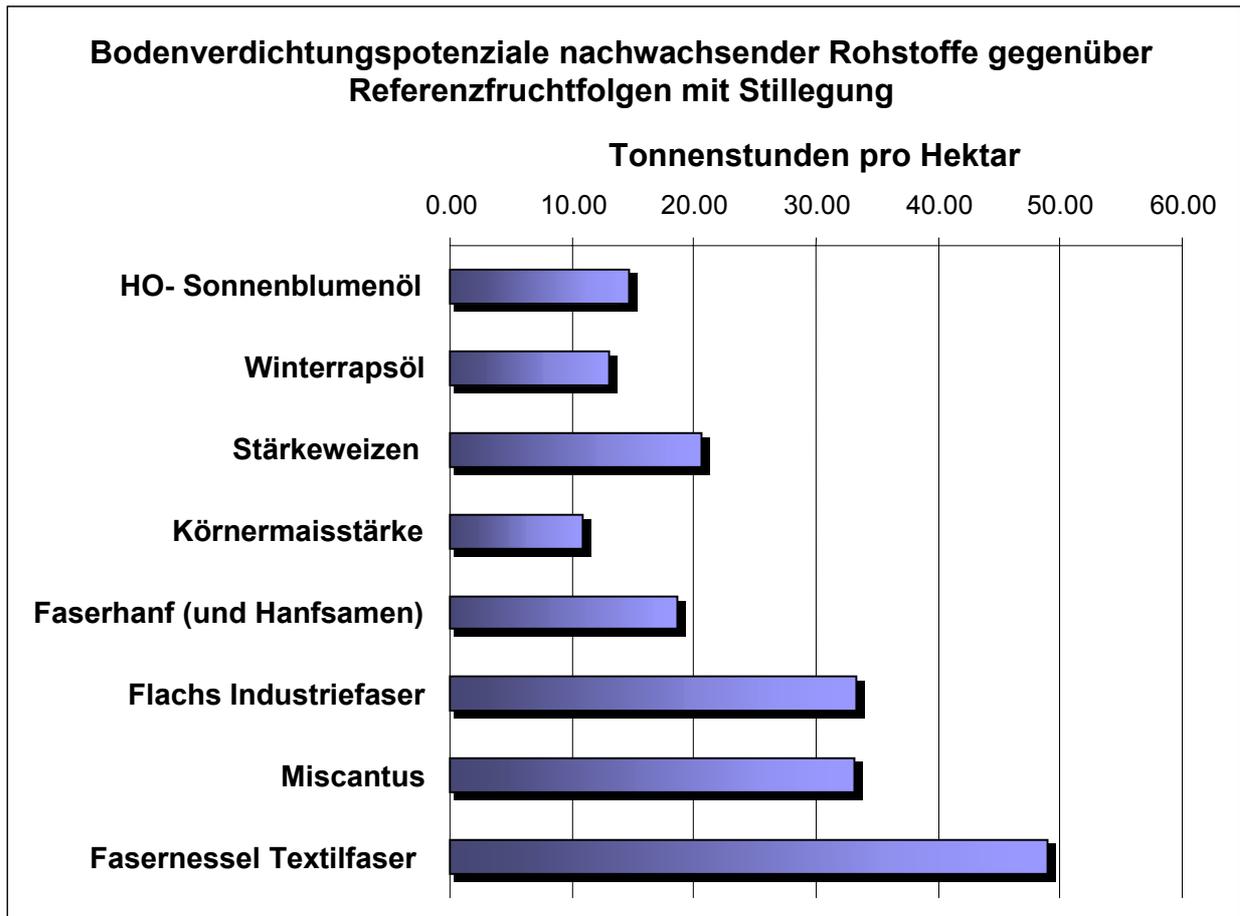


Abbildung 7-44: Bodenverdichtungspotenziale (BVP) von Kulturen nachwachsender Rohstoffe gegenüber Referenzfruchtfolgen mit Flächenstilllegung ohne den Anbau nachwachsender Rohstoffe.

Ergebnisvergleich

Wie aus Abbildung 7-44 ersichtlich ist, ergeben sich nur bei Industriefaserlein, Miscanthus und Fasernessel signifikante Zuwächse beim Verdichtungspotenzial gegenüber den Referenzsystemen mit Stilllegung. Dies ist bei der annualen Kultur Faserlein auf das gegenüber sonstigen Marktfrüchten häufigere Befahren der Flächen im Zusammenhang mit der Feldröste und den Erntearbeiten zurückzuführen (Schneiden, Wenden, Ballenpressen, Abfahren), wodurch ein insgesamt höheres Verdichtungspotenzial entsteht.

Bei Miscanthus entsteht das höhere Verdichtungspotenzial zum Einen durch die hohen Belastungen im ersten Jahr der Etablierung der Kultur und zum Anderen durch die relativ hohen Belastungen gegenüber dem Verdichtungspotenzial von Dauerstilllegung. Dies führt dazu, dass ein größerer Abstand gegenüber dem Referenzsystem gegeben ist (Dauerstilllegung ca. 6 t Mh gegenüber ca. 20 t Mh bei annualen Stilllegungen). Dadurch, dass das Referenzsystem mit Dauerstilllegung extrem geringe absolute Werte aufweist, ergibt sich trotz durchschnittli-

cher Belastung durch die Kultur hier eine starke Zunahme des Verdichtungspotenzials gegenüber dem Referenzsystem.

Bei Fasernessel liegen die Verhältnisse ähnlich, der Beitrag zum Verdichtungspotenzial aus dem ersten Anbaujahr mit Hackarbeiten, Bewässerung etc. ist hier aber noch größer, und auch die Bodenverdichtungspotenziale für die einzelnen Jahre liegen geringfügig höher als im Mittel der Feldfrüchte.

Da die Fasernessel und vor allem Miscanthus den Boden mit ihren Rhizomen dauerhaft und intensiv durchwurzeln und auch die Bodengare unter der Dauerbedeckung sehr begünstigt wird, führt das erhöhte Bodenverdichtungspotenzial bei diesen Kulturen mit hoher Wahrscheinlichkeit aber nicht zu wirklichen Problemen bei der Verdichtung, sondern wird durch die positiven Eigenschaften der Kulturen bezüglich der Lockerung und des Aufschlusses des Bodengefüges kompensiert.

Nur bei Flachs ist diesen Ergebnissen zufolge ein signifikant höheres Gefährdungspotenzial durch Verdichtungen gegeben bzw. ist Vorsicht geboten, um unerwünschte Verdichtungen des Bodens zu vermeiden.

7.4.5.2 Ergebnisse und Diskussion qualitative Indikatoren

Landschaftsbild

Tabelle 7-42 gibt einen Überblick über die Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe (zugrunde gelegte Daten: z.B. KNAUER 1988 1997; BERLEPSCH 2000). Eine geringe Bedeutung für das Landschaftsbild haben Chinaschilf und Fasernessel und Weidelgras-Stilllegung. Dies geht insbesondere auf das Fehlen eines attraktiven Blühaspektes und/oder den Dauerkulturcharakter und die Neuartigkeit der Kulturen in Baden-Württemberg zurück (Bezugsjahr 1950). Chinaschilf bleibt mit einem Punkt deutlich zurück und wird damit eher negativ bewertet. Wo nichtoffene Agrarlandschaften das Anbauszenario darstellen, sondern gemischte Siedlungsstrukturen das Bild prägen (Wechsel von Feldern, Industriehallen und Wohnbereichen), könnte die Unterbindung der Sichtbeziehung durch den hohen Pflanzenbestand und die entstehende Gliederung der Landschaft allerdings auch positiv bewertet werden. Gleiches träfe zu in einer extrem ausgeräumten, an Strukturen (z.B. Hecken) verarmten Landschaft. Dieses Ergebnis zeigt die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen des landesweiten Bewertungsschemas.

7 Methoden und Ergebnisse

Eine mittlere Bedeutung für das Landschaftsbild haben Faserhanf, Körnermais, Sonnenblumen, Sommergerste, Hafer, Wintergerste, Winterweizen, Klee gras und Phazelia. Für diese Einstufung liegen unterschiedliche Gründe vor. Eine hohe Bedeutung für das Landschaftsbild haben nur Winterraps und Lein mit 6 Punkten. Das rechnerische Maximum von 7 Punkten könnte etwa von Mohn erreicht werden. Insgesamt ergeben sich durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen Möglichkeiten, das Landschaftsbild nicht nur zu erhalten, sondern auch deutlich zu verbessern. Dies gilt um so mehr, als den beiden Stilllegungs-Varianten, mit deren Fruchtfolgen die nachwachsenden Rohstoff-Fruchtfolgen letztlich verglichen werden müssen, nur eine geringe Bedeutung für das Landschaftsbild zukommt.

Einschränkend muss darauf verwiesen werden, dass sich im Einzelfall - aufgrund naturraumtypischer Besonderheiten und damit abweichend vom landesweit-schematischen Vorgehen - eine andere Bewertung ergeben kann. Darüber hinaus muss klar sein, dass alle als für die Agrarlandschaft typisch geltenden Kulturarten einen Beitrag für das Landschaftsbild leisten und Monokultur, auch der positiv beurteilten Kulturen nicht das Ziel sein kann, sondern ihr Beitrag im Rahmen eines 10 %igen Anteils an der Ackerfläche (Stilllegungssatz) bewertet wurde.

Tabelle 7-42: Landschaftsbezogene Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe sowie der Stilllegungsflächen in den Agrarlandschaft Baden-Württembergs.

	Blühaspekt - nah/- fern	Struktur- vielfalt	Charakt. Landschafts- element	historische Feldfrucht (Retro)	Fruchtfolge (4 Kulturen in 6 Jahren.)	Sicht-Beziehung ja /nein	Summe	Wertung des Beitrags
Chinaschilf	0	1	0	0	0	0	1	gering
Faserhanf	0	1	1	1	1	0	4	mittel
Faserlein	2	1	0	1	1	1	6	hoch
Fasernessel	0	1	0	0	0	1	2	gering
Körnermais	0	1	1	0	0	0	2	gering
Sonnenblume	2	1	0	0	1	0	4	mittel
Winterraps	2	1	1	0	1	1	6	hoch
Winterweizen	0	0	1	0	0	1	2	gering
Wintergerste	0	0	1	0	1	1	3	mittel
Sommergerste	0	0	1	0	1	1	3	mittel
Hafer	0	0	1	0	1	1	3	mittel
Phazelia (ZF)	1	1	0	0	1	1	4	mittel
Kleegemenge	1	0	1	0	1	1	4	mittel
<i>Lolium</i>- annuell	0	0	0	0	1	1	2	gering
<i>Lolium</i>saat mehrjährig	1	0	0	0	0	1	2	gering

Ergebnisvergleich hinsichtlich der Artenvielfalt

Für die Bewertung wurden aus der Literatur u. a. BAHNER 1997; CHRISTEN & SCHULZE 1997; HOFMEISTER & GARVE (1998); KAULE 1986; SCHWARZ et al. 1997; SCHWEIGER & STOLZENBURG 1993 und WITTOCK et al. (1997) berücksichtigt. Die meisten nachwachsenden Rohstoffe erreichen bestenfalls eine mittlere Bedeutung für die Artenvielfalt. Damit liegen sie in der Bewertung mit den Bracheflächen gleichauf. Nur bei Winterraps und Faserlein ergeben sich leichte Vorteile gegenüber der Stilllegung mit Weidelgrasbegrünung (Tab. 42) . Dies liegt weniger an den Kulturarten selbst als vielmehr an den landbaulichen Rahmenbedingungen, d.h. an der konventionellen Bewirtschaftung (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG,

LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1995; UMWELTBUNDESAMT 1997). Bei ÖKABB werden mit Pflanzenschutzmitteln behandelte Äcker hinsichtlich dem Kriterium Intaktheit (u.a. Unterkriterium Artenvielfalt) sogar generell mit "sehr geringe bis keine Bedeutung" eingestuft (POINTREAU et al. 1999). Dies entspricht der Einstufung der industriellen Landwirtschaft in KAULE (1986): "Die standortspezifische Flora und Fauna ist ausgeschaltet".

Die positiven Effekte anderer Bewirtschaftungsweisen zeigt beispielsweise GUJER (2001) für die sog. "Ökologischen Ausgleichsflächen" in der Schweiz, die rund 8 % der schweizerischen landwirtschaftlichen Nutzfläche einnehmen (berücksichtigte Artengruppen: Flora, Laufkäfer, Spinnen, Tagfalter und Vögel). Auch andere Quellen heben die positive Bedeutung anderer Bewirtschaftungsweisen für die Artenvielfalt hervor (KELLER 2001; KOHLER 1986; LINCKH et al. 1997; WALDHARDT et al. 2000). Ein "konventionelles" Anbauverfahren schließt derzeit eine höhere, fachlich begründete Bewertung der nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich der Artenvielfalt aus.

Es soll aber festgehalten werden, dass bereits eine einzelne Änderung "konventioneller" Verfahren, wie z.B. das Belassen der Stoppel inkl. sich entwickelnder Vegetation über den Winter, deutliche positive Auswirkungen auf die Artenvielfalt erwarten lassen. BARTHEL (1997) konnte feststellen, dass auch die Permanenz gewisser Vegetationsformen (>3 Jahre) erst die Bedingungen für das Auftreten vieler Spinnarten schafft (u.U. relevant bei Fasernessel und Miscanthus). VOLKMAR & KREUTER (2000) gingen der Frage nach, welchen Einfluss die Wiedereinführung von Hanf und Flachs in Fruchtfolgesysteme des Erzgebirgsraumes auf die Insektenfauna hat. Sie fanden, dass beide Kulturen die entomofaunistische Diversität im Untersuchungsgebiet erhöhten. Gegenüber konventionellem Anbau war im ökologischen Anbau die Dichte der Insekten 2-3fach höher. Die Zusammensetzung nach Familien unterschied sich nur gering. In der blütenreicheren Segetalflora mit Lein wurden Schwebfliegen und parasitierende Hautflügler stärker gefördert, im Hanf waren es vor allem Käfer und räuberische Zweiflügler. Auf die potenzielle Förderung von Fritfliegen (Schadinsekten) mit verstärktem Lein-anbau wird hingewiesen.

Da bis heute nur wenige solcher Untersuchungen vorliegen, ist die Datengrundlage für die Beurteilung nachwachsender Rohstoffe im Hinblick auf den Erhalt und die Förderung der Artenvielfalt noch gering. Ökologische Untersuchungen zu einzelnen nachwachsenden Rohstoff-Kulturen und Produktionsverfahren seien an dieser Stelle deshalb angeregt. Bezüglich der Tierarten wird nochmals auf das benötigte Lebensraummosaik hingewiesen, in dem der einzelne Ackerschlag eben nur ein Element von vielen ist.

Tabelle 7-43: Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich der Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.

	Pollen/ Nektar	Bedeutung für Leitarten (Pflanzen)	Bedeutung für Leitarten (Tiere)	Potenzielle Bedeutung für ausgestorbene Kräuter-Arten	Kein Einsatz von Herbizid	Kein Einsatz von Insektizid	kein/red. Dünger- einsatz	Potenz. Stoppel als Winter- struktur	Winter Bestand oder -struktur	Frucht- folge	Bedeutung für die Kulturarten- vielfalt	Summe
Chinaschilf	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	4
Faserhanf	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	5
Faserlein	1	0	2	1	0	0	0	1	0	1	1	7
Fasernessel	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	4
Körnermais	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	4
Sonnenblume	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4
Winterraps	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	0	6
Winterweizen	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	4
Wintergeste	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	4
Sommergerste	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	3
Hafer	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	4
Phazelia Zf	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	5
Senf Zf	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	4
Kleegrass	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	6
<i>Lolium</i> -annuell	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	5
<i>Lolium</i> -mehrfährig	0	0	2	0	1	1	1	0	1	0	0	6

Leitarten Pflanzen: Tännel-Leinkraut (*Kickxia elatine*) und Kornblume (*Centaurea cyanus*)

Leitarten Tiere: Feldlerche (*Alauda arvensis*) und Rebhuhn (*Perdix perdix*)

Synthetische Bewertung Landschaftsbild/Artenvielfalt

In der Gesamtbewertung (Tab. 43) hinsichtlich Landschaftsbild und Artenvielfalt wurden Zwischenstufen zugelassen. Die höchsten Werte werden von Winterraps und Flachs erreicht (II-III). Im Vergleich zu den jeweiligen Bracheflächen mit *Lolium* (annuell) sind außerdem Hanf und Sonnenblume positiv zu bewerten, während Winterweizen und Körnermais gleich oder geringfügig geringer zu bewerten sind als die einjährige Stilllegung. Die Beiträge der Dauerkulturen Fasernessel und *Miscanthus* sind bezüglich des Landschaftsbildes und des Artenschutzes jeweils geringer zu bewerten als der Beitrag einer mehrjährigen, einmal jährlich gemulchten Stilllegung als Referenzkultur. Die angewandten Bewertungsschemata zeigen damit mit Ausnahme der Dauerkulturen eine gegenüber *Lolium*-Einsaat mehr oder minder positive oder neutrale (potenzielle) Auswirkung des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen auf das Landschaftsbild und die Artenvielfalt.

Die Aussagekraft der oben dargelegten Bewertungen muss allerdings vor dem Hintergrund der landesweit gesetzten Rahmenbedingungen und Annahmen betrachtet werden. Für Einzelfälle kann eine andere Bewertung erforderlich sein. Dennoch ist festzuhalten, dass die positiven Einflüsse, die von der Landwirtschaft auf das Landschaftsbild und die Artenvielfalt teilweise auch heute noch ausgehen (KNICKEL et al. 2001) durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen erhalten bzw. sogar gesteigert werden können (Ausnahmen Fasernessel und Chinaschilf). Auch hier erfolgte die Beurteilung der Kulturen bei Annahme eines Stilllegungsanteils von 10 % an der Ackerfläche.

Wichtige Ziele aus Sicht des Landschafts- und Artenschutzes sind eine an die landschaftliche Eigenart angepasste Vielfalt und Schönheit und eine extensivere Bewirtschaftung zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung einer lebensraumspezifischen Flora und Fauna. Dies ist nur durch eine entsprechende, fachlich jedoch noch nicht praxisgerecht formulierte Kultivierung durch die Landwirte möglich.

Tabelle 7-44: Bewertung der einzelnen nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich Landschaftsbild und Artenvielfalt in den Agrarlandschaften Baden-Württembergs.

nawaRo	Landschaftsbild		Artenvielfalt		Gesamt
	Punkte	Klasse *	Punkte	Klasse *	Bewertungsklasse *
Miscanthus	1	I	4	I	I
Hanf	4	II	5	I	I-II
Industriefaserlein	6	III	7	II	II-III
Fasernessel	2	I	4	I	I
Körnermais	2	I	4	I	I
HO-Sonnenblume	4	II	4	I	I-II
Winterraps	6	III	6	II	II-III
Winterweizen	2	I	4	I	I
<i>Lolium-Einsaat</i> annuell	2	I	5	I	I
<i>Lolium</i> Begrü- nung mit mehr- jähriger Offenhaltung	2	I	6	II	I-II

Legende: I geringer Beitrag

II mittlerer Betrag

III hoher Beitrag

Bodenleben

Wie in den Tabellen 7-37 und 7-45 aufgeführt, erreichen die nachwachsenden Rohstoffe nach dem angewandten Bonitierungsverfahren nur unbedeutende bis geringe (4 Kulturen) oder im Fall von Miscanthus, HO-Sonnenblumen, Winterweizen und Körnermais allenfalls mittlere Bedeutung für das Bodenleben. Die Hälfte der nachwachsenden Rohstoffe bleibt um mindestens eine Bewertungsklasse hinter den annualen Stilllegungsflächen und um 1-2 Klassen hinter mehrjähriger Stilllegung zurück (Tab. 7-45). Die geringen bis mittleren Beiträge der nachwachsenden Rohstoff-Kulturen gehen vornehmlich auf den generellen Verlust an Biomasse durch die Ernte (versus Mulchen der Stilllegungs-Einsaaten) und auf die höhere Gewichtsbelastungen bei den Ackerkulturen zurück.

Tabelle 7-45: Bewertung der nachwachsenden Rohstoffe hinsichtlich des Bodenlebens (Indikator Regenwürmer).

Kultur	Summe	Bewertungs- klasse	Wertung des Beitrags zum Bodenleben
Miscanthus	3	II	mittel
Faserhanf	2	I	gering
Faserlein	1	I	gering
Fasernessel	2	I	gering
Körnermais Stärke	3	II	mittel
HO-Sonnenblume	3	II	mittel
Winterraps	2	I	gering
Winterweizen Stärke	3	II	mittel
Lolium annuell	3	II	mittel
Lolium Offenhaltung	5	III	hoch
Wintergerste	2	I	gering
Sommergerste	2	I	gering
Hafer	2	I	gering
Felderbse	2	I	gering
Phazelia Zf	2	I	gering
Senf Zf	3	II	mittel
Kleegras	3	II	mittel
W-Weizen Brot	3	II	mittel

Abschließend ist zur Bewertung der Kulturen anhand der qualitativen Indikatoren zum Landschaftsbild, zur Artenvielfalt und zum Bodenleben zu bemerken, dass noch relativ wenig Untersuchungen zum Einfluss von nachwachsenden Rohstoff-Kulturen auf Flora und Fauna vorliegen, die allgemeingültige Rückschlüsse zulassen. Die angestellten Bewertungen, insbesondere bei den Kategorien Artenvielfalt und Bodenleben, sind deshalb auch nicht so belastbar wie die quantitativen Indikatoren (z.B. Nitrataustragspotenzial). Auf eine Bilanzierung der Ergebnisse durch Verrechnung der Fruchtfolgen, wie sie hier auch möglich gewesen wäre, wurde deshalb verzichtet.

Nicht exakte, an die Methode der Ökobilanzierung angelehnte Werte standen bei dieser Bewertung im Vordergrund, sondern die Entwicklung eines methodischen Ansatzes. Er soll aufzeigen, wie man auch bei einer vorausschauenden, standortunabhängigen Bewertung im Rahmen ökobilanzieller Betrachtung die Qualität der Flächenbeanspruchung bis hin zu den Wirkungen auf das Landschaftsbild und die Artenvielfalt einbeziehen kann.

7.5 Ökonomische Bewertung der Anbauwürdigkeit

Markt- und Preissituation bei nachwachsenden Rohstoffen:

Die Markt- und Preissituation bei nachwachsenden Rohstoffen ist gegenüber gängigen Marktfrüchten wie z.B. Weizen oder Raps durch eine wesentlich größere Instabilität gekennzeichnet. Die Preise für die landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffe sind deshalb insbesondere für Rohstoffe, die nicht zurück in diese Märkte können (Hanf, Miscanthus, Lein, Fasernessel), meist so schwer kalkulierbar, dass ein Anbau ohne den Abschluss von Verträgen mit Verarbeitern ein hohes Risiko für die Betriebe darstellt. Dies ist mit ein Grund, weshalb im Rahmen dieser Studie mit Weizen, Mais, Raps und Sonnenblumen gleich vier "normale" Kulturen in die Analyse hinsichtlich des Potenzials als Rohstofflieferant für die stoffliche Nutzung einbezogen wurden.

Trotz der insgesamt hohen Instabilität der Preise für nachwachsende Rohstoffe konnten im Rahmen dieser Studie aus Zeitmangel keine Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der Preisschwankungen für die einzelnen Rohstoffe durchgeführt werden. Bei der Interpretation der nachfolgend aufgeführten Deckungsbeiträge sollte jedoch daran gedacht werden, dass Preisänderungen von 10-20 % nach oben oder unten auf diesen Märkten keine Seltenheit sind. Vertragsanbau mit Absprachen über Qualitätsanforderungen und Preise ist deshalb bei der Produktion nachwachsender Rohstoffe (zumindest für große Anteile der Ernte) meist gängige Praxis und auch zu empfehlen.

7.5.1 Methoden und Grundlagen der Berechnungen

Die Berechnung der Deckungsbeiträge (sie geben Auskunft über die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und kennzeichnen die relative Vorzüglichkeit einzelner Produktionsverfahren) erfolgte analog zum Vorgehen bei der Ökobilanzierung jeweils für ganze Fruchtfolgen. Dies war deshalb notwendig, weil die Integration einer Kultur zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe in eine Fruchtfolge nicht nur das Jahr des Anbaus berührt, sondern auch Auswirkungen auf das Produktionsverfahren der vor- und nachgelagerten Kulturen und auf die Fruchtfolgegestaltung insgesamt nimmt. Die Anforderungen z.B. an die Bodenbearbeitung der Folgekultur ändern sich, bestimmte Pflanzen können wegen mangelnder Verträglichkeit nicht nach nachwachsenden Rohstoff-Kulturen angebaut werden, weil der Krankheitsdruck zu groß würde.

Es wurden die gleichen Produktionsverfahren wie in den ökobilanziellen Berechnungen (Kapitel 7.3 und 7.4) zugrunde gelegt. Die Marktleistungen und variablen Kosten von Fruchtfolgen mit nachwachsenden Rohstoffen wurden berechnet und den parallel dazu ermittelten Ergebnissen für die Referenzfruchtfolgen mit Stilllegung gegenüber gestellt. Die sich daraus ergebende Differenz (mehr oder weniger wirtschaftlicher Ertrag pro Hektar und Jahr) ist dann ursächlich auf den nachwachsenden Rohstoff zurückzuführen.

Als Betriebs- und Anbauszenario für den Anbau in Baden-Württemberg wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt: Parzellengröße 2 ha; Hofentfernung 2 km; Entfernung zwischen den Schlägen 1 km.

Für die Beschreibung der Arbeitsverfahren, des Arbeits- und Dieselbedarfs wurden - soweit vorhanden - die Daten der LEL (2002) verwendet, da sie für die Verhältnisse in Baden-Württemberg entwickelt wurden. Bei Kulturen wie etwa der Fasernessel und Miscanthus, bei denen keine oder keine aktuelle Planungs- und Rechnungsgrundlage vorhanden waren, wurden die Berechnungsgrundlagen recherchiert und dann mittels der Software zu den Kalkulationsdaten für Marktfrüchte der LEL verrechnet. Bei Verfahren, zu denen keine Daten für Baden-Württemberg vorlagen, wurde auf die Datenbasis des KTBL (1999/2000) zurückgegriffen.

7.5.2 Deckungsbeiträge für die Kulturen nachwachsender Rohstoffe

7.5.2.1 Einzeldeckungsbeiträge

In Tabelle 7-46 sind zunächst die Deckungsbeiträge der einzelnen Kulturen nur für das Jahr des Anbaus zusammen mit den angenommenen Preisen und Erträgen dargestellt, da diese normalerweise in der Praxis Verwendung finden, um die relative Vorzüglichkeit eines Produktionsverfahrens gegenüber anderen Alternativen darzustellen.

Tabelle 7-46: Zusammenstellung von Einzeldeckungsbeiträgen der Kulturen nachwachsender Rohstoffe für die stoffliche Verwertung.

Kultur	Ertrag in dt/ha	Preis in €/dt	Deckungsbeitrag in €/ha*Jahr
High-Oleic-Sonnenblumen	30	34,3	719
Stärkeweizen	75	10,4	606
Stärkemais	95	11,1	557
Winterraps	35	23,4	404
Hanf (Doppelnutzung)	25	9,7	601
Miscanthus (gemittelt über 15 Nutzungsjahre)	197	6,54	1.080
Lein (Doppelnutzung)	68	8	291
Fasernessel (gemittelt über 10 Nutzungsjahre)	83	10	206

Überraschenderweise weist Miscanthus nach den angestellten Berechnungen mit einem Deckungsbeitrag von 1.080 €/ha die höchste potenzielle Leistung auf. Dies ist gegenüber früheren Berechnungen vor allem darauf zurückzuführen, dass ein neues Vermehrungs- und Etablierungsverfahren (es ist in Anhang I.4 beschrieben) als Berechnungsgrundlage verwendet wurde. Durch dieses Verfahren lassen sich die Kosten, die früher häufig mit 5.000 €/ha angegeben wurden, auf unter 1.500 €/ha vermindern, wodurch die Wirtschaftlichkeit des ansonsten relativ extensiv betriebenen Anbaus erheblich verbessert wird.

Bei der Interpretation des Ergebnisses ist außerdem in Rechnung zu stellen, dass die angenommenen Preise für Miscanthus zwar auf real am Markt erzielten Zahlen beruhen, der Markt aber momentan nicht so groß ist, dass die aktuell in Baden-Württemberg produzierten Mengen auch problemlos abzusetzen wären. Das Ergebnis der Deckungsbeitragsrechnung zeigt, dass mit neuen Vermehrungsverfahren Spielraum für niedrigere Preise bei Miscanthus geschaffen werden kann, wodurch potenziell neue Märkte erschlossen werden können, auf denen Miscanthus momentan wegen der hohen Preise nicht konkurrieren kann (z.B. bei der in der Ökobilanzierung berechneten Substitution von Holzfasern in Spritzguss-Faserverbundstoffen).

Hoch-ölsäurehaltige Sonnenblumen stellen mit einem Deckungsbeitrag von 719 €/ha, der auf einer Preiskalkulation von jeweils 50 % 80+ und 90+Qualitäten beruht, ebenfalls eine sehr attraktive Alternative zu den gängigen Marktfrüchten dar. HO-Sonnenblumen könnten bei einer geeigneten Förderung mit regionaler Konzentration von Anbau und Verarbeitung relativ kurzfristig in größerem Umfang in Baden-Württemberg eingeführt werden. Die mit dem Anbau noch verbundenen Risiken bei Sonnenblumen sind bei diesen Qualitäten für den Produzenten eher akzeptabel als bei normalen Sonnenblumen, bei denen die Deckungsbeiträge deutlich niedriger liegen und zu einem Rückgang des Anbaus geführt haben.

Die Deckungsbeiträge von Stärkemais und Stärkeweizen unterscheiden sich kaum von den konventionellen Marktfrüchten. Da die Versorgungssicherheit für potenzielle Verarbeiter dieser Produkte im Gegensatz zu anderen Rohstoffen gegeben ist, sind die Risiken für Verarbeiter und Hersteller bei einem Umstellen der Produktion auf nachwachsende Rohstoffe gering. Die Marktentwicklung und eine mögliche Ausdehnung des Anbaus hängt bei diesen Stärkelieferanten deshalb mehr von der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber fossilen Rohstoffalternativen für z.B. Kunststoffe ab. Auch die Verbesserung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz biologisch abbaubarer Werk- und Kunststoffe und die großindustrielle Umsetzung von innovativen Verfahren (z.B. kostengünstige Polylaktidherstellung auf Stärkebasis durch kontinuierliche Fermentationsprozesse) werden die Nachfrage und damit das Flächenpotenzial für diese Kulturen mitbestimmen.

Der Deckungsbeitrag für Hanf ist bei Doppelnutzung und dem Einsatz der neuen, in Anhang I.4 beschriebenen Vollerntetechnik ebenfalls konkurrenzfähig und der Anbau deshalb eher von der Verarbeitungskapazität und Nachfragemenge abhängig.

Der Deckungsbeitrag von Winterraps liegt im berechneten Verfahren mit 404 €/ha im unteren Bereich. In anderen Deckungsbeitragsrechnungen (z.B. LEL 2002) schneidet er mit Deckungsbeiträgen um 500 €/ha aber meist günstiger ab. Da die Marktlage bei Raps relativ stabil ist, kann sein Anbau in günstigen Anbaugebieten Baden-Württembergs bei mittleren Gewinnerwartungen aber durchaus auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten empfohlen werden.

Nicht empfohlen werden können dagegen aus Sicht der betrieblichen Erzeugung die Kulturen Industriefaserlein und Fasernessel. Mit den angesetzten Preisen und Erträgen sind diese nachwachsenden Rohstoffe nicht konkurrenzfähig, weshalb eine Stilllegung in diesen Fällen vorzuziehen wäre.

Bei Fasernessel, für die Erzeugerpreise des Vertragsanbaus aus dem Jahr 2000 angesetzt wurden, fällt vor allem der hohe Aufwand für die vegetative Vermehrung und das Auspflanzen negativ ins Gewicht. Er schlägt im ersten Anbaujahr mit einem negativen Deckungsbeitrag von über 5.000 €/ha zu Buche. Die positiven Deckungsbeiträge von über 900 €/ha in den Hauptertragsjahren reichen bei der angegebenen Nutzungsdauer von 10 Jahren nicht aus, um die hohen Anfangskosten auszugleichen. Der Anbau kann nur dann attraktiv werden, wenn entweder billigere Verfahren der Bestandesbegründung entwickelt oder die Marktpreise deutlich erhöht werden (was für einen Nischenmarkt möglich erscheint). Fortschritte in der Zucht auf höhere Fasergehalte könnten die in der Ökobilanz gegenüber Baumwolle weitgehend positiv beurteilte Kultur in ihrer Wettbewerbsfähigkeit ebenfalls stärken.

Der Anbau von Industriefaserlein für die Nutzung in der Gesamtfaserlinie ist vor allem deshalb nicht attraktiv, weil der Spielraum für höhere Preise bei dieser Kultur in diesem Marktsegment mit geringer Wertschöpfung (zum Beispiel Dämmstoffproduktion) äußerst gering ist. Trotz des hier verwendeten Verfahrens mit Doppelnutzung, Annahme sehr hoher Erträge und Verzicht auf teure Spezialmaschinen konnte kein konkurrenzfähiger Deckungsbeitrag erzielt werden. Der Preis für das Flachsstroh ist mit 8 €/dt relativ niedriger angesetzt, es muss jedoch berücksichtigt werden, dass für dieses in Wirrlage geerntete Stroh auch geringere Preise bezahlt werden. KARL (2000) gibt für bessere Qualitäten Preise von maximal 12,5 €/dt an.

Abschließend kann zur Kalkulation der Deckungsbeiträge zu Lein und Flachs noch angemerkt werden, dass sie aufgrund der unsicheren Datenlage weniger belastungsfähig sind als die anderen Kulturen.

7.5.2.2 Deckungsbeiträge im Rahmen der Fruchtfolge

Tabelle 7-47 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der wirtschaftlichen Bewertung der Fruchtfolgen mit und ohne nachwachsende Rohstoffe, wobei jeweils die mittleren jährlichen Deckungsbeiträge der gesamten Fruchtfolge aufgeführt sind.

Tabelle 7-47: Zusammenstellung der mittleren Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen mit und ohne nawaRo und Saldo zugunsten (+) oder zu Ungunsten (-) der nawaRo.

Mittlere Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen [€/ ha und Jahr]		Ø FF DB mit nawaRo	Ø FF DB ohne nawaRo	Saldo
mit nawaRo	ohne nawaRo			
HO-Sonnenblume Wi-Weizen Körnermais Wi-Weizen	Still. Weidelgras Wi-Weizen Körnermais Wi-Weizen	674 €	552 €	122 €
Winterraps Wi-Weizen (Brot) 1 Braugerste 1 Futtererbsen Wi-Weizen (Brot) 2 Braugerste 2 bei Raps o.N	Still. Weidelgras Wi-Weizen (Brot) 1 Braugerste Futtererbsen Wi-Weizen (Brot) 2 Braugerste 2 bei Raps o.N o.N	534 €	507 €	27 €
Wi-Weizen 1 (Stärke) Braugerste 1 Futtererbsen Wi-Weizen 2 (Brot) Braugerste 2 vor Raps Winterraps	Wi-Weizen 1/Stilllegung Braugerste 1 Futtererbsen Wi-Weizen 2 (Brot) Braugerste 2 vor Raps Winterraps	520 €	526 €	42 € (-6 € + 48 €)
Körnermais 1 (Stärke) Wi-Weizen 1 (Brot) Körnermais 2 Wi-Weizen 2 (Brot)	Stilllegung o.N Wi-Weizen 1 (Brot) Körnermais 2 Wi-Weizen 2 (Brot)	585 €	515 €	70 €
Hanf o. Lager Wi-Weizen (Brot) Körnermais Braugerste	Körnermais Wi-Weizen (Brot) Körnermais Braugerste	628 €	636 €	-8 €
Flachs o. Lager Flachs o. Lager Flachs o. Lager Flachs o. Lager Flachs o. Lager Flachs o. Lager	Stilllegung Weidelgras W-Weizen 1 (Brot-) Braugerste 2 vor Raps Winterraps W-Weizen 1 (Brot-) Braugerste 2 vor Hafer Hafer	481 €	476 €	5 €
Miscanthus 1 Jahr -	Still. Weidelgras 1. Jahr -	1080 €	304 €	776 €
Miscanthus 15 Jahr	Still. Weidelgras 15 Jahr			
Nessel 1. Jahr -	Still. Weidelgras 1. Jahr -	206 €	298 €	-92 €
Nessel 10. Jahr	Still. Weidelgras 15 Jahr			

Der Ersatz von Stilllegung durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe führt in den meisten Fruchtfolgen zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Lediglich bei Fasernessel und bei Hanf, der nicht auf Stilllegungsflächen angebaut wird und sich gegen Mais behaupten muss, kommt es zu mittleren Ertragseinbußen von -92 € und -8 € pro Hektar und Jahr.

Bei der Interpretation der Daten muss beachtet werden, dass der Einfluss der Kulturen nachwachsender Rohstoffe in Fruchtfolgen mit nur wenigen Gliedern größer ist als in Fruchtfolgen mit vielen Gliedern, in denen der nachwachsende Rohstoff nur in größeren Abständen auftritt. Durch Multiplikation des Saldos mit dem Quotient aus Fruchtfolgejahren/Stilllegungsanteil an Fruchtfolgen (10) können die Werte für eine bessere Vergleichbarkeit normalisiert werden. Im Fall der Dauerkulturen Fasernessel und Miscanthus, bei denen gegen Dauerstilllegung verglichen wurde, können die Salden direkt übernommen werden.

Eine Zusammenstellung mit detaillierten Angaben zu den Deckungsbeiträgen der einzelnen Kulturen im Rahmen der Fruchtfolgen findet sich in Anhang 4.

8 Gesamtbewertung und Diskussion der Ergebnisse

Die vorgelegte Studie hat zum Ziel, die Entscheidungsgrundlagen für die Beurteilung von nachwachsenden Rohstoffen und für sinnvoll oder notwendig erachtete Veränderungen der Rahmenbedingungen auf dem Gebiet nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg zu verbessern.

Neben ökonomischen Überlegungen sollen hierbei schon im Vorfeld von Entscheidungen auch die Umweltaspekte in die Analyse und die Bewertung mit eingehen, um die Förderung nachwachsender Rohstoffe von vornherein mit den Forderungen der Nachhaltigkeit in Einklang zu bringen.

Wie in den Analysen nachwachsender Rohstoffe in Kapitel 7 aufgezeigt werden konnte, ist ein solches Vorgehen vor allem auch deshalb sinnvoll, weil mit einer möglichen Ausdehnung des Anbaus nicht nur (häufig angeführte) Chancen, sondern auch (seltener erwähnte) Risiken für die Umwelt und in wirtschaftlicher und sozialer Sicht verbunden sind.

Nachdem aus einer Liste von zunächst 30 Kulturpflanzen unter Beachtung der heutigen oder in naher Zukunft gegebenen technischen Möglichkeiten eine erste Auswahl getroffen war, wurden diese Kulturen auch hinsichtlich der Marktchancen für die daraus erzeugten Rohstoffe und ihres Flächenpotenzials bewertet. Nur unter Beachtung aller genannten Kriterien können nachwachsende Rohstoffe auch einen dauerhaften Beitrag zum Erhalt einer flächendeckenden Landwirtschaft und damit zum Erhalt der Kulturlandschaft leisten.

In welchem Maße die acht ausgewählten Kulturen diesen Anforderungen gerecht werden, ist Gegenstand der anschließenden Bewertung und Diskussion der nachfolgend erläuterten Ergebnisse.

8.1 HO-Sonnenblumen

High-Oleic-Sonnenblumen, deren Öl aufgrund ihres einzigartigen, durch Zucht erreichten Gehaltes von über 80-90 % Ölsäure eine hohe Syntheseverleistung schon aus der landwirtschaftlichen Erzeugung mitbringt, liefern einen für viele Anwendungen äußerst attraktiven Rohstoff. Für viele Verwendungen und Synthesen sind deshalb keine weiteren Aufarbeitungs- und Reinigungsschritte mehr nötig, die Wertschöpfung ist damit bei dieser Kultur schon zu großen Teilen in der

Bereitstellung vom Feld zum Verarbeiter erfolgt. Folglich liegen auch die Preise für dieses Öl deutlich höher als diejenigen, die für konventionelles Sonnenblumenöl gezahlt werden.

Das Ertragspotenzial von HO-Sonnenblumen ist hingegen mit dem konventioneller Sorten vergleichbar.

Neben Anwendungen im Lebensmittelbereich (z.B. als oxidationsstabiles Fritieröl mit großem Marktpotenzial) sind bei der stofflichen Nutzung als Industrierohstoff, die Gegenstand der vorgelegten Studie ist, vor allem Anwendungen im Schmiermittelbereich (Motoröle, Hydrauliköle, Sägekettenöle etc.) und bei der Verwendung als chemischer Synthesegrundstoff mit hoher Reinheit gegeben.

Wie in Anbauversuchen in Baden-Württemberg gezeigt werden konnte, lassen sich z.B. im Oberrheingraben hohe Flächenerträge mit guten Qualitäten erzielen.

Um die physiologischen Mindestansprüche für einen erfolgreichen Anbau mit den standörtlichen Gegebenheiten in Baden-Württemberg vergleichen zu können, wurden die wichtigsten Daten zu Boden, Klima und Erträgen der bedeutendsten Kulturpflanzen mittels eines Geografischen Informationssystems (GIS) in digitaler Form kartiert. Aufbauend auf der Hypothese, dass ein erfolgreicher Anbau von Sonnenblumen überall dort möglich ist, wo die mittlere Jahrestemperatur über 8 °C liegt und Böden mit ausreichendem Wassernachlieferungsvermögen (Bodenzahl >50) vorhanden sind, konnte gezeigt werden, dass ein großes potenzielles Anbauggebiet für die Kultur vorhanden ist. Nahezu die gesamte Rheinebene, die Gäulandschaften, das Unterland bis hinein ins mittlere Neckartal und das Bodenseegebiet konnten in einer ersten Annäherung als potenzielle Anbaugebiete identifiziert und in digitalisierter Form für zukünftige Präzisierungen kartiert werden (vgl. Kap. 7.4.2.1).

Wie die ökobilanziellen Untersuchungen zeigen (Kap. 7.3.4.1), würde eine Förderung des Einsatzes von HO-Sonnenblumenöl zur Substitution von fossilen Schmierstoffen zu einer deutlichen Reduzierung des Energieverbrauches und der Emission von Treibhausgasen führen. Die Belastungen durch Ozonabbau und Ammoniakfreisetzung würden hingegen zunehmen (Abbildung 7-12).

Bezüglich der Qualität der Flächenbeanspruchung ist mit innovativen Anbausystemen (reduzierte Bodenbearbeitung) ein umweltgerechter Anbau mit unterdurchschnittlichen Erosionswerten (im Modell ermittelt) auf geeigneten Standorten möglich. Die Nitratauswaschungsgefahr liegt im tolerablen Bereich, das Phosphataustragspotenzial ist unterdurchschnittlich und die Gefahr von Bodenverdichtungen ist gering. Der Beitrag der Sonnenblumen zum Landschaftsbild, zur Artenvielfalt und den dazu aufgestellten Bewertungskriterien ist mittelmäßig ausgefallen, das Bodenleben wird eher gefördert.

Zusammenfassend stehen einer Ausweitung des Anbaus von HO-Sonnenblumen aus ökonomischen Gründen und von Seiten des Umweltschutzes keine Hindernisse entgegen. Eine Förderung der HO-Sonnenblume entlang der gesamten Wertschöpfungskette kann daher empfohlen werden.

8.2 Winterraps und Rapsöl zur stofflichen Verwertung

Raps wird von vielen Landwirten vor allem wegen seines hohen Fruchtfolgewertes in Getreidefruchtfolgen geschätzt. Sein Anbau als nachwachsender Rohstoff dominiert mit Abstand alle anderen Kulturen (Tabelle 1-2). Dabei steht allerdings nicht die stoffliche Verwertung im Vordergrund, sondern die energetische Nutzung als Treibstoff (Methylester) und als Brennstoff (z.B. in BHKWs).

Im Bereich der stofflichen Verwertung liegen die Einsatzpotenziale in der chemischen Industrie, beim Einsatz als Verlustschmierstoff und in der Nutzung als Hydrauliköl. Letzteres wurde in der Studie der Bilanzierung zugrunde gelegt. Obwohl Raps längst in Zuchtlinien weiterentwickelt wurde, die sehr unterschiedliche Öle produzieren (z.B. Erucasäure-Raps für die Waschmittellindustrie), ist er in keinem Marktsegment ohne Konkurrenz, kann andererseits aber auch sehr viele Märkte bedienen. Das führt insgesamt zu einer relativ stabilen Nachfrage mit hoher Preiselastizität, so dass die Risiken für die Vermarktung relativ gering und die Deckungsbeiträge für die Erzeuger durchschnittlich sind (vgl. Kap. 7.5.2).

Für die Kartierung der günstigen Anbauggebiete in Baden-Württemberg wurden, da es sich um eine sehr gut dokumentierte Kultur handelt, auf der Basis von statistischen Ertragsdaten pro Gemeinde, alle Gebiete ausgewählt, in denen Raps sowohl vom Flächenanteil als auch in Bezug auf die Erträge über dem Landesmittel liegt. Die ebenfalls auf digitaler Grundlage erstellte Karte weist vor allem das Oberland, die Hegau-Baar-Region und das Neckartal als günstige Anbauggebiete aus (Kap. 7.2.4.2).

Bei einem verstärkten Einsatz als Hydrauliköl bei anschließender Entsorgung durch Verbrennung würde sich gegenüber Hydrauliköl fossiler Herkunft eine signifikante Verringerung der Kohlendioxidemissionen und eine Reduzierung der Dieselpartikelemissionen, beim Energieverbrauch und beim Treibhauseffekt ergeben. Die Gefahren für den Ozonabbau und die Ammoniakemissionen würden, bedingt durch den relativ hohen Düngerverbrauch und hier vor allem der Stickstoff-Dünger, aber noch deutlicher als bei Sonnenblumen zunehmen.

Bezüglich der Qualität der Flächenbeanspruchung ist mit unterdurchschnittlichem Erosionsgeschehen und Phosphataustragspotenzial in Oberflächengewässer und mit geringen Gefahren der Bodenverdichtung zu rechnen. Das Nitratreintragungspotenzial in das Grundwasser ist überdurchschnittlich und wurde nach der erstellten Belastungsskala (Tabelle 7-14) als mäßig eingestuft. Durch Herbstsaat werden die Gefahren durch Vorgängerkulturen aber verringert.

Der Beitrag zum Landschaftsbild ist aufgrund der Strukturvielfalt, der positiven Effekte auf die Fruchtfolgen, des Blühaspektes und der ungestörten Sichtbeziehungen am besten unter von allen nachwachsenden Rohstoff-Kulturen bewertet worden. Hinsichtlich der Förderung der Artenvielfalt in Agrarlandschaften wurde Raps ebenso überdurchschnittlich eingestuft. Der Beitrag zur Förderung des Bodenlebens ist allerdings nur gering.

Zusammenfassend kann gefolgert werden, dass eine spezifische Förderung bei Raps nicht notwendig ist, da die Kultur schon etabliert ist. Die Möglichkeiten der vermehrten Nutzung als nachwachsender Rohstoff hängen vielmehr von der Entwicklung am Markt ab. Sollten sich Chancen für einen verstärkten Einsatz im stofflichen Bereich ergeben, so wird die Industrie diese aufgrund der geringen Risiken in Bezug auf die Sicherheit der langfristigen Rohstoffversorgung und der Qualität wahrnehmen.

Optimierungspotenzial ist vor allem auch hier bei der Verringerung der Gefahren für den Ozonabbau durch verbesserte Düngetechnik, nicht zuletzt im Hinblick auf die Nitratauswaschungsgefahr gegeben. Ein Rückgang des Anbaus ist nicht wünschenswert.

8.3 Winterweizen zur Stärkeerzeugung

Weizen und Maisstärke werden schon seit langem in zahlreichen Bereichen der stofflichen Verwertung eingesetzt (z.B. als Klebstoff, Bindemittel, in der Tensidherstellung und in der Papierindustrie). Neue Produkte für eine gesteigerte Wertschöpfung auf der Basis von Getreidestärke sind am ehesten beim verstärkten Einsatz zur Herstellung biologisch abbaubarer Kunststoffe zu erwarten. Außerdem zeichnen sich weitere Einsatzmöglichkeiten ab im Bereich der kontinuierlichen Fermentationsprozesse zur Herstellung von Polylactidkunststoffen (Kap. 4.1.2.2). Diese wären zu marktfähigen Preisen zu erzeugen und können Massenmärkte erschließen, die bisher petrochemischen Produkten vorbehalten geblieben sind.

Winterweizen für die Stärkeherstellung lässt sich in fast allen Anbaugebieten Baden-Württembergs erzeugen. Die Baar, das Nagold-Neckar-Gebiet, die Gäulandschaften und das Bauland bieten besonders gute Anbaubedingungen (Kap. 7.2.4.3).

Bei Verwendung von Winterweizen zur Herstellung von Polylactidverpackungen (der Ökobilanz liegt noch der absätzig Fermentationsprozess zugrunde) und den Ersatz von PE/PP-Produkten würden sich beachtliche Verringerungen der Schwefeldioxidemissionen und moderate Verringerungen des Energieverbrauchs und des Treibhauseffektes ergeben. Der Ozonabbau würde allerdings deutlich erhöht (Abb. 7-16).

Auf die Qualität der Flächenbeanspruchung und auf das Erosionspotenzial wirkt sich der Weizenanbau durchschnittlich aus, moderat ist das Potenzial zum Phosphataustrag in Gewässer und zur Bodenverdichtung.

In Bezug auf das Landschaftsbild kann die Kultur als prägend für die Agrarlandschaft in Baden-Württemberg gelten. Der Beitrag zum Landschaftsbild wird vor allem aufgrund der Dominanz des Weizens, den einseitigen Fruchtfolgen, des fehlenden Blühaspektes und der fehlenden Beiträge zur Strukturvielfalt als gering bewertet. Ebenfalls gering bis mittel ist der Beitrag zur Artenvielfalt.

Als Fazit gilt für die Entwicklung am Markt und dessen aktive Förderung dasselbe wie bei Raps. Optimierungen wären wünschenswert in Bezug auf den Ozonabbau durch Düngemittel. Die Förderung der Wertschöpfung aus der Weizenstärkeproduktion sollte nicht beim Anbau ansetzen, der in reichem Maße gegeben ist. Vielmehr sollte sie sich auf die Förderung von Initiativen zur Vermarktung und zur wirtschaftlich attraktiven Verwertung der Stärke im Bereich der Kunststoffproduktion und des Einsatzes stärkebasierter biologisch abbaubarer Werkstoffe und Verpackungen konzentrieren.

8.4 Körnermais zur Stärkeproduktion

Weizen und Maisstärke werden schon seit langem in zahlreichen Bereichen der stofflichen Verwertung eingesetzt (z.B. als Klebstoff, Bindemittel, in der Tensidherstellung und in der Papierindustrie). Neue Produkte für eine gesteigerte Wertschöpfung auf der Basis von Maisstärke sind am ehesten beim verstärkten Einsatz zur Herstellung biologisch abbaubarer Kunststoffe zu erwarten. Außerdem zeichnen sich weitere Einsatzmöglichkeiten ab im Bereich der kontinuierli-

8 Gesamtbewertung und Diskussion der Ergebnisse

chen Fermentationsprozesse zur Herstellung von Polylactidkunststoffen (Kap. 4.1.2.2). Diese wären zu marktfähigen Preisen zu erzeugen und können Massenmärkte erschließen, die bisher petrochemischen Produkten vorbehalten geblieben sind.

In Bezug auf die naturräumlichen Gegebenheiten bieten die Anbaugelände in der Rheinebene sowohl vom Klima als auch von der vorhandenen Infrastruktur (auch auf französischer Seite) sehr gute Voraussetzungen für stabile Erträge auf hohem Niveau. Zusammen mit den für diese Kultur gegenüber dem anderen Getreide höheren Ausgleichszahlungen führte dies in den Gebieten am Oberrhein über die vergangenen Jahre zu einer starken Dominanz von Mais in den Fruchtfolgen, bis hin zum Daueranbau.

Bei der Verwendung von maisstärkebasiertem Polylactid für Kunststoffe zur Fertigung biologisch abbaubarer Müllsäcke und Tüten (Ersatz von Polyethylen (PE)) liegt der Ökobilanz (Kap. 7.3.4.4) wie bei der Weizenstärke ebenfalls noch das absätzige Fermentationsverfahren zugrunde.

Signifikante Vorteile in der Ökobilanz gegenüber der Herstellung von Kunststoffen auf fossiler Rohstoffbasis ergeben sich nur bei der Reduktion der Dieselpartikel und bei den Emissionen von Schwefeldioxid. Verbesserungen beim Energieverbrauch und beim Treibhauspotenzial sind nicht erkennbar, während die Emissionen an Ammoniak und vor allem der Ozonabbau negativ zu Buche schlagen. Letzterer erreicht den höchsten Wert aller untersuchten Produktlinien (Abb. 7-10).

Bezüglich der Qualität der Flächenbeanspruchung zeichnet sich Mais vor allem durch hohe Risiken bei der Bodenerosion aus, die allerdings durch die Förderung von Anbausystemen mit reduzierter Bodenbearbeitung oder/und Bodenbedeckung deutlich gemindert werden könnten. Die Grundwassergefährdung durch Nitratauswaschung ist im Vergleich mit anderen Kulturen überdurchschnittlich, was auch für das Phosphor-Austragspotenzial in Oberflächengewässer gilt. Die Gefahr der Bodenverdichtung liegt deutlich unter dem Durchschnitt.

In Bezug auf das Landschaftsbild sind die Beiträge von Mais zur Bereicherung der Agrarlandschaften als gering zu bewerten (Tab. 7-42). Der Beitrag hinsichtlich der Artenvielfalt fällt unterdurchschnittlich aus, die Wirkung auf das Bodenleben ist durchschnittlich.

Zusammenfassend gilt bezüglich der Marktaussichten von Maisstärke für die stoffliche Nutzung das bereits beim Weizen gesagte, das Leistungspotenzial der Kultur liegt aber höher.

In ökologischer Hinsicht belegt die Bilanz kaum Vorteile für Kunststoffe auf der Basis von Maisstärke gegenüber solchen aus PE. Nicht zuletzt wegen des erhöhten Potenzials zum Ozonabbau erscheint eine solche Verwendung wenig sinnvoll.

Die Gefährdungspotenziale bei Bodenerosion, Nitratauswaschung und Phosphor-Austrag sind überdurchschnittlich hoch und erfordern Anstrengungen zur Entwicklung und Etablierung neuer, umweltfreundlicher Produktionsverfahren.

Bereichernd für das Landschaftsbild wirkt der Mais allenfalls in für die Kultur nicht traditionellen Anbauregionen des Landes, in denen allerdings die Leistungsfähigkeit der Standorte zur Maisproduktion eingeschränkt ist.

Eine Förderung des Einsatzes von Maisstärke in der Kunststoffproduktion ist vor allem aus ökonomischen Überlegungen sinnvoll, nach umweltpolitischen Erwägungen wäre sie erst zu begründen, wenn innovative, umweltfreundliche Anbauverfahren verstärkt eingesetzt werden.

8.5 Hanf zur Fasergewinnung

Hanf liefert unter den betrachteten Faserpflanzen die höchsten Erträge, und es haben sich nach seiner Wiederezulassung 1996 langsam aber stetig neue stoffliche Anwendungsfelder entwickelt, die auch in Zukunft – wenn auch bei hohem Preisdruck durch ausländische Anbieter - ein Wachstum der Märkte in der nichttextilen Verwendung erwarten lassen (Dämmstoffe, Faserverbundstoffe, technische Vliese etc.). Anwendungen mit höherer Wertschöpfung im textilen Bereich, die höhere Erzeugerpreise ermöglichen, sind technisch in den Bereich des Möglichen gerückt (z.B. nach Dampfaufschluss der Fasern). Die Realisierung dieser Optionen ist allerdings bisher an den hohen Anfangsinvestitionen für die Erstellung der dafür notwendigen Anlagen im industriellen Maßstab bzw. an der fehlenden Investitionsbereitschaft gescheitert. Bei Nutzung der Faser und aller Nebenprodukte (Stäube, Schäben, Samen, Werg) ist dennoch auch unter den heutigen Bedingungen in Baden-Württemberg die Wirtschaftlichkeit für Produzenten und Verarbeiter gegeben, wenn neuartige Vollernteverfahren zum Einsatz kommen.

Als potenziell günstige Anbaugebiete sind in einer Karte (7.2.4.5) alle Gebiete in Baden-Württemberg ausgewiesen, die den Bedarf an Wärme (>8 °C Jahresmittel) und ausreichende Wasserversorgung in den Sommermonaten gewährleisten (Ackerzahl >50 , Jahresniederschlag >750 mm). Böden mit Neigung zu Staunässe und flachgründige Standorte werden ausgeschlos-

8 Gesamtbewertung und Diskussion der Ergebnisse

sen. Gute Voraussetzungen für den Anbau von Hanf sind demgemäss entlang der Rheinebene, in der Gäulandschaft bis in mittlere Neckartal und in der Bodenseeregion gegeben.

Wenn Hanf mit Epoxidharz als Faserverbundstoff im Automobilbau Innerverkleidungen aus ABS-Kunststoff ersetzt, führt dies im ökobilanziellen Vergleich zu deutlichen, nahezu durchgängigen Verbesserungen. Dasselbe gilt auch für die Ökobilanz von Leichtbauplatten für das Kuppelprodukt, die Schäben (Holzteile der Hanfstängel). Lediglich beim Ozonabbau und den Ammoniakemissionen ergibt sich eine moderate Mehrbelastung durch den Einsatz von Hanfprodukten.

Bezüglich der Qualität der Flächennutzung ist die Hanfproduktion durch geringe Erosionsgefahren, geringes Grundwassergefährdungspotenzial durch Nitrat und sehr geringe Gefahren des Phosphor-Austrags in Oberflächengewässer gekennzeichnet.

Der Beitrag zum Landschaftsbild wurde trotz leicht überdurchschnittlicher Wirkung als mittelmäßig eingestuft. Der Einfluss auf die Artenvielfalt ist aufgrund der extensiven Produktionsverfahren eher positiv, während zur Wirkung des Hanfanbaus auf das Bodenleben weder Vor- noch Nachteile zu erwähnen sind.

Zusammenfassend stehen damit der Ausweitung des Anbaus, der bei der aktuellen, nicht textilen Anwendung noch Wachstumspotenzial aufweist, nur die Restriktionen am Markt im Wege. Auf kurze oder mittelfristige Sicht kann ein moderater Anstieg der Nachfrage durch die aufgebauten Verarbeitungskapazitäten – auch in den neuen Bundesländern – bedient werden.

Aus ökologischen Gesichtspunkten wäre ein höherer Flächenanteil von Hanf in den Agrarlandschaften zu begrüßen, letztendlich ist jedoch die Marktentwicklung für den Umfang des Anbaus entscheidend. Eine Förderung des Anbaus von Hanf muss deshalb in der Produktentwicklung und in der Honorierung von z.B. umwelt- und entsorgungsfreundlichen Bau- und Dämmstoffen ansetzen. Auch durch die Förderung der Entwicklung von neuen Faseraufschlussverfahren können neue Marktanteile, z.B. im textilen Bereich, erschlossen werden.

8.6 Flachs/Gesamtfaserlinie

In Baden-Württemberg sind insbesondere in den mittleren Höhenlagen gute Voraussetzungen für die Qualitätsproduktion von Flachs gegeben. Marktpotenziale existieren aktuell aber vor allem in der industriellen Anwendung der Gesamtfaserlinie, bei der Lang- und Kurzfasern gemeinsam aufgearbeitet werden. Aus diesem Grund befasst sich die Studie auch nur speziell mit dieser Produktlinie. Sie erlaubt den Einsatz vereinfachter Produktionsverfahren und den Verzicht auf teure Spezialmaschinen, ist allerdings auch mit geringerer Wertschöpfung verbunden. Da der Einstieg in die technisch anspruchsvollere Langfaserlinie trotz erheblicher Anstrengungen auch in Baden-Württemberg nicht gelungen ist, könnte über das einfachere und hinsichtlich der Investitionen auch risikoärmere Verfahren langfristig der Weg für die Produktion von Langfasern mit höherer Wertschöpfung geebnet werden.

Wirklich attraktive Preise können dem Produzenten bei anhaltend hohem Preisdruck, der nach dem Wegfall der Flachsbeihilfe den Anbau von Flachs wirtschaftlich fragwürdig macht, nur in neuen Marktsegmenten gezahlt werden, z.B. im Textilbereich mit Dampfaufschluss und einer Verarbeitung wie Baumwolle.

Als günstige Anbaugelände für Flachs in Baden-Württemberg können Standorte mit mittleren Böden, ausreichenden Niederschlagsmengen (>800 mm/Jahr) und etwas kühlerem Klima (>400 m ü. NN) angesehen werden. Wie in Kap. 7.2.4.6 dargestellt, trifft dies für Gebiete im Odenwald, die Baar, das Nagold-Neckar-Gebiet, die Nördliche Schwarzwaldrandplatte und das Altvorland bis hin zum Bodensee zu.

Bei der ökobilanziellen Analyse von Flachsdämmstoffen versus Steinwolle als Dämmstoff ergeben sich für den Naturstoff deutliche Vorteile beim Energieverbrauch, beim Treibhauspotenzial und den Schwefeldioxidemissionen, denen wegen des geringeren Düngerverbrauchs moderate Nachteile beim Ozonabbau, den Stickoxiden und den Ammoniakemissionen und bei der Eutrophierung gegenüberstehen. Diese Ergebnisse sind bei Verwendung des Kuppelproduktes Flachsschäben (Holzteile der Stängel) für den Leichtplattenbau deutlicher ausgeprägt als bei der Verwendung von Schäben als Pferdeeinstreu (Abb. 7-24).

Bezüglich der Qualität der Flächenbeanspruchung weist Lein nur ein unterdurchschnittliches Gefährdungspotenzial auf, was die Bodenerosion angeht. Die Gefahr der Nitratauswaschung und

das Phosphor-Austragspotenzial sind äußerst gering. Wegen der häufigen Überfahrten ist das Potenzial zur Bodenverdichtung allerdings überdurchschnittlich hoch.

In seiner Wirkung auf das Landschaftsbild schneidet Flachs beim angewendeten Bewertungsverfahren zusammen mit Raps am besten ab. Gleiches gilt für den Aspekt der Artenvielfalt, bei welchem der Leinanbau wegen seiner fördernden Wirkung auf Leitarten in Baden-Württemberg sowie wegen der geringen Düngung und der weitgestellten Fruchtfolge alle anderen Kulturen übertrifft.

Zusammengefasst handelt es sich beim Lein um eine nachwachsende Rohstoff-Kultur, deren Förderung aus ökologischer Sicht als vielversprechend und positiv zu bewerten ist.

Leider kann dies vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet nicht bestätigt werden. Mit dem untersuchten Verfahren der Ernte durch Schnitt, Drusch und anschließender Röste mit Aufarbeitung in der Gesamtfaserlinie reichen (bei unsicheren zugrundegelegten Erzeugererlösen) die am Markt erzielbaren Deckungsbeiträge für Flachsstroh nicht aus, um den Ausbau zu einer wirtschaftliche konkurrenzfähigen Kultur zu ermöglichen.

Eine Verbesserung dieser Situation scheint nur dann grundlegend möglich, wenn es gelänge, neue Märkte mit größeren Marktvolumina und höherer Wertschöpfung zu erschließen. Wie beim Hanf könnte dies nach gegenwärtigem Sachstand über Investitionen in neue Aufschlussverfahren realisiert werden.

8.7 Miscanthus (Chinaschilf)

Miscanthus zeichnet sich unter den Standortbedingungen in Baden-Württemberg durch hohe Biomasseerträge aus und wurde deshalb vor allem wegen seiner potenziellen Bedeutung zur Produktion von erneuerbarer Energie gefördert. Im Bereich der stofflichen Verwertung sind die Einsatzmöglichkeiten in den letzten Jahren ständig erweitert worden, so dass auch in diesen Märkten mittlerweile Potenziale vorhanden sind (Verwendung der Kurzfasern z.B. bei Faserverbundstoffen, Einsatz als Pferdeeinstreu und als Beimischung zur Herstellung von Leichtbeton; eine ausführliche Beschreibung findet sich in Anhang I.4).

Wie die Deckungsbeitragsrechnung mit einem neuen, in Österreich entwickelten Vermehrungsverfahren zeigt (Kap. 7.5.2), besteht durch die Verminderung der Etablierungskosten der Dauerkultur bei 15-jähriger Nutzung Spielraum für eine Senkung der Bereitstellungskosten von Mis-

canthus. Diese führen voraussichtlich zur Erschließung neuer Märkte und einer vermehrten Verwendung, so dass sich die Engpässe bei der Nachfrage, die auf den aktuellen Nischenmärkten noch vorhanden sind, in Zukunft auflösen könnten.

Von den Standortansprüchen her sind die Bedingungen für einen erfolgreichen Ausbau der Dauerkultur besonders dort günstig, wo ausreichend Wärme und reichlich Niederschläge zur Verfügung stehen. Mittel- bis tiefgründige Böden sind zur Deckung des hohen, meist ertragslimitierend wirkenden Wasserbedarfes notwendig. Zu Staunässe neigende Böden sind nicht geeignet. Unter der Annahme, dass Standorte unter 700 m ü. NN mit über 800 mm Jahresniederschlag geeignet sind, ergeben sich für Miscanthus Anbauswerpunkte in der Rheinebene, im Mittleren Neckartal, am Bodensee, im östlichen Albvorland, im Schwäbischen Wald und zwischen Heilbronn und Heidelberg.

Wie die ökobilanziellen Untersuchungen für eine Verwendung von Miscanthus für Faserverbundstoff im Spritzgussverfahren gegenüber der Verwendung von Holzfasern zeigen, ergeben sich für Miscanthus aufgrund der extensiven Produktionsweise keine Nachteile. Allerdings schneidet er auch nicht günstiger ab als Holzfasern.

Hinsichtlich der Qualität der Flächenbeanspruchung ist bei Miscanthus mit nur geringer Erosion, keinerlei Nitratauswaschung und geringem Phosphor-Austragspotenzial zu rechnen. Bezüglich der Bodenverdichtung ergibt sich im Vergleich zum bilanzierten Referenzsystem, einer Dauerstilllegung mit nur einer Überfahrt pro Jahr, ein überdurchschnittliches *relatives* Potenzial gegenüber der Stilllegung. Das absolute Verdichtungspotenzial ist vergleichbar mit Mais.

Aufgrund der Tatsache, dass es sich um eine Dauerkultur exotischen Ursprungs mit hohem Wuchs und mäßigem Blühaspekt handelt, ist sein Beitrag zum Landschaftsbild als gering bewertet worden. Hinsichtlich der Artenvielfalt wurde der überwinterte Bestand mit reduziertem Dünger- und Pestizideinsatz, andererseits aber auch weitgehend fehlender Begleitflora als mittelmäßig bewertet. Dasselbe gilt für den Einfluss auf das Bodenleben.

Zusammenfassend kann Miscanthus aufgrund seiner abzeichnenden, besserer Wirtschaftlichkeit und wenig Vorbehalten in Bezug auf seine Umweltwirkungen für den Anbau in Baden-Württemberg empfohlen werden. Aus wirtschaftlicher Sicht steht diese Empfehlung im Gegensatz zu früheren Annahmen und sollte deshalb unter Berücksichtigung des neuen Vermehrungsverfahrens näher überprüft werden. Die Voraussetzungen dafür sind in Baden-Württemberg günstig, da bereits Anbauflächen und gute Kenntnisse über die Kultur vorhanden sind. Die

Chancen auf Erschließung neuer Marktsegmente über niedrige Rohstoffpreise (Spielraum siehe Kap. 7.5.2) sind durch die Veränderung der Sachlage gegeben und sollten nach Möglichkeit genutzt werden.

8.8 Fasernessel

Nesselfasern besitzen das Potenzial, Glasfasern in Verbundwerkstoffen zu ersetzen und sind außerdem leicht zu verspinnen und zu verweben, weshalb sie sich hervorragend als Textilfasern eignen und Baumwolle substituieren können. Die besten Marktaussichten für Nesselfasern bestehen deshalb in der Herstellung hochwertiger Textilien.

Da die Fasernessel keine besonderen Ansprüche an das Klima stellt und besonders anpassungsfähig ist, kommen große Gebiete Baden-Württembergs für den Anbau in Frage.

Als günstige Anbaugelände für hohe Erträge sind deshalb alle Gebiete ausgewiesen worden, in denen die Niederschlagsmenge mehr als 850 mm/Jahr beträgt und die unter 750 m ü. NN liegen. Geeignet sind demnach vor allem das Oberland bis hinein in das Allgäu, die Region um den Hochschwarzwald und der Schwäbische Wald.

Beim Einsatz von Fasernessel anstelle von Baumwolle in der Textilindustrie ergeben sich in der Ökobilanz fast ausschließlich Vorteile für die Nessel! Da sie in diesem Fall einen anderen biogenen Rohstoff ersetzt, der mit höherer Intensität produziert wird, gilt dies auch und vor allem beim Ozonabbaupotenzial (Abb. 7-26). Die Vorteile der Dauerkultur kommen in dieser Bilanz gegenüber der annualen Baumwolle deutlich zum Tragen.

Bezüglich der Qualität der Flächenbeanspruchung weist die Nessel gegenüber der referenzierten Dauerstilllegung höhere Erosions- und Phosphor-Austragswerte auf, die absoluten Abträge sind aber gering und liegen damit deutlich unter der kritischen Schwelle. Nitratauswaschungen sind bei Nessel, ähnlich wie bei der rhizombildenden Kultur *Miscanthus* bisher nicht beobachtet worden.

Das Bodenverdichtungspotenzial ist gegenüber dem Referenzsystem Dauerstilllegung mit nur einer Überfahrt pro Jahr zwar deutlich höher, liegt aber nach absoluten Zahlen nicht höher als bei Raps.

Der Beitrag der unscheinbaren Dauerkultur zum Landschaftsbild ist als gering bewertet. Dies ist auch für die Kategorien Artenvielfalt und Bodenleben der Fall.

Fasernessel kann zum aktuellen Zeitpunkt und bei Annahme der noch wenig belastbaren Eingangsgroßen für die Berechnungen nicht zum Anbau oder zur Förderung in Baden-Württemberg empfohlen werden. Die Kosten der Bestandesetablierung sind noch zu hoch und können auch durch gute Deckungsbeiträge in den Hauptertragsjahren nicht ausgeglichen werden. Nur bei spürbar höheren Preisen und bei (kurzfristig nicht zu erwartenden) Verbesserungen der Fasererträge ist eine wirtschaftliche Produktion möglich.

Die ökologischen Vorteile gegenüber Baumwolle lassen jedoch einen Anbau wünschenswert erscheinen. Vor diesem Hintergrund sollte versucht werden, das Ertragspotenzial und die Qualität der Fasernessel durch züchterische Optimierung der Kultur zu verbessern sowie eine kostengünstige Produktionstechnik zu erarbeiten und so die Nesselfaser zu einem marktfähigen Produkt weiterzuentwickeln.

8 Gesamtbewertung und Diskussion der Ergebnisse

9 Voraussichtlicher Nutzen und praktische Verwertbarkeit

In einer ersten Annäherung konnten potenziell geeignete Gebiete für den Anbau nachwachsender Rohstoffe in Baden-Württemberg ausgewiesen werden. Durch die Bearbeitung dieser Fragestellung mit einem Geografischen Informationssystem liegen diese Karten mit vielen Informationen zu den standortlichen Verhältnissen, den betrieblichen Kennzahlen und zu den Flächen und Erträgen der wichtigsten Kulturen nun in digitalisierter und georeferenzierter Form vor. Sie können damit jederzeit aktualisiert und gegebenenfalls verfeinert werden.

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung geben wichtige Hinweise auf die Schwachstellen nachwachsender Rohstoffe in Vergleich zu fossilen Rohstoffen. Durchgängig kann an den Ergebnissen abgelesen werden, dass die biogenen Rohstoffe vor allem beim Ozonabbaupotenzial und bei den Ammoniakemissionen Nachteile aufweisen. Bei den Kategorien „Energieverbrauch“ und „Minderung des Treibhauspotenzials“ weisen sie Vorteile auf. Die Nachteile gehen dabei fast ausschließlich zu Lasten der Düngemittel und dort insbesondere der Stickstoff-Düngung. Um die Ökobilanz landwirtschaftlicher Produkte zu verbessern, sind deshalb dringlich Anstrengungen geboten, die Effizienz des Einsatzes umweltbelastender Dünger zu verbessern. Forschungen auf diesem Gebiet sollte hohe Priorität eingeräumt werden.

Verfahren der Ökobilanzierung wurden für die Lebensweganalyse industrieller Produkte entwickelt, um die Umweltwirkungen von Produktion, Konsum und Entsorgung der gefertigten Produkte und Produktalternativen bewerten zu können. Die dabei berücksichtigten Wirkungskategorien reichen in der Regel aus, um Vor- und Nachteile bestimmter Produkte zu charakterisieren, weil diese in hoher Stückzahl auf kleiner Fläche in industrieller Massenfertigung produziert werden.

Anders verhält es sich dagegen, wenn die Rohstoffe aus der Landwirtschaft kommen und für ihre Bereitstellung große Flächen von einer Kultur belegt und beeinflusst werden. Unter solchen Voraussetzungen reichen die in der traditionellen Ökobilanz angewandten Wirkungskategorien nicht mehr aus, um die Umweltwirkungen eines Produktes zu charakterisieren. Eine vernünftige Beurteilung ist vielmehr nur dann möglich, wenn die Kategorien durch Indikatoren zur Qualität der Flächenbeanspruchung ergänzt werden. In der vorliegenden Studie wurden deshalb zur Erweiterung der klassischen Ökobilanz solche Kenngrößen entwickelt. Sie sind analog zu den klassischen Indikatoren standortunabhängig, quantifizierbar und innerhalb gewisser Systemgrenzen reproduzierbar. Sie können bei ökobilanzieller Betrachtung ganzer Fruchtfolgen mitgeführt wer-

9 Voraussichtlicher Nutzen und praktische Verwertbarkeit

den und erlauben auch Aussagen zu den Kategorien „Nitrataustrag in Grundwasser“, „Phosphor-Austrag in Oberflächengewässer“, zum „Bodenverdichtungs-“ und „Bodenerosionspotenzial“.

In ähnlicher Weise wurden noch halbquantitative Indikatoren zu den Kategorien „Artenschutz“, „Landschaftsbild“ und „Bodenleben“ entwickelt. Sie sind wesentlich komplexer aufgebaut und aufgrund der standortunabhängigen Bewertung weniger belastbar. Sie sind deshalb auch eher als Anregung und ergänzende Diskussionsgrundlage geeignet.

10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

10.1 Posterpräsentationen:

MÜLLER-SÄMANN, K.M., G. REINHARDT, S. GÄRTNER & R. VETTER (2001): Identifizierung von Produktlinien nachwachsender Rohstoffe unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. Postervortrag, Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. Gardelegen, 10.-11. Dezember 2001

10.2 Tagungsbeiträge:

MÜLLER-SÄMANN, K.M., R. HERBENER, S. GÄRTNER, G. REINHARDT & R. VETTER (2001): HO-Sonnenblumen. - Wirkungen der Umwelt auf die Qualitätsproduktion, Auswirkungen der Qualitätsproduktion auf die Umwelt. 16 S., Tagungsband, 7. Internationaler Fachkongress für nachwachsende Rohstoffe. 11. - 12. Juni 2001, Magdeburg.

VETTER, R., S.O. GÄRTNER, G.A. REINHARDT & K.M. MÜLLER-SÄMANN (2002): Agronomy and environmental impact of High-Oleic Sunflower production in Germany – from high risk towards high value. 4 S. In: Proceedings of the 12th European Conference and Technology Exhibition in Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. June 17-21, 2002, Amsterdam.

GÄRTNER, S.O. K.M. MÜLLER-SÄMANN, G.A. REINHARDT & R. VETTER (2002): Flax for insulation: A comprehensive environmental assessment. 3 S. In: Proceedings of the 12th European Conference and Technology Exhibition in Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. June 17-21, 2002, Amsterdam.

GÄRTNER, S.O. K.M. MÜLLER-SÄMANN, G.A. REINHARDT & R. VETTER (2002): Corn to Plastics: A comprehensive environmental assessment. 3 S. In: Proceedings of the 12th European Conference and Technology Exhibition in Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. June 17-21, 2002, Amsterdam.

10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

10.3 Geplante Veröffentlichungen:

MÜLLER-SÄMANN, K.M., S. GÄRTNER, G. REINHARDT & R. VETTER (2003): Flächenbeanspruchung durch nachwachsende Rohstoffe – Indikatoren zur erweiterten Ökobilanz. *naro.tech* 2003, 4. Internationales Symposium „Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“, 11-12. September 2003, Erfurt.

11 Literaturverzeichnis

- AGRA-EUROPE (2001): Jeder zweite Hektar Flachs in Sachsen. AGRA-EUROPE 35/01: 24-25.
- ALEX R., R.W. KESSLER, R. KOHLER, K. NEBEL & M. TUBACH (2001): Verbesserte Wertschöpfung für Flachs und Hanf durch Faserveredlung. In: Tagungsband Innovationsforum Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung. Gardelegen 10.- 11. Dez. 2001. S. 95-118.
- ALFÖLDI, T., O. SCHMID, G. GAILLARD & D. DUBOIS (2001): Vergleichsversuch DOK: Erste Ökobilanz über eine ganze Fruchtfolge. Ökologie & Landbau 118:19-23.
- ALVENSLEBEN, R. VON (2000): Zur Nachhaltigkeit land- und forstwirtschaftlicher Nutzungssysteme - Ersatzhandlungen und plakativer Umweltschutz stehen im Vordergrund der öffentlichen Diskussion - Anmerkungen aus der Sicht eines Agrarökonomen. - Agra-Europe 41/16, Sonderbeilage, 7 S., Bonn/Berlin/Brüssel/Paris/Madrid/Wien
- AMANN, C. & J. OTT (2000): Ergebnisse der Landessortenversuche mit Winterweizen und Dinkel 2000. - IfPP Heft 2/2000, 86 S., Forchheim.
- AMSCHLER, H. (1936): Die Rohstoffversorgung der deutschen Hanfindustrie. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 116, 9-13, Berlin.
- AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, (AID HRSG. 1994): Nitrat in Grundwasser und Nahrungspflanzen. - AID 1136, 32 S., Bonn.
- ASKEW (2001): Biorenewables in Europe – Opportunities and Approaches. Tagungsband zum Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. 10. und 11. Dezember 2001 - Gardelegen
- AUERSWALD, K., PERGER, P.V. & U. GLAS (1999): PC-ABAG-Berechnung des schlagbezogenen Bodenabtrags, Version 2.0. Software der Technischen Universität München, Freising
- BAHNER, T. (1997): Ökologie und Umweltpolitik. - Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" 7, 971-1025, Münster.
- BASF (2000): Ökoeffizienz-Analyse: Wärmedämm-Verbundsystem mit Neoporâ Dämmung bei der Brunckviertelsanierung. - 50 S., Ludwigshafen.
- BATSCHKUS, V., G. ENGLERT & H. SCHÖN (1998): Wärmedämmstoff aus Rohrkolben - Wärmeleitfähigkeit, ökonomische und energetische Bewertung. - Landtechnik 53/1, 14-15.

- BERATUNGSINFORMATIONSSYSTEM (BIS) ARBEITSTEAM UMWELT 95: Umwelt Lärmschutz. - 39 S.
- BERG, M., G. HAAS & U. KÖPKE (2000): Organic farming and groundwater quality - a comparison with integrated and conventional practice. S. 164. - In: ALFÖLDI, T., W. LOCKERETZ & U. NIGGLI (HRSG.): IFOAM 2000 - The World Grows Organic: Proceedings of the 13th IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel. 762 S., vdf Hochschulverlag, Zürich, 2000.
- BERLEPSCH, H. VON (2000): Hanf – ein nachwachsender Rohstoff mit Zukunft. – Naturschutz u. Landschaftsplanung 32/5, 185-188.
- Bifa, ifeu & Flo-Pak (2002) BAYERISCHES INSTITUT FÜR ABFALLFORSCHUNG (BIFA GMBH), IFEU – INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG GMBH, FLO-PAK GMBH (HRSG. 2002): Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. aus Polystyrol. Endbericht. Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- BILLEN, G. (1997): Pflanzenproduktion – Erfolgreich für den Markt oder für die Artenvielfalt? - dbk 5/2000, 12-14, Bonn.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (BBA) (2001): Naturschutz für Hecken und Feldraine. Presseinformation. 2 S.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (2001): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Braunschweig, Berlin.
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, BLE, REFERAT 314 (2001): NCHWACHSENDE ROHSTOFFE - Ernte 2001. - 3 S., als Anlage zu: ufop Rundschreiben I/10/01, Bonn.
- BLEZINGER, L. (1917): Vortrag über die Faserversorgung Deutschlands. S. 1-10. - In: WÜRTTEMBERGISCHER VEREIN FÜR NESSELANBAU E.V. (Hrsg.): Die Bedeutung der Brennessel für das deutsche Volk: Zwei Vorträge. 19 S., A. Bonz' Erben, Stuttgart.
- BLV VERLAGSGESELLSCHAFT mbH (HRSG. 2001): Traktoren im Überblick. - dlz agrar-magazin 51, 54-115, München.
- BOCKSTALLER, C. (2001): Grenzüberschreitender Vergleich von zwei agrar-ökologischen Bewertungsverfahren. - Handout, ITADA Forum, 26. Juni 2001 Sissach: Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen?
- BOCKSTALLER, C. & P. GIRARDIN (2000): Berechnungsverfahren "Agrarökologische Indikatoren". - 107 S., Studie für das ITADA (Institut Transfrontalier d' Application et de Développement Agronomique).

- BÖTTCHER, H., J. GARZ & D. WEIPERT (2000): Auswirkungen unterschiedlicher Düngung auf Ertrag und Verarbeitungsqualität des Roggens bei langjährigem Anbau in Selbstfolge und Fruchtwechsel - Ergebnisse des Dauerversuches "Ewiger Roggenbau". - Pflanzenbauwissenschaften 4/1, 1-8, Stuttgart.
- BORKEN J., PATYK, A. & G.A. REINHARDT. (HRSG. 1999): Basisdaten für ökologische Bilanzierungen. Einsatz von Nutzfahrzeugen in Transport, Landwirtschaft und Bergbau. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden
- BOMME, U. (1998): Situation und Zukunftsperspektiven des Feldanbaues von Heil- und Gewürzpflanzen in Deutschland. - Z. f. Arznei- u. Gewürzpfl. 3:155 -161.
- BRANTNER, A. H., B. FRANK & E. SCHNEIDER (1997): Richtlinien für die Gute Landwirtschaftliche Praxis von Arznei- und Gewürzpflanzen (GAP-Regeln). - Z. f. Arznei- u. Gewürzpfl. 4, 204-206.
- BRAUN, M., N. ASCHWANDEN & C. WÜTHRICH-STEINER (2001): Abschwemmung durch Phosphor. - AGRARForschung 8/1, 36-41.
- BREDEMANN, G. & K. GARBER (1959): *Urtica Dioica* L.. Forschungen über ihren Anbau zur Fasergewinnung. Mit einem Anhang über ihre Nutzung für Arznei- und Futtermittel sowie technische Zwecke von Dr. Kurt Garber. - 137 S., Akademie Verlag, Berlin.
- BRÖKELAND, R. (2000): Vergleiche verschiedener Verfahren zur Bereitstellung von Biobrennstoffen. - Landtechnik 55/1, 26-27.
- BÜCHS, W. (2001): Alles Vielfalt oder was? Probleme der Anwendung des Vielfaltsbegriffs bei der Bewertung von Produktionsflächen und Ansätze zu Alternativen. - ForschungsReport 23/1, 9-13.
- BUNDESANSTALT FÜR AGRARBIOLOGIE [HRSG] 0.J. Endbericht über die Projekte 3.11 "Ermittlung des Biomassepotenzials von Elefantengras" und BAB2/95. 33 S., Linz, Österreich.
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG, BLE, REFERAT 314 (2001): NCHWACHSENDE ROHSTOFFE - Ernte 2001. - 3 S., als Anlage zu: ufop Rundschreiben I/10/01, Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2001): Innovationsforum Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung. 10. und 11. Dezember 2001 - Gardelegen
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML HRSG. 1998): Bericht des BML: 5 Jahre nachwachsende Rohstoffe 1993-1997. - Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft., Bonn.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (BML HRSG. 1995): Bericht des Bundes und der Länder über Nachwachsende Rohstoffe 1995. - Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Sonderheft. Münster- Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ; ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMVEL, zit. in VETTER, R. 2001): Innovations- und Marktpotenzial von Nachwachsenden Rohstoffen vom Anbau bis zur Verarbeitung. Tagungsband zum Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. 10. und 11. Dezember 2001 - Gardelegen.
- BUSCHHORN-WALTER, J. (2000): Der Weg zum Kaffee: Moderne Standortplanung mit GIS. - GeoBIT 4, 29-31.
- CHRISTEN, O. & B. SCHULZE (BEARB. 1997): Produktionstechnik der Hanferzeugung I - Beitrag des Pflanzenbaus. - Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" 7, 179-252, Münster.
- CLIFTON-BROWN, J. C., B. NEILSON, I. LEWANDOWSKI & M. B. JONES (2000): The modelled productivity of *Miscanthus x giganteus* (GREEF et DEU) in Ireland. - Industrial Crops and Products 12, 97-109.
- CMA (O.J.). Dämmstoffe aus der heimischen Natur. Centrale Marketing-Gesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH, Bonn , 49 S.
- DABBERT, S., M. STOLZE, A. HÄRING & A. PIORR (2000): A policy relevant assessment of the environmental impacts of organic farming. S. 148-151. - In: ALFÖLDI, T., W. LOCKERETZ & U. NIGGLI (HRSG.): IFOAM 2000 - The World Grows Organic: Proceedings of the 13th IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel. 762 S., vdf Hochschulverlag, Zürich, 2000.
- DACHLER, M. & H. PELZMANN (1999): Arznei- und Gewürzpflanzen: Anbau, Ernte, Aufbereitung. - 2. Aufl., 353 S., Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg.
- DANNER, H. (2000): Strom und Ethanol aus Getreidestroh. - Bundesanstalt für Landtechnik, Wieselburg, Österreich. Mitt. der Fachbereichsarbeitsgruppe Nachwachsende Rohstoffe. Nr. 15 /März 2000, 14-15.
- DEGEN, B. (1998): Torfersatzstoffe. S. 32-33. - In: HACK, G. (Red.): Fachinformation zur Lehrschau Umweltgerechter Zierpflanzenbau - Fakten - Beispiele - Trends - Informationsstand Gartenbau IPM 1998, Essen. Bonn, 1998.
- DEIMLING, S. & M. KALTSCHMITT (2000): Leitfaden Bioenergie : Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. FNR Gülzow.
- DEIMLING, S. & R. VETTER (2001). Nachhaltiger Konsum am Bau? Das Beispiel der nachwachsenden Rohstoffe. Beitrag zur Fachkonferenz Nachhaltiger Konsum im Spannungsfeld

- zwischen Modellprojekt und Verallgemeinerbarkeit. Stuttgart, 29.-30. November 2001. (Tagungsband in Vorbereitung).
- DEIMLING, S. & R. VETTER (2003): Endbericht des BMBF-Forschungsprojektes „Maximale Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung regionaler Stoffkreisläufe - Beurteilung der Hemmnisse und Möglichkeiten auf dem Gebiet des Bauwesens“. In Vorbereitung.
- DEUTSCHER RAT FÜR LANDESPFLEGE (DRL 2000): Honorierung von Leistungen der Landwirtschaft für Naturschutz und Landschaftspflege. - Schr.-R. d. Deutschen Rates für Landespflege 71, 5-13.
- DIEPENBROCK, W., B. PELZER & J. RADTKE (1995): Energiebilanz im Ackerbaubetrieb. - KTBL Arbeitspapier 211, 55 S., Münster-Hiltrup.
- DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen. Deutsche Norm. Beuth Verlag, Berlin 1997.
- DOMSCH, H., H. J. HORN & R. KUHN (2000): Bestimmung der lokalen Bodenbelastung. - Landtechnik 55/4, 282-283.
- DREYER, J. (1999): Die Fasernessel als nachwachsender Rohstoff. Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 200 Seiten.
- DREIER, S., A. LIPS, G. VOLKART, B. SCHÜPBACH & F. BIGLER (2000): Ökologische Ausgleichsflächen im Mosaik von Kulturlandschaften. - AGRARForschung 7/5, 206-211.
- EBERT, G. & E. RENNWALD (HRSG. 1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs Bd. 1 Tagfalter: 1. Allgemeiner Teil: Systematik, Taxonomie und Nomenklatur. Faunistik und Ökologie, Gefährdung und Schutz. Datenverarbeitung; Spezieller Teil: Papilionidae, Pieridae, Nymphalidae. Mit Beiträgen von René Herrmann. - 552 S., Ulmer, Stuttgart.
- ECKERT, H., G. BREITSCHUH & D. SAUERBECK (1999): Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) - ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. - Agribiol. Res. 52/1, 57-76, Darmstadt.
- ECETOC (EUROPEAN CENTRE FOR ECOTOXICOLOGY AND TOXICOLOGY OF CHEMICALS HRSG. 1994): Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Technical Report No. 62. Brüssel.
- EDELMANN, W. & K. SCHLEISS (2000): Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe. - 120 S., Schlussbericht zu Händen von BFE/BUWAL, 3003 Bern.
- EHLERS, B., W. GROSSKOPF, K.H. KAPPELMANN & F. MEUSER (1997): Marktchancen der Markerbsenstärke. - Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe 9, 155 S., Münster.

- ENGELBRECHT, TH. E. (1928): Die Feldfrüchte des Deutschen Reichs in ihrer geographischen Verbreitung. Erster Teil: Atlas von 41 Karten. - Arbeiten der D.L.G. 357, 44 S., Berlin.
- ENGELBRECHT, TH. E. (1929): Einige Bemerkungen über das Kartenwerk "Die Feldfrüchte des Deutschen Reichs in ihrer geographischen Verbreitung". - Mitteilungen der D.L.G. 8, 1-12, Berlin.
- ENGLER, C. (1999): Prostata: gezielt vorbeugen - richtig behandeln. - 95 S., Südwest, München.
- ENTENMANN, G. (1994): Abbaubare Kunststoffe aus Milchsäure. - Kontakt & Studium 425, 91-102, Renningen-Malmsheim.
- EYSEL, G. (2001): Ökologische Bewertung verschiedener landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsverfahren – Versuche zur ökologischen Optimierung des Bio-Landbaus auf verschiedenen Ebenen. S. 19-27. – In: KORN, H. & U. FEIT (BEARB.): Treffpunkt Biologische Vielfalt: Aktuelle Forschung im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt vorgestellt auf einer wissenschaftlichen Expertentagung an der Internationalen Naturschutzakademie Insel Vilm vom 4.-8. September 2000, 247 S., Landwirtschaftsverlag, Bonn-Bad Godesberg.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (FNR HRSG. 2000): Studie zur Markt- und Preissituation bei Naturfasern (Deutschland und EU). - 107 S., Reihe Gülzower Fachgespräche, FNR, Gülzow.
- FAIR-CT95-0568 (2001): Production of novel starch polymers in maize, wheat, barley and potato. - 8 S., Online Datenbank des BioMatNet unter der Internet-Adresse: <http://www.nf-2000.org/secure/Fair/R0568.htm>.
- FAIR-CT96-1625 (2001): Valorisation of rapeseed/sunflower lecithins, a by-product of seed oil, in cosmetics and fermentation industries: use of natural carriers of phospholipids overproduced by filamentous fungi growing on lecithin substrates. - 11 S., Online Datenbank des BioMatNet unter der Internet-Adresse: <http://www.nf-2000.org/secure/Fair/F491.htm>.
- FAIR-CT97-3919 (2001): New functional biopolymer - natural fibre - composites from agricultural resources. - 5 S., Online Datenbank des BioMatNet unter der Internet-Adresse: <http://www.nf-2000.org/secure/Fair/F639.htm>.
- FAIR-CT98-4416 (2001): Bionanopack: Biodegradable nanocomposite food packaging. - 5 S., Online Datenbank des BioMatNet unter der Internet-Adresse: <http://www.nf-2000.org/secure/Fair/F908.htm>.
- FELDWISCH, N. & H.-G. FREDE (1998): Stoffeinträge in Gewässer aus der Landwirtschaft. S. 4-21. - In: FREDE, H.-G. & S. DABBERT (HRSG.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. 451 S., ecomed, Landsberg, 1998.

- FELDWISCH, N., H.-G. FREDE & F. HECKER. (1998): Verfahren zur Abschätzung der Erosions- und Auswaschungsgefahr . S. 22-58. - In: FREDE, H.-G., S. DABBERT (HRSG.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. 451 S., ecomed, Landsberg, 1998.
- FISCHER, A. (1995): Anbaurichtlinien Flachs. Unveröffentlichte technische Anleitung, LBA, München, 9 S.
- FISCHHABER, G., T. FLAKE, M. FLEIBNER & A. HANSEN (1999): Untersuchung und Bewertung der ökologischen Vorteile des Einsatzes von Automobilkomponenten aus nachwachsenden Faserrohstoffen. - Vortrag gehalten auf dem 2. Int. Symposium "Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen", 1-2) 1999 Erfurt.
- FLACHSBERATUNG E. HEGER & PARTNER: Bericht Demonstrationsobjekt Flachs-anbau Staatsgut Grub 1996 bis 2000
- FLAIG, H. & H. MOHR (1996): Der überbelastete Stickstoffkreislauf. Strategien einer Korrektur. Nova Acta Leopoldina 70, Nr. 289, Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale). zit. in: KOLBE (2000), S. 45.
- FNR (2001): Broschüre: Nachwachsende Rohstoffe – Vielfalt aus 1001 Projektidee, 83 S.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO 2000): Animal Feed Resources Information System. - Online Datenbank der FAO unter der Internet-Adresse:
<http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/AGA/AGAP/FRG/AFRIS/default.htm>.
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (FIBL HRSG. 1999): Jahresbericht 1998/99.
- FRANCKEN-WELZ, H. VON (BEARB. 2000): Vergleichende Bewertung der Leistungspotentiale und Faserqualität verschiedener Faserpflanzen und Entwicklung von umweltverträglichen Anbauverfahren zur Produktion von qualitativ hochwertigen Industriefasern. - USL Forschungsberichte 82, 101 S., Bonn.
- FREDE, H.-G. & S. DABBERT (HRSG. 1999): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. - 2. Aufl., 452 S., ecomed, Landsberg.
- FRIEBEN, B. (2000): Bewertung biotischer Leistungen landwirtschaftlicher Betriebe. - Schr.-R. d. Deutschen Rates für Landespflege 71, 29-35.
- FRISCHE, R. (2001): HO-Sonnenblumen – Anwendungen in der chemischen Industrie. Vortragsmanuskript zum CARMEN-Forum 2001 in Straubing

- FRITSCH, K., E. HORNING, N. PEITZSCH, A. RENZ & I. FEUSSNER (1999): Isolation and characterization of calendic acid producing (8,11)-linoleoyl desaturase. - FEBS Letters 462, 249-253.
- GAILLARD, G. & E. IRLA (2000): Life cycle assessment of different weed control methods in field crops. S. 165. - In: ALFÖLDI, T., W. LOCKERETZ & U. NIGGLI (HRSG.): IFOAM 2000 - The World Grows Organic: Proceedings of the 13th IFOAM Scientific Conference, 28 to 31 August 2000, Convention Center Basel. 762 S., vdf Hochschulverlag, Zürich, 2000.
- GEIER, U. (2000): Die Nutzung von Elementen der Ökobilanzmethode in der Umwelt und Agrarpolitik. - Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Heft 71, S. 36 - 42.
- GEIER, U. & U. KÖPKE (2000): Analyse und Optimierung des betrieblichen Umweltbewertungsverfahrens "Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung"- KUL. - Berichte über Landwirtschaft 78/1, 70-91, Münster-Hiltrup.
- GIRARDIN, P. (in Vorb.): Französische Verfahren zur Bewertung von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebe. - Beitrag anlässlich des ITADA Forum in Sissach, Schweiz, am 26. Juni 2001.
- GIRARDIN, P. (2001): Französische Verfahren zur Bewertung von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebe. - Handout, ITADA Forum, 26. Juni 2001 Sissach: Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen?
- GRAF, T., G. WURL & A. BIERTÜMPFEL (1999): Chancen und Möglichkeiten der Bereitstellung maßgeschneiderter Pflanzenöle. S.18-32. - In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, FNR (HRSG.): Lacke und Farben aus nachwachsenden Rohstoffen. 107 S., Reihe Gülzower Fachgespräche, FNR, Gülzow, 1999.
- GRANTZAU, E. (1998): Eigenschaften organischer Substratkomponenten. S.34-36. - In: HACK, G. (Red.): Fachinformation zur Lehrschau Umweltgerechter Zierpflanzenbau - Fakten - Beispiele - Trends - Informationsstand Gartenbau IPM 1998, Essen. Bonn, 1998
- GRIMM, E. & H. RENNEBAUM (2001): Pflanzenfaserverstärkte Spritzgießprodukte- Aufbau einer technologischen Linie. Postervortrag, Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. Gardelegen, 10.- 11. 12.2001.
- GRÜNIG, K. & V. PRASUHN (2001): Phosphatverluste durch Bodenerosion. - AGRARForschung 8/1, 30-35.
- GUNDR, H., S. JÄGER, M. SCHROEDER & R. DICKAU (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg. - Agrarforschung in Baden-Württemberg 24, 76 S., Stuttgart.
- GUJER, H. U. (2001): Agrarökologische Indikatoren in der Schweiz. - Kurzfassung als Handout, ITADA Forum, 26. Juni 2001 Sissach: Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen?

- HAAS, J. (1936): Die mechanische Weberei und ihre Erzeugnisse. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 116, 45-47, Berlin.
- HABER, W. & J. SALZWEDEL (1992): Umweltprobleme der Landwirtschaft - Sachbuch Ökologie. - 176 S., Metzlersche Verlagsbuchhandlung/Poerschel, Stuttgart
- HANSEN, B., H. F. ALRØE & E. S. KRISTENSEN (IM DRUCK): Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. Agriculture Ecosystems and Environment, S. 1-23.
- HARTMANN, H. & M. KALTSCHMITT (2002): Biomasse in Energiesystemen. in FNR (2002): Nachwachsende Rohstoffe – Vielfalt aus 1001 Projektidee, 83 S., S. 26/27
- HARTL, A. & CH. VOGL (2001): Faser- und Färbepflanzen aus ökologischem Anbau. - Erzeugung, Verarbeitung und Vermarktung. - Endbericht zum Forschungsprojekt L 1043/96, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- HEIER L. & K.-H. KROMER (2000): Produktion von Industriefaserlein als nachwachsender Rohstoff. in: Öl- und Faserpflanzen- Neue Wege in die Zukunft. Bonn, UFOP-Schriften, Heft 14, S. 293-297.
- HEINEMANN, O. (1997): Flachserntetechnik. Erfahrungen und Entwicklungen. Landtechnik, 52(2): 72-73.
- HEYLAND, K.-U. (HRSG. 1996): Spezieller Pflanzenbau. - 7. Aufl., 348 S., Ulmer, Stuttgart.
- HÖLZINGER, J. (BEARB. 1987): Die Vögel Baden-Württembergs Bd. 1 Gefährdung und Schutz. Teil 1 Artenhilfsprogramme. - Avifauna Bad.-Württ.. 1/2, 725-1420, Karlsruhe.
- HÖLZINGER, J. (BEARB. 1999): Die Vögel Baden-Württembergs Bd. 3.1: Singvögel 1. Passeriformes - Sperlingsvögel: Alaudidae (Lerchen) - Sylvidae (Zweigsänger). - Avifauna Bad.-Württ. 3/1, 861 S., Stuttgart.
- HOFE, E. VON (2001): Bündnis für Arbeit im Ländlichen Raum. Bilanz und Perspektiven. S. 70-75. - In: Agrarbündnis e.V. [HRSG.]: Der kritische Agrarbericht 2001. Alb Verlag, Bielefeld.
- HOFFMANN, M. (2000): Feuchtmulcheinsatz in Sonderkulturen. - Landtechnik 55/2, 152-153.
- HOFMEISTER, H. & E. GARVE (1998): Lebensraum Acker. - 322 S., Parey, Berlin.
- HOISL, R., W. NOHL & P. ENGELHARDT (2000): Naturbezogene Erholung und Landschaftsbild. - KTBL-Schriften 389, 306 S., Münster.
- HOSSEIN ADELI, M. (1993): In-vitro-Vermehrung und Entwicklung von Gramineen (*Miscanthus sinensis* 'Gigantheus', *Arundo donax* und *Ammophila arenaria*)

- HUGGER, H. (1989): Sonnenblumen.: Züchtung, Anbau, Verarbeitung. - 95 S., Ulmer, Stuttgart.
- IPCC (1995): Intergovernmental Panel of Climate Change (HRSG 1995): Climate change 1994 – Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. University Press, Cambridge
- IRPS, H. (2000): Energie und Energieszenarien. - Landtechnik 55/3, 254.
- ISENSEE, E. & D. K. STÜBIG: Nutzung von Schwach- und Knickholz für dezentrale Heizwerke. -
- ITADA (HRSG. 1996): Alternative Kulturen: Nachwachsende Rohstoffe: Anbaueignung neuer Ölpflanzen als alternative Kulturen in der Rheinebene. - 1994-1995 Abschlußbericht des Projekts NR 9, kofinanziert im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative INTERREG I “Oberrhein Mitte Süd”, Projektleiter: R. VETTER IfUL (Baden-Württemberg), 24 S. und Anhänge.
- ITADA (HRSG. 1999): Einführung einer Zwischenfrucht nach Mais und vor einer Sommerfrucht zur Minderung des Risikos der Nitratauswaschung. Zusammenfassung von Versuchsergebnissen 1988- 1999. Ausgeführt im Rahmen des ITADA- Projektes B4. Colmar, 67 S.
- JAHRESTORFER, E. (2001): Rohrkolben als Dämmstoff. - BLW 22, 43-44.
- JAKOB, K., A. BRAMM & N. OCHRIMENKO (1999): Einfluß der Wasser- und Stickstoffversorgung auf Ertrags- und Qualitätsparameter von Krambe (*Crambe abyssinica* Hochst. ex. R. E. Fries). - Pflanzenbauwissenschaften 3/1, 40-51, Stuttgart.
- JEDICKE, E. (2000): Biodiversitäts-Indikatoren zur Bewertung von Nachhaltigkeit in Baden-Württemberg: Studie im Rahmen des Projektes “Statusbericht Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg”. - Arbeitsbericht 162, 82 S.
- JENNY, M. (2000): Nischenproduktion als Chance für die Artenvielfalt am Beispiel des Klettgauer Emmer/Einkorn-Projekts. - Agrarspectrum 31, 236-246, Frankfurt.
- JUNGE, A., C. STOBER & H. MARSCHNER (1993): Auswirkungen der Flächenstilllegung auf den Stickstoffhaushalt von Böden. - Agribiol. Res. 46/2, 112-119.
- KÄB, H. (2000): Gewinnung und Verwertung von High Oleic Sonnenblumenölen.
- KALTSCHMITT, M. & G.A. REINHARDT (HRSG. 1997): Nachwachsende Energieträger: Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden
- KAUL, H.-P., M. KRUSE, W. AUFHAMMER (2000): Yield and Radiation Use Efficiency of Pseudocereals Compared with Oats. - Pflanzenbauwissenschaften 4/1, 9-14, Stuttgart.
- KAULE, G. (1986): Arten und Biotopschutz. – 461 S., Ulmer, Stuttgart.

- KELLER, E. R., H. HANUS, K.-U. HEYLAND (HRSG. 1997): Handbuch des Pflanzenbaues. Band 1: Grundlagen der landwirtschaftlichen Produktion. - 860 S., Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- KELLER, S. (2001): Biodiversität auf Betrieben integrierter und biologischer Bewirtschaftung - Ergebnisse von Betriebsvergleichen.-Schriftenreihe der FAL 36, 30-31.
- KERSCHBAUM, S. & P. SCHWEIGER (2001): Untersuchungen über die Fettsäure- und Tocopherolgehalte von Pflanzenölen. - Informationen für die Pflanzenproduktion Sonderheft 1, 51 S., Rheinstetten (Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim).
- KLINGAUF, F. (2000): Düngung und Pflanzenschutz - Effizienz oder Emission? - dbk 5, 10-12.
- KLUGE, E., S. ENZIAN & V. GUTSCHE unter Mitarbeit von BÜCHS, W., B. FREIER, M. JAHN, G.-A. LANGENBRUCH & H. STACHEWICZ (1999): Befallsatlas: Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands. - 160 S., Saphir Verlag, Ribbesbüttel.
- KNAUER, N. (1988): Katalog zur Bewertung und Honorierung ökologischer Leistungen der Landwirtschaft.- VDLUFA-Schriftenreihe 28, Kongressband 1988, Teil II, 1241-1262
- KNAUER, N. (1997): Landschaft und Landwirtschaft. Wiederentwicklung von mehr Natur durch die Landwirtschaft ist möglich. - 2. Aufl., 30 S., Ima (Hannover).
- KNICKEL, K., B. JANBEN, J. SCHRAMEK & K. KÄPPEL (2001): Naturschutz und Landwirtschaft. Kriterienkatalog zur "Guten Fachlichen Praxis" - Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 898 88 032 des Bundesamtes für Naturschutz- Angewandte Landschaftsökologie 41, 152 S., Bonn-Bad Godesberg.
- KÖHLER, K., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (1999): Eignung verschiedener Pflanzenarten zur Untersaat in Fasernesseln (*Urtica dioica* L.). S. 496-500. - In: HOFFMANN, H. (HRSG.): Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum ökologischen Landbau "Vom Rand zur Mitte"; 23.-25. Februar 1999 in Berlin. 1. Aufl., 568 S., Köster, Berlin, 1999.
- KOLBE, H. (2000): Landnutzung und Wasserschutz. WLV, 99 S., Wiss. Lektorat & Verlag Leipzig.
- KÖPPEL, J., U. FEICKERT, L. SPANDAU & H. STRAßER (1998): Praxis der Eingriffsregelung: Schadensersatz an Natur und Landschaft? - 397 S., Ulmer, Stuttgart.
- KÖBLER, C., P. LIEBHARD & W. CLAUPEIN (1998): DYNAMIK der Nmin-Gehalte in Böden unter *Miscanthus sinensis* cv. *Giganteus* im semihumiden und semiariden Klimaraum Österreichs. - Pflanzenbauwissenschaften 2/3, 123-130, Stuttgart.
- KOHLER, A. (1986): Landnutzung und Artenschutz. - Informationen für die Landwirtschaftsberatung in Baden-Württemberg 6, 21-38.

- KONERMANN, M. (2001): Das Schutzgut Landschaftsbild in der Landschaftsrahmenplanung Rheinland-Pfalz. - Natur u. Landschaft 76/7, 311-317.
- KOORDINATIONSGRUPPE RICHTLINIEN DEUTSCHSCHWEIZ (KIP HRSG. 1999): Richtlinien für den ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN). -1. Aufl., 28 S., Lindau.
- KORNECK, D., M. SCHNITTLER & I. VOLLMER (1996): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) Deutschlands. - Schr.-R. f. Vegetationskde. 28, 21-187, Bonn-Bad Godesberg.
- KOTSCHI, J. (1980): Untersuchung zur Wirkung der in der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise verwendeten Spritzpräparate "500" und "501" auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen. - Dissertation Justus-Liebig Universität, Gießen, 114 S., Anhänge.
- KRÜCK, S., O. NITZSCHE & W. SCHMIDT (2001): Verbesserte Regenverdaulichkeit durch Regenwurmaktivität: Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. - Landwirtschaft ohne Pflug 1/2001, 18-21.
- KÜNKELE, S., E. HEIDERICH & D. ROHLF (1992): Naturschutzrecht für Baden-Württemberg: Textausgabe der wichtigsten Vorschriften des Landes und des Bundes. - 6. Aufl., 220 S., Kohlhammer, Stuttgart/Berlin/Köln.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, KTBL (1999): Betriebsplanung 1999/2000. Daten für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft. 11. Aufl., 319 S., KTBL, Darmstadt.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, KTBL (2002): Datensammlung Heil- und Gewürzpflanzen. 1. Aufl., 76 S., KTBL, Darmstadt.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, KTBL (2000): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft -Daten für die betriebliche Kalkulation. 20. Aufl., KTBL, Darmstadt.
- LANDESANSTALT FÜR DIE ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LÄNDLICHEN RÄUME (LEL 1999): Kalkulationsdaten Marktfrüchte. - 28 S., LEL, Schwäbisch Gmünd.
- LANDESANSTALT FÜR DIE ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND DER LÄNDLICHEN RÄUME (LEL 2002): Kalkulationsdaten Marktfrüchte – Ernte 2002. 88 S., Schwäbisch Gmünd.
- LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU FORCHHEIM (LAP HRSG. 1998): Beratungsgrundlagen für die Düngung im Ackerbau und auf Grünland. - Lose-Blatt-Sammlung im Auftrag des Ministeriums Ländlicher Raum, Stuttgart.

- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (HRSG. 1988): Schutzprogramm für Ackerwildkräuter. - Arbeitsbl. Naturschutz 8, 16 S.
- LANDWIRTSCHAFTSVERLAG GMBH (HRSG. 2001): Landmaschinenkatalog 2001. top agrar und profi. CD- ROM
- LANDWIRTSCHAFTSVERLAG GMBH (HRSG. 2001): Eigenschaften biogener Festbrennstoffe, Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe, Bd 17. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- LANGMAACK, M. (1999): Earthworm communities in arable land influenced by tillage, compaction, and soil. - Z. Ökologie u. Naturschutz 8, 11-21.
- LARINK, O., C. HEISLER, W. SÖCHTIG, B. LÜBBEN & L. WICKENBROCK (1995): Einfluß verdichteter Ackerböden auf die Bodenfauna und ihr Beitrag zur Bodenlockerung. - KTBL-Schriften 362, 142-156, Münster-Hiltrup.
- LEHNE, P., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (1998): Wurzelwachstum von Fasernesseln (*Urtica dioica* L.) im ersten Vegetationsjahr. - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 11, 181-182.
- LEHNE, P., K. SCHMIDTKE & R. RAUBER (2001): Ertrag von Fasernesseln im ökologischen Landbau bei unterschiedlicher Nährstoffversorgung. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 13, S. 158-159.
- LEIBLE et al. (2001) : Nachwachsende Rohstoffe – Eine Zwischenbilanz. In: Jahrbuch ITAS 1999/2000. Forschungszentrum Karlsruhe.
- LEWANDOWSKI, I., A. BOHN, M. KALTSCHMITT & G. WEINREBE (2000): Ökobilanzen einer Wärmebereitstellung aus Getreideganzpflanzen: Einfluss von Getreideart und Stickstoff-Düngung an zwei Standorten. - Pflanzenbauwissenschaften 4/1, 15-25, Stuttgart.
- LINDEMANN, K. (1999): Reduzierte Bodenbearbeitung mit Mulchsaat zu Sonnenblumen.- UFOP-Schriften 12, 111-134 Bonn.
- LINDEMANN, K. & J. GRONOW (1999): EU-Sortenversuch Hoch-Ölsäure-(HO)-Sonnenblumen 1998.- UFOP-Schriften 12, 95-110 Bonn.
- LINCKH et al. (1997): Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft : Voraussetzungen, Möglichkeiten, Maßnahmen. Berlin [u.a.]: Springer, 1997
- LÖRCKS, J. (2000): Studie "Bioplastics": Biokunststoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Stand der Technik und Literaturrecherche. - 19 S., Biotec GmbH, Emmerich.
- LÖSCH, M., D. STAUB, H. WANDEL & T. JUNGBLUTH (1997): Der Bio-Cutter: Ein technischer Ansatz zur faunaschonenden Mulchtechnik. - Landtechnik 52/1, 18-19.
- LUDWIG, G., R. DÜLL, G. PHILIPPI, M. AHRENS, S. CASPARI, M. KOPERSKI, S. LÜTT, F. SCHULZ & G. SCHWAB (1996): Rote Liste der Moose (Anthocerophyta et Bryophyta) Deutschlands. - Schr.-R. f. Vegetationskunde. 28, 189-306, Bonn-Bad Godesberg.

- LUF A (STAATLICHE LANDWIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALT) AUGUSTENBERG (BEARB. 2000): Auswertung der Bodenuntersuchungen auf Grundnährstoffe in Baden-Württemberg 1994 - 2000. - Karlsruhe. Luther und Kessler, 2001.
- LÜHS, W. , D.W. FRIEDT & B. SCHLÜTER (1999): Anbauempfehlungen für hochölsäurehaltige Sonnenblumen (HO-Sonnenblumen) in Deutschland. - 4. Aufl., 25 S., Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Braunschweig.
- LÜHS, W., M. KORELL & D. W. FRIEDT (1997): Anbauempfehlungen für hochölsäurehaltige (HO-) Sonnenblumen in Deutschland. -. 2. Aufl., 16 S., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Giessen, Giessen.
- MAIDL, F.-X., E. STICKSEL & R. VALTA (1999): Untersuchungen zur verbesserten Gülle-
verwertung im Maisanbau. 1. Mitteilung: Verwertung von Güllestickstoff durch Silo- und Körnermais bei unterschiedlichen Applikationsverfahren. - Pflanzenbauwissenschaften 3/1, 9-16, Stuttgart.
- MAYR, R. (2001): Kurzinformation über Miscanthus sinensis „Giganteus“ – Chinaschilf, Riesenschilfgras. Manuskript, unveröffentlicht.
- MIELKE, T. (2001): Entwicklungen auf den Welt-Ölsaatenmärkten weisen auf steigende Preise für die kommenden 2 Jahre hin. -- Das ergibt Chancen für den Rapsanbau in Deutschland. – 5 S., Anlage zu: UFOP RUNDSCHREIBEN I/10/01, BONN.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, WEINBAU UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (1966): Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg: Orientierungsprogramm - Grundlagen der Anpassung, Entwicklungsziele. - 170 S., Stuttgart.
- MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (1992): Landschaft als Lebensraum - Biotopvernetzung in der Flur. Ackerwildkräuter: Bedeutung und praktische Empfehlungen für den Erhalt. - 19 S., Stuttgart.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 2000): Wasser. - 6. Aufl., 32 S., Kurz & Co, Stuttgart.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 1999): Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse. - Wirtschaftsjahr 1998/99, Heft 48, Stuttgart.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 1989-2000): SchALVO-Nitrat-Berichte. Bearbeitet von der LUF A, Karlsruhe. MLR, Stuttgart.

- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1999): Landschaft als Lebensraum - Die Ackerwildkräuter in Baden-Württemberg: Karte der regionaltypischen Verbreitung. - Faltblatt, Stuttgart.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2000): Begleitforschung zur Flächenstilllegung: Auswirkung von Flächenstilllegung auf Stickstoffdynamik in Böden, Nährstoffkreislauf und Nährstoffbilanzen. - Online Datenbank unter der Internet-Adresse: <http://lelbis1/infodienst/mlr/fachinfo/forsch%5Fber/97%5F06/62%5F89%5F30.htm>.
- MINISTERIUM LÄNDLICHER RAUM BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 2000): Natura 2000 in Baden-Württemberg. Europa gestalten – Natur erhalten. Baden-Württemberg: Lebensräume und Arten von A bis Z im Europäischen Verbund. – 2. Aufl., 162 S., Engelhardt & Bauer, Stuttgart. [nach 1999a und 1999b trennen]
- MÖLLER, F., C. HOCH & A. SCHRÖDER (2000): Leicht und stabil: Entwicklung von LNS (Light Natural Sandwich) Materialien für Tafelbauelemente im Bauwesen. - Landtechnik 55/1, 24-25.
- MOERSCHNER, J. & W. LÜCKE (2000): Stoffstromanalysen in der Pflanzenproduktion. - Landtechnik 55/3, 236-238.
- MORGAN, R. P. C. (1999): Bodenerosion und Bodenerhaltung. - 236 S., Enke, Stuttgart.
- MÜHLE, H., R. GRABAUM & C. M. BURGHARD (2000): Dauerhaft umweltgerechte Landwirtschaft in Mitteldeutschland - Ideen, Methoden und Ergebnisse. - Agrarspectrum 31, 74-80, Frankfurt.
- MÜLLER, W. (1936): Ernte und Aufbereitung des Hanfes. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 116, 29-36, Berlin.
- MÜLLER-SÄMANN, K.M. (1986): Bodenfruchtbarkeit und Standortgerechte Landwirtschaft. S. 360-365, Schriftenreihe der GTZ Nr. 195. TZ- Verlagsgesellschaft, Rossdorf.
- MÜLLER-SÄMANN, K.M. et al. (2001): Identifizierung von Produktlinien nachwachsender Rohstoffe unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. Postervortrag, Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. Gardelegen, 10.- 11. 12.2001.
- MÜNZER, W. (1998): Cultivating Cat's Tail (*Typha latifolia*, L.), a Crop with High Ecological and Economic Potential. - Proceedings of the 10th European Conference "Biomass for Energy and Industry, Würzburg/Germany, 08-11 June, S. 395-398.
- MÜSSIG, J. & H. FISCHER (2001): Enzymatischer Aufschluss von Hanffasern. Postervortrag, Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. Postervortrag, Innovationsforum Gardelegen, 10.- 11. 12.2001.

- NATURLAND-VERBAND FÜR NATURGEMÄßEN LANDBAU (HRSG. 2000): Gräfelinger Thesen: Klimaschutz und Ökologischer Landbau. - 81 S., Naturland, Gräfeling.
- NAUMENKO, V. et. al. (2001): Faserqualität der Bestandesfraktionen von Hanf (*Cannabis sativa* L.) Postervortrag, Innovationsforum „Wertschöpfungsketten in der Naturstoffverarbeitung“. Gardelegen, 10.- 11. 12.2001.
- NEUER, H. (1936): Der Anbau des Hanfes. - Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 116, 14-28, Berlin.
- OETMANN, A. (2000): Genetische Ressourcen für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. - Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Reihe A: Angewandte Wissenschaft 487, Münster-Hiltrup.
- OPPERMANN, R. (2001): Naturschutz mit der Landwirtschaft: Ökologischer Betriebsspiegel und Naturbilanz: Wie naturfreundlich ist mein Betrieb? - 1. Aufl., 52 S., Zabel, Stuttgart.
- ORTMEIER, B. & C. SOMMER (2000): Bodenschadverdichtungen vermeiden. - Mais 28/4, 152-153.
- PAN (2002): Übersicht zur Abschätzung von Minimalarealen von Tierpopulationen in Bayern. PAN Partnerschaft.
- PATYK A. & G.A. REINHARDT (1997): Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden
- PIFFNER, L., H. LUKA, P. JEANNERET & B. SCHÜPBACH (2000): Effekte ökologischer Ausgleichsflächen auf die Laufkäferfauna. - AGRARForschung 7/5, 212-217.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. - 2. Aufl., 622 S., Ulmer, Stuttgart.
- POINTEREAU, P., J.-L. BOCHU, S. DOUBLET, I. MEIFFREN, C. DIMKIC, W. SCHUMACHER, J. BACKHAUSEN & P. MAYRHOFER (BEARB. 1999): Umweltbewertungsverfahren für die Landwirtschaft für eine nachhaltige Landbewirtschaftung: Drei Verfahren unter der Lupe. - 187 S., Imprimerie 34, Toulouse.
- PRESCHER, S. & W. BÜCHS (2000): Der Einfluss der Fruchtfolgegestaltung auf die Schlupfbundanz von Fliegen (Diptera, Brachycera) im Ackerbau. - Agrarspectrum 31; 197-203, Frankfurt.
- PRETSCHER, P. (BEARB. 1998): Rote Liste der Großschmetterlinge (Macrolepidoptera) (Bearbeitungsstand: 1995/96). - Schr.-R. f. Landschaftspflege u. Naturschutz 55, 87-111, Bonn-Bad Godesberg.
- PROFI (HRSG.) (1997): Einstell- und Reparatur-Daten für Motoren in Landmaschinen von 1950 bis heute. - CD-Rom, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.

- PROFI (HRSG. 2000): Testjahrbuch Schlepper 2001. - CD-Rom, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- RATHKE, G. W. & D. W. DIEPENBROCK (2000): Energiebilanz im Winterrapsanbau. - Raps 18/2, 80-82.
- RATIONALISIERUNGS-KURATORIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (RKL HRSG. 2001): Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. siehe WEIßBACH, DR. M.
- RECK, H., WALTER, R., OSINSKI, E., HEINL, T. & G. KAULE (1996): Räumlich differenzierte Schutzprioritäten für den Arten- und Biotopschutz in Baden-Württemberg (Zielartenkonzept). – 1730 S., und Kartenband, Gutachten des Inst. F. Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart, i. A. des Landes Baden-Württemberg.
- REHM, S. & G. ESPIG (1984): Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen. - 2. Aufl., 504 S., Ulmer, Stuttgart.
- REICH, G. (2000): Ökologische Aspekte wichtiger Gerbverfahren. - Hrsg.: Forschungsgemeinschaft Leder e.V., 42 S., Frankfurt.
- REINSCH, M. (2001): Der Stand der deutschen Evaluierungsmethoden. - 3 S., Handout, ITADA Forum, 26. Juni 2001 Sissach: Nachhaltige Landwirtschaft: Kann man ökologische Leistungen messen?
- REMMELE, E, K. THUNEKE, B. WIDMANN, T. WILHARM & H. SCHÖN (2000): Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenölaugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW. - "Gelbes Heft" 69, 217 S., Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München.
- RENN, O., C. D. LEÓN & G. CLAR. (2000): Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg: Statusbericht 2000 - Langfassung. - Arbeitsbericht 173, 110 S.
- RATIONALISIERUNGS-KURATORIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT (2001): Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. Siehe Weißbach Dr. M.
- ROESCH, C. (1999): Monitoring "Nachwachsende Rohstoffe": Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Wohnungsbau - Vierter Sachstandsbericht. - TAB-Arbeitsbericht 61, 93 S., Berlin.
- RUHE, I., R. LOGES & F.TAUBE (2001): Vergleichende Analyse der N-Flüsse in Fruchtfolgen ökologischer und konventioneller Produktionssysteme unter besonderer Berücksichtigung der Nitratverluste. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 13: 100-101.
- SACHTLEBEN, J. (2001): Vorschläge für regionale Initiativen zur Vermarktung landwirtschaftlicher Erzeugnisse in Bayern - ein Diskussionspapier aus der Sicht des Arten- und Biotopschutzes. - Natur u. Landschaft 76/6, 273-277.

- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ARBEIT (2000): Sachsen-Leinen: Ein Unternehmensverbund für ökonomischen und ökologischen Fortschritt. – 28 S., Faltblatt, Dresden.
- SCHAEFER, M. (1992): Wörterbuch der Biologie: Mit englisch-deutschem Register. - 3. Aufl., 433 S., Fischer, Jena.
- SCHEER-TRIEBEL, K.-U.HEYLAND & J. LÉON (2000A): Einfluss des Erntetermins auf Morphologie, Ertrag und Qualität verschiedener Leingenotypen. Pflanzenbauwissenschaften 4 (2): 91-102.
- SCHEER-TRIEBEL, M. & J. LÉON (2000): Industriefaser - Qualitätsbeschreibung und pflanzenbauliche Beeinflussungsmöglichkeiten bei Faserpflanzen: ein Literaturreview. - Pflanzenbauwissenschaften 4 (2): 26-41.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. - 13. Aufl., 491 S., Enke, Stuttgart.
- SCHILLING, E. (1936): Die wirtschaftliche Bedeutung der Hanfpflanze. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 116, 5-8, Berlin.
- SCHMELZLE, H., M. STOLZE, A. HÄRING, T. WINTER, S. SPRENGER & S. DABBERT (2000): Produktionsverfahren des Ökologischen Landbaus in Baden-Württemberg. - 116
- SCHMIDT, M. & U. HÖPFNER (HRSG. 1998): 20 Jahre ifeu- Institut. Engagement für die Umwelt zwischen Wissenschaft und Praxis. - 441 S., Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- SCHMIDTKE, K., R. RAUBER & K. KÖHLER (1998): Ertragsbildung von Fasernesseln (*Urtica dioica* L.). - Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 11, 107- 108.
- SCHNEIDER, C., SUKOPP, U. & H. SUKOPP (1994): Biologisch-ökologische Grundlagen des Schutzes gefährdeter Segetalpflanzen. - Schr.-R. f. Vegetationskunde 26, 356 S., Bonn-Bad Godesberg.
- SCHNELLENBERG, I., G. SCHNÜBER & K. KABRODT (1999): Biotechnologische Verfahren zur Erzeugung von Pflanzenmaterial aus Rhabarber als Voraussetzung für die großtechnische Isolierung. S.106-111. - In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (Hrsg.): Forum Färberpflanzen 1999. 232 S., Reihe Gülzower Fachgespräche, FNR, Gülzow, 1999.
- SCHREIBER, K.-F., G. BROLL & H.-J. BRAUKMANN (2000): Bilanz der Bracheversuche in Baden-Württemberg. Beitrag zum Seminar: Methoden der Landschaftspflege, Ringsheim, 5. Juli 2000, 22 S., Veröffentlichung der Akademie Ländlicher Raum.
- SCHULTZ, R. (2001): Seit 1. März gilt ein neues Regelwerk zum Wasserschutz: Vorschriften der SchALVO beachten. - BW agrar 168/10, 51-52, Stuttgart.

- SCHULZE, R., F. KLOTZ & U. HAAG (1999): Ökologische Auswirkungen von verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren. - Infodienst Landwirtschaft Baden-Württemberg. Online Datenbank Internet-Adresse: <http://10.34.54.3/infodienst/agraroek/bodensch/bearbboek.htm>.
- SCHWEIGER, P. (1998): Ergebnisse der Anbauversuche mit *Miscanthus sin. Giganteus*. Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim. Artikel unter der Internet- Adresse: http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lap/neuekult/energiep/miscan_k.htm
- SCHWEIGER, P. & K. STOLZENBURG (1993): Energie vom Acker - Anbauversuche mit *Miscanthus* in der Rheinebene 1989 - 1993. - Informationen für die Pflanzenproduktion 1, 56 S., Rheinstetten
- SEBALD, O., S. SEYBOLD, G. PHILIPPI & A. WÖRZ (HRSG. 1996A): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs Bd. 5: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Asteroideae) Buddlejaceae bis Caprifoliaceae. - 539 S., Ulmer, Stuttgart.
- SEBALD, O., S. SEYBOLD, G. PHILIPPI & A. WÖRZ (HRSG. 1996B): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs Bd. 6: Spezieller Teil (Spermatophyta, Unterklasse Asteroideae) Valerianaceae bis Asteraceae. - 552 S., Ulmer, Stuttgart.
- SPATZ, H.-CH., H. BEISMANN, F. BRÜCHERT, A. EMANNS & T. SPECK (1997): Biomechanics of the giant reed *Arundo donax*. - Phil. Trans. Roy. Soc. B 352, 1-10.
- SPATZ, H.-CH., H. BEISMANN, A. EMANNS & T. SPECK (1995): Mechanical anisotropy and inhomogeneity in the tissues comprising the hollow stem of the giant reed *Arundo donax*. - Biomimetics 3, 141-155.
- SPATZ, H.-CH. & T. SPECK (1995): Mechanische Eigenschaften von Hohlrohren am Beispiel von Gräsern. - BIONA report 9, 91-132.
- SPIESS, E., T. ANKEN, J. HEUSSER, P. WEISSKOPF, C. HÖGGER & H.-R. OBERHOLZER (2000): Folgewirkungen von Bodenbearbeitungsmaßnahmen. - AGRARForschung 7/8, 354-359.
- STAATLICHE LANDWIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALT AUGUSTENBERG, LUFA (BEARB. 2000): Auswertung der Bodenuntersuchungen auf Grundnährstoffe in Baden-Württemberg 1994 - 2000. - Karlsruhe.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2001): Voraussichtliche Anbauflächen wichtiger Feldfrüchte 2001. - 4 S., aus Fachserie 3, R 3.2.1, 1, als Anlage zu: ufop Rundschreiben I/10/01, Bonn.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 1993): Landwirtschaftszählung/Agrarberichterstattung 1991: Kulturarten und Anbauverhältnisse der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe. - Statistik von Baden-Württemberg 463/2, 164 S., Stuttgart

- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 1998): Die Landwirtschaft in Baden-Württemberg dargestellt in Wort und Bild. - 105 S., Stuttgart.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (HRSG. 2001): Landwirtschaftszählung 1999 - Kreisergebnisse: Betriebssystematik, Bodennutzung und Viehhaltung, Arbeitskräfte, Hofnachfolge, Besitzverhältnisse, Betriebe mit ökologischem Landbau, Gewinnermittlung und Vermietung von Unterkünften an Ferien- oder Kurgäste. - Statistik von Baden-Württemberg 553/3, 99 S., Stuttgart
- STAUFFER, W. & E. SPIESS (2001): Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgen auf die Nitrat- auswaschung. Agrarforschung 8(8): 324-329.
- STEFFES, E. (2000): Die Renaissance der europäischen Bastfaserspinnerei durch Verspinnung von Hanffasern auf Autocoro Rotorspinnmaschinen. - Vortrag anlässlich des 3. Internationalen Symposiums „Biorohstoff Hanf und andere Faserpflanzen“, Wolfsburg, 13. 16. September 2000. Informationsbroschüre der Schlafhorst | Saurer Group.
- STOLZE, M., A. PIORR, A. HÄRING & S. DABBERT (2000): The environmental impact of organic farming. - Organic Farming in Europe: Economics and Policy 6, 127 S., Universität Hohenheim, Stuttgart.
- STOLZENBURG, K., K.MASTEL, B. SEITH, S. KERSCHBAUM & P. SCHWEIGER (1998): Anbau und Qualität von Körnerhanf. Bericht über die 1997 und 1998 durchgeführten Feldversuche einschließlich Untersuchungen zur Pflanzenqualität. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Rheinstetten.
- SÜSS, H. (2000): Regenwurm contra Kreiselegge. - BLW 190/30, 18-19.
- SYMANK, A. & D. DOCZKAL (BEARB. 1998): Rote Liste der Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) (Bearbeitungsstand: 1998). - Schr.-R. f. Landschaftspflege u. Naturschutz 55, 65-72, Bonn-Bad Godesberg.
- TAENZER, P. (1936): Hanfspinnerei und Seilerei. - Berichte über Landwirtschaft Sonderheft 116, 37-44, Berlin.
- TEBRÜGGE, F. (2000): Visionen für die Direktsaat. - Landwirtschaft ohne Pflug, 5/2000, 16-20.
- TEBRÜGGE, F. & J. ABELSOVA (1998): Auswirkung der Pflug-Bodenbearbeitung und Direktsaat auf biogene Durchporung und ungesättigte Infiltrationsleistung des Bodens. - Landtechnik 53/1.
- TEBRÜGGE, F. & A. BÖHRNSEN (2000): Direktsaat: Beurteilung durch Landwirte und Experten in der EU und Nebraska. - Landtechnik 55/1, 17-19.

- THIES, C. & T. TSCHARNTKE (2000): Biologische Schädlingskontrolle durch Landschaftsmanagement. - *Ökologie & Landbau* 115/3, 47-49
- THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (TLL) (1999): Anbautelegramm für die Fasernessel (*Urtica dioica* L.). 4 S., Jena, TLL.
- TIEMANN, A. & E. KAEMPFER (1941): Reichsnährstand: Arbeiten des Reichsnährstandes - Die Hirsen. - 66 S., Reichsnährstand Verl.-Ges., Berlin.
- TIMMERMANN, M. (1994): Umsetzung der SchALVO.- Effizienz im Hinblick auf die Verminderung von Nitrateinträgen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (HRSG. 1994): Strategien zur Verminderung der Nitratauswaschung in Wasserschutzgebieten. S. 119-134, KTBL Arbeitspapier 206. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- TOP AGRAR PROFIC[©] „LANDMASCHINENKATALOG 2001
- TREMODO (2002): Berechnungen mit dem Daten- und Rechenmodell der Software TREMOD – Transport Emission Estimation Model. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin (Ufoplan-Nr. 105 06 057), laufend
- TRITTIN, J. (2000): Rede von Bundesumweltminister Jürgen Trittin auf dem Internationalen Workshop der VDEW "Electricity, Environment and Sustainable Development - a Partnership with a Future" am 23. Oktober 2000 in Hannover. - Online Datenbank unter der Internet-Adresse: http://195.8.231.181/reden/rede_trittin001023.htm.
- TUBACH, M. & R.W. KESSLER (1995). Neue Aufschlussverfahren - Ein Schlüssel für innovative Anwendungen für Flachs. Vortragsmanuskript 1. Hunsrücker Leintage, 2.-3. August 1995, Emmelshausen. 12 S.
- UBA 2001 STROHGIES (2001), Umweltbundesamt, persönliche Mitteilung
- ÜBELHÖR, W. & M. WALTER (1998): Einfluss der Produktionstechnik auf den Nitratgehalt des Bodens vor Winter. -Auswertung der Kontrollaktionen nach SchALVO in Baden-Württemberg. S. 357 - 360, VDLUFA- Schriftenreihe Nr. 49.
- VETTER, A. & K.-P. MIEK (2000): Ertrags- und qualitätsbeeinflussende Faktoren beim Faserpflanzenanbau. S.185-191, UFOP-Schriften, Heft 14, Öl- und Faserpflanzen. Neue Wege in die Zukunft. Bonn.
- VETTER, R., S.O. GÄRTNER, G.A. REINHARDT & K.M. MÜLLER-SÄMANN (2002). Agronomy and environmental impact of High-Oleic Sunflower production in Germany – from high risk towards high value. 4 S., In: Proceedings of the 12th European Conference and Technology Exhibition in Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. June 17-21, 2002, Amsterdam.

- VIEHAUSEN, E. (1989): Erfolgreiche Grunddüngung und Kalkung. - 48 S., Landwirtschaftliche Beratung Thomasdünger, Düsseldorf.
- VOLKMAR, CH. & T. KREUTER (2000): Zur Bedeutung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe (Hanf, Faserlein) für Insektenzönosen der Bestände. S.193-201, UFOP-Schriften, Heft 14, Öl- und Faserpflanzen, Bonn.
- WALDHARDT, R., D. SIMMERING, K. FUHR-BOßDORF & A. OTTE (2000): Floristisch-phytocoenologische Diversitäten einer peripheren Kulturlandschaft in Abhängigkeit von Landnutzung, Raum und Zeit. - Agrarspectrum 31, 121-147, Frankfurt.
- WEIßBACH, DR. M. (2001): Bodenschonende Reifen für Großmaschinen und Schlepper. - Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL HRSG.)
- WELLER, F. (1990): Ökologische Standorteignungskarte für den Landbau in Baden-Württemberg 1:250.000. - Hrsg.: Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, 2 Karten + 70 S., Stuttgart.
- WELLER, F. & K.-J. DURWEN (1994): Standort und Landschaftsplanung. Ökologische Standortskarten als Grundlage der Landschaftsplanung. - 170 S., ecomed, Landsberg.
- WENDLER, E. (1917): Vortrag. S. 11-19. - In: WÜRTTEMBERGISCHER VEREIN FÜR NESSELANBAU E.V. (HRSG.): Die Bedeutung der Brennessel für das deutsche Volk: Zwei Vorträge. 19 S., A. Bonz' Erben, Stuttgart.
- WERNER, A. & H. PLACHTER (2000): Integration von Naturschutzziele in die landwirtschaftliche Landnutzung - Voraussetzungen, Methodenentwicklung und Praxisbezug. - Agrarspectrum 31, 44-61, Frankfurt.
- WIDMANN, B. A. (2000): Technische Eignung von naturbelassenen Pflanzenölen als Betontrennmittel. - Landtechnik 55/1, 19-21.
- WIELAND, H., D. P. L. MURPHY, H. BEHRING, C. JÄGER, P. HINRICHS & F.-J. BOCKISCH (2000): Perspektiven für Dämmstoffe aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen. - Landtechnik 55/1, 22-23.
- WIRTSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1999). Dämmstoffe im Hochbau. Informationen für Bauherren, Architekten und Ingenieure. 40 S., Stuttgart,
- WITKAMP, M. (1971): Soils as components of ecosystems. - Annual review of Ecology and Systematics 2, 85-110 Palo Alto.
- WITT, K., H.-G. BAUER, P. BERTHOLD, P. BOYE, O. HÜPPOP & W. KNIEF (1998): Rote Liste der Brutvögel (Aves) - korrigierte 2. Fassung (Bearbeitungsstand: 1996). – Schriftenreihe für Landschaftspflege u. Naturschutz 55, 40-47 Bonn-Bad Godesberg.

- WITTROCK, A. F., G. M. HOFFMANN & J.-A. VERREET (1997): Produktionstechnik der Hanferzeugung II - Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter im Hanf und deren Bekämpfung. - Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe" 7, 253-300 Münster.
- WORMER, E. J. (1998): Prostata: Probleme erkennen und behandeln. - 128 S., Midena, Augsburg.
- WÜRTTEMBERGISCHER VEREIN FÜR NESSELANBAU E.V. (O. A.): Merkblatt für den Anbau der Brennnessel (*Urtica Dioica*). - 2 S.
- WÜRTTEMBERGISCHER VEREIN FÜR NESSELANBAU E.V. (o. A.): Merkblatt für die Entnahme der Wurzelstecklinge (Rhizome). - 3 S.
- WÜRTTEMBERGISCHER VEREIN FÜR NESSELANBAU E.V. (Hrsg.) (1917): Die Bedeutung der Brennnessel für das deutsche Volk: Zwei Vorträge. - 19 S., A. Bonz' Erben, Stuttgart.
- ZEDDIES, J. (1997): Stoff- und Energiebilanzen in der Landwirtschaft. S. 73-85, VDLUFA - Schriftenreihe Nr. 46 (Kongressband).

